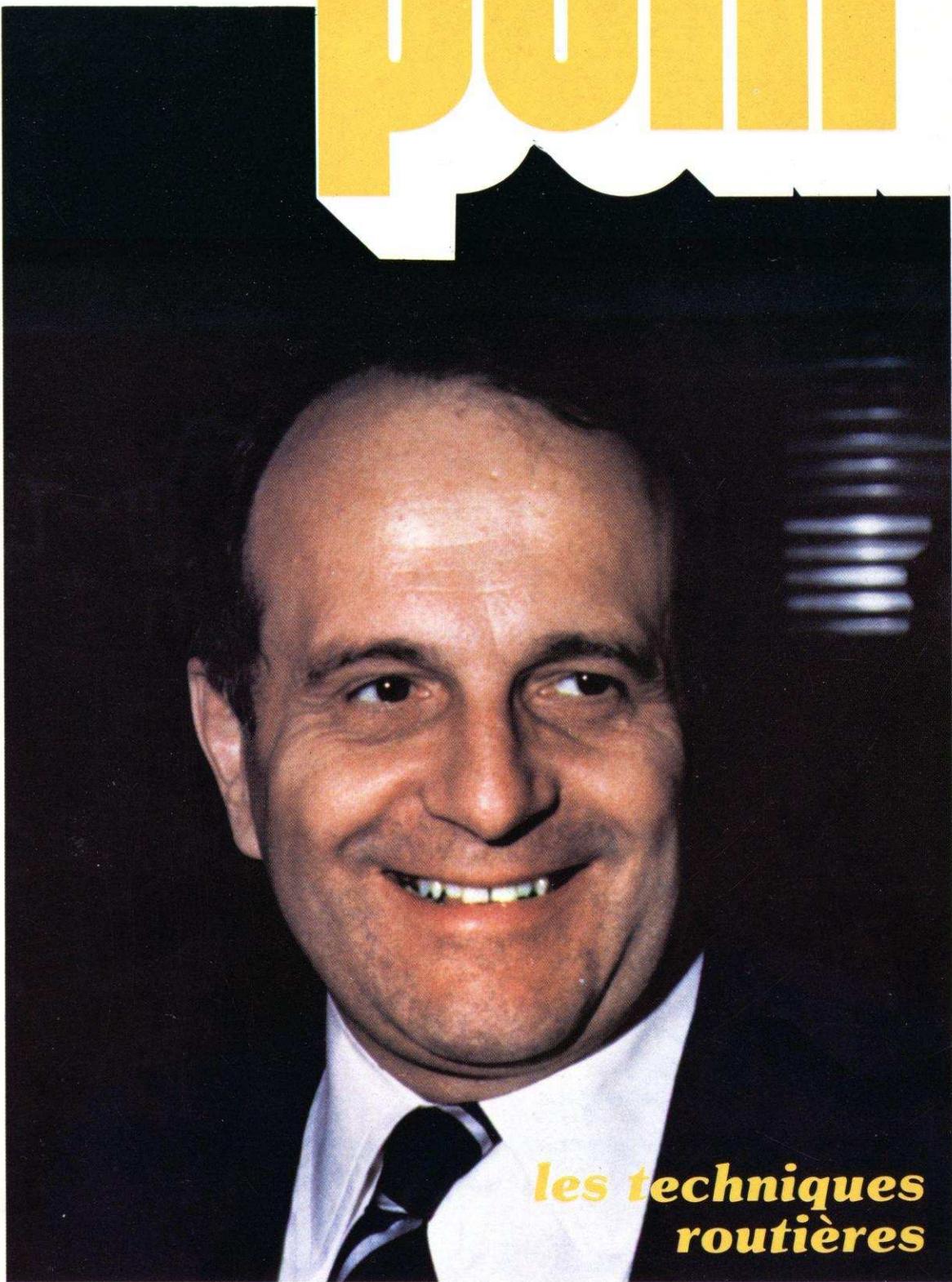


pcem



**les techniques
routières**

Propre ou usée, l'eau c'est notre métier.



Qu'il s'agisse d'une ville ou d'un village, la Société Lyonnaise des Eaux prend en main, soit totalement, soit partiellement vos problèmes d'eau.

Il faut pouvoir, en effet, transformer, distribuer, rejeter un élément que la nature nous livre. L'eau en tant que produit fini doit présenter toutes les qualités que l'utili-

sateur est en droit d'exiger. L'eau après usage doit respecter les normes qui protègent la nature de la pollution. Et ceci pour un prix modeste.

Les différentes formules de contrats mises au point par la Lyonnaise des Eaux visent à répondre aux besoins exacts de vos collectivités.

Une structure décentralisée met partout

en France des interlocuteurs responsables face aux élus locaux. Derrière eux toute la logistique de la Lyonnaise des Eaux : laboratoires, centres de calcul, bureaux d'études, etc...

Potable ou non, si vous avez un problème d'eau, n'hésitez pas à nous consulter : nos spécialistes vous feront bénéficier d'une longue expérience acquise sur le terrain.



Société Lyonnaise des Eaux

45, rue Cortambert - 75769 PARIS CEDEX 16 - Tél. : 503.21.02

3500 spécialistes de l'eau au service des collectivités.

mensuel
28, rue des Saints-Pères
Paris-7^e

Directeur de la publication :

Jacques LECLERCQ
Président de l'Association

Administrateur délégué :

Philippe AUSSOURD
Ingénieur
des Ponts et Chaussées

Rédacteur en chef :

Olivier HALPERN
Ingénieur
des Ponts et Chaussées

Rédacteur en chef adjoint :

Benoît WEYMULLER
Ingénieur
des Ponts et Chaussées

**Secrétaire générale
de rédaction :**

Brigitte LEFEBVRE DU PREY

Rédaction - Promotion

Administration :

28, rue des Saints-Pères
Paris-7^e - 260.25.33

Bulletin de l'Association des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, avec la collaboration de l'Association des Anciens Elèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées,

Abonnements :

— France 150 F.
— Etranger 150 F. (frais de port en sus)
Prix du numéro : 18 F.

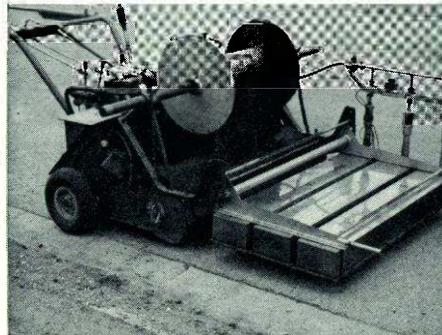
Publicité :

Responsable de la publicité :
Jean FROCHOT
Société Pyc-Editions :
254, rue de Vaugirard
75015 Paris
Tél. 532-27-19

L'Association des Ingénieurs des Ponts et Chaussées n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

Dépôt légal 4^e trimestre 1978
N° 7005
Commission Paritaire N° 55.306

IMPRIMERIE MODERNE
U.S.H.A.
Aurillac



Un miniposeur d'enduit préformé.



A. 8. Tunnel de la Beaume.

(Photo Yannick Collet)

Editorial 21

Joël LE THEULE,
Ministre des Transports

Progrès récents dans le domaine
des tunnels 23

J. PERA

Innovations dans le domaine des
matériaux de chaussées sou-
ples 29

J. BONNOT
et J.-C. CHANTEREAU

La phase pré-industrielle des en-
duits préformés 43

P BENSE

Les géotextiles 53

E. LEFLAIVE

Le système « Piste » 58

M.-P. GONIN
et G. SAUZET

L'utilisation du béton léger dans
les ouvrages d'art 65

M. VIRLOGEUX

rubrique

Mouvements 75

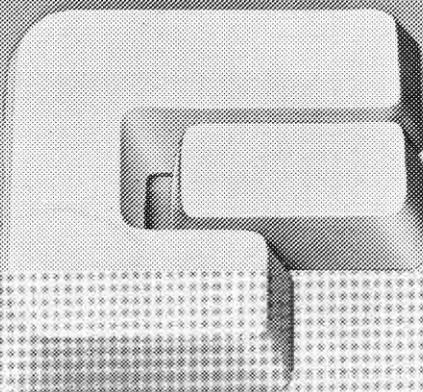
"STEPBLOC" un caillebotis SECURITE

**antidérapant
monobloc
résistant**

Demandez nos notices Z303 et Z312 à

KRIEG et ZIVY
industries

10, AVENUE DESCARTES - BOITE POSTALE 74
92350 - LE PLESSIS - ROBINSON - TEL. 630.23.83
TELEX : ZEDKA 270328 F



**SOCIÉTÉ
DES CIMENTS
FRANÇAIS**

35% du marché
national.
11 millions de tonnes/an.

17 usines • 5 centres de broyage • 13 centres de distribution • 8 agences commerciales

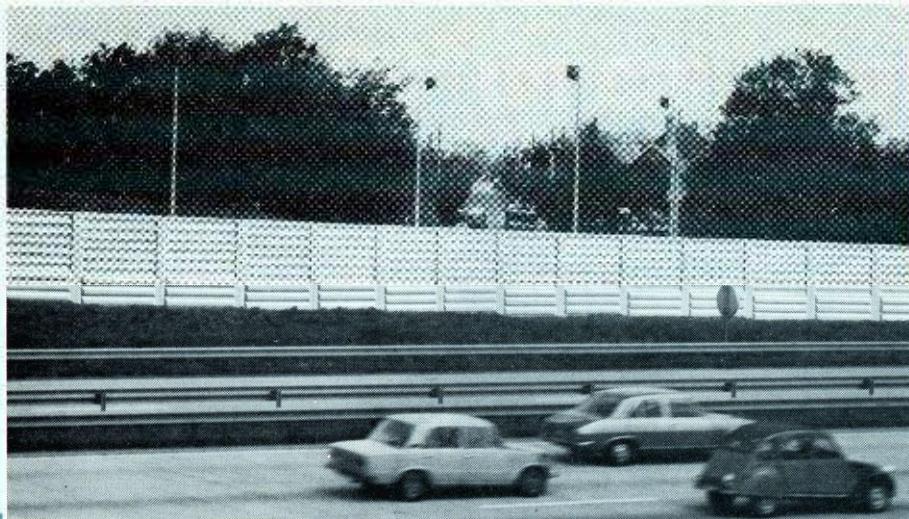


parce qu'un tandem à une bille vibrante bien conçu fait mieux pour moins cher. Les utilisateurs du VA 10 sont unanimes : c'est le matériel le mieux adapté pour résoudre économiquement les problèmes classiques de compactage et de cylindrage des chantiers de routes et de VRD. ● **Le VA 10 est performant et productif** : ses paramètres de compactage sont judicieusement choisis pour l'obtention de densités et de débits horaires élevés. ● **Le VA 10 est maniable** : son châssis a un point d'articulation non central pour ne pas se planter sur les bordures. ● **Le VA 10 est pratique** : son aménagement général est très complet. La cabine est basculante et repliable pour faciliter les opérations de service et les transports. ● **Le VA 10 est économique** : sa conception générale, tout en lui assurant un haut niveau de performance, rend son utilisation et son entretien particulièrement simples. Le VA 10, c'est la confirmation qu'un bon matériel de compactage, ce n'est pas forcément celui qui répond à une mode.

Nous connaissons bien vos chantiers,

ALBARET

60290 Rantigny Tél. (4) 473 31 55 Telex 140 050



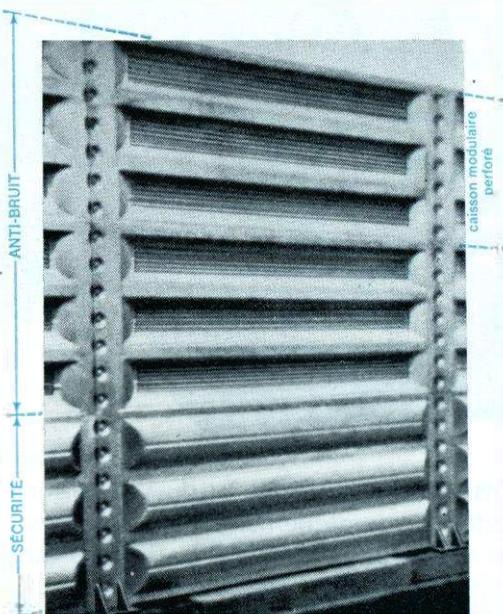
SECURIBEL

barrière-écran
double fonction

**sécurité
+ anti-bruit**



- Economie de coût
- Economie de terrain, particulièrement appréciée quand l'emprise disponible est restreinte: zone urbaine, viaduc, remblai, etc.
- Un caisson inférieur sécurité, surmonté de deux caissons anti-bruit, en acier galvanisé, revêtu éventuellement de peinture de toutes teintes, dans toutes dispositions.



● écran anti-bruit

Les résultats des essais effectués par le CSTB sont:

- l'indice d'affaiblissement acoustique pour un bruit routier normalisé est $R = 29$ dB (A),
- le coefficient α Sabine du matériau pour les basses fréquences varie de 0,45 à 0,7.

● barrière de sécurité

Lors des essais dynamiques à l'ONSER (Lyon), la barrière-écran SECURIBEL a résisté au choc d'un véhicule de 12 t lancé à 87 km/h sous un angle de 20°.

Demandez notre documentation SECURIBEL.

ARBEL
INDUSTRIE

PAU-MARITIME 593

194, boulevard Faidherbe, 59506 DOUAI (France)
Tél. Douai (20) 88.33.11. Téléx Indarbel-Douai 130036



Chantiers Modernes

ont participé
et participent à

A1 - A4 - A8

A9 - A13 - A37

A48 - A61

A62 - A63

ACOBA

APEL

B47 - B63

GIEA

Périphérique PARIS

Rocade BORDEAUX

SOREA

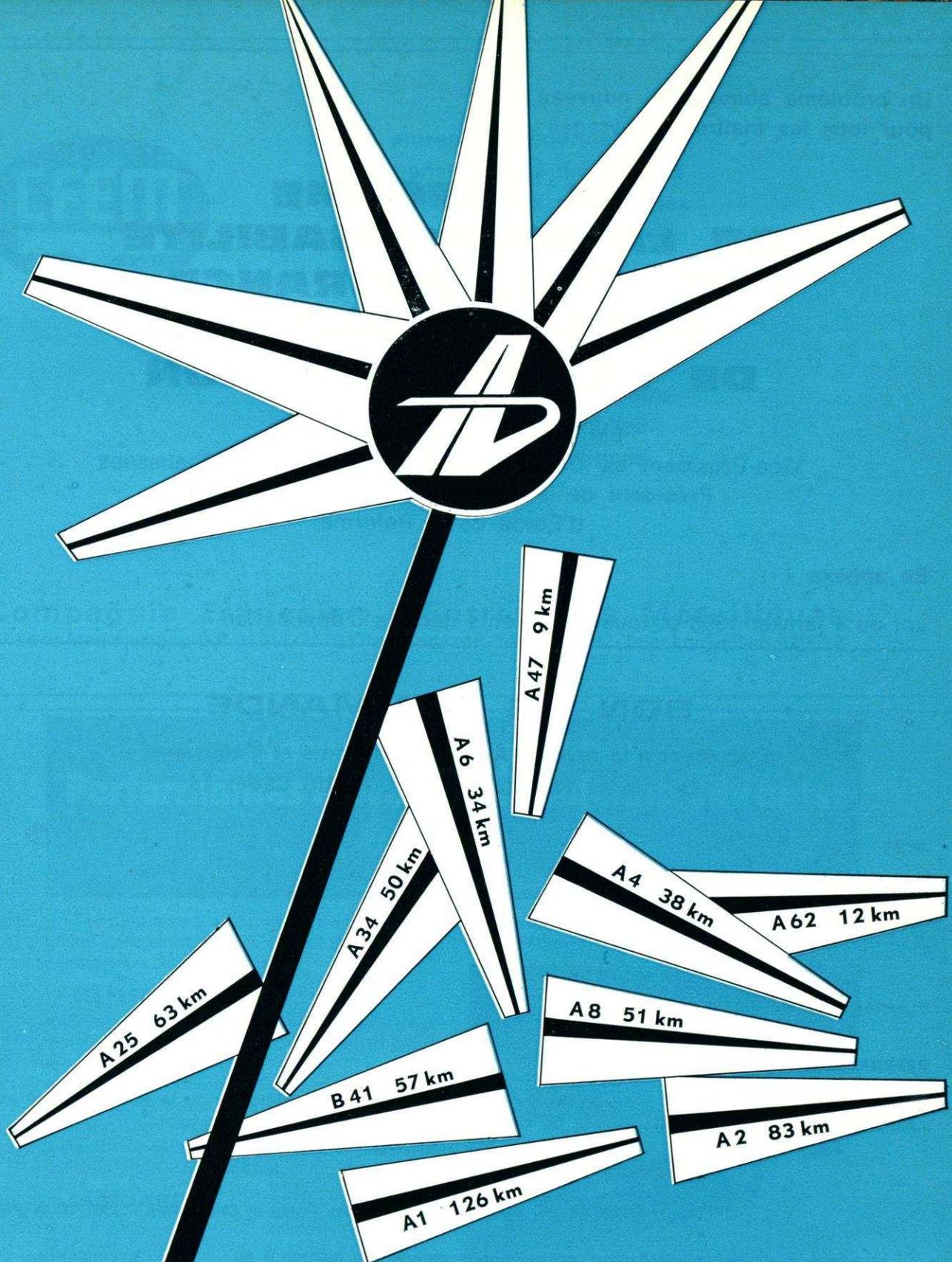
au total
plus de 500 km
d'autoroutes

S.A. au Capital de 30 000 000 F

88, rue de Villiers

92532 Levallois-Perret - Cédex

Tél. 757.31.40



PAUL-MARTIAL

BEUGNET GRANDS TRAVAUX

le fer de lance de l'entreprise

53 BD FAIDHERBE, B. P. 218, 62003 ARRAS CEDEX. TÉL. (21) 21.56.17. TELEX 110618

Un problème absolument nouveau
pour tous les maîtres d'ouvrages :

LA RÉFORME DE LA RESPONSABILITÉ ET DE L'ASSURANCE DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION

par Adrien SPINETTA I.G.P.C.
Vice-Président du Conseil Général des Ponts et Chaussées
Président de la Commission Interministérielle
d'Etude de la Réforme

En annexe :

Loi du 4 janvier 1978 et tous les récents décrets d'application

BON DE COMMANDE

à adresser à la revue « Annales des Ponts et Chaussées »
254, rue de Vaugirard - 75740 PARIS Cédex 15

NOM

ADRESSE

.....

Pour les Sociétés ou Administrations :

REFERENCES OU SERVICE

☛ Veuillez nous adresser exemplaires du numéro spécial sur la Réforme de la Responsabilité et de l'Assurance dans la Construction au prix de 44 F l'exemplaire que nous réglons ci-joint.

- par chèque bancaire
- par virement postal au CCP « Annales des Ponts et Chaussées » 2361700 W PARIS
- veuillez nous adresser une facture (ou mémoire) en exemplaires
(Dans ce cas, prière d'ajouter 12 F à votre règlement pour frais d'établissement)

Date Signature ou Cachet



- entreprise générale
- constructions métalliques
- constructions mécaniques
- constructions nucléaires
- constructions off-shore
- aéroréfrigérants
- menuiserie métallique
- façades-murs-rideaux
- chaudronnerie-réservoirs
- ponts fixes et mobiles
- ouvrages hydrauliques

Compagnie Française d'Entreprises Métalliques

57, bd de Montmorency - B.P. 31816 - 75781 Paris Cedex 16 - Tél. 524 46 92 - Telex Lonfer Paris 620512

CFEM

Sécurité de l'opérateur Performances élevées des rouleaux vibrants :



Seuls les rouleaux vibrants CEL allient de très hautes performances à une sécurité maximum due aux systèmes d'arrêt d'urgence.

Ces systèmes sont adaptables au choix sur les rouleaux CEL déjà en service.

LES PERFORMANCES

- Vitesse d'avancement totalement progressive en marche avant comme en marche arrière : choix de la vitesse idéale.
- Fréquence de vibrations élevée, de 75 Hz : compactage plus efficace et cadence de travail accrue.
- Transmission hydrostatique très souple : excellente qualité de compactage, entretien limité d'un coût très faible et freinage automatique.

LA SÉCURITÉ

- Les rouleaux vibrants CEL comportent un dispositif d'arrêt d'urgence monté de série. Par ce dispositif, le rouleau se bloque instantanément sous une légère pression en bout du timon ou bien dès que l'opérateur lache la poignée.
- En variante est monté le système d'arrêt de sécurité lorsque le dispositif ci-dessus, dit "de l'homme mort" n'est pas exigé.



**NEWMAN
INDUSTRIES**



15, rue du Colonel-Driant, 75001 Paris
Tél. : (1) 261.37.52 et (1) 261.37.62.

Entreprise **GAGNERAUD** Père et Fils

S.A. au Capital de 30 000 000 F

Fondée en 1886

7 et 9, rue Auguste-Maquet, **PARIS (16^e)**

Tél. : 288.07.76 et la suite

TRAVAUX PUBLICS - TERRASSEMENTS - BÉTON ARME
BATIMENT - CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES - VIABILITE
ASSAINISSEMENT - TRAVAUX SOUTERRAINS - CARRIÈRES
BALLAST - PRODUITS ROUTIERS - ROUTES - ENROBÉS

PARIS (Seine)

MARSEILLE, FOS - SUR - MER (Bouches - du - Rhône)

VALENCIENNES, DENAIN, MAUBEUGE, DUNKERQUE (Nord)

LE HAVRE (Seine - Maritime) - **MANTES** (Yvelines)

LIANTS TRADITIONNELS MAIS AUSSI FORMULES NOUVELLES

CdF Chimie vous propose :

● **BITUME GOUDRON H.P. 60-40**

- **GOUDRONS ROUTIERS**
toutes spécifications
- **BRAIS GRAS POUR ROUTES**
(formules sur demande)
- **HUILES DE FLUXAGE**
pour goudrons et bitumes
- **BRAIS SPECIAUX
RESINES EPOXIDES-LOPOX®**

- **SUL-H®**
émulsion antikérosène
- **LIANT 281 BITUME - BRAI**
liant mixte pour
enrobés denses
résistance au désenrobage
bon compactage
en arrière-saison
- **STAVOJET® - K :**
PENETRATION 80/100
goudron antikérosène
pour pistes d'aérodrome,
parkings, gares routières, etc.

® marque déposée

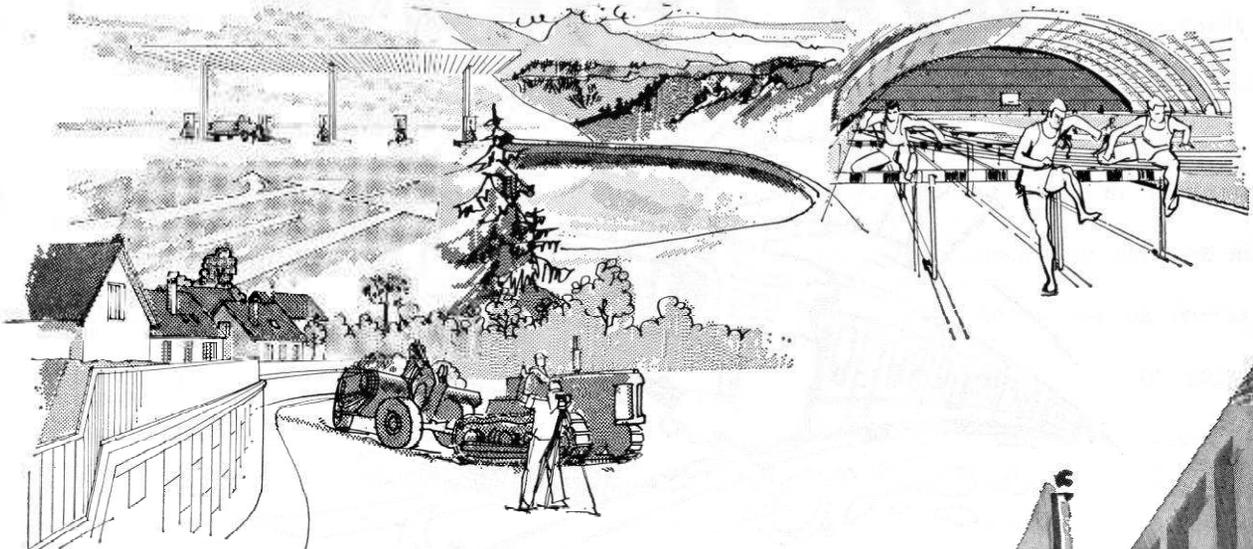
 **CdF Chimie**

tour aurore · cedex n° 5
92080 paris la défense · france
tél. : 788.33.11 + · télex : CDFCH 610826 F

dic:publicite



COLAS, sols sur mesure



La Route est notre domaine :
terrassements, drainages, chaussées, revêtements.
La Ville l'est aussi :
parkings, terrains de sports, cours d'écoles, sols industriels, V.R.D...
Nous construirons le sol de votre choix
sur la structure adaptée à votre terrain.

