

La perte de matériaux des pistes rurales

Par SALIM Said « CNER »

I- Introduction :

Les pistes rurales représentent plus que le un tiers du réseau routier. Elles contribuent essentiellement à l'amélioration de l'accessibilité et à la mobilité dans les zones rurales. Les besoins de maintenance de ces routes dépassent largement les ressources financières affectées à cet effet. Ceci exige une rationalisation dans les dépenses afin de sauvegarder le patrimoine routier ainsi que sa maintenance et son entretien, d'où la nécessité d'élaboration d'un système de gestion des pistes rurales.

La réalisation d'un système implique bien évidemment le recensement et la définition des différentes dégradations pouvant être relevées sur ce type de route. La perte de matériaux constitue le facteur fondamental qui influence considérablement sur la dégradation des pistes rurales et il est clair que sa maîtrise améliore beaucoup la maîtrise du système dans sa globalité.

Pour répondre à cette nécessité, le CNER a développé une méthode de calcul de cette perte de matériaux qui servira aussi au calage du modèle HDM-4, le logiciel de la Banque Mondiale qui permet d'évaluer la rentabilité des politiques d'entretien et de maintenance des projets routiers.

L'intérêt stratégique de ce système qui positionne les services de l'équipement de manière très favorable vis-à-vis des élus et responsables locaux.

II-DEGRADATIONS DES ROUTES NON-REJETUES

Une chaussée non revêtue a une qualité structurelle représentant le patrimoine investi et une qualité de viabilité correspondant au coût de transport pour la collectivité. Ces deux qualités décroissent plus ou moins rapidement sous l'action de trois principaux agents de dégradations :

- Le trafic, associé ou non à l'eau
- L'eau seule ;
- Le milieu naturel.

Du point de vue de la gestion de l'entretien, les dégradations affectant la couche de roulement des pistes non revêtues sont rattachées à l'un ou l'autre de ces deux concepts, structure ou viabilité. Ces dégradations sont au nombre de quatre :

- Déformations ;
- Nids de poules
- Têtes de chat
- Tôle ondulée
- Bourbiers

La viabilité de la piste que l'on peut caractériser par la vitesse moyenne de parcours peut décroître également à la fois du fait du trafic, de l'eau et du milieu naturel. Ainsi, aux dégradations structurelles précitées s'ajoutent les dégradations liées au milieu naturel tels que les glissements de terrain, les coulées boueuses, les chutes de pierres ...etc.

La perte de matériaux est le facteur fondamental qui influence considérablement sur la dégradation des pistes rurales. D'ailleurs, l'évolution des chaussées non revêtues est caractérisée principalement, suivant le modèle HDM4, par l'UNI et la perte de matériaux de surface.

III- Typologie des routes non revêtues :

La réalisation de ce travail a nécessité la définition des sections de pistes à suivre dans le temps et pour parcourir les différentes cas, une typologie des piste a été arrêté. Cette typologie a été basée sur les paramètres suivants : le type des matériaux, l'environnement de la piste et le niveau du trafic.

1- Type de matériaux :

- Tout-venant roulé d'oued : ce sont des matériaux naturels d'extraction facile, situés dans les lits d'oueds. Ils sont généralement de forme roulés à légèrement sub-anguleux.
- Tout-venant villafranchien : ce sont des matériaux naturels de dépôts d'âge villafranchien. Ils sont roulés et d'origines diverses, ce qui conduit à rencontrer des gisements hétérogènes.
- Tufts et encroûtements calcaires : ce sont des matériaux riches en éléments carbonatés (% de $\text{CaCO}_3 > 50\%$). Ils sont sous forme, soit de matériaux fins pulvérulents, soit de matériaux à éléments graveleux plus ou moins indurés, soit de blocs indurés généralement plats.
- Roches tendres : on peut classer dans cette catégorie tous les matériaux rocheux assez tendres tel que schiste, grès et calcaire marneux.

Les paramètres servant à identifier les matériaux sont les suivants :

- D95 : diamètre du tamis laissant passer 95% du matériau en mm
- le passant à 2mm
- P075 P425 quantités passantes respectivement aux tamis de 0.075 0.425mm.
- l'indice de plasticité.

