

Trafic

M. ANNAB
Chef du Service Technique Régional
DRE NORD OUEST

INTRODUCTION :

L'analyse quantitative du trafic Routier est une préoccupation majeure et permanente aussi bien pour les gestionnaires que pour les concepteurs de la chaussée et des ouvrages d'art.

en effet :

Le dimensionnement, l'entretien des chaussées, et le calcul de fatigue des ouvrages d'art nécessitent une connaissance précise des paramètres descriptifs d'un trafic, à savoir :

- Volume global
- Trafic Poids Lourd
- Charges d'essieux et véhicules
- Vitesse
- Silhouettes
- Agressivité
- Répartition du trafic dans une voie
- Durée de charge.

La précision de ces paramètres s'imposait comme une nécessité à cause de leurs incidences non négligeables sur le coût de la réalisation et d'entretien des chaussées.

Par ailleurs, les restrictions budgétaires qu'a connu le secteur routier ces dernières années, ainsi que la crise énergétique internationale ne nous permettent plus d'aborder le calcul d'épaisseur des chaussées avec une grande marge de sécurité. Une économie est à chercher même à l'échelle du centimètre d'autant plus que les moyens technologiques disponibles actuellement permettent de quantifier le paramètre trafic avec beaucoup plus de fidélité et de précision.

Presque toutes les méthodes de dimensionnement des chaussées font intervenir la composition de trafic.

Cette composition est parfaitement connue quand il s'agit d'une desserte d'une mine ou d'une carrière avec des Camions de types connus et à une cadence annuelle fixée. Il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit d'une route nouvelle ou d'une liaison nationale importante empreintée par un trafic hétérogène. Il faut alors examiner dans le détail chaque cas particulier.

Cette composition étant supposée connue, il reste nécessaire de connaître :

- Le taux de croissance du trafic et son influence sur l'épaisseur des chaussées.
- La durée de service de la chaussée.
- Le nombre d'essieux standart équivalent à un trafic réel.
- La loi de fatigue des matériaux.
- Agressivité du trafic qui traduit le dommage auquel devrait résister la structure.

Les indications contenues dans cette communication pourraient être un moyen d'orienter les projeteurs dans le domaine routier.

I - ANALYSE DU TRAFIC :

1 - Parc Automobile

Au 31 Décembre 1984, le Parc Automobile National comptait 742.569 Véhicules :

- 18.736 Motocyclistes
- 491.144 Véhicules de Tourisme
- 232.689 Véhicules utilitaires dont :

- . Camions et Camionnettes : 184.768
- . Tracteurs routiers : 38.674
- . Autobus et ambulances : 8.146
- . Autres : 1.101

Les statistiques données sur le Parc Automobile durant la période 80-84 par la Direction de la Statistique indiquant une croissance moyenne annuelle de 3,55 %.

Par comparaison avec certains pays de l'Europe les immatriculations annuelles dans notre pays demeurent très faible en effet :

Les immatriculations enregistrées en France durant l'Année 1984 sont de :

- 1.757.496 Véhicules de Tourisme (I)
- 314.107 Véhicules utilitaires.

Contre 16.046 Véhicules de Tourisme et 6.706 Véhicules utilitaires immatriculés au MAROC durant la même Année.

(1) Source : routes du monde Février - Mars 1986

PARC AUTOMOBILE MAROCAIN (2)

MOTOS :	18.736
VOITURES TOURISTIQUES :	491.144
VOITURES UTILITAIRES :	232.689
CAMIONS ET CAMIONNETTES	184.768
TRACTEURS ROUTIERS :	38.674
AUTOBUS-AUTOCARS-AMBULANCES :	8.146
AUTRES :	1.101

<u>TOTAL =</u>	<u>742.569</u>
----------------	----------------

(2) -SOURCE BULLETIN STATISTIQUE ANNUELLE DU MAROC (1985).

Evolution du parc automobile durant la période 80-84 (3)

ANNEES	V.P	V.U	TOTAL	VARIATION EN%
1980	429.606	200.559	630.165	-
1981	445.000	207.370	652.370	3,5
1982	462.566	217.523	680.089	4,2
1983	477.394	226.563	703.917	3,5
1984	491.144	232.689	723.833	3
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:

2 - décomposition du trafic

2-1 -Catégorie de Véhicules

La répartition des Véhicules utilitaires en fonction de la charge utile durant la période 1980 - 1984 est donnée dans le tableau ci-après :

CHARGE UTILE EN TONNES	1980	1981	1982	1983	1984
I	51.500	52.849	54.438	56.461	57.708
I- 1,4	28.014	30.006	32.439	34.942	36.965
I,5-1,9	17.513	18.374	19.317	19.964	20.176
TOTAL =	97.077	101.229	106.194	111.377	114.049
2- 2,4	21.119	21.682	22.576	23.373	23.731
2,5-2,9	9.326	9.444	9.474	9.469	9.439
3 - 3,4	1.842	1.848	1.844	1.841	1.845
3,5 -3,9	981	989	993	1.000	1.001
4 - 4,4	1.385	1.391	1.411	1.426	1.429
4,5 -4,9	967	980	998	1.012	1.022
TOTAL =	35.620	36.334	37.296	38.121	38.467
5 -5,4	4.280	4.291	4.298	4.306	4.316
5,5-5,9	1.174	1.193	1.201	1.179	1.227
6 -6,4	2.162	2.211	2.291	2.328	2.371
7 -7,9	4.174	4.475	4.545	4.545	4.580
8 -8,9	2.041	2.068	2.090	2.113	2.114
9 -9,9	1.193	1.201	1.205	1.212	1.214
10 T	5.944	6.165	6.491	6.803	7.036
TOTAL=	21.795	22.301	22.893	23.328	23.734
NON DECLARES	45.056	46.482	50.093	52.669	54.538
TOTAL GENERAL	199.548	206.346	216.476	225.485	231.588

