

ANALYSE FINE DU TRAFIC ROUTIER

**Mr. HIMMI
(CNER)**

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I/- PRINCIPALES VARIABLES CARACTERISTIQUES DU TRAFIC ROUTIER

- I-1/- le débit
- I-2/- la concentration
- I-3/- coefficient d'équivalence
- I-4/- taux d'occupation
- I-5/- la vitesse
- I-6/- capacité d'une route
- I-7/- le temps de parcours
- I-8/-l'agressivité du trafic

II/METHODES DE MESURE DES VARIABLES DU TRAFIC

- II-1/ les capteurs pneumatiques
- II-2/- les boucles électromagnétiques
- II-3/- les câbles piézo-électriques
- II-4/- les détecteurs acoustiques
- II-5/- les radars à effet doppler-fizeau
- II-6/- caractéristiques d'un flot de véhicule: la technique du véhicule flottant".

III/- EFFETS DES VE~ICULES SUR LES CHAUSSEES

- III-1/ caractéristiques des véhicules et effet sur les chaussées
- III-2/- effet des configurations de véhicules.

IV/- EXEMPLE DE RESULTATS DE MESURE DU POIDS DYNAMIQUE DES VEHICULES (RP2-PK 14 BOUKNADEL).

IV-1/- système de mesure

IV-2/- rappel de la réglementation en matière de poids des véhicules

IV-3/- présentation des résultats

IV-4/- analyse des résultats

IV-5/- impact sur la chaussée

V/- ANALYSE DE LA VITESSE DES VEHICULES

V-1/- résultats d'analyse de la vitesse sur la RP2

V-2/- résultats de l'analyse de la vitesse sur l'autoroute

V-3/- résultats d'analyse de la vitesse sur la RP13.

CONCLUSION

INTRODUCTION

" L'exploitation de la route désigne généralement l'ensemble des actions visant à rendre la circulation automobile aussi sûre, fluide et confortable que possible. Ce domaine aujourd'hui en pleine mutation, est confronté à des défis multiples:

- l'exigence générale d'une plus grande sécurité;
- l'augmentation permanente des encombrements;
- le besoin croissant de confort et d'information des usagers;
- la prise en compte des nouvelles technologies

La bonne connaissance du trafic routier offre des outils méthodologique et organisationnel dont la maîtrise devient indispensable aux décideurs et aux exploitants.

La durabilité des structures des chaussées et des ouvrages d'art et l'amélioration de la sécurité sur le réseau routier sont une préoccupation majeure de la Direction des Routes et de la Circulation Routière. Une bonne connaissance du trafic routier est un préalable indispensable à toute action dans ce cadre. En effet, une chaussée est conçue, dimensionnée en structure et en largeur, entretenue et exploitée en fonction des caractéristiques du trafic actuel et prévisible. Par ailleurs, il est démontré que le dépassement des vitesses limites entraîne une augmentation de la fréquence des accidents. Des efforts ont été déployés ces dernières années pour l'amélioration de la connaissance du trafic, en particulier par l'utilisation de matériel permettant la combinaison entre plusieurs types d'informations: temps, volume, vitesse, catégorie des véhicules et poids dynamiques de leurs essieux. Les premières exploitations de ce type de matériel sur certaines sections de routes à fort trafic permet de disposer de données significatives relatives à deux indicateurs importants qui sont la vitesse et le poids dynamique des essieux des véhicules.

La présente communication se propose de:

- faire un rappel des principales variables caractéristiques du trafic et des méthodes de mesure utilisées pour les évaluer;
- présenter une analyse de l'effet des charges des véhicules sur les structures de chaussées et la notion d'agressivité du trafic;
- présenter une synthèse de résultats d'analyse de la vitesse et du poids dynamique des essieux des véhicules effectuées sur quelques sections du réseau routier national.

Les résultats mettent en évidence une situation très préoccupante en ce qui concerne le non respect des limites réglementaires fixées dans le code de la route pour la vitesse et le poids des véhicules.

I/- PRINCIPALES VARIABLES CARACTERISTIQUES DU TRAFIC ROUTIER

I-1/ Le débit

Il correspond à la répartition des véhicules dans le temps. On définit le débit moyen $q(t_1, t_2, x)$ au point d'abscisse x entre les instants t_1 et t_2 par le rapport:

$$q(t_1, t_2, x) = \frac{n(t_1, t_2, x)}{t_2 - t_1}$$

dans lequel $n(t_1, t_2, x)$ désigne le nombre de véhicules passés en x entre les deux instants.

Expérimentalement, le débit peut être déterminé par de simple comptages sur la route.

I-2/- La concentration (ou densité)

Elle décrit la répartition des véhicules dans l'espace. La concentration moyenne $k(x_1, x_2, t)$ à l'instant t sur une section de route limitée par les points d'abscisses x_1 et x_2 correspond au rapport:

$$k(x_1, x_2, t) = \frac{nk(x_1, x_2, t)}{x_2 - x_1}$$

dans lequel $n(x_1, x_2, t)$ désigne le nombre de véhicules présents sur la section à l'instant t

Une telle grandeur est par exemple directement observable par photographie aérienne ou encore par caméra vidéo.

1-3/- Coefficient d'équivalence

Le trafic est composé de plusieurs catégories de véhicules, par exemple des voitures particulières, notées VL et des poids lourds notés PL. On appelle coefficient d'équivalence PL/VL, et l'on note $e(PL/VL)$ ou simplement e , le nombre de voitures particulières que représente chaque poids lourd dans des conditions de circulation données. Le coefficient e permet de définir des débits en unité de voitures particulières u.v.p au moyen de la relation:

$$Q_{u.v.p} = Q_{VL} + e Q_{PL}$$

Si p désigne la proportion de PL en circulation et Q le débit total on a alors la relation:

$$Q_{u.v.p} = Q (1 + (e-1)p)$$

Il suffit en effet de remplacer QVL par Q - QPL

1-4/- Taux d'occupation

Cette variable est aujourd'hui très couramment employée dans le domaine de l'exploitation. Le procédé de mesure du taux d'occupation le plus répandu fait appel à des capteurs - boucles magnétiques - enfouis dans la chaussée et sensibles aux variations du champ magnétique produites par le passage des masses métalliques des véhicules. Grandeur sans dimensions, définie par la proportion de temps durant laquelle la boucle est occupée, le taux d'occupation t est directement lié à la concentration k par la relation:

$$t = (L + 1) k$$

où L et 1 désignent respectivement la longueur moyenne des véhicules et celle du capteur.