Quelle que soit l'importance de votre chantier,
vous bénéficierez de nos techniques de pointe,
de notre goût du travail bien fait,
de notre respect des engagements de temps et de prix.

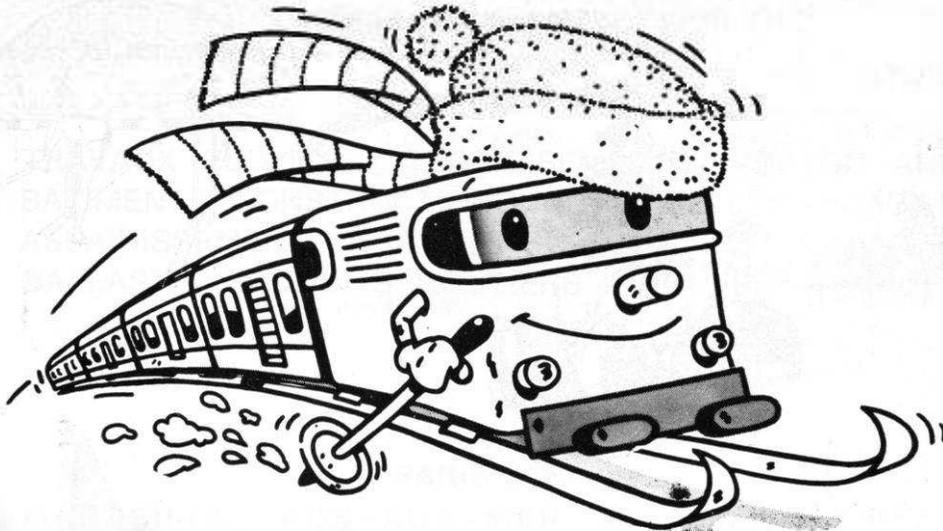
Et ce, dans toute la France,
grâce aux Directions Départementales Colas.



sur vos chantiers, toute l'expérience et le sérieux
d'une entreprise de taille mondiale

SOCIÉTÉ ROUTIÈRE COLAS 39 rue du Colisée 75008 Paris Tél. 261 52 60

LA NEIGE, TOUT SCHUSS AVEC LE TRAIN.



Une bonne précaution : réservez vos places à l'avance.

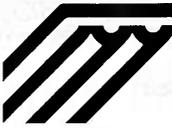
SNCF

REDECOUVREZ LE TRAIN.

Yves Le Gal (art) - 267 / 78 V



1

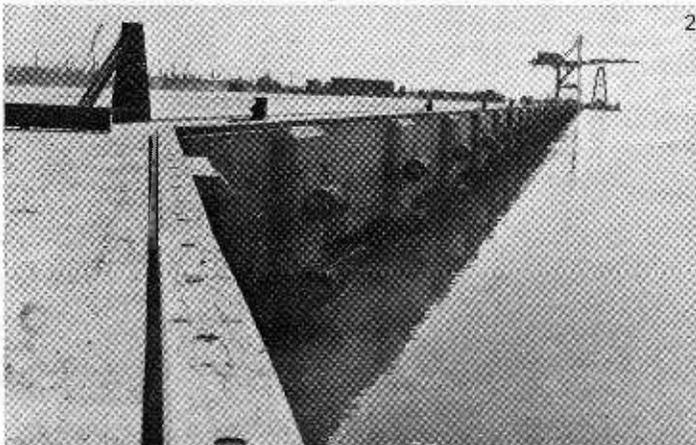
 **dumez**

345, Av. Georges Clémenceau 92000 Nanterre - Tél: 776 42 43

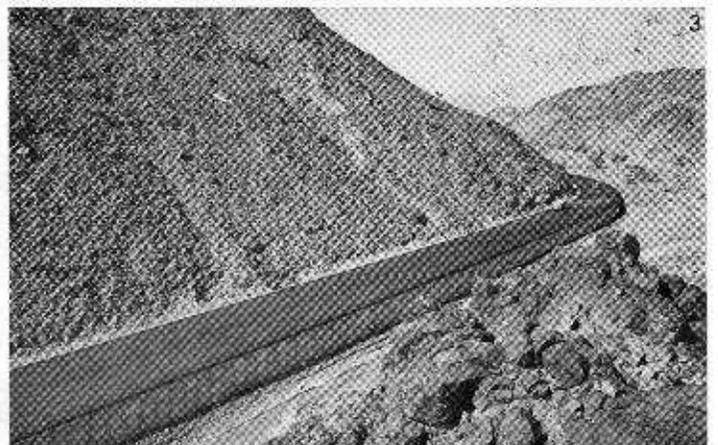
1 - Port de Jizan (Arabie Saoudite)
2900 m. de jetée en "Caisson Jarlan"

2 - Port de Bandar Shahpour (Iran)
2000 m. de quai

3 - Route de Bid-Bid-Sur 260 Km. (Oman)



2



3

RECHERCHE ROUTIÈRE A L'OCDE

PUBLICATIONS destinées aux administrateurs et scientifiques intéressés par les transports routiers et préparées par le Comité de Direction pour la recherche routière dont font partie vingt-trois pays Membres de l'OCDE.

Construction et entretien routier

TECHNIQUES D'ENTRETIEN DES REVETEMENTS. Evaluation, choix du traitement, programmation et exécution des travaux (novembre 1978) 240 pages, F 44,00

CATALOGUE DES DEGRADATIONS DE SURFACE DES CHAUSSEES (novembre 1978) 64 pages, bilingue (anglais-français), F 26,00

UTILISATION DES DECHETS ET SOUS-PRODUITS EN TECHNIQUE ROUTIERE (janvier 1978) 174 pages, F 30,00

NORMES GEOMETRIQUES ROUTIERES (mai 1977) 236 pages, F 32,00

RENFORCEMENT DES CHAUSSEES (septembre 1976) 168 pages, F 26,00

SURVEILLANCE DES OUVRAGES D'ART (septembre 1976) 142 pages, F 24,00

RESISTANCE A LA DEFORMATION PLASTIQUE DES CHAUSSEES SOUPLES (juillet 1975) 126 pages, F 18,00

MARQUAGE ET BALISAGE DES ROUTES (juin 1975) 156 pages, F 26,00

ACTION DU GEL SUR LES CHAUSSEES (décembre 1974) 238 pages, F 26,00

EAU DANS LES CHAUSSEES : METHODES DE DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU ET DE LA TENSION INTERSTITIELLE DES SOLS (janvier 1974) 68 pages, F 14,00

ENTRETIEN DES ROUTES EN RASE CAMPAGNE (octobre 1973) 182 pages, F 14,00

EAU DANS LES CHAUSSEES, PREVISION DE L'HUMIDITE DES SOLS SOUS LES CHAUSSEES (août 1973) 84 pages, F 8,00

OPTIMISATION DU TRACE DES ROUTES PAR ORDINATEUR (août 1973) 122 pages, F 11,00

SYMPOSIUM SUR LE CONTROLE DE LA QUALITE DES OUVRAGES ROUTIERS (septembre 1972) 252 pages, F 18,00

ETANCHEITE DES TABLIERS DE PONT EN BETON (juillet 1972) 94 pages, F 11,00

METHODES ACCELEREES DE PREVISION DE LA DUREE DE VIE DES CHAUSSEES (juin 1972) 44 pages, F 6,00

DEGATS HIVERNAUX CAUSES AUX CHAUSSEES (mai 1972) 96 pages, F 10,00

CORROSION DES VEHICULES AUTOMOBILES ET INFLUENCE DES FONDANTS CHIMIQUES (avril 1970) 68 pages, F 8,00

RECHERCHE SUR LES GLISSIERES DE SECURITE (février 1969) 70 pages, F 5,00

Sécurité routière

POINTS DANGEREUX : IDENTIFICATION ET ELIMINATION (octobre 1976) 128 pages, F 20,00

INTEMPERIES, VISIBILITE RESTREINTE ET SECURITE ROUTIERE (octobre 1976) 106 pages, F 20,00

LUMIERE POLARISEE POUR PROJECTEURS DE VEHICULES (juin 1976) 112 pages, F 24,00

MANUEL SUR LES CAMPAGNES DE SECURITE ROUTIERE (novembre 1975) 52 pages, F 12,00

OBSTACLES LATERAUX : Leurs effets sur la fréquence et la gravité des accidents ; mise au point et évaluation des mesures de prévention (novembre 1975) 132 pages, F 20,00

MARQUAGE ET BALISAGE DES ROUTES (juin 1975) 158 pages, F 26,00

REGLES EUROPEENNES EN MATIERE DE CIRCULATION ET DE SIGNALISATION ROUTIERES (juin 1974) 180 pages, F 16,00

RECHERCHES SUR L'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION EN MATIERE DE CIRCULATION (mai 1974) 120 pages, F 20,00

LIMITATION DE VITESSE EN DEHORS DES ZONES HABITEES (octobre 1972) 84 pages, F 12,00

RECHERCHE SUR LA SECURITE DES INTERSECTIONS EN ZONE URBAINE (novembre 1971) 60 pages, F 8,00

ECLAIRAGE, VISIBILITE ET ACCIDENTS (avril 1971) 122 pages, F 14,00

Circulation routière

RECHERCHES SUR LA REGULATION DES CORRIDORS DE CIRCULATION (décembre 1975) 110 pages, F 18,00

LES ROUTES ET L'ENVIRONNEMENT URBAIN (octobre 1975) 204 pages, F 28,00

CAPACITE DES CARREFOURS PLANS (mars 1975) 174 pages, F 24,00

EFFETS DE LA CIRCULATION ET DES ROUTES SUR L'ENVIRONNEMENT DANS LES ZONES HABITEES (août 1973) 106 pages, F 11,00

TECHNIQUES D'EXPLOITATION DES ROUTES DE CAPACITE TEMPORAIREMENT REDUITE (mars 1973) 116 pages, F 13,00

ROUTES A DEUX VOIES EN RASE CAMPAGNE. Caractéristiques routières, écoulement de la circulation (août 1972) 156 pages, F 13,00

L'AIDE ELECTRONIQUE POUR L'EXPLOITATION DES AUTOROUTES (avril 1971) 68 pages, F 14,00

* Les nouvelles publications sont annoncées dans les « Vient de paraître » suppléments au CATALOGUE DES PUBLICATIONS DE L'OCDE. Envoi gratuit sur demande.

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES

(DEPT APC) — 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16

Un grand spécialiste des terrassements

55 000 CV
7 000 000 m³/an



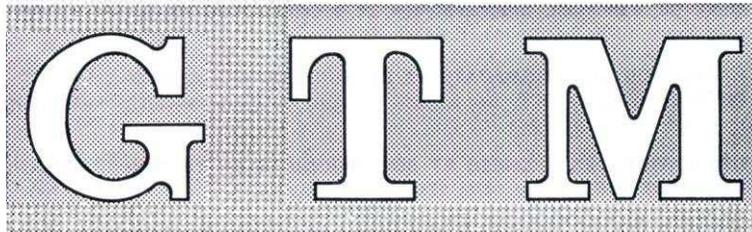
Entreprise Valerian

**TERRASSEMENTS
TRAVAUX PUBLICS**

S.A. au Capital de 4 050 000 F.
B.P. 12
84350 COURTHÉZON
Tél. 70.72.61 - Télex 432582

Entreprises de bâtiment et travaux publics
Engineering
Coordination pilotage
Missions de contractant principal
Promotion

Groupe



Société des Grands Travaux de Marseille

61, avenue Jules-Quentin — NANTERRE (Hauts-de-Seine)
Tél. : (1) 725.94.40
Télex : GTMNT 611 306 — Télécopieur

**ETUDES GENIE CIVIL
ET COORDINATION**

E. G. C. E. C.

Bureaux : 285, avenue du Prado
13008 MARSEILLE - Tél. 79.11.66 (2 lig.)
Télex : 401 518 E.G.C.E.C.T.P.

**ETUDES - CONSEILS
— EXPERTISES —**

TIRS DE MINES

- en carrière
- en galerie

TIRS SPECIAUX

- sous-marins
- en zones urbaines
- démolition d'ouvrages

DEPOTS

- D'EXPLOSIFS
- autorisations
 - installations

ENREGISTREMENTS SISMOGRAPHIQUES

TRAVAUX

- TRAVAUX SOUTERRAINS
- MINAGES A L'AIR LIBRE
- DEMOLITIONS - TERRASSEMENTS
- FORAGES - INJECTIONS
- ENTRETIEN DE CANAUX
- OUVRAGES EN BETON ARME

ENTREPRISE

BOURDIN & CHAUSSE

S.A. au Capital de 21 000 000 F

NANTES :

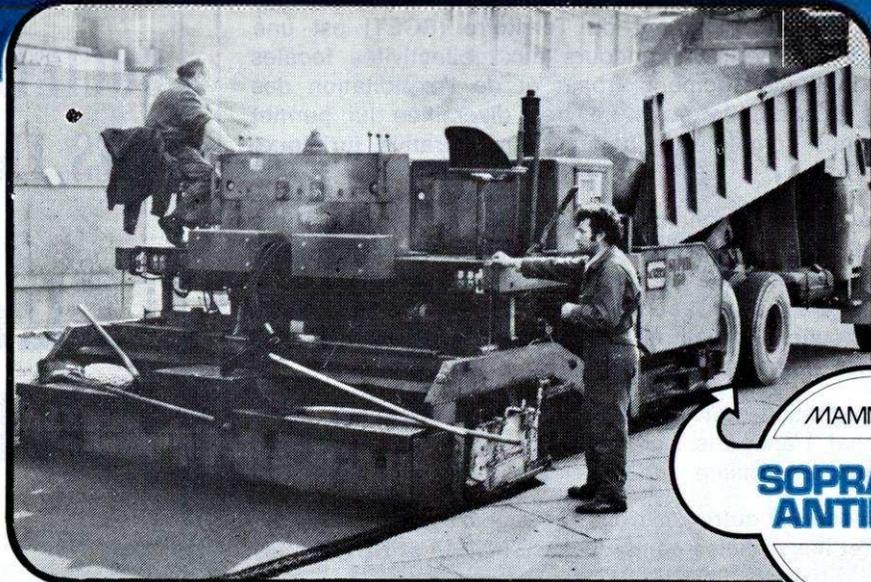
Rue de l'Ouche-Buron - Tél. : 49.26.08

PARIS :

36, rue de l'Ancienne Mairie
92 - BOULOGNE-BILLANCOURT - Tél. : 604 13-52

**TERRASSEMENTS
ROUTES
ASSAINISSEMENT
RÉSEAUX EAU et GAZ
GÉNIE CIVIL
SOLS SPORTIFS**

Etanchéité pour ponts, viaducs, parkings...



MAMMOUTH
**SOPRALENE®
ANTIROCK**

ETANCHEITÉ

A base de polyester non tissé 350 g/m² + bitume élastomère.
Directement sous enrobé bitumineux.



Fabrication

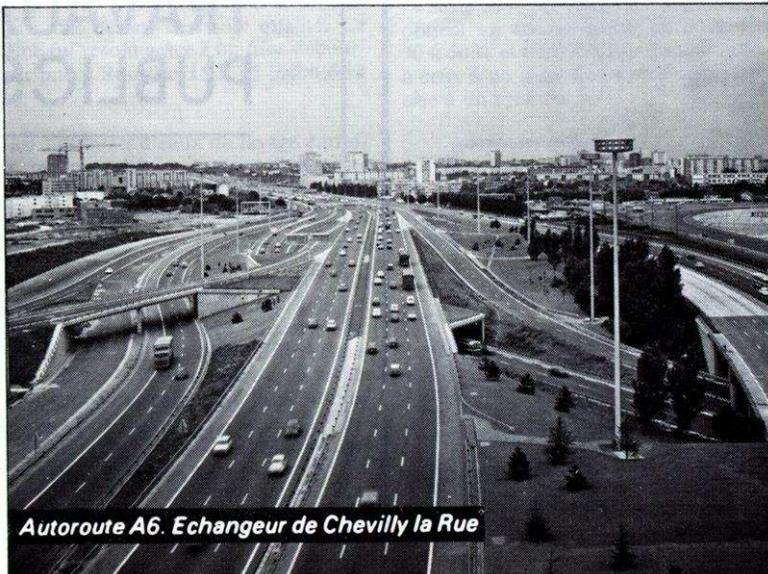
SOPREMA

B.P. 121 - 67025 Strasbourg Cédex - Tél. (88) 39.99.45 - Télex 890307 F

CHS
Soudakret
Strasbourg
R.P.C



équipe la route



Autoroute A6. Echangeur de Chevilly la Rue

- ECLAIRAGE DES ROUTES ET AUTOROUTES
- EQUIPEMENT COMPLET DE GARES DE PEAGE
- BALISAGE, SIGNALISATION VERTICALE
- RESEAUX TELEPHONIQUES DE SECOURS
- GLISSIERES DE SECURITE

TRINDEL

44, RUE DE LISBONNE
75383 PARIS CEDEX 08
☎ (1) 563.19.09

SOCIÉTÉ CENTRALE POUR L'ÉQUIPEMENT DU TERRITOIRE

La Société Centrale pour l'Équipement du Territoire (SCET) est une société de services qui prêle son concours aux collectivités locales dans les domaines de l'aménagement urbain et de l'exploitation des services et ouvrages publics. Sa structure très diversifiée lui permet d'apporter une assistance complète (technique, administrative, juridique, financière...

- à plus de 65 sociétés d'économie mixte d'équipement, maîtres d'ouvrages d'opérations d'aménagement urbain et industriel, qui équipent des terrains destinés à la construction de logements ou à l'implantation d'industries et où sont prévus tous les équipements collectifs, et en particulier les centres commerciaux, nécessaires à la vie sociale des zones d'habitation et des centres villes.
- à 50 sociétés d'exploitation spécialisées dans divers domaines (marchés d'intérêt national, transports, autoroutes, parcs de stationnement, déchets, informatique, urbanisme, etc.).

La SCET dispose en outre de trois bureaux d'études :
BETURE, SEREQUIP (et leurs filiales communes BETEREM et BETERALP)
et **SCETAURROUTE**

SCET

4, place Raoul-Dautry
75741 PARIS CEDEX 15 - Tél. : 538 52-53



JEAN LEFEBVRE

TRAVAUX ROUTIERS • TRAVAUX PUBLICS
TERRASSEMENT • ASSAINISSEMENT • VIABILITE
ENROBAGE DE TOUS MATERIAUX
BETONS BITUMINEUX • TERRAINS DE SPORTS
SOLS INDUSTRIELS : PROCEDE SALVIACIM

S.A. AU CAPITAL DE 36 135 000 F • 11, BD JEAN-MERMOZ
92202 NEUILLY-SUR-SEINE • TEL. 747.54.00

SOCIÉTÉ ANONYME DES ENTREPRISES

Léon BALLOT

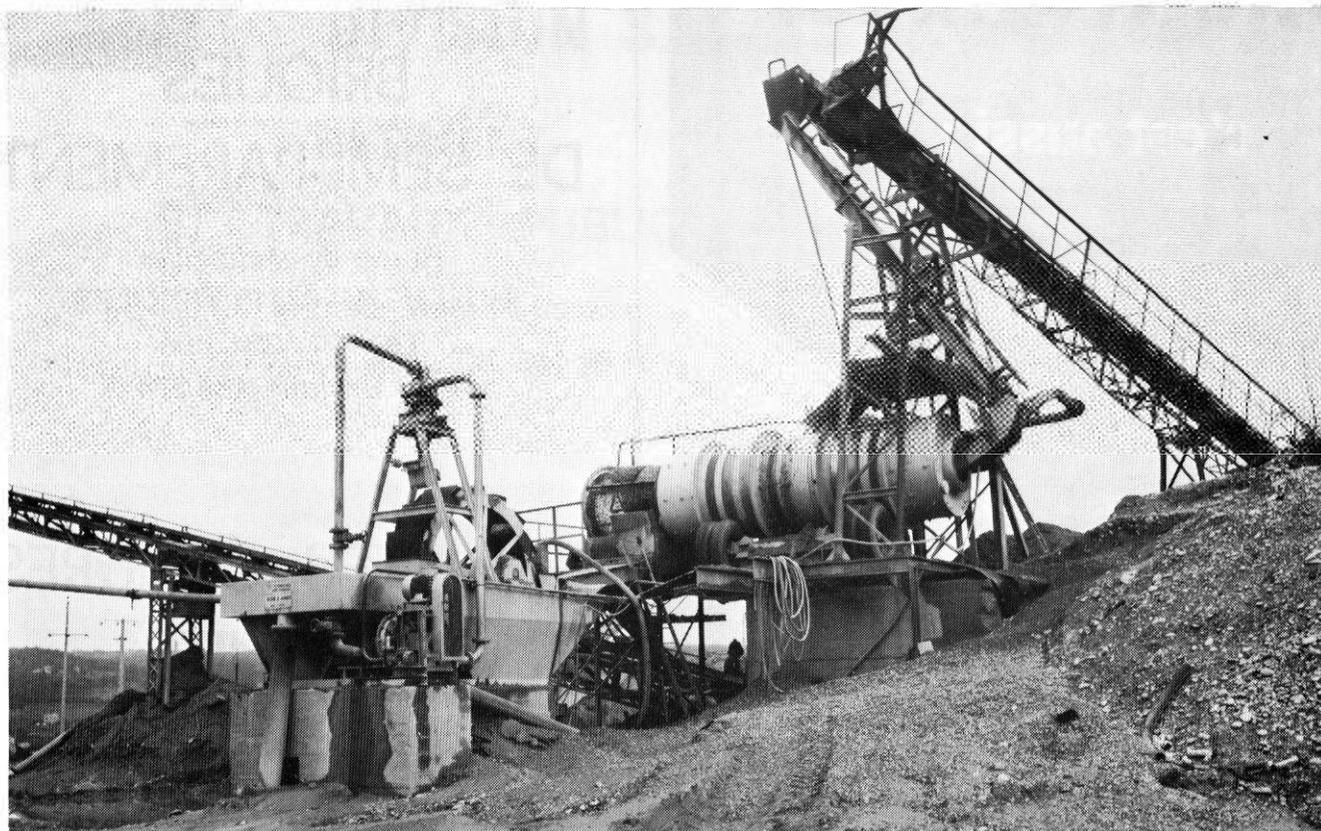
au Capital de 25 500 000 F

TRAVAUX PUBLICS

155, boulevard Hausmann,
75008 PARIS

comment rentabiliser votre carrière

la récupération des éléments fins



Fin 1976, Monsieur Collomb, directeur technique de la Société Monin Malavaux, et Monsieur Laurent, chef d'exploitation, eurent à résoudre, à la carrière de Millery, un problème de lavage d'agrégats destinés à fabriquer des bétons de haute qualité. Ce problème fut résolu grâce à un tube débourbeur sur pneus Roloflux 15 X 45 (débit 60 à 80 t/h).

