

Introduction

Avant 1940 aussi bien en Europe qu'ailleurs, la technique routière était basée exclusivement, tant en couche de fondation qu'en couche de base, sur l'utilisation des chaussées à squelette pierreux.

Cette méthode continuait à se pratiquer au Maroc jusqu'à nos jours, mais son champ d'utilisation reste très restreint et se limite uniquement aux régions qui souffrent d'une carrence de tout-venant et qui disposent en revanche d'une quantité importante de pierres telles :

KHOURIBGA, OUED-ZEM, BOUJAAD.

Il est aujourd'hui intéressant de revenir à cette méthode ancienne pour son intérêt économique sur les routes à faible trafic.

I• Méthode

1—Couche de fondation : Hérisson

Cette couche est constituée par la juxtaposition de grosses pierres (en règle générale, on utilise le calibre 100/200 mm/mm), posées sur une épaisseur de 15 à 25 cm et coincées par des éclats de pierre enfoncés au besoin à la masse : c'est le blocage ; Le répandage des pierres s'effectue manuellement. Cette opération est une véritable maçonnerie à pierres sèches placée sous la chaussée ; on le cylindre ensuite à refus et on remplit plus au moins les vides par des pierres plus petites. Le procédé du blocage présente un grand défaut ; En effet : lorsqu'une charge est appliquée au droit d'une pierre du hérisson, les pierres adjacentes participent à l'épanouissement des pressions, mais dès que la charge excède celle qu'autorise l'effort de coincement des pierres multiplié par le coefficient de frottement des éléments du hérisson, la butée disparaît et un arrachement des pierres se produit : le hérisson est une fondation instable, c'est pourquoi son utilisation se limite aux chaussées à faible trafic. Selon la valeur du frottement entre grains, la butée sera plus au moins grande pour s'opposer aux efforts horizontaux et assurer la stabilité du hérisson.

Pour obtenir un meilleur coincement et un meilleur remplissage des vides subsistant entre les pierres, il est conseillé d'avoir des matériaux cubiques pour multiplier les points de contact des différents grains et diminuer du vide entre eux.

Il en résulte que les matériaux cubiques à fort frottement augmente la stabilité de telle fondation.

Malgré toutes ces précautions, le coincement des pierres dépend de la nature du sol porteur et reste à la merci du moindre mouvement de celui-ci (teneur en eau - gel - déflexion etc...).

2—Couche de base : Macadam

Les couches de base en macadam sont réalisées avec des pierres cassées, c'est à dire un granulat d/D à granularité très ouverte. En règle générale on utilise des pierres d'un calibre 40/70 (mm/mm). Ces matériaux sont coincés par enchèvement sous la compression d'un cylindre lisse, l'épaisseur de la couche varie de 10 à 12 cm. Une fois le coincement obtenu, on remplit les interstices par des matériaux d'agrégation. selon cette matière d'agrégation, on distingue trois méthodes :

- Macadam à l'eau : la matière d'agrégation est une boue sableuse
- Macadam traité en pénétration : le sable est remplacé par du gravillon et un liant hydrocarbonné
- Macadam traité en percolation : cette méthode consiste à remplir les interstices avec des matériaux enrobés.

2.1. Macadam à l'eau :

C'est seulement une fois le serrage obtenu qu'on commence à répandre la matière d'agrégation, en général sable fin contenant une petite quantité de fines pour avoir une bonne cohésion.

Les sables de concassage 0/10 mm convient très bien, de même les sables de rivières dont E.S. est supérieur à 40, la qualité du sable à répandre est de l'ordre de 15 % du volume des pierres après cylindrage.

On en fait une boue qu'on bousse au balai dans les vides entre les pierres, toujours en arrosant copieusement. Pendant ce temps on continue à cylindrer. Le nombre de passages du cylindre dépend de la dureté de la pierre d'une façon générale les macadams à l'eau sont sensibles aux efforts tangentiels qui produisent des arrachements de pierre aboutissant au nid de poule bien connu la matière d'agrégation produit l'été de la poussière, l'hiver de la boue on est donc conduit, dès que la circulation est impérative, à les revêtir. Cette technique n'est plus guère appliquée.

2.2. Macadam en pénétration :

On serre les pierres au cylindre, lentement sans arroser, quand on a obtenu le maximum de serrage, le remplissage des vides s'effectue selon le dosage suivant (voir couche de roulement).

2.3. Macadam en percolation

Cette méthode consiste à utiliser des gravillons enrobés à la place des gravillons secs. Elle évite les rejets de gravillons mal accrochés et livre à la circulation un tapis régulier.

2.4. Propriété des pierres

Les matériaux de la couche de base doivent répondre aux spécifications suivantes :

Dimensions :

- la proportion en poids de matériaux retenus sur une passoire à trous de diamètre D ainsi que celle de matériaux passant à travers une passoire à trous de diamètre doivent l'une et l'autre être inférieure à 10 %.
- la proportion de matériaux passant à travers une passoire à trous de diamètre $0,63 d$ doit être inférieure à 3 %.

Forme :

- Il y ait moins de 10 % d'éléments où : $L \times G \leq 6 E$
Nous appellons :
 - longueur d l'élément (L) : la plus grande dimension de cet élément.
 - épaisseur (E) : la plus faible distance entre deux plans parallèles tangents à l'élément.
 - Grosseur (G) : le diamètre le plus petit d'un orifice circulaire au travers duquel peut passer l'élément.
- Il y ait moins de 3 % d'éléments ne passant pas en tous sens dans un anneau de diamètre égal à $D + 30 \text{ mm}$

Propriété :

Les pierres doivent être propres et exemptes de corps étrangers, de matières organiques et de détritux divers.

