

MÉTHODE SIMPLIFIÉE POUR CALCULER LES COÛTS DE CAMIONNAGE AVEC DIVERS ENSEMBLES DE TRANSPORT

D.A. Ljubic¹

Généralités

FERIC a reçu des demandes répétées de la part du personnel de ses compagnies-membres, désireux d'avoir un exemple de la logique d'analyse et des calculs requis pour comparer économiquement, de façon approximative tout en étant assez précise, différents ensembles de transport possibles. Nous espérons que cette fiche technique répondra à ce besoin et servira de document de référence. FERIC tient à remercier la compagnie Fraser Inc. qui a permis l'utilisation de données réelles provenant d'une section de ses opérations de transport.

L'exemple comprend cinq ensembles de transport différents; les utilisateurs éventuels seront ainsi à même de constater qu'il peut être nécessaire d'ajouter à quelques-uns d'entre eux des facteurs de coût additionnels, particulièrement quand la charge se trouve augmentée. Nous rappelons au lecteur que les comparaisons de coût obtenues sont propres à l'exemple cité et qu'on peut s'attendre à des résultats différents quand on substitue dans les équations les données pertinentes à l'opération à étudier.

Ensembles de transport

Les cinq ensembles qui font partie de l'exemple d'analyse sont disponibles chez les fournisseurs, même si la remorque motorisée n'est pas encore en usage dans les opérations forestières canadiennes. Ce sont:

- i) un ensemble standard à semi-remorque pour le transport sur routes publiques et privées.
Charge utile théorique maximale, 35,3 tonnes métriques.

- ii) un ensemble composé d'un plus gros tracteur routier et d'une semi-remorque plus large (3,6 mètres à l'intérieur des montants) et plus lourde. Charge utile théorique maximale, 54 tonnes métriques. Cet ensemble, tout comme les suivants, ne peut être utilisé sur les voies publiques. Aussi faudrait-il prévoir dans cet exemple des coûts additionnels de construction routière pour les options (ii) à (v), de façon à éviter une courte section de route publique en construisant un nouveau tronçon de chemin privé.

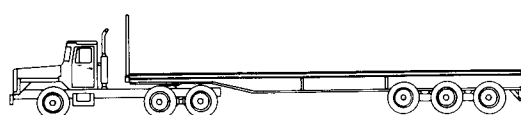


Figure 1. Semi-remorque standard; charge utile, 35,3 tonnes.

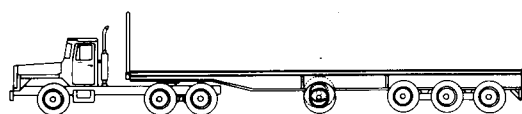


Figure 2. Configuration des deux ensembles ayant une charge utile de 54 et de 63 tonnes métriques. Le second serait doté d'essieux plus lourds.

- iii) un ensemble semblable à celui décrit en (ii), mais ayant une charge utile de 63 t, ce qui correspond au maximum absolu permis en foresterie aujourd'hui, pour un essieu simple à pont tandem. Un seul essieu arrière approprié pour camion standard était disponible en Amérique du Nord au moment de la rédaction de ce texte (Rockwell SW270, charge nominale 73 000 kg, non planétaire).

This Technical Note is available in English.

INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES EN GENIE FORESTIER
FOREST ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE OF CANADA

143 Place Frontenac
Pointe Claire, Québec
Canada H9R 4Z7
(514) 694-1140

201-2112 ouest Broadway
Vancouver, C.B.
Canada V6K 2C8
(604) 732-3711

¹ Auteur: D.A. Ljubic est chercheur principal de la section de transport secondaire, Division de l'Est.

- iv) un train routier composé d'un tracteur et de deux semi-remorques dont la première est motorisée (avec système complet de propulsion secondaire). La remorque motorisée (RM) permet à l'ensemble complet (avec une charge utile totale de 90 tonnes métriques) de circuler entre les jetées en bordure de route et le parc de l'usine. Il n'est pas nécessaire d'avoir de camions d'alimentation ni de parc de transfert. Les charges plus lourdes, toutefois, donnent lieu à une augmentation de coût due à la reconstruction du pont.