Une telle relation se révèle très utile car à la différence du taux d'occupation, les procédés de mesure de la concentration sont actuellement complexes et coûteux.

1-5/ - Les vitesses moyennes

1-5 -1/ La vitesse moyenne dans le temps

En un point fixé de la route, la vitesse moyenne dans le temps u_t est la moyenne arithmétique des vitesses instantanées u_i des véhicules passant pendant un intervalle de temps déterminé:

$$u_t = \frac{\sum_{i=1}^N u_i}{N}$$

1-5-2/- La vitesse moyenne d'espace

La notion de vitesse moyenne d'espace us, définie par Wardrop, s'avère plus utile en pratique. On désigne ainsi, sur une section de route de longueur fixée, la moyenne arithmétique des vitesses des véhicules à un instant donné. Les 2 concepts de vitesse ainsi définis sont différents.

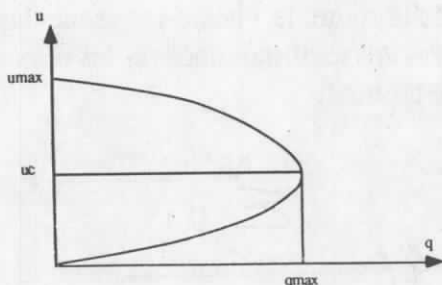
1-6/- Capacité d'une route

Selon le manuel américain sur la capacité des routes (Highway Capacity Manual 1935), la capacité est le nombre maximal de véhicules qui peuvent raisonnablement passer sur une section donnée d'une voie d'une chaussée dans une direction (ou dans les deux directions pour une route à deux ou trois voies) durant une période de temps donnée, suivant les caractéristiques propres à la largeur roulable et à la circulation de la section considérée.

Puisque la capacité possible désigne le débit le plus élevé possible que peut écouler la route considérée, elle peut être représentée comme le maximum des courbes débit~vitesse, cette dernière montre la réduction générale de la vitesse d'écoulement du trafic .

La figure n° 1, ci-après, montre l'allure théorique d'un diagramme débit-vitesse.

Figure n° 1



1-7/- Les temps de parcours

1-7 -1/ Temps de parcours "instantané" (TPI)

Cet indicateur est la somme sur un itinéraire donné, à un instant donné, des temps (fictifs) que mettraient à parcourir chaque tronçon de l'itinéraire, des véhicules modèles partant à cet instant avec une vitesse constante, égale à la vitesse moyenne actuelle de circulation sur le tronçon.

Le TPI donne une photographie des conditions actuelles sur l'itinéraire.

1-7-2/- Temps de parcours réalisé (TPR)

Cet indicateur est le temps de parcours réalisé par un véhicule sortant du système à l'instant considéré. Comme l'indicateur précédent, il peut être calculé en temps réel, si l'on dispose de toutes les données relatives à son calcul. Toutefois, il ne fournit pas de renseignement sur la physionomie actuelle de la circulation. Il est essentiellement intéressant pour les statistiques retraçant l'évolution du trafic, par exemple à la fin d'une pointe.

1-7-3/ Temps de parcours reconstitué ou prévu (TPP)

Il s'agit du temps que va mettre le véhicule entrant à un instant donné pour parcourir l'itinéraire considéré. Cet indicateur est particulièrement intéressant au niveau de l'exploitation.

Il est possible d'estimer les temps de parcours, à partir des valeurs du taux d'occupation, avec une précision moyenne comprise entre 10 et 20%.

1-8/ L'agressivité du trafic

L'agressivité du trafic routier traduit le pouvoir d'endommagement des charges des essieux et des véhicules sur les structures des chaussées vis-à-vis desquelles elle représente une fonction du poids qui peut aller de la puissance 4 à 12 selon le type de structure.

La méthode adoptée pour l'évaluation d'un coefficient d'agressivité du trafic consiste à déterminer, le facteur d'équivalence du spectre des essieux à l'essieu de référence.

Le coefficient d'agressivité peut être défini comme étant le facteur d'équivalence correspondant à un spectre de 100 poids lourds.

II/- METHODES DE MESURE DES VARIABLES DE TRAFIC

Il existe de nombreux types de capteurs permettent la mesure directe ou indirecte des variables de circulation. Ces capteurs sont généralement des éléments transducteurs, sensibles à la grandeur physique que l'on veut saisir: présence, passage, vitesse d'un véhicule, poids d'essieux,.....

Compte tenu des évolutions technologiques rapides dans ce domaine, seuls les principaux types de capteurs d'emploi courant sont ici mentionnés, à savoir:

- les câbles pneumatiques;
- boucles électromagnétiques;
- les câbles piézo-électriques;
- les ultrasons;
- les radars à effets Doppler-Fiseau.

II-1/ Les capteurs pneumatiques

Ils permettent d'effectuer des comptages routiers et donc de mesurer les débits. Ils sont constitués d'un câble en caoutchouc, tendu en travers de la chaussée et relié à un détecteur. L'écrasement du câble lors du passage d'un véhicule provoque une surpression, détectée par un manomètre actionnant un relai. Il est alors possible de compter le nombre d'essieux passant sur le capteur en cumulant les impulsions dans un compteur. Les comptages sont par suite

exprimés en unité de voiture particulière u.v.p: 1 u.v.p = 2 essieux.

Ces capteurs, encore répandus pour les comptages routiers, présentent quelques avantages, notamment:

- la facilité de pose;
- la bonne portabilité de l'ensemble capteur-détecteur;
- la possibilité de fonctionnement sur batterie procurant une autonomie de plusieurs jours.

En revanche, le système est d'un coût moyen. De plus, le câble peut être arraché lors du passage de véhicules lourds. En régime saturé, l'imprécision peut parfois dépasser 20%.

II-2/ Les boucles électromagnétiques

C'est aujourd'hui le dispositif de mesure des paramètres de circulation le plus répandu dans de nombreux pays, tant en ville que sur les voies rapides et les autoroutes urbaines.