Répartition des Véhicules utilitaires en fonction
de la charge utile - Période 1980 - 1984 (4)

L'analyse du parc automobile MAROCAIN à la lumière du tableau précédent, fait apparaître les types de Véhicules suivants :

CATEGORIES	DEFINITIONS
a	Bicyclette
b	Motocyclettes
c	Véhicules particuliers
d	Camionnette (Véhicule d'une charge utile inférieure à 1,5 T).
e	Camions légers (Véhicules d'une charge utile comprise entre 1,5 T et 5 T)
f	Camions lourds (Véhicule d'une charge utile supérieur ou égale à 5 T)
g	Remorque et semi-remorques
h	Auto-cars et autobus
i	Tracteurs agricoles
j	Autres (charge utile non déclarée)

(3) et (4) : Source Direction des Statistiques.

2.2 - Les poids lourds

Les Véhicules utilitaires, dans notre pays, constituent 31% de notre Parc Automobile National contre 66% des Voitures particulières. Ce qui intéresse les Ingénieurs Routiers dans cette décomposition c'est le pourcentage de poids lourds.

En effet, pour apprécier l'influence du paramètre trafic, il est nécessaire de choisir une base commune de référence qui sera le Camion, de 1,5 Tonnes de Poids Total en charge utilisé pour le dimensionnement des chaussées par la Direction des Routes et de la Circulation Routière. Les statistiques disponibles ne permettent pas d'isoler les poids lourds ainsi définis. Aussi est-il convenu de considérer les poids lourds de charge utile supérieure ou égale à 1,5 Tonnes en regroupant les catégories e, f, g, et h que nous appellerons poids lourds dans cet article.

Repération du parc automobile entre les différentes catégories (en %)

en %	DEUX ROUES	VOITURES PARTICULIERES	VEHICULES UTILITAIRES	P.L.
	(a + b)	(c)	d : e : f+g+h : i : j : e+f+g+h	
1980	2,8	66	12,3:8,2:3,79* : 0,01:6,9:	12
1984	2,5	66	12,7:7,9:3,58 : 0,02:7,3:11,50	

Les tableaux appellent les commentaires suivants :

- Les pourcentages trouvés ne sont bien sûr pas tout à fait ceux constatés sur le réseau National et qui font l'objet d'un manuel de trafic MJA publié par la DRCR ; il faut rappeler qu'il s'agit ici d'une décomposition du Parc Automobile National et non du trafic par itinéraire.

- Le pourcentage moyen de poids lourds par rapport au Parc National global est de 12% soit 35 % par rapport aux Véhicules utilitaires, il faut rappeler que ce résultat est faussé par l'existence d'un pourcentage important de Véhicules utilitaires dont la charge utile n'est pas déclarée. Ce chiffre s'élève à 7% du Parc National global soit 24 % par rapport aux Véhicules utilitaires.

La diminution du pourcentage de poids lourds de 1980 à 1984 est dû à un ralentissement économique du pays et qui traduit dans une certaine mesure une diminution de l'agressivité globale du trafic.

3 - La réglementation des charges

Aux termes de l'arrêté viziriel du 8 Joumada I 1372 (24 Janvier 1953) abrogeant et remplaçant l'arrêté viziriel du 26 Chaâbane 1353 (4 Décembre 1934) sur la police de la circulation et du roulage tous les Véhicules ou un ensemble de Véhicules ne doivent, du point de vue Poids total en charge excéder les limites suivantes :

R 1) - Véhicules à deux essieux : 19 Tonnes

R 2) - Véhicules à trois essieux : 26 Tonnes

R 3) - Ensemble de Véhicules composé d'un Véhicule tracteur et d'un remorque ou d'une semi-remorque (remorque sans essieu avant, dont la partie antérieure repose sur le Véhicule tracteur : 38 Tonnes.

R 4) - L'essieu le plus chargé d'un Véhicule ou d'un ensemble de Véhicules ne doit pas supporter une charge supérieure à 13 Tonnes.

R 5) - Pour tout Véhicule ou ensemble de Véhicules le poids total en charge ne doit pas dépasser 5 Tonnes par mètre linéaire de distance entre les deux essieux oximomes extrêmes

R 6) - Sur les Véhicules ou ensemble de Véhicules comportant plus de deux essieux, pour deux consécutifs, la charge de l'essieu le plus chargé ne doit jamais dépasser, en fonction de la distance existante entre les deux essieux, le maximum fixé par le barème ci-après :

DISTANCE ENTRE LES DEUX ESS- IEUX CON- SECUTIFS	CHARGE MAXIMALE DE L'ESSIEU LE PLUS CHARGE	OBSERVATIONS
0,90 m	7,350 Tonnes	à toute augmentation de 5 Centimètres de la distance entre les deux essieux.
1,35 m	10,500 Tonnes	Consécutifs et dans la limite de 45 centimètres, peut correspondre un accroissement de 350 Kg de charge maximale

Les combinaisons des différentes dispositions aboutissent aux trois cas les plus fréquents : (figure : réglementation des charges).