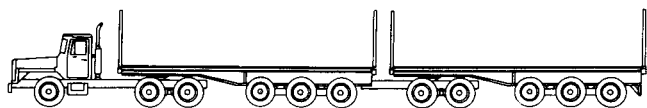


Figure 3. Même chose que figure 4, mais avec indication des essieux motorisés.

- v) un système de train routier composé de camions auxiliaires qui ramassent le bois en bordure de route et l'apportent à un parc de transfert où deux remorques chargées sont réunies pour le reste du trajet (deux remorques ayant une charge utile de 45 tonnes métriques chacune et rassemblées pour donner une charge utile totale de 90 t). Nous avons inclus ce système pour montrer les calculs nécessaires avec un parc de véhicules plus important.

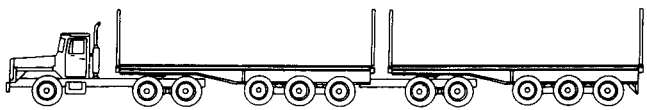


Figure 4. Configuration d'un train routier assemblé.

Calculs

Pour chaque combinaison différente, il faut déterminer le nombre de camions et de remorques, ainsi que tous les frais (fixes et variables), le coût par tonne-km et, enfin, le coût total en dollars par année.

Conditions générales

Distance en charge (d_1) = 56 km (dont 48 km se trouvent actuellement sur la route principale et 8 km sur les routes auxiliaires). Distance, aller-retour (d_b) = 112 km.

Vitesse technique (v_t) pour les combinaisons étudiées:

- i) $v_t = 41$ km/h (donné pour l'opération présente)
- ii) $v_t = 35$ km/h *
- iii) $v_t = 35$ km/h *
- iv) $v_t = 30$ km/h *
- v) $v_t = 10$ km/h - camions auxiliaires *
- vi) $v_t = 30$ km/h - train routier (estimation)

$$\text{où: } v_t = \frac{d_b}{t_d + t_w}$$

et: t_d = temps de conduite, aller-retour, en heures

t_w = temps d'attente, aller-retour, en heures

Calculs des temps d'un voyage

Le temps par voyage est le temps total supposé par voyage (t_v), en heures. Le tableau 1 donne ce temps pour chaque combinaison, de même que les temps supposés pour chaque élément.

Tableau 1. Temps par voyage

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t camion avec RM	(v) (a)45 t:(b)90 t camions:trains auxi.:rou- liaires:tiers
chargement - t_l	h	0,33	0,42*	0,45*	0,58*	0,40* : 0,17*
déchargement - t_u	h	0,25	0,33	0,37	0,50	- : 0,50
arrimage - t_c	h	0,17	0,17	0,17	0,25	0,17 : -
désarrimage - t_{uc}	h	0,13	0,17	0,17	0,25	- : 0,25
attente - t_w	h	0,50	0,50	0,50	0,50	0,42 : 0,50
conduite - t_d	h	2,23	2,70	2,70	3,23	1,18 : 2,70
temps total par voyage - t_v	h	3,61	4,29	4,36	5,31	2,17 : 4,12
distance aller-retour - d_b	km	112	112	112	112	16 : 96

* Note: Les temps de chargement et de déchargement, de même que les autres temps, sont basés sur l'expérience d'autres compagnies qui utilisent des ensembles routiers analogues.

Calcul du nombre de voyages par année (n_y)

Hypothèses

Heures prévues par jour = 20 (2 relèves)
 Jours de travail par semaine = 5
 Semaines de travail par année = 32
 Coefficient de disponibilité = 0,80 *
 Nombre de voyages par année = n_y

* basé sur l'expérience pratique

$$n_y = \frac{20 \times 5 \times 32 \times 0,80}{t_v} = \frac{2056}{t_v}$$

En remplaçant dans cette formule t_v par les valeurs correspondantes du tableau 1, on obtient le nombre de voyages par année montré au tableau 2.