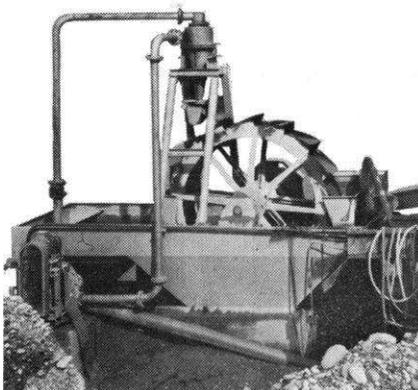
Mais les 120 m³/h d'eaux de lavage entraînaient une quantité importante d'éléments fins constituant un sable d'excellente qualité. Récupéré, ce sable pouvait se vendre à un bon prix.

Neyrtec proposa une "roue-cyclone" RA 250 C 350 à Monsieur Collomb. Elle est composée d'une roue à aubes (recevant les eaux de lavage à la sortie du Roloflux) capable de récupérer la majeure partie des sables et d'un cyclone qui parachève l'opération.

La disposition particulière du cyclone (qui reprend directement les eaux de surverse et restitue les produits au-dessus de la roue) présente au moins deux avantages :

● Le rendement est amélioré :

La séparation extrêmement précise à une finesse de 70 microns permet de récupérer le maximum d'éléments utilisables et élimine radicalement les éléments indésirables. On obtient un accroissement du rendement de 30 à 50 % et un travail de qualité supérieure à ceux d'un dispositif à roue classique associée à un cyclone.



● L'investissement est limité :

L'économie est double puisqu'elle se réalise au niveau du coût d'achat et du coût d'installation. La roue-cyclone forme un ensemble extrêmement compact et facile à mettre en place. Il suffit de le poser sur une plateforme horizontale et de le brancher.

Depuis plus d'un an, l'entreprise Monin Malavaux récupère le maximum d'éléments fins et de produit pour la fabrication de béton de haute qualité.

 **NEYRTEC**
ETABLISSEMENT DE GRENOBLE DE
ALSTHOM-ATLANTIQUE

☒ 61 X 38041 Grenoble Cedex France
Tél. (76) 98.81.98 Télex 320547 F

® NEYRTEC est la nouvelle dénomination des Groupes Industrie et Techniques des Fluides de l'ancienne Division NEYRPIIC d'Alsthom Atlantique

c'est sur le terrain qu'on juge un spécialiste des carrières

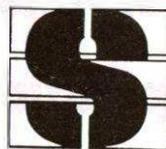
BAUDIN- CHATEAUNEUF

c'est aussi :

- visites détaillées
- réparation
- restauration
- transformation

de tous ponts
et passerelles
(métalliques
et béton)

45110 CHATEAUNEUF-SUR-LOIRE
B.P. N°19 - TÉLÉPHONE (38) 89.43.09



surschiste

BRIQUES DE SEMI-PAREMENT

Route de Vermelles
HULLUCH - 62410 WINGLES
Tél. (21) 29.51.66
Télex Brihona 130 274 F

SCHISTES CENDRES PRODUITS EN BÉTON MOULÉ

2, Route de La Bassée
62303 LENS Cédex
B.P. 149 — Tél. (21) 79.35.72



surex

GRANULATS LÉGERS DE SCHISTE EXPANSÉ

Usine et Services Commerciaux
62740 FOUQUIERES-LES-LENS
Tél. (21) 28.62.60

SB

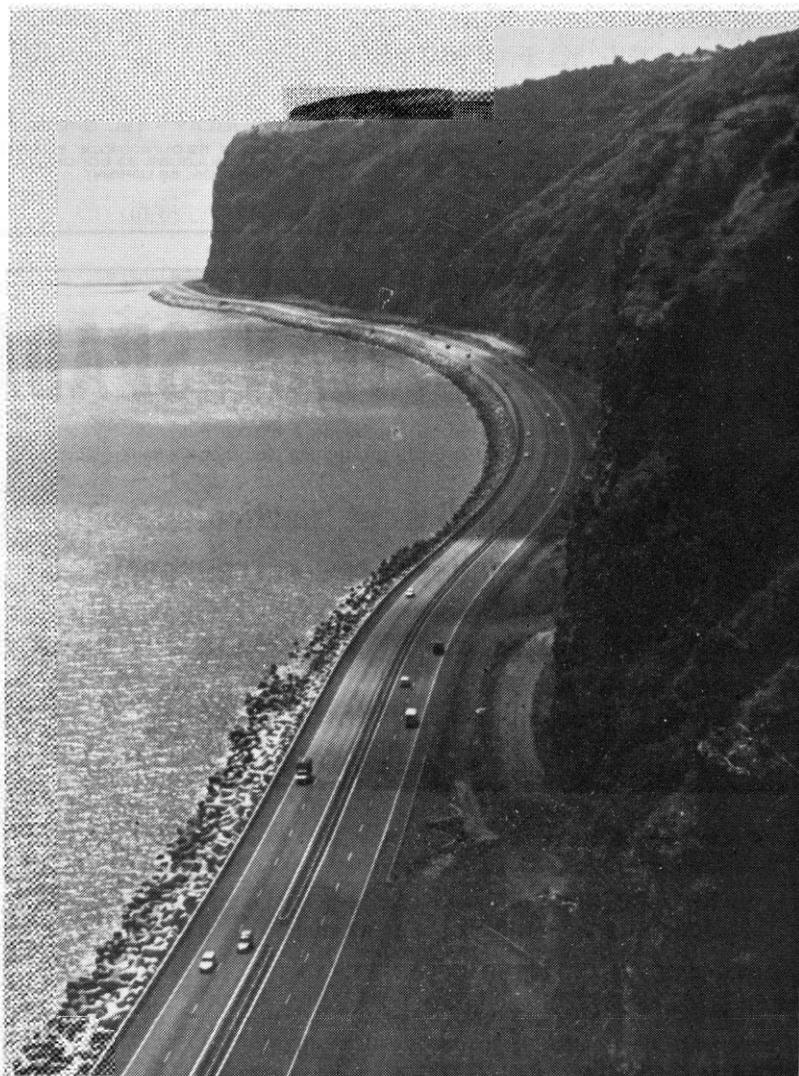
SPIE BATIGNOLLES

DIVISION S.B.T.P.

BATIMENT

ET TRAVAUX PUBLICS

13, avenue Morane-Saulnier
78140 VELIZY - Tél. 946.96.95

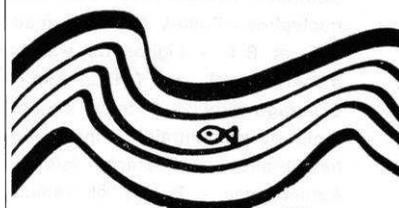
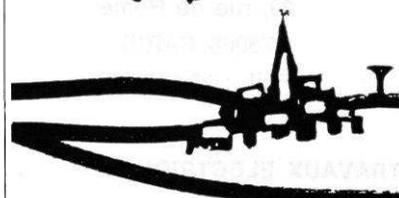
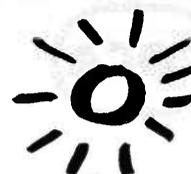


LA ROUTE DU LITTORAL — LA REUNION

la qualité de la Vie

SAUR

s'en préoccupe
depuis plus
de 40 ans



études,
construction,
exploitation
de services publics,
de distribution
d'eau potable,
d'irrigation,
d'assainissement,
de collecte
et de traitement
des ordures ménagères

SAUR

**SOCIETE D'AMENAGEMENT
URBAIN ET RURAL**

Siège Social :
50/56, rue de la Procession
75015 PARIS
Tél : 539 22 60
Télex : 640 989 F.

15
Directions Régionales en France

Filiales :
SODEN (Nîmes) · SAUR/AFRIQUE
SODECI (Abidjan)

L'Entreprise Industrielle



Conduites et Canalisations



29, rue de Rome
75008 PARIS
Tél. : 296.16.60

TRAVAUX ELECTRIQUES

Centrales hydrauliques, thermiques, nucléaires - Postes de transformation H.T. et B.T. - Lignes de transport d'énergie H.T. et T.H.T., rurale - Eclairage public - Poteaux en béton armé et précontraint - Installations Industrielles - Courants faibles - Automatismes - Postes et Télécommunications - Usine de fabrication de tableaux électriques.

GENIE CIVIL

Aménagements hydro-électriques - Ouvrages d'Art - Souterrains - Aéroports - Autoroutes - Canalisations.

BATIMENT

Bâtiments industriels, publics, privés - Parkings - Groupes scolaires - Piscines.

CONDUITES ET CANALISATIONS

Adduction et distribution eau - Assainissement - Feeders et distribution gaz - Pipes-Lines - Stations de pompage et d'épuration.

BUREAUX D'ETUDES

CITRA-FRANCE

**AUTOROUTES
PONTES - OUVRAGES D'ART
TRAVAUX SOUTERRAINS
BARRAGES
TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES
BATIMENT**

13, AV. MORANE-SAULNIER - 78140 VELIZY-VILLACOUBLAY - TEL. 946.96.95
DIRECTIONS REGIONALES ET AGENCES : PARIS, 60 COMPIEGNE, 51 REIMS, 59 DUNKERQUE, 57 METZ, 67 BRUMATH, 69 LYON, 84 AVIGNON, 13 MARSEILLE, 34 BEZIERS, 31 TOULOUSE, 33 BORDEAUX, 17 LA ROCHELLE, 37 TOURS, 72 LE MANS, 49 ANGERS, 35 REDON, 56 LORIENT

ENTREPRISE JEAN SPADA

Société Anonyme au capital de 8 400 000 F
régie par les articles 118 à 150 de la loi sur les Sociétés Commerciales

**Travaux publics et particuliers
Carrières - Ballastières - Transports**

L'ENTREPRISE JEAN SPADA a participé aux travaux :

- **de l'Autoroute A 8**
sections Brignoles - Le Cannet des Maures, Fréjus - Antibes
Roquebrune-Cap-Martin - Italie
Villeneuve - Louhet - Nice Ouest
Nice Est - La Turbie
- **de l'Autoroute A 36**
section Belfort - Montbéliard
- **de l'Autoroute B 9**
section Perpignan Nord - Le Perthus

et participe aux travaux :

- **de l'Autoroute A 8**
section La Turbie - Roquebrune Cap Martin
- **de l'Autoroute A 61**
section Villefranche-Bram



Compagnie Bancaire

UN GROUPE DE SPECIALISTES AU SERVICE
DE L'ENTREPRISE ET DU PARTICULIER

Crédit et crédit bail pour le matériel d'équipement professionnel **UFB - LOCABAIL.**

Crédit pour l'équipement des particuliers **CETELEM.**

Crédit pour l'automobile **COFICA.**

Prêt immobilier aux particuliers et crédit aux promoteurs **UCB.**

Prêt immobilier à long terme **CFEC.**

Crédit bail et location d'immeubles à usage industriel et commercial **LOCABAIL IMMOBILIER.**

Financement et réalisation de programmes immobiliers **SINVIM.**

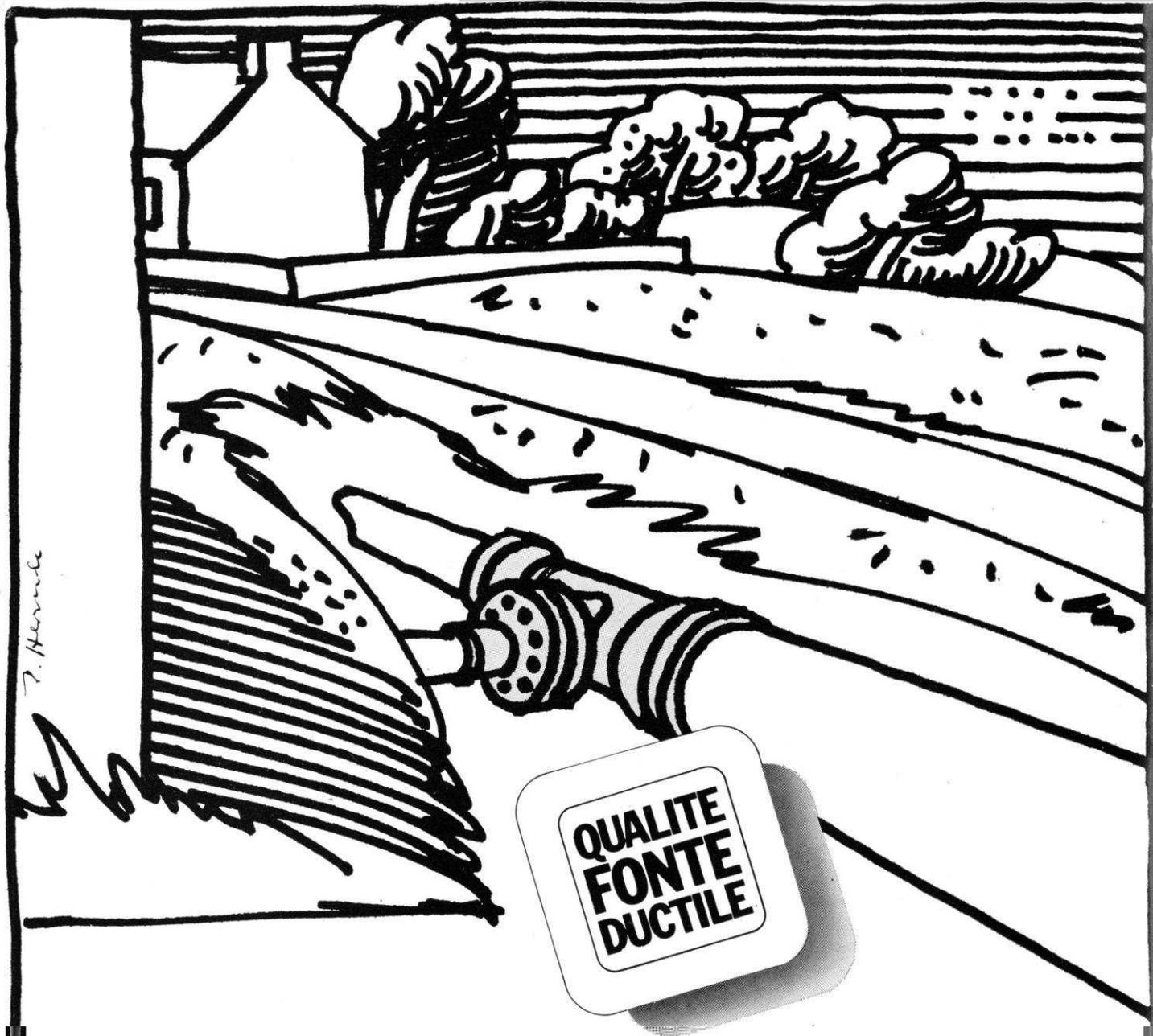
Toutes informations sur les logements neufs disponibles à la vente **INFORMATION-LOGEMENT.**

Etude, réalisation et gestion de centres commerciaux et de zones industrielles **SEGECE.**

Assurance vie et capitalisation **CARDIF.**

NOS CONSEILLERS SONT A VOTRE DISPOSITION DANS PLUS DE 120 AGENCES REGIONALES.

Compagnie Bancaire ■.
25, avenue Kléber · 75116 Paris · Tél. 525.25.25



P. Hervé

Raccords pour canalisations plastiques

Pourquoi la fonte ductile ?

Parce que les raccords en

Fonte Ductile sont étanches. Parce qu'ils sont résistants à la pression et aux chocs.

Parce qu'ils sont dotés du joint automatique SOFO avec bague en élastomère.

Les raccords en Fonte Ductile suppriment les points faibles des canalisations plastiques.

Pont-à-Mousson S.A.

Bon à retourner au service publicité : 4X, 54017 NANCY CEDEX.
Je désire recevoir une documentation sur les raccords en Fonte Ductile pour canalisations plastiques.

Nom _____

Société _____

Adresse _____

Téléphone _____



PONT-A-MOUSSON S.A.

91, av. de la Libération, 54017 NANCY.

Tél. : (28) 96-81-21,

télex : PAMSA X 850003 F



éditorial

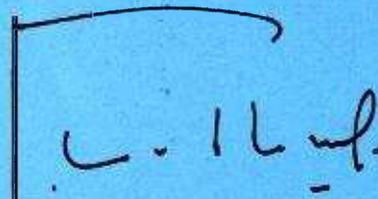
La France doit faire face aujourd'hui à une crise qui lui impose un effort d'adaptation de son appareil de production. Mais, par ailleurs, dans une concurrence internationale de plus en plus âpre, nous disposons de plusieurs atouts, notamment une exceptionnelle capacité à concevoir et à mettre en œuvre des techniques de plus en plus performantes.

Le secteur routier en témoigne notamment, puisqu'un effort de recherche considérable, mené dans les Administrations et dans les Entreprises, a permis à la technique routière française de se situer, au plan international, parmi les plus appréciées.

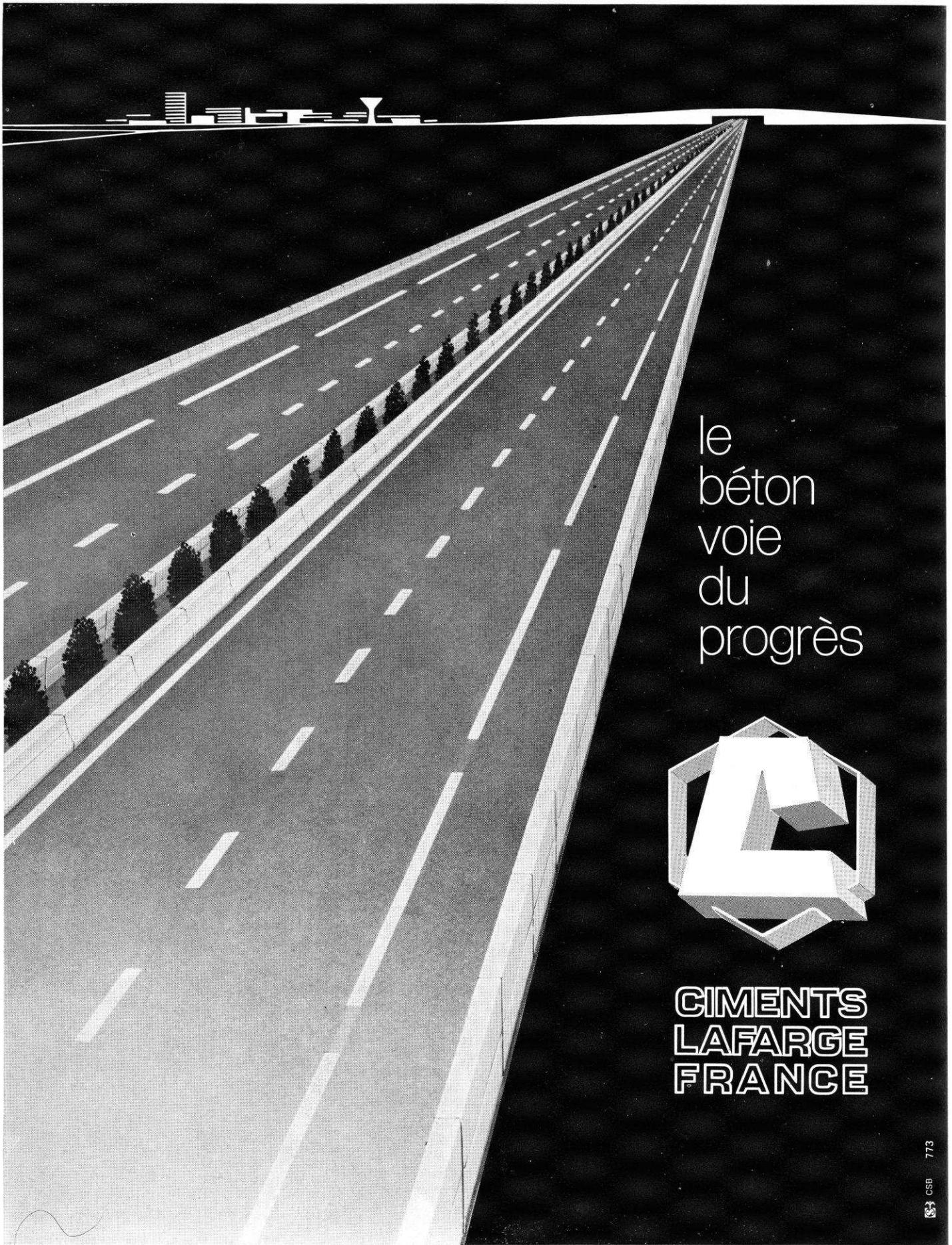
S'appuyant sur les développements parallèles de l'électronique, de l'informatique ou de la chimie, ces progrès portent aussi bien sur la conception des projets routiers (importance donnée aux études préalables, recours aux procédés d'études géotechniques, intervention de l'ordinateur), sur l'exécution des travaux (mécanisation intensive des chantiers, emploi de nouveaux matériaux et de liants de plus en plus diversifiés) que sur le développement de techniques nouvelles d'exploitation (opérations corridors).

A la nécessité d'adapter rapidement les infrastructures routières à la croissance du trafic, s'ajoute désormais la volonté de mieux respecter l'environnement, de réduire les dépenses d'énergie, d'utiliser déchets et sous-produits de l'industrie. En même temps, l'usager trouve de meilleures conditions de confort, de sécurité et de vitesse.

Sur ces bases solides, la confiance dans l'avenir de la technique routière française est pleinement justifiée et je suis heureux d'en témoigner.



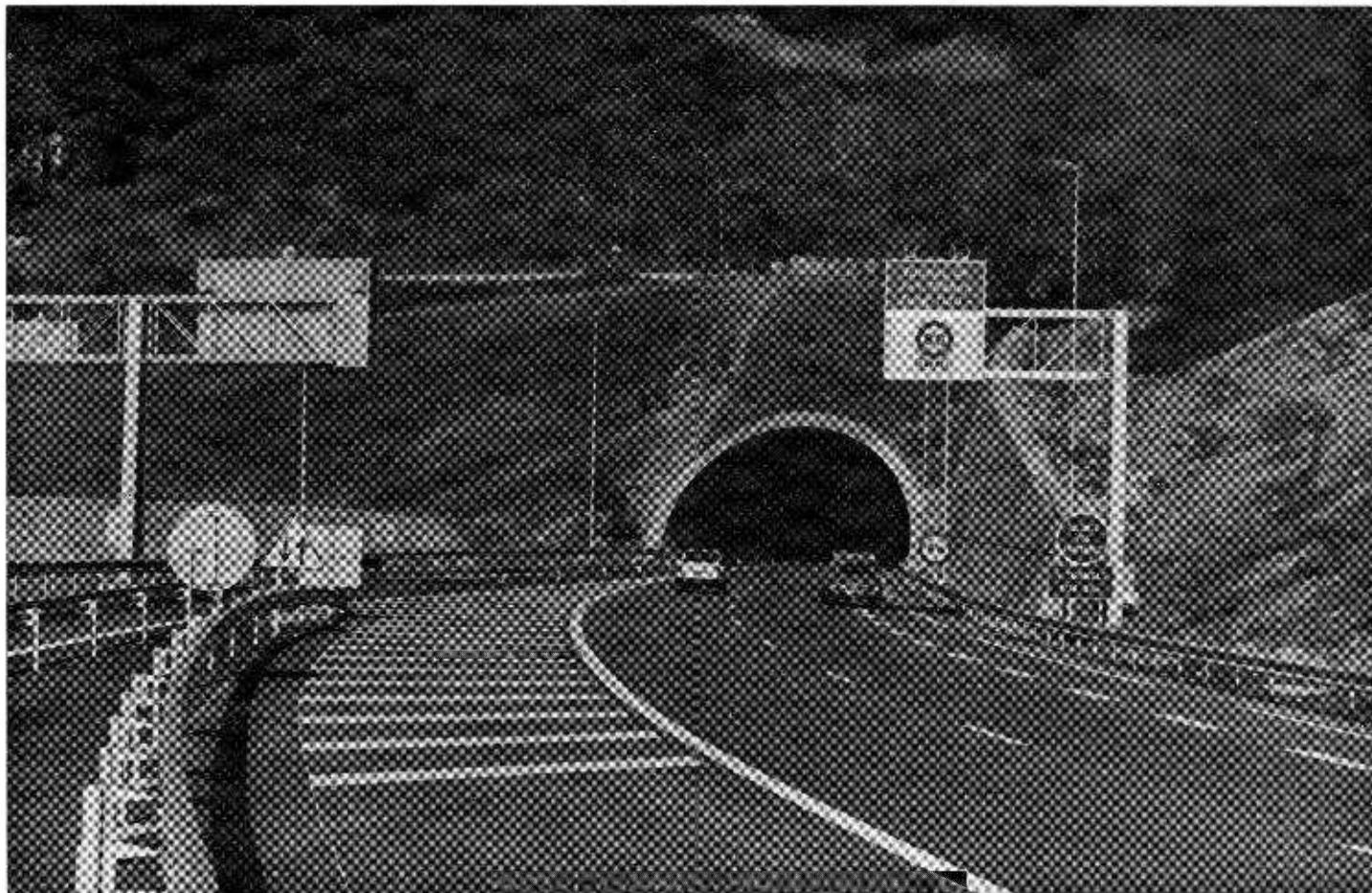
Joël LE THEULE



le
béton
voie
du
progrès



CIMENTS
LAFARGE
FRANCE



Tunnel de Las Planas.

