

**9EME CONGRES NATIONAL DE LA ROUTE
(SKHIRAT, LES 11, 12 ET 13 JUIN 2014)**

Analyse de la méthode marocaine relative au relevé visuel des dégradations des chaussées

Mohamed AFECHKAR, directeur du CNER
Abdellah RAHMOUNI, Ingénieur au laboratoire du CNER

I. Introduction

Pour rationaliser la planification et la programmation des opérations de l'entretien et de la maintenance du réseau routier revêtu, la Direction des Routes a mis en place, depuis 1989, un certain nombre d'outils d'aide à la décision.

Parmi ces outils, le relevé visuel qui occupe une place importante combinée aux mesures d'auscultation, qui permettent d'établir l'état de la structure, de diagnostiquer les causes des dégradations apparentes et de cibler les solutions de réhabilitation les plus appropriées, pour maintenir la qualité de la route et de ses équipements afin d'assurer à l'utilisateur des conditions de sécurité et de confort définies.

Le relevé visuel est réalisé sur l'ensemble du réseau routier revêtu classé tous les deux ans. Il concerne le relevé visuel des dégradations de type fissuration, arrachement et nid de poule, selon une méthode bien définie permettant de classer l'état de chaque section de longueur unitaire (1km) en quatre classes A, B, C et D.

Ces classes de dégradations sont combinées pour déterminer l'indicateur de l'état de surface ISU, paramètre le plus utilisé dans la gestion du réseau routier. Quatre classes sont définies à savoir : A : bonne, B : moyenne, C : mauvaise et D : très mauvaise. L'état du réseau est décrit, généralement, par le pourcentage de la longueur du réseau se trouvant à l'état A ou à l'état B (% A+B).

Le principe du relevé des dégradations de la chaussée pratiqué pour le réseau routier national revêtu est basé sur la réalisation de 5 relevés par km (un relevé chaque 200m), ce pas de 200m engendre une perte d'information concernant l'état intégral de la route, ce qui peut fausser les planifications visant l'entretien de notre réseau routier.

A l'occasion de l'acquisition du centre national d'études et de recherches routières (CNER) du SMAC (Système multifonction d'Auscultation des Chaussées), il est important

d'analyser ladite méthode en la comparant à la méthode française et la méthode continue afin d'apprécier le degré de fiabilité de la méthode marocaine.

II. Le relevé visuel

Méthodologie

Le principe de relevé pratiqué pour le réseau routier revêtu est basé sur le constat à des intervalles réguliers de 200m (5 relevés / Km), de l'existence ou de l'absence de dégradations observées sur la zone d'un profil en travers de 20 à 30m de longueur on indiquant la sévérité par trois niveaux.