2- L'environnement de la piste

L'environnement de la piste est caractérisé par la topographie du tracé en plan et celle du profil en long.

Topographie du tracé en plan :

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| -sinuosité faible à moyenne | $C < 120\text{‰/km}$ |
| -sinuosité forte | $C \geq 120\text{‰/km}$ |

Topographie du profil en long :

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| -rampe faible à moyenne | : $F < 20\text{ m/km}$ (2%) |
| -rampe forte | : $F \geq 20\text{ m/km}$ |

3-Le climat :

Les climat est de deux classes :

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| -humide (y compris semi-humide) | : $\geq 250\text{ mm/an}$ |
| -aride (y compris désertique) | : $< 250\text{ mm/an}$ |

4- Le niveau du trafic :

Etant donné que l'étude se réalise sur des pistes, le trafic est classé selon sa valeur par rapport à 50 v/j en deux classes .

-faible à moyen : TMJA $\leq$ 50v/j

-moyen à fort : TMJA > 50v/j

Pour cerner le nombre de familles à traiter dans le cadre de cette étude, nous avons préconisé une classification selon le type de matériaux, la zone climatique et le niveau du trafic de la piste.

		Type des matériaux			
		Tout-venant roulé d'Oued	Tout-venant Villafranchien	Tufs et Encroûte- ments calcaires	Roches Tendres
Zone Humide	Trafic Faible à moyen	TOZHTM	TVZHTM	TEZHTM	RTZHTM
	Trafic fort	TOZHTF	TVZHTF	TEZHTF	RTZHTF
Zone Aride	Trafic Faible à moyen	TOZATM	TVZATM	TEZATM	RTZATM
	Trafic fort	TOZATF	TVZATF	TEZATF	RTZATF

Pour chaque famille, le choix des sections a été basé sur aussi sur des sinuosités et des déclivités différentes.

Trois à cinq sections de chaque famille ont été choisis afin de confirmer et de finaliser les interprétations des mesures.

Le choix des premières sections à suivre a été basé sur les critères suivants:la proximité géographique et la diversité des types de matériaux.

La liste des sections considérées par ce suivi est la suivante:

SECTION	DPE	ROUTE	PK	Matériaux	Climat	Trafic
TEZHTF-S1	Settat	RP3627	0+400	Tufs	ZH	T.fort
TEZHTF-S2	Settat	RP3627	5+600	Tufs	ZH	T.fort
TVZHTM-S1	Khémisset	RP4321	4+700	TV villafranchien	ZH	T.moyen
TVZHTM-S2	Khémisset	RP4321	5+600	TV villafranchien	ZH	T.moyen
TVZHTM-S3	Khémisset	RP4321	6+00	TV villafranchien	ZH	T.moyen
TOZHTF-S1	Sidi Kacem	RP4526	15+900	TV d'oued	ZH	T.fort
TOZHTF-S2	Sidi Kacem	RP4549	23+930	TV d'oued	ZH	T.fort
TOZHTF-S2	Sidi Kacem	RP4549	24+700	TV d'oued	ZH	T.fort

IV- Procédure du relevé de l'état des routes

1-Le matériel :

Le matériel utilisé pour la réalisation de cette étude est :

- Un transversoprofilographe avec ses accessoires.
- Une station totale topographique.
- Des bornes de référence.
- Un Bump sur axe + véhicule porteur.
- Un Véhicule de transport du matériel

2-Le Personnel mobilisé :

Le personnel nécessaire pour la réalisation des relevés de mesure est:

- Un ingénieur : pour le pilotage de l'opération
- Un technicien : pour le transversoprofilographe et pour assurer le levé topographique.
- Deux manœuvres : manutention, prise d'échantillons, pose des bornes.
- Deux chauffeurs : un pour le véhicule de transport et un autre pour le Bump sur axe.

3-Le travail sur terrain

Le relevé de l'état des pistes consiste en:

- 1- Le choix de la section à suivre : une reconnaissance de la piste permet de procéder au choix des sections suivant des déclivités et des sinuosités différentes.
- 2- Le relevé des profils en travers d'une section de 50m.
- 3- Le relevé d'un échantillon de matériaux pour analyse.
- 4- Le relevé visuel de l'état des pistes.
- 5- Le mesure de l'uni à l'aide du Bump sur axe (Vitesse de 20km/h) du fait de la difficulté de pratiquer 32km/h sur piste.
- 6- Le comptage du trafic est effectué un jour du souk (Ts) et un autre jour ordinaire (To).