Photo Yannick Collet

progrès récents dans le domaine des tunnels

par J. PERA, I.C.P.C.

Directeur du Centre d'études des Tunnels.

Le développement récemment constaté des travaux souterrains dans le domaine des tunnels routiers et des Transports urbains en site propre permet de penser que des progrès notables ont été accomplis au cours des vingt dernières années.

Un inventaire de l'activité récente des travaux souterrains en France montre la répartition moyenne suivante établie sur deux ans :

• Travaux miniers : 16 millions de mètres cubes excavés représentant environ 800 km de galeries.

• Galeries d'assainissement : environ 0,25 million de m³ excavés et 30 km en cours de construction.

• Galeries hydro-électriques : environ 0,8 million de m³ en construction, soit 25 km.

• Transports urbains en site propre : environ 2 millions de m³ en cours d'excavation, soit une trentaine de kilomètres de ligne.

• Tunnels routiers : environ 0,9 million de m³ en cours d'excavation, soit environ 11 km de tube.

Si l'on remarque que pour les tun-

nels et galeries, les chiffres sont relatifs à des travaux en cours qui s'étalent sur plusieurs années, le contraste avec le volume des travaux réalisés par les mines est encore plus accusé. C'est dire aussi combien les travaux souterrains sont en général redevables aux matériels et techniques mis au point et utilisés couramment dans les mines, bien que les finalités des ouvrages soient complètement différentes.

A cela vient s'ajouter une tradition héritée des périodes où la construction de tunnels ferroviaires et hydro-électriques était très développée.

Pour des raisons d'ordre économique, l'activité minière en France, due en majorité au charbon et au minerai de fer, aura vraisemblablement tendance à décliner.

Par contre, il faut s'attendre à une demande accrue dans le domaine des transports, en raison de la tendance à la spécialisation des productions et à l'augmentation de la population urbaine. Le souci de protéger l'environnement et d'éviter de modifier certains sites, pourra conduire à enterrer certaines voies urbaines.

Pour les mêmes raisons, collecteurs et galeries d'alimentation en eau sont également susceptibles de contribuer à faire diminuer, dans l'avenir l'importance relative des travaux miniers dans l'ensemble de l'activité des travaux souterrains.

Dans le domaine très limité des routes, cet article rappellera successivement les idées principales sur :

- le domaine d'emploi des tunnels routiers,
- les progrès les plus notables dans les méthodes de conception et de réalisation,
- les conséquences financières de ces progrès,
- l'organisation des études.

Domaine d'emploi des tunnels routiers

Dans le passé, il est arrivé maintes fois que la réalisation d'un tunnel routier ait été entreprise parce qu'il s'imposait comme le seul moyen de surmonter les difficultés rencontrées par le trafic routier en montagne du fait du relief et des conditions hivernales. C'est bien évidemment le cas des grandes traversées alpines (Mont-Blanc, Grand Saint-Bernard, Saint-Gothard, Fréjus, etc). Mais ces exemples resteront toujours exceptionnels. L'ingénieur routier, s'il connaît bien les ouvrages d'art courants tels que les ponts, n'est pas toujours informé des avantages et inconvénients des tunnels, en raison de leur petit nombre et de leur

concentration dans quelques zones géographiques.

Les projeteurs de tracés routiers ne sont pas toujours au fait des problèmes posés par l'insertion de tunnels dans leur environnement géologique.

Le développement des autoroutes qui requièrent des courbes de grand rayon, des pentes et rampes à faible pourcentage a conduit, non sans une certaine analogie avec ce qui s'était passé au siècle dernier pour les chemins de fer, à construire beaucoup plus de tunnels routiers.

Le plus souvent, la solution tunnel s'est imposée au projeteur pour des motifs extérieurs à ses préoccupations. Cela a été le cas dans les villes où il n'était pas possible de porter atteinte aux constructions de surface.

On a le sentiment que le projeteur de tracés routiers se méfie des tunnels, non parce qu'il craindrait un coût élevé ou des difficultés d'exécution ou d'exploitation, mais plutôt parce qu'il n'est pas suffisamment informé des avantages qui peuvent en résulter sur l'ensemble d'un tracé et qu'il n'a qu'exceptionnellement une expérience dans ce domaine. A cela vient s'ajouter la nécessité de reconnaissances et

d'études en partie différentes de celles d'un tracé à l'air libre.

En limitant la longueur des tunnels à quelques centaines de mètres pour les tunnels bidirectionnels, à mille mètres pour les tunnels unidirectionnels, on simplifie à l'extrême les équipements de ventilation lorsque la circulation reste fluide.

L'implantation des tunnels et des ponts peut être coordonnée en terrain accidenté. On peut ainsi obtenir des tracés permettant d'obtenir un écoulement régulier du trafic. Lorsque les pentes transversales sont élevées et nécessitent, pour un tracé à l'air libre, des soutènements importants et des fondations spéciales pour les ouvrages d'art, alors que les qualités du terrain sont meilleures en profondeur, l'emploi de tunnels pour franchir les éperons s'est montré avantageux vis-à-vis des coûts d'investissement.

Dans certaines circonstances, où les pentes sont à la limite de l'équ沿海, il s'avère parfois plus économique d'éviter les talus de grande hauteur au profit de tunnels, qui certes nécessiteront des confortements du terrain au voisinage des têtes, mais peuvent aller ensuite rechercher du terrain stable sous le versant.

Tunnel du Rond-Point à Saint-Etienne.



En résumé, les circonstances où en rase campagne des tracés adoptant les tunnels peuvent être avantageux par rapport à un tracé entièrement à l'air libre, sont les suivantes :

- 1) se libérer de servitudes esthétiques ou urbanistiques.
- 2) améliorer le tracé en plan et en altitude pour un trafic intense et et lourd.
- 3) obtenir une plate-forme stable dans des zones où les versants sont superficiellement instables ou au voisinage de leur limite de stabilité.
- 4) se protéger contre certains risques naturels répétitifs (coulées de boue, avalanches, chutes actives de blocs).
- 5) éviter des zones sensibles du point de vue de l'environnement.

En site urbain, les problèmes se posent au projecteur de manière toute différente. Il faut maintenir les activités de la cité et tenir compte non seulement des grands courants de trafic mais aussi des dessertes locales. Il apparaît des circonstances où un tracé à ciel ouvert est exclu en raison de l'encombrement de la surface, de la qualité de cette occupation ou de l'opposition des habitants. Les reliefs naturels (collines, éperons, plateaux, etc) ne représentent pas, en site urbain, une contrainte à la réalisation de voies nouvelles de liaison car il peuvent permettre de traverser en les évitant par dessous, loin des fondations et niveaux en sous-sol, des zones bâties, sans produire de nuisances pendant les travaux.

Il faut signaler que des réticences se manifestent parfois vis-à-vis des rejets d'air vicié, soit aux têtes des tunnels, soit au voisinage des usines de ventilation. On sait actuellement apporter des solutions satisfaisantes qui répondent à ces craintes :

- soit dans les ouvrages à faible profondeur, multiplier les rejets, pour qu'ils puissent plus facilement s'insérer dans le tissu urbain. Cette solution entraîne des économies importantes sur la puissance électrique nécessaire à la ventilation,
- soit en insérant les cheminées

d'évacuation dans des immeubles reconstruits de façon à rejeter au plus haut l'air vicié qui se diffuse alors beaucoup mieux qu'au sol,

- soit en concentrant les rejets dans des zones faiblement occupées,
- soit le plus simplement, en laissant un espace libre dégagé de dimensions suffisantes au voisinage des têtes ou des points de rejet, car l'expérience montre que la diffusion des polluants est très rapide grâce à la turbulence.

Les tunnels immergés destinés à franchir les estuaires ou les bras de mer constituent une autre possibilité. A part les courants qui gênent leur construction, ces ouvrages entièrement artificiels, s'affranchissent des conditions naturelles. Il est possible, soit de les effacer presque complètement du paysage, soit de marquer leur présence en accentuant les usines de ventilation. Arasés juste au-dessous du fond du chenal, ils sont beaucoup plus courts que les tunnels creusés en profondeur, ou que les ponts, surtout s'il faut respecter le gabarit maritime. Leurs rampes d'accès étant plus courtes, ils gênent moins le trafic lourd que les solutions citées.

Progrès techniques récents dans la construction des tunnels routiers

Du point de vue de l'écoulement du trafic, les tunnels routiers peuvent être conçus de manière à ne pas créer de point singulier sur l'itinéraire. On connaît bien actuellement les dimensions à leur donner, les conditions d'éclairage, les installations de ventilation et d'exploitation à prévoir. Il semble même qu'à dimensions égales, un tunnel bien conçu ait une capacité supérieure à celle d'une route à l'air libre, probablement en raison de l'attention plus soutenue de l'usager.

Dans le domaine de la construction, des progrès importants ont été effectués qu'il serait trop long d'exposer dans leur totalité.

Malgré une accumulation d'expé-

riences et de résultats théoriques, il faut d'abord signaler que dans le domaine des tunnels creusés profonds, l'ingénieur est loin de disposer d'un corps de doctrine aussi élaboré que dans le domaine des fondations. Cela tient peut-être à l'évolution polyaxiale des contraintes au voisinage de l'excavation, au grand nombre de paramètres qui caractérisent le comportement des roches, à la difficulté à décrire et à observer des phénomènes complexes. Bien que confrontés à de nombreuses questions théoriques qui ne sont pas encore résolues de manière satisfaisante, les spécialistes des tunnels ont néanmoins acquis, au cours du passé récent par la pratique et par des méthodes empiriques, les moyens de construire mieux et de faire face à des conditions de plus en plus difficiles.

Un point important a été la prise de conscience du rôle que joue le terrain situé au voisinage de l'excavation sur sa stabilité. On cherche à conserver à ce terrain encaissant, le plus longtemps possible, ses caractéristiques mécaniques et à en maîtriser la dégradation. Les progrès importants réalisés dans le domaine des instruments de mesures ont conduit à répandre des méthodes où le soutènement est dimensionné grâce à l'interprétation de mesures espacées dans le temps et dans l'espace. La roche armée par des boulons est devenue un moyen de soutènement.

La nouvelle méthode autrichienne qui cherche à prévenir la décompression du terrain, à le stabiliser au plus tôt par du béton projeté, suivi d'un boulonnage systématique, est une illustration de cette tendance.

Elle se retrouve aussi dans l'évolution des modes d'application de procédés anciens.

Parmi les domaines où des progrès remarquables ont été faits, on doit citer :

- le creusement du rocher à l'explosif de telle sorte que sa résistance à la foration n'est plus un facteur limitatif,
- l'adaptation des plans de tir aux conditions particulières de l'environnement,
- le creusement des terrains ten-



Tunnel à l'entrée de Lyon.

Photo Studio Villeurbanne

dres à la machine sans emploi d'explosif,

- le creusement mécanisé par machine à pleine section de puits inclinés et par alésage de puits verticaux.
- l'emploi de boucliers fermés pour les sols peu perméables, permettant d'éviter l'air comprimé ou les traitements par injection,
- le traitement par injection des terrains bouillants ou trop perméables,
- le soutènement par ancrage dans les roches,
- les systèmes de soutènement autoportant pour les terrains qui ont un temps de stabilité limité.

Dans le domaine des tranchées couvertes, les progrès résultent de la bonne organisation des phases successives de la construction et de l'emploi de toute une gamme de

méthodes avec lesquelles on réalise avant excavation des parois latérales qui peuvent même jouer le rôle avec certaines techniques de soutènement provisoire et également constituer les parois définitives de la tranchée.

Progrès dans les coûts

Il résulte de cette évolution dans les conceptions d'ensemble et dans les procédés de construction que la solution tunnel est devenue plus souvent compétitive qu'elle ne l'était dans le passé par rapport à d'autres variantes.

Cela apparaît de manière évidente lorsque l'on procède au doublement de tunnels existants et que l'on cherche à comparer les coûts actuels et les coûts du premier ouvrage.

Un domaine où des progrès notables ont pu être vérifiés est celui de tunnels exécutés dans des marnes non gonflantes grâce au creusement à la machine ponctuelle et à l'emploi de la nouvelle méthode autrichienne.

Une autre façon de mettre en évidence ces progrès est de comparer, à nombre de voies ou à surface égale, le coût des tunnels routiers à celui des ouvrages d'art et des routes à l'air libre.

En effet, il est tentant et usuel de comparer le coût d'un tunnel à celui d'une route de difficulté moyenne de mêmes caractéristiques. Ainsi sur l'autoroute A. 43, les tunnels de Dullin et l'Epine, réalisés dans des conditions relativement économiques, ont coûté environ six fois plus au m² utile ou au ml de voie que l'autoroute à l'air libre. Mais cette comparaison n'est pas suffisante, car le coût d'une route peut, dans des conditions difficiles, être deux à huit

fois plus élevé que le coût dans des conditions moyennes.

D'autre part, les tunnels ne sont le plus souvent justifiés que dans des sites urbains ou accidentés. Pour un tracé à flanc de vallée, le rapport des coûts tendent à s'égaliser. Sa valeur exacte est certes fonction des caractéristiques géotechniques des terrains qui conditionnent des murs de soutènement et du revêtement, mais elle est généralement comprise entre un et deux.

Ce n'est que lorsqu'une chaussée doit être prévue en encorbellement ou sur viaduc que le tunnel devient moins cher, parfois de moitié.

La comparaison doit plutôt être faite avec les ouvrages d'art. Des comparaisons réalisées tant à partir de données à l'étranger que de l'exemple récent de l'autoroute A. 8 sur le contournement Nord de Nice, montrent, lorsque les conditions de fondation des piles deviennent difficiles et qu'elles conduisent à doubler le coût total du viaduc par rapport à celui du mètre carré de tablier seul, que le coût des tunnels leur est équivalent ou inférieur. Cette

constatation est relativement récente. Elle n'était pas valable autour de 1970 quand les premiers tronçons d'autoroute A. 8 avaient été réalisés. Cette évolution conduirait, dans un tracé nouveau où alterneraient éperons et ravins, à le déplacer de manière à allonger les longueurs des tunnels (tout en restant en deçà de la longueur optimale d'un kilomètre) et à faire des viaducs plus courts et moins élevés.

Pour des raisons d'homogénéité des caractéristiques géométriques, il est plus facile de donner une comparaison pour des autoroutes.

En prenant pour base un tracé en zone de difficulté moyenne en pays de plaine ou de plateaux qui coûte actuellement environ 12 millions de francs au kilomètre, on trouve l'échelle suivante qui est relative à une seule chaussée de deux voies :

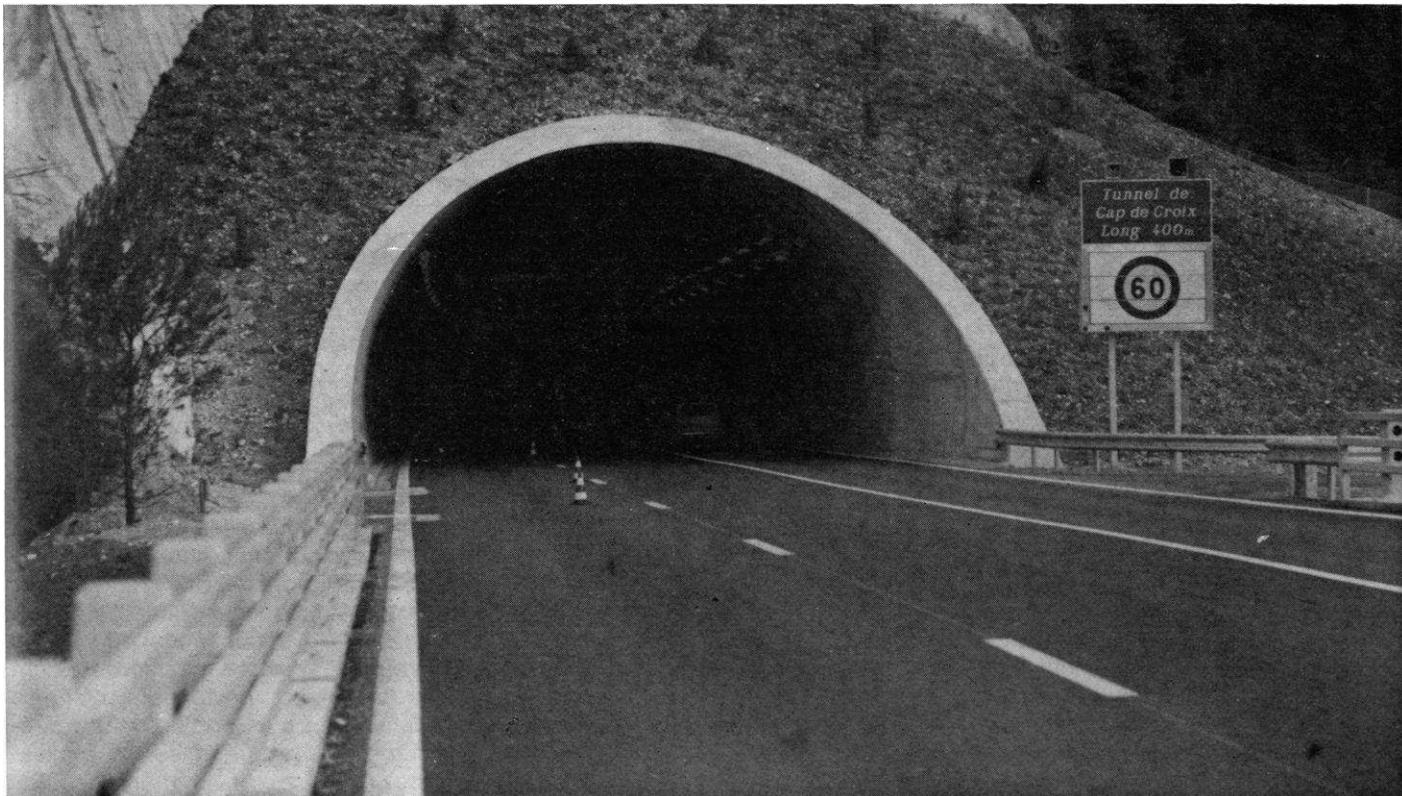
- 1 — le kilomètre d'autoroute en terrain moyen.
- 3,5 — un tube de tunnel avec équipement minimal et terrain facile.
- 3 à 3,5 — passage supérieur en site terrestre.

- 4,5 — un tube de tunnel en terrain moyennement difficile et ventilation longitudinale.
- 5,5 — ponts courants.
- 6 — tunnel de plusieurs kilomètres avec ventilation semi-transversale en terrain facile.
- 6 à 7 — viaducs avec fondations spéciales.
- 6 — autoroute de montagne avec beaucoup de terrassements.
- 8 à 15 — tunnel routier de grande longueur avec section excavée augmentée pour les besoins de la ventilation et puits.

En site urbain, où les conditions relatives à l'environnement et les contraintes pendant les travaux viennent s'ajouter aux problèmes de sol, il n'est pas significatif de citer des valeurs. On peut simplement indiquer que des progrès considérables ont été faits dans les méthodes pour réduire les tassements de surface et pour travailler sous la nappe grâce

A. 8. Tunnel du Cap de Croix comparable aux ouvrages d'art.

Photo Yannick Collet



aux traitements de terrain sans avoir à recourir à l'air comprimé.

Les coûts des tranchées couvertes augmentent avec la profondeur du niveau de la chaussée, contrairement aux tunnels creusés où le coût est essentiellement fonction du terrain. Alors que les coûts des tunnels creusés augmentent sensiblement proportionnellement avec la section, les coûts des tranchées couvertes sont peu sensibles à la variation de hauteur libre au-dessus de la chaussée. Enfin, les travaux de déplacement ou de modification des réseaux publics souterrains grèvent beaucoup, en ville, le coût de ces ouvrages.

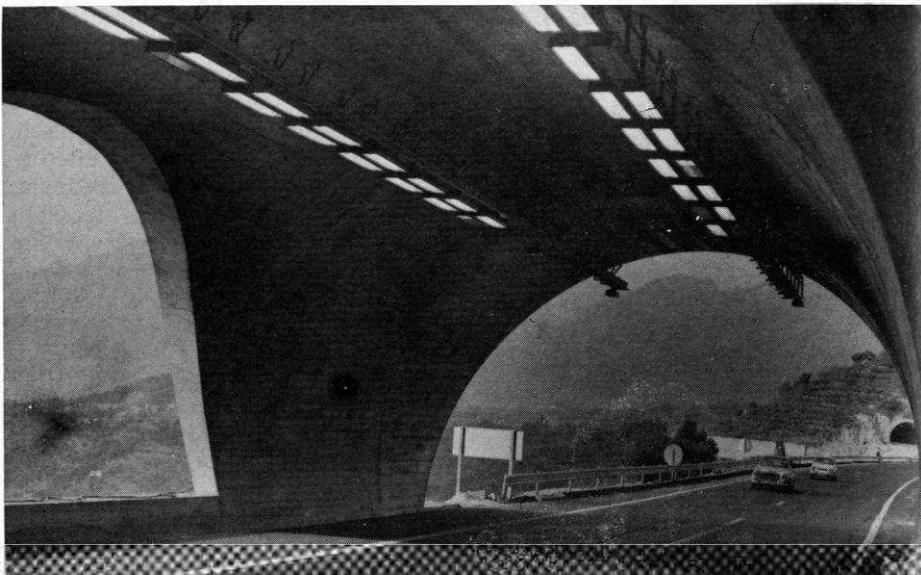
Quel que soit le mode de construction, le coût des ouvrages souterrains est très dépendant de la perméabilité du terrain encaissant quand le tracé est sous le niveau de la nappe.

D'une manière générale, pour obtenir des coûts favorables en tunnel creusé, il faut rechercher les couches de terrain qui nécessiteront le minimum de soutènement provisoire. Tant dans les sols que dans les roches, ce sont les terrains hétérogènes qui créent le plus de problèmes à l'exécution et dans ce cas les progrès dans la conception et les méthodes d'exécution ont été moins importants.

Importance des études

Les valeurs du coût au km de tunnel qui viennent d'être citées ne doivent pas faire illusion. Chaque tunnel doit faire l'objet d'une étude de coût adaptée aux conditions particulières du site et du terrain. Leur méthodologie est complexe et nécessite le recours à des ingénieurs expérimentés.

Ces études sont d'autant plus nécessaires que si autrefois une difficulté imprévue se résolvait en cours de travaux, par l'adjonction d'équipes supplémentaires, actuellement, les entreprises utilisent de plus en plus des matériels spécialisés dont les rendements peuvent être sensibles aux modifications des conditions



Tunnel de la Girande.

Photo Ponts et Chaussées

rencontrées et que tout changement de méthode ne peut être improvisé.

Il conduit non seulement à des coûts supplémentaires, mais également à des délais, en raison de servitudes relatives à l'emploi de nouveaux matériels et de la formation de nouvelles équipes.