Tableau 2. Nombre de voyages par année

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t camion avec RM	(v) (a)45 t:(b)90 t camions:trains auxi.:rou- liaires:tiers
voyages/camion/année = n_y	#	709	597	587	482	1180 : 621

Tableau 3. Nombre de tracteurs requis

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t	
					camion avec RM	camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers	
tracteurs requis(N _{tra})	#	20	15	13	11	9	9
tracteurs de rechange	#	3	2	2	1	2	1
nombre total de tracteurs	#	23	17	15	12	11	10

Calcul du nombre de tracteurs requis (N_{tra})

Hypothèses

Quantité de bois à transporter par année:

$$\text{en m}^3 = Q_{T_M} = 500\,000$$

$$\text{en tonnes métriques} = Q_{T_t} = 415\,000$$

Coefficient d'utilisation de la charge = $\gamma = 0,85$

Charge utile théorique par camion par voyage en tonnes métriques = T_1

Nombre de tracteurs requis = N_{tra}

$$N_{tra} = \frac{Q_{T_t}}{n_y \times 0,85 \times T_1}$$

Le tableau 3 montre le nombre de tracteurs requis pour les cinq combinaisons à l'étude.

Estimation du nombre de remorques requises

Le tableau 4 montre une estimation du nombre de remorques requises.

Tableau 4. Nombre de remorques requises

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t	
					camion avec RM	camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers	
remorques requises	#	20	15	13	11 avant 11 arrière	14 avant 14 arrière	
remorques de rechange	#	3	2	2	1 avant 1 arrière	3 avant 2 arrière	
nombre total de remorques	#	23	17	15	12 avant 12 arrière	17 avant 16 arrière	

Calcul des frais fixes

Aux fins de comparaison, les frais fixes comprennent ici:

- l'amortissement,
- l'intérêt sur l'investissement,
- les frais divers,
- les coûts d'investissement dans les routes,
- le coût des conducteurs.

Le coût des conducteurs est inclus ici uniquement pour permettre d'établir un calcul comparatif, même si en fait il n'est pas toujours fixe.

Calcul de l'amortissement

Hypothèses

a) Méthode de l'amortissement constant d'après la formule

$$D = \frac{PP-SV}{N}$$

où: D = amortissement annuel, en dollars

PP = prix d'achat, en dollars

SV = valeur de récupération, en dollars

N = période d'amortissement, en années.

b) Prix d'achat (PP) donné au tableau 5.

c) Périodes d'amortissement (N) données au tableau 5.

d) Valeurs de récupération: N = 5, 20% N = 10, 10%

e) Heures de fonctionnement prévues par année = 3200
(2 relèves de 10 heures; 5 jours par semaine; 32 semaines par année).

Tableau 5. Prix d'achat (PP) et périodes d'amortissement (N)

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t	
					camion avec RM	camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers	
PP - tracteurs	\$/ensemble	110 000	130 000	140 000	230 000	110 000:220 000	
N - tracteurs	années	5	5	5	5	10 : 10	
PP - remorques	\$/ensemble	30 000	38 000	44 000	63 000	63 000**	
N - remorques	années	5	5	5	10***	10	

* tracteur = 110 000 \$ plus propulsion secondaire de la remorque = 120 000 \$

** moyenne du prix d'achat de la remorque avant et de la remorque arrière.

*** ces remorques sont amorties sur une période de 10 ans alors que la propulsion secondaire de la remorque avant est amortie sur une période de 5 ans seulement.

Le tableau 6 donne les valeurs de l'amortissement annuel et horaire.