Cotation 0 : Absence de dégradations

Cotation 1 : Dégradations peu nuisible

Cotation 2 : Dégradations nuisible

PRINCIPE DE COTATION MAROCAINE

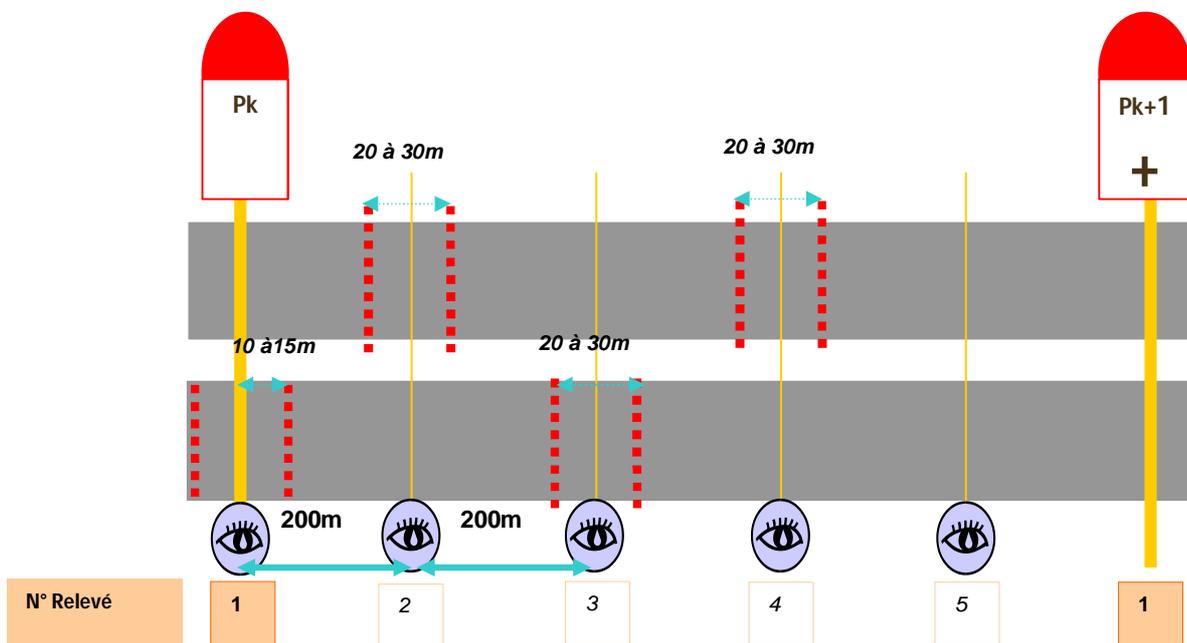
Dégradations	Cote	Etat
Nid-de-poule (Nid)	0	Absent
	1	Sur 1 Voie
	2	Sur 2 Voies
Fissuration (Fis. L et ou Fis.T) Longitudinale, Transversale	0	Absente
	1	Lâche
	2	Dense
Arrachements (Arr) (Épaufrures, Réparation, Plumage, Pelade, etc...)	0	Absents
	1	< 50% PT Chaussée
	2	> 50% PT Chaussée
Déformations (Déf) (Orniérage, Affaissement, Flaches)	0	Absentes
	1	Flèche < 5cm Ornière Flèche < 8cm Aff et FI
	2	Flèche > 5cm Ornière Flèche > 8cm Aff et FI
Dénivelée Accotement (D. AC)	0	< 5cm sur les 2 Acc.
	1	> 5cm sur 1 Acc.
	2	> 5cm sur 2 Acc.

Principe général

Pour chaque section de route, l'opérateur devra définir un sens de parcours pour le relevé.

Partant du point de départ de la section à relever, l'opérateur relève les différentes dégradations observées sur le champ de la zone d'observation et donne des cotations.

Ensuite, il parcourt la distance de 200m avec son véhicule dans le sens de relevé sans tenir compte des dégradations intermédiaires existante, puis il effectue un deuxième relevé conformément au premier et ainsi de suite jusqu'à l'achèvement de la section.



Procédure de relevé visuel (méthode marocaine)

III. Méthode française

Principe

L'objectif de cette méthode est de localiser les dégradations présentes, en précisant leur type, leur gravité et l'extension de chaussée concernée.

Ainsi, la section relevée est parcourue mètre par mètre en notant l'étendue chaque dégradation.

Les besoins de relevé des dégradations pour les études routières sont couverts par sept modes opératoires indiqués dans le tableau ci-après, selon l'objectif, les conditions d'exploitation et le type de chaussée.

LES CONDITIONS D'EXPLOITATION EN FONCTION DES OBJECTIFS DE L'ETUDE

Objectifs de l'étude	conditions d'exploitation et type de chaussée			
	Chaussées souples, semi-rigides, inverses, mixtes, bac			Dalles béton
	Rase campagne et VRU*		Urbain hors VRU	Tous sites
	forts trafics**	faibles trafics**	Tous trafics	
Diagnostic - entretien - renforcement	M1	M1 ou M2	M6	M7
Programmation	M2	M2 ou M3	M6	M7
évaluation - surveillance	M3	M3 ou M4	M6	M7
suivi de sections témoins	M5	M5	-	M5

VRU*: Voies Rapides Urbaines ; trafics : forts ($\geq T2$), faibles ($< T2$)**

On adoptera le mode opératoire M3, applicable aux études d'évaluation ou à la surveillance de l'état des chaussées des routes de rase campagne

Bordereau de relevé

BORDEREAU DE RELEVÉ (METHODE FRANÇAISE)

Nature dégradations	Code	Intitulé Observations	Extension
Déformations (Orn et Aff)	1	Significatif	ml
	2	Grave	ml
Ressuage, Glaçage	1	Localisé	ml
	2	Généralisé	ml
Arrachement	1	Désenrobage de surface, plumage, peignage.	ml