Le projeteur doit avoir le souci au niveau de la recherche du meilleur tracé, de s'efforcer d'implanter les tunnels dans les terrains présentant de meilleures conditions de soutènement et s'il ne peut faire autrement, de franchir au plus court les zones de mauvais terrain. Il doit donc, dès le stade de la recherche du tracé, s'entourer des conseils de géologues et d'ingénieurs expérimentés dans le domaine des tunnels et accorder une grande importance au choix de l'emplacement des têtes.

Par ailleurs, le coût des études comporte une forte proportion de reconnaissances et d'essais de laboratoire. Pour réduire le budget final, il est avantageux de procéder par étapes et de n'engager l'étape suivante qu'après une synthèse partielle des résultats antérieurs.

Il résulte de l'intervention de nombreux spécialistes que le facteur délai est somme toute souvent plus contraignant que les autres dans les études.

Conclusion

Dans les années qui viennent de s'écouler, les ingénieurs ont connu une baisse spectaculaire des coûts des terrassements en grande masse à l'air libre. Des progrès sensibles ont également été enregistrés pour les ouvrages d'art en béton. Dans le domaine des tunnels, les progrès ont été plus lents et moins sensibles sauf dans quelques domaines, tels le creusement et le soutènement en roche dure, les traitements des terrains alluviaux ou aquifères. Ils ont néanmoins permis de resserrer l'écart de coût entre les tunnels et les ouvrages d'art.

D'autre part, au vu de l'état des connaissances actuelles dans les divers domaines de la technique, il n'est pas interdit de penser que le coût des travaux souterrains pourra continuer à décroître, alors que les ouvrages à l'air libre subissent dans leur conception et leur exécution des contraintes de plus en plus pesantes.

Il faut enfin noter la très grande variété des méthodes à employer et la part croissante du choix des matériels dans la décision à prendre pour la méthode de construction. Le bon emploi et le maintien de personnels entraînés, comme l'amortissement des machines, deviennent de plus en plus sensibles à une évolution régulière des programmes de réalisation.

innovations dans le domaine des matériaux des chaussées souples

par J. BONNOT, I.C.P.C.

Chef du département des Chaussées au L.C.P.C.

et J.-C. CHANTEREAU, I.P.C.

Chef de la division Chaussées-Terrassements du SETRA.

Nécessité et moyens de l'innovation dans le domaine des matériaux de chaussées

La technique française de construction de chaussée se caractérise par une évolution continue et un éventail très vaste des solutions employées. Par exemple dans le domaine des assises de chaussées, on a vu apparaître successivement les graves-ciment (1960), les graves-émulsion, les graves-laitier (1965), les graves-bitume (1970), puis s'est produite une diversification des matériaux d'assises traitées aux liants hydrauliques et pouzzolaniques (graves-cendres-volantes, graves-pouzzolanes, grave-laitier utilisant le laitier prérébroyé, ou l'activation sulfatique), tandis que l'emploi des sables-laitier se développait. Des exemples identiques peuvent être donnés dans le domaine des couches de roulement.

Quels facteurs ont nécessité ou expliquent cette tendance marquée à l'innovation en France ?

L'évolution des besoins au cours des années s'est révélée un facteur important d'innovation ; après avoir eu à concevoir des chaussées neuves à trafic lourd pour la construction du réseau autoroutier, les ingénieurs français ont dû ensuite trouver, pour le renforcement des chaussées

du réseau national, des solutions au problème très particulier de l'exécution de couches de base épaisses sous circulation ; actuellement c'est l'entretien de ces chaussées renforcées qui pose des problèmes techniques nouveaux.

Le changement des conditions économiques a été également à l'origine d'innovations, puisqu'il y a une interaction étroite entre la technique et l'économie ; la tâche de l'ingénieur routier est de construire des chaussées durables au moindre coût : toute modification du poids relatif des divers facteurs du prix de revient de l'ouvrage, ou du coût comparé des divers composants possibles se traduit donc par un déplacement de l'optimum qui entraîne à son tour une évolution des techniques. Ainsi l'augmentation du prix du bitume depuis 1973 a favorisé l'innovation à la fois dans les techniques concurrentes des matériaux bitumeux, tout particulièrement pour les assises de chaussées, où les ingénieurs se sont intéressés encore plus qu'auparavant à des matériaux traités aux liants hydrauliques ou pouzzolaniques rendus plus compétitifs, et dans les techniques bitumineuses elles-mêmes, pour lesquelles les fournisseurs ont fait un gros effort de recherche avec pour but de tirer le meilleur parti possible des matériaux.

La recherche du coût minimum a d'ailleurs toujours été un objectif prioritaire des ingénieurs routiers

français, ce qui les a conduits par exemple à rechercher toutes les solutions techniques nouvelles permettant d'utiliser au mieux les ressources locales en matériaux naturels ou en sous-produits et déchets industriels ; l'utilisation des sables traités en assises de chaussées, l'utilisation des laitiers de haut fourneau et des cendres-volantes comme liant routier, sont des illustrations des innovations nombreuses de la dernière décennie dans ce domaine.

L'adoption en France de l'essieu de 13 tonnes a également constitué un véritable défi technique adressé aux ingénieurs routiers ; cette charge par essieu les a contraints à élaborer des solutions originales aux problèmes posés, elle explique à elle seule la plupart des particularités de la technique française par rapport à celle de plusieurs pays voisins.

Les objectifs élevés fixés en matière de niveau de service rendu à l'utilisateur, notamment dans le domaine de la sécurité, c'est-à-dire de l'adhérence des chaussées mouillées, ont été également à l'origine de certains progrès techniques dans le domaine des couches de roulement.

L'administration n'a pas l'exclusivité des innovations dans ces différents domaines : pour les entreprises routières l'innovation technique permet de conquérir ou de s'assurer une part du marché ; les procédés spé-



Fig. 1 : Peut-on retarder la transmission des fissures de retrait d'une grave-laitier à la couche de surface ? Essai d'interposition d'un non tissé entre le support fissuré et la couche de surface en béton bitumineux.

ciaux d'entreprise apparus ces dernières années dans le domaine notamment des techniques d'entretien (liants spéciaux, enrobés spéciaux), sont une illustration de la capacité d'innovation des entreprises routières. Après avoir énuméré certains facteurs de cette tendance française à l'innovation, il est intéressant maintenant de voir quels en sont les moyens.

Comme c'est le cas pour beaucoup d'autres techniques modernes, ce sont très souvent des progrès dans les matériaux qui permettent aux techniques de construction de chaussées d'avancer.

Bien qu'il ne faille pas non plus négliger l'effet des progrès intervenus dans les matériels de fabrication et de mise en œuvre, nous nous limiterons dans ce qui suit aux innovations techniques dans le domaine des matériaux de chaussées.

Les progrès des dernières années ont porté sur les liants et sur les formulations des matériaux. L'amélioration des moyens d'étude en la-

boratoire des propriétés des liants et des matériaux de chaussées a été une condition essentielle de ces progrès. Il n'aurait pas été possible, par exemple, de développer les liants modifiés (associations liants hydrocarbonés-polymères) pour enduits superficiels ou pour enrobés si on n'avait pas disposé des essais de traction sur les liants, des essais de module complexe et de fatigue sur les enrobés. Le développement des nouvelles formules d'enrobés discontinus, que l'on peut employer en couches peu épaisses, pour l'entretien des chaussées renforcées, aurait été beaucoup plus difficile si on n'avait pas disposé de la presse de compactage à cisaillement giratoire pour prévoir en laboratoire leur compactibilité, ni de la table de compactage pour prévoir leur macrotexture superficielle.

Cependant, l'expérimentation sur chantier reste indispensable car elle permet seule de juger des difficultés de fabrication ou de mise en œuvre d'une formule nouvelle, et surtout d'apporter la sanction du trafic. En, effet, les variations du champ de contrainte résultant du

passage d'une charge roulante sur une structure multicouche sont extrêmement complexes, des simplifications très importantes doivent être apportées lorsque l'on cherche à reproduire en laboratoire ces sollicitations pour déterminer leur effet sur les matériaux de chaussées, et ces simplifications modifient très sensiblement les sollicitations admissibles, par rapport à celles dont il faudrait tenir compte dans les structures réelles. Malgré cette réserve, les essais de laboratoire restent très utiles pour comparer entre eux divers matériaux.

Les entreprises routières, les fournisseurs de liants, et l'administration, ont chacun joué un rôle important dans les innovations de ces dernières années dans le domaine des matériaux de chaussées. Le rôle de l'administration est double :

- elle contribue directement à l'innovation par la mise au point de matériels nouveaux ;
- elle doit porter un jugement sur les procédés nouveaux proposés par les entreprises afin de déter-

miner si ces procédés peuvent être généralisés pour les travaux dont elle est responsable, elle doit pour cela se prononcer sur les aspects techniques, notamment sur la fiabilité du procédé nouveau, mais aussi sur les aspects économiques, par exemple pour déterminer si le coût supplémentaire d'un procédé est en rapport avec les avantages qu'il présente par rapport aux techniques courantes.

Dans ce domaine des Laboratoires des Ponts et Chaussées et le S.E.T. R.A. ont un rôle délicat. Ils doivent bien sûr éviter un développement de procédés non fondés techniquement ou économiquement, qui se révéleraient en définitive très coûteux pour la collectivité. Mais, ils ne doivent pas non plus être un frein à l'innovation, dans un domaine aussi complexe techniquement, il n'est pas possible d'imposer des normes (de propriétés mécaniques par exemple) et de se contenter de refouler toutes les techniques qui ne satisfont pas à ces normes (et d'accepter toutes celles qui y satisfont). Il faut donc tenter d'apprécier les chances de succès d'une technique nouvelle, avec la difficulté supplémentaire qu'il n'est jamais possible d'attendre avant de se prononcer la fin de la « durée de vie » normale d'un matériau dans une chaussée. Les Laboratoires des Ponts et Chaussées ont donc une activité importante d'appréciation des techniques nouvelles.

Après l'appréciation en laboratoire, la sanction du chantier est nécessaire, le L.C.P.C. et le S.E.T.R.A. ont mis au point une procédure d'appréciation comportant successivement :

- des planches expérimentales, de faible surface, sur lesquelles on peut vérifier si les hypothèses faites lors de la formulation en laboratoire sont vérifiées en vraie grandeur ;
- des chantiers expérimentaux, de plus grande surface, pour les techniques qui ont passé le cap des planches expérimentales, qui permettent d'optimiser la technique ;
- enfin, des chantiers de présérie, de taille normale, où on essaie dans des conditions industrielles des techniques que les phases précédentes ont permis de préciser.

Lorsqu'il s'agit de se prononcer sur des procédés nouveaux mis au point par des entreprises, ces expérimentations sont souvent faites en collaboration avec ces dernières. Cette collaboration peut comporter l'établissement de conventions, dans lesquelles on essaie de concilier des objectifs un peu contradictoires :

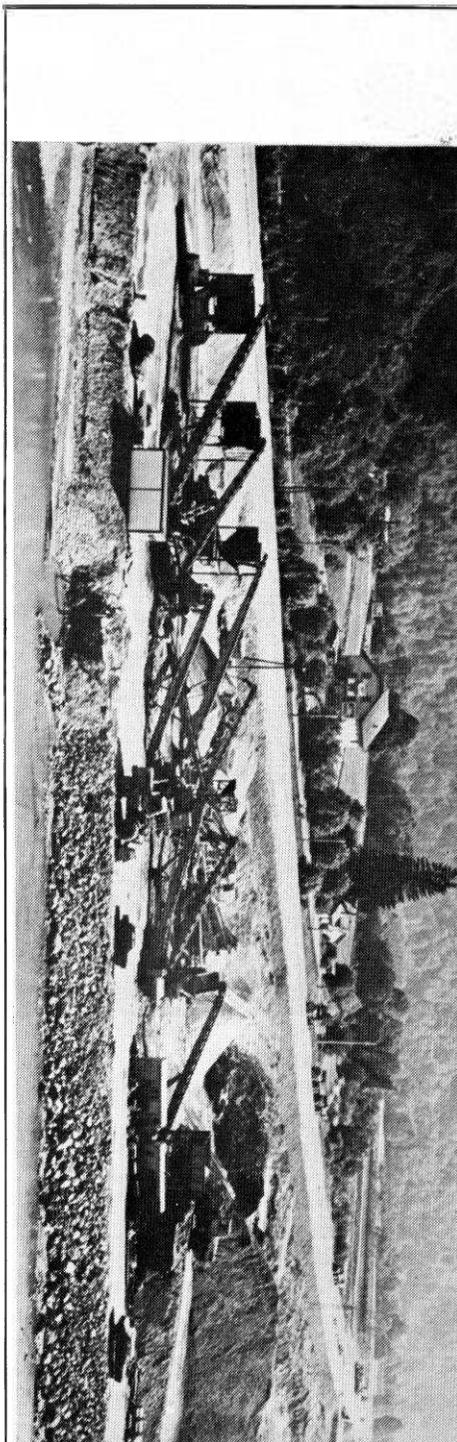
- préserver les intérêts de celui à qui revient le mérite de l'innovation ;
- ne pas utiliser les deniers publics à favoriser une entreprise donnée au détriment des autres ;
- permettre l'emploi le plus généralisé possible d'une technique nouvelle si elle peut apporter un avantage certain à la collectivité.

Une autre difficulté provient de ce que les procédés nouveaux présentés sont très nombreux, si bien que compte tenu du coût des études en laboratoire et sur chantier nécessaires à leur appréciation, et des moyens en matériel et personnel nécessaires, il n'est pas possible de travailler sur tous en même temps ; un choix délicat doit donc être fait.

A ce propos, les entreprises devraient admettre de ne pas modifier sans cesse leurs procédés, de façon à ne pas rendre trop tôt caduques les études correspondantes de l'administration.

Dans cette expérimentation des procédés nouveaux de l'administration et des entreprises, les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées sont un atout considérable, grâce à leur maîtrise des interventions sur chantier. Leur présence explique pourquoi la mise en application pratique des résultats des recherches est relativement rapide et aisée en France.

Il y a une contrepartie à cette tendance à l'innovation dans les techniques de construction de chaussées : devant cette évolution rapide des techniques, devant la multiplicité des solutions possibles à un même problème, les maîtres d'œuvre éprouvent des difficultés à se tenir au courant, à se former une opinion sur les techniques nouvelles, à choisir celle qui est la plus appropriée à chaque problème particulier qu'ils ont à résoudre, et à être en mesure de contrôler leur appli-

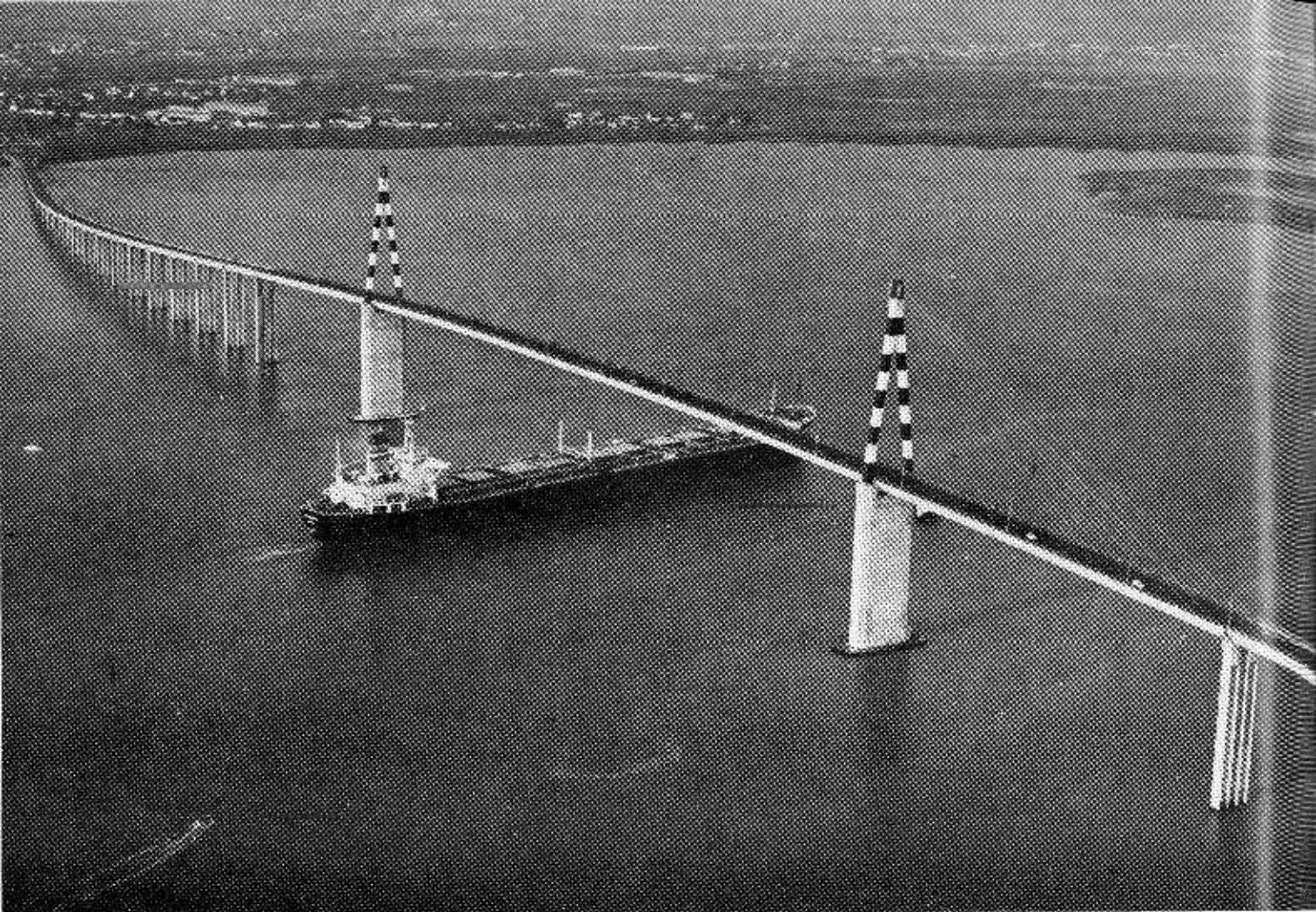


le concassage mobile g. cachot

études . réalisations
dans toute la France

b.p 7 - 70160 Faverney

tél 84/74.43.47 - télex gcmat 360741



(Photo Madec)

PONT MÉTALLIQUE DE SAINT-NAZAIRE

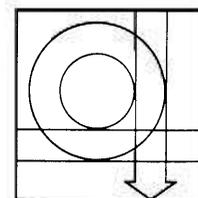
REVÊTEMENT **MOBILPLAST** RÉALISÉ PAR **reveto**

Entre autres réalisations **reveto** :

ROCADE DE MULHOUSE : Passages supérieurs

PONT VAUBAN A STRASBOURG

PONT SAINT-FELIX A NANTES



reveto

cation. Il faut cependant bien admettre que construire des chaussées au moindre prix, préserver le capital que représentent les chaussées existantes, assurer la sécurité des usagers, tout cela avec une charge par essieu de 13 tonnes, est une tâche d'une certaine technicité, exigeant des maîtres d'œuvre un temps suffisant à y consacrer et des connaissances, ce qui pose problème compte tenu de la multiplicité des tâches qui leur incombe.

Innovations récentes dans le domaine des matériaux d'assises de chaussées

Le nombre de types différents de matériaux d'assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques ou pouzzolaniques utilisés en France est particulièrement élevé. Les liants utilisés sont très souvent des produits non élaborés industriellement, soit des matériaux naturels doués de propriétés pouzzolaniques, soit plus souvent des sous-produits industriels, ce qui est la preuve à la fois d'un certain courage de la part des ingénieurs routiers français qui renoncent par là même à la sécurité que donne un produit industriel, et d'un souci louable d'économiser les matières premières et l'énergie, tout en préservant l'environnement. Il semble que dans bien peu de pays la proportion de matériaux utilisant comme liant de tels produits soit aussi élevée.

Dans la technique pourtant bien établie des graves-laitier, plusieurs innovations importantes sont apparues ces dernières années. Elles portent soit sur la forme sous laquelle on utilise le laitier granulé de haut fourneau soit le produit utilisé pour son activation.

Dans la première catégorie figure l'emploi comme liant du laitier non plus sous forme brute, mais sous forme de *laitier prébroyé*.

Le laitier prébroyé est obtenu par passage d'un laitier granulé dans un broyeur, dans des conditions de ré-

glage et de débit bien définies, de façon à obtenir un sable 0/2 contenant environ 10 % d'éléments inférieurs à 80 µm. Ce broyage très partiel augmente la surface spécifique du laitier, et par là son activité hydraulique.

Les études de laboratoire sur le laitier prébroyé ont commencé en 1970 et se sont concrétisées en 1973 par un certain nombre de chantiers expérimentaux. En 1974 et 1975 la technique a été utilisée, en vraie grandeur, sur des chantiers de présérie importants. Ceci a permis aux laboratoires de définir, dès 1975, les conditions d'utilisation du laitier prébroyé par comparaison aux laitiers granulés classiques. A partir de 1976, une recherche complémentaire importante, financée partiellement par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, a permis de préciser les possibilités des diverses méthodes industrielles de prébroyage, d'étudier les problèmes particuliers par le stockage sur chantier du laitier prébroyé et de mieux connaître le comportement à la fatigue conditions d'utilisation du laitier prébroyé, afin notamment de permettre le dimensionnement de ces structures de chaussées sur des bases sûres. Entre temps les fournisseurs se sont mis en mesure de procéder au prébroyage à l'échelle industrielle, et l'emploi du laitier prébroyé a pris une extension certaine puisque actuellement près de 20 % du laitier granulé utilisé dans la route l'est sous cette forme. Enfin, le S.E.T.R.A. et le L.C.P.C. publieront au début de 1979 une note technique fixant officiellement les modalités d'emploi de ce liant.

Les avantages du laitier prébroyé sont les suivants :

— sur le plan technique

- c'est un liant d'une activité hydraulique bien supérieure à celle d'un laitier granulé courant, ce qui est venu au bon moment pour pallier à la quasi disparition des laitiers granulés naturellement très réactifs, cette disparition provenant de modifications dans la marche des hauts-fourneaux, nécessitées par les économies d'énergie ;
- ce liant très réactif permet de traiter des matériaux locaux de

mauvaises caractéristiques géotechniques comme les sables ;

- le prébroyage « gomme » les hétérogénéités d'activité du laitier granulé, inévitables dans un sous-produit brut ;
- les graves-laitier obtenues sont plus compactes que les graves-laitier classiques.

— sur le plan économique

- valorisation des laitiers granulés de faible activité, dont certains étaient inutilisables sans prébroyage ;
- réduction des dosages en liant nécessaires d'environ 40 % ce qui apporte une économie considérable sur les dépenses de transport.

En contrepartie, il faut payer le prix du prébroyage.

On peut songer à aller plus loin dans l'application de ce principe d'amélioration de l'activité, en poussant le broyage. Au-delà de 15 % de fines cependant, la manutention du produit devient plus difficile (déchargement des trains, dosage du produit en centrale de malaxage) et le broyage plus poussé n'a d'intérêt que si on arrive jusqu'au laitier entièrement moulu à la finesse d'un ciment ; il s'agit en fait d'une technologie cimentière, à la fois dans le mode de fabrication du liant (le laitier doit être préalablement séché, et broyé dans un broyeur à boulet) et dans le mode d'utilisation sur chantier (le laitier moulu est stocké en silo, où il est dosé comme un ciment ; les graves obtenues ont des propriétés plus proches de celles d'une grave-ciment que de celles d'une grave-laitier). Il s'agit cependant d'une valorisation très efficace du pouvoir hydraulique du laitier puisqu'il faut quatre fois moins de laitier pour obtenir les mêmes performances mécaniques, que lorsqu'il est utilisé brut.

Dans la deuxième catégorie d'innovations, celles qui portent sur le produit utilisé pour l'activation du laitier, figurent les applications de l'*activation sulfatique* du laitier granulé.

