

LES CHARGES ROUTIERES SUR LES PONTS

Gaumont, Yvon

CANQ
TR
842

457647

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

LES CHARGES ROUTIERES SUR LES PONTS

GAUMOND Yvon

ingénieur

Ministère des Transports

Québec

mars 1986



GTAP
CANO
TR
842

SOMMAIRE

0 INTRODUCTION	1
1 CONCEPTION DES PONTS	2
1.1 Historique des charges de conception	2
1.2 Charge de conception de référence	4
1.3 Marge de sécurité	5
2 PORTRAIT DES PONTS DU QUEBEC	7
2.1 Charge de conception	7
2.2 Année de construction	9
2.3 Constatations	10
3 EFFORTS DUS AUX CHARGES LEGALES	11
3.1 Charges légales	11
3.2 Charges admissibles sur un pont	12
3.3 Augmentation des efforts	13
3.4 Exemple	14
4 EFFETS DES CHARGES LEGALES	15
4.1 Coûts d'entretien	15
4.2 Durée de vie	15
4.3 Coûts de remplacement	16
5 CONCLUSION	18

0 INTRODUCTION

Les organismes responsables de la gestion du réseau routier, et plus particulièrement des ponts, font face à un problème complexe.

D'une part ces ouvrages sont soumis à un trafic qui ne cesse d'augmenter tant en nombre qu'en poids.

D'autre part les autorités ont l'obligation primordiale d'assurer en tout temps la sécurité du public sur un réseau très diversifié comprenant des ponts de types, d'âges, de capacités et d'états différents.

Pour compliquer le problème, les transporteurs demandent régulièrement une augmentation des charges permises et désireraient sans doute que le contrôle des charges et des dimensions des véhicules soit moins rigoureux.

Appelé à donner son avis, l'ingénieur responsable de la conservation des ponts se demande alors jusqu'à quelle limite il peut autoriser des charges toujours plus grandes et plus nombreuses sur ces structures. La réponse non seulement engage sa responsabilité professionnelle envers les utilisateurs des ouvrages d'art, mais aussi implique des coûts d'entretien croissants et une diminution de la durée de vie de ces ouvrages.

Dans cette perspective, il convient d'examiner d'abord les charges utilisées lors de la conception des ponts et de classer les structures existantes en fonction de ces charges; cette compilation fournira une image de la capacité des ponts du Québec.

Par la suite la question fondamentale sera posée: "Quels sont les effets sur ces ouvrages des charges légales actuelles?" Cette question doit être examinée en considérant la sécurité publique en même temps que l'intérêt économique relié à l'industrie du transport routier.

1 CONCEPTION DES PONTS

Evidemment un pont doit pouvoir porter son poids propre, comme le poids des poutres, de la dalle et de l'enrobé bitumineux, plus le poids des véhicules qui l'empruntent. Or comme il existe une grande variété de véhicules, il est habituel d'utiliser pour le calcul des ponts une surcharge normalisée constituée d'un camion type et d'une charge uniforme; cette surcharge, appelée par la suite "charge de conception", représente les charges routières courantes et les effets des véhicules réels. L'expression "charge totale de conception" comprendra cette surcharge normalisée plus le poids propre du pont.

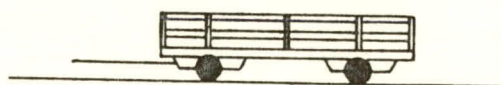
1.1 Historique des charges de conception

Au Québec, comme un peu partout en Amérique du Nord, la charge de conception a évolué pour correspondre aux véhicules commerciaux utilisés à une époque donnée. La figure 1 illustre l'évolution du véhicule standard de conception au cours des ans.

Au début du siècle, alors que les routes ressemblaient souvent à des sentiers de terre battue, les ponts étaient calculés pour supporter un wagon de 5 ou 10 tonnes. Ce type de charge fut remplacé, vers 1910, lors de l'arrivée des machines à vapeur, par un véhicule de 15 tonnes. Au début des années 30, les concepteurs américains ont proposé la série de charges H10, H15 et H20 représentées par un camion à deux essieux pesant 10, 15 ou 20 tonnes. L'utilisation de l'ensemble tracteur semi-remorque débuta vers 1944: c'est la surcharge bien connue H20-S16, d'un poids total de 36 tonnes réparti sur 3 essieux. En 1971 le ministère des Transports l'augmenta de 25%, avec l'introduction de la charge de calcul H25-S20, pour compenser l'augmentation des charges légales. Puis il profita de la conversion des mesures au système métrique en 1980 pour l'augmenter encore de 12% avec l'emploi de la charge MS250.

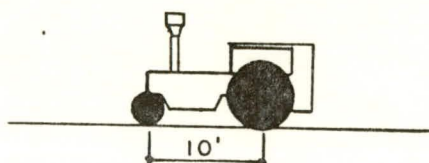
La surcharge normalisée sera de nouveau modifiée en 1986 avec l'avènement du nouveau camion de calcul CSW; celui-ci répartira une charge totale légèrement supérieure au camion MS250 sur 4 essieux au lieu de 3. Ce changement est le fruit d'une étude de plusieurs années concernant la circulation des camions sur les routes du pays, sous l'égide de l'Association canadienne de normalisation.

a) Avant 1910



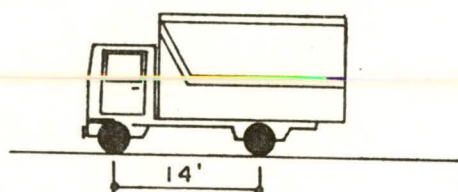
CHARIOT 5 t. ou 10 t.

b) 1910



5 t. 10 t.
ENGIN A VAPEUR 15 t.

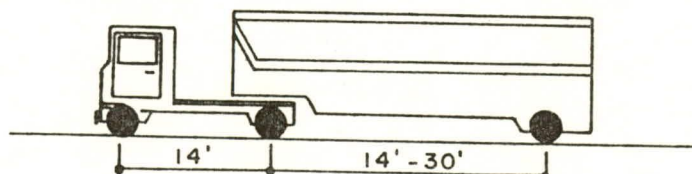
c) 1930



H 10
H 15
H 20

2 t. 8 t.
3 t. 12 t.
4 t. 16 t.

