

OPTIMISATION DES PLATES-FORMES
support de chaussées autoroutières
en fonction
DES CONDITIONS DE CHANTIER
ET DU BILAN TECHNICO-ECONOMIQUE GLOBAL
(chaussées + couche de forme)

Yves GUERPILLON

EVOLUTION DE L'INTERFACE TERRASSEMENTS / CHAUSSEES

Dernier mètre des terrassements de la RTR 76 rationalisé par le GTR 92 en PST suivant la nature des sols.

Risque de surabondance donc de surcoût entre PST et couche de forme

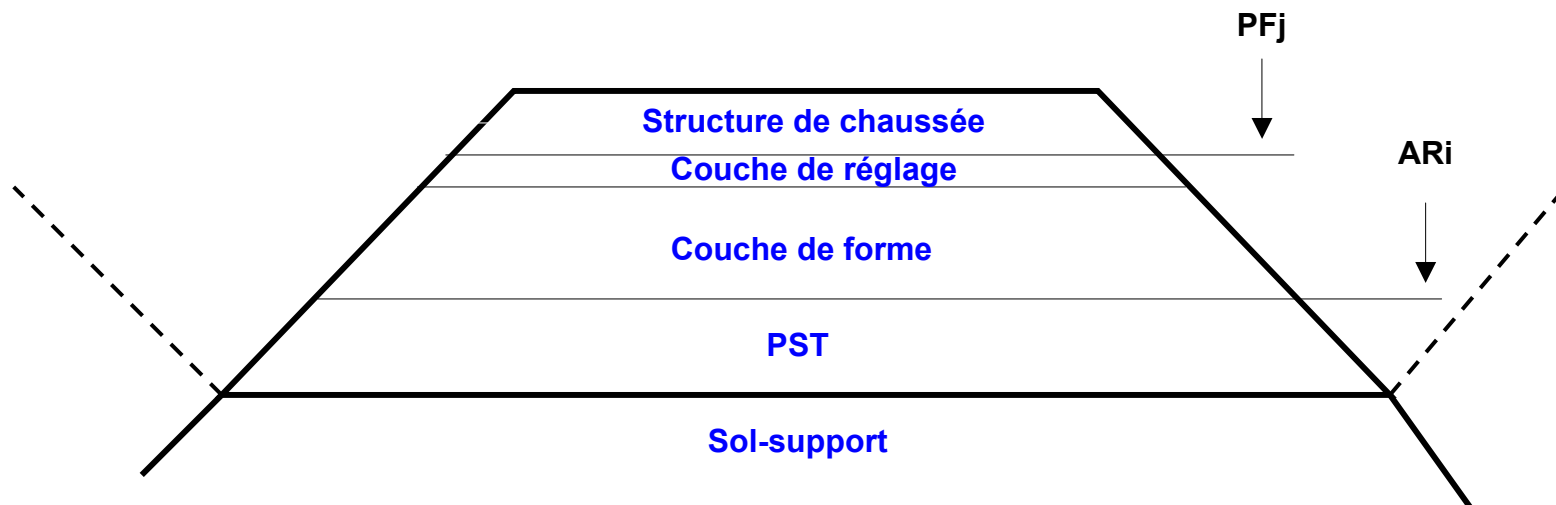
ce qui a conduit SCETAUROUTE à proposer :

⇒ un Guide de conception des plates-formes autoroutières,

⇒ et une démarche globale d'optimisation PST/CF/Ch par :

- . un choix de la PST en tenant compte du trafic de chantier,
- . « intégration » de la couche de forme dans la structure de chaussée avec une analyse globale coûts de construction + coûts d'entretien sur la durée de vie,
- . « réglage » de la protection au gel par la PST et la couche de forme.

