

CONSIDERATION ET DONNEES SUR LE TRAFIC

Par : A. MRHIZOU

Département infrastructures L.P.E.E.

Résumé

L'appréhension du paramètre trafic se fait par des grandeurs physiques quantifiables déduites de manière à ce qu'elles traduisent utilement et de la façon la plus significative l'action physique par laquelle ce paramètre rentre en considération.

En matière de programmation, définition du profil en travers ou section des projets routiers, et gestion de la circulation routière, le trafic est appréhendé par le débit de circulation exprimé en nombre de véhicules par unité de temps significative, jour ou heure.

En matière de conception des structures de chaussées et suivi de leur comportement, la quantification du trafic en unités de circulation (véhicules) n'est pas suffisante et s'avère imprécise dans la mesure où elle ne traduit pas de manière adéquate l'action du trafic en tant que charges sollicitant le corps de chaussée et le sol de plateforme. La connaissance des charges roulantes appliquées aux aires de contact chaussée pneumatiques du véhicule, et des effets de la répétition de leur application permettrait de mieux prendre en compte le paramètre trafic.

Les recherches menées dans ce domaine ont abouti à l'établissement de méthodes de dimensionnement basées sur le trafic exprimé en nombre d'essieux équivalents à un essieu de référence, l'essieu légal.

Le nombre d'essieux équivalents à un essieu standard est généralement calculé à partir du nombre des véhicules poids lourds au moyen de facteurs d'équivalence déterminés par l'analyse des charges du trafic, notamment le spectre des essieux et histogramme des véhicules.

La réalisation par le L.P.E.E. pour le compte de la D.R.C.R. de trois campagnes d'analyse (RP 1, RP 2 et RP 13) du trafic à l'aide de la bascule à pesage dynamique et dispositifs associés, a permis

de déterminer les premières caractéristiques du spectre du trafic empruntant le réseau principal.

L'exploitation des résultats obtenus donne les facteurs d'équivalence entre le poids lourd moyen empruntant le réseau principal et les essieux standards. Ce facteur est de 0,145 pour l'essieu de 13 T et 0,915 pour l'essieu de 8,2 T.

Le trafic est une donnée fondamentale dans la conception et l'exploitation de l'ouvrage ROUTE puisqu'il constitue l'essence même et la finalité de toute liaison routière.

Cependant, si l'on comprend aisément la signification de la notion ou grandeur physique TRAFIC, il est souvent délicat de la traduire -en tant que donnée- en outil mathématique simple à introduire dans les calculs.

I • Considérations sur l'appréhension du paramètre TRAFIC :

Suivant la finalité de son utilisation, le paramètre trafic est alors appréhendé par des grandeurs physiques quantifiables différentes dont on précise une valeur particulière, les indices de composition, et d'évolution. La nature de la grandeur physique quantifiable est définie de manière à ce qu'elle traduise le plus fidèlement possible l'action physique du trafic. Elle est souvent déduite de l'analyse du schéma ou mécanisme par lequel le paramètre trafic intervient.

1.1. Le trafic, débit de circulation :

En matière de programmation, définition du projet et gestion de l'ouvrage une fois construit, la meilleure appréhension du trafic se situe au niveau de l'unité de circulation (le véhicule). Ce qui est le plus significatif, c'est le nombre d'unités de circulation à l'année de mise en service ou à une autre date fixe, le genre d'affectation de l'unité de circulation : transport de personnes et / ou de marchandises, et les taux d'accroissement. Ainsi par exemple, le choix de la section ou profil en travers d'un projet routier : route à 2 voies de 6 ou 7 m de large, route à 3 voies, une 2 x 2 voies ou une autoroute..., dépend bien entendu du trafic, mais plus exactement du débit à écouler, c'est-à-dire du trafic exprimé en unités de circulation par jour ou par heure : valeur à l'année de mise en service, répartition, et taux d'accroissement. La saisie de ces différents paramètres se fait par l'exploitation à l'aide de modèles mathématiques simples ou élaborés, des résultats d'enquêtes complétés par des indicateurs socio-économiques ou données existantes, notamment les résultats des comptages routiers dans le cas d'aménagement ou d'exploitation d'une route existante.

1.2. Le trafic, sollicitations de la chaussée :

En matière de conception de chaussée où le trafic est une entrée principale du dimensionnement de la structure puisqu'il constitue la part prépondérante des sollicitations, la méthode consistant à quantifier le trafic en unités de circulation, comme explicitée ci-dessus, si elle est indéniablement indispensable, s'avère insuffisante ou du moins ne permet pas de traduire de la façon la plus exacte la prise en compte dans le dimensionnement de l'action du trafic sur la structure de chaussée. Un examen rapide de cette action permet de s'en rendre compte.