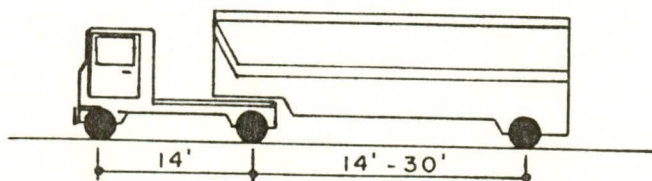
d) 1944



H 20 - S 16
H 15 - S 12

4 t. 16 t. 16 t.
3 t. 12 t. 12 t.

e) 1971



H 25 - S 20

5 t. 20 t. 20 t.

f) 1980



MS 250

5,6 t. 22,5 t. 22,5 t.

FIGURE I. Véhicules standards de conception.

Les dates mentionnées à la figure 1 indiquent le début de l'utilisation généralisée d'une certaine charge de calcul; ce qui n'empêcha pas la conception de nombreux ponts avec les anciennes charges ou avec des charges plus grandes. En effet si on peut affirmer que l'emploi de la charge H20-S16 a commencé en 1944, les charges plus faibles H20 et H15 ont quand même continué à être utilisées durant plusieurs années, en particulier pour des ponts de moindre importance. Plusieurs ingénieurs affirment que, de façon générale, les ponts construits depuis 1950 sont des ponts "modernes" tant au point de vue capacité qu'au point de vue contrôle de la construction et des matériaux. Les ponts plus anciens constituent donc un problème en ce qui concerne la charge admissible en toute sécurité, sauf les ponts à grande portée où la capacité est plus forte.

1.2 Charge de conception de référence

Plus loin la charge H20-S16 sera souvent utilisée comme charge de référence, parce qu'elle a servi au calcul d'un pourcentage important des ponts actuellement en service dans la province. La figure 2 montre, pour différentes portées simples, le rapport entre les moments fléchissants de certaines charges de conception et ceux de la charge H20-S16.

Les efforts dus à la charge H15, avec laquelle plusieurs ponts ont été conçus, n'égale que 50% des efforts produits par la charge de référence et 35% de ceux produits par la charge MS250. Cette dernière, présentement utilisée, produit des efforts de 41% supérieurs à ceux de la charge H20-S16.

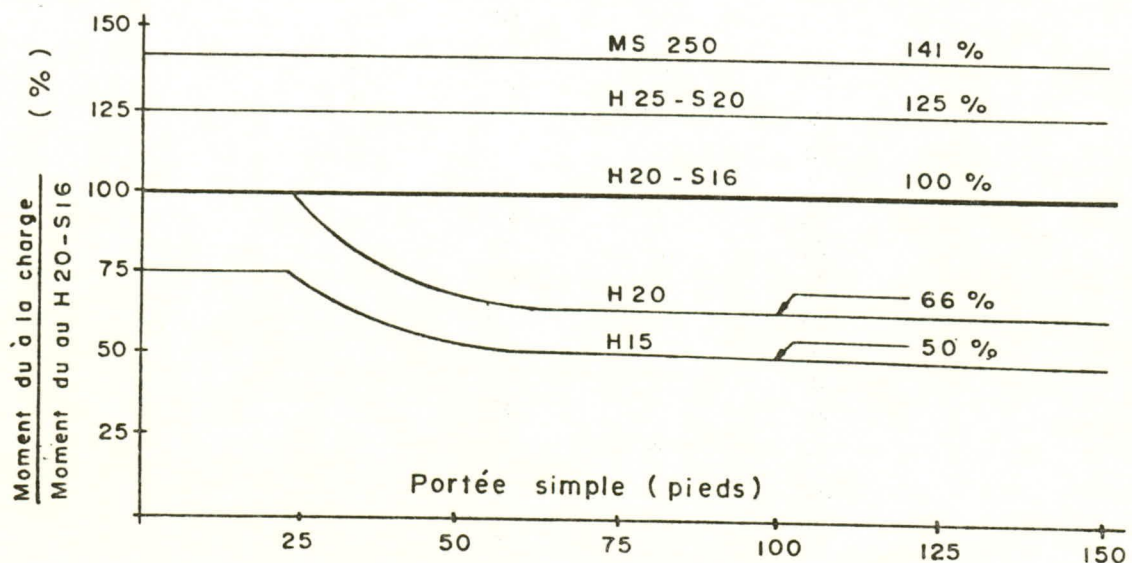


FIGURE 2. Rapport entre les moments fléchissants dus à des charges de conception et ceux dus au H20-S16.

1.3 Marge de sécurité

Entre la charge totale de conception et la charge maximale théorique qu'un pont peut porter, il existe une marge qui tient compte des incertitudes liées aux approximations des hypothèses, aux simplifications et aux erreurs des calculs, aux imperfections d'exécution, au calcul de la résistance de la section, à une variation dans la résistance des matériaux, etc. Cette marge inclut également des surcharges temporaires que le pont devra probablement supporter comme l'excédent de poids des véhicules réels comparé à la charge normalisée de conception. Il y a 40 ans, le concepteur d'un pont ne pouvait prévoir l'évolution du transport jusqu'à aujourd'hui, pas plus qu'il n'est possible de prévoir ce que seront les modes de transport du siècle prochain.

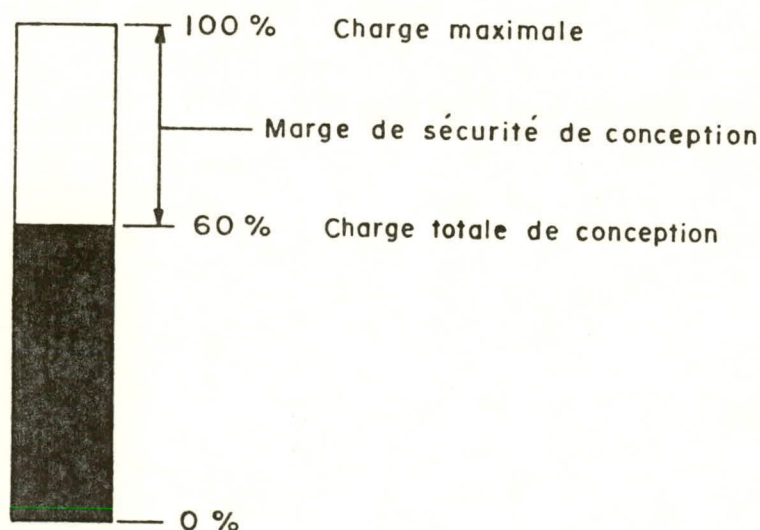


FIGURE 3. Marge de sécurité.