Ce mode d'activation, par addition

SEREQUIP

SOCIÉTÉ D'ÉTUDE
D'INFRASTRUCTURE
ET D'ÉQUIPEMENT

Un des tous premiers
bureaux d'études en Europe
en matière d'autoroutes urbaines
ou de rase campagne
dans les domaines :

- **de signalisation**
(marque SESIRT)
- **d'exploitation (péages,
télécommunications, éclairage,
observations et comptages
automatiques du trafic)**
- **conception géométrique assistée
par ordinateur par mode con-
versationnel**

En outre :

- **Études de transport
et circulation**
- **ouvrage d'art en site urbain
et parkings**
- **Ingénierie du bâtiment**

B.P. 111 — Route de Montigny

— 78192 TRAPPES CEDEX —

— Téléphone : 050.61.15 —

Télex : 697 293 F BETSER

de sulfate de calcium, est connu de très longue date, il est utilisé notamment dans les ciments sursulfatés. Il a été récemment mis à profit dans le traitement des assises de chaussées, selon la technologie des graves-laitier, c'est-à-dire en utilisant du laitier granulé brut (ou éventuellement prébroyé) : le sulfate de calcium nécessaire est en fait du phosphogypse, déchet de la fabrication de l'acide phosphorique (industrie des engrais).

Par l'activation sulfatique, les cristaux responsables de la prise sont très différents de ceux qui se développent dans le cas de l'activation calcique, classiquement utilisée : au lieu de cristaux hexagonaux empilés de silicate ou d'aluminate de calcium, on obtient des cristaux de trisulfo-aluminate de calcium hydraté, se présentant sous forme de faisceaux de fines aiguilles. Les résistances obtenues à long terme sont beaucoup plus fortes, environ trois fois plus, qu'avec le mode d'activation classique. En revanche la prise démarre très lentement, on combine alors cette activation avec une activation à la soude qui au contraire a une action rapide.

Deux procédés ont mis à profit ces principes :

- un procédé mis au point par un bureau d'études privé et par un industriel, dans lequel soude et phosphogypse sont combinés dans un produit pulvérulent (gypse sodé). Ce procédé a déjà reçu des applications nombreuses ;
- un procédé sur lequel travaillent les Laboratoires des Ponts et Chaussées avec pour objectif de consommer le plus possible de phosphogypse (le procédé précédent n'utilise que 1 % dans les mélanges). Il consiste à ajouter à un mélange grave (ou sable) laitier du phosphogypse en proportion de 10 %, et de la soude, l'addition étant faite à la centrale de malaxage. Ce procédé est au stade du chantier expérimental.

Le premier procédé a pour avantage la commodité d'emploi pour l'entreprise, le second a pour avantage de consommer plus de phosphogypse et de permettre de régler à la demande la proportion de soude,

mais il demande plus de précautions à l'exécution pour la vérification de la constance des caractéristiques du phosphogypse (en particulier l'efficacité de sa neutralisation avant stockage), son dosage en centrale, et pour la manipulation de la soude.

L'activation sulfatique apporte des avantages analogues à ceux du laitier prébroyé (réduction des dosages en laitier, emploi possible de laitiers peu réactifs, obtention de résistances à la rupture élevées) sans nécessiter une élaboration préalable du laitier granulé.

Ces deux procédés ont en tout cas permis un progrès dans la valorisation du potentiel hydraulique du laitier granulé, par rapport aux techniques classiques.

Dans la technique des graves-ciment, l'innovation principale de ces dernières années est l'addition du retardateur de prise à la centrale de malaxage, pour augmenter le délai disponible pour l'exécution des opérations de mise en œuvre. Si nécessaire un délai de maniabilité de 18 heures peut être obtenu.

Cette utilisation est maintenant très répandue ; on trouve sur le marché des retardateurs spécialement destinés à cet usage, d'un coût nettement plus faible que celui des produits utilisés dans les travaux de bétonnage ; certains d'entre-eux auraient en outre un effet plastifiant.

Des appareillages spécialement destinés à l'addition de retardateurs à la centrale de traitement ont été mis au point et peuvent être mis à la disposition des entreprises par les fournisseurs de retardateurs. Ceci constitue un bon exemple de développement rapide d'un procédé : la méthode répondait à un besoin technique évident, elle avait une efficacité certaine ; les producteurs, disposant d'un marché intéressant, n'ont pas hésité à mettre au point des produits spécialement adaptés et des matériels spécifiques de chantier ; le développement du procédé a abouti à une réduction de son coût, la plus-value pour addition de retardateur est maintenant en rapport avec les avantages apportés.

Des progrès ont également eu lieu dans le domaine des liants : à côté

de l'utilisation des ciments classiques, avec addition de retardateur en centrale de traitement, on utilise aussi des ciments spéciaux pour le traitement des graves, en général des ciments à très forte teneur en laitier granulé et à grosse mouture ; certains d'entre-eux font appel à l'activation sulfatique du laitier. Ces ciments ne nécessitent en général pas d'addition de retardateur pour l'emploi en chaussée neuve, et les graves-ciment obtenues sont en général moins sensibles aux conditions d'exécution des travaux. Les déchets industriels à propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques peuvent d'ailleurs donner naissance, par addition d'actifs variés, à des liants routiers pulvérulents qui ne contiennent pas ou très peu de clinker, dont le bilan énergétique doit être très favorable.

On peut citer dans le même ordre d'idées, le large développement de l'emploi, comme liant pour assises de chaussées, en lieu et place du ciment, de cendres-volantes sulfocamiques, qui, sans aucune préparation ni addition, ont des propriétés hydrauliques.

Dans le domaine des assises utilisant comme liant le ciment, on peut noter l'apparition récente de l'emploi des bétons maigres pervibrés (mis en œuvre comme un béton de ciment) qui ont l'avantage de présenter une bien meilleure résistance à l'érosion par l'eau en surface, et qui constituent donc une solution nouvelle pour les couches de fondation de chaussées en béton à trafic lourd.

Bien que le *traitement des sables* pour leur utilisation en assises de chaussées ne soit pas une technique nouvelle, il est intéressant d'en parler ici car l'innovation importante de 1977 à leur sujet est leur introduction en force dans le Catalogue des Structures-types de Chaussées Neuves, y compris pour des couches de base. En effet le Catalogue des Structures, qui ne prévoit, par définition, que l'emploi de matériaux standardisés, est un certain frein à l'innovation. Pour les graves traitées, on procède pour les matériaux nouveaux, par assimilation avec les matériaux existants (les modalités exactes de l'assimilation

donnant lieu parfois à beaucoup de discussions). Pour les sables traités, dont les propriétés sont très diverses, ce n'était pas possible. Il a donc fallu introduire une standardisation de ces matériaux, et pour cela une classification des sables traités, en fonction de la résistance à la traction à 6 mois de durcissement, a été établie. Ceci n'a été rendu possible que grâce à la mise au point de méthodes nouvelles pour l'étude du comportement à la fatigue de ces matériaux. Les progrès des méthodes de traitement aux liants hydrauliques, surtout à base de laitier, et les progrès dans les méthodes de formulation des sables traités, ont d'ailleurs permis d'obtenir à partir de ces granulats locaux bon marché des matériaux ayant des propriétés mécaniques très avantageuses (module d'élasticité relativement faible, pour un niveau donné de résistance à la traction).

Malgré toutes ces recherches, la fissuration de retrait de ces matériaux reste inévitable. La conception et le dimensionnement des structures de chaussées actuelles en tiennent compte, dans la mesure du possible, pour réduire ces inconvénients, mais pour des raisons de coût, on n'a pas pu se fixer l'objectif d'empêcher dans tous les cas la transmission de ces fissures à la surface de la chaussée. Une nouvelle voie vient cependant d'être expérimentée pour retarder le phénomène : il s'agit de l'interposition entre le béton bitumineux de la couche de surface et le support fissuré, d'un textile non tissé mis en place après répandage d'émulsion de bitume. On modifie par cette méthode l'interface béton bitumineux-support fissuré, ce qui limite la transmission au béton bitumineux des efforts concentrés au niveau des fissures. Les premiers résultats enregistrés sont encourageants, mais le procédé n'en est qu'au stade des planches expérimentales.

Même le problème, qui peut paraître mineur, des méthodes permettant d'étancher les fissures lorsqu'elles sont apparues en surface, a donné lieu à des recherches, portant sur le choix des produits et sur leur méthode de mise en place.

Innovations récentes dans le domaine des matériaux pour couches de roulement

Dans le domaine des matériaux bitumineux pour couches de roulement, deux facteurs ont été à l'origine des innovations de ces dernières années :

- l'augmentation du coût des produits pétroliers,
- l'importance prépondérante prise par les travaux d'entretien, au détriment des travaux neufs.

L'augmentation du coût des produits pétroliers a donné une impulsion nouvelle à la recherche de techniques permettant de diminuer la consommation de bitume.

La faisabilité de techniques utilisant comme liant *des matériaux naturels contenant des produits hydrocarbonés*, en association avec le bitume, a été démontrée : on peut réduire très sensiblement la quantité de bitume nécessaire à la fabrication des enrobés, en leur ajoutant de la poudre d'asphalte, ou des schistes bitumineux broyés. Cependant, le développement de ces techniques se heurte actuellement à des obstacles de coût, pour l'asphalte, et à l'inexistence d'une extraction industrielle pour les schistes bitumineux.

La voie la plus prometteuse est celle de l'*emploi du soufre en association avec le bitume*. Le soufre est en effet actuellement disponible en grande quantité sur le territoire national. Comme il est très fluide aux températures habituelles de fabrication des enrobés, son mélange avec les granulats est possible. Il peut être introduit sous forme solide (en paillettes) ou sous forme liquide (au-dessus de 120°).

En France, le procédé le plus utilisé a été mis au point par la Société Nationale Elf-Aquitaine ; il consiste à produire un liant bitume-soufre dans lequel le soufre liquide en proportion de 30 %, est émulsionné dans le bitume à l'aide d'une turbine ; le liant est préparé immédiatement avant l'emploi, sur chantier, dans



Fig. 2 : Une formule inhabituelle de béton bitumineux = matériau très discontinu pour couche d'entretien en faible épaisseur. On distingue nettement l'effet de la discontinuité (suppression des gravillons intermédiaires 2/10 dans un 0/14). La macrorugosité est excellente.

une installation spéciale — ce qui est d'ailleurs un certain handicap pour le développement du procédé —. Le soufre ayant une densité supérieure à celle du bitume, le liant émulsion bitume-soufre doit être employé à un dosage pondéral plus élevé que le bitume pur, de façon à ce que les enrobés contiennent à peu près la même quantité de liant en volume.

L'emploi de ce liant à la place du bitume a surtout pour effet d'augmenter la rigidité de l'enrobé aux hautes températures rencontrées en service, en été, ce qui diminue le risque d'ornierage par déformation plastique. Le liant bitume-soufre peut être utilisé avec les divers objectifs suivants :

- dans les formules d'enrobés bitumineux classiques, avec comme seul objectif d'économiser le bitume (l'économie possible dépasse 20 %). Le coût de tels enrobés n'étant pas inférieur à celui des

enrobés classiques et l'emploi du soufre entraînant quelques sujétions supplémentaires (matériel spécial d'émulsification, nécessité d'un contrôle très strict des températures d'enrobage pour éviter les nuisances dues à la production de $H_2 S$) le procédé n'a pas spontanément tendance à se développer rapidement. De telles formules constitueraient pourtant, semble-t-il, un bon support pour un entretien ultérieur par enduit superficiel, les gravillons de ce dernier ayant moins tendance à s'incruster dans le support ;

- mise à profit de la stabilité améliorée à haute température pour utiliser des formules plus riches en liant et plus compactes sans introduire pour cela un risque d'ornierage. De telles formules peuvent être intéressantes pour un emploi en couches peu épaisses, ou pour améliorer le comportement à la fatigue ;

- cette stabilité améliorée à haute température permet aussi d'employer sans risque de déformation permanente des granulats locaux peu anguleux (graves alluvionnaires ou sables), mais il s'agit surtout d'une technique d'assises de chaussées.

Les travaux d'entretien ont pris une part prépondérante, au détriment des travaux neufs sur le réseau non autoroutier, et cette situation risque de se prolonger dans les années à venir.

Les problèmes d'entretien sont de diverses natures :

- entretien des chaussées anciennes, en rase campagne, dont la structure est insuffisante. Pour ces travaux on peut choisir entre une politique analogue à celle qui a été suivie pour le réseau national, celle des renforcements coordonnés, et une politique d'entretien plus progressif, qui, si elle risque de conduire à des dépenses totales plus élevées, a l'avantage de nécessiter des travaux de coût partiel plus faible. Au niveau des couches de roulement, il n'y a pas d'innovation particulière à signaler, spécifique de ce genre de travaux ;
- entretien des chaussées déjà renforcées, ou des chaussées récentes construites conformément au Catalogue des Structures-type de Chaussées 1971 ou 1977 ;
- entretien des traverses d'agglomération, possédant des structures anciennes, mais où les difficultés particulières aux travaux en agglomération demandent des solutions spécifiques.

Pour l'entretien des chaussées renforcées, il n'y a pas de problème de structure à résoudre, mais seulement des problèmes de surface. Pour certaines de ces chaussées, l'enduit superficiel est la solution la meilleure. Pour d'autres (en particulier les chaussées à fort trafic lourd) la solution ne peut être trouvée que dans un tapis d'enrobés. Or, les bétons bitumineux des Directives S.E.T.R.A.-L.C.P.C. de 1969, mis au point pour la construction des chaussées neuves (ou pour l'exécution des couches de roulement des renforcements) sont trop épais (6 à 8 cm)

et donc surabondants pour l'entretien de surface de chaussées ne présentant pas de problèmes de structure. De nouvelles formules d'enrobés, que l'on peut mettre en place en couches peu épaisses de 3 à 4 cm, viennent donc d'être mises au point pour cet usage particulier.

Si les formules de béton bitumineux des Directives S.E.T.R.A.-L.C.P.C. de 1969 doivent être mises en place en couches épaisses, c'est pour obtenir de faibles teneurs en vide en place malgré l'emploi de formules «raides» et difficiles à compacter auxquelles conduit naturellement la recherche d'une bonne résistance à l'ornièrage et de bonnes caractéristiques antidérapantes. Si l'on se prive de cette possibilité, force est donc de rechercher des formules de béton bitumineux d'un principe différent.

Deux procédés ont été utilisés dans ces formules nouvelles :

- l'amélioration de la compactibilité par l'emploi d'une formule à granularité discontinue (suppression d'une fraction granulaire intermédiaire, par exemple des gravillons 2/10 dans un béton bitumineux 0/14). Ce procédé a en outre l'avantage d'améliorer très sensiblement les caractéristiques antidérapantes, car la macrorugosité obtenue est très élevée pour un béton bitumineux. Ce principe a donné naissance à toute une famille de formules, différant par l'amplitude et le niveau de la discontinuité, et par l'emploi ou non, simultanément, de procédés complémentaires pour améliorer la compactibilité (addition de sable roulé, augmentation de la teneur en fines) ;

- l'abandon complet, pour le béton bitumineux proprement dit, de la nécessité d'assurer de bonnes caractéristiques antidérapantes. La fonction stabilité-étanchéité, et la fonction adhérence, sont dissociées, cette dernière étant assurée uniquement par des gravillons répandus à la surface immédiatement après répandage du béton bitumineux (procédé de cloutage).

Le support est un béton bitumineux fin 0/6 qui peut être répandu en 3 cm d'épaisseur seulement,

La mise au point de ces formules nouvelles (en particulier les formules discontinues) a bénéficié de la panoplie complète des moyens d'étude puissants dont disposent désormais les Laboratoires des Ponts et Chaussées pour la formulation des enrobés :

- dégrossissage de la formule du point de vue de la compactibilité par la presse de compactage à cisaillement giratoire ;
- vérification des propriétés mécaniques par l'essai à l'ornièreur, l'essai de traction directe, et l'essai de fatigue ;
- prévision des caractéristiques de macrorugosité à la mise en service, et des teneurs en vides en place, à l'aide de la grande table de compactage (engin reproduisant à l'échelle réelle le compactage à pneumatique d'un enrobé répandu avec un finisseur réel) ;
- confirmation sur de nombreuses planches expérimentales isolées ;
- vérification sur des chantiers expérimentaux en entretien de chaussées à très fort trafic lourd, dans deux régions de France à climat très différent (12 à 15 formules différentes par opération) ;
- exécution de plusieurs chantiers de présérie de plusieurs kilomètres, avec les meilleures formules.

Une note technique précisera en 1979 les formules conseillées, avant que ne soit publiée, sans doute, une Directive S.E.T.R.A.-L.C.P.C. lorsque le temps d'observation du comportement de ces matériaux nouveaux sera suffisant.

A côté de ces formules qui visent à imperméabiliser la chaussée et à restituer de bonnes caractéristiques antidérapantes, on peut également citer l'apparition en France des enrobés ouverts drainants, qui ont seulement pour objectif d'accélérer l'évacuation de l'eau à la surface des chaussées et doivent être placés sur un support préalablement imperméabilisé. Dans ce cas, on s'est borné à reproduire des formules existant depuis quelques années en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, la question de savoir si leur comportement en France sous l'essieu de 13 tonnes sera satisfaisant à long terme restant toujours posée.

Pour l'entretien des traverses d'agglomération, il faut distinguer deux situations :

- il n'y a pas ou peu de problèmes de structure, l'entretien a seulement pour but de renouveler la couche de roulement. Le caractère spécifique à la traverse d'agglomération est que l'on cherchera souvent à obtenir une durabilité améliorée (car on cherchera à espacer le plus possible les travaux en agglomération du fait des nuisances qu'ils apportent) alors que les sollicitations sont particulièrement sévères pour la stabilité des couches de roulement (en particulier aux carrefours avec feux) ;
- il y a des problèmes de structure.

Le renforcement ou rechargement en forte épaisseur qui serait nécessaire n'est pas possible du fait de la présence des seuils. La seule solution équivalente serait la reconstruction complète d'une chaussée neuve après décaissement de l'ancienne, mais on hésitera à y recourir à cause des difficultés d'exécution, dues notamment à la présence des réseaux divers enterrés dans la chaussée. Il y aurait donc place pour un matériau de rechargement permettant un effet de renforcement relativement durable (moins cependant qu'un renforcement normal) pour une épaisseur assez faible d'environ 8 cm (après un rabotage si nécessaire, une telle épaisseur est en général compatible avec le maintien des seuils existants).

On a récemment cherché la solution à ces problèmes spécifiques par l'emploi d'enrobés à liants spéciaux, constitués d'associations liants hydrocarbonés polymères ; exceptionnellement, le même résultat a été recherché par l'emploi de fines d'apport spéciales.

Les liants spéciaux sont soit à base de brai de houille modifié par addition de polychlorure de vinyle, soit à base de bitume modifié par des copolymères divers : styrène-butadiène ou éthylène-acétate de vinyle, sont les plus employés.

L'effet de l'emploi de ces liants sur les propriétés des enrobés est avant

tout une amélioration de la stabilité à haute température et pour les longs temps de charge ; une amélioration des déformations admissibles en fatigue est également obtenue en général, mais en moindre proportion.

Ces liants ont donné naissance à des procédés spéciaux d'entreprises ; il s'agit soit d'enrobés en couche mince de types déjà signalés, ou d'enrobés ouverts drainants, destinés aux cas où seuls des problèmes de surface sont posés, soit d'enrobés en épaisseur normale lorsqu'on veut résoudre des problèmes de structure. Ces procédés spéciaux sont très nombreux, car chaque grande entreprise a le sien, avec de multiples variantes (selon la nature du bitume de base, la proportion de polymère, la formule granulométrique de l'enrobé) ; dans les cas les plus défavorables, la nature de l'additif varie d'une année sur l'autre.

Il est très difficile aux maîtres d'œuvre d'être suffisamment informés sur ces multiples produits, et d'être en mesure de contrôler la nature exacte

de celui qui leur est livré. Le L.C.P.C. a entrepris des études coûteuses pour se faire une opinion sur chacun d'eux, ce qui ne peut être fait sans détermination du module complexe, de la résistance à l'ornièrage, à la traction, et à la fatigue des enrobés obtenus, ni sans relevé des observations faites sur les chantiers. Ce travail est cependant indispensable car le coût de ces enrobés spéciaux est très élevé, et il faut vérifier qu'il est en rapport avec les avantages apportés par rapport aux mêmes enrobés formulés avec des bitumes purs.

Conclusion

Nous espérons avoir montré que les nombreuses innovations de ces dernières années dans le domaine des matériaux de chaussées ne sont pas le résultat d'une imagination débridée ou de la fantaisie des ingénieurs routiers, mais qu'elles correspon-

daient à des besoins, qu'elles traduisaient la multiplicité et l'évolution rapide des besoins, ainsi que la recherche du coût le plus faible des travaux par la valorisation la plus complète possible des ressources locales. Il n'y a pas d'indication que cette évolution des besoins, donc des techniques, doive s'arrêter dans l'avenir.

Nous avons voulu montrer également que ces innovations n'ont été rendues possibles que grâce à un effort de recherche important, s'appuyant sur les progrès des moyens d'étude des matériaux de chaussées en laboratoire et sur chantier.

Enfin, nous avons voulu souligner que cet effort d'innovation associait l'administration et les diverses branches de la profession.

SOPER

SOCIETE DE POSE D'EQUIPEMENT ROUTIER

VENTE ET POSE DE GLISSIERES DE SECURITE
Fabrication SAFIM (acier USINOR)



Siège social et Direction Commerciale
Route de Dampierre
78320 Le Mesnil-Saint-Denis
Tél. 461.11.75 - Télex 696057 F



la phase pré-industrielle des enduits préformés

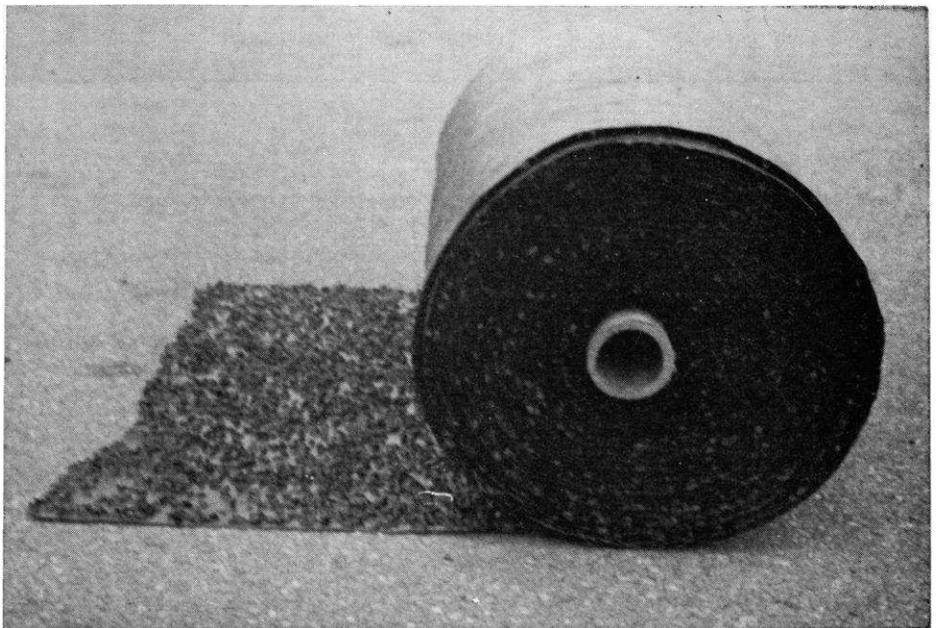
par P. BENSE

Ingénieur au laboratoire des Ponts et Chaussées de Nancy.

La réalisation en place des enduits superficiels impose à cette technique des aléas qui remettent souvent en question, immédiatement ou dans le temps, les qualités recherchées.

L'état de surface (fissures, ressuage, etc...), l'assujettissement aux conditions atmosphériques du moment, la grande importance des différents dosages par ailleurs délicats à assurer suivant les déformations en long et en travers du support rendent l'enduit superficiel difficile à réussir parfaitement.