Tableau 6. Amortissement

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t	
					camion avec RM	camions : trains auxi- : rou- liaires : tiers	
investis- sement en -tracteurs -remorques	\$	2 530 000 690 000	2 210 000 646 000	2 100 000 660 000	2 760 000 1 512 000	1 210 000:2 200 000 2 079 000	
investis- sement total	\$	3 220 000	2 856 000	2 760 000	4 272 000	5 489 000	
D = amor- tissement annuel	\$/an	515 200	456 960	441 600	577 680	494 010	
D _h = amor- tissement horaire	\$/h	161,00	142,80	138,00	180,53	154,38	

Calcul de l'intérêt sur l'investissement annuel moyen

Hypothèses

- a) L'intérêt sur l'investissement annuel moyen (IAAI) est calculé d'après la formule suivante:

$$IAAI = \frac{I_T(N+1) + SV(N-1)}{2 \times N} \times i$$

où: I_T = investissement total, en dollars
 i = taux d'intérêt (en décimales)
 N = période d'amortissement, en années

- b) Taux d'intérêt = 10%

Le tableau 7 montre l'intérêt sur l'investissement annuel moyen.

Tableau 7. Intérêt sur l'investissement annuel moyen (IAAI)

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t :camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers
IAAI	\$/année	218 960	194 208	187 680	277 644	326 596
IAAI _h	\$/h	68,43	60,69	58,65	86,76	102,06

Calcul des frais fixes divers

Hypothèses

Le tableau 8 montre les frais divers annuels qui comprennent entre autres les frais d'immatriculation et d'assurance.

Tableau 8. Frais divers (M)

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t :camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers
M - frais divers/année	\$/ensemble	3 500	5 000	5 000	7 500	6 500: 7 500
Total des frais divers	\$/année	80 500	85 000	75 000	90 000	146 500
M _h - frais divers/heure	\$/h	25,16	26,56	23,44	28,13	45,78

Coût d'investissement dans les routes

Hypothèses

- a) Le tableau 9 montre les coûts estimés.

Tableau 9. Coûts d'investissement dans les routes

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t :camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers
entretien	\$/an	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
amélioration	\$/an	-	50 000	50 000	80 000	50 000
reconstruction du pont	\$/an	-	25 000	25 000	45 000	45 000
parcs de transfert	\$/an	-	-	-	-	50 000
coût total d'investissement dans les routes	\$/an	30 000	105 000	105 000	155 000	175 000
RI _h - investissement total (routes)/heure	\$/h	9,38	32,81	32,81	48,44	54,69

* Le coût de reconstruction du pont s'élève à 250 000 \$ pour (ii) et (iii) et à 450 000 \$ pour (iv) et (v), mais ce coût est réparti sur 10 ans.

Calcul du coût des conducteurs

Hypothèses

- a) Les conducteurs sont remplacés après 10 heures de travail, où qu'ils se trouvent à ce moment (ainsi qu'il est d'usage dans un petit nombre d'exploitations au Canada).
- b) Le nombre total de conducteurs que montre le tableau 10 permet d'avoir des conducteurs supplémentaires disponibles en tout temps.
- c) Taux régulier = 14,00 \$/h
 Taux majoré pour heures supplémentaires = 21,00 \$/h
- d) Avantages sociaux = 30% du taux régulier.
- W_h = taux régulier incluant les avantages sociaux = 18,20 \$/h
 W_{oh} = taux majoré incluant les avantages sociaux = 25,20 \$/h
- e) Chaque relève de 10 heures comprend:
 9 heures au taux régulier
 1 heure au taux majoré
- f) Le coût des conducteurs est calculé comme suit:

$$DR_h = (9 \times W_h + 1 \times W_{oh}) \times \frac{N}{20} = 9,45 \times N_{DR} (\$/h)$$

où: DR_h = coût des conducteurs, en dollars par heure

N = nombre de conducteurs, incluant les conducteurs supplémentaires, pour 2 relèves par jour.