La partie foncée de la figure 3 représente la charge totale prévue lors du dimensionnement, soit par exemple 60% de la charge maximale théorique dans le cas d'un pont à poutres d'acier non composite, tandis que la partie supérieure représente la marge de sécurité que les normes exigent pour tenir compte des facteurs moins bien connus.

On peut aussi illustrer le comportement sous charge d'un pont type à l'aide de la figure 4. Lorsque ses éléments constitutifs atteignent leur limite d'élasticité, un pont ne s'effondre pas; il se déforme cependant de façon permanente et son comportement ultérieur devient imprévisible. Les concepteurs craignent toujours ce point à partir duquel les déformations deviennent irréversibles et cherchent à garder les contraintes du matériau bien en deçà de cette valeur.

C'est pourquoi la capacité théorique ou la charge maximale d'utilisation fiable d'un pont est inférieure à la charge maximale donnée par la limite d'élasticité. Cette différence ou cette marge de sécurité d'utilisation tient compte d'une variation dans les propriétés des matériaux, dans les dimensions et dans la qualité de la construction. Elle dépend aussi de l'état de détérioration de la structure et du degré de confiance dans le calcul de la résistance. Il faut se rappeler que la fiabilité d'un pont est décroissante dans le temps, son déclin commençant immédiatement après sa construction.

Pour des charges totales inférieures à la capacité théorique, on ne prévoit aucune détérioration structurale due aux charges, à part les problèmes de fatigue qui peuvent survenir. Par contre les charges dont l'intensité se situe au-dessus de la capacité théorique exposent le pont à des dégâts structuraux.

Lors de la conception d'un pont, il faut envisager la possibilité qu'un jour les charges routières permises occasionnent des efforts supérieurs à ceux causés par la surcharge normalisée. C'est pourquoi les normes exigent une marge de sécurité de conception plus grande que la précédente.

Cette distinction entre les deux marges de sécurité s'explique par l'examen des normes pour un pont en acier. Alors que l'ACNOR fixe la contrainte de conception à 60% de la limite d'élasticité du matériau, la contrainte d'utilisation peut atteindre 75% de ce niveau en réduisant la marge de sécurité de conception.

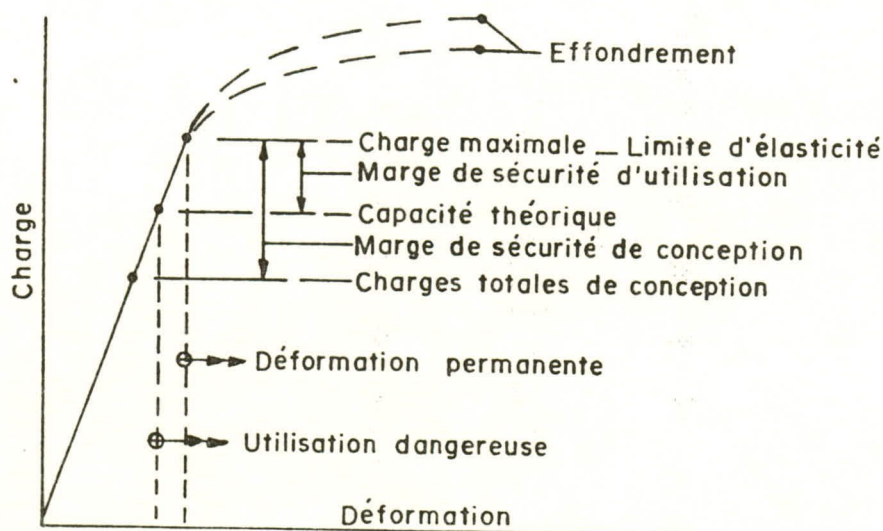


FIGURE 4. Comportement théorique d'un pont.

2 PORTRAIT DES PONTS DU QUEBEC

Après avoir passé en revue les surcharges normalisées de calcul, il semble opportun de répartir les ponts du Québec selon leur capacité de conception et leur âge.

Le réseau routier du Québec comprend 58000 km de routes classées de la façon suivante: 3000 km d'autoroutes, 9000 km de routes principales ou provinciales, 8000 km de routes secondaires ou régionales, et 38000 km de routes locales ou rurales. Sur ce réseau on rencontre plus de 8000 ponts; la figure 5 illustre leur répartition selon chaque classe de routes.

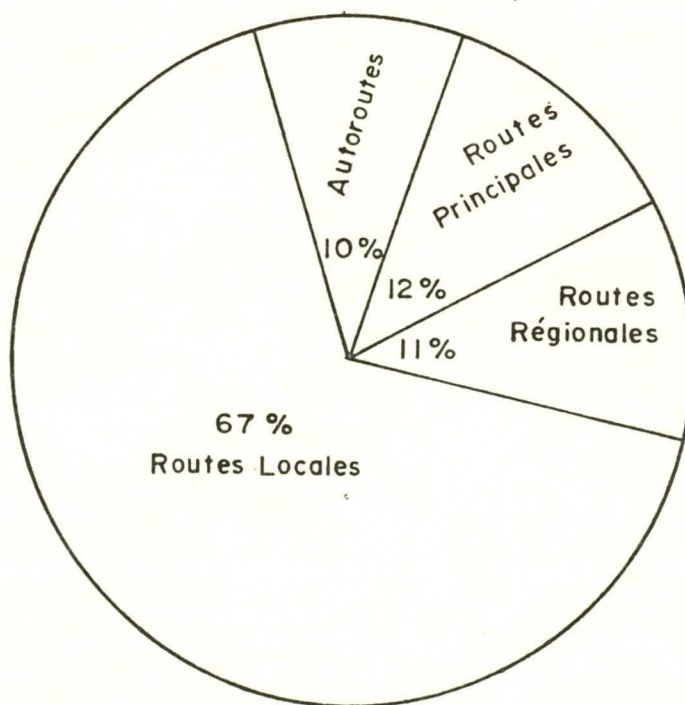


FIGURE 5. Répartition des ponts selon la classe de routes.