II • Connaissance du trafic exprime en unités de charges roulants :

La circulation d'un véhicule sur une route se traduit concrètement sur la structure de chaussée, par l'application sur les aires de contact chaussée pneumatiques de charges roulantes d'intensité variables suivant le type de véhicule, sa charge, sa constitution en essieux, le type de pneumatiques et même des caractéristiques géométriques de surface et de profils de la route, etc... Les sollicitations qui s'exercent sur le corps de chaussée et auxquelles ce dernier donne une réponse suivant ses lois de comportement sont donc les charges roulantes, appliquées aux aires de contact.

On conçoit alors qu'il serait plus judicieux de traduire le paramètre trafic à introduire dans le calcul du dimensionnement de chaussées en unités de charges roulantes (charge vitesse) et de l'exprimer -pour utilisation pratique- en nombre de charges roulantes équivalentes à une unité de charge roulante de référence.

Pour ce faire, il faudrait pouvoir mesurer les charges roulantes, apprécier les conditions de leur application, et être en mesure de comprendre et d'évaluer leurs effets sur la structure de la chaussée et le niveau de service. Les recherches poursuivies dans ce domaine ont abouti à des résultats importants, sur lesquels reposent la plupart des méthodes de dimensionnement actuelles. Le trafic y est exprimé en nombres d'essieux équivalents à un essieu de référence.

L'utilisation de ces méthodes ou l'élaboration de méthodes propres adaptées, même celles qui semblent à priori utiliser les classes de trafic traduit en débit de circulation, nécessitent une connaissance exacte des charges roulantes réelles afin de pouvoir exprimer le trafic du projet en essieux équivalents à un essieu de référence.

Cette connaissance ne peut se faire dans l'état actuel des choses à l'aide de mesures, que par des campagnes de pesage : statique avec arrêt du véhicule, ou mieux encore dynamique avec implantation d'appareillages dans la chaussée et enregistrement

automatique des informations recueillies. La bascule à pesage dynamique et dispositifs associés est l'appareillage le plus connu dans cette dernière catégorie.

III• Un système de mesures : la bascule à pesage dynamique et dispositifs associés

3.1. Constitution du système

Ce système de mesures, introduit au Maroc en 1976 est constitué d'une bascule à pesage dynamique proprement dite, de boucles magnétiques permettant le comptage tous véhicules par sens de circulation, et d'un ensemble électronique d'enregistrement.

3.2. Description, principes de fonctionnement et paramètres mesurés :

La bascule implantée sur une demi-voie de circulation, à quelques centimètres du bord de la chaussée et dans une fosse creusée à cet effet, se compose : d'un caisson parallélépipédique en béton armé de forte épaisseur coulé en place dans le corps de chaussée, d'un ensemble constitué par un plateau inférieur en acier très rigide arrimé au caisson en béton par des boulons d'ancrage, et par un plateau supérieur sur lequel passent les demi-essieux des véhicules et reposant sur le plateau inférieur par l'intermédiaire de 3 pesons à quartz disposés en triangle. Le principe du pesage est celui du fonctionnement des pesons à quartz. La bascule mesure la charge d'un demi-essieu et ses dimensions sont telles qu'elle n'effectue à un instant donné que le pesage d'un seul demi-essieu. La charge enregistrée est le double de la charge mesurée, c'est à dire celle de l'essieu. L'enregistrement se fait automatiquement par l'incrémentation d'une unité dans la classe (intervalle de charges) d'essieux où la charge mesurée est située. On distingue 11 classes : de 1 à 23 tonnes avec un pas de 2 tonnes et une douzième pour les supérieures à 23 tonnes. Cet enregistrement est effectué donc de telle manière à avoir une répartition des charges d'essieux, et par voie de conséquence l'histogramme des charges d'essieux ou plus exactement, le spectre des amplitudes des charges dynamiques appliquées par les véhicules à la surface de la chaussée et supérieures à 1 tonne.

L'accumulation des charges des essieux mesurées sur un incrément de temps judicieusement choisi et déclenché par le pesage du premier essieu, permet d'avoir la charge du véhicule. L'enregistrement de cette charge se fait aussi par l'incrémentation d'une unité du compteur de la classe correspondante. On distingue 16 classes de charges des véhicules : celles de 1,5 à 39 tonnes avec un pas de 2,5 tonnes, et les supérieures à 39 tonnes. Ce qui permet d'obtenir la répartition des charges des véhicules supérieures à

1,5 tonne et d'en déduire le spectre des charges des véhicules poids lourds.