	2	Désenrobage profond, pelade et nid de poule	ml
Fiss transversal, Joint transversal	0	Réparé	nb
	1	Significatif	nb
	3	Grave	nb
Faïençage, Fiss Long, Joint longitudinal	1	Significatif	ml
	2	Grave	ml
Fissures en dalles	1	Significatif	ml
	2	Grave	ml
Réparations en BB	1	Largeur < 1/2 voie	ml
	2	Largeur > 1/2 voie	ml
Autres réparations	1	Largeur < 1/2 voie	ml
	2	Largeur > 1/2 voie	ml

IV. Outils utilisés pour le relevé

SMAC (Système Multifonction d'Auscultation des Chaussées)

3 macro-caméras orthogonales à la chaussée

Dispositifs de sécurité

Lampes stroboscopiques



Poutre laser de mesure de l'uni longitudinal

Fonctions

- Appareil de relevé de l'état de surface par caméras haute résolution orthogonales à la chaussée.
- Système vidéo à l'avant et à l'arrière (caméras vidéo montée sur le toit du véhicule).
- Récepteur GPS/DGPS monté sur le toit du véhicule, associé à une centrale inertielle gyroscopique.

Description succincte du véhicule de mesure ARGUS

- Système de mesure à haut rendement (opérationnel jusqu'à 100 km/h, s'insère dans le trafic y compris des autoroutes).
- Véhicule de type Mercedes Sprinter.
- Equipements de sécurité (flashes, flèches directionnelles lumineuses...).

Géo localisation

- Positionnement GPS de haute précision (précision de +/- 3m en temps réel, de +/- 1m grâce au post-traitement informatique).
- Toutes les données (mesures de profil, photos et vidéos) sont géo localisées.
- Mesure de la distance en abscisse parcourue par un odomètre à impulsions (résolution inférieure à 1 mm).
- Saisie en cours de relevés d'événements particuliers par l'opérateur sur un clavier embarqué dans la cabine du SMAC.

V. Analyse de la méthode marocaine

Le linéaire relevé :

Présentation :

L'étude analytique de la méthode marocaine s'effectuera sur un linéaire de 165 Km relevé avec 3 méthodes :

- la méthode marocaine
- la méthode française M3
- la méthode continue : qui est une méthode basée sur le système de cotation marocain mais qui parcourt la route de manière continue par portions de 30m

Ce linéaire est réparti comme suit :

- RN1 de PK 60 à PK 82 22 Km
- RN13 de PK 104 à PK 142 38 Km
- RN1 de PK 460 à PK 532 72 Km
- RN4 de PK 0 à PK 33 33 Km

Etat de surface du linéaire:

DISTRIBUTION DES KM RELEVES SELON LA VALEUR DE L'ISU

ISU	Nombre de Km
A	24
B	10
C	41
D	90

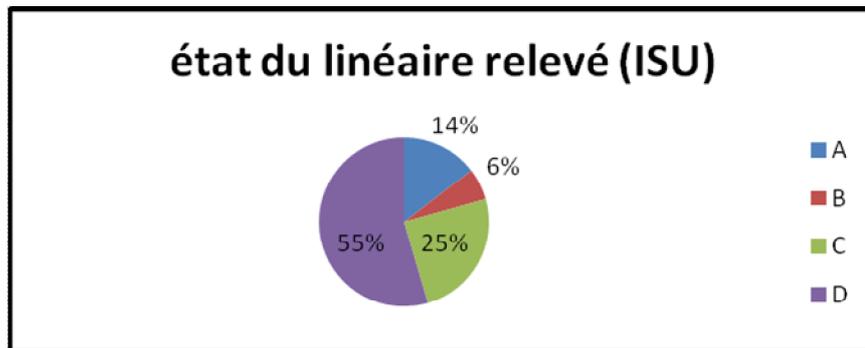


Figure 1 : distribution des Km relevés selon la valeur de l'ISU

Analyse de l'ISU :

L'ISU donne une information générale sur l'état de dégradation de surface, entre très bon (A) et très dégradé (D).

La méthode marocaine pour le relevé visuel donne une valeur de l'ISU à partir de 5 relevés par Kilomètre. Or cet indicateur peut ne pas représenter l'état réel de la chaussée, à cause des parties intermédiaires entre deux relevés consécutifs.