Le capteur est constitué par une boucle inductive, noyée dans le revêtement de la chaussée. Le passage de la masse métallique d'un véhicule au dessus de la boucle provoque une variation du champ électromagnétique. Cette variation se traduit par un créneau de tension dont la longueur est liée à celle du véhicule et à son temps de passage.

Avec une seule boucle par voie on mesure, bien sûr, le débit mais aussi le taux d'occupation t , défini par:

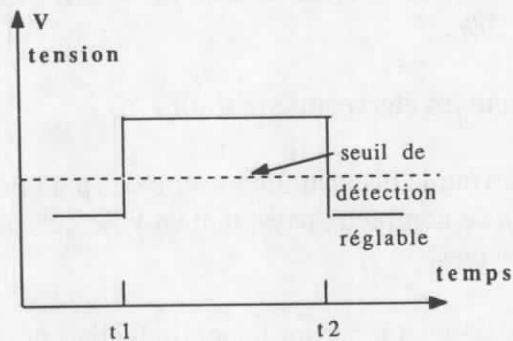
$$t = \frac{h \sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

où t_i désigne le temps d'occupation de la boucle à la période de mesure i , et T

le temps total de mesure.

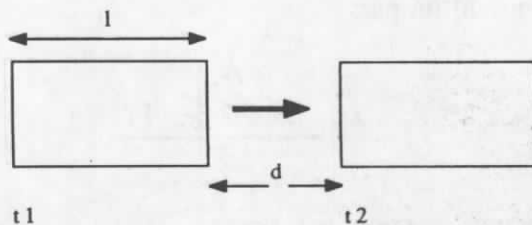
Le principe de fonctionnement est schématisé par la figure suivante. Lorsque l'avant du véhicule aborde la boucle, le front de montée du créneau se forme. Quand le véhicule parcourt la boucle, le créneau à une amplitude constante Enfin, le front descendant du créneau se forme lorsque l'arrière du véhicule quitte la boucle.

Fig.2
Principe de la détection par boucles électromagnétiques



Avec 2 boucles par voie, de longueur l et distantes de d , on mesure en plus la vitesse instantanée v des véhicules.

Fig.3
Mesure de la vitesse avec 2 boucles



On a en effet:
$$V = \frac{l + d}{t_2 - t_1}$$

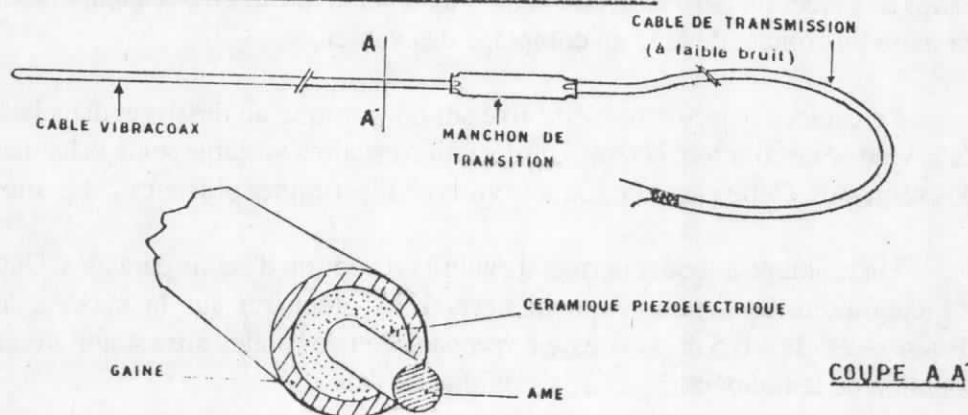
où t_1 (resp. t_2) désigne l'instant d'entrée sur la première (resp. seconde) boucle. La vitesse moyenne d'un flot de n véhicules peut être calculée comme la moyenné harmonique des vitesses instantanées.

L'avantage de cette technologie réside dans son coût et sa durée de vie importante. Cependant, la fiabilité globale du système est fortement liée à la qualité des réglages et à la qualité de la maintenance.

II-3/ Les câbles piézo-électriques

Le câble piézo-électrique est un capteur linéaire sensible aux variations de pression grâce à ses propriétés piézo-électriques (fig.1).

CABLE VIBRACOAX EQUIPE DE SON PROLONGATEUR



Le principe de fonctionnement du câble est basé sur la propriété piézo-électrique qui caractérise certains cristaux présentant une symétrie axiale, tels que le quartz et la tourmaline.

Ces cristaux, ont la propriété de produire une tension électrique proportionnelle à la contrainte de cisaillement qu'ils subissent. Cette tension est causée par un glissement des facettes du cristal suivant un plan de clivage. Ce glissement tend à rapprocher les charges de même signe dans le réseau cristallin d'où l'apparition des tensions électriques.

Réciproquement, toute tension électrique appliquée convenablement au cristal, provoque une déformation de ce cristal qui crée ainsi une tension électrique opposée à celle qui lui est appliquée.

II-4/- Les détecteurs acoustiques: les ultra-sons

Le capteur acoustique est constitué par une antenne directive fixée sur un support divers. Cette antenne émet une onde ultra sonore. En l'absence de tout obstacle, l'aire de détection correspond à un disque dont le diamètre dépend de la direction et de la hauteur de l'antenne.

Lors du passage d'un véhicule, l'onde ultra sonore rencontre une surface réfléchissante. Une fraction de cette onde réfléchi par le mobile, est par suite captée par le récepteur au bout d'un certain temps de détection. Cette durée du temps de détection permet le calcul du taux d'occupation. Le détecteur délivre en outre un contact destiné au comptage des véhicules.

Le capteur peut souvent être fixé sur un portique au dessus et dans l'axe de la voie de circulation. le temps de détection est alors variable selon la hauteur des véhicules. Cette caractéristique permet de discriminer plusieurs catégories.

Un montage adéquat permet d'éviter la réception d'échos parasites. Dans les conditions de fonctionnement normal, la précision sur la mesure des distances est de $\pm 0,5$ m, la vitesse de propagation des ondes ultra sonores étant fonction de la température et de l'humidité de l'air.

II-5/ Les radars à effet doppler-fizeau

Ils permettent la mesure de la vitesse instantanée des véhicules en un point. Les dispositifs existants, appelés cinémomètres et employés le plus souvent pour les contrôles de vitesse, sont fondés sur le principe de l'effet Doppler-Fizeau

Le capteur est constitué par une antenne directive, émettant une onde électromagnétique.

