

Calcul de la température équivalente selon le climat marocain et son effet sur le dimensionnement des chaussées

M. Sarroukh¹, K. Lahlou¹, M. Farah¹, N. Mequedade², M. Ben El Mamoune³, Abdelkrim Derradji²

¹ Ecole Hassania des Travaux Publics (EHTP), Km 7, Route d'El Jadida, BP : 8108 Oasis - Casablanca Maroc, sarroukhmouncif@gmail.com.

² Société Nationale des Autoroutes Du Maroc (ADM), BP 6526, Hay Ryad – Rabat Maroc.

³LABOTEST, 31 A, Nouvelle Zone Industrielle Bir Rami Est – Kénitra Maroc.

RESUME La température équivalente est l'un des paramètres les plus importants influençant la conception des chaussées bitumineuses. Elle est fonction de la variation de température au niveau des différentes couches de la chaussée ainsi que de l'évolution du trafic au cours d'une année donnée. L'objectif de cette étude est de calculer la température équivalente (θ_{eq}) d'un tronçon autoroutier au centre du Maroc. Ce calcul a été effectué en adoptant les caractéristiques des matériaux de la structure réelle de la chaussée et en utilisant les données météorologiques de la station la plus proche du site. Le modèle de Barber (1957) a permis d'estimer le profil de la température sur l'épaisseur de la chaussée. Le calcul de θ_{eq} basé sur les paramètres du site a montré une différence de 7 °C avec la valeur utilisée à priori lors du dimensionnement initial.

Mots-clés : température équivalente, bitume, chaussée, autoroute, Alizé

I. INTRODUCTION

La démarche de dimensionnement française, utilisée pour le dimensionnement des chaussées routières au Maroc (PNM 13.1.219, 2019), repose sur la compréhension du fonctionnement mécanique de la chaussée, la connaissance de l'endommagement par fatigue au laboratoire des matériaux, et des expériences in-situ réalisées par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (SETRA, 1994). Afin de s'assurer que la structure choisie est apte à supporter le trafic pour la durée de vie prévue, une vérification est effectuée : les sollicitations maximales calculées dans la chaussée doivent être inférieures aux sollicitations admissibles (SETRA, 1994).

Le dimensionnement par la méthode française est basé sur l'utilisation d'une seule température constante qui mène au même dommage en fatigue que celui qu'a subi la chaussée réellement pour le même trafic durant une année. Il s'agit de la température équivalente. Sa valeur est fixée à 15° C en France métropolitaine (PNM 13.1.219, 2019) et à 20, 25 ou 30 °C en Algérie selon les

régions, d'après le catalogue algérien des chaussées neuves (CCTP, 2011). La régionalisation des valeurs de la température équivalente a permis de proposer des valeurs approximatives à travers la France (Hornych, 2015). Au Maroc, le dimensionnement des chaussées se fait à des températures équivalentes fixées généralement entre 19 et 25 °C, de façon empirique, par les maîtres d'ouvrages. Par exemple, le ministère de l'équipement du transport, de la logistique et de l'eau utilise généralement une valeur de 25°C alors que la société nationale des autoroutes du Maroc prend 19 °C. A notre connaissance, ces valeurs, n'ont fait l'objet d'aucune étude préalable et ne se basent que sur le choix à priori de l'administration. Notons aussi que les températures enregistrées en France sont toujours moins importantes que celles enregistrées au Maroc. En effet, la température moyenne mesurée en 2018 au Maroc était de 20 °C alors qu'elle était de 14 °C en France, soit 6 °C de différence. De plus, les températures au Maroc peuvent présenter des pics importants : des maximums dépassant les 50 °C et des minimums jusqu'à -24 °C, selon les données de la direction de la météorologie nationale. D'après le guide SETRA, les températures élevées ont un effet très important sur les caractéristiques mécaniques de l'enrobé bitumineux (SETRA, 1994). Ainsi, l'utilisation de la méthode française dans un environnement africain, caractérisé par des températures plus importantes, nécessite une adaptation au climat et de prévoir un calcul précis avec les données climatiques locales ainsi que sur les trafics mobilisés.