2.1 Charge de conception

La compilation des charges de calcul d'environ 2000 ponts a permis la mise en graphique des figures 6 à 9; ces graphiques fournissent le pourcentage des ponts inventoriés conçus avec chaque charge de calcul selon la classe de routes. On constate que plus la route est importante, plus la proportion de ponts calculés avec une charge élevée augmente. La figure 10 résume ce pourcentage pour tous les ponts inventoriés et pour toutes les classes de routes.

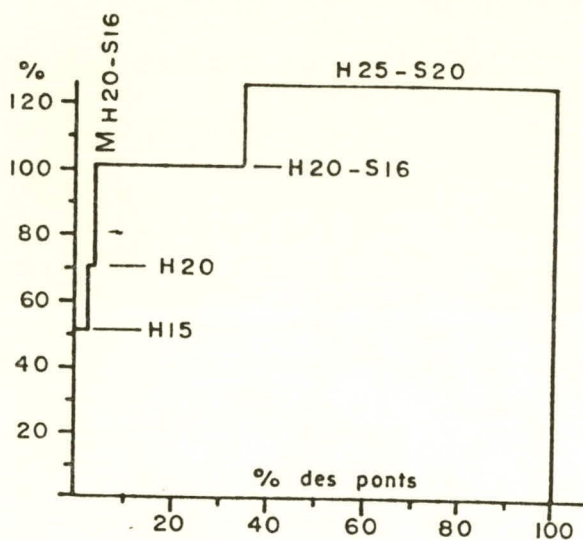


Figure 6_ Autoroutes.

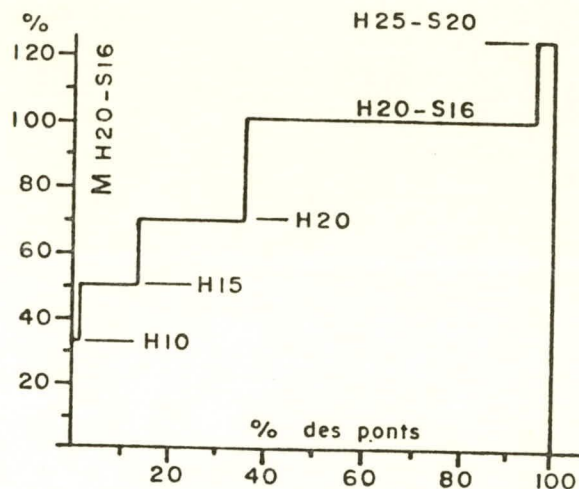


Figure 7_ Routes Principales.

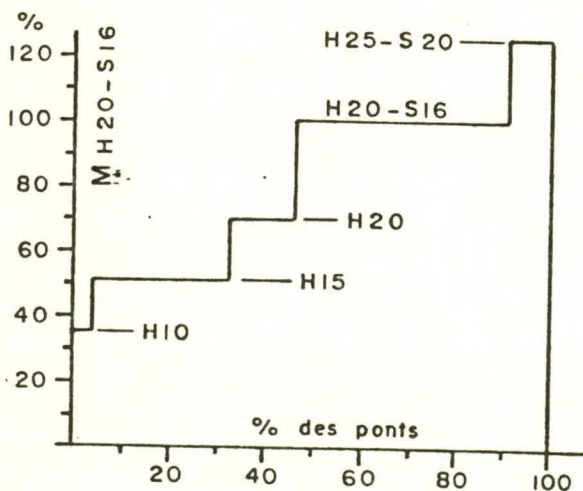


Figure 8_ Routes Régionales.

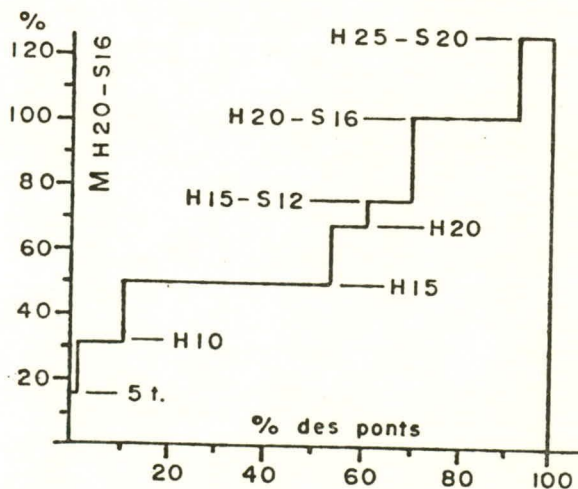


Figure 9_ Routes Locales.

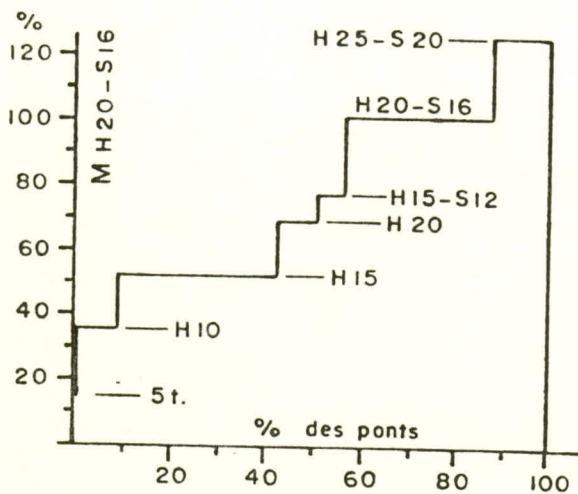


Figure 10_ Ensemble du réseau.

FIGURES 6 à 10
Répartition des ponts
selon la charge de
conception pour chaque
classe de routes.

2.2 Année de construction

Les figures 11 et 12 montrent le pourcentage des ponts construits durant une période donnée sur les autoroutes et sur l'ensemble des routes. Les figures 13 et 14 donnent le pourcentage cumulé dans les deux cas. Les routes autres que les autoroutes ne sont pas représentées, car leurs courbes individuelles de répartition se rapprochent beaucoup des courbes pour l'ensemble des routes.

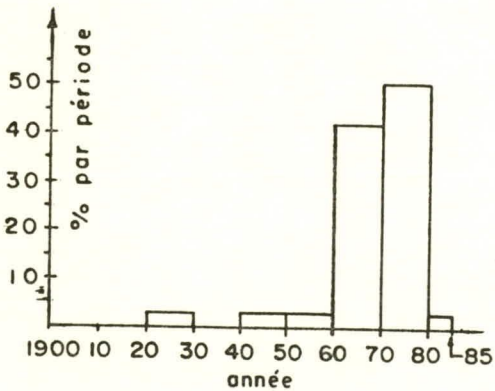


FIGURE 11. Autoroutes.