Nous avons donc calculé, sur la base de la méthode continue, une autre valeur de l'ISU qu'on notera ISU_c qui prend en compte l'intégralité des dégradations présentes. L'objectif étant de recenser les sections qui présentent une grande différence entre ISU et ISU_c (A-C ou B-D par exp) et les sections donnant des valeurs proches (A-B ou B-C par exp).

Les résultats de la comparaison sont regroupés dans le tableau suivant :

COMPARAISON DE L'ISU ENTRE LA METHODE MAROCAINE ET LA METHODE CONTINUE

Nombre de Km où $ISU = ISU_c$	Nombre de Km présentant 1 degré de différence	Nombre de Km présentant 2 degré de différence	Nombre de Km présentant 3 degré de différence
125	39	1	0

On peut donc conclure que l'ISU tel qu'il est calculé par la méthode marocaine donne une bonne estimation de l'état de surface de la chaussée, sauf dans des sections particulières (1/165).

Analyse des fissurations :

Nous disposons pour chaque Km de deux notes (comprises entre 0 et 20) représentant l'état de fissuration : l'une donnée par la méthode marocaine (somme des notes des 5 relevés) et l'autre par la méthode continue (moyenne équivalente des notes de chaque 30m).

Test de distribution des échantillons :

Avant de chercher une éventuelle relation entre les deux échantillons de notes, il faut s'assurer au moyen d'un test statistique adéquat que la différence entre leurs distributions respectives n'est pas significative.

Les échantillons étant appariés (non indépendants) nous allons utiliser le test de Wilcoxon signé.

STATISTIQUES DESCRIPTIVES RELATIVES AUX NOTES DES FISSURATIONS

Méthode	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
MA	165	0,000	20,000	10,442	7,609
MC	165	0,000	20,000	10,400	7,258

Soit l'hypothèse nulle :

- H0 : La distribution des deux échantillons n'est pas significativement différente.

En opposition à l'hypothèse alternative :

- Ha : Les distributions des deux échantillons sont significativement différentes.

On prend comme seuil de risque le seuil standard $\alpha=5\%$

D'après le complément XLSTAT de Microsoft Excel, la probabilité associée au test de Wilcoxon est : 90,45% (risque de se tromper en rejetant H0). Cette valeur étant largement supérieure à 5%, on en déduit qu'on ne peut pas rejeter H0.

La distribution des deux échantillons n'est donc pas significativement différente.

Corrélation des fissures entre la méthode marocaine et la méthode continue

On peut à présent déterminer la corrélation entre les deux échantillons :

Un calcul effectué avec XLSTAT, basé sur la méthode des moindres carrées donne une estimation des paramètres de la droite de corrélation par:

$$\bar{a} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X^2} = 0.918$$

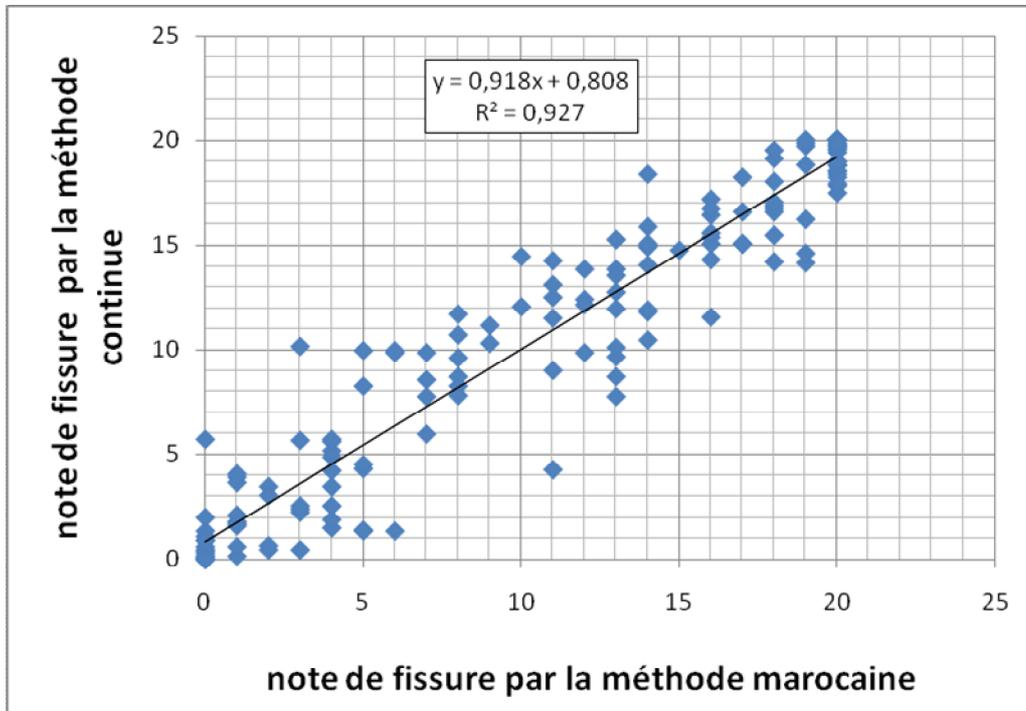
$$b = \bar{y} - \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X^2} \cdot \bar{x} = 0.808$$