La fabrication en usine d'enduits préfabriqués, réalisés dans des conditions sûres, régulières et contrôlées permet de s'affranchir de certains inconvénients de la technique classique. Les conditions inhérentes au procédé ont remis en question la totalité des produits, matériels et méthodes de la technique traditionnelle des enduits superficiels. C'est pourquoi, il a fallu 6 ans au Laboratoire de Nancy pour mettre au point et breveter un ensemble de produits, méthodes et matériels nouveaux conduisant à un procédé original appelé « enduits préformés » ou plus couramment « moquette routière » (1) (3) (4) (5).



1. - Rouleau d'enduit préformé.

Définition

Le principe des enduits préformés consiste à préfabriquer en usine un revêtement de sol rugueux, stockable à apparence d'enduit superficiel et destiné à la circulation directe des véhicules.

Cette moquette routière, de par le principe du stockage en rouleaux, nécessite d'être préparée à partir d'un matériau stable, à la fois souple et solide. C'est une matière plastique, assouplie par des plastifiants de synthèse, des huiles de houille et de pétrole, qui sert de support mince, la feuille à aspect et consistance de

caoutchouc étant incrustée de gravillons.

La mise en œuvre, largement inspirée de la pose des revêtements de sol de bâtiments, consiste à fixer le revêtement sur le support soit par collage, soit par clouage.

Une fois mis en place, ce revêtement, mince et léger, a un aspect pratiquement identique à celui d'un enduit classique.

L'utilisation des matières plastiques permettrait, compte tenu de leurs qualités mécaniques et physiques, de définir quatre grands types d'enduits préformés (tableaux 1 et 2).

On remarquera que le type DG ne demande aucun collage sur le support contrairement aux autres types.

Structure

Tableau 1 :

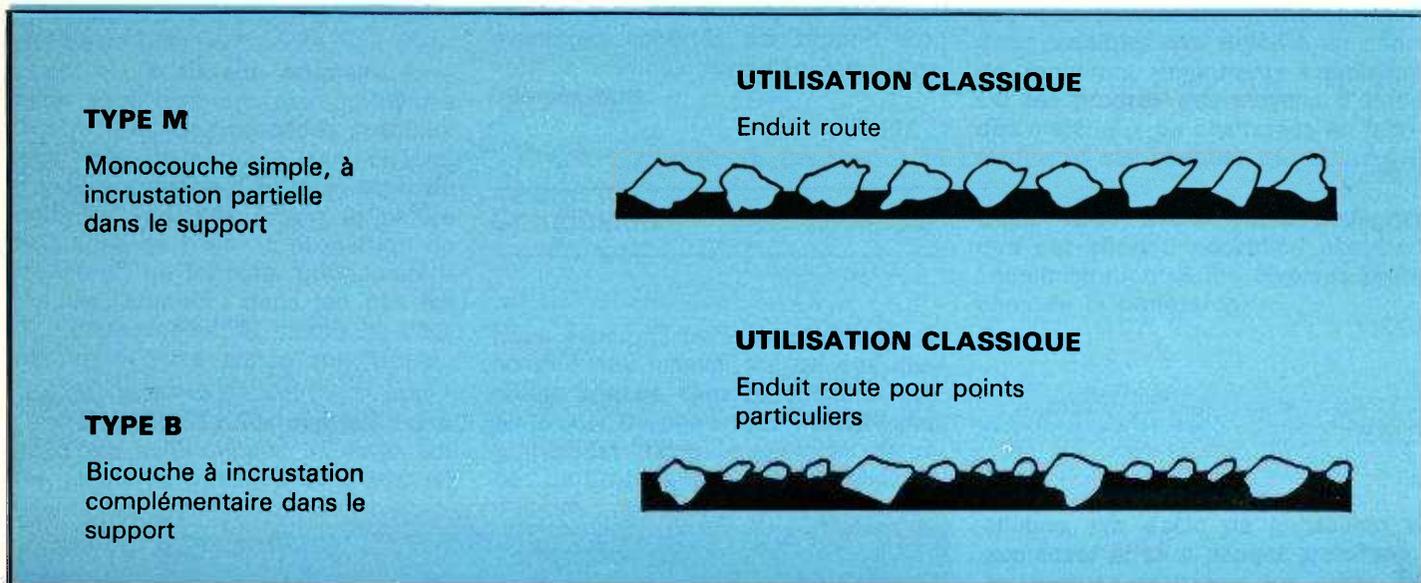
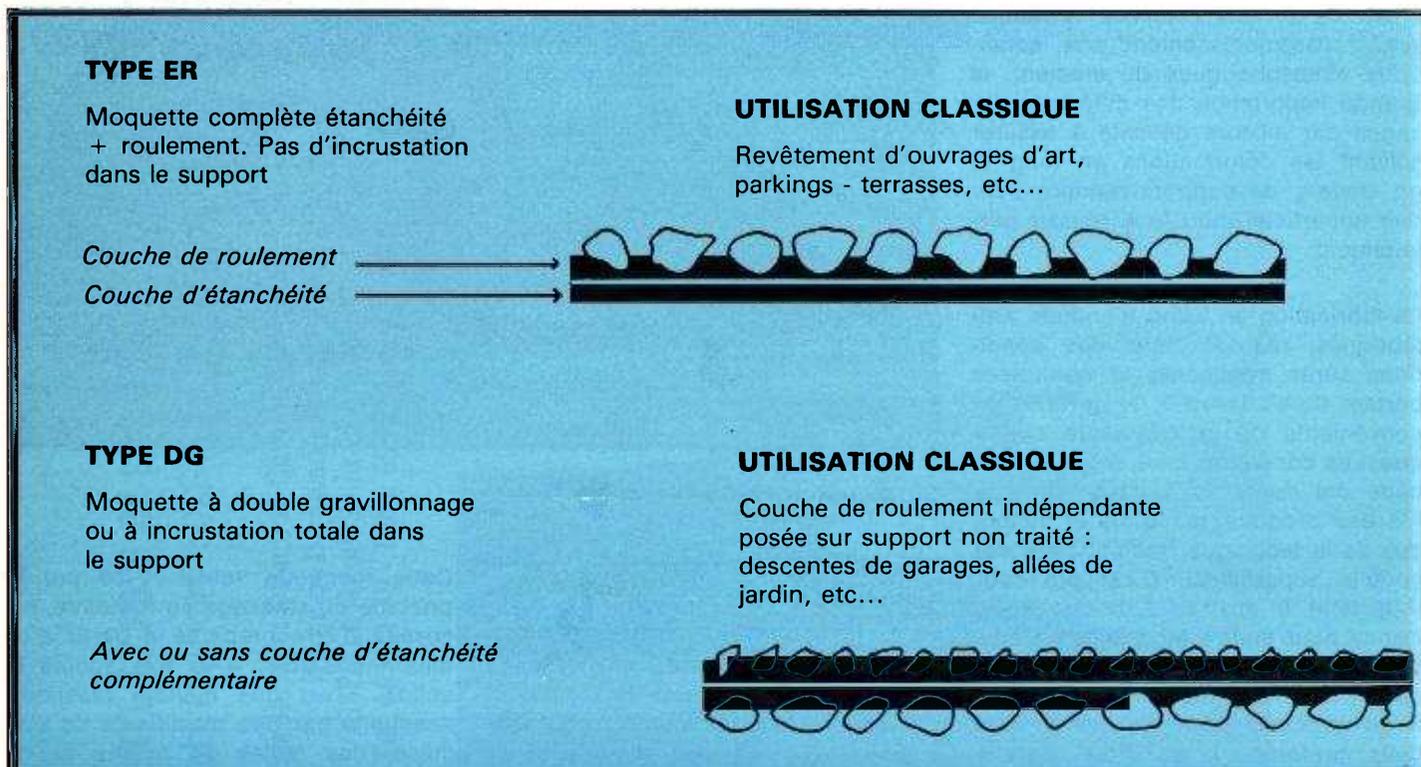


Tableau 2 :



Nota : Ce système est préparé par contre-collage de 2 monocouches simples.

On remarquera également que c'est le type ER qui demande le plus de soin au niveau du collage, car il n'y a aucun complément mécanique de maintien : la qualité de la colle et le soin apporté à la mise en œuvre sont ici essentiels.

En fait, seules les grandes familles M (monocouches) et ER (étanchéité + roulement), sont fabriquées, les deux types : B (bicouches) et DG (double gravillonnage), n'étant que des hybrides ou des assemblages des deux autres : actuellement, soit on se contente de fabriquer un revêtement essentiellement rugueux, soit on va au-delà en formulant une couche de roulement aux qualités plus complètes comportant à la fois une étanchéité stable et une rugosité durable et ceci pratiquement quels que soient le trafic et le support.

On définit ainsi les deux grandes classes de moquette routière disponibles dès maintenant :

- Le simple enduit superficiel (en matière plastique), feuille monocouche souple et solide, incrustée de gravillons et réduite au niveau de la fabrication aux seuls types actuellement baptisés EP 5 (gravillons 10/14) et EP 7 (gravillons 8/10).
- Le revêtement complet à 2 couches et 2 fonctions (complexe étanchéité + roulement) comprenant une étanchéité non poinçonnable en une feuille de 1,5 mm d'épaisseur doublée d'un liant plastique incrusté de gravillons durs et parfaitement fixés, qui sert de couche de roulement à forte rugosité.

Au niveau de la production et selon :

- la granularité souhaitée
- le type de trafic et son importance
- l'application envisagée,

on fabrique cinq qualités différentes :

- EP 1 avec gravillons 2/4 pour étancher les fissures de chaussées dans les zones non circulées ;
- EP 2 avec gravillons 4/6 pour passerelles piétons ou pour ponter les fissures de chaussées dans les zones circulées ;
- EP 3 avec gravillons 6/8 comme revêtement pour les trafics de

véhicules légers ;

- EP 4 avec gravillons 8/10 comme revêtement pour tout trafic routier ;
- FP 6 avec gravillons 14/16 comme bandes sonores de ralentissement.

Contrairement à l'enduit superficiel classique, le gravillonnage est effectué, non pas par excès mais par défaut, ce qui d'une part, garantit un meilleur drainage des eaux par temps de pluie et d'autre part, permet un enroulement facile du revêtement dont c'est la méthode de stockage.

Afin d'avoir une liaison solide entre le liant plastique et les granulats, ceux-ci sont pré-enrobés à froid avec une résine époxy spéciale (résine incolore utilisée à raison de 1 % en poids).

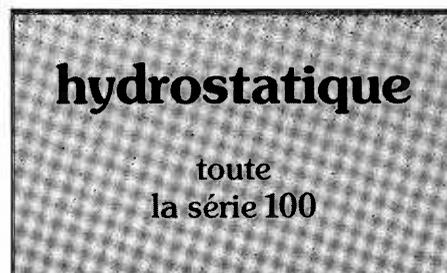
Méthode de fabrication

Comme cela a été signalé au début de cet article, la fabrication des enduits préformés est faite en usine dans des conditions bien définies. En fin de chaîne, l'enduit se trouve sous sa forme définitive et il ne reste plus qu'à le fixer sur le support (2).

Dans le cas de la fabrication d'un revêtement complet étanchéité + roulement, les différentes opérations tout le long de la bande transporteuse en tissu siliconé, sont les suivantes :

- première enduction en 1,5 mm d'épaisseur du liant plastique fluide,
- deuxième enduction de liant plastique,
- gravillonnage avec des agrégats pré-enrobés par ailleurs,
- cuisson complète,
- refroidissement à l'air,
- découpage tous les 10-20 ou 40 mètres,
- bobinage puis enlèvement et stockage.

On peut voir sur la photo 2, une vue générale de l'installation pilote de fabrication qui a fait l'objet d'un contrat liant les Ministères de l'Industrie,



BARBER - GREENE

une expérience
de 10 ans

•
sur pneus
SB 111 - SB 131
SB 140 - SB 170

sur chenilles
SA 144 - SA 150 - SA 190
tous les finisseurs modernes
sont hydrostatiques



STIME
5, Avenue Montlignin 75004 Paris
Tél. 20.51.84 (20 lignes) télex 650004

de l'Équipement et la Société Gerland dans le cadre d'une aide au développement accordée en 1976 (6).

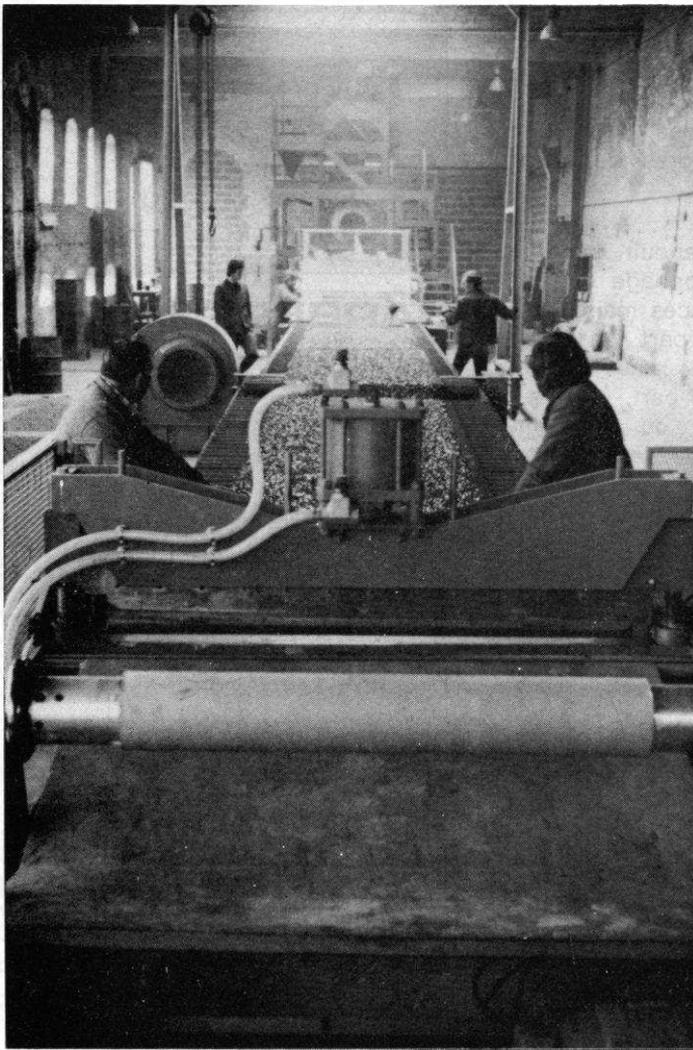
Cette machine pilote, d'une longueur totale de 25 mètres environ, fonctionne depuis le printemps de 1978. Selon les produits et les applications, les bandes, dont la largeur varie de 30 à 110 cm, sont livrées en longueur de 10 - 20 ou 40 mètres.

Méthode de mise en œuvre

La fixation sur le support est le plus souvent effectuée par collage avec des produits spéciaux à base de bitume qui nécessitent donc une fusion.

La mise en œuvre comprend ainsi, outre les éventuelles préparations de support (balayage, grattage ou sablage selon la nature et l'état du sujet) :

- un répandage de colle sur la surface à traiter à l'aide du répandeur de colle (photo 3) ;



2. - L'Installation pilote de fabrication des enduits préformés.

la pose de l'enduit préformé proprement dite, qui comprend une refusion de la colle puis immédiatement le déroulement de la moquette avec un léger pressage assurant un contact intime avec la colle fondue et empêchant les éventuelles occlusions d'air. Ces trois opérations sont faites quasi simultanément par le même engin ; poseur de moquette (photo 4) ou miniposeur, tous engins définis et construits par l'atelier de constructions de prototypes de Rouen (7).

Propriétés

En aucun cas, bien entendu, on ne peut considérer les enduits préfor-

més comme un aboutissement ultime en matière de couches de surface.

Si ce type de revêtements présente effectivement de bonnes qualités, dont certaines sont nouvelles, ces caractéristiques entraînent par ailleurs des exigences nouvelles.

Pour résumer et comme on va le voir, il s'agit d'un **bon revêtement** s'il est **bien appliqué**, sur un **bon support**.

Régularité

Préfabriqué en usine, dans les mêmes conditions et avec soin, le revêtement doit avoir les qualités et caractéristiques, connues, constantes et garanties (épaisseur des différentes couches, taux et nature des gravillons, souplesse, résistance mécanique, propreté, etc., figurant au cahier des charges fourni par l'Administration.

Forte rugosité mais absence de bris de pare-brise

Comme expliqué précédemment, des espaces sont ménagés entre les gravillons, ce qui assure une bonne drainabilité des eaux de surface situant la moquette au-dessus des enduits superficiels (5).

Ses aspérités sont fortes et paraissent même agressives. Par exemple, la moquette XP 4 en gravillons 8/10



3. - Répandage de la colle bitumeuse.

a une rugosité mesurée par la hauteur au sable, de 3,5 à 4 mm. A titre de comparaison, un enduit 5/10 se situe au niveau 2,5 - 3 et un enrobé 0/10 au niveau 0,5 - 1. Cette haute rugosité procure aux enduits préformés l'excellent CFL des enduits neufs (0,50 à 120 km/h).

Mais il n'y a aucun excédent de gravillons à rejeter après la mise en œuvre pour les simples raisons que :

- 1°) la couverture de gravillons est incomplète,
- 2°) la liaison liant-granulat est excellente de par le pré-enrobage à la résine époxy,
- 3°) en fin de chaîne, les quelques gravillons roulants qui peuvent exister sont éliminés par brosseage.
- 4°) enfin en ce qui concerne l'arrachement des gravillons dans le temps sous l'effet du trafic, les valeurs obtenues sont toujours excellentes lorsque le revêtement est bien fabriqué. A titre indicatif, la perte de gravillons reste inférieure, dans les bandes de roulement, à 1 % par million de véhicules ayant circulé sur la voie, base d'appréciation qui devrait devenir contractuelle.

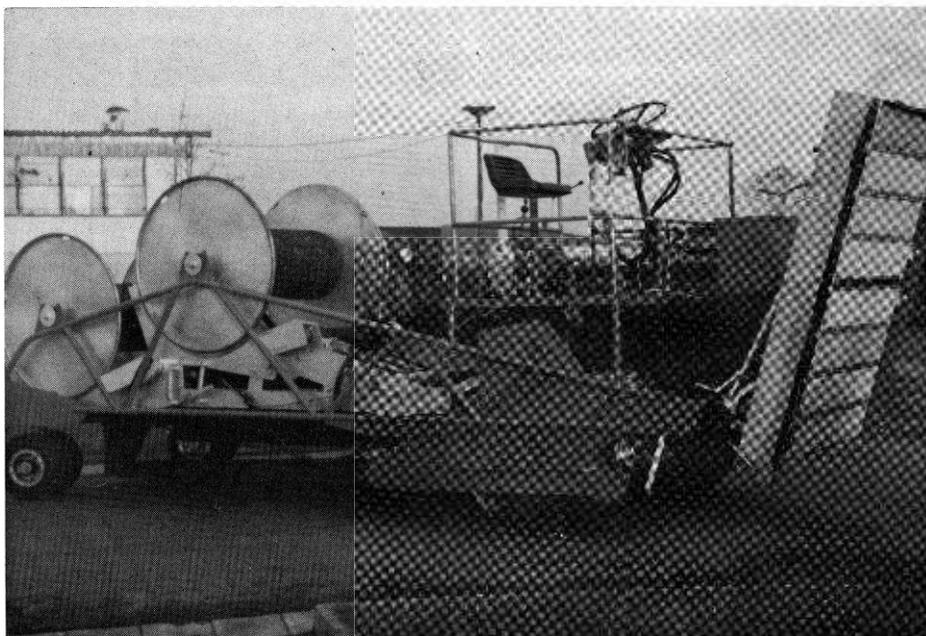
Etanchéité

Selon la texture du revêtement, l'étanchéité est double ou triple :

- celle de la couche gravillonnée,
- celle de la couche dite d'étanchéité dans les types E + R,
- celle de la couche de colle.

A titre d'expérience on s'aperçoit qu'après 1 an et demi de trafic (6 millions de véhicules sur une voie, dont à peu près un million de poids lourds) :

- la seule couche gravillonnée est imperméable à 96 % environ (4 % de granulats manquants) ;
- l'ensemble couche gravillonnée + couche étanchéité remplit son rôle à 99 % environ (1 % des granulats, probablement posés sur une arête vive, arrive à poinçonner la couche dite d'étanchéité) ;



4. - Le poseur de moquette construit par le CECP de Rouen.

- l'ensemble avec la colle est étanche à 100 % ou quasiment, la colle bitumineuse malléable, enfermée sous la moquette venant, d'elle-même, colmater l'orifice sous la pression des pneumatiques.

Résistance aux pneus à crampons

Comme l'ont montré des essais routiers réels et simulés (manège de Pont-à-Mousson) (5), la résistance aux pneus à crampons est bonne pour trois raisons :

- un liant plastique peu fragile au froid,
- une bonne liaison liant granulat,
- un granulat résistant bien à l'usure et à la fragmentation (basalte andésitique de Raon l'Etape dit « Trapp »).

Par contre, et bien entendu, on ne peut empêcher une certaine usure du gravillon malgré un choix poussé de la roche et lorsque la circulation cloutée est abondante, les granulats (calibre 8/10) arrivent à être usés en quasi totalité en trois hivers, ce qui est considérable.

Confort

Malgré sa forte rugosité et du fait de sa semelle en élastomère (couche d'étanchéité), la moquette routière reste un revêtement confortable y

compris pour des chaussures, ce qui justifie les qualités EP 2 et EP 3 pour passerelles piétons et sols industriels dans les industries ou les accidents du travail par glissades sont fréquents.

2,50 m

le SA 144
le SB 131, le SB 140

BARBER - GREENE

**une hydrostatique
basée sur une expérience
de 10 ans**

- des screeds adaptés à vos besoins particuliers
- tous les finisseurs modernes sont hydrostatiques



STIME

5, avenue montagne 75008 Paris
tél. 261 51 84 (20 lignes) télex 650004

Un autre aspect du confort réside, pour la même raison, dans le fait que les enduits préformés arrivent à atténuer le bruit du platelage en bois des ponts Bailey dont les madriers restent toujours battants malgré les serrages périodiques. A elle seule, cette particularité en justifie quelquefois l'emploi en zone urbaine.

Période de mise en œuvre

Les enduits préformés, tels qu'ils sortent de l'usine, constituent une couche de roulement définitive qui une fois fixée sur la chaussée est immédiatement circulaire (photo 5). Aucun séchage, compactage n'est nécessaire et d'autre part le choix d'une colle bitumineuse thermofusible, ramollie devant le rouleau par une voûte chauffante, permet de s'affranchir en partie des conditions atmosphériques du moment (surtout du froid).

La période de mise en œuvre de ce type d'enduit déborde assez largement celle des enduits classiques et **en principe**, la moquette peut être **posée presque toute l'année sur support sec**.

De toutes les applications réalisées à ce jour, certaines ont été faites en décembre ou janvier par des températures inférieures à 0° C mais sur support sec.

Autre avantage non négligeable : la possibilité d'interrompre les travaux « à la demande » sans inconvénient majeur pour les usagers puisque la bande qui vient d'être collée est **immédiatement circulaire** et que, étant très mince (moins d'un centimètre), elle n'est pas dangereuse, même pour les deux roues.

Soins de mise en œuvre – Etat du support

Après avoir passé en revue quelques avantages, on aborde maintenant les inconvénients ou plutôt les exigences de la technique des enduits préformés.

La moquette routière étant une structure mince et collée, elle exige en effet :

- **Un support solide et en bon état** (pas de faïençage, de morceaux décollés, pas de support manquant de cohésion), car il est bien évident que ce n'est pas une mince feuille plastique, quelle que soit sa solidité, qui peut maintenir, à elle seule, un support délabré.
- **Une surface sèche et propre** car la colle bitumineuse est assez visqueuse et ne peut agglomérer les poussières. De la même façon, une surface humide refusera l'adhésion de la colle. Ce rappel de précautions élé-

mentaires ne constitue pas une véritable nouveauté et tout le monde sait, quelle que soit la colle utilisée, que l'on ne peut pas, de façon générale, assembler deux pièces poussiéreuses ou humides et que même les simples peintures ou papiers peints, qui pourtant ne reçoivent pas de contraintes, demandent des supports préparés, solides, propres et secs.