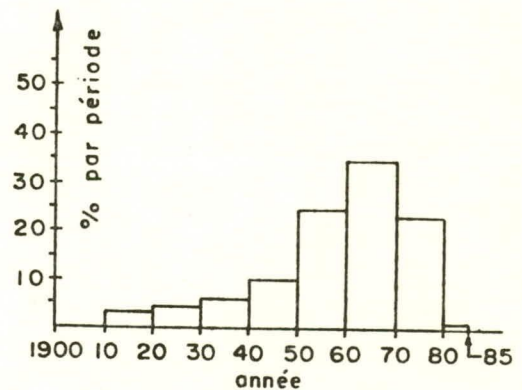


FIGURE 12. Ensemble du réseau.

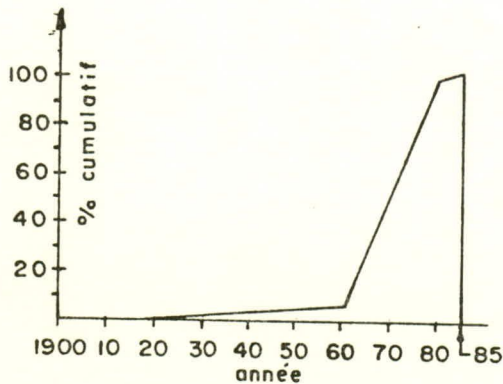


FIGURE 13. Autoroutes.

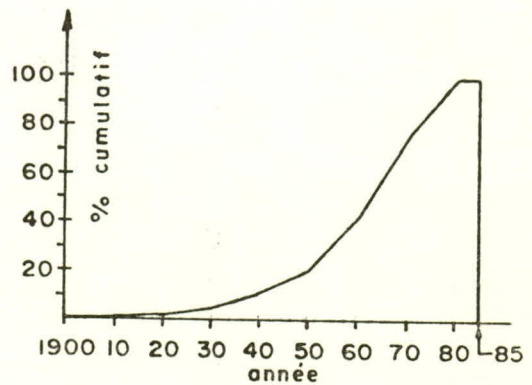


FIGURE 14. Ensemble du réseau.

FIGURES 11 à 14. Répartition des ponts selon l'année de construction.

2.3 Constatations

Le tableau 1 présente un résumé des ponts inventoriés selon la charge de calcul et selon l'âge. Les valeurs inscrites, tirées des figures précédentes, indiquent les pourcentages cumulatifs des ponts pour chaque classe de routes.

Classe de route	%	Charge de conception			Age (années)		
		<H20-S16	<H15	<H10	>25	>35	>45
Autoroutes	10	5%	4%	-	6%	4%	-
Principales	12	35	13	2	53	21	9
Régionales	11	44	33	4	48	23	11
Locales	67	69	54	12	46	20	11
Total	100	56	42	9	43	19	10

Tableau 1. Répartition des ponts selon la charge de conception et selon l'âge.

L'examen du tableau montre que sur les autoroutes seulement 5% des ponts ont été conçus avec une charge inférieure à H20-S16 et 6% ont plus de 25 ans. Cependant un pourcentage important des ponts des autres classes de routes ont une charge de calcul que l'on peut qualifier de faible, surtout si on considère le nombre de ponts conçus avec une charge égale ou inférieure à H15. De plus, sur ces autres routes, on retrouve beaucoup de ponts plus âgés que sur les autoroutes.

3 EFFORTS DUS AUX CHARGES LEGALES

3.1 Charges légales

Les charges légales ont pour but de contrôler l'utilisation des véhicules lourds qui pourraient endommager les routes et les ponts. Au fil des années, ces charges ont évolué avec le développement du transport. Les charges légales présentement en vigueur au Québec sont résumées à la figure 15. On y retrouve la charge maximale selon le type d'essieux et la charge maximale totale pour différents types de véhicules commerciaux.

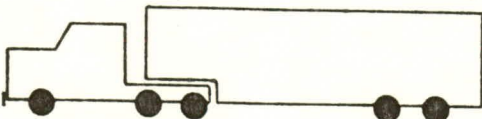
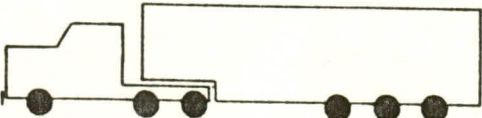
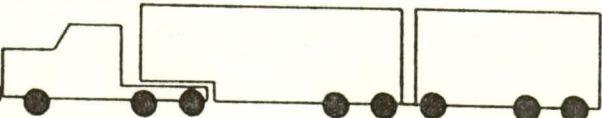
		Charges maximales
ESSIEUX simple		22000 lb
tandem		44000 lb
triple		66000 lb
Tracteur et semi-remorque		94600 lb
		116600 lb
Tracteur, semi- remorque et remorque		126500 lb

FIGURE 15. Charges légales maximales au Québec.

Les charges d'essieux affectent la chaussée, le tablier, certaines membrures d'un pont et les ouvrages de courte portée, tandis que la charge globale d'un ou de plusieurs véhicules cause des efforts plus grands dans les principaux éléments porteurs d'un pont.

3.2 Charges admissibles sur un pont

Il est absolument impensable de limiter la charge admissible sur un pont à la charge de calcul utilisée lors du dimensionnement, autrement un grand nombre de ponts actuellement en service devraient être confortés ou remplacés, ou les charges légales abaissées.

Il est plutôt d'usage, un peu partout dans le monde, d'utiliser la réserve de capacité des ponts, surtout des plus anciens, de façon à y laisser circuler le trafic moderne. On accepte alors des contraintes ou des efforts supérieurs à ceux calculés lors du dimensionnement. Cependant une certaine marge de sécurité doit être conservée, autrement le pont est soit remplacé soit limité à une charge inférieure aux charges légales. Il appartient à l'ingénieur de déterminer la capacité théorique qu'un pont peut supporter. A cette fin, il doit faire appel autant à son jugement qu'à des calculs purement théoriques, à cause des nombreux impondérables rencontrés dans chaque cas.