CONCEPTION DES STRUCTURES ROUTIERES



DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEES

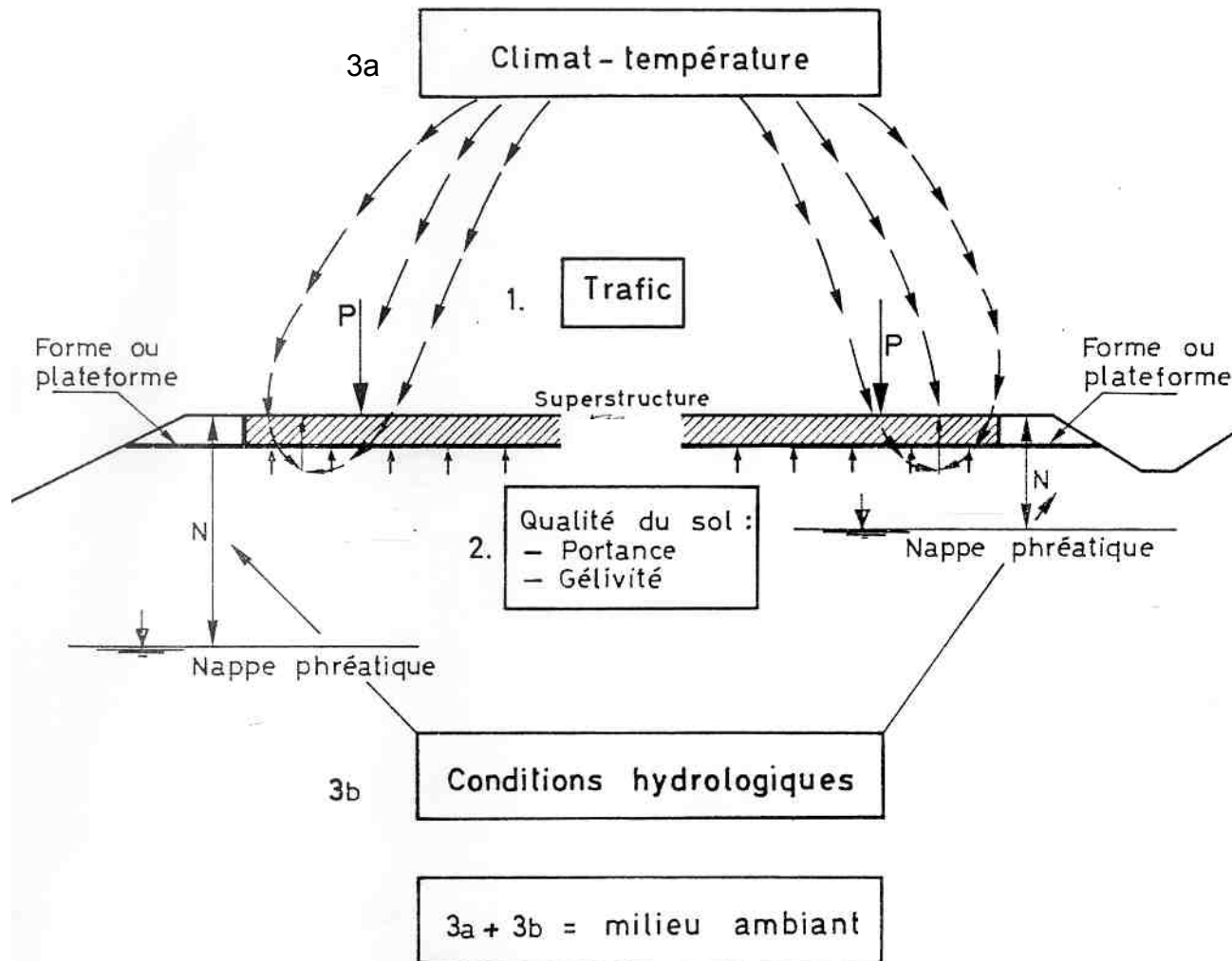
Méthode analytique (modèle élastique multicouche de Burminster).

Analyse probabilistique des caractéristiques des matériaux et de la régularité des épaisseurs de couches.

Calage route-labo.

⇒ en fonction du trafic et des caractéristiques de la plate-forme support de chaussée (PFI)

Celles-ci dépendent de l'arase terrassement.