Le coefficient de corrélation ρ :

$$\rho = 0.963$$

Le coefficient de détermination ρ^2 :

$$\rho^2 = 0.927$$



Courbe de corrélation des fissurations

Test de significativité de ρ :

- Soit l'hypothèse $H_0 : \rho = 0$ (absence de relation)
- Contre l'hypothèse alternative $H_a : \rho \neq 0$

Sous H_0 , La grandeur : $t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ suit une loi de Student à $(n-2=163)$ degrés de liberté

On a $t_0 = 45,50$.

Pour un seuil $\alpha=1\%$ on a $t_{\alpha} = 3,291 < t_0$

Donc on rejette H_0 au risque de 1%.

Corrélation des fissures entre la méthode marocaine et la méthode française

On peut à présent déterminer la corrélation entre les deux échantillons :

Un calcul effectué avec XLSTAT, basé sur la méthode des moindres carrés donne une estimation des paramètres de la droite de corrélation par:

$$\bar{a} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X^2} = 3.724$$

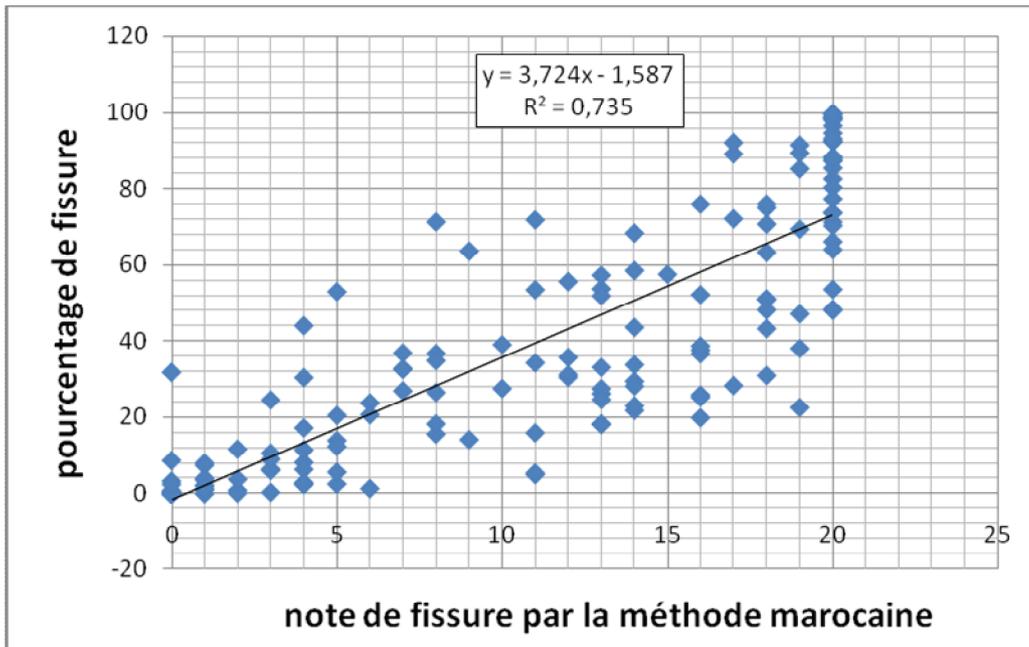
$$\bar{b} = \bar{y} - \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X^2} \cdot \bar{x} = -1.587$$

Le coefficient de corrélation ρ :

$$\rho = 0.857$$

Le coefficient de détermination ρ^2 :

$$\rho^2 = 0.735$$



Test de significativité de ρ :

- Soit l'hypothèse $H_0 : \rho = 0$ (absence de relation)
- Contre l'hypothèse alternative $H_a : \rho \neq 0$

Sous H_0 , La grandeur : $t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ suit une loi de Student à $(n-2=163)$ degrés de liberté

On a $t_0 = 21.23$.