- il doit y avoir, moins de 3 % d'éléments inférieurs à 1 mm.

Qualité : (dureté)

- La couche doit être constituée des matériaux durs, peu sensibles à l'attrition dont la dureté doit répondre à :
 - Coefficient de Los Angeles inférieur à 40
 - Coefficient Deval supérieur à 13

2.5. Cylindrage :

Le cylindrage est effectué par bandes longitudinales d'une largeur sensiblement égale à celle de l'engin en commençant par deux bandes extérieures et en terminant par une bande centrale. Le cylindre courant est un tricycle de 10 à 12 tonnes. Comme le macadam est traité soit à l'eau, soit à l'émulsion de bitume soit aux enrobés, les matériaux de remplissage sont introduits pendant le

cylindrage, c'est à dire après que l'ensemble de la surface ait reçu au moins 2 à 4 passages de cylindre. Le cylindrage est poursuivi jusqu'à ce qu'aucun glissement tangentiel des éléments ne soit plus perceptibles sous le passage de l'engin en tenant compte des facteurs suivants :

- attrition possible de la pierre et résistance à l'écrasement
- aptitude de la chaussée à supporter des passages répétés de cylindre de 10 à 12 tonnes.

2.6. Arrosage :

Le cylindrage est accompagné d'un arrosage en pluie fine renouvelé aussi souvent qu'il est nécessaire pour maintenir les pierres humides et avec le souci de ne pas détériorer la couche sous-jacente par un excès d'eau.

3.1. Macadam à l'eau

Pour le macadam traité à l'eau on ne peut pas parler de couche de surface car la chaussée est livrée à la circulation une fois le remplissage du vide et le cylindrage prennent fin.

3.2. Macadam en pénétration

Le revêtement s'effectue en tricouche selon le dosage suivant :

Liant pur résiduel		Granulat
1° couche	1,2 kg/m ²	12 l/m ² de 15/25
2° couche	1 kg/m ²	8 l/m ² de 5/15
3° couche	0,8 kg/m ²	5 l/m ² de 0/05

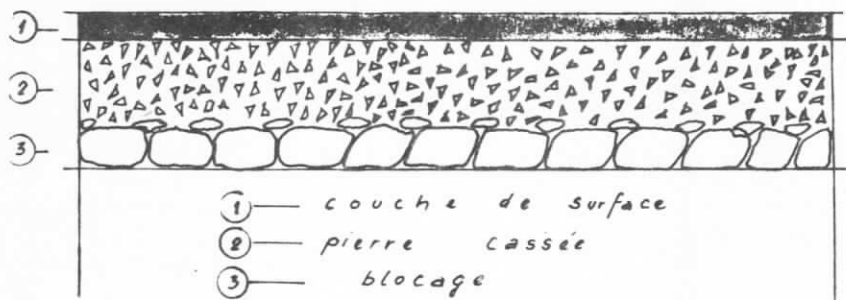
La pénétration à raison de 5 à 8 passages s'effectuera après chaque couche.

La pénétration donne une chaussée moins pleine que le macadam à l'eau, mais avec moins de risque de sensibilité.

3.3. Macadam en percolation :

Le dosage d'un revêtement tricouche est comme suit :

		Liant pur	
		Enrobés	Matériaux secs
1° couche	1 kg/m ²	12 l/m ²	15/25
2° couche		8 l/m ³	5/15
3° couche	0,8 km/m ²	5 l/m ²	0/5



COUPE DE CHAUSSEE A SQUELETTE PIERREUX TYPE



Bon calage et bonne
transmission des charges

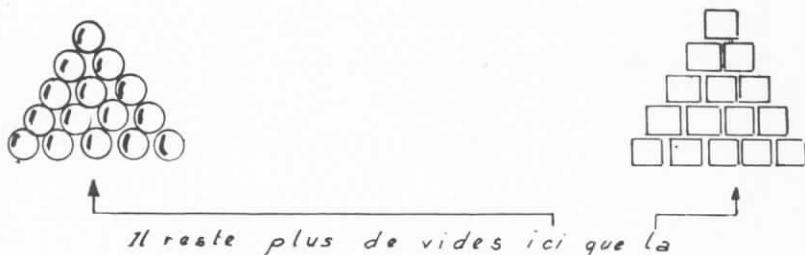


Trop de fines
Mauvaise transmission
des charges



Pas assez de fines des gros
et moyens ne sont pas collés
il y a des mouvements
possibles Risque d'ornièrage
Point de contact limité

les « billes » tiennent moins bien que les « cubes »



IL FAUT DES MATERIAUX ANGULEUX

II • Les matériels et les moyens humains

1—Les matériels :

« Il n'y a point de technique s'il n'y a outil, instrument ou machine » mais chaque technique exige un matériel spécifique et qui s'adapte au mieux avec son mode d'exécution.

En effet, la technique des chaussées en pierre cassée nécessite un matériel dont la plus part est presque artisanale et un potentiel humain important, par contre la technique des chaussées en tout-venant exige un matériel lourd et un effectif humain réduit.