ROULEMENT

BASE

FONDATION

REGLAGE

FORME

PST

SOL SUPPORT

PF_j

Manuel de Conception des
chaussées d'autoroutes ou
Guide technique SETRA-LCPC

Guide de conception des plates-
formes

Guide Technique pour la Réalisation
des terrassements et des couches de
formes (GTR)

H_{FORME}

H_{PST}

Sk

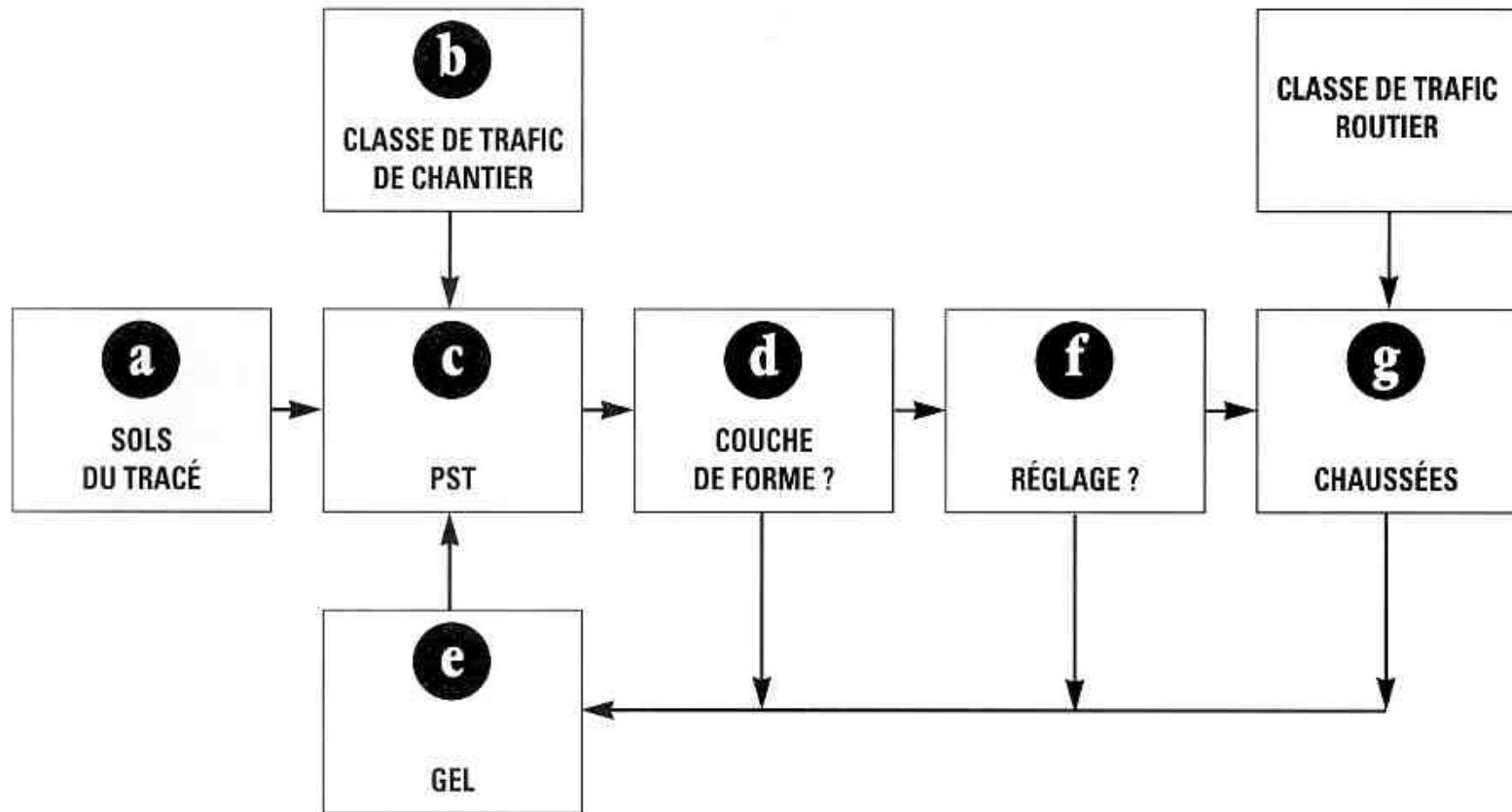
Liaison terrassements - chaussées

Outil pour optimiser l'ensemble « sol-support - partie supérieure des terrassements (PST) - couche de forme - couche de réglage - couches de chaussées ».