Pour un seuil $\alpha=1\%$ on a $t_{\alpha}=3,291 < t_0$

Donc on rejette H_0 au risque de 1%.

Analyse des arrachements :

Pour les arrachements, on dispose de deux échantillons de notes comprises entre 0 et 10.

Test de distribution des échantillons :

Dans la même logique que pour les fissurations, on va d'abord soumettre les échantillons au test de Wilcoxon signé :

STATISTIQUES DESCRIPTIVES RELATIVES AUX NOTES DES ARRACHEMENTS

méthode	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
MA	165	0,000	6,000	3,012	1,728
MC	165	0,000	5,150	2,954	1,555

Soit l'hypothèse nulle :

- H0 : La distribution des deux échantillons n'est pas significativement différente.

En opposition à l'hypothèse alternative :

- Ha : Les distributions des deux échantillons sont significativement différentes.

On prend comme seuil de risque le seuil standard $\alpha=5\%$

D'après XLSTAT, la probabilité associée au test de Wilcoxon est : 28,88% (risque de se tromper en rejetant H0). Cette valeur étant supérieure à 5%, on en déduit qu'on ne peut pas rejeter H0.

La distribution des deux échantillons n'est donc pas significativement différente.

Corrélation des arrachements entre la méthode marocaine et la méthode continue

On peut à présent déterminer la corrélation entre les deux échantillons :

Un calcul effectué avec XLSTAT, basé sur la méthode des moindres carrées donne une estimation des paramètres de la droite de corrélation par:

$$\bar{a} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_x^2} = 0.789$$

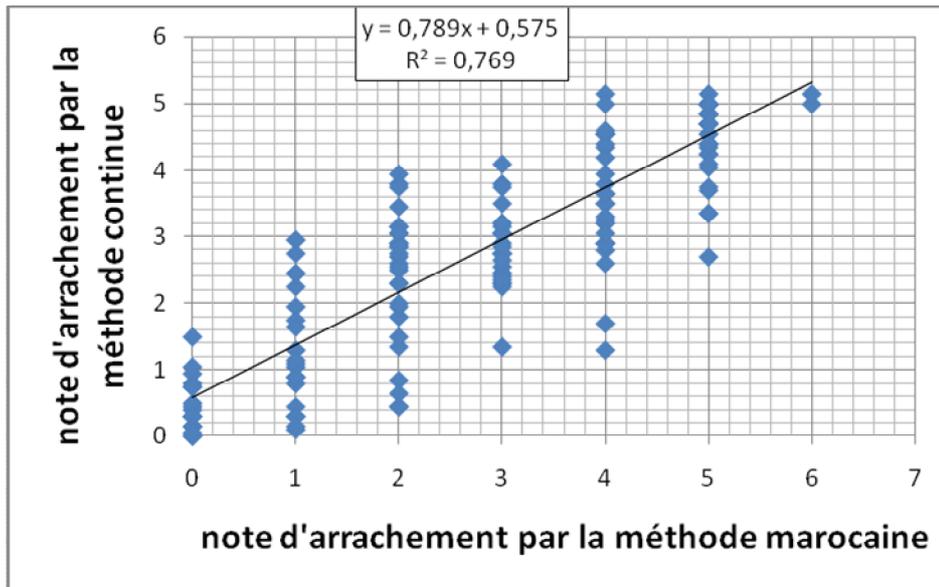
$$\bar{b} = \bar{y} - \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_x^2} \cdot \bar{x} = 0.575$$

Le coefficient de corrélation ρ :

$$\rho = 0.877$$

Le coefficient de détermination ρ^2 :

$$\rho^2 = 0.769$$



Courbe de corrélation des arrachements

Test de significativité de ρ :

- Soit l'hypothèse $H_0 : \rho = 0$ (absence de relation)
- Contre l'hypothèse alternative $H_a : \rho \neq 0$

Sous H_0 , La grandeur : $t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ suit une loi de Student à $(n-2=163)$ degrés de liberté

On a $t_0 = 23,29$.