4 - Moyens d'évaluation du paramètre trafic

4.1 - Système ancien :

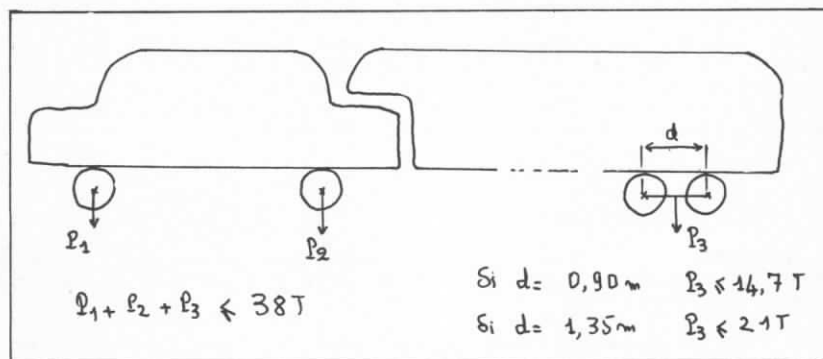
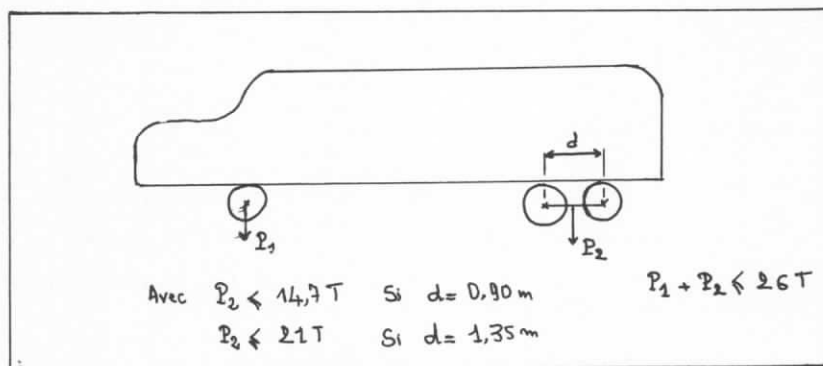
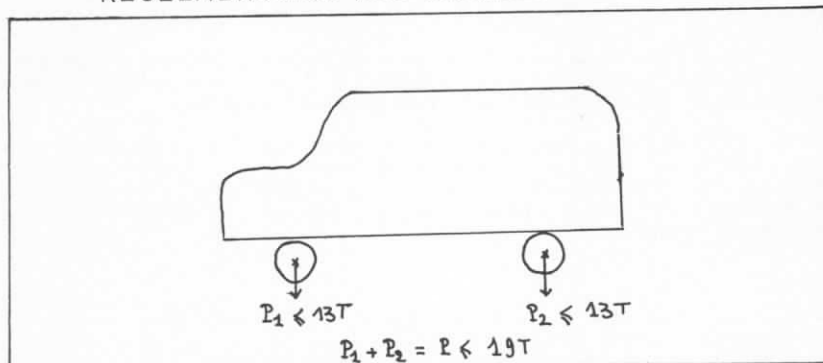
Le système de comptage routier pour quantifier le paramètre trafic, utilisé par la Direction des Routes et de la Circulation Routière datait de 1962. Il a fait l'objet d'une circulaire n° 6014 T.P. le 15 Mai 1963. Cette instruction a été mise à jour en Janvier 1978. Les moyens de comptages étaient :

- Compteur totalisateur
- Compteur enregistreur.

Cependant ce système ne répondait plus aux besoins nécessaires à la gestion moderne du réseau national, et ce pour plusieurs raisons :

- L'existence de variations considérables des moyennes annuelles sur un même itinéraire et sans explication aucune.

REGLEMENTATION DES CHARGES



- Le taux de croissance du trafic est en contradiction avec d'autres indicateurs de la circulation routière tels que : immatriculation des véhicules, consommation d'essence, accidents de la circulation, etc ...

- Le type de matériel ne permet pas une exploitation statistique fiable compte tenu des risques d'erreurs dues aux opérateurs, au matériel lui-même, aux défaillances des accessoires etc...

- L'entretien très fréquent des compteurs et de leurs accessoires.

- L'établissement des procès-verbaux des visites techniques et des comptes rendus horaires du mois ainsi que la mise à jour des fiches techniques des compteurs mobilisent un potentiel humain et matériel important rendant ainsi plus coûteux l'exploitation du comptage.

4.2- Nouveau système.

Compte-tenu de ces inconvénients la D.R.C.R. a envisagé d'abandonner l'ancien système au profit d'un procédé moderne basé sur l'utilisation des compteurs à Boucles magnétiques. Présentant les avantages suivants :

- électroniques avancées permettent une grande fiabilité
- traitement direct sur ordinateur
- durée des piles plus longue
- visites techniques moins fréquentes
- boucle inductive noyée dans le revêtement lui assurant une protection contre les arrachements dus aux véhicules et au vandalisme.

Ce nouveau système a été mis en place fin 1985 et devait être opérationnel début 1986. Le procédé consiste à diviser le réseau routier national en trois.

1)-Un réseau de base qui comme le réseau national exclut les liaisons à faible trafic.

Sur ce réseau le comptage se fait avec des compteurs à boucles inductives dont le nombre est de 45 compteurs répartis en 21 postes permanents et 104 postes périodiques.

2)-Un réseau secondaire qui groupe les routes ne faisant pas partie du réseau de base et dont le trafic est inférieur à 500 V/J.

3)-Un réseau complémentaire qui ne comporte pas de comptage, cependant l'évaluation du trafic se fait par un modèle mathématique de génération de trafic.

4.3- Autres systèmes.