Tableau 10. Coût des conducteurs (DR_h)

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t :camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers
conducteurs (incluant cond. supplémentaires)	#	46	34	30	24	42
DR_h - salaires des conducteurs	\$/h	434,70	321,30	283,50	226,80	396,90

Sommaire des frais fixes

On peut calculer le total des frais fixes par la formule:

$$C_{Fh} = D_h + IAAI_h + M_h + RI_h + DR_h$$

Ces coûts sont montrés au tableau 11.

Tableau 11. Sommaire des frais fixes

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t :camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers
D_h - amortissement	\$/h	161,00	142,80	138,00	180,53	154,38
$IAAI_h$ - intérêt sur inv. annuel	\$/h	68,43	60,69	58,65	86,76	102,06
M_h - frais divers	\$/h	25,16	26,56	23,44	28,13	45,78
RI_h - coût d'inv. dans les routes	\$/h	9,38	32,81	32,81	48,44	54,69
DR_h - coût des conducteurs	\$/h	434,70	321,30	283,50	226,80	396,90
Total des frais fixes, C_{Fh}	\$/h	698,67	584,16	536,40	570,66	753,81
Total des frais fixes par ensemble de transport	\$/h/tr.	30,38	34,36	35,76	47,56	35,90*

* Basé sur le nombre combiné de tracteurs [(11 + 10) = 21]

Calcul des frais variables

Les frais variables comprennent les éléments suivants:

- coût du carburant
- coût d'entretien
- coût des pneus

Calcul du coût du carburant

Hypothèses

- C_{TF} = coût du carburant = 0,43 \$/L
- FC_h = consommation de carburant en L/h/tracteur tel qu'indiqué au tableau 12.
- Le coût du carburant par kilomètre est calculé d'après la formule:

$$C_F = \frac{C_{TF} \times FC_h \times N_{TR}}{v_t}$$

où: C_F = coût du carburant en dollars par kilomètre pour le parc de véhicules

C_{TF} = coût du carburant en dollars par litre

FC_h = consommation en carburant en litres par heure par tracteur

N_{TR} = nombre de tracteurs

v_t = vitesse technique en kilomètres par heure

Tableau 12. Consommation en carburant et coût du carburant

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t:(b)90 t :camions:trains auxi- :rou- liaires:tiers
C_{TF} - coût du carburant	\$/L	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
FC_h - consommation en carburant	L/h/tr.	24*	45**	50**	36***	35** 60**
N_{TR} - nbre de tracteurs	#	20	15	13	11	9 9
v_t - vitesse technique	km/h	41	35	35	30	10 30
C_F - coût total du carburant	\$/km de parc	5,03	8,29	7,99	5,68	13,55 7,74

* expérience de Fraser

** expérience de l'industrie

*** 24 L/h pour le tracteur + (24 x 0,5) L/h pour le moteur du système de propulsion secondaire.
(Le moteur du système de propulsion secondaire ne fonctionne que quand la remorque est en charge.)

Calcul du coût d'entretien (C_M)

Les calculs sont faits séparément pour les tracteurs et pour les remorques, mais les hypothèses suivantes sont valables dans les deux cas.

Hypothèses

- Les coûts comprennent les coûts des pièces et les coûts de la main-d'oeuvre.
- Le taux chargé par le garage pour la main-d'oeuvre est de 23 \$/h.
- Le tableau 13 montre le nombre d'heures d'entretien et de réparations pour les divers cas étudiés. Ces heures sont basées sur l'expérience de l'industrie.
- Le nombre d'heures de fonctionnement prévues par année est de 3200.
- Le coût de la main-d'oeuvre par kilomètre pour chaque parc de véhicules est déterminé par la formule:

$$LC_{KM} = \frac{H \times 23 \times N_{TR}}{3200 \times v_t}$$

où: LC_{KM} = coût de la main-d'oeuvre en \$/km

H = heures d'entretien par année

23 = taux chargé par le garage en \$/h

N_{TR} = nombre d'unités de transport

v_t = vitesse technique en km/h

- Les coûts des pièces par heure de fonctionnement sont indiqués au tableau 13.