Pour un seuil $\alpha = 1\%$ on a $t_{\alpha} = 3,291 < t_0$

Donc on rejette H_0 au risque de 1%.

Corrélation des arrachements entre la méthode marocaine et la méthode française

On peut à présent déterminer la corrélation entre les deux échantillons :

Un calcul effectué avec XLSTAT, basé sur la méthode des moindres carrés donne une estimation des paramètres de la droite de corrélation par:

$$\bar{a} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X^2} = 9.504$$

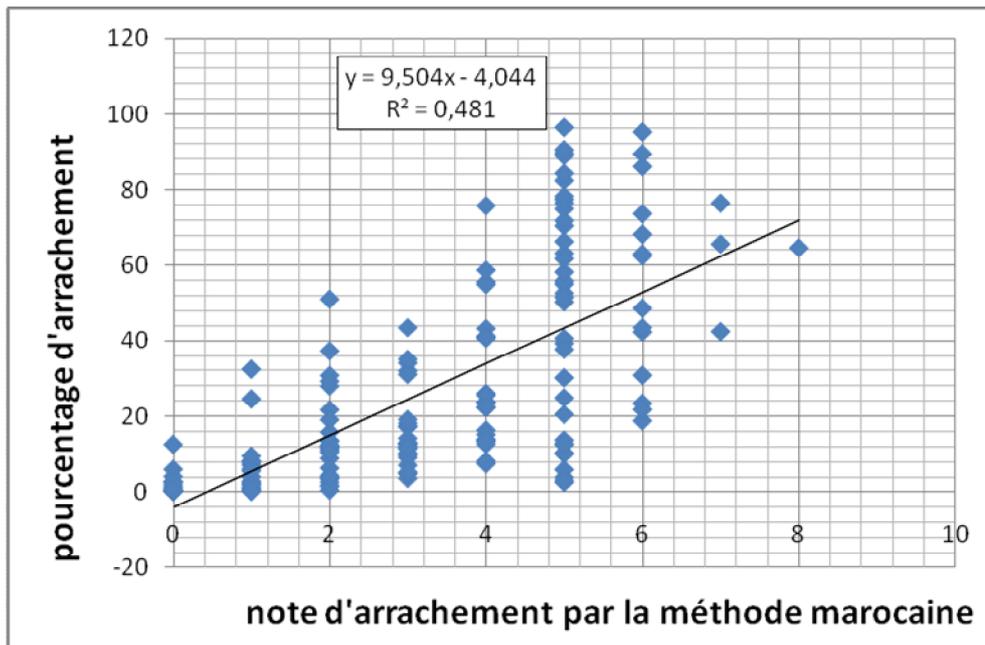
$$\bar{b} = \bar{y} - \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X^2} \cdot \bar{x} = -4.044$$

Le coefficient de corrélation ρ :

$$\rho = 0.693$$

Le coefficient de détermination ρ^2 :

$$\rho^2 = 0.481$$



Test de significativité de ρ :

- Soit l'hypothèse $H_0 : \rho = 0$ (absence de relation)
- Contre l'hypothèse alternative $H_a : \rho \neq 0$

Sous H_0 , La grandeur : $t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$ suit une loi de Student à $(n-2=163)$ degrés de liberté

On a $t_0 = 12.27$.

Pour un seuil $\alpha=1\%$ on a $t_{\alpha}=3,291 < t_0$

Donc on rejette H_0 au risque de 1%.

Analyse des nids de poule :

La nature particulière de cette catégorie de dégradations (phénomène localisé avec une étendue assez limitée) requiert un traitement spécial des données afin de pouvoir évaluer la perte d'information par la méthode marocaine (Intuitivement, vu que la méthode marocaine n'observe que 30m / 200m, la probabilité de trouver un nid de poule existant est de 15).

Nous avons ainsi opté pour la méthodologie suivante :

- diviser le linéaire par sections de 200m.
- recenser les sections contenant au moins un nid de poule.
- parmi ces sections-là, recenser les sections présentant une note différente de 0 par la méthode marocaine.