Deux structures à concevoir :

- l'une avec **la PST ou la couche de forme** devant supporter le trafic chantier,
- l'autre qui est la structure complète **PST-couche de forme-chaussées** destinée à supporter le trafic routier en phase exploitation.

METHODE D'ANALYSE

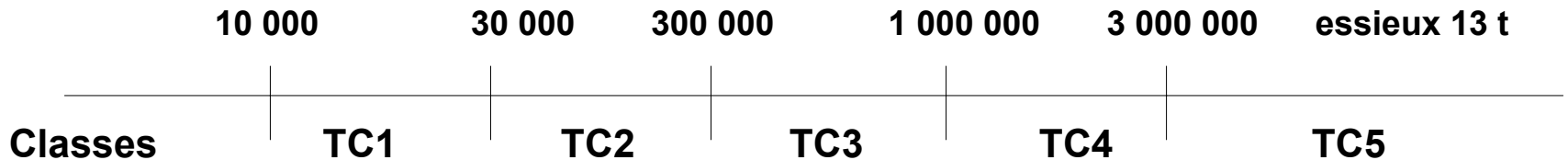


TRAFIC

Dépend de la stratégie du mouvement des terres :

- *quantité transportée*
- *distance de transport*
- *type d'engins utilisés*

transformé en essieux équivalent 13 t en fonction de l'agressivité (matériaux traités ou non traités), d'où 5 classes de trafic :



- En fonction :
- quantité transportée (10^5 à 10^6 t)
 - type d'engins
 - type de matériaux PST

AGRESSIVITE DU TRAFIC

1 engin de transport = A essieu de 130 kN

basé sur la loi de Mineur (cumul des dommages à la fatigue).

dépend donc :



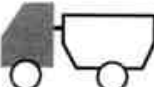
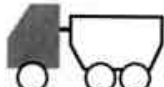


- de la nature des matériaux,
- du type d'engins.

Exemple :

| ENGINS | PST GRANULAIRE | PST TRAITEE OU LH |
|----------------------------------|----------------|-------------------|
| Tombereau non articulé Cu > 40 t | A = 30 | 327 |
| PL normal Cu > 25 t | 5,2 | 35 |

EQUIVALENCE EN ESSIEUX DE 13 T

- pour les couches en matériaux non traités ou traités à la chaux.

| Engins | Tombereau non articulé CU > 40 t (769 C) | PL spéciaux CU = 40 t | Tombereau articulé CU = 25 t (D 30 C) | Tombereau articulé CU = 32 t (A 35) | PL normaux CU = 25 t | Tombereau articulé CU = 25 t (A 25) |
|----------------------------|--|--|---|--|--|--|
| Quantités |  22 t 44 t |  6 t 16 t 38 t |  22 t 29 t |  17 t 43 t |  6 t 13 t 21 t |  12 t 30 t |
| 100 000 à 500 000 t | 225 000 | 187 000 | 144 000 | 94 000 | 62 400 | 57 600 |
| 500 000 à 1 000 000 t | 570 000 | 475 000 | 360 000 | 234 000 | 156 000 | 144 000 |
| 1 000 000 à 2 000 000 t | 1 125 000 | 937 500 | 720 000 | 470 000 | 312 000 | 288 000 |
| >2 000 000 t | 1 875 000 | 1 562 500 | 1 200 000 | 800 000 | 520 000 | 480 000 |