1.1. Les chaussées en pierre cassée

Le matériel nécessaire pour l'exécution de cette méthode peut être comme suit :

- un cylindre à jantes lisses
- un compresseur
- des explosifs
- des masses et massettes
- un camion citerne
- des camions de transport
- des brouettes
- des fourches
- des balaies

- un gravillonneur
- un épandeur de liant

1.2. Les chaussées en tout-venant

La constitution du matériel est la suivante :

- un concasseur
- une ou deux chargeuse
- une niveleuse
- un compacteur à pneus
- des camions pour le transport
- un camion citerne
- un gravillonneur
- un épandeur de liant

2—Les moyens humains :

La constitution des équipes peut être la suivante :

2.1. Les chaussées en pierre cassée

La carrière :

- 1 caporal
- 1 conducteur de chargeuse
- 30 ouvriers casseurs de pierre
- 1 dynamiteur
- 2 ouvriers pour le compresseur
- 1 gardien pour le dépôt des explosifs

Total : 36

Couche de fondation :

- 1 surveillant de chantier
- 1 conducteur de cylindre
- 10 ouvriers pour le répandage le réglage des pierres et différentes manœuvres
- 1 conducteur du camion citerne pour l'arrosage

Total : 13

Couche de base :

- « même équipe »

Total : 13

Transport :

- 5 chauffeurs de camions

Total : 5

Couche de roulement :

- 1 conducteur de l'épandeur de liant + 1 aide conducteur
- 1 conducteur de gravillonneur + l'aide conducteur
- 4 balayeurs

Total : 6

Total général : 60 personnes

2.2. Les chaussées en tout-venant

Extraction des matériaux

- un conducteur de chargeuse
- 2 conducteurs de camion pour le transport

Total : 3

Station de concassage

- 1 homme pour la réception et le contrôle des matériaux
- 1 homme pour surveiller le déchargement
- 1 conducteur de chargeuse pour le chargement des matériaux réceptionnés à partir des aires de stockage vers le chantier.

Total : 3

Transport :

- 5 chauffeurs de camion

Total : 5

Couche de fondation

- 1 Chef de chantier
- 1 conducteur de compacteur
- 1 niveleuse + 1 graisseur
- 1 conducteur du camion citerne

Total : 5

Couche de base :

- même équipe

Total : 5

Couche de roulement :

- 1 conducteur de l'épandeur de gravillon + aide conducteur
- 1 conducteur de l'épandeur de liant + 1 aide conducteur
- 3 ouvriers pour différentes manœuvres

Total : 7

Contrôle :

- 3 laboratins pour le contrôle du compactage, réglage, granulométrie des matériaux etc...

Total : 3

Total général : 26 personnes

III• Difficultés de la méthode :

A la suite d'une consultation des différentes entreprises utilisant cette méthode, les points suivants ont été abordé :

- Moyens humains et techniques utilisés
- Difficultés rencontrées
- Coût financier

Au cours de la discussion les entreprises affirment qu'il est difficile, si non impossible de trouver de la main d'œuvre spécialisée pour casser les pierres. Pour eux cette main d'œuvre est inexistante aujourd'hui. Seule la région de Oued-Zem dispose actuellement de quelques casseurs de pierres. D'après ces entreprises le rendement journalier d'un ouvrier casseur de pierres est de $1 \text{ m}^3/\text{j}$ en moyenne à raison de 15 DH/ m^3 auxquels il faut ajouter les frais de transport qui s'élèvent à 13 DH/ m^3 selon une distance moyenne de 10 kms. Sur la question de remplacer les moyens humains par des moyens techniques (utilisation d'un concasseur placé aux ouvriers) les entrepreneurs répondent que la méthode bien qu'elle est rapide et efficace revient doublement plus chère à cause d'une perte énormes de matériels (3 machoirs par jour sont à remplacer), les spécifications des matériaux ne répondent pas aux exigences de l'administration à cause de la rareté de ces matériaux dont les propriétés (Dureté, Propreté, Homogénéité etc...) sont sévères.

L'avancement journalier d'un chantier est très lent, ceci retarde d'une manière considérable le délai d'exécution, à titre d'exemple : En ce qui concerne le blocage, un ouvrier peut répondre au maximum $10 \text{ m}^3/\text{j}$.

L'arrosage pose énormément de difficultés dans les régions qui souffrent d'une rareté de l'eau. Les entreprises préfèrent utiliser les pierres de ramassage qui se prétendent très bien au compactage au lieu du blocage : méthode lente et parfois mal exécutée ; l'idée de limiter les chaussées en pierre cassée à des petits chantiers de 2.000 m^3 à 2.500 m^3 (c'est-à-dire les chaussées à 2 kms de longueur) est l'avis commun des entreprises que nous avons consultées.

IV• Etude économique

1—Comparaison économique entre le tout-venant et la pierre cassée

Il est intéressant de comparer le coût financier d'une chaussée réalisée en tout-venant ou en pierre cassée. Pour illustrer cette comparaison nous allons étudier deux cas réels :

- Carrefour de la RP 13 C.T. 1.514 dans la Province de Khouribga
- C.T. 1.906 de Taghzirt à Ghorm El Alem : Province de Beni-Mellal

Dans cette comparaison, on ne considère que trois opérations :

- Couche de fondation
- Couche de base
- Couche de roulement

Nous nous tenons pas compte des opérations telles : terrassements, encaissement, les accotements etc...