4.3.1- Basculer dynamique :

L'utilisation des Basculer à fait son apparition en France en 1969, il a été introduit au Maroc en 1976 le principe de pesage est celui du fonctionnement des pesons à quartz. L'enregistrement se fait automatiquement par l'incrémenter d'une unité dans la classe d'essieux où la charge mesurée est située. On distingue 11 classes à 1 à 23 tonnes avec 1 pas d'incrémenter de 2 tonnes et une douzième pour les supérieurs à 23 tonnes.

Ce système a été exploité au MAROC par le LPEE pour le compte de la D.R.C.R. sur 3 axes :

- Le R.P. 1 au P.K 380 + 200
- La R.P. 2 au P.K. 200 + 500
- La R.P. 13 au P.K 1 + 980

Encore une fois, les résultats de cette exploitation sont détaillés dans le chapitre II. Bien que le système résoud partiellement nos préoccupations, certains inconvénients subsistent :

- Travaux d'implantation coûteux et agressifs pour la chaussée.
- Coût d'exploitation élevé,
- Pesée d'un seul demi-essieu avec risque d'erreur lorsque le Véhicule est mal centré.
- Mobilité très longue.

4.3.2 - Station d'analyse fine du trafic :

La découverte et la mise au point des propriétés piézoélectriques des câbles coaxiaux ont permis de réaliser des progrès notables, leur encombrement, coût et temps de pose sont très inférieurs à ceux des Bascules et ils présentent, en outre une sensibilité supérieure. Le progrès de l'électronique a conduit à substituer à une logique réalisée en câbles, un système à base de micro-ordinateurs permettant la mesure et l'enregistrement sur cassette de tous les paramètres caractéristiques d'un trafic routier

- Date de passage des Véhicules
- Intervalle de temps séparant le passage de chaque Véhicule.
- Comptage des Véhicules.
- Comptage des essieux.
- Position transversale de l'essieu sur la voie.
- Vitesse instantanée des Véhicules.
- Distance entre essieux.
- Longueur du Véhicule.

II - AGRESSIVITE DU TRAFIC :

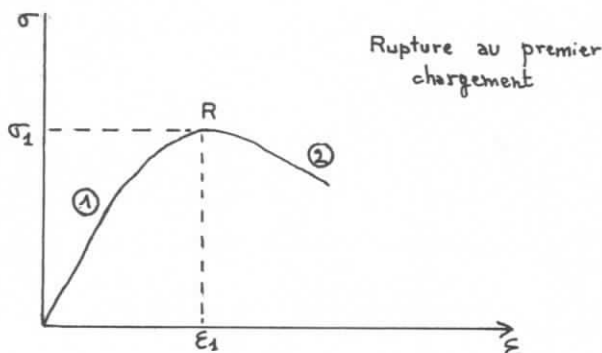
Les données relatives aux trafics peuvent être exploitées en terme d'agressivité. Nous verrons d'abord de quelle façon on calcule l'agressivité des essieux puis la méthode utilisée pour cumuler les dommages occasionnés par les différents essieux.

1 - Loi de fatigue des matériaux :

1.1 - Rupture au premier chargement :

On rappelle que le comportement d'un matériau est défini par la relation qui existe entre les efforts (ou contraintes) appliqués sur celui-ci et les déformations qu'ils entraînent.

La figure (1) montre que les contraintes augmentent comme les déformations jusqu'au point R. Ensuite les déformations continuent à croître alors qu'on a besoin de moins d'effort pour y arriver. La phase (2) s'explique par le fait que la structure du matériau est totalement désorganisée : les grains ne sont plus solidaires, il n'existe plus de cohésion, le matériau est irrémédiablement endommagé, même si on essayait de revenir en arrière. En diminuant les contraintes, on constaterait des déformations permanentes. le point R caractérise la rupture du matériau au premier chargement.



1.2 - Rupture par fatigue :

En général une chaussée ne se rompt pas au premier chargement car les efforts exercés par les Véhicules ne sont pas suffisamment importants. Mais on remarque que sa résistance diminue au fur et à mesure que les Véhicules circulent dessus.

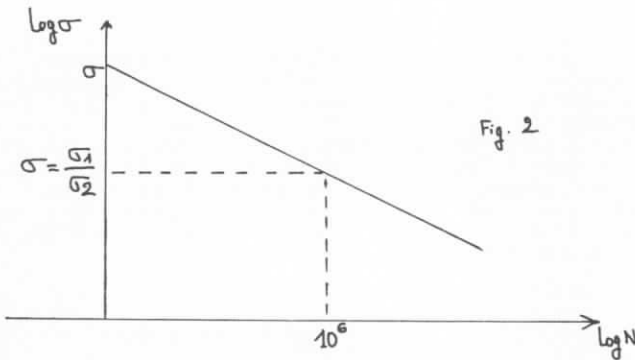
L'essai de fatigue consiste à donner l'amplitude de contrainte qu'il faut appliquer pour que le matériau se rompe sous un nombre de chargement donné.

Des expériences ont montré que la courbe correspondante obéit à une loi de la forme : $\sigma = F(N)$

$$\log \sigma = a - b \log N \quad (1)$$

$$\text{ou } \sigma N^b = \text{cte} \quad (1)'$$

Il suffit d'exercer une contrainte σ sensiblement égale à la moitié de celle de la rupture σ_1 au premier chargement, pour obtenir le même résultat quand la chaussée a supporté un million (10^6) de cycles de chargement (fig 2) on dit alors que la chaussée s'est rompue par fatigue .



RUPTURE PAR FATIGUE.

à partir du nombre de cycles à la rupture à l'essai de fatigue, on définit le dommage occasionné par le passage d'un essieu de poids P générateur d'une contrainte.