L'objectif de cette étude est de procéder, à travers un cas réel, au calcul de la température équivalente d'une chaussée autoroutière, en utilisant les données climatiques réelles du site marocain et en tenant compte du trafic enregistré et de son évolution sur le site en question.

II.METHODE DE CALCUL

La température équivalente est une température supposée constante pour fin de dimensionnement. Celle-ci est telle que la somme des dommages subis par la chaussée pendant une année, pour une distribution de températures donnée, soit égale ou dommage que subirait la chaussée soumise ou même trafic mais pour une température constante (θ_{eq}). Elle est calculée en utilisant la loi de Miner (1945) (SETRA, 1994). La figure 1 résume la méthode de calcul de la température équivalente.

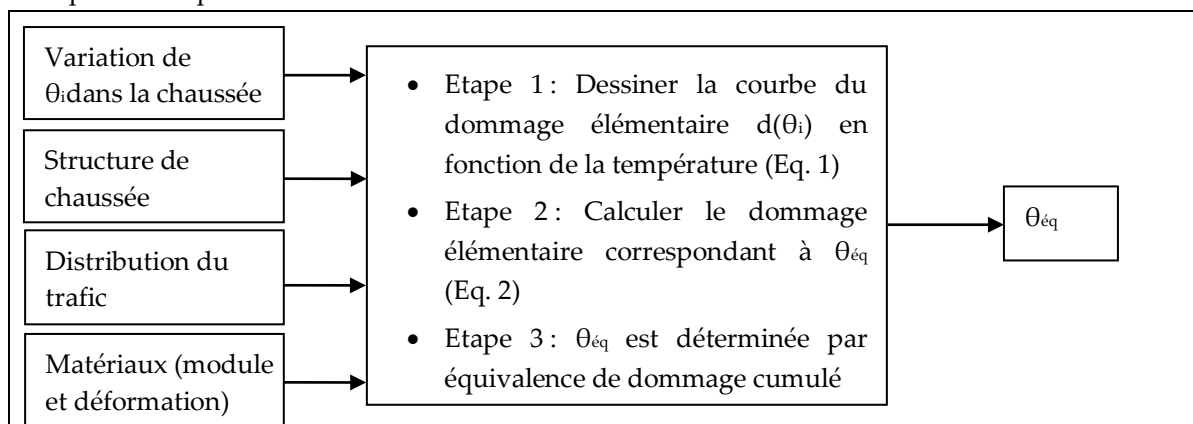


FIGURE 1. Méthode de calcul de la température équivalente (θ_{eq})

Selon la norme française de dimensionnement structural des chaussées routières (NF P98-086), la température équivalente est définie implicitement par l'équation (Eq. 2) :

$$d(\theta_i) = \left(\frac{\varepsilon_6(\theta_i)}{\varepsilon(\theta_i)} \right)^{\frac{1}{b}} \cdot 10^{-6} \quad [1]$$

$$d(\theta_{eq}) = \frac{1}{\sum_i n_i(\theta_i)} \sum_i n_i(\theta_i) \left(\frac{\varepsilon_6(\theta_i)}{\varepsilon(\theta_i)} \right)^{\frac{1}{b}} \cdot 10^{-6} \quad [2]$$

Où :

- $d(\theta_i)$ est le dommage élémentaire dû à la répétition des chargements pendant la période de température θ_i .
- $d(\theta_{eq})$ est le dommage total résultant du trafic annuel appliqué à la température θ_{eq} .
- $n_i(\theta_i)$ est le nombre de passages d'essieux équivalents durant la période de température θ_i .
- $\varepsilon(\theta_i)$ est la déformation d'extension maximale sous l'essieu standard à la température θ_i .
- $\varepsilon_6(\theta_i)$ est la déformation d'extension par flexion conduisant à la rupture par fatigue du matériau à 10^6 cycles à la température θ_i .
- b : pente de fatigue du matériau exprimée sous la forme d'une loi bi-logarithmique ($-1 < b < 0$).