Le dispositif de comptage tous véhicules est constitué de boucles « capteurs de véhicules » reliées aux compteurs totalisateurs.. Le capteur de véhicule n'est autre qu'une boucle magnétique noyée dans la chaussée à une profondeur de 3 à 5 cm et qui constitue la self d'un oscillateur. Le passage d'une masse magnétique, le véhicule, provoque une variation de tension aux bornes de la boucle, qui est alors enregistrée au moyen d'un tiroir électronique en incrémentant d'une unité le compteur de la boucle. Les boucles magnétiques sont implantées par voie de circulation, ce qui permet de connaître le volume du trafic exprimé en nombre de véhicules (tous véhicules) global ou par voie de circulation. L'exploitation des résultats obtenus permet de déterminer le débit du trafic exprimé en nombre de véhicules par unité de temps significative, ses fluctuations, la répartition par voie de circulation, et le pourcentage par rapport à l'ensemble des véhicules d'une catégorie particulière, notamment les véhicules de poids total en charge supérieur à 1,5 tonne « Poids Lourds ».

3.3. Résultats de l'exploitation sur un site :

En résumé, ce système de mesures (basculé à pesage dynamique, boucles magnétiques et tiroirs électroniques associés) permet la saisie de données sur le volume du trafic, sa répartition par voie de circulation, sa composition en véhicules et en charges. La campagne de mesures sur un site est généralement complétée par une campagne d'observations visuelles sur les silhouettes des véhicules et fonctionnement du système.

Les principaux résultats obtenus pour un site d'implantation sont :

- Le trafic total, traduit en débit de circulation et exprimé le plus souvent en nombre de véhicules par jour.
- La répartition du trafic par voie de circulation.
- Les variations saisonnières du volume de trafic ou débit de circulation.
- Le spectre des charges d'essieux.
- Le spectre des charges des véhicules.
- Le spectre des silhouettes des véhicules.

3.4. Intérêt et méthodologie d'exploitation sur plusieurs sites :

La multiplication des sites d'analyse du trafic au moyen de ce système de mesures ou tout autre similaire à travers le réseau routier et dans le cadre d'un programme global et cohérent combinant le système des comptages routiers, permet de saisir le paramètre trafic tant du point de vue volume de circulation que composition des charges sollicitant la chaussée.

La poursuite dans le temps de cette saisie permet de suivre l'évolution des susdits paramètres.

IV• Exploitation du système au Maroc :

Au Maroc, la bascule à pesage dynamique et dispositifs associés ont été implantés et exploités par le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E.) pour le compte de la Direction des Routes et Circulation Routière (D.R.C.R.) sur 3 sites, appartenant au réseau principal.

4.1. Sites d'exploitation :

La première implantation se situe au PK 380 + 200 de la RP 1, à Oued Amlil entre Fès et Taza. Sur ce site, la campagne des mesures a duré 10 mois.

La deuxième implantation se situe sur un autre axe important du réseau routier, la RP2 et plus exactement au PK 200 + 500 à Souk El Khemis du Sahel entre Larache et Asilah. Le trafic a été analysé au moyen de la bascule dans les deux sens de circulation. Les mesures ont duré 17 mois.

La troisième et dernière implantation depuis Mars 1980, se situe au PK 1 + 980 de la RP 13 entre Berrechid et Khouribga. La campagne des mesures a duré 8 mois.

4.2. Résultats :

Les mesures et observations effectuées sur ces trois sites sont reliées; exploitées et analysées pour le compte de la D.R.C.R. par les divers rapport du L.P.E.E. Dossier : CX 376 SR 52 et 79/105 SR 14.

Les résultats obtenus sont très importants et constituent un acquis précieux dans la connaissance des caractéristiques du trafic routier marocain.

4.3. Applications :

Les applications pratiques sont immédiates et l'incidence économique sur les coûts des projets, en particulier le corps de chaussée et ouvrages n'est pas à démontrer. Par la connaissance exacte des charges réellement appliquées, les structures de chaussées sont mieux dimensionnées, leur comportement mieux suivi et leur durée de vie mieux connue.

Parmi les nombreuses applications pratiques, celle qui consiste à déterminer les facteurs permettant d'exprimer un trafic connu en nombre de véhicules, en nombre d'essieux équivalents à un essieu de référence, est la plus importante. Elle est explicitée ci-après.

V• Transformation du trafic exprimé en nombre de véhicules en nombre d'essieux standards.