Le dommage est défini comme l'inverse du nombre de cycle à la rupture soit :

$$D = I/N \quad (2) \text{ pour un essieu de poids } P$$

$$D_0 = I/N_0 \quad (3) \text{ pour un essieu de poids } P_0$$

En appliquant la relation (1) on a :

$$\log \sigma = a - b \log N \quad (4)$$

$$\log \sigma_0 = a - b \log N_0 \quad (5)$$

d'où l'on peut déduire :

$$\text{ou } N_0/N = \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (6)$$

$$D = D_0 \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (7)$$

les modèles de HOGG et WESTER-GAARD montrent que les contraintes sont proportionnelles aux poids :

$$\sigma = \frac{3P}{H^2} \times \left[1 - \frac{a_1}{L} \right]^{0,6} \quad (8)$$

$a_1 = a\sqrt{2}$ si a est le rayon de la charge circulaire

L = rayon de rigidité

H = épaisseur de la chaussée

σ = contrainte max de traction par flexion

On pose:

$$F = 3 \left[1 - \frac{a_1}{L} \right]^{0,6}$$

Le rapprochement de (7) et (8) donne :

$$(9) \quad D = D_0 (P/P_0)^\beta \quad \text{avec} \quad \beta = 1/b$$

Et c'est cette relation que nous utiliserons pour calculer l'agressivité d'un essieu de poids P.

2 - Agressivité des essieux :

L'agressivité A d'un essieu de poids P s'écrit :

$$A = D/D_0 \quad (10)$$

D : étant le dommage occasionné par un essieu de poids P.

D₀ : étant le dommage occasionné par un essieu standard de poids P₀.

Rappelons que l'essieu standard Français est P₀ = 13 t et l'essieu standard Britannique est P₀ = 8,2 t

Le Maroc adopte l'essieu Standard P₀ = 13 t

L'agressivité A d'un essieu de poids P s'écrit alors : $A = (P/13)^\beta$

Cette formule confirme les essais AASHOO du fait que l'agressivité est proportionnelle au poids de l'essieu à la puissance 4^{ème} pour les chaussées Bitumineuses et traditionnelles souples.

Cette relation est valable pour les essieux isolés, car pour les essieux tandems ou tridems, il faut tenir compte de la superposition des effets des essieux. Pour ces essieux là on obtient une bonne corrélation en écrivant :

$$A = K(P/13)^\beta$$

K étant fonction de la façon dont se superposent les effets des essieux, donc de la rigidité de la structure de la chaussée et de la distance entre ces essieux

Les valeurs prises pour β et K pour les différentes structures sont données dans le tableau suivant :

	β	K
Structure n° 1 : souple traditionnelle	4	I
Structure n° 2 : neuve en grave hydraulique	12	12
Structure n° 3 : neuve type mixte	8	1,5
Structure n° 4 : renforcement en graves hydraulique	12	1
Structure n° 5 : renforcement en grave bitue	4	1

valeurs de β et K.

3 - Agressivité globale du trafic :

3.1 - Principe de calcul :

Tout au long de sa vie, la chaussée sera soumise à l'action d'essieux chargés à différents poids pendant les différentes périodes de l'Année.

Pour calculer le trafic cumulé subi par la chaussée, il faut utiliser une loi qui permette de cumuler les dommages élémentaires subis, en essayant de se ramener à un nombre équivalent d'essieux types. On utilise pour cela la loi de MINER.

$$\sum n_i D_i = 1$$

où

- Les D_i sont les dommages élémentaires occasionnés par les différents essieux de poids P_i .

- Les n_i sont les nombres d'application des poids P_i pendant la durée considérée.

Cette loi consiste à écrire que la rupture se produit quand la somme des dommages élémentaires est égale à 1.

Or : $D_i = d \cdot (P_i/13)^B$ pour les essieux isolés

et : $D_j = d \cdot k \cdot (P_j/13)$ pour les essieux tandem et tridem.

d : étant le dommage occasionné par l'essieu standard de 13 tonnes on trouve :

$$\sum_i n_i \left(\frac{P_i}{13} \right)^\beta \times d + \sum_j n_j \left(\frac{P_j}{13} \right)^\beta \times d \times K = 1$$

$$\text{SOIT: } n = \frac{1}{d} = \sum_i n_i \left(\frac{P_i}{13} \right)^\beta + K \sum_j n_j \left(\frac{P_j}{13} \right)^\beta$$

où n est le nombre d'essieux standards (13 T)équivalent à l'ensemble des essieux simple et tandems considérés.

On pose: $A_S = \sum n_i (P_i/13)^\beta$ pour les essieux simples.

Et $A_T = K \sum n_j (P_j/13)^\beta$ pour les essieux tandems et tridems.

Sachant qu'un poids lourds possède en moyenne n I essieux isolés et nT essieux tandems l'agressivité moyenne d'un poids lourd est :

$$A = n_I A_S + n_T A_T$$

3.2 - Exemples de calcul :

Des campagnes de pesées utilisant la bascule dynamique ont eu lieu au MAROC sur différents sites appartenant au réseau principal :

- La première implantation se situe au P.K. 380 + 200 de la R.P. I entre Fès et Taza, la campagne a durée 10 Mois.

- La deuxième implantation se situe sur la R.P. 2 au P.K. 200 + 500 entre Larache et Azilal. Les mesures ont duré 17 Mois.

- La troisième campagne a été opérée sur la R.P. 13 au P.K. 1+ 980 entre Berechid et Khouribga, la campagne a duré 8 Mois.