La fatigue est calculée en fonction de la température selon la loi SETRA (Eq. 3).

$$\varepsilon_6(\theta) \cdot (E(\theta))^n = \text{constante} \quad [3]$$

Où :

- $n = 0.5$ par défaut ;
- Cette constante a été estimée pour une température de 10°C .
- $E(\theta)$ est le module de l'enrobé à la température θ .

La distribution de la température dans la chaussée autoroutière pourrait être mesurée sur terrain par l'installation de thermocouples dans la chaussée. Des mesures sont actuellement en cours d'acquisition sur un site autoroutier marocain. Plusieurs autres sites sont en programmation. Dans le cadre de cette communication, cette distribution a été estimée en utilisant le modèle de Barber (1957). Ce dernier modèle a d'abord été validé pour les conditions climatiques locales, à partir des essais réalisés sur une maquette expérimentale de la chaussée au laboratoire LABOTEST à Kénitra. Une deuxième validation, cette fois-ci à grandeur réelle, a été ensuite réalisée sur un tronçon de l'autoroute Rabat-Kénitra. Il est à signaler que d'autres formules empiriques ont donné des résultats moins intéressants (Ariawan et al, 2015 & Asefzadeh et al., 2017) que celle de Barber (1957).

Dans la présente communication, nous présentons une étude de cas localisée permettant d'évaluer la pertinence de notre démarche. En effet, la température équivalente de la chaussée autoroutière

Berrechid – Beni Mellal a été calculée dans cette communication selon la méthode exposée plus haut en considérant la structure de chaussée réelle, le trafic réel ou projeté ? du projet et en utilisant les données climatiques d'une station météorologique proche du tronçon d'étude. Ensuite, la chaussée a été redimensionnée avec la valeur de la température équivalente réelle. La durée de vie résiduelle a été estimée à l'aide du logiciel Alizé.

III. BILAN DES RESULTATS

La structure de chaussée de l'autoroute Berrechid – Beni Mellal est constituée par 7 cm BBSG + 14 cm EME + 25 cm GNT en couche de fondation. La plateforme est un sol de portance PF2. La température équivalente réelle calculée ici avec la démarche du paragraphe II, donne une valeur de 26 °C, soit 7 °C de plus que la valeur prise initialement par défaut par le concepteur. Pour espérer que la chaussée puisse avoir la même durée de vie que celle prévue par l'étude, il aurait fallu prévoir une structure plus importante constituée d'une couche de base de 16 cm d'EME au lieu de 14 cm. La structure étant initialement dimensionnée avec une température équivalente de 19 °C une perte de 3 ans sur 10 ans durée de vie (l'équivalent de 30%) est à prévoir.

Une comparaison technico-économique prenant en compte le dimensionnement et le renforcement de la chaussée sur une durée de 20 ans, en utilisant la température équivalente réelle et celle prise à priori par le gestionnaire, a montré qu'on pouvait réaliser un gain de l'ordre de 6 % sur le coût global des couches d'enrobé bitumineux si la température équivalente réelle était adoptée.

REFERENCES

Ariawan, I.M.A., Subagio, B.S., Setiadji, B.H., 2015. Development of Asphalt Pavement Temperature Model for Tropical Climate Conditions in West Bali Region. *Procedia Engineering* 125, 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.126>

Asefzadeh, A., Hashemian, L., Bayat, A., 2017. Development of statistical temperature prediction models for a test road in Edmonton, Alberta, Canada. *International Journal of Pavement Research and Technology* 10, 369–382. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.05.004>

Barber, E.S., 1957. Calculation of Maximum Pavement Temperatures from Weather Reports. *Highway Research Board Bulletin*, 168: 1 -8, 1957. Hornych, P., 2015. Effets de la température sur le dimensionnement des chaussées. *Séminaire de restitution CCLEAR - impact des conditions climatiques sur les infrastructures routières*.

SETRA, LCPC, 1994. Conception et dimensionnement des structures de chaussée, Guide technique, France.