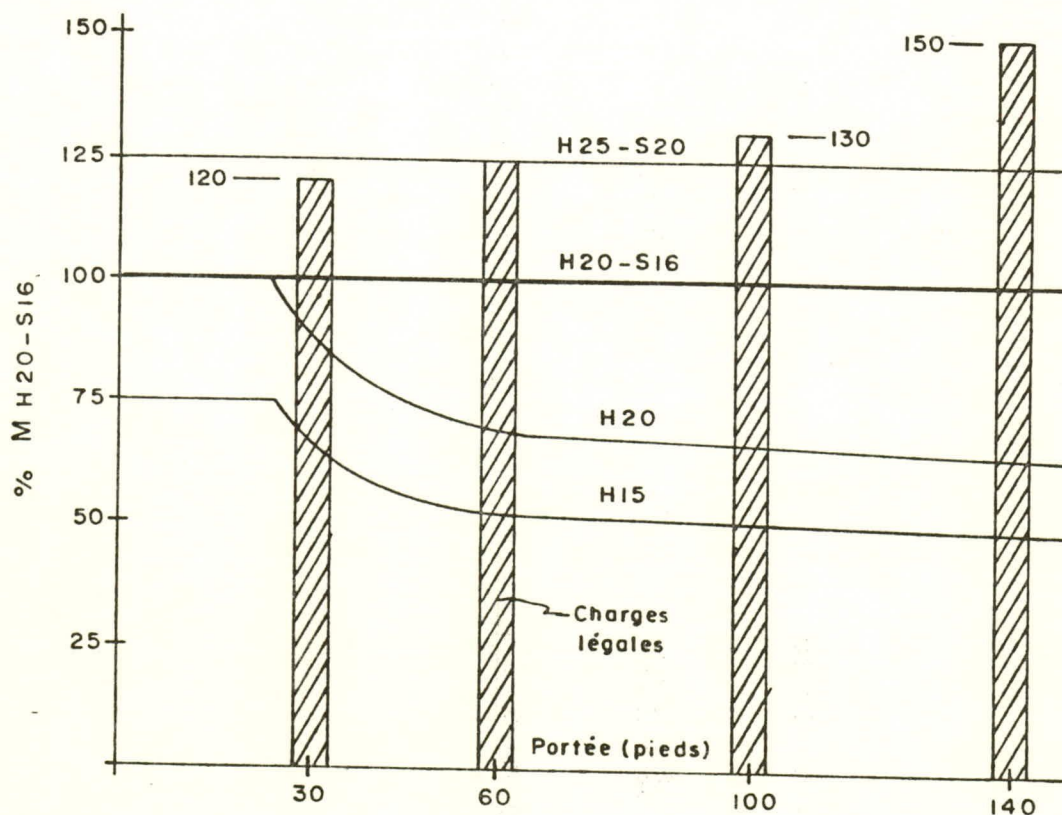


FIGURE 16. Charges légales et charges de conception.

3.3 Augmentation des efforts

La dernière refonte majeure de la législation sur les charges légales remonte à 1971. Ces nouvelles charges légales avaient été basées sur une augmentation des efforts, augmentation variable selon la portée. Ainsi sur un pont de 30 pieds, on augmentait les efforts de 120% par rapport à ceux produits par la charge H20-S16, et sur un pont de 140 pieds, on les augmentait de 150%. (fig.16).

Cette augmentation des efforts se traduit par une augmentation des contraintes totales dans un pont conçu avec la charge H20-S16. La figure 17 montre que les contraintes dues à la somme des charges permanentes et légales dépassent d'environ 13 % celles causées par la charge permanente et la charge H20-S16. Comme le rapport de la charge permanente à la surcharge est variable avec la portée, les contraintes totales deviennent égales quelle que soit la portée.