Les résultats de ces mesures ont permis de :

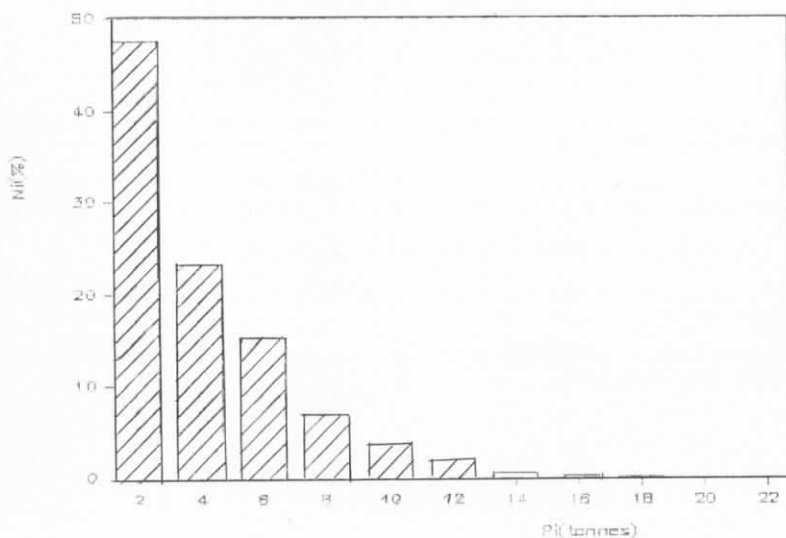
-Connaître le nombre moyen d'essieux par poids lourd qui est de 2,24 essieux.

-Déterminer l'histogramme des essieux (essieux tandems et tridems confondus).

RESULTATS DES MESURES :

Classe des essieux en tonnes	moyenne de la classe en tonnes	Fréquence en %
1-3	2	47,48
3-5	4	23,31
5-7	6	15,21
7-9	8	6,988
9-11	10	3,844
11-13	12	2,094
13-15	14	0,7989
15-17	16	0,2266
17-19	18	0,0416
19-21	20	0,0062
21-23	22	0,0004

Histogramme des essieux



3.2.1 - Calcul de l'agressivité d'un essieu :

Comme nous ne disposons pas de résultats qui nous permettent de séparer les essieux simples et les essieux jumelés, nous calculons uniquement l'agressivité moyenne d'un essieu.

Les résultats sont donnés sur le tableau ci-après pour différentes structures et différents essieux de référence :

Structure	B	Agressivité moyenne d'un essieu Ac		
		P0 = 13	P0 = 10	P0 = 8,2
Structure n° 1 : souple traditionnelle	4	0,06579	0,18792	0,41563
Structure n° 2 : neuve en grave hydraulique	12	0,09046	2,107944	22,80505
Structure n° 3 : neuve type mixte	8	0,05173	0,42204	2,06466
Structure n° 4 : renforcement en grave hydraulique	12	0,09046	2,107644	22,80505
Structure n° 5 : renforcement en grave bitume	4	0,06579	0,18792	0,41563

Agressivité d'un essieu.

3.2.2 * Agressivité moyenne d'un poids lourd.

D'après ce qui précède un poids lourd équivaut en moyenne à 2,24 essieux. (* 1,96 essieux simples et 0,28 essieux jumelés).

L'agressivité moyenne d'un poids lourd est :

$$A = 2,24Ae$$

Pour les différentes structures on a :

Structure	A		
	13	10	8,2
I	0,14738	0,42093	0,93102
2	0,20264	4,72112	51,08332
3	0,11589	0,94538	4,624839
4	0,20264	4,72112	51,08332
5	0,14738	0,42093	0,93102

(*) IPL = 1,96 essieux simples + 0,28 essieux jumelés.

3.2.2 - Agressivité moyenne d'un poids lourd.

D'après ce qui précède un poids lourd équivaut en moyenne à 2,24 essieux. (* 1,96 essieux simples et 0,28 essieux jumelés).

L'agressivité moyenne d'un poids lourd est :

$$A = 2,24Ae$$

Pour les différentes structures on a :

Structure	A		
	13	10	8,2
I	0,14738	0,42093	0,93102
2	0,20264	4,72112	51,08332
3	0,11589	0,94538	4,624839
4	0,20264	4,72112	51,08332
5	0,14738	0,42093	0,93102

(*) IPL = 1,96 essieux simples + 0,28 essieux jumelés.

3-2-3 Applications numériques :

Soit à déterminer le nombre d'essieux standards (de Poids $P_0 = 13$ Tonnes ou $P = 8,2$ Tonnes) circulant sur une route principale dont le trafic est de 2000 V/J avec 30% de Poids Lourds en 1984. La date de mise en service est 1986 avec un taux de croissance de 6% .

a)- Cas des Chaussées Souples et Traditionnelles ($\beta = 4$).

Le nombre de Poids Lourds par jour est :

$$TPL = 2000 \times 0,30$$

Le nombre d'essieux équivalents par jour est :

$$N_{13} = 2000 \times 0,30 \times 0,147 = 88 \text{ E } 13/J.$$

$$N_{8,2} = 2000 \times 0,30 \times 0,931 = 558 \text{ E } 8,2/J.$$

Le nombre d'essieux cumulés sur 10 ans

$$NC(13) = 88 \times 365 \times \frac{(1 + 0,06)^{10} - 1}{0,06} \approx 3 \times 10^5 \text{ essieux de } 13 \text{ T.}$$

$$NC(8,2) = 558 \times 365 \times \frac{(1 + 0,06)^{10} - 1}{0,006} \approx 2.10^6 \text{ essieux de } 8,2 \text{ T.}$$

b) - Cas des chaussées ou grave hydraulique ($\beta = 12$)

Le même calcul aboutit à :

$$NC(13) = 4,4 \times 10^5$$

$$NC(8,2) \approx 10^7$$

Le nombre d'essieux de référence cumulé pendant une certaine durée de service sollicitant la chaussée est beaucoup plus significatif, pour le comportement en fatigue de la structure, que le trafic global en volume.