1.1 Carrefour de la RP 13 - C.T. 1.514 : Voir tableau ci-après

1.2. Chemin tertiaire 1.906 de Taghzirt à Ghorm El Alem sur une longueur de 10 kms : voir tableau ci-après

Nature des travaux	Prix unitaire	Quantité	Prix total
Fourniture et mise en oeuvre du T.V. 0/60 pour couche de fondation	75,52 DH/m ³	2.634 m ³	202.695,68
Fourniture et mise en oeuvre du S.V. 0/30 pour couche de base	82,93 DH/m ³	1.917 m ³	158.976,81
Exécution de la couche de roulement tricouche non compris liants hydrocarbonés	5,80 DH/m ²	4.500 m ²	26.100,00

Coût Total : 387.774,49 DH

Soit le coût au m² : 86,17 DH/m²

* HYPOTHESE 2 : Carrefour en pierre cassée :

Nature des travaux	Prix unitaire	Quantité	Prix total en DH
Fourniture et mise en oeuvre du blocage y compris arrosage cylindrage et toutes sujétions	47,00	1.350 m ³	63.450,00
Fourniture et mise en oeuvre de la pierre cassée y compris arrosage cylindrage et toutes sujétions	54,00 DH	720 m ³	38.880,00
Exécution de la couche de roulement tricouche non compris liant hydrocarbonné	5,80	4.500 m ²	26.100,00

Coût total : 128.430,00 DH

Soit le coût au m² de : 28,54 DH/m²

H₁ : C.T. en tout-venant

Nature des travaux	Prix unitaire	Quantité	Prix total
Fourniture et mise en oeuvre du T.V. 0/60 pour couche de fondation	75 DH/m ³	10.920 m ³	819.000,00 DH
Fourniture et mise en oeuvre du T.V. 0/30 pour couche de base	85 DH/m ³	10.400 m ³	884.000,00 DH
Exécution de la couche de roulement tricoche non compris liant hydro-carboné	5,80 DH/m ²	40.000 m ²	232.000,00 DH

Coût Total : 1.935.000,00 DH

Soit le coût au m² : 48,37 DH/m²

H₂ : C.T. en pierre cassée

Nature des travaux	Prix unitaire	Quantité	Prix total
Fourniture et mise en oeuvre du blocage pour couche de fondation	55 DH/m ³	13.650	750.750,00 DH
Fourniture et mise en oeuvre de la pierre cassée pour couche de base	65 DH/M ³	7.800	507.000,00 DH
Exécution de la couche de roulement tricoche non compris liant	5,8 DH/m ²	40.000 m ²	232.000,00 DH

1.489.750

Soit le coût au m² : 37,24 DH/m²

—Si on compare le coût au mètre carré de chaussée dans la première opération, on constate que les coûts unitaires sont dans un rapport de trois : $\frac{86,17}{28,54} = 3$

d'où l'intérêt d'utiliser la pierre cassée au lieu du tout-venant dans cette opération dont la quantité en pierre cassée ne dépasse pas 3.000 m³.

—Par contre le rapport des coûts unitaires dans le deuxième exemple est de : $\frac{48,37}{37,24} = 1,3$

le choix de la méthode ici est fonction des objectifs visés : selon qu'on veut gagner sur le coût ou bien gagner sur le délai d'exécution (ce point sera abordé avec plus de détail dans le paragraphe intitulé : analyse du coût généralisé :

En résumé :

Pour les petites quantités en pierre cassée la méthode des chaussées à squelette pierreux s'impose.

Trandisque pour les grandes quantités (supérieure à 4.000 m³) en pierre cassée les deux méthodes sont concurrentes, les critères de choix sont fonctions de la politique économique visée et la disponibilité des crédits.

2—Analyse économétrique :

2.1. Variation du coût du mètre cube de la pierre cassée en fonction de temps

D'après le tableau n° 1 (voir annexes) le prix du mètre cube de la pierre cassée évolue avec le temps si on cherche à lier le prix P du mètre cube de la pierre cassée en fonction du temps t la méthode dite « des moindres carrés » donne une regression linéaire de P en fonction de t.

L'équation est $P = 2,06 t + 20$

Avec un coefficient de corrélation $R = 95 \%$, ce coefficient R rend compte de la qualité de l'ajustement économique en indiquant dans quelle mesure la variation de la variable P est liée à celle de t. donc l'ajustement est très significative.

Pour la variation de P en fonction de t voir courbe n° 1.

2.2. Variation du mètre carré de la chaussée en fonction des matériaux utilisés.

Pour mieux comparer les prix du mètre carré de chaussée suivant les deux techniques : pierre cassée ou tout-venant. Nous avons reliés le coût du mètre carré de la chaussée en fonction du prix du mètre cube des matériaux utilisés :

—Couche de base en pierre cassée :

A partir du tableau n° 2 (voir annexes) on montre que le prix du mètre carré de la chaussée est une regression linéaire du prix du mètre cube de pierre cassée d'équation : (voir courbe n° 2).

$$C = 0,52 x - 0,52$$

Avec un coefficient de corrélation $R = 99 \%$

C : désigne le coût en DH du mètre carré de chaussée

X : désigne le coût en DH du mètre cube de pierre cassée

— **Couche de base en tout-venant 0/40 semi-concassée :**

D'après le tableau n° 3 (voir annexes) la même méthode donne :

$$C = 0,23 x + 28 \quad \boxed{\text{avec } R = 70 \%}$$

(Voir courbe n° 3)