Le trafic journalier est obtenu par la formule suivante $T = (6 \cdot To + Ts) / 7$.

Le volume du trafic est décomposé en

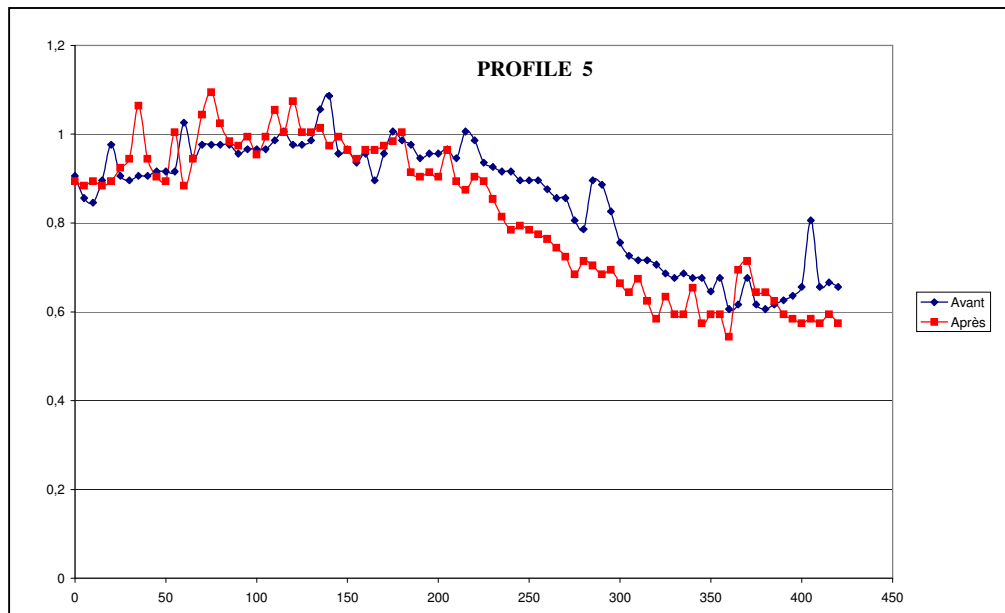
- Nombre de poids lourds ($PTC > 3.5T$),
- Nombre d'engins agricoles
- Nombre de véhicules légers.

4- Exploitation des données :

Le traitement des données est passé comme suit :

- 1-le dépouillement des graphiques millimétriques du transversoprofilographe.
- 2-le dépôt des échantillons au laboratoire pour analyse de la granulométrie
- 3-la récupération des données topographiques de la station topographique
- 4-le remplissage des fiches d'information pour chaque section

Les données de chaque section sont regroupées dans un classeur Excel . Le CNER a développé une méthode de calcul graphique de la perte de matériaux entre deux relevés différents dans le temps d'une section.



V- Analyse des résultats :

Après calcul des pertes de matériaux, la synthèse des données et des résultats est donnée sur le tableau suivant :