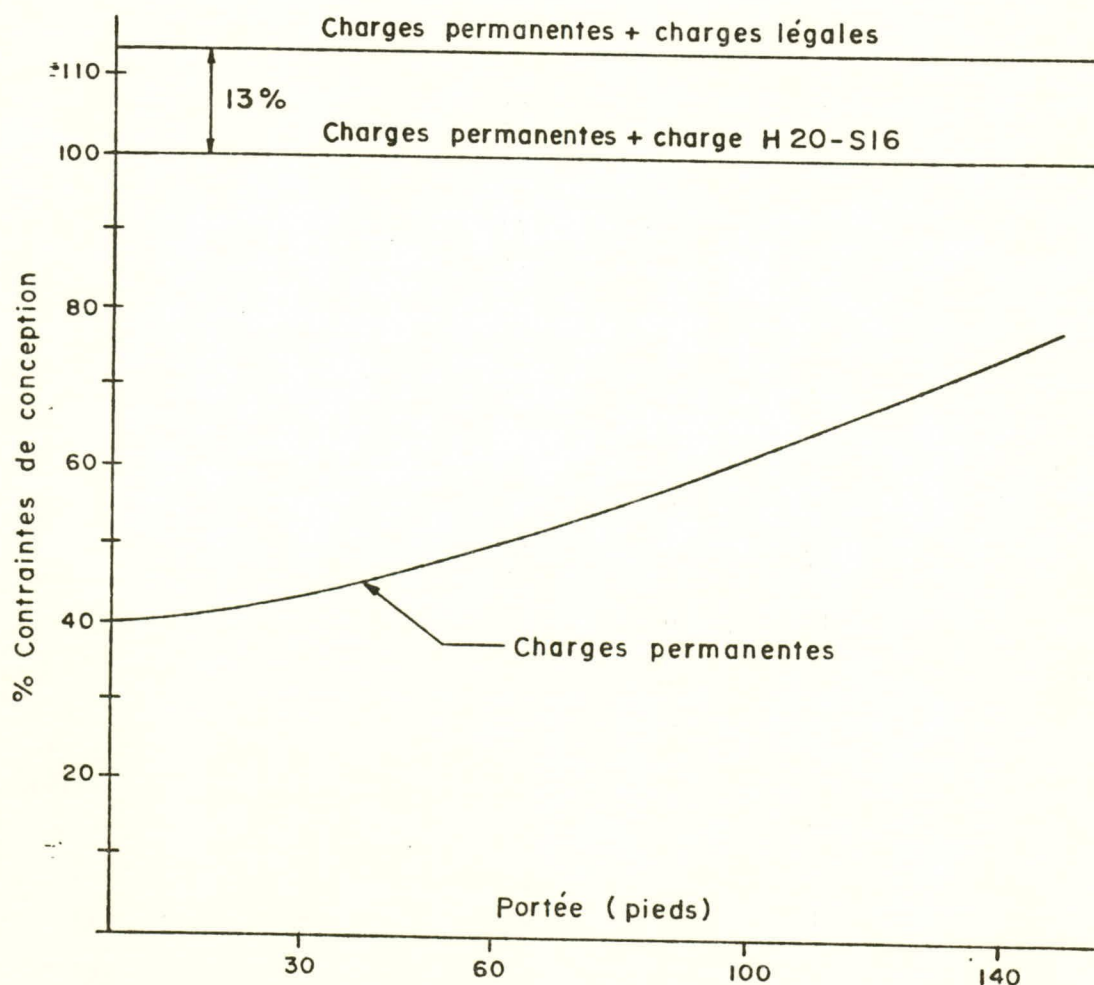


FIGURE 17. Contraintes totales. Pont conçu H 20-S16.

3.4 Exemple

La figure 18 montre un pont type de notre réseau routier. Il est constitué d'une dalle de béton armé reposant sur des poutres d'acier non composite de 60 pieds de portée. Théoriquement les contraintes totales dans les poutres sont égales à 60% de la limite élastique du matériau avec la surcharge de conception, mais atteignent 68, 81 et 90% de cette limite avec les charges légales maximales, lorsque le pont a été conçu avec une charge H20-S16, H20 ou H15. Il est évident que les contraintes obtenues par calcul seront différentes pour d'autres portées et d'autres types de structures, et que les contraintes réelles pourront s'éloigner des contraintes théoriques. Cet exemple sert seulement à démontrer que le niveau des contraintes dans certains ponts, conçus initialement avec une charge inférieure à H20-S16, s'approche de la limite d'élasticité du matériau. La marge de sécurité d'utilisation devient alors extrêmement réduite.

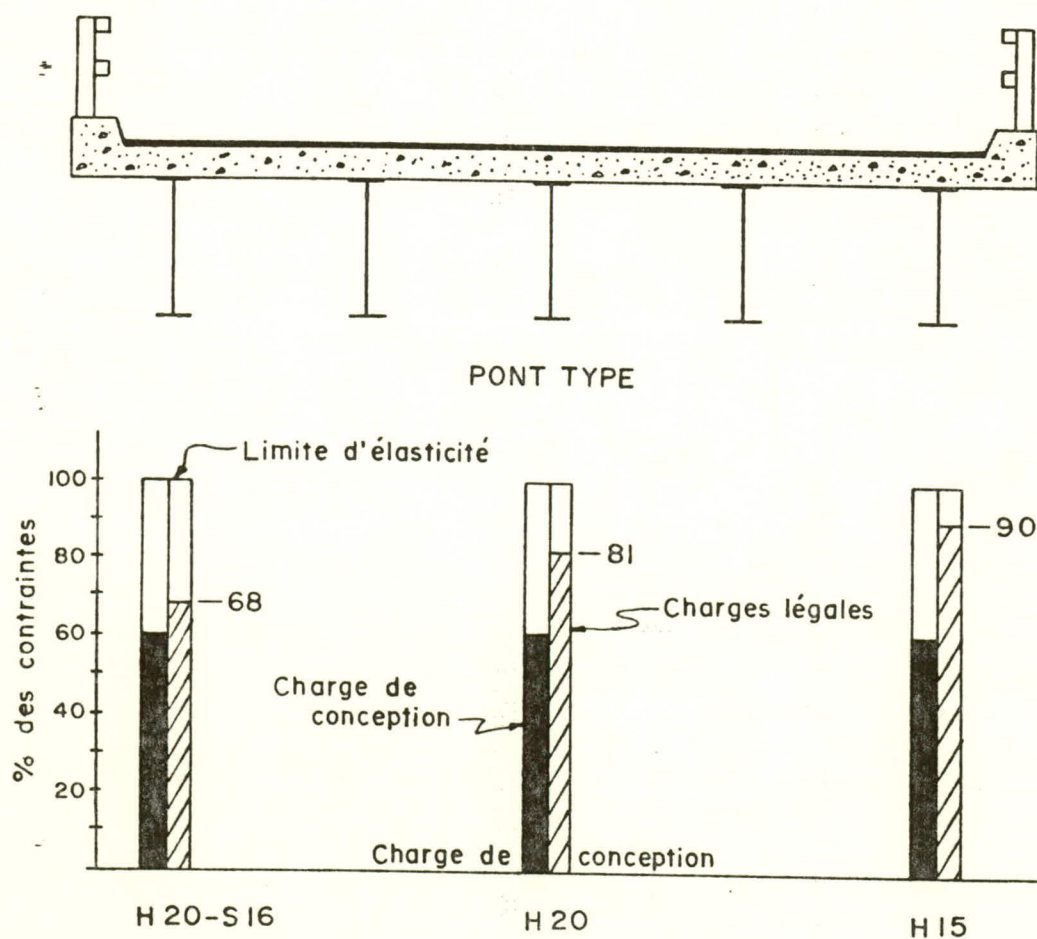


FIGURE 18. Pourcentage des contraintes totales dans une portée de 60 pieds selon la charge de conception.

4 EFFETS DES CHARGES LEGALES

4.1 Coûts d'entretien

Les ponts ont été calculés avec différentes charges de conception représentant les véhicules commerciaux utilisés à une époque donnée. Si les véhicules franchissant un pont produisent des efforts inférieurs à ceux produits par la charge de calcul, les dépenses d'entretien et de réparation des dommages dus exclusivement à la circulation seront inférieurs aux prévisions normales, tout dépendant évidemment de la densité de la circulation lourde. Pour des efforts supérieurs à ceux estimés lors de la conception, on peut par contre prédire que les dépenses seront plus élevées.

Bien entendu, il est très difficile de certifier l'état d'un pont et de quantifier le niveau des contraintes au passage d'un véhicule. La figure 18 illustre néanmoins les contraintes totales dans un pont type calculé avec les charges légales maximales. Dans un ouvrage dimensionné avec une charge égale ou supérieure à H20-S16, soit 44% des ponts de la province selon les figures 6 à 10, ces contraintes sont acceptables. Mais dans un pont conçu avec une charge H20, et à plus forte raison dans celui conçu avec une charge égale ou inférieure à H15, soit respectivement 14 et 42% de tous les ponts, les contraintes en service dépassent largement celles prévues au stade initial: on doit alors s'attendre à des coûts d'entretien élevés.