- g) Le coût des pièces par kilomètre de parc est déterminé par la formule:

$$PC_{km} = \frac{PC_h \times N_{TR}}{v_t}$$

où: PC_{km} = coût des pièces en \$/km
 PC_h = coût des pièces en \$/h

Tableau 13. Coûts d'entretien et de réparations (C_M)

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t: (b)90 t camions: trains auxiliaires: tiers	
heures d'entretien par année:							
- tracteurs	h/an	1150	1035	1035	1495	1035	920
- remorques	h/an	1150	1035	1035	1035	920	920
coût de la main-d'œuvre:							
- tracteurs	\$/km	4,03	3,19	2,76	3,94	6,70	1,98
- remorques	\$/km	4,03	3,19	2,76	5,46	6,82	6,82
coût des pièces:							
- tracteurs	\$/h	6,58	7,57	7,90	9,21	7,24	8,55
- remorques	\$/h	5,29	5,82	5,92	6,35	6,35	6,35
coût des pièces:							
- tracteurs	\$/km	3,21	3,24	2,93	3,38	6,52	2,57
- remorques	\$/km	2,58	2,49	2,20	4,66	5,71	3,81
coût d'entretien:							
- tracteurs	\$/km	7,24	6,43	5,69	7,32	13,22	4,55
- remorques	\$/km	6,61	5,68	4,96	10,12	12,53	10,63
coût total d'entretien - C_M	\$/km	13,85	12,11	10,65	17,44	25,75	15,18

Calcul du coût des pneus

Hypothèses

- a) Les coûts horaires des pneus pour les tracteurs et les remorques sont indiqués au tableau 14.
- b) Dans l'exemple présent, le coût des pneus pour l'ensemble de 35 t est:

tracteur : \$2,23/h
 remorque : \$1,26/h
 Total : \$3,49/h

- c) Le coût des pneus par kilomètre (C_T) peut être calculé d'après la formule:

$$C_T = \frac{C_{Th} \times N_{TR}}{v_t} \text{ ($/km)}$$

Sommaire des frais variables

Le total des frais variables (C_{VKM}) peut être calculé d'après la formule:

$$C_{VKM} = C_F + C_M + C_T \text{ ($/km)}$$

6 Le tableau 15 présente un sommaire de ces frais.

Tableau 14. Coût des pneus

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t: (b)90 t camions: trains auxiliaires: tiers	
coût horaire des pneus:							
- tracteurs	\$/h	2,23	2,45	2,58	2,45	2,00	2,83
- remorques	\$/h	1,26	1,39	1,46	3,20	1,60	3,20
coût total des pneus - C_{Th}	\$/h	3,49	3,84	4,04	5,65	3,60	6,03
nombre de tracteurs	=	20	15	13	11	9	9
nombre de remorques	=	20	15	13	11 (train)	9	9 (train)
coût total des pneus - C_t	\$/km	1,70	1,65	1,50	2,07	3,24	1,81

* Deux remorques

Tableau 15. Sommaire des frais variables

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t: (b)90 t camions: trains auxiliaires: tiers	
C_F - carburant	\$/km	5,03	8,29	7,99	5,68	13,55	7,74
C_M - entretien	\$/km	13,85	12,11	10,65	17,44	25,75	15,18
C_T - pneus	\$/km	1,70	1,65	1,50	2,07	3,24	1,81
C_{VKM} - total frais variables	\$/km	20,58	22,05	20,14	25,19	42,54	24,73

Calcul du coût total annuel

On trouvera au tableau 16 le total annuel des frais fixes et variables. Le tableau montre également le coût de transport par mètre cube de bois.