III - PRISE EN COMPTE DU TRAFIC DANS LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES :

1 - Rappel du Principe du dimensionnement :

Le dimensionnement des chaussées actuellement utilisé au MAROC obéit au catalogue des structures types de chaussées élaboré par la Direction des Routes et de la Circulation Routière en collaboration avec le L.P.E.E. Ce catalogue se présente sous-forme de fiches permettant ainsi à l'Ingénieur de choisir une structure de chaussée en fonction des paramètres suivants :

- Le trafic.

- Le sol support.

- Le climat.

1-1. : Le Paramètre trafic : T.

Les classes du trafic sont définies par le tableau ci-après. Le flux est exprimé en Véhicules/Jour, tous véhicules confondus. Ce paramètre dépend de la date de mise en service. Cependant le trafic déterminant dans le dimensionnement est le trafic lourd. Le pourcentage des poids lourds représente 35% du trafic total, dans le cas où ce pourcentage s'écarte de 35% un

coefficient $\frac{P}{0,35}$ est appliqué au trafic total où P représente le pourcentage de poids lourds.

Le trafic sera alors $T = T_0 \times K$.

1-2. Le Paramètre S :

Le paramètre S caractérise le sol support, il sera choisi en tenant compte des caractéristiques géotechniques du sol et de la qualité du drainage ainsi que des conditions hydrauliques.

1-3. Le climat :

Les écarts de température, les variations de la teneur en eau du sol support ainsi que les conditions hydrauliques et hydrologiques permettent de diviser le territoire MAROCAIN en deux zones :

- ZONE ARIDE.

- ZONE NON ARIDE.

T A B L E A U D U T R A F I C
=====

TRAFFIC EN VEHICULES/ JOUR L'ANNEE DE MISE EN CIRCULATION DANS LES DEUX SENS DE CIRCULATION	CLASSE DE TRAFIC CONSEILLEE
$T > 4500$	ETUDE SPECIALE
$4500 > T > 2000$	T_1
$2000 > T > 750$	T_2
$750 > T > 200$	T_3
$200 > T > 50$	T_4

2 - Sensibilité du dimensionnement au paramètre trafic et ses dépendances.

Les méthodes de dimensionnement des chaussées actuellement proposées sont imprécises parcequ'elles sont fondées sur des hypothèses souvent discutables et plus particulièrement le paramètre trafic et comment il intervient dans le dimensionnement des chaussées.

Nous allons examiner qu'elle est la sensibilité de ce dimensionnement vis-à-vis de la quantité physique trafic et d'autres paramètres qui y sont liés dont certains figurent sur le catalogue, d'autres sont négligés :

- Durée de vie de la chaussée (Durée de Service).
- Taux de croissance du trafic.
- Agressivité du trafic.
- Répétition des charges.

2.1 - Durée de Service :

On ne voit pas comment se traduit une variation de la durée de service d'une chaussée au niveau de la structure de celle-ci et notamment la variation d'épaisseur correspondante.

Le choix d'une durée de service conditionne le choix d'une stratégie de dimensionnement en tenant compte notamment des dépenses que le Maître d'ouvrage veut consacrer à la construction d'une part et à l'entretien d'autre part.

La durée de service est définie en fait comme étant la période pendant laquelle l'Administration n'aura pas en principe à effectuer d'entretien structurel; les seules opérations nécessaires étant celles liées aux caractéristiques superficielles de la chaussée et au strict-entretien.

Il en résulte que le choix de la durée de vie de la chaussée doit prévoir à peu de choses près l'état final de la chaussée à la fin de cette durée à partir de considérations théoriques ou expérimentales sur le comportement mécanique de la chaussée, et en déduire par là le coefficient de sécurité à adopter et le niveau de risque à encourir.

2.2 - Taux de croissance du trafic:

Le taux de croissance du trafic à prendre en compte doit représenter non seulement l'augmentation probable du trafic mais également celle de son agressivité. Le taux de croissance géométrique de 6 % adopté par le catalogue des structures de chaussée est assez fort par rapport à celui constaté sur le Parc Automobile National qui varie de 3 à 4 % mais cette différence demeure, heureusement sans incidence sur la classe du trafic à la date de mise en service et par conséquent en service sur l'épaisseur du corps de chaussées

en effet:

Une chaussée neuve de route principale doit être réalisée en 1982, le trafic global dans les deux sens de circulation en 1980 est de 2000 V/J avec un pourcentage de Poids Lourd de 47 % selon le catalogue de trafic en 1982.

$$\text{Est } T_{82} = \frac{2000 \times 0,47}{0,35} (1 + 0,06)^2 = 3017 \text{ V/J}$$

avec un taux de croissance de 6%

$$T_{82} = \frac{2000 \times 0,47}{0,35} \times (1,03)^2 = 2849 \text{ V/J}$$

avec un taux de croissance de 3 %.

dans les deux cas la classe du trafic est T1 selon le catalogue. Cette insensibilité du dimensionnement au taux de croissance du trafic qui est passé du simple au double sans varier la classe du trafic vient du fait que les fourchettes des classes ainsi définies sont assez larges et que l'épaisseur de la chaussée dans les deux hypothèses est invariante malgré la croissance de l'agressivité du trafic qui n'est pas à exclure. Cependant cette possibilité paraît à beaucoup intéressante, car elle diminue le risque à encourir sur la tenue de la structure et compense les erreurs commises éventuellement sur le paramètre trafic qui sont fréquentes parcequ'on fait changer la classe du trafic c'est faire varier l'épaisseur du corps de chaussée.