4.2 Durée de vie

Sous l'action de charges répétées, comme la circulation des véhicules lourds, un problème de fatigue peut se développer, principalement dans les ponts en acier. Ce phénomène est caractérisé par une fissure qui se produit dans le matériau, sans signe avant-coureur.

Lors de la conception d'une structure, l'ingénieur dimensionne les membrures, les assemblages et les soudures de façon à éviter ce problème. Or, selon toute évidence, la densité de la circulation et les charges actuelles n'ont pas été parfaitement prévues dans les ponts calculés il y a plusieurs années.

Dans l'ensemble cependant le comportement à la fatigue des ponts de la province est satisfaisant, bien que des fissures dues à la fatigue se soient produites dans quelques ponts ou parties de ponts sans que ceci n'occasionne de catastrophe. Mais ce problème très complexe inquiète de plus en plus les spécialistes depuis qu'aux Etats-Unis on a repéré quelques problèmes majeurs au cours des dernières années.

Sans entrer en détail dans l'étude de ce phénomène, les courbes de l'ACNOR, donnant des écarts de contraintes admissibles pour le dimensionnement des pièces où il y a possibilité de rupture par fatigue, peuvent être utilisées comme indication du raccourcissement de vie dû à une augmentation des contraintes.

Prenons par exemple une poutre d'acier de 60 pieds de portée renforcée de plaques soudées aux semelles. Cette poutre entre dans la catégorie E des courbes de calcul en fatigue de la norme S6 de l'ACNOR. Si les calculs de conception donnaient des contraintes d'environ 10000 livres par pouce carré pour une charge H15, les contraintes dues aux charges légales feraient plus que doubler cette valeur. Le nombre de cycles de charges donnant ces contraintes, qui était de 1 million, est réduit à 100000. La durée de vie de ce pont, du strict point de vue de la fatigue, serait donc 10 fois moindre. Les chiffres de cet exemple signifient simplement que de nombreuses charges supérieures à celles prévues peuvent causer un raccourcissement de la vie d'un pont.

4.3 Coûts de remplacement

Les ponts dont la charge de conception est inférieure à H20-S16 peuvent être considérés comme désuets au point de vue capacité portante. Cette constatation est encore plus vraie pour les ponts H15 et H10.

Pour augmenter la capacité des ponts à un niveau équivalent aux charges légales actuelles, il faudrait remplacer, ou renforcer si c'est possible, les ponts de faible capacité. Le tableau 2 indique le nombre de ponts et le coût de remplacement ou de renforcement selon la capacité de conception et la classe de routes. Ces valeurs incluent le nombre et les coûts des ouvrages calculés avec une charge inférieure.

On peut évidemment raisonner en fonction d'une classe de routes et prévoir le remplacement de ses ponts faibles. Il ne faut toutefois pas oublier que le trafic lourd ne peut pas circuler, par exemple, uniquement sur les autoroutes. Pour atteindre les clients, le camion doit quitter l'autoroute et emprunter des routes moins importantes.

Le tableau 2 montre clairement que la grande majorité des ponts faibles se trouvent sur les routes locales. Sur ces routes, plusieurs ponts faibles peuvent être conservés de nombreuses années, à la condition que la capacité affichée soit respectée.

Conception	<H20-S16		<H15		<H10	
Classe de routes	Nombre M\$		Nombre M\$		Nombre M\$	
Aut.+ Princ.	380	270	165	120	20	14
Régionales	390	234	290	174	35	21
Locales	3700	2220	2900	1740	650	390
Total	4470	2724	3355	2034	705	425

Tableau 2. Nombre de ponts à remplacer et coûts en M\$ selon la charge de conception et la classe de routes.

Il ne faut toutefois pas s'imaginer qu'il n'y a qu'au Québec que l'on rencontre des ponts désuets. Le plus récent rapport sur l'état des ponts aux Etats-Unis, publié en 1983 par le secrétariat aux Transports, fournit les statistiques suivantes. Sur quelques 550000 ponts, 25%, soit 140000 d'entre eux, ne peuvent supporter les charges légales actuelles. De plus 105000 ponts, soit un autre 19%, ne rencontrent pas les normes géométriques des routes actuelles. La moitié de tous ces ponts ont été construits avant 1940.

5 CONCLUSION

Les charges légales actuelles produisent dans plusieurs ponts des contraintes pour lesquelles ils n'ont pas été calculés. Ces ponts, désuets selon les normes actuelles de conception, ont résisté jusqu'à aujourd'hui aux charges imposées mais le coefficient de sécurité prévu par leur concepteur est grandement diminué. Les ingénieurs responsables des ponts ne peuvent plus autoriser l'augmentation des charges routières sans une étude très poussée des ponts plus faibles. Si on voulait agir de façon logique, les charges qui empruntent un réseau devraient diminuer à mesure que ses ponts vieillissent. L'étude des ponts faibles peut amener un programme coûteux de remplacement ou de renforcement des ponts désuets qui pourrait s'appliquer prioritairement à certaines classes de routes.

Les ponts sont des éléments clefs du réseau routier parce qu'ils sont nécessaires pour franchir un obstacle et aussi à cause des conséquences économiques d'une limitation de leur capacité portante. De plus le public estime que les ponts en service doivent supporter en toute sécurité le passage de véhicules conformes à la réglementation en vigueur. Mais pour des considérations économiques, les propriétaires de camions demandent l'autorisation de circuler avec des charges de plus en plus lourdes pour maximiser le capital investi et diminuer les frais d'opération. Le problème est de taille. Il s'agit de favoriser le développement économique relié à la circulation des véhicules commerciaux tout en minimisant l'ensemble des coûts d'inspection, d'entretien, de réparation et d'investissement, non seulement des ponts mais aussi du réseau routier. Cependant ce problème économique doit toujours céder le pas à un principe fondamental: l'assurance de la sécurité à laquelle ont droit tous les utilisateurs. La capacité des ponts du réseau routier a donc une grande importance sur la politique des transports en général.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 104 911