Après réflexion sur le mobile, une fraction de l'onde est captée par la même antenne. Le battement, différence entre les 2 fréquences émise et réfléchi, est appelé fréquence Doppler-Fizeau. Cette fréquence F_d , est proportionnelle à la vitesse instantanée v du véhicule:

$$F_d = \frac{2 \cdot V \cdot \cos(f)}{L}$$

f_d en Hz, v en m/s, L longueur d'onde d'émission en m, f angle que fait le faisceau émetteur avec le vecteur vitesse du véhicule (en général $f = 25^\circ$ et donc $\cos(f) = 0.9063$). La fréquence de travail se situe dans la bande des 9 GHz

La précision commerciale de ces dispositifs est d'environ 2 km/h jusqu'à 100 km/h et 2% de la valeur indiquée au-dessus. En pratique toutefois, une tolérance de 10 km/h est acceptée.

II-6/ Caractéristiques d'un flot de véhicules: la technique du "véhicule flottant"

Cette méthode élaborée par Wardrop en 1954, permet de déterminer les caractéristiques d'un flot: débit q , concentration k , vitesse moyenne u , temps de parcours T , sur une section de longueur L , à partir d'une série de parcours, effectués à bord d'un véhicule test. Les déplacements sont réalisés pour une partie dans le sens du trafic, et pour l'autre en sens contraire du flot.

A bord du véhicule test, des observateurs enregistrent:

- le nombre n_s de véhicules du flot qui sont dépassés;
- le nombre n_o de véhicules du flot qui dépassent;
- le temps de parcours T du véhicule, sur la section.

L'acquisition de ces données est rendue très facile avec l'évolution des moyens informatiques. Un seul observateur peut relever ces données sur micro-ordinateur portable (de type PSION utilisé, au Maroc, pour le relevé visuel des dégradations des chaussées).

II-6 -1 Equation fondamentale

Si le véhicule test se déplace sur la section à la vitesse individuelle v , dans un flot de caractéristiques (q, k) , on a alors, avec les notations précédentes, la relation fondamentale suivante:

$$\frac{n_o - n_s}{T} = q - kv$$

Pour établir cette relation, il suffit de considérer les 2 cas particuliers suivants. Quand le véhicule test est arrêté, il est dépassé par n_o véhicules durant le temps T . Par suite, le débit du flot est donné par $q = \frac{n_o}{T}$

Quand tous les véhicules sur la section sont arrêtés, le véhicule test dépasse n_s véhicules.

Dans ce cas, la concentration sur la section vaut $k = \frac{n_s}{L}$

Comme d'autre part $v = \frac{L}{T}$, on en déduit $kv = \frac{n_s}{T}$

Par différence, on obtient la relation annoncée.

2-6-2- Caractéristique générales du flot

Avec les notations précédentes, désignons par n le nombre net de dépassements réalisés, c'est-à-dire $n = n_o - n_s$.

On suppose maintenant que le véhicule test effectue un premier parcours sur la section dans le même sens que le trafic (indice m), et un second parcours en sens contraire du flot (indice c). On observera que dans ce dernier cas, n_c correspond au nombre total de véhicules rencontrés.

L'application de la formule du paragraphe précédent fournit, avec les mêmes notations:

$$\frac{nm}{T_m} = q - K V_m \text{ et } \frac{nc}{T_c} = q + K V_c$$

Il est par suite aisé d'exprimer le débit q et le temps de parcours moyen T sur la section par:

$$q = \frac{nm + nc}{T_m + T_c} \quad T = T_m - \frac{nm}{q}$$

La vitesse moyenne du flot u et la concentration k s'en déduisent par les relations usuelles.

II-6-3/- Exemple

Sur une section de 1,83 km de longueur, les temps de parcours enregistrés à bord d'un véhicule test sont de 144,4 s dans le sens du trafic et 68,2 s dans le sens contraire. Dans le premier cas, le nombre net de dépassements est de 4. Dans le second, 102 véhicules sont au total rencontrés.

On déduit de ces observations:

$$nm = 4 \quad nc = 102 \quad T_m = 144,4 \text{ s} \quad T_c = 68,2 \text{ s}$$

d'où les caractéristiques du flot.

$$q = \frac{102 + 4}{68,2 + 144,4} = 0,49 \text{ g véh/s soit encore } 1795 \text{ véh/h}$$

$$T = 144,4 - \frac{4}{0,49} = 136,4 \text{ s. Par suite } u = \frac{1830}{136,4} = 13,4 \text{ m/s}$$

soit 48,3 km/h

$$\text{et } k = \frac{1795}{48,3} = 37,2 \text{ véh/km.}$$

III/- EFFETS DES VEHICULES SUR LES CHAUSSEES

La circulation d'un véhicule sur une chaussée occasionne deux catégories d'efforts, dont l'effet est différent:

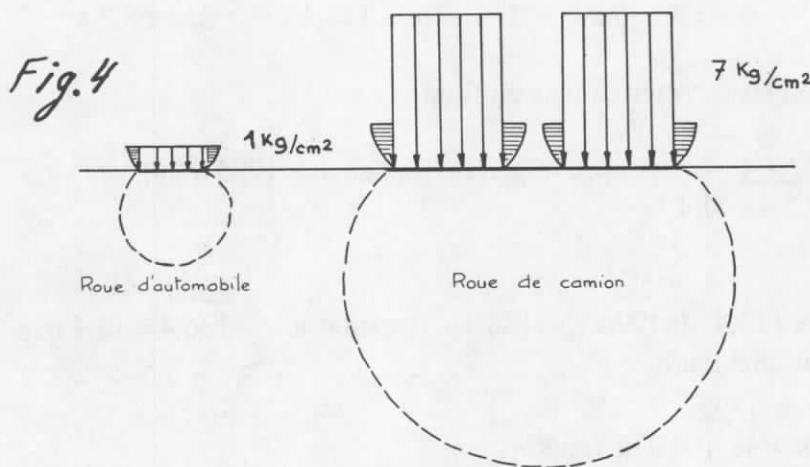
- des efforts tangentiels dont la répétition peut entraîner des arrachements au niveau de la couche de roulement, et qui sont nécessaires pour la circulation, en sécurité, du véhicule sur la route;

- des efforts verticaux qui entraînent des efforts de poinçonnement et des effets de traction au niveau des différentes couches constituant le corps de chaussée, et au niveau du sol support;

Ce sont les véhicules lourds qui occasionnent les efforts importants. En effet, en moyenne les pneumatiques des roues étalent les charges pour réduire la pression sur le sol à 1 à 2 kg/cm² pour les automobiles et à environ 7 kg/cm² pour les camions.