2.3. Sensibilité du prix du mètre carré de chaussée à la variation du prix des matériaux utilisés :

Pour mesurer la sensibilité de la variation de y par rapport à la variation de x on utilise en économie la notion d'élasticité qui se définit comme suit :

$$E(y/x) = \frac{\frac{dy}{y}}{\frac{dx}{x}} = y' \frac{x}{y}$$

Pour la pierre cassée

$$E(c/x) = \frac{\frac{dc}{c}}{\frac{dx}{x}} = \left(\frac{dc}{dx} \right) \times \frac{x}{c} = \frac{0,52}{0,52x - 0,52} \times \frac{x}{x - 1}$$

l'élasticité au pt $x = 65$

$E = 1$: **élasticité unitaire** qui se traduit par une variation du prix de la pierre cassée de 1 % entraîne une augmentation du coût unitaire de la chaussée de 1 % **donc proportionnalité** dans les variations du prix

Pour le tout-venant 0/40 semi-concassée :

$$E(c/x) = \frac{0,23}{0,23x + 28} \times x$$

l'élasticité au pt $x = 85$ donne :

$$E = 0,41$$

cela montre qu'une augmentation du prix du tout-venant de 1 % entraînerait une augmentation du coût unitaire de la chaussée de 0,41 %.

Conclusion :

Ces deux résultats montrent que le coût unitaire de la chaussée est plus **sensible** à la variation du prix de la pierre cassée que celui du tout-venant. Malgré cette sensibilité le prix du m² de chaussée (technique tout-venant) reste nettement supérieur au prix du mètre carré de la chaussée (technique, pierre cassée).

En effet :

Pour illustrer cet écart admettons que le prix de la pierre cassée augmente de 50 % du prix actuel qui est de l'ordre de **65 DH/m³**, cela entraînerait, d'après ce qui précède, une augmentation du coût unitaire de la chaussée de 50 %, le coût par mètre carré de chaussée actuel qui est de **30 DH/m²** passe à 45 DH/m².

Par contre une augmentation du prix du tout-venant de 50 % du prix actuel qui est de l'ordre de 85 DH/m³ entraînerait une augmentation du coût unitaire de la chaussée de $0,41 \times 50 \% = 20 \%$ le coût par mètre carré de chaussée passe de **53 DH/m²** à **63,6 DH/m²**

Par conséquent la technique de la pierre cassée est moins chère que la technique en tout-venant.

3—Analyse du coût généralisé d'une couche de base en pierre cassée ou en tout-venant.

3.1. Cas théorique :

Le coût généralisé d'une couche est fonction de la quantité des matériaux utilisés et du temps soit une fonction à deux variables $C(x, t)$

le coût généralisé d'une couche est de la forme :

$$C = a + bx + ct \quad (1)$$

a : Charges fixes

b : Prix du mètre cube des matériaux utilisés

c : Valeur économique du temps

le coût unitaire (coût par m³ de matériaux) est :

R : c'est le rendement journalier

— la formule (1) montre l'incidence du grand délai sur le coût généralisé et le risque qu'ont court en cas retard.

— la formule (2) montre l'incidence du rendement sur le coût unitaire.

Par souci de simplification on ne tient pas compte des charges fixes (a)

Pour fixer les idées et dégager une conclusion

Prenons :

$$\begin{aligned} b_1 &= 65 \text{ DH/m}^3 \\ c_1 &= 1.000 \text{ DH/j} \\ R_1 &= 100 \text{ m}^3/\text{j} \\ t_1 &= \frac{x}{R_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 &= 85 \text{ DH/m}^3 \\ c_2 &= 1.000 \text{ DH/j} \\ R_2 &= 300 \text{ m}^3/\text{j} \\ t_2 &= \frac{x}{R_2} \end{aligned}$$

Il est évident que t_1 est supérieur à t_2 , l'écart $Dt = t_1 - t_2$ qui en résulte avantage une technique sur l'autre suivant la valeur économique C qu'on accorde au temps t : d'où un grain matériel qui est de : $G = Dt \times C$ faisons le calcul successivement pour :

$x = 1.000 ; 2.000 ; 3.000 ; 4.000 ; 5.000 ; 6.000 ; 8.000 ; 10.000 \text{ m}^3$

les calculs se résument dans le tableau n° 4 : voir annexes

N.B. : l'indice (1) est relatif à la pierre cassée

l'indice (2) est relatif au tout-venant 0/40 semi-concassée.

3.2. Cas réel : C.T. 1.906 sur 10 km de longueur

Pour pouvoir calculer le coût généralisé de cette opération, on calculera le coût généralisé de chaque couche qui compose le corps de chaussée suivant la formule (1) on désigne par C_i, j : le coût généralisé de la couche j suivant la méthode i

le coût généralisé globale selon la méthode i sera alors :

Désignations des indices

$i = 1, 2$

$j = 1, 2, 3$

$i = 1$: méthode pierre cassée

$i = 2$: méthode tout-venant

$j = 1$: couche de fondation

$j = 2$: couche de base

$j = 3$: couche de roulement

Données :

	100	300
—Matrice des rendements journaliers : $(R_i, j) =$	100	300
	5.000	5.000
	13.650	10.920
—Matrice des quantités : $(x_i, j) =$	7.800	10.400
	40.000	40.000

—Matrice des prix unitaires : $b_{i,j} =$

55	75
65	85
5,8	5,8

—Matrice de la valeur économique du temps : $(C_i, j) =$

1.000	1.000
1.000	1.000
1.000	1.000

Résultats :

—Matrice des délais : $(t_{i,j}) =$

137	37
78	35
8	8

—Matrice des coûts : $(C_i, j) = 10^3$

887,75	856
585	919
240	240

$$C_1 = 1.497.750,00 \text{ DH}$$

à raison de : 37,44 DH/m²

$$—C_2 = 2.015.000,00 \text{ DH}$$

à raison de 50,37 DH/m²

—le grain du temps est de : 143 jours

$$—G = 143 \times 1.000 = 143.000,00 \text{ DH}$$

Il ressort de cette analyse que la méthode de la pierre cassée est plus économique que la méthode du tout-venant. En revanche la deuxième technique est plus rapide que la première, comme nous le montre le calcul. Cet avantage se manifeste par un grain de temps appréciable qui est de 143 jours.