EXEMPLES

| | | | | | | |
|---------------|--|--|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Type de PST : | non traitée | non traitée | non traitée | traitée | traitée | traitée |
| Volume : | 100 000 t | 300 000 t | 500 000 t | 400 000 t | 800 000 t | 1 000 000 t |
| Engin : | tombereau articulé CU > 25 t (A 25) | tombereau articulé CU > 32 t (A 35) | tombereau articulé CU > 25 t (D 30 C) | PL normaux | PL normaux | PL spéciaux |
| Distance : | d < 5 km | d < 5 km | d < 5 km | d > 5 km | d > 5 km | d > 5 km |
| | ▼ <i>TC₁</i> | ▼ <i>TC₂</i> | ▼ <i>TC₃</i> | ▼ <i>TC₄</i> | ▼ <i>TC₅</i> | ▼ <i>TC₅</i> |

CLASSEMENT DU SOL-SUPPORT A LONG TERME ET SOUS CONDITIONS DEFAVORABLES

| Portance des sols supports | CBR après immersion correspondant | EV ₂ (MPa) |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| S ₀ | 0 - 3 | non réalisé |
| S ₁ | 3 - 6 | non réalisé |
| S ₁₂ | 6 - 10 | 30 - 50 |
| S ₂ | 10 - 20 | 50 - 80 |
| S ₂₃ | 20 - 30 | 80 - 120 |
| S ₃ | non représentatif | 120 - 200 |
| S ₄ | non représentatif | >200 |

Les plages de modules EV₂, à la même teneur en eau que le CBR, sont données à titre indicatif.

PORTANCE DES SOLS SUPPORTS

| Portance → ↓ Sol | S0 | S1 | S12 | S2 | S23 | S3 | S4 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| A1 | XXX | | | | | | |
| A2 | XXX | | | | | | |
| A3 | XXX | | | | | | |
| B1 | XXX | | | | | | |
| B2 | XXX | | | | | | |
| B31 | | | | XXX | | | |
| B32 | | | XXX | | | | |
| B4 | XXX | | | | | | |
| B5 | XXX | | | | | | |
| B6 | XXX | | | | | | |
| C1 | | XXX | | | | | |
| C2 | | XXX | | | | | |
| C1B11 | | | XXX | | | | |
| C2B11 | | | XXX | | | | |
| C1B31 | | | | XXX | | | |
| C2B31 | | | | XXX | | | |
| D1 | | | XXX | | | | |
| D2 | | | | XXX | | | |
| D3 | | | | XXX | | | |
| R11 | | XXX | | | | | |
| R12 | | XXX | | | | | |
| R13 | XXX | | | | | | |
| R21 | | | | XXX | | | |
| R22 | | | | XXX | | | |
| R23 | | | XXX | | | | |
| R31 | | XXX | | | | | |
| R32 | | XXX | | | | | |
| R33 | | XXX | | | | | |
| R34 | | XXX | | | | | |
| R41 | | | | XXX | | | |
| R42 | | | XXX | | | | |
| R43 | | XXX | | | | | |
| R61 | | | | | XXX | | |
| R62 | | | | XXX | | | |
| R63 | | | XXX | | | | |

XXX portance de dimensionnement

plage de portance

OBJECTIFS DE QUALITE SUR LA PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS

| | non traité | non traité | non traité ou traité (1) | non traité | traité (2) | non traité | traité (2) |
|--------------------|------------|------------|-----------------------------|----------------|------------|----------------|------------|
| Trafic | TC1 | TC2 | TC3 | TC4 | | TC5 | |
| Portance/déflexion | 20 MPa | 35 MPa | 50 MPa | 80 MPa | 80/100e | 120 MPa | 50/100e |
| Ornière, glissance | Admissible | Admissible | Non admissible | Non admissible | | Non admissible | |
| Nivellement | ± 5 cm | ± 5 cm | ± 5 cm | ± 5 cm | ± 3 cm | ± 5 cm | ± 3 cm |

(1) traitement à la chaux principalement.

(2) traitement aux liants hydrauliques.