SECTION	TEZHTF-S1	TEZHTF-S2	TVZHTM-S1	TVZHTM-S2	TVZHTM-S3	TOZHTF-S1	TOZHTF-S2	TOZHTF-S2
DPE	Settat	Settat	Khémisset	Khémisset	Khémisset	Sidi Kacem	Sidi Kacem	Sidi Kacem
ROUTE	RP3627	RP3627	RP4321	RP4321	RP4321	RP4526	RP4549	RP4549
PK	0+400	5+600	4+700	5+600	6+00	15+900	23+930	24+700
matériaux	Tufs	Tufs	TV villafranchien	TV villafranchien	TV villafranchien	TV d'oued	TV d'oued	TV d'oued
climat	ZH	ZH	ZH	ZH	ZH	ZH	ZH	ZH
trafic	T.fort	T.fort	T.moyen	T.moyen	T.moyen	T.fort	T.fort	T.fort
La sinuosité °c/km	27.56	93.40	153.27	3.15	18.61	20.89	8.16	28.91
La déclivité m/km	10	10	10	40	10	40	20	70
VL	133	96	14	18	20	110	39	39
eng.agricole	15	10	4	4	6	71	33	33
PL	23	9	6	8	9	22	10	10
Total Trafic	171	115	24	30	35	203	82	82
IP	6	14	6	4	6	8	26	nm
D95%	50mm	40mm	40mm	40mm	40mm	40mm	50 mm	50mm
P.425mm	37.27%	47.78%	37.64%	38.37%	33.46%	15.06%	18.66%	24.31%
P2.mm	59.99%	61.82%	46.28%	44.06%	40.47%	21.16%	27.54%	33.73%
P.075mm	11.25%	26.88%	17.74%	15.68%	13.59%	9.43%	0.39%	1.63%
perte en cm 3mois	2.00	-0.14	0.52	-0.12	-0.36	0.98	0.30	1.82
perte en cm 12mois	8.00	-0.56	2.06	-0.47	-1.43	3.92	1.22	7.29

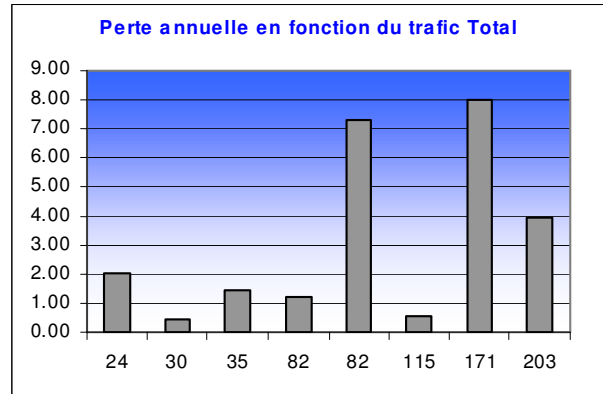
Pour pouvoir analyser ces résultats, on va ramener les pertes négatives en pertes positives étant donnée que les éléments qui s'ajoutent sont une perte de l'autre partie de la piste.

En effet, la longueur de la poutre est de 4m20 et la largeur des pistes est généralement plus importante. Le choix de la partie du profil en travers à mesurer peut introduire un biais dans la perte de matériaux (le trafic déplace les matériaux d'une partie du profil en travers vers une autre).

1-Le trafic :

a- la perte de matériaux en fonction du trafic total :

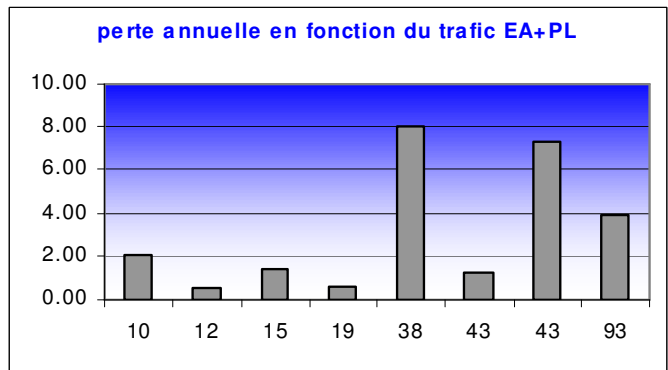
Section	Total Trafic	Perte Annuelle
TVZHTM -S1	24	2.06
TVZHTM -S2	30	0.47
TVZHTM -S3	35	1.43
TOZHTF -S2	82	1.22
TOZHTF -S2	82	7.29
TEZHTF -S2	115	0.56
TEZHTF -S1	171	8.00
TOZHTF -S1	203	3.92



On déduit que la perte de matériaux augmente avec l'augmentation du trafic.