Ce sont donc les camions, avec les intempéries, qui usent les chaussées et non les véhicules légers.

Ce fait sera mieux mis en évidence à travers la présentation de la notion d'agressivité du trafic.



III-1/ Caractéristiques des véhicules et effet sur les chaussées

Les effets examinés, ci-après, concernent les dommages causés à la structure de chaussée, qui sont les plus importants de point de vue de la durée d'usage de la chaussée.

Les recherches menées ces dernières années, relatives à l'impact des véhicules sur les chaussées, ont conduit à considérer un nombre de plus en plus important de paramètres. On considérait traditionnellement le poids de l'essieu comme l'unique paramètre, mais les facteurs suivants ont été mis en lumière:

- le type d'essieu (nombre de roue et type de pneumatique);
- le groupement des essieux;
- la surface et la pression de contact des pneumatiques;
- le système de suspension du véhicule.

Chacun de ces paramètre à un impact, plus au moins important sur la fatigue des chaussées.

III-1-1 Type et poids de l'essieu

La charge appliquée sur un ou plusieurs essieux demeure le facteur le plus important du dommage causé à la chaussée.

Un des résultats des essais AASHO (réalisés aux Etats-Uni durant les années 1950) le plus fréquemment utilisé est le coefficient d'équivalence entre essieux.

Ces essais étaient constitués par des circuits qui étaient circulés par des véhicules différents suivant les circuits. Les circuits étaient constitués, pour une partie, de structures, de même nature sur un sol identique. On a pu jugé de l'agressivité de chaque essieu, pour la même structure en comparant les durées de vie (nombre de passages d'essieux pour atteindre un état voisin de dégradation).

Il a résulté de ces comparaisons, pour les chaussées souples, une loi statistique dite "de la puissance quatrième" qui donne le facteur d'équivalence FE (c'est à dire le facteur d'agressivité) par rapport à l'essieu de référence:

$$FE = \left(\frac{P}{P_{REF}} \right)^4$$

avec: P: poids de l'essieu à examiner

P REF : poids de l'essieu de référence, pris égal à 18 kips (8,16 tonne) dans l'essai AASHO.

La figure n° 5, ci-après, illustre la variation du coefficient d'équivalence en fonction de la charge des essieux P, pour les essieux simples et les essieux tandems (selon l'essai AASHO).

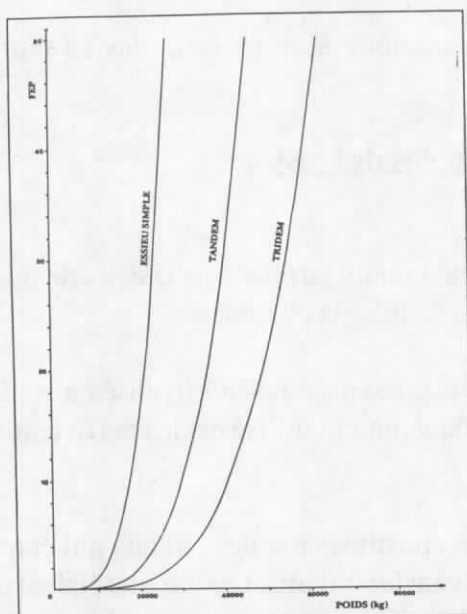


Fig. 5
FACTEUR D'EQUIVALENCE EN FONCTION DE LA
CHARGE ET DU TYPE D'ESSIEUX

On peut aussi noter que le rapport entre l'essieu à roues simples et l'essieu à roues jumelées est de l'ordre de 0,75 (70 KN/9 2 KN). Ceci est largement corroboré par les résultats d'autres pays:

ITALIE	ALLEMAGNE	AUSTRALIE	BELGIQUE	FRANCE	USA
0,75	0,90	0,64	0,77	0,70	0,62

III-1-2/- Groupement des essieux

Comme le montre la figure n°5, l'effet d'un essieu tandem est différent de l'effet cumulé des deux essieux qui composent le tandem. Ce problème a fait l'objet de recherche et le phénomène physique peut être ainsi expliqué: si deux essieux sont assez proches l'un de l'autre, il y a recouvrement des courbes sinusoidales de déformation dûes à chacun des essieux (figure n° 6). L'effet du premier essieu du tandem compense en partie les déformations en traction engendrées par l'essieu suivant Ces déformations sont donc moindres que celles qui résulteraient du passage d'un essieu simple de même poids.

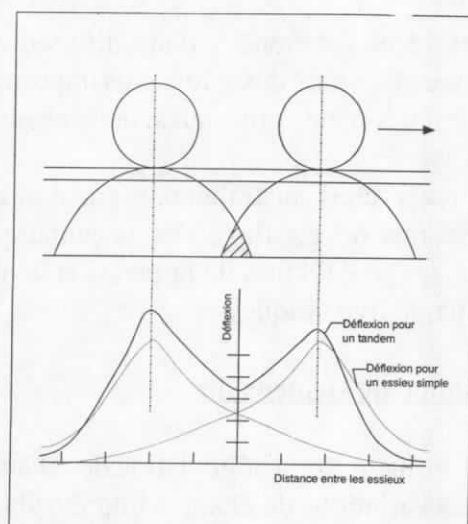


Fig. 6
Schéma : essieu tandem

Le tableau suivant donne les valeurs considérées dans différents pays pour le rapport des charges sur l'essieu tandem et sur l'essieu simple qui fournissent le même coefficient d'équivalence:

Pays	AUS	B	CH	D	DK	F	I	NL	USA	AASH
Rapport	1,9	1,5	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,7	1,6

Les valeurs ci-dessus se rapportent à des écartements entre essieux compris entre 1,35 et 1,50 m. pour les chaussées rigides et semi-rigides, ces rapports sont plus faibles (par exemple 1,5 en France).