Le choix de la méthode à utiliser est fonction du but et des objectifs recherchés.

V• Conclusion générale :

Suivant les analyses techniques et économiques qui ont été faites il en découle que la pierre cassée est certe une technique moins coûteuse que la technique utilisant le tout-venant, mais elle présente certains avantages non négligeables à savoir :

- méthode de dimensionnement facile
- réduction des charges fixes supportées par les entreprises du fait que la méthode nécessite peu de matériel

- création des emplois permettant ainsi de résoudre le problème local du chômage = effectif humain important.
- permettre aux petites entreprises dont les moyens sont limités de trouver un job.

Cependant ces avantages restent très limités :

- méthode lente
- qualité de service médiocre : chaussée instable
- main-d'œuvre qualifiée introuvable
- déconseillée pour les routes à trafic lourd
- son champs d'utilisation se limite à des petits chantiers.

VI • Annexes

Nature des travaux	Année de réalisation et référence	Ouverture de la plateforme et construction de la piste reliant l'ancien au nouveau pont	Construction de la chaussée C.T. 1980	Ouvverture de la plateforme et construction de la piste reliant l'ancien au nouveau pont
Pourriture et mise en œuvre du blocage B/12	Année I. 66			Année 1981
Pourriture et mise en œuvre de blocage 100/200		25,00		
Pourriture et mise en œuvre de tout-venant 0/40 pour couche de fondation	19,50		42,00 DH	52,50 DH/m ³
Pour fûtre et mise en œuvre du T.V. 0/60 pour couche de fondation	19,00			
Pourriture et mise en œuvre du T.V. 0/80 pour couche de fondation	17,60 DH			
Pourriture et mise en œuvre de pierre cassée 40/70 pour couche de base	23,50 DH	38,00	45,00	60,00 DH/m ³
Réfection de la couche de roulement y compris liant hydrocarbure	2,40	2,30	8,65	17,80 DH/m ²
Réfection de la couche de roulement non compris liant	11,59 DH	11,92	20,71	22,87
Prix au mètre carré de chaussée				36,02 DH/m ²

AN N E E	Prix de la chaussée au mètre carré en DH	Prix de la pierre cassée 40/70 au mètre cube en DH : Fourniture et mise en preuve
1966 = (t ₁ = 1)	11,59	23,50
1967 = (t ₂ = 2)	11,02	24,00
1975 = (t ₁₀ = 10)	20,71	38,00
1980 = (t ₁₅ = 15)	22,87	45,00
1981 = (t ₁₆ = 16)	30	60,00

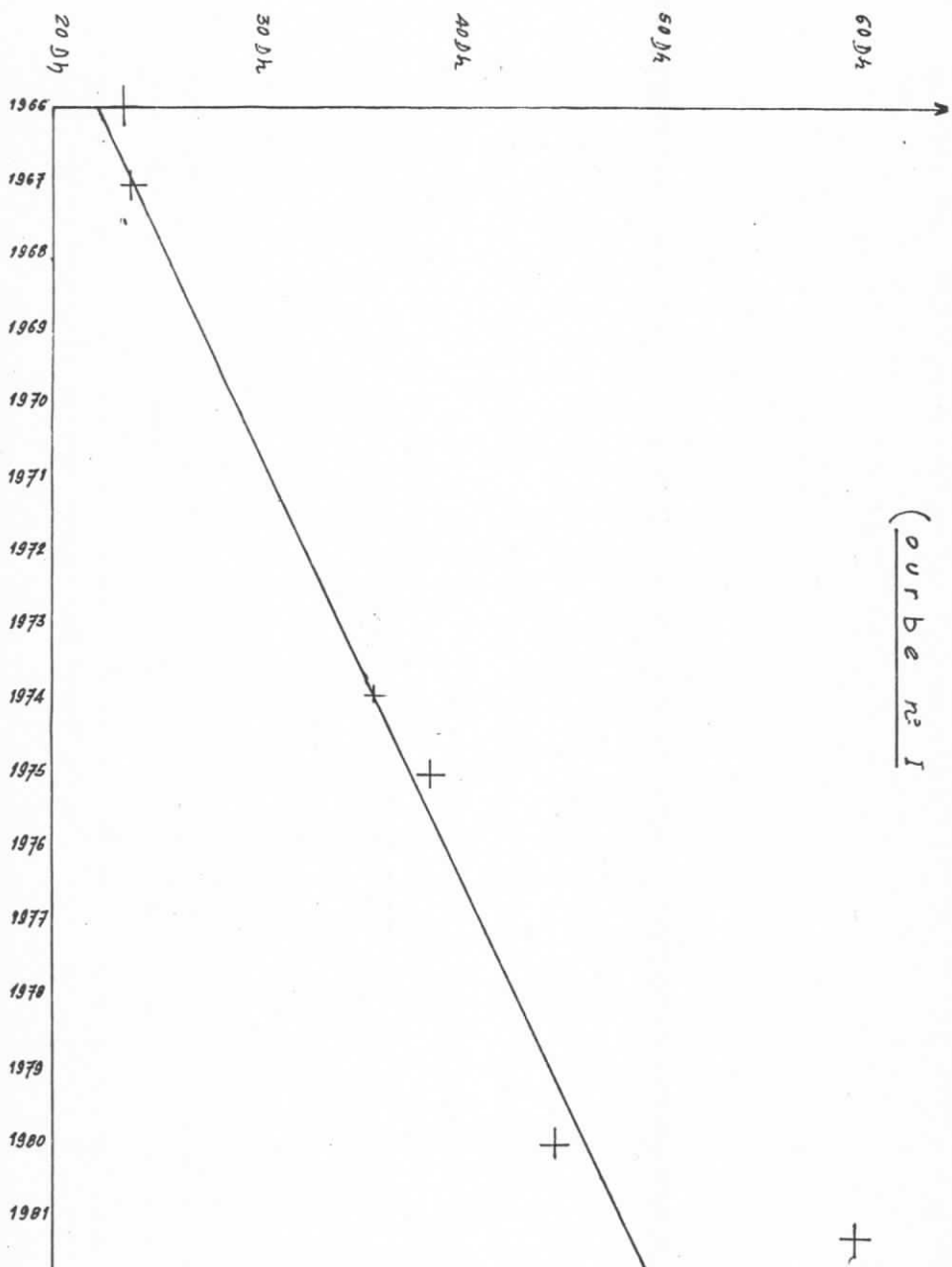
TABEAU DE PRIX DU TOUT-VENANT SEMI-CONCASSE
O/40 POUR COUCHE DE BASE - PRIX 1981