b- la perte de matériaux en fonction du trafic des engins agricole

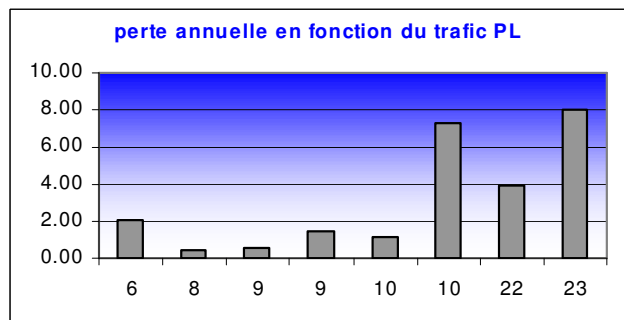
Section	Eng.Agr+PL	Perte Annuelle
TVZHTMS1	10	2.06
TVZHTMS2	12	0.47
TVZHTMS3	15	1.43
TEZHTFS2	19	0.56
TEZHTFS1	38	8.00
TOZHTFS2	43	1.22
TOZHTFS2	43	7.29
TOZHTFS1	93	3.92



On déduit que la perte de matériaux augmente avec l'augmentation du trafic des engins agricoles.

c-la perte de matériaux en fonction des poids lourds :

Section	PL	Perte Annuelle
TVZHTM-S1	6	2,06
TVZHTM-S2	8	0,47
TEZHTF-S2	9	0,56
TVZHTM-S3	9	1,43
TOZHTF-S2	10	1,22
TOZHTF-S2	10	7,29
TOZHTF-S1	22	3,92
TEZHTF-S1	23	8,00

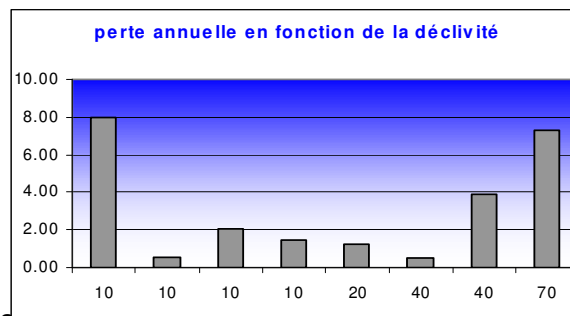


On déduit que la perte de matériaux augmente avec l'augmentation du trafic des poids lourds.

2-La topographie :

a- la perte de matériaux en fonction de la déclivité :

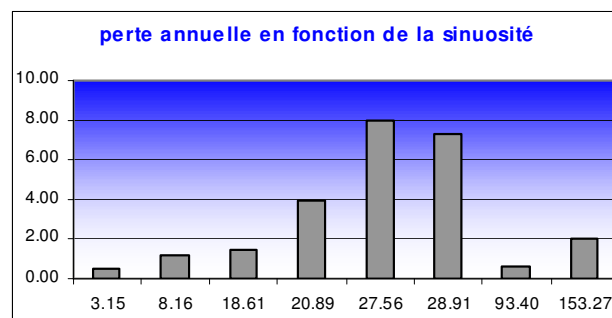
SECTION	La sinuosité °/km	La déclivité m/km	perte en cm 12mois
TEZHTFS1	27.56	10	8.00
TEZHTFS2	93.40	10	0.56
TVZHTMS1	153.27	10	2.06
TVZHTMS3	18.61	10	1.43
TOZHTFS2	8.16	20	1.22
TVZHTMS2	3.15	40	0.47
TOZHTFS1	20.89	40	3.92
TOZHTFS2	28.91	70	7.29



On déduit que la perte de matériaux augmente avec l'augmentation de la déclivité. Pour la section TEZHTF-S1 la perte de matériaux est grande même si la déclivité est faible à cause du trafic fort qui circule sur cette section.

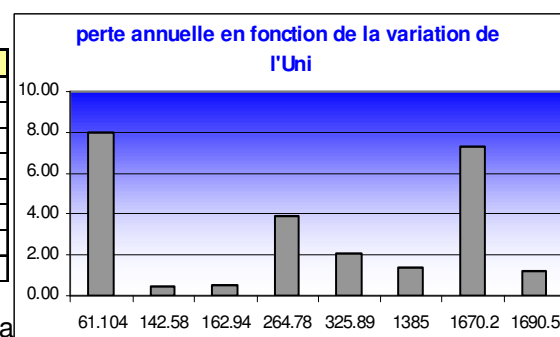
b-la perte de matériaux en fonction de la sinuosité:

SECTION	La sinuosité °/km	La déclivité m/km	perte en cm 12mois
TVZHTM-S2	3.15	40	0.47
TOZHTF-S2	8.16	20	1.22
TVZHTM-S3	18.61	10	1.43
TOZHTF-S1	20.89	40	3.92
TEZHTF-S1	27.56	10	8.00
TOZHTF-S2	28.91	70	7.29
TEZHTF-S2	93.40	10	0.56
TVZHTM-S1	153.27	10	2.06



3-L'Uni :

SECTION	Uni Avant	Uni Après	Variation Uni	perte annuelle
TOZHTF-S2	4989.46	4928.356	61.104	8.00
TEZHTF-S2	3808.116	3950.692	142.576	0.47
TOZHTF-S1	3604.436	3441.492	162.944	0.56
TOZHTF-S2	5294.98	5030.196	264.784	3.92
TEZHTF-S1	5722.708	5396.82	325.888	2.06
TVZHTM-S1	5049.419	3664.395	1385.024	1.43
TVZHTM-S3	6863.316	5193.14	1670.176	7.29
TVZHTM-S2	5477.147	3786.603	1690.544	1.22

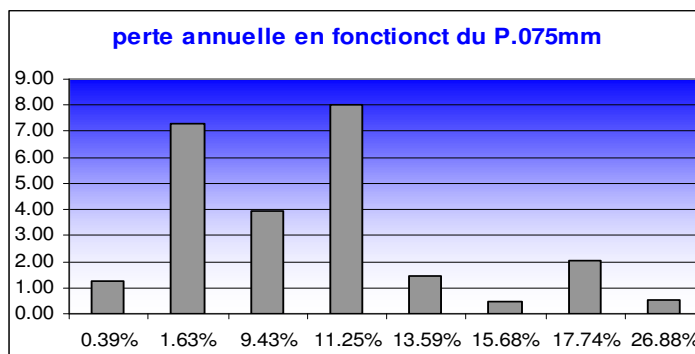


L'évolution de l'uni sur les pistes est aléatoire, c'est pour ça que l'uni qui reste sans influence claire sur l'évolution de la perte de matériaux.

4-La granulométrie :

a- la perte de matériaux en fonction des passants à 0.075mm :

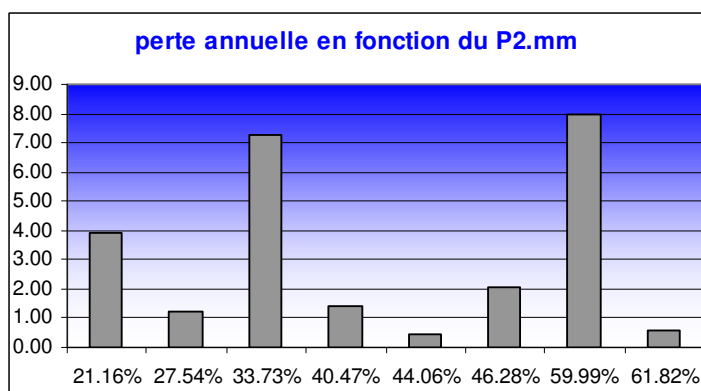
SECTION	P.075mm	perte en cm 12mois
TOZHTF-S2	0.39%	1.22
TOZHTF-S2	1.63%	7.29
TOZHTF-S1	9.43%	3.92
TEZHTF-S1	11.25%	8.00
TVZHTM-S3	13.59%	1.43
TVZHTM-S2	15.68%	0.47
TVZHTM-S1	17.74%	2.06
TEZHTF-S2	26.88%	0.56



Plus les passants P.075mm diminue plus la perte de matériaux augmente

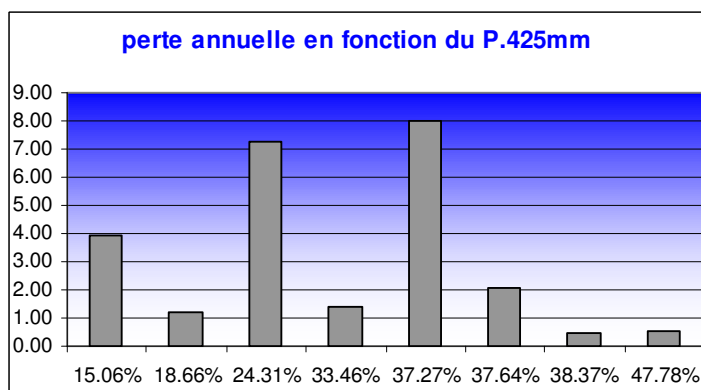
a- la perte de matériaux en fonction des passants à 2mm :