OBJECTIFS DE QUALITE SUR LA COUCHE DE FORME

| | PF₂ non traité | traité | PF₃ non traité | traité | PF₄ non traité | traité |
|--|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| Portance ou déflexion à court terme | 80 MPa 150/100e | 80/100e | 120 MPa ou 100/100e | 50/100e | 200 MPa ou 60/100e | 20/100e |
| Portance ou déflexion à long terme | 50 MPa | 80/100e | 120 MPa | 50/100e | 200 MPa | 20/100e |
| Ornière, glissance | Non admissible | | Non admissible | | Non admissible | |
| Nivellement | ±3 cm (±2 cm*) | ±2 cm | ±3 cm (±2 cm*) | ±2 cm | ±3 cm (±2 cm*) | ±2 cm |
| Uni (à l'APL NBO) | OM : 95 % ≥ 6 | | GO : 95 % ≥ 9 ou 100 % ≥ 8 | | | |

() Pour les cas des couches de fondation en grave bitume ou en enrobé à module élevé.*

STRUCTURE DES PLATES-FORMES

L'épaisseur de la partie supérieure des terrassements est définie suivant la nature des matériaux qui la constituent :

matériaux traités aux liants hydrauliques de classe 5

matériaux traités à la chaux

matériaux non traités de classe S2

matériaux non traités de classe S3

en fonction de

- la portance du sol-support S_k
- du trafic de chantier le plus fort attendu T_{c_i}

La couche de forme correspondante dépend :

- du matériau utilisé en couche de forme S_f (non traité) ou de classe m (traité),
- de la portance de plate-forme utilisée : PF2, PF3 ou PF4.

MATERIAUX S3 EN PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS

Portance du sol
support

S1

S12

S2

S23

S3

Trafic de chantier

TC1

TC2

TC3

TC4

TC5

TC1 à

TC2

TC3

TC4

TC5

TC1 à

TC3

TC4

TC5

TC4

TC5

Tci

PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS :MATERIAUX NON TRAITES DE TYPE "S3"

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-----|
| PST | 0 cm | 35 cm | 50 cm | 65 cm | 80 cm | 0 cm | 35 cm | 50 cm | 65 cm | 0 cm | 35 cm | 50 cm | 0 cm | 35 cm | 0cm |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-----|

OBJECTIF DE LA PLATE-FORME

MATERIAUX NON TRAITES DE TYPE "sf" EN COUCHE DE FORME

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------|--------------------|----------|--------|----|---|----------|--------|----|---|--------|----|---|----|---|---|
| PF2 | S2 S3 | RE + 75 RE + 55 | 35 35 | R R | | | 35 35 | R R | | | R R | | | | | |
| PF3 | S3 | RE + 85 | 65 | 50 | 35 | R | 65 | 50 | 35 | R | 50 | 35 | R | 35 | R | R |

MATERIAUX TRAITES DE "classe m" EN COUCHE DE FORME

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| PF2 | CLASSE 3 CLASSE 4 CLASSE 5 | RE + 35 RE + 40 RE + 45 (*) | 25 30 35 | R R R | | | 25 30 35 | R R R | | | R R R | | | | | |
| PF3 | CLASSE 3 CLASSE 4 CLASSE 5 | RE + 40 RE + 45 (*) RE + 55 (*) | 30 35 40 | 25 30 35 | 20 25 30 | R R R | 30 35 40 | 25 30 35 | 20 25 30 | R R R | 25 30 35 | 20 25 30 | R R R | 20 25 30 | R R R | R R R |
| PF4 | CLASSE 3 CLASSE 4 CLASSE 5 | RE + 45 (*) RE + 55 (*) RE + 75 (*) | 35 40 40 | 30 35 40 | 25 30 35 | 20 25 30 | 35 40 45 (*) | 30 35 40 | 25 30 35 | 20 25 30 | 30 35 40 | 25 30 35 | 20 25 30 | 25 30 35 | 20 25 30 | 20 25 30 |

anti-économique

SPT>PF2 (*) = en deux couches

R = couche de réglage éventuelle

RE = reprofilage

AUTOROUTE A39 - BOURG-EN-BRESSE/CHISEAUX

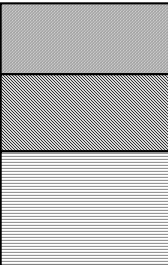
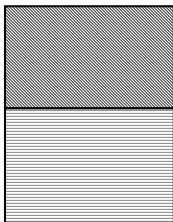
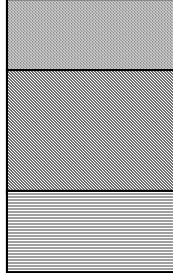
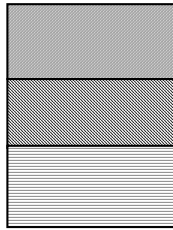
NORD