Des études ont aussi été entreprises pour estimer les effets des essieux tridems. Des valeurs du rapport ci-dessus, calculées pour des tridems à roues jumelées sont présentées dans le tableau, ci-après, pour quelques pays:

Pays	AUS	D	DK	F	I	USA
Rapport	2,1	2,2	2,4	2,5	2,5	2,1

III-1-3/- Pression de contact des pneumatiques

Des recherches récentes menées dans différents pays membres de l'OCDE ont montré que ce facteur a des effets plus importants pour les couches superficielles que pour les couches profondes, de la chaussée.

Des études de recherches australiennes ont montré l'existence d'une relation entre les pressions de gonflage des pneumatiques et les effets de suspension des véhicules (la réduction de la pression de gonflage entraîne un accroissement de la charge dynamique).

III-1-4/ - Le système de suspension

Les suspensions influent sur la dégradation des chaussées dans la mesure où elles engendrent des variations de charges imprévisibles et temporaires.

Les fluctuations de la charge statique d'un essieu, dûes aux effets dynamiques, sont en principe un phénomène localisé lié à l'uni superficiel fonction notamment des défauts de construction et des dégradations. Néanmoins, on pense que ces effets sont mineurs comparés aux dommages causés par les caractéristiques géométriques des véhicules et les charges d'essieux.

III-2/- Effets des configurations de véhicules

Après avoir passé en revue les différents paramètres, il est maintenant possible de calculer l'agressivité totale des différentes configurations de véhicules définies par les caractéristiques géométriques et la répartition du poids total entre les essieux ou groupes d'essieux. Pour ce calcul on suppose que l'agressivité totale D d'un véhicule est égale à la somme des agressivités d_i de tous ses essieux ou groupes d'essieux. Ces valeurs d_i dépendent des paramètres caractéristiques examinés ci-dessus: types de roues, écartement des essieux, etc.

III-2-1 Méthode de calcul

Cette méthode est extraite d'une étude faite dans le cadre des travaux de recherche de l'OCDE, on définit le dommage causé par des groupes d'essieux selon la formule suivante:

$$d = (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{P}{PO})^m$$

avec PO = charge de référence, c'est-à-dire charge maximale admissible sur l'essieu simple jumelé.

P = charge sur l'essieu ou sur l'ensemble des essieux du groupe d'essieux considéré.

En ce qui concerne les coefficients m , k_1 , k_2 et k_3 , figurant dans le tableau ci-après, on a fait les hypothèses suivantes, qui couvrent la majorité des cas rencontrés dans les pays Membres de l'OCDE:

- chaussées souples;
- écartement des essieux des tandems et tridems: 1,35 à 1,50 m

Les valeurs des coefficients du tableau, ci-dessous, sont les valeurs moyennes. On peut noter qu'il y a peu de variation entre les pays.

m	Exposant de la loi d'agressivité	4
k1	Type de groupement	
	- simple	1
	- tandem	0,6
k2	Type d'essieux	
	- roues jumelées	1
	- roues larges	1,2
k3	Suspension	
	- traditionnelle	1
	- améliorée	0,95

IV/- EXEMPLE DE RESULTATS DE MESURE DU POIDS DYNAMIQUE DES VEHICULES (RP2-PK14-BOUKNADEL)

IV-1/ système de mesure

Les mesures, dont les résultats de traitement seront présentés dans la suite, ont été effectuées par le système AWACS (Automatic Weight and Axle Classification System) développé par la société anglaise PEEK TRAFFIC. Ce système très évolué permet de fournir ,pour chaque véhicule qui passe sur les capteurs, les informations suivantes:

- le numéro d'ordre du véhicule;
- le temps de passage;

- la voie de passage;
- la vitesse de passage en km/h;
- le nombre d'essieux;
- la classe du véhicule selon la classification de l'Administration Fédérale Américaine des Routes (FHWA);
- les poids successifs des essieux;
- le poids total du véhicule;
- les espacements entre les essieux successifs du véhicule.

VI-2/ - Rappel de la réglementation en matière de poids des véhicules

L'article premier de l'arrêté viziriel du 24 janvier 1953 sur la police de la circulation et du roulage (décrets du 8 mai 1959, 23 juin 1967 et 30 septembre 1977) stipule que:

-Sauf autorisation spéciale délivrée dans les conditions fixées à l'article 15, le poids total en charge d'un véhicule ou d'un ensemble de véhicules ne doit jamais exéder les limites ci-après:

- Véhicules à deux essieux: 19 tonnes
- Véhicules à trois essieux ou plus: 26 tonnes
- Ensemble de véhicules composés d'un véhicule tracteur et d'une remorque ou semi-remorque: 38 tonnes

L'essieux le plus chargé d'un véhicule ou d'un ensemble de véhicules ne doit pas supporter une charge supérieure à 13 tonnes.

Pour tout véhicule ou ensembles de véhicules, le poids total en charge ne doit pas dépasser 5 tonnes par mètre linéaire de distance ente les deux essieux extrêmes.

Sur les véhicules ou ensembles de véhicules comportant plus de deux essieux, pour deux essieux consécutifs, la charge de l'essieu le plus chargé ne doit jamais dépasser, en fonction de la distance existant entre les deux essieux, le maximum fixé par le barème ci-après:

IV-3/-Présentation des résultats

Les présents résultats correspondent à un échantillon de 12815 véhicules relatifs à la période du Jeudi 18/11/93 à 13 h 27 au Samedi 20/11/93 à 14 h 55.

Le nombre de poids lourd (de PTC > 1,5 tonne), dans cet échantillon est de 3171, soit 25%, environ. Parmi ces véhicules seulement 1933 sont passés correctement sur les câbles piézoélectriques et seront considérés pour la suite de la présente analyse.

Les principales classes de véhicules constituant ces poids lourds, avec leur part dans ce dernier échantillon, sont consignés dans le tableau n° 1 ci-après:

TABLEAU N° 4-1

Catégorie	Désignation	Nombre	%
1	- Voitures et camionnettes	773	40%
2	- Autobus et autocars	125	6,5 %
3	- Camions à deux essieux simples	623	32,2 %
4	- Camions semi-remorques à quatre essieux - Chassi court (9,30 m entre essieux extrêmes)	231	12 %
5	- Camions semi-remorques à 4 essieux - Chassi long (11,9 m entre essieux extrêmes)	136	7 %
6	Camions semi-remorques à 5 essieux (deux essieux simple + 1 tridem)	33	1,7 %

En ce qui concerne la catégorie n°2, des camions à deux essieux, celle-ci est composée des deux types suivants:

- 1- petits camions de PTC maximum autorisé de 8 tonnes: (381 camions soit 61 %);
- 2- camions de PTC réglementaire de 12 tonnes (242 camions soit 39%).