Désignation des travaux	Renforcement du C.T. 6706 et construction des accès aux douars IHOUJJINE ET TIDILI	Construction de chaussée du C.T. 1803	Construction de chaussée du C.T.T. 1805 b	Travaux de construction de chaussée Demnate Skoura
T.V. 0/60 pour couche de fondation y compris mise en oeuvre	55,00 DH/m ³	73,00 DH/m ³	82,00	100,00 DH
Fourniture et mise en oeuvre du T.V. 0/40 semi-concassée pour couche de base	105,00 DH/m ²	84,00 DH/m ³	85,00	130,00 DH
Revêtement superficiel non compris bitume	8,00 DH/m ²	10,00 DH/m ²	15,00	9,50 DH
Prix au m ² de chaussée en DH	45,75 DH/m ²	45,36 DH/m ²	52,89	60,85 DH

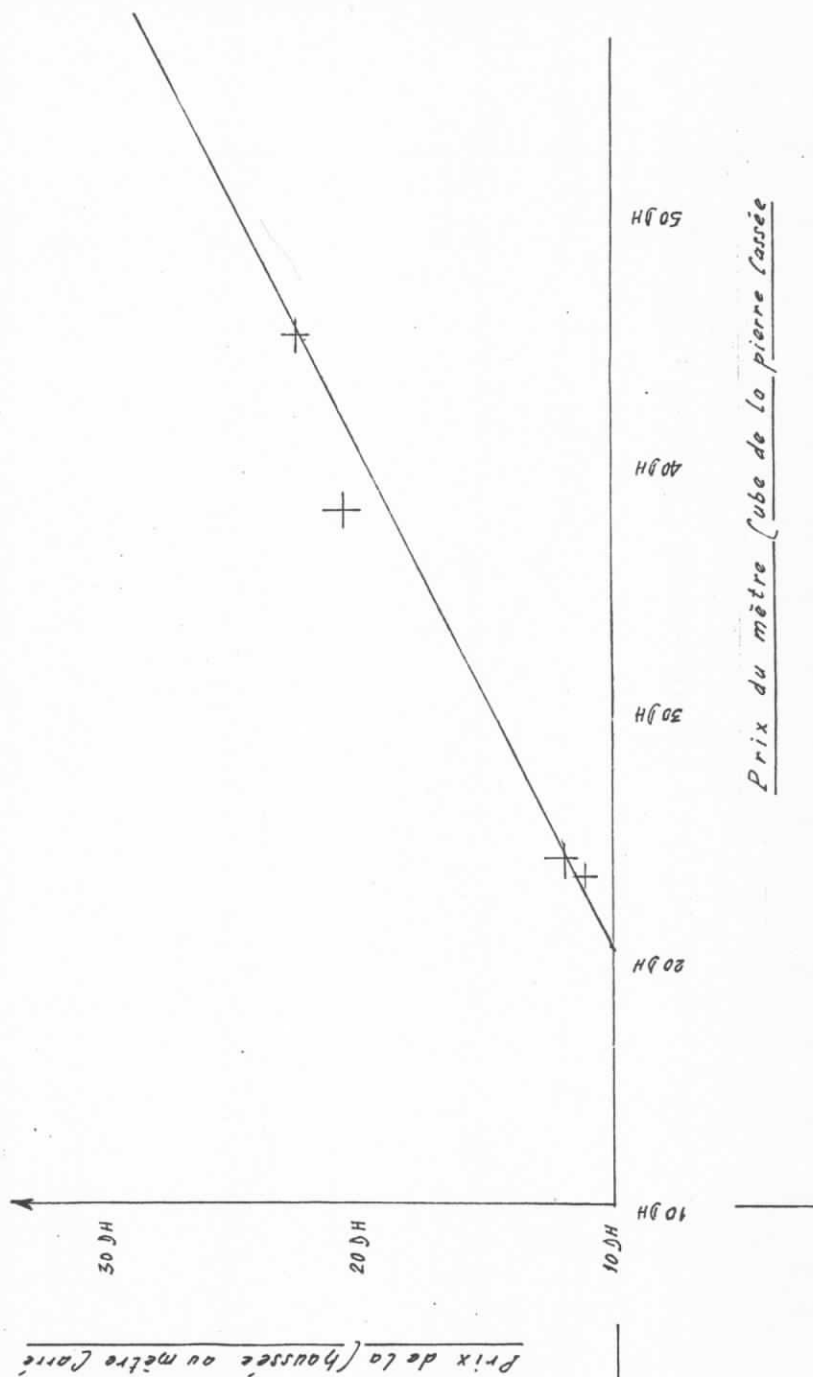
Tableau n° 3

TABIEAU N° 4

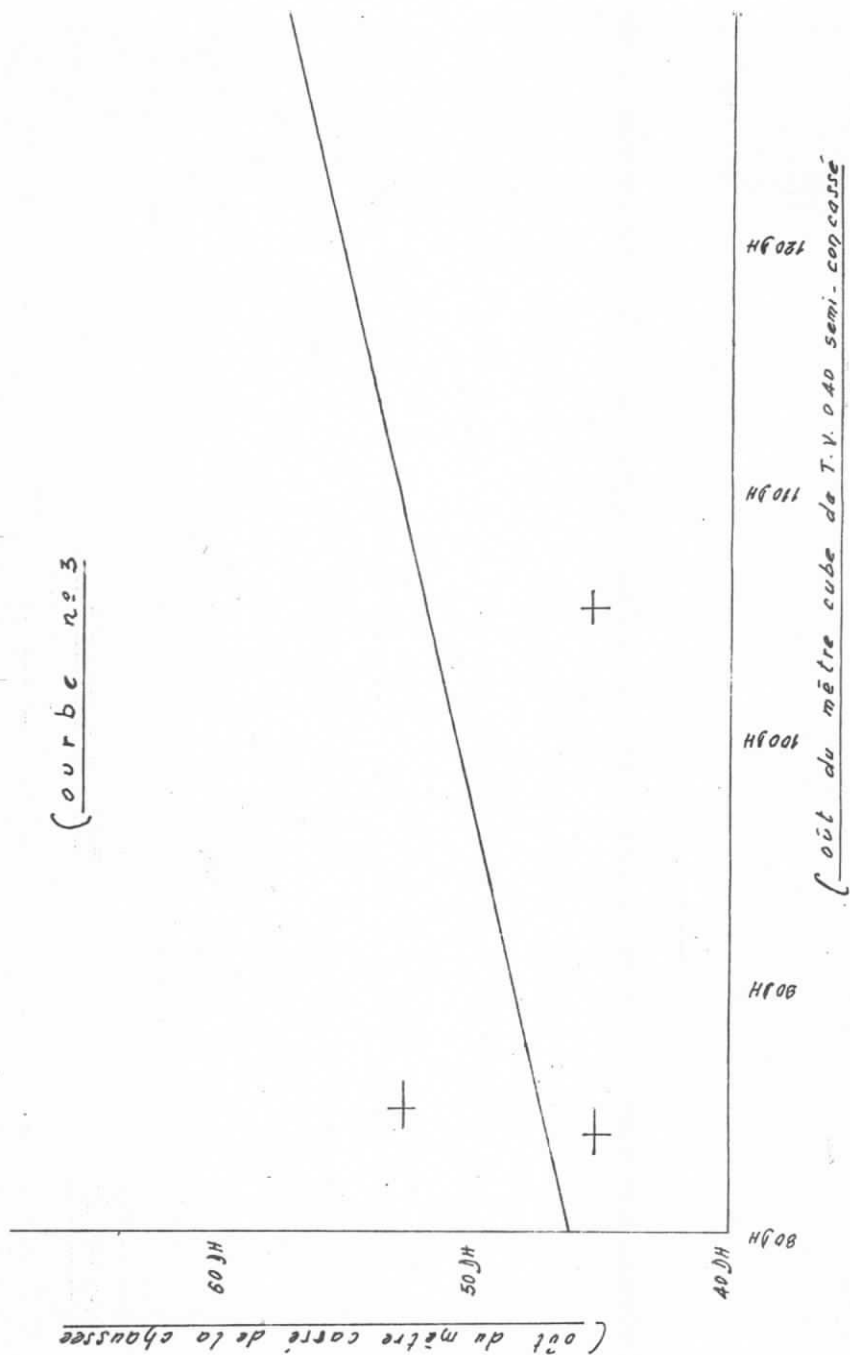
x en m ³	1000	2000	3000	4000	5000	8000	10.000
t ₁ en jour	10	20	30	40	50	80	100
t ₂ en jour	3,5	7	10	13	17	20	33
c ₁ en DH	75.000	150.000	225.000	300.000	375.000	600.000	883.000
CUL DH/m ³	70	70	70	70	70	70	70
C2 en DH	88.500	177.000	265.000	353.000	442.000	700.000	875.000
CUL DH/m ²	88,33	88,33	88,33	88,33	88,33	88,33	88,33
G DH	6.500	13.000	20.000	27.000	33.000	60.000	67.000



Courbe n° 2



Courbe n° 3



Références bibliographiques

- Conception et construction des chaussées (*Tome 1 et 2*) G. JEUFFROY
- Choix économique des projets (*Tome 1 et 2*) : cours E.N.P.C.
- Encyclopédie : Techniques de l'ingénieur
- Initiation à l'économie : cours E.N.P.C.
- Archives de l'Arrondissement de Beni-Mellal