Tableau 16. Total annuel des frais fixes et variables

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t: (b)90 t camions: trains auxiliaires: tiers	
total des frais fixes	\$/h	698,67	584,16	536,40	570,66	753,81	
heures de fonctionnement/an	h/an	3200	3200	3200	3200	3200	
coût fixe	\$/an	2 235 700	1 869 300	1 716 500	1 826 100	2 412 200	
total des frais var.	\$/km	20,58	22,05	20,14	25,19	42,54	24,73
voyages/an	#	709	597	587	482	1180	621
distance	km	112	112	112	112	16	96
coût var.	\$/an	1 634 200	1 474 400	1 324 100	1 359 900	803 200	1 474 300
coût total	\$/an	3 869 900	3 343 700	3 040 600	3 186 000	4 689 700	
volume de bois	m ³	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	
coût/m ³	\$/m ³	7,74	6,69	6,08	6,37	9,38	
différentiel*	\$/m ³	0	-1,05	-1,66	-1,37	+1,64	
différentiel*	%	0	-13,6	-21,5	-17,7	+21,2	

* avec le cas (i)

Calcul du coût total par tonne-kilomètre

Le coût total par tonne-kilomètre peut être calculé d'après la formule suivante:

$$C_{tkm} = \frac{1}{T_1 \times \gamma \times \beta} \left[C_{VKM} + \frac{C_{Fh} (d_1 + v_t \times \beta \times t_{ul})}{d_1 v_t} \right]$$

où:

- C_{tkm} = coût en dollars par tonne-kilomètre
- T_1 = charge utile théorique, en tonnes métriques
- γ = coefficient d'utilisation de la charge = 0.85
- β = coefficient de charge, aller-retour = 0.50
- C_{VKM} = coût variable total, en dollars par kilomètre par ensemble routier
- C_{Fh} = coût fixe total, en dollars par heure par ensemble routier
- d_1 = distance en charge, en kilomètres
- v_t = vitesse technique, en kilomètres par heure
- $t_{ul} = t - t_d - t_w$, en heures
- t_t = temps total par voyage, en heures
- t_d = temps total de conduite, en heures
- t_w = temps total d'attente, en heures

Le tableau 17 donne le coût total par tonne-kilomètre pour chacun des cinq cas étudiés.

Tableau 17. Coût par tonne-kilomètre

	U N I T É S	(i) 35 t	(ii) 54 t	(iii) 63 t	(iv) 90 t	(v) (a)45 t;(b)90 t camions;trains aux-;rou- liaires;tiers
C_{tkm}	\$/tkm	0,1147	0,0992	0,0901	0,0944	0,1390
Différentiel	%	0	-13,6	-21,5	-17,7	+21,2

L'application pratique de la formule qui précède est donnée à la figure 5.

Dans cette figure, le coût total, en dollars par tonne-kilomètre, est en ordonnée, et différentes variables sont en abscisse.

Les variables examinées sont:

Vitesse technique sur route v_t (km/h).

La courbe montre que le coût total, en \$/t-km, varie avec l'augmentation de la vitesse technique sur route. Par exemple, si la vitesse du camion monte de 30 à 60 km/h, le coût total diminue d'environ 0,02 \$/t-km (en supposant que tous les autres facteurs restent inchangés).

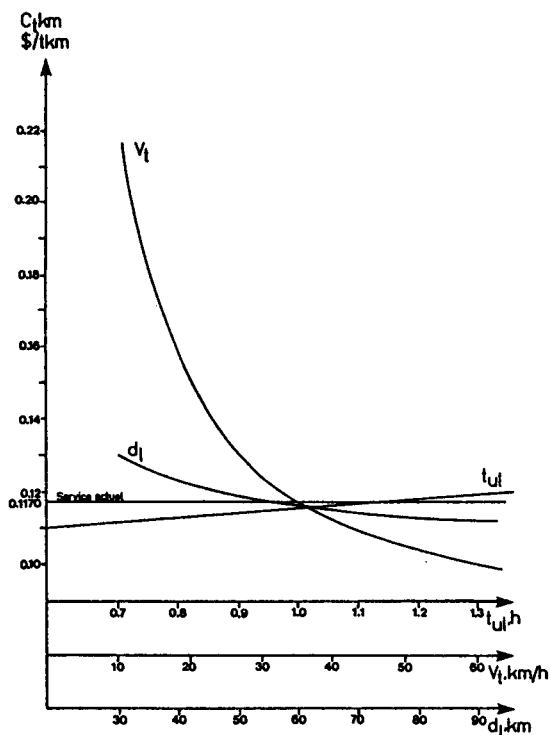


Figure 5. Diagramme des coûts - opération actuelle - charge utile 63 t.