SUD

| | NORD | SUD |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| TRAFIC | 800 000 t par dumpers Cu > 40 t | 150 000 t par PL normaux |
| SOL-SUPPORT | S1 traité (S12) | S1 |
| PST | 0/200 calcaire concassé | PST traitée |
| COUCHE DE FORME | 0/200 calcaire concassé | grave traitée B5 |
| CLASSE PLATE-FORME | PF2 | PF3 |

AUTOROUTE A39.5

Tableau comparatif des structures obtenues selon les méthodes du GTR et du guide SCETAUROUTE

| ZONE NORD | | | ZONE SUD | | |
|--|--|------------|---|---|-------------|
| (GTR + Gel) | Guide SCETAUROUTE (avec le gel) | Trafic | (GTR + Gel) | Guide SCETAUROUTE (avec le gel) | Trafic |
|  <p>cdf 0,40 m PST 0,30 m sol support traité</p> |  <p>PST 0,50 m sol support traité S1.2</p> | TC4 |  <p>cdf 0,40 m PST 0,60 m sol support</p> |  <p>cdf 0,30 à 0,40 m PST 0,40 m sol support S1</p> | TC 4 |

IMPORTANCE D 'UNE CONCEPTION GLOBALE SUR LA DUREE DE VIE

Coût chaussées + couche de forme

- 30 % coût d 'une autoroute neuve de rase campagne.
- 80 % travaux d'entretien.

Coût total

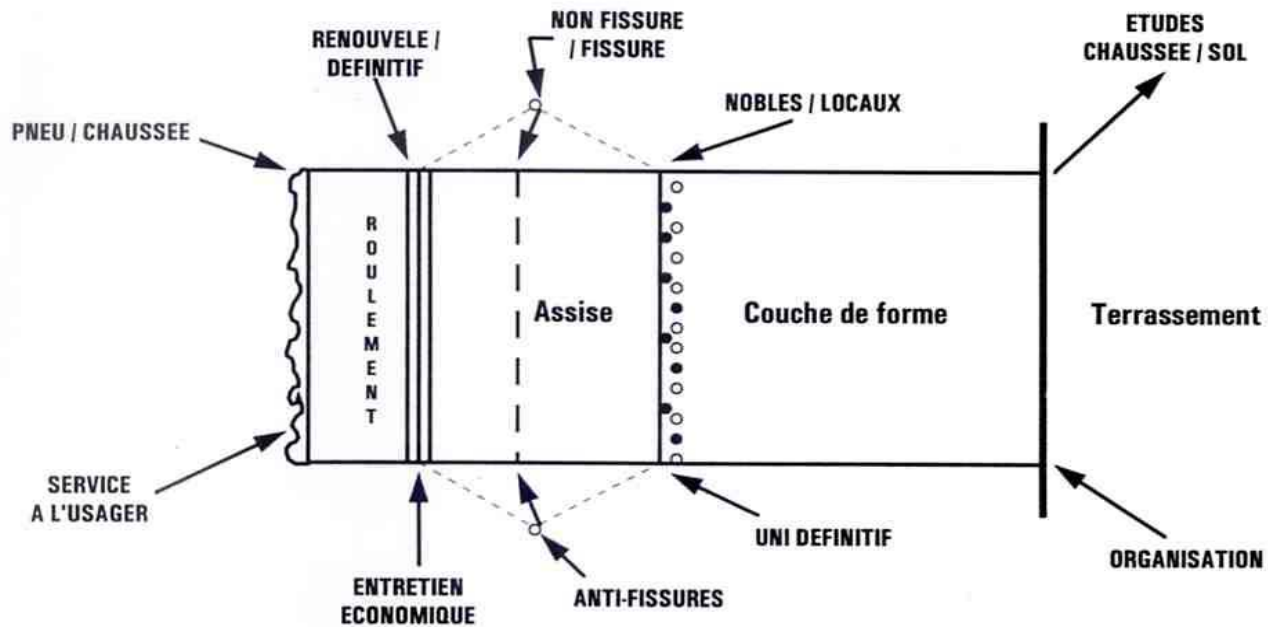
- Chaussée : 50 à 60 %.
- Couche de forme : 20 % en PF2, 35 % en PR 4.
- Entretien : 15 à 25 %.