Ceci permettra en quelque sorte d'évaluer la probabilité que la méthode marocaine « trouve » un nid de poule.

Les résultats de cette analyse sont regroupés dans le tableau suivant :

ANALYSE DES NIDS DE POULE

Nombre total de sections de 200m	Nombre de sections contenant au moins 1 nid de poule	Nombre de sections contenant un nid de poule et trouvé par la méthode marocaine
825	159	33

Nous constatons donc la présence de nids de poule sur 19,28% des sections, parmi lesquelles la méthode marocaine n'a trouvé que 20,75%. Ce qui signifie que la probabilité que la méthode marocaine rate un nid de poule situé sur un linéaire est de 79,25%.

Analyse des dénivelées des accotements : DAC

Ce phénomène étant également pas très fréquent, nous allons effectuer une analyse similaire qu'avec les nids de poule :

ANALYSE DES DENIVELEES DES ACCOTEMENTS

Nombre total de sections de 200m	Nombre de sections contenant une DAC	Nombre de sections contenant une DAC trouvée par la méthode marocaine
825	79	27

Nous constatons donc la présence de DAC sur 9,5% des sections, parmi lesquelles la méthode marocaine a trouvé 34,18%.

Synthèse des résultats :

D'après l'analyse effectuée si dessus, nous constatons que la méthode marocaine décrit de manière non négligeable l'état de route relevé. Elle acquiert par conséquent une fiabilité importante malgré certains défauts qui engendrent la perte d'informations importantes :

- Au niveau de l'indicateur de surface ISU, la méthode marocaine donne globalement une bonne appréciation.

- Le relevé des fissurations et des arrachements est représentatif de l'état de l'intégralité de la route, avec un coefficient de détermination qui dépasse 75%. Ce résultat peut être expliqué par le caractère étendu de ce type de dégradations sur les chaussées marocaines.
- Le relevé des nids de poule n'est pas assez représentatif (seulement 20% des sections dégradées sont décelées par la méthode marocaine). Ce résultat peut poser problème puisque la note des nids de poule a la plus grande influence sur la valeur de l'ISU.
- La méthode marocaine trouve le 1/3 du total des accotements dénivelés. Ce résultat peut être jugé satisfaisant vu la rareté du phénomène (moins de 10% dans le linéaire relevé).
- En comparant les notes données par la méthode marocaine avec les pourcentages du linéaire dégradés, on a trouvé une tendance linéaire avec un bon coefficient de corrélation. Ce résultat peut être exploité pour estimer le pourcentage dégradé à partir de la base de données des relevés marocains :

EQUIVALENT EN POURCENTAGE DES NOTES DES ARRACHEMENTS

Note des arrachements	Pourcentage de la route affecté
1	5 %
2	15 %
3	24 %
4	34 %
5	43 %
>6	53-91

EQUIVALENT EN POURCENTAGE DES NOTES DES FISSURES

note de fissuration pour un Km	pourcentage de la route affecté
1	2 %
2	5 %
3	8 %
4	12 %
5	15 %
6	18%
7	21 %
8	25 %
9	28 %
10	31 %

11	34 %
12	38 %
13	41 %
14	44 %
15	48 %
16	51 %
17	54 %
18	57 %
19	61 %
20	64 %

.....
suel des

VI. Conclusion

L'objectif de l'analyse de la méthode marocaine relative au relevé visuel des dégradations des chaussées est d'apprécier le niveau de fiabilité de cette méthode qui est pratiquée au Maroc depuis une vingtaine d'années.

L'étude a porté sur un linéaire de 165 Km, choisi de façon à éviter les sections en très bon état (qui restent sans intérêt pratique). Les dégradations présentes sur ce linéaire ont été relevées par trois méthodes, à savoir la méthode marocaine, la méthode française M3 et la méthode continue.

Au terme de cet étude, on peut conclure que le pas de 200m entre deux relevés permet une bonne appréciation de l'état de fissuration et d'arrachement, vu qu'il s'agit de dégradations à grande étendue. Par contre pour les nids de poule, ce pas engendre la perte d'une grande partie de l'information.

Ce résultat reste très important, vu qu'il faut à peu près dix fois plus de temps pour relever une section par la méthode française ou la méthode continue, par rapport au temps nécessaire pour exécuter le même relevé par la méthode marocaine.