Distance en charge d_1 (km).

Par exemple, si la distance augmente de 50 à 90 km, le coût diminue d'environ 0,012 \$/t-km (tous autres facteurs supposés inchangés).

Temps total de chargement et de déchargement t_{ul} (h).

Par exemple, si le temps de chargement et de déchargement augmente de 0,7 h à 1,3 h, le coût total augmente d'environ 0,007 \$/t-km.

En d'autres termes, on peut déduire l'influence de l'une quelconque des trois variables au moyen de la formule ci-dessus.

Discussion

Pour permettre de mieux comprendre l'influence de certains facteurs opérationnels sur le coût par t-km, nous avons préparé un diagramme que nous présentons ici pour le cas iii.

Ce diagramme a été calculé au moyen de la formule pour le coût par t-km, en faisant varier un seul facteur et en gardant les autres constants. Ceci (en certains cas) n'est pas tout à fait exact, puisque la variation d'un seul facteur peut avoir un effet sur un ou plusieurs autres facteurs. Il faut mentionner toutefois que le changement dans la productivité est plus rapide que le changement dans le coût, compte tenu de variations de la vitesse technique, de la charge utile, ainsi que des temps de chargement et de déchargement.

Comme on peut le constater à l'examen de ce diagramme, les résultats pourraient changer considérablement avec la variation de certaines données. Cela met en évidence le besoin de recueillir des données réelles sur le terrain et de préparer une banque d'informations à la disposition de l'industrie, de façon à obtenir de plus en plus de conclusions précises et fiables à partir de ce type d'études. La compilation d'une banque de données de ce genre constitue une part active du programme actuel de recherches de FERIC sur le transport routier.

Quand on utilise une méthode comme celle décrite dans la présente fiche technique, on procède habituellement à la première série de calculs avec des données qui se situent dans la partie la plus optimiste de l'éventail de données possibles. Après avoir éliminé les divers systèmes ou éléments donnant les coûts les plus élevés, on effectue d'autres calculs dans le but de comparer les options les plus intéressantes, compte tenu de conditions telles que des changements majeurs dans les expéditions annuelles de bois (marchés) ou la distance de transport (pour récupérer les peuplements endommagés par le feu ou les insectes).

Il y a également des facteurs opérationnels ou organisationnels à considérer, qui jusqu'à ce moment n'ont pas été nécessairement inclus dans l'analyse comparative. Ainsi, un ensemble à une seule remorque possède des avantages inhérents, car il est plus souple sur les chemins auxiliaires et demande un moins grand nombre de modifications de la route. De plus les remorques peuvent être chargées, soit de l'avant, soit de l'arrière, au moyen de chargeuses forestières standard. Au contraire, l'ensemble à deux remorques demanderait des chargeuses différentes pour charger depuis le côté, et les chemins auxiliaires devraient être adaptés en fonction du passage de trains routiers.

Sans doute les plus grands avantages qu'offre l'utilisation d'une méthode de ce genre pour comparer les divers ensembles de transport viennent de ce qu'il est possible de suivre facilement la logique de développement des coûts et d'en discuter en cas de désaccord. Mais une fois qu'on s'est entendu sur les coûts prévus du camionnage, les différences entre les options peuvent être suffisamment élevées pour justifier l'effort ou la dépense nécessaires à l'élimination des contraintes que posent le réseau routier, l'agencement du parc de transfert, les installations de garage ou la formation d'une équipe, tous ces éléments étant autrement susceptibles de devenir des excuses rationnelles pour écarter le choix de la solution offrant le meilleur rendement économique.