OPTIMISATION GLOBALE PAR :

- l'intégration de la couche de forme dans la structure,
- l'interface fonctionnelle entre matériaux nobles et matériaux qui a tendance à être placés le plus en plus haut dans la conception,
- la séparation de fonction de surface et de structure,
- le contrôle de l'uni et donc de la régularité des épaisseurs le plus bas possible,
- la préoccupation d'intégrer dans la conception les travaux futurs d'entretien.

OBJECTIFS DE DURABILITE ET DE NIVEAU DE SERVICE

- Durée de service
- Sécurité (adhérence, uni)
- Confort (uni)
- Limitation de la gêne due aux travaux d'entretien



COUTS D 'ENTRETIEN

Niveau de service dépend de deux aspects :

- Qualité d 'usage qui concerne essentiellement la surface de la chaussée (uni, adhérence)
- Niveau de risque sur la résistance mécanique de la chaussée vis à vis du trafic et des effets du climat (aspect structurel).

Difficultés à connaître la loi d'évaluation des chaussées dans le temps.

Scénarii d'entretien établis à partir de l 'analyse du comportement de 10 000 km de chaussée,

- . pour une durée de service longue (40 ans),
- . et risque faible (entretien préventif).

EXEMPLE DE SCENARIO D 'ENTRETIEN

Structure GB/GB :

dans le cadre d 'une stratégie de dimensionnement à durée de service longue (40 ans) et d'une stratégie d'entretien préventif :

- utilisation de BBTM, de la thermorégénération ou du recyclage en place,
- recharge minimum pour entretien de la structure (environ 0.5 cm/an),
soit :

| Age | Travaux |
|--------|---------------------|
| 3 ans | SF |
| 9 ans | 6BB |
| 17 ans | RS 60 % 6BB 40 % |
| 25 ans | RS 40 % 6BB 60 % |
| 33 ans | RS 60 % 6BB 40 % |
| 41 ans | RS 40 % 6BB 60 % |

EXEMPLE D'OPTIMISATION GLOBALE

Structures possibles

| | | | | |
|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 8 BB | 8 BB | 7 BB | |
| | 15 GB | 15 GB | 12 GB | |
| PF ₂ ↓ | 27 GH | 12 GRH | 12 GB | ↓ PEX |
| | 70 cm | 40 cm | 40 cm | |
| | calcaire non traité | calcaire traité | calcaire traité | |
| | | | | 25 BAC |
| | | | | 5 BB |
| | | | | 40 cm |
| | | | | calcaire traité |

Coûts

| Structures | Forme | Chaussée | Entretien | Total | Ecart |
|------------------------------|--------|----------|-----------|----------|-------|
| Structure GB/GH/PF | 255,00 | 805,00 | 170,00 | 1 230,00 | 8% |
| Structure GB/GB/PEX | 400,00 | 640,00 | 165,00 | 1 200,00 | 5% |
| Structure BAC/PEX | 370,00 | 815,00 | 135,00 | 1 320,00 | 15% |
| Structure Inverse GB/GRH/PEX | 395,00 | 580,00 | 165,00 | 1 140,00 | 0% |

Intérêt pour améliorer la couche de forme (plate-forme PF4) conduisant à économiser sur les chaussées en valorisant les matériaux locaux calcaires.