Dans le tableau de la page suivante (4-2) sont consignés les résultats d'une analyse statistique des poids des essieux et des véhicules selon les configurations de ceux-ci. Ce tableau rappelle, de même, les limites réglementaires de poids autorisé pour les véhicules et les essieux et présente les pourcentages de ceux qui sont en infraction par rapport à la réglementation en vigueur.

IV-4 Analyse des résultats

L'analyse des résultats du tableau n° 2 permet de faire les constatations suivantes:

-de point de vue agressivité du trafic, deux catégories de véhicules se distinguent nettement des autres poids lourds:

1- le camion solidaire à deux essieux de PTC réglementaire 19 tonnes (catégorie 3G sur le tableau n°2), qui représente 12,5 % des poids lourds pesés et, qui peut être caractérisé par:

- .la moyenne du poids total est d'environ 17 tonnes;
- .le nombre des camions dépassant 19 tonnes représente 44% du total pesé pour cette catégorie;
- .le poids moyen de l'essieu le plus chargé (essieu arrière) est de 12 tonnes;
- .le nombre d'essieux supérieurs à 13 tonnes représente 43% de l'ensemble des essieux arrières de cette catégorie;

2- le camion semi-remorque de PTC réglementaire 38 tonnes à chassi court (catégorie n° 4) qui représente 12% des poids lourds pesés et qui peut être caractérisé par:

- .un poids total moyen d'environ 41 tonnes avec un écart-type de 23 tonnes;
- .le nombre de camions dépassant la limite réglementaire de 38 tonnes représente 61 % de l'ensemble de ces camions (principalement les

transporteurs de sable)

- . la moyenne du poids de l'essieu le plus chargé est de 13,8 tonnes (deuxième essieu);
- . le nombre d'essieux supérieurs à 13 tonnes représente 42 % de l'ensemble des essieux des véhicules de cette catégorie.

Le relevé visuel effectué a permis de s'assurer ,d'une part , de l'ampleur du problème des surcharges et d'autre part du fait que ces surcharges concernent, particulièrement, les camions transportant le sable à partir de KENITRA. En effet, ce relevé a montré que:

- plus que 80% de camions poids lourds en infraction (en se limitant aux deux catégorie mentionnées ci-dessus) sont les transporteurs de sable;

- 87% des camions semi-remorque à 4 essieux utilisés pour le transport de sable dépasse le poids total réglementaire fixé le poids total extrêmes de 75 à 80 tonnes ont été enregistrés plusieurs fois;

- 40 % des essieux de cette catégorie de camions dépasse la limite maximum de poids autorisé qui est de 13 tonnes. Plusieurs cas extrêmes entre 25-30 tonnes sont enregistrés.

IV-5/- Impact sur la chaussée

4-5-1/ Calcul du trafic équivalent

Pour tenter une approche de mise en évidence de l'effet de ces surcharges sur la chaussée, on utilise la notion d'équivalence entre les charges au point de vue de leur effet destructeur sur les chaussées.

Cette méthode permet ainsi d'évaluer le dommage causé à la chaussée sous forme du nombre équivalent d'essieux de charge égale à la charge de référence (13 t ou 8,2 t) pour laquelle le dommage est égale à l'unité.

Dans le tableau n° 3, ci-après, sont consignés les résultats de calcul des trafics équivalents. Ce tableau présente successivement, pour les principales catégories de véhicules considérées:

- le nombre moyen de poids lourds par jours de la catégorie;
- le nombre d'essieux équivalents par poids lourd (en essieu de 8,2 tonnes ou 13 tonnes);
- la moyenne journalière d'essieux équivalents.

TABLEAU N° 4-3
EQUIVALENCE DES ESSIEUX DE 13 TONNES DES
PRINCIPALES CONFIGURATIONS DE POIDS LOURDS

Catégorie	Nombre de PL par jour	Nombre équivalent lourd	d'essieux par poids	Trafic équivalent		moyen par jour
				8,2 T	13 T	
Camionnettes	750	0,053	0,0084	40	6	
Autocars	108	0,489	0,077	53	8	
Camions PTC 8t	332	0,298	0,047	99	16	
Camions PTC 19t	165	4,87	0,77	804	127	
Semi-remorque court(4 essieux)	194	16,1	2,55	3123	495	
Semi-remorque long (4 essieux)	139	0,669	0,106	93	15	

IV-5-2/ Commentaire des résultats

Les résultats du tableau n° 3 permettent de mettre en évidence le caractère très agressif des deux catégories de véhicules: camion de PTC12 tonnes et le camion semi-remorque court. En effet :

-les résultats du trafic journalier moyen équivalent montrent que ces deux catégories de véhicules constituent 93 % de l'agressivité globale du trafic sur cette route;

- en adoptent la valeur moyenne d'agressivité, couramment utilisée pour le dimensionnement des chaussées au Maroc (à savoir un poids lourd (de PTC > 1,5 tonnes), est équivalent à 0,109 essieux de 13 tonnes), on montre que le trafic journalier correspondant à ces deux catégories de véhicules est équivalent à 5700 poids lourds ou à environ 24000 véhicules / jour (véhicule toute catégorie), sur la voie la plus chargée.

Par ailleurs, pour une durée de vie de 10 ans, pour pouvoir supporter le trafic ci-dessus, la chaussée de la RP2 au niveau du PK 14 doit présenter un indice de structure (au sens de la méthode AASHO) de l'ordre de 5,5 pouces. Or, l'indice de structure résiduel actuel (chaussée renforcée en 1990 par 9 cm d'enrobé) n'est que 2,53 pouces.

Donc, pour résister valablement à l'agressivité de ce trafic spécial, pendant les dix années à venir, la chaussée présente un déficit structurel équivalent à 18 cm de matériaux lié (EB, GBB).

V/- ANALYSE DE LA VITESSE DES VEHICULES

V-1 Résultats d'analyse de la vitesse sur la RP2

Les mesures faites sur la RP2 sur une période de cinq mois et demi (environ 2.750.000 véhicules) ont permis de bien caractériser la vitesse individuelle des véhicules au niveau de la section d'analyse considérée.