SECTION	P2.mm	perte en cm 12mois
TOZHTF-S1	21.16%	3.92
TOZHTF-S2	27.54%	1.22
TOZHTF-S2	33.73%	7.29
TVZHTM-S3	40.47%	1.43
TVZHTM-S2	44.06%	0.47
TVZHTM-S1	46.28%	2.06
TEZHTF-S1	59.99%	8.00
TEZHTF-S2	61.82%	0.56



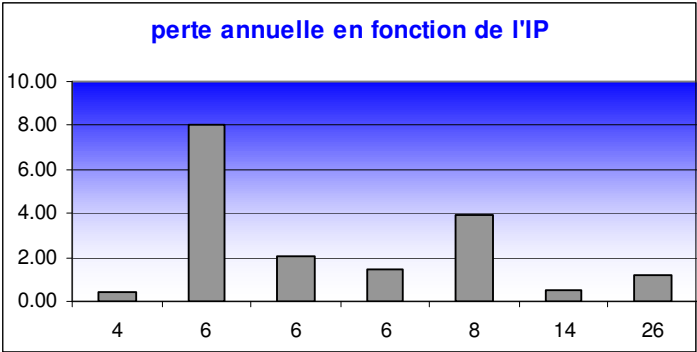
a- la perte de matériaux en fonction des passants à 0.425mm :

SECTION	P.425mm	perte en cm 12mois
TOZHTF-S1	15.06%	3.92
TOZHTF-S2	18.66%	1.22
TOZHTF-S2	24.31%	7.29
TVZHTM-S3	33.46%	1.43
TEZHTF-S1	37.27%	8.00
TVZHTM-S1	37.64%	2.06
TVZHTM-S2	38.37%	0.47
TEZHTF-S2	47.78%	0.56



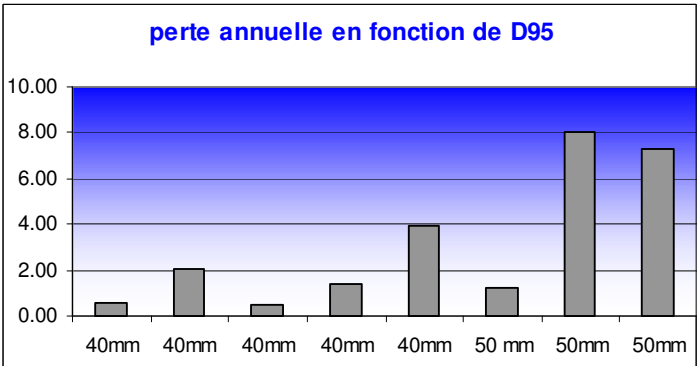
a- la perte de matériaux en fonction del'IP:

SECTION	IP	perte en cm 12mois
TVZHTM-S2	4	0.47
TEZHTF-S1	6	8.00
TVZHTM-S1	6	2.06
TVZHTM-S3	6	1.43
TOZHTF-S1	8	3.92
TEZHTF-S2	14	0.56
TOZHTF-S2	26	1.22
TOZHTF-S2	nm	7.29



a- la perte de matériaux en fonction de D95:
Plus le D95 augmente plus la perte de matériaux augmente

SECTION	D95%	perte en cm 12mois
TEZHTF-S2	40mm	0.56
TVZHTM-S1	40mm	2.06
TVZHTM-S2	40mm	0.47
TVZHTM-S3	40mm	1.43
TOZHTF-S1	40mm	3.92
TOZHTF-S2	50 mm	1.22
TEZHTF-S1	50mm	8.00
TOZHTF-S2	50mm	7.29



VI-Evolution des chaussées non revêtues suivant le modèle HDM4

L'évolution des chaussées non revêtues est caractérisée principalement par :

- L'UNI
- La perte de matériaux de surface.