5.1. Trafic exprimé en nombre de véhicules :

Généralement, pour une section routière existante ou projetée, le trafic traduit en débit de circulation exprimé en nombre de véhicules par jour, et ses taux d'accroissement sont connus au moyen des comptages routiers dont la D.R.C.R. publie chaque année les résultats dans le « Recueil des données numériques sur les comptages routiers », ou à l'aide d'enquêtes sur le trafic globales ou spécifiques à un projet lorsqu'il s'agit d'une liaison routière neuve. Le pourcentage des « poids lourds » c'est à dire des véhicules de poids total en charge supérieur à 1,5 tonne empruntant la section routière concernée, peut être estimé par des campagnes d'observations visuelles sur le trafic : volume, catégories et silhouettes des nombre et fréquence significatifs compte tenu des spécificités locales : variations hebdomadaires dues aux souks, variations saisonnières notamment dans les régions agricoles, etc... Le résultat de ces campagnes sera confronté avec les données existantes éventuelles.

Finalement, il est souvent possible d'appréhender pour une section routière donnée, existante ou projetée, le trafic exprimé en nombre de véhicules par jour, le taux de croissance et le pourcentage des poids lourds. On en déduit le nombre des véhicules poids lourds par jour sur la voie la plus chargée. Soit PL MJA ce nombre.

5.2. Méthode de transformation en nombre d'essieux standards :

Il s'agit alors de traduire cette donnée en nombre d'essieux équivalents à un essieu de référence : EE MJA

L'exploitation des résultats des campagnes d'analyse du trafic au moyen de la bascule à pesage dynamique et dispositifs associés permet de déterminer les coefficients de transformation. La validité des résultats exprimés ci-après est limitée au trafic des routes principales puisque les analyses n'ont porté que sur ce dernier.

Le nombre d'essieux équivalents à un essieu de référence de charge q est donné à partir du nombre des véhicules de poids total en charge supérieur à 1,5 T par jour sur la voie la plus chargée PL MJA, par la formule suivante :

$$EE\ MJA = kq \times m \times PL\ MJA$$

« m » est le nombre moyen d'essieux par véhicule de poids total en charge supérieur à 1,5 tonne. Il est obtenu par le rapport du nombre d'essieux au nombre de véhicules poids lourds.

« kq » : facteur d'équivalence du spectre d'essieux à l'essieu de référence.

Pour avoir le nombre d'essieux équivalents cumulés N.E.E.C, il suffit de multiplier le nombre d'essieux équivalents par jour (EE MJA) par le facteur durée de calcul : $f(r, n)$

$$NEEC = EE\ MJA \times f(r, n)$$

$$f(r, n) = 365 \times \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

où r désigne le taux de croissance et n le nombre d'années.

Les facteurs kq et m sont déterminés ci-après à partir des résultats des campagnes de pesage dynamique, notamment les implantations de la RP 2 et RP 13. Les équivalences entre essieux sont déterminées avec un exposant $\alpha = 4$, c'est-à-dire la valeur habituellement considérée pour les matériaux des chaussées souples. Les essieux de référence considérés sont ceux de charge 13 et 8,2 tonnes.

5.3. Détermination des facteurs, spectre des essieux :

• Détermination de m :

Le coefficient m est la moyenne des coefficients m_i calculés pour chaque campagne de mesures à partir des rapports M_i entre le nombre d'essieux et le nombre de véhicules enregistrés par les histogrammes d'essieux et des véhicules, et corrigés en fonction des écarts de tonnage global calculé à partir des charges d'essieux et des charges des véhicules. Si p est le pourcentage de l'écart, le coefficient correcteur est $1 - \frac{p}{2}$.

Site	R.P. 2			R.P. 13	
	*	*	*	*	
Campagne (i)	LT 1	LT 2	TL	BK	Ob.Vis.
M_i	2,278	2,285	2,346	2,547	2,12
$1 - \frac{p_i}{2}$	0,96	0,95	0,99	0,85	1
m_i	2,2	2,2	2,3	2,2	2,1

* L : Larache ; T : Tanger ; B : Berrechid ; K : Khouribga
LT : Larache vers Tanger ; Ob.Vis. : Observation Visuelle

La moyenne des m_i vaut 2,2;

Le trafic poids lourds empruntant le réseau principal présente en moyenne 2,2 essieux par véhicule.

- Détermination de k_q : ($k_{8,2}$ et k_{13})

Le facteur d'équivalence du spectre des essieux à l'essieu de référence est donné par la formule suivante :

$$k_q = \sum_i \left(\frac{P_i}{q} \right)^{\alpha} = \frac{\sum_i n_i p_i}{q^{\alpha}}$$

p_i : charge de l'essieu caractéristique de la classe d'essieux i et qui peut être considérée égale à la valeur médiane.

n_i : pourcentage dans le spectre, de la classe i

q : charge de référence 8,2 ou 13 tonnes

α : exposant d'équivalence. On ne considère que le cas des chaussées souples : $\alpha = 4$

Le spectre des essieux déduit des campagnes d'analyse du trafic est donné par le tableau ci-après du calcul du coefficient k_q .