2.3 Aggressivité du trafic. Répétition des charges :

L'agressivité du trafic vis-à-vis du corps de chaussée a été définie au chapitre II Comme le dommage relatif occasionné par les différents essieux.

Il est donc important de connaître sur une route à construire l'agressivité du trafic à la mise en service de la façon la plus exacte possible pour éviter des dépenses d'entretien liées à un fatigue prématurée qui est due à une réduction de nombre de répétitions des charges.

L'agressivité d'un essieu de poids P s'écrit comme on l'a vu :

$$A = (P/P_0)^B$$

Pour apprécier la sensibilité de l'agressivité due aux surcharges calculons l'élasticité de l'agressivité par rapport aux surcharges qu'on note E (A/p) =

$$\frac{\frac{dA}{A}}{\frac{dP}{P}}$$

$E = \beta$ cela traduit par une augmentation de 1 % des surcharges (P) entraîne une augmentation de β % de l'agressivité d'un essieu.

Compte-tenu des valeurs de β qui varient de 4 à 12 selon le type de structure, on voit que l'agressivité est très sensible aux surcharges.

Essayons de voir qu'elle est la relation qui existe entre l'épaisseur de la chaussée, les surcharges appliquées et le nombre de cycles admissibles?

Si l'on rapproche les deux expressions déjà citées au chapitre II :

$$\sigma = \frac{p}{H^2} \times F : \text{expression de la contrainte appliquée}$$

$\log \sigma = a - b \log N$ loi de fatigue qui peut s'écrire sous forme exponentielle $= N^b \times C_t$.

On peut écrire :

$$N = c_t (H^2/P)^{\beta} \quad (1)$$

$$\text{Ou } H = c_t \times P^{0,5} N^{\left(\frac{1}{2\beta}\right)} \quad (2)$$

Cette dernière formule rejoint la méthode Américaine de dimensionnement des chaussées basée sur la formule de Hveem (1) qui est la suivante :

$$H = K.P^{0,5} N^{0,119}$$

Pour $\beta = 4$ les deux formules coïncident,

La formule (1) traduit qu'une augmentation des surcharges réduit le nombre de cycle, mais qu'une faible augmentation de l'épaisseur permet d'accroître le nombre de cycle.

La formule (2) traduit qu'une augmentation de 1 % des surcharges entraîne une augmentation 0,5 % de l'épaisseur de chaussée ceci d'une part d'autre part, une augmentation de 1 % du nombre de cycles entraîne une augmentation 0,12 % de l'épaisseur de la chaussée. Elle montre également que l'épaisseur du corps de chaussée est proportionnel à P .

Cela veut dire que l'Administration, soit pour construire une route, soit pour l'entretenir doit élever le seuil du poids lourd de référence compte-tenu de la faible incidence des surcharges sur l'épaisseur de la chaussée. Cela conduit à changer la définition du poids lourd ainsi définie par la Direction des Routes et de la Circulation Routière.

Par conséquent, un effort doit être déployé au niveau du catalogue de structure des chaussées pour mieux cerner le paramètre trafic et apprécier l'incidence non négligeable des paramètres qui y sont liés sur l'épaisseur des assises de chaussées.

(1) G. JEUFFROY : Conception des structures de chaussée tom 1 (Méthode de calcul de l'épaisseur des chaussées).

(*) : = 4 chaussées souples et traditionnelles.

IV - CONCLUSION :

On a présenté dans ce sujet les méthodes pour analyser et caractériser le trafic et son influence sur le dimensionnement des chaussées. Nous avons ensuite exposé un modèle mathématique basé sur la mécanique des chaussées, pour quantifier l'agressivité du trafic vis-à-vis de la structure des chaussées en utilisant des résultats existants qui demeurent insuffisants au niveau de l'exploitation. Cela devrait inciter les responsables des projets routiers à effectuer, de façon systématique des pesées ou des comptages plus précis sur un échantillon représentatif du réseau national et ce d'autant plus qu'il existe actuellement des appareils automatiques permettant des mesures rapides (cables piezo-électriques).

On a mis ensuite en évidence, dans cet article, la faible incidence de l'augmentation des surcharges sur l'épaisseur de la chaussée cela veut dire que l'Administration a intérêt à élever le seuil de référence du poids lourds en vue d'une meilleure tenue de la chaussée pour un faible coût marginal.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Les données de base : LETRAFFIC : Mr CAROFF
(Session de formation continue 1981).
- Agressivité statique des Véhicules Lourds : C. PFYROUNE.
Division des chaussées et Terrassement SETRA : 1981
- Station d'analyse fin du trafic :
- Description et applications aux domaines des ouvrages d'Art et des Chaussées. (Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 123 Janvier- Février 1983).
- Conception et construction des chaussées Tome I :
G. JEUFFROY.
- Considérations et données sur le trafic : A. MRHIZOU
Département infrastructures L.F.E.E : I° congrès National de Route (MAROC) .
- MEMENTO des statistiques : Ministère des Transports
Direction des Transports terrestres (MAROC) 1984.
- Police de la circulation et du roulage : code de la Route.
- Bulletin statistique annuelle du MAROC 1985 :.
- Direction des Statistiques.
- Catalogue des structures type de chaussée DRCR 1976/