1-Principaux paramètres du modèle :

Les paramètres nécessaires pour le suivi des chaussées non revêtues sont :

- Propriétés des matériaux :
 - la granularité
 - la plasticité du sol
- Trafic
 - TMJA des véhicules légers (< 3500 kg)
 - TMJA des poids lourds ($\geq$ 3500 kg)
- Géométrie de la route :
 - la sinuosité.
 - la déclivité
- Environnement :
 - climat
 - drainage.

2-Évolution de l'UNI :

Selon le modèle HDM4, l'UNI maximum est fonction des propriétés des matériaux et de la géométrie de la route. Son évolution est fonction de l'uni précédent, l'uni maximum, le temps, le nombre de véhicules légers et lourds et les propriétés des matériaux :.

- le compactage qui a un effet sur l'évolution de l'uni.
- le reprofilage qui a un effet sur l'évolution de l'uni.

L'uni moyen au cours d'une année est fonction du produit $t \cdot n$ (<1 ou ≥ 1), avec :

t : l'année du calcul de l'uni

n : fréquence du reprofilage en cycles/an

3-Perte de matériaux :

La perte de matériaux est fonction de :

- chutes de pluies mensuelles.
- volume du trafic
- géométrie de la route

-caractéristique de la grave (granularité et plasticité)

4-Praticabilité :

L'impact d'une réduction de la praticabilité peut être pris en compte dans le modèle de calcul des CEV moyennant des coefficients qui augmente les valeurs du CEV.

5-Coefficient de calage :

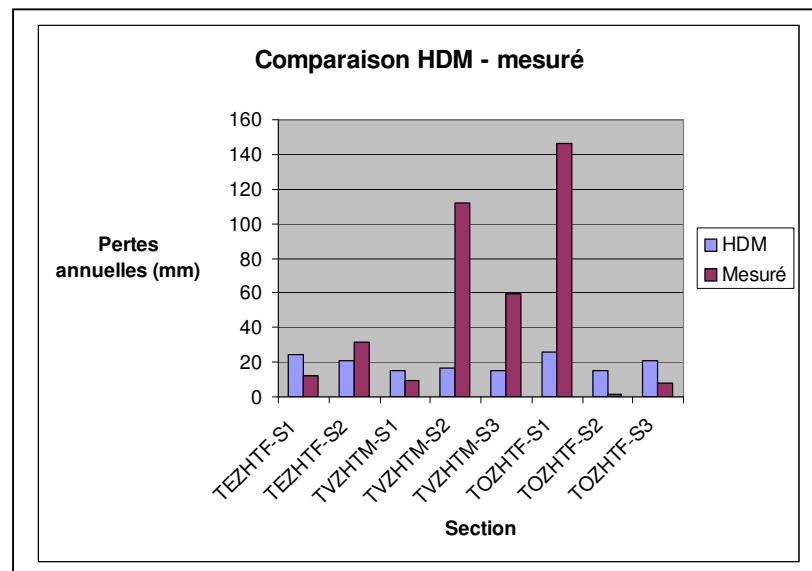
Le modèle HDM4 ne prévoit pas de coefficient de calage pour l'uni, alors que pour la perte de matériaux il présente deux coefficients :

-Kgl : perte de matériaux

-Gkt : perte de matériaux liée au trafic.

En modélisant les sections de l'étude et en réalisant plusieurs passages sur le modèle HDM4, les coefficients de calage sont affinés. (Kgl=1,1 ; Gkt=0,8)

Pour les valeurs extrêmes, ils sont dus à la forte pluie qui a tombé sur certaines sections.



VI- Conclusion

Il résulte de cette première analyse, que la perte de matériaux n'est pas fonction non d'un facteur unique mais de plusieurs paramètres simultanément : la chute de pluie, le trafic, la topographie, la granulométrie

Par ailleurs, les valeurs qui ne semblent pas logiques sont dues principalement à l'hétérogénéité des profils en long, car on suppose dans le calcul que les profils en travers sont identiques sur une longueur de 10m et à la forte pluie qui est tombée sur certaines sections entre les campagnes de mesures.

Ainsi et avec les nouvelles valeurs des coefficients de calage du modèle HDM4, on peut estimer la perte annuelle de pertes de matériaux pour une section de piste données une fois qu'on dispose des données nécessaires aux passages.