Classe i (tonne)	P_i (tonne)	n_i (%)	$n_i \times P_i^4$
1 - 3	2	47,48	7,6
3 - 5	4	23,31	59,7
5 - 7	6	15,21	197,1
7 - 9	8	6,988	286,2
9 - 11	10	3,844	384,4
11 - 13	12	2,094	434,2
13 - 15	14	0,7989	306,9
15 - 17	16	0,2266	148,5
17 - 19	18	0,0416	43,7
19 - 21	20	0,0062	9,9
21 - 23	22	0,004	0,9
TOTAL :		100,0	1879,1

$$(13)^4 = 28.561$$

$$(8.2)^4 = 4.521$$

De ces calculs, on déduit le facteur d'équivalence aux essieux de référence de 13 et 8,2 tonnes :

$$k_{13} = 0,066 \quad \text{et} \quad k_{8,2} = 0,416$$

• **Calcul du nombre d'essieux équivalents cumulés : NEEC**

$$NEEC = k_q \times m \times PL \text{ MJA} \times \Psi(r, n)$$

— Nombre d'essieux équivalents cumulés de 13 T :

$$NEEC \text{ de } 13 \text{ T} = 0,066 \times 2,2 \times PL \text{ MJA} \times \Psi(r, n)$$

$$NEEC \text{ de } 13 \text{ T} = 0,145 \times PL \text{ MJA} \times \Psi(r, n)$$

— Nombre d'essieux équivalents cumulés de 8,2 T :

$$NEEC \text{ de } 8,2 \text{ T} = 0,416 \times 2,2 \times PL \text{ MJA} \times \Psi(r, n)$$

$$NEEC \text{ de } 8,2 \text{ T} = 0,915 \times PL \text{ MJA} \times \Psi(r, n)$$

Le véhicule poids lourds moyen circulant sur le réseau principal est légèrement inférieur à un essieu équivalent de 8,2 tonnes. Il vaut approximativement un essieu équivalent de 8 tonnes.

5.4. Exemple numérique :

Soit à déterminer le nombre d'essieux standards (équivalents à 8,2 ou 13 tonnes) sollicitant une section routière dont le trafic est connu en volume.

Les comptages routiers et données existantes éventuelles mentionnent un trafic de 2.500 véhicules par jour et un taux de croissance de 6 %.

Les campagnes d'observations visuelles estiment la proportion des poids lourds à 30 % et le pourcentage empruntant la voie la plus chargée à 60 %.

Le nombre des véhicules poids lourds par jour sur la voie la plus chargée est alors :

$$PL \text{ MJA} = 2.500 \times 0,30 \times 0,60 = 450$$

La section appartient au réseau principal (trafic = 2.500 V/J), les résultats précédents sont donc applicables.

Le nombre d'essieux équivalents par jour sur la voie la plus chargée est :

$$EE \text{ MJA de } 13 \text{ T} = 0,145 \times 450 \approx 65 \quad E_{13T} / \text{jour}$$

$$EE \text{ MJA de } 8,2 \text{ T} = 0,915 \times 450 \approx 412 \quad E_{8,2T} / \text{jour}$$

Le nombre d'essieux équivalents cumulés sur 10 ans est :

$$\text{NEEC de 13 T} = 65,25 \times 365 \times \frac{1,06^{10} - 1}{0,06} \approx 3.10^5 \text{ essieux de 13 T.}$$

$$\text{NEEC de 8,2 T} = 411,75 \times 365 \times \frac{1,06^{10} - 1}{0,06} \approx 2.10^6 \text{ essieux de 8,2 T.}$$

Le passage sur 10 ans de 2 millions d'essieux équivalents de 8,2 tonnes ou 3.10^5 essieux de 13 tonnes est beaucoup plus significatif pour la fatigue de la structure de chaussée que le passage de 2,16 millions de véhicules de poids total en charge supérieur à 1,5 T.

VI • Conclusion :

La détermination des facteurs d'équivalence « véhicule poids lourd essieux standards », l'analyse des charges du trafic, et d'une manière plus générale la connaissance de l'action du trafic sur la structure de chaussée et sa formation ne constituent pas une fin en soi. Il s'agit de cerner des paramètres de conception et d'exploitation à incidences non négligeables sur les coûts de réalisation et d'entretien des chaussées.