Le tableau ci-après synthétise les résultats de cette analyse. On constate en particulier que:

- la vitesse moyenne, pour toutes les catégories confondues de véhicules, dans les deux sens de circulation est de 75 km/h. La variation de la vitesse autour de cette moyenne est relativement importante (le coefficient de variation est de 16%). Certains jours fériés correspondent à des vitesses moyennes nettement plus élevée;

- une proportion de véhicules, relativement élevée, correspond à des vitesses dépassant 100 km/h (vitesse limite). Cette proportion est en moyenne égale à 6,3% du trafic global, toute catégorie de véhicules confondues, ayant transité dans les deux sens de circulation. Une part non négligeable de ces véhicules ont des vitesses dépassant 140 km/h;

- comme il est illustré par les histogrammes de distribution cumulée des vitesses par catégorie des véhicules, le cas des autocars et des poids lourds de grandes longueurs (systèmes miarticulés) est préoccupant. En effet, pour les autocars, la vitesse limite réglementaire est de 80 km/h. Les résultats des mesures montrent que 47% des véhicules de l'échantillon d'analyse ont dépassé cette limite. Il en est de même pour les véhicules miarticulés pour lesquels 53% ont des vitesses dépassant 70 km/heures;

- plus de 75% des véhicules en infraction correspondent à la période entre 6 h du matin et 18 h de l'après midi;

- la vitesse moyenne reste relativement stable en fonction des heures de la journée. Elle est légèrement élevée pendant le jour. Une nette réduction est constatée à la tombée de la nuit.

Enfin, il y a lieu de signaler que des mesures plus récentes, faites par le même système sur ce même site, confirment toutes ces conclusions et ne montrent pas de variation appréciables.

**ROUTE PRINCIPALE N°3 PR 14 (BOURNADEL)
ANALYSE DE LA VITESSE PAR TYPE DE VEHICULES
ET PAR DIRECTION**

Classes	Deux directions				Direction				Rabat		Direction			
	V. moy k.m/h	Total des véhicules	Nombre de V > 100	Véhicules V > 140	V. moy k.m/h	Total des véhicules	Nombre de V>100	Véhicules V > 140	V. moy k.m/h	Total des véhicules	Nombre de V > 100	Véhicules V > 140		
Voitures et Camionnettes	76	2436052	165761	796	76	1238876	83543	394	76	1197176	82218	402		
Camions	65	206621	2670	219	65	105151	1099	144	66	105850	1617	141		
Autocars	77	59386	3340	229	76	30138	1251	100	78	29248	2089	129		
MI - articules	70	52562	926	389	70	26551	459	178	69	26061	467	211		
Toutes catégories	75	2757475	173561	2515	75	1399844	86751	1217	75	1357631	86810	1298		

Légende :

V = vitesse en km/h

V. moy = vitesse moyenne en km/h

Remarque :

L'échantillon analysé correspond à une période de
cinq mois et demi de mesures.

V-2/ Résultats d'analyse de la vitesse sur l'autoroute

Les mesures ont été faites sur le sens Casa-Rabat, au PK 53 (SKHIRAT) en distinguant le cas de la voie lente de celui de la voie rapide. Les résultats d'analyse des mesures permettent de constater que:

- la vitesse moyenne des véhicules est de 103 km/h sur la voie rapide et 92 km/h pour la voie lente avec une forte dispersion (un coefficient de variation de 22%);

- la proportion des véhicules dépassant la vitesse limite de 120 km/h est égale à 24% des véhicules empruntant la voie rapide et 3,1% des véhicules empruntant la voie lente.

a composition du trafic de vitesse supérieure à 120 km/heure, sur la voie lente, est la suivante:

- 76,7 % de véhicules légers;
- 11,4 % de camions à deux essieux;
- 10,8 % des autocars (soit 36% de l'ensemble des autocars);
- 1,7 % des camions mi-articulés (plus que deux essieux).

V-3/- Résultats d'analyse de la vitesse sur la RP 13

Le site d'analyse correspond à l'entrée de la localité Tlat Loulad située à 54 km de Berrechid en Direction de K HOURIBGA. Il constitue un exemple de situation où la vitesse limite fixée est loin d'être respectée. L'échantillon de mesures traité correspond à 48889 véhicules, soit environ 6 jours de mesures continues. Les résultats du traitement effectué peuvent être synthétisés comme suit:

- la vitesse moyenne des véhicules est de 69,5 km/h avec une forte variation (coefficient de variation de 33 %);

- la proportion des véhicules dépassant la vitesse limite réglementaire de 60 km/h constitue 67% du trafic dans le sens BERREC HID -KHOURIBGA;

- 30% des véhicules ont une vitesse supérieure ou égale à 80 km/heure, 77,4% de ces véhicules passent pendant la période entre 8 heures du matin et 20 heures de l'après-midi et 55% entre 12 heures et 20 heures.

CONCLUSION

En conclusion, il est recommandé de mener une action d'information et de sensibilisation des différents intervenants en matière de contrôle des charges et de la vitesse et ce en vue d'adopter une politique plus efficace de dissuasion vis-à-vis des surcharge.

Une bonne connaissance des caractéristiques du trafic associée à une politique efficace de dissuasion, vis-à-vis des surcharges et de dépassement des vitesses limites autorisées, peut contribuer sur un plan technique et économique à l'optimisation de la gestion des chaussées et à l'amélioration de la sécurité sur les routes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) GAMBARD J.M, LOUAH G - vitesses pratiquées et géométrie de la route SETRA. 1986.
- 2) Instruction sur les caractéristiques géométriques des routes de rase campagne. Direction des Routes.
- 3) Synthèse des recherches de L'OCDE en matière de sécurité routière. Groupe d'experts scientifique de l'OCDE. 1986
- 4) Ingénierie du trafic routier - éléments et théorie du trafic et applications - Simon COHEN - Presses de l'Ecole National des Ponts et Chaussées.
- 5) Véhicules lourds, climat et dégradation des chaussées OCDE 1983
- 6) Effet des véhicules lourds de marchandise - OCDE 1983.
- 7) La question des poids lourds sur nos routes - Routes et Transports - AQTR - Volume 23 n°2. 1993