- **Une colle spéciale** à base de bitumes oxydés, très durs, améliorés par des polymères apportant un peu de cohésion, une meilleure adhésivité, et atténuant la fragilité à basse température.

Cette colle, avant l'application du rouleau doit être *parfaitement refluïdifiée* par chauffage, *condition indispensable* à l'adhésion du support sans que, bien entendu, on aille jusqu'au brûlage ou à la dégradation du produit car les qualités mécaniques de la colle sont essentielles pour résister au trafic et surtout au freinage des poids lourds par temps chaud. C'est d'ailleurs pourquoi il faut utiliser des bitumes spéciaux, très durs et peu susceptibles à la température, pour éviter le glissement ou le plissage du revêtement à l'occasion de l'application de ces efforts.

- **Beaucoup de soin à la mise en œuvre**, en répandant assez de colle, ni trop ni trop peu, en ayant soin de ne pas enfermer d'air sous le revêtement et en surveillant la fermeture correcte des joints entre les bandes. Celles-ci, d'ailleurs, comme les feuilles préfabriquées pour toiture, se chevauchent, par l'intermédiaire d'une partie non gravillonnée de 5 cm de largeur, pour assurer une étanchéité continue.

5. - Derrière le poseur de moquette on peut marcher et circuler sans danger.

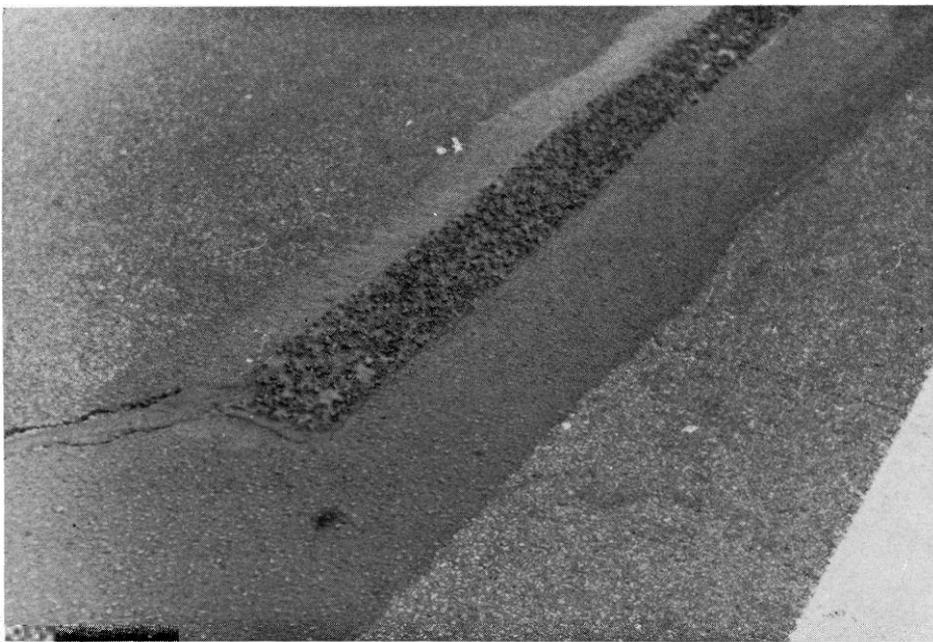


Essais, réalisations et applications possibles

On ne dressera pas ici une liste exhaustive mais seulement quelques réalisations types permettant d'apprécier les services que peut rendre une telle technique.

Qualités EP 1 et EP 2

- **Produits de réparation pour chaussées :**



6. - L'enduit EP2 recouvre de façon durable la fissuration des couches de roulement.

La photo 6 montre les essais effectués sur une autoroute dont la chaussée présentait de nombreuses fissures longitudinales (pontage par des bandes de moquette EP 2 de 30 cm de largeur).

D'autres essais sont prévus pour le pontage de la fissuration des bandes d'arrêt d'urgence des chaussées en béton.

On pourrait également envisager le principe de « rustines pré-encollées » pour protéger les emplois partiels frais d'un arrachement trop rapide.

- *Revêtement pour passerelles ou passages piétons (en version de couleur blanche) et sols industriels anti-glissades :*

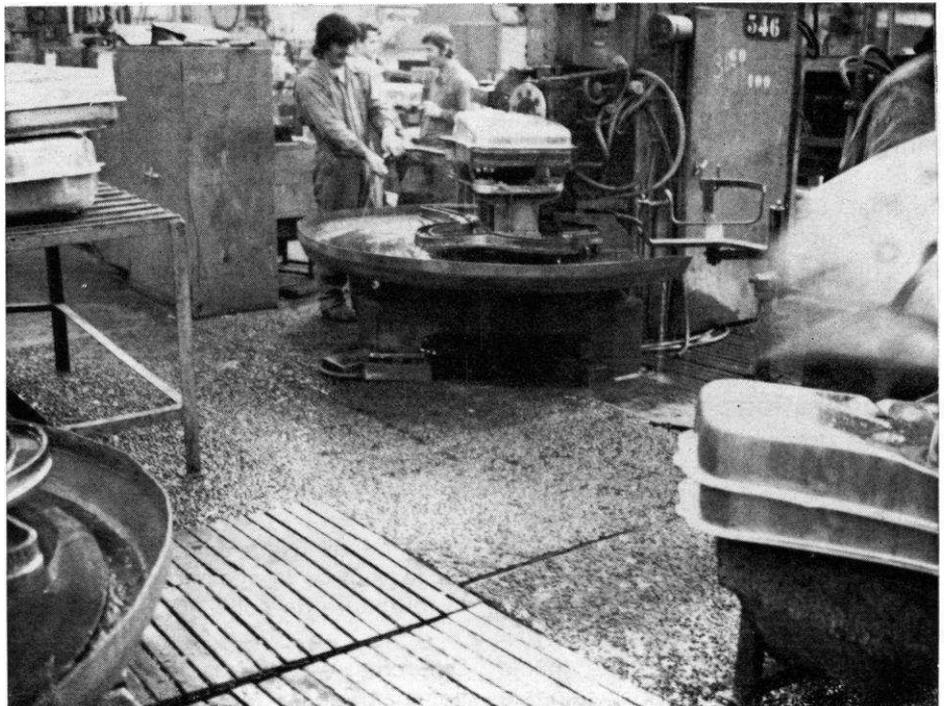
Deux passerelles sont en cours de réalisation et des essais pour passages piétons sont prévus.

Sur la photo 7, on peut voir un poste de travail aux abords glissants et traités en enduit préformé, collé ou cloué sur les caillebotis de bois qui sert de plancher drainant.

Qualité EP 3

- *Couche de roulement pour ouvrages supportant une circulation en majorité de véhicules légers.*

Trois ouvrages ont été réalisés en totalité en 1978 (1 pont Bailey, 1 pont neuf en béton, 1 pont levant à plate-lage bois) ainsi que plusieurs essais. D'assez nombreux ouvrages sont prévus pour les prochains mois dont plusieurs ponts Bailey, car il faut bien reconnaître que la moquette est un des rares revêtements qui donne des résultats satisfaisants sur les platelages en bois.



7. - Aménagement d'un poste de travail en enduit préformé.

sur
chenilles

le SA 150

BARBER - GREENE

la machine de ce type
la plus vendue dans le monde

le SA 144

un 2,50 m puissant
adapté à tous les travaux

•
des screeds adaptés à
vos besoins particuliers

•
tous les finisseurs modernes
sont hydrostatiques



STIME

5, avenue montaigne 75008 paris
tél. 261 51.84 (20 lignes) télex 650004

- *Revêtement antidérapant pour planchers de véhicules et wagons :*
Plusieurs véhicules ont été équipés dont des bétailières et des wagons de transport d'automobiles.

Qualité EP 4

- *Revêtement pour tout trafic :*

Une dizaine d'ouvrages ont été traités en 1978 soit complètement, soit partiellement, dont 5 viaducs métalliques et plusieurs ouvrages en béton, soit neufs, soit anciens.

Qualité EP 5

- *Enduit rugueux pour trafic routier :*

La photo 9 montre une application ou la rugosité du revêtement et la facilité de mise en œuvre sont surtout recherchées ; ici, les passages à niveau en bois, glissants par temps de pluie.

D'autres essais sont envisagés pour les prochains mois pour mini-souterrains, certains virages, bandes de roulement, ressuantes ou rongées par les pneus à crampons par suite d'un trafic très canalisé.

Qualité EP 6

- *Bandes sonores de ralentissement des vitesses :*

Ici, c'est la facilité de mise en œuvre et l'absence de gravillons roulants qui font souvent retenir la moquette EP 6 à gros gravillons (14/16) pour alerter les usagers, qu'une zone dangereuse, si elle est abordée à grande vitesse, est proche. Le dispositif utilisé comporte onze bandes transversales provoquant un signal sonore particulier.

Au total, une trentaine de dispositifs ont été implantés un peu partout sur le territoire.



8. - 1 200 m² d'EP4 sur un ouvrage en béton à couche de roulement fissurée.



9. - Enduit rugueux sur un passage à niveau.

Considérations économiques

Actuellement (novembre 1978), les 6 types d'enduits préformés, définis au cahier des charges de l'Administration, sont fabriqués expérimentalement par la Société GERLAND ETANCHEITE et vendus par cette même Société à un prix compris, selon le type, entre 15 et 41 F H.T. le mètre

carré, départ usine, auquel il faut ajouter le coût de la mise en œuvre et de la fourniture de colle.

Différents organismes, Services des administrations ou entreprises ont effectué des applications cette année;

s'il est encore trop tôt pour citer des chiffres précis, il est bon de connaître l'ordre de grandeur du coût de la technique « tout compris » :

Selon le type de moquette, la surface à traiter, les particularités de mise en

œuvre et le matériel utilisé, le revêtement coûte actuellement entre 35 et 80 F H.T. le mètre carré posé.

De tels prix laissent ce revêtement dans la gamme des produits routiers de luxe ce qui justifie à double titre son appellation de moquette...

On peut toutefois espérer que par le double jeu du développement industriel dépassant le stade pilote et de l'expérience de la mise en œuvre, les coûts baisseront rapidement et de manière significative.

Conclusion

Après 6 années de définition, d'études, de mise au point et d'essais pilotes, la technique des enduits préformés aborde aujourd'hui son développement pré-industriel puisque, à la fois une première petite unité de fabrication fonctionne et que de nombreux chantiers viennent d'être réali-

sés sur une surface totale de 10 000 m² environ.

La plus grande originalité du procédé réside, sans aucun doute, dans la préfabrication du revêtement qui a, par ailleurs, les trois qualités essentielles d'une couche de roulement :

- ● rugosité,
- * ● étanchéité,
- ⊕ ● durabilité.

Si ces différentes qualités ouvrent quelques perspectives en technique routière, des applications sont possibles dans le génie civil en général, d'après l'image que l'on peut en garder à l'esprit : celle d'un « revêtement antidérapant stockable et vendu au mètre ».

Bien entendu, ces débouchés sont conditionnés par le prix du produit, qui reste actuellement très élevé, du moins pour ce qui concerne la construction routière mais on peut espérer que par la baisse des coûts, cette technique, qui est un des « enfants des Ponts et Chaussées », s'avérera une des réalités de demain.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 — **P. Bense** : Revêtements de chaussées en couches d'enduits préformés R.G.R.A. 488 — juin 1973 — pages 69-76.
- 2 — **P. Bense** : Quelques résultats complémentaires concernant les enduits préformés. R.G.R.A. 493 — page 90 — décembre 1973.
- 3 — **P. Bense** : Les enduits préformés. C.R. de recherche — Laboratoire de Nancy — janvier 1974.
- 4 — Journées d'informations « enduits superficiels » — Lille — Cas particulier des enduits préformés. Vol. 1 — pages 87-90. Vol. 2 — pages 39-47 — novembre 1974.
- 5 — **P. Bense** : Les enduits préformés. Bulletin de Liaison supplémentaire au n° 80 — pages 25-35 — novembre-décembre 1975.
- 6 — **P. Bense** : La phase pilote des enduits préformés. Bulletin de Liaison n° 84 — pages 7-21 — juillet-août 1976.
- 7 — **D. Bisson - J.-P. Delmulle** : Les poseurs d'enduits préformés. Bulletin de Liaison n° 84 — pages 22-24 — juillet-août 1976.

ingeroute

49, rue Rouelle
75739 PARIS CEDEX 15
Tél. : 577.66.65

Agences à :

AIX - BORDEAUX - PARIS
RENNES - MONTPELLIER - NANCY

COMPÉTENCES ROUTIÈRES ET AÉROPORTUAIRES

Etudes de routes, autoroutes et voirie urbaine.
Etudes techniques d'ouvrages.
Etudes de faisabilité.
Etudes de circulation.
Contrôle de travaux.
Organisation des services routiers.
Etudes techniques d'aérodromes.

RÉFÉRENCES EN FRANCE :

Services de l'Équipement dans plus de 60 départements, villes nouvelles et municipalités.

RÉFÉRENCES A L'ÉTRANGER :

Arabie Saoudite - Brésil - Cameroun
Colombie - Côte d'Ivoire - Corée
Espagne - Ghana - Grèce - Haïti
Indonésie - Irak - Iran - Mexique
Nigéria - Polynésie - Tanzanie
Uruguay - Yémen.

sur pneus

le SB 111 - le SB 131
le SB 140 - le SB 170

BARBER - GREENE

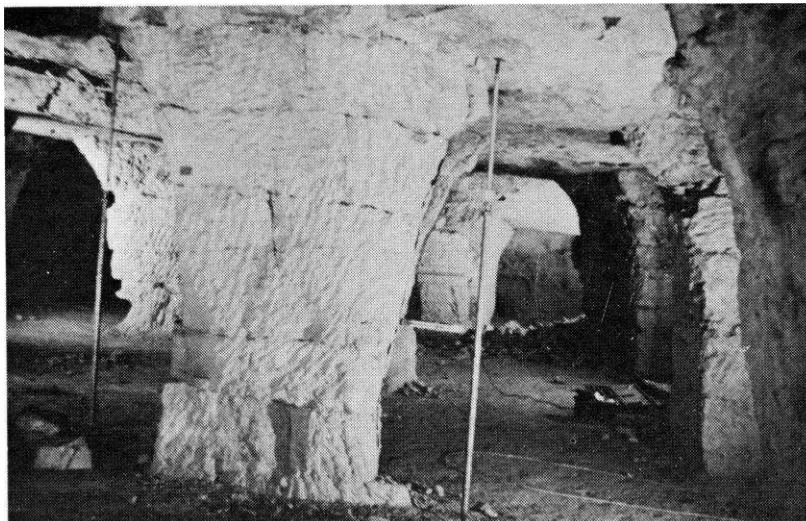
une hydrostatique
basée sur une expérience
de 10 ans
et la fiabilité
correspondante

•
tous les finisseurs modernes
sont hydrostatiques



STIME
5 avenue Montaigne 75008 Paris
tel. 261.51.84 (20 lignes) telex 650004

LES TERRAINS SONT CONTRE VOUS ? CERCHAR - INDUSTRIE EST AVEC VOUS



pour MIEUX CONNAITRE LE TERRAIN

pétrographie, stratigraphie, structure, propriétés mécaniques et physico-chimiques des roches ;

pour ETUDIER LA STABILITE D'UN OUVRAGE SOUTERRAIN

mesures des contraintes, des déformations, calculs par modèles mathématiques, étude des facteurs d'instabilité ;

pour DEFINIR UN SOUTÈNEMENT ADAPTE

cintres, boulons, béton projeté, soutènements mixtes ;

pour DEFINIR LE TYPE DE CONFORTEMENT EVENTUELLEMENT NECESSAIRE

boulonnage, brochage, injection, cerclage de piliers, comblement partiel, remblayage ;

pour SURVEILLER LE SITE

contrôle manuel, automatique, choix de la méthode de surveillance, choix des critères d'alarme ;

CONSULTEZ :



CERCHAR-INDUSTRIE

SERVICE COMMERCIAL

Laboratoires de Verneuil-en-Halatte

B.P. 2 - 60550 VERNEUIL-EN-HALATTE

Tél. (4) 455-35-00

Télex : 140094 F CERCHAR VERNH

les géotextiles

par E. LEFLAIVE

Ingénieur des Arts et Manufactures

Chargé de Mission, Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

Le terme de géotextile désigne les étoffes utilisées dans le domaine de la géotechnique et, par extension, dans d'autres domaines du génie civil proches de la géotechnique. Dans la terminologie textile, le terme d'étoffe est un terme très général qui désigne une nappe continue constituée de fibres textiles. Comme on le verra plus loin dans cet article on trouve dès le stade d'une telle définition très générale les deux facteurs essentiels qui font l'intérêt des géotextiles : la continuité et la constitution fibreuse.

L'histoire des techniques nous donne de nombreux exemples de l'emploi de matériaux naturels fibreux, essentiellement végétaux, dans la construction : briques de terre crue armée de paille, lits de roseaux intercalés dans les ouvrages en terre, fascines placées à la base des digues, fibres végétales placées autour des drains agricoles pour y jouer le rôle de filtre, etc... Ces techniques sont extrêmement anciennes et, sauf le dernier cas cité, sont pratiquement tombées en désuétude dans les pays développés. On peut trouver différentes causes à cette évolution : coût de la main-d'œuvre, risque de putrescibilité, approvisionnement difficile ou non fiable, impression démodée que donnent des techniques anciennes et empiriques, etc... Cependant, ces techniques n'étaient pas sans raison d'être et le développement actuel des géotextiles constitués de fibres chimiques le prouve.

Au cours des années 60, différentes tentatives d'emploi de textiles tissés synthétiques ont été faites ; la plupart d'entre elles n'ont pas abouti, soit par suite de conditions techniques défavorables, soit plus généra-



Géotextile utilisé à la base de la couche de forme d'une autoroute.

lement en raison du prix relativement élevé des textiles utilisés ; on pensait en effet qu'il était important d'avoir un matériau très résistant et le coût au mètre carré d'une solide toile de nylon était rédhibitoire pour la plupart des applications envisagées. Il faut citer cependant deux exceptions : aux Etats-Unis des textiles tissés ont été utilisés comme filtre dans des ouvrages hydrauliques, essentiellement en protection de berge, et aux Pays-Bas des tissus de nylon très résistants ont été associés aux techniques traditionnelles de fascinage pour la protection des berges et des fonds qu'impliquent les immenses travaux hydrauliques entrepris dans ce pays.

Dans les deux cas, il s'agissait d'applications très spécifiques pour lesquelles l'emploi de matériaux d'un

certain prix était justifié ; mais ces applications sont cependant restées limitées. C'est alors qu'est apparu en France, vers 1970, l'emploi des non-tissés. Les non-tissés sont des nappes de fibres assemblées en désordre liées par enchevêtrement ou par des procédés thermiques ou chimiques.

Il existe différentes techniques de fabrication, qui ont l'avantage d'une grande productivité et conduisent par conséquent à des coûts de production peu élevés. Les non-tissés les plus utilisés ont des masses surfaciques de 150 à 400 g/m², ce qui correspond à des épaisseurs de 1 à 2 mm. Les fibres sont le plus souvent en polyester ou en polypropylène, les polyamides et polyéthylènes étant également utilisés. Les non-tissés peuvent être remarquable-

ment résistants à la déchirure et sont en général très perméables ; par rapport aux tissés, ils s'allongent davantage sous l'effet d'un effort de traction et ont une moins grande résistance à la rupture pour un même poids ; leur comportement mécanique est approximativement isotrope.

Tout en lisant ces lignes, le lecteur se demande peut-être quelle est la relation entre les géotextiles et la route, thème de ce numéro. Le lien est qu'en fait le développement des non-tissés, à partir de 1970, a eu son origine dans la collaboration de la Société Rhône-Poulenc et des Laboratoires des Ponts et Chaussées pour les applications de terrassement et de drainage routier. Cette collaboration s'est ensuite élargie au fur et à mesure que des partenaires nouveaux s'intéressaient aux géotextiles, que cela soit du côté de l'industrie textile ou du côté du génie civil.

A l'heure actuelle, bien que les géotextiles voient leur champ d'application se diversifier de jour en jour, les applications dans les travaux routiers correspondent encore à plus de la moitié des quantités utilisées ; ces quantités deviennent d'autre part de plus en plus importantes, dépassant très largement les 10 000 tonnes par an au niveau mondial, avec un taux d'accroissement annuel de l'ordre de 20 %. La production est européenne pour l'essentiel, la France étant au premier rang. Certes, 12 ou 15 000 tonnes par an sont encore peu de chose pour une industrie aussi considérable que l'industrie textile (1), mais il est probablement inutile d'insister sur l'intérêt que peut porter cette industrie, dans les conditions où elle se trouve actuellement, à un marché nouveau en expansion.

Malgré cet intérêt, le développement des géotextiles n'a pas été anarchique. En effet la distance psychologique qui séparait au départ les producteurs de fibres et les ingénieurs routiers était considérable. D'un côté des chimistes ou des textiliens habitués aux questions d'habillement ou d'ameublement, et de l'autre des ingénieurs-construc-teurs qui, pour beaucoup, n'ont pas toujours considéré d'emblée comme très sérieuse l'idée d'agir sur le

comportement d'ouvrages lourds et massifs comme les ouvrages de génie civil en y incorporant une simple étoffe. Cette distance a donc imposé aux uns et aux autres, qu'ils le veuillent ou non, un certain apprentissage et une certaine prudence.

En fait la démarche a été très pragmatique, se fondant pour l'essentiel sur des applications de chantier assorties de constatations mettant en lumière dans un premier temps les avantages obtenus à court terme grâce à l'emploi des géotextiles.

Puis, progressivement, des analyses un peu plus approfondies se sont développées, reposant sur des mesures plus fines ainsi que sur des études de laboratoire et sur des approches théoriques ; ces études ont alors conduit à envisager les géotextiles comme un nouveau matériau dont les possibilités sont à prendre en compte dès le stade de la conception des ouvrages en leur faisant ainsi dépasser leur rôle initial d'aide à l'exécution des travaux.

L'ensemble des observations et des recherches faites jusqu'à l'année 1976 ont été présentées lors du Colloque international organisé en avril 1977 à la Porte Maillot à Paris par le laboratoire Central des Ponts et Chaussées et l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, sur le thème de l'emploi des textiles en géotechnique. Ce colloque, qui était la première manifestation consacrée à ce sujet, a rencontré un très grand succès, compte tenu du caractère récent du développement de ces matériaux ; il a rassemblé en effet plus de 500 participants venus de 29 pays ; 58 communications y ont été présentées, en provenance de la plupart des pays d'Europe Occidentale, d'Europe de l'Est, des Etats-Unis, du Canada, du Brésil et de l'Australie.

On peut d'ailleurs souligner en passant que ce succès montre à quel point l'information circule vite à notre époque et à quel degré il faut par conséquent rester vigilant pour conserver une certaine avance technique ; il montre l'effort constant qu'il faut fournir, sur le plan de l'information, pour faire connaître et valoriser cette avance auprès de la communauté internationale.

Le Colloque de Paris a permis de faire le tour de l'expérience internationale de l'emploi des géotextiles, de rassembler un grand nombre de données chiffrées nécessaires à l'élaboration d'une doctrine et de mettre en lumière les questions les plus importantes à résoudre pour le développement de ces matériaux.

Sur le plan technique, les mécanismes par lesquels les géotextiles jouent un rôle bénéfique dans les ouvrages sont assez bien compris, bien qu'ils soient souvent complexes. Le rôle des géotextiles peut être mécanique et hydraulique, et il est souvent les deux à la fois.

Sur le plan mécanique, la géotextile modifie les conditions de déformation du sol où il est incorporé. La notion à retenir n'est pas tellement une notion d'armature selon laquelle une résistance à la traction viendrait purement et simplement s'ajouter aux possibilités du matériau auquel l'armature est incorporée, matériau et armature conservant chacun, indépendamment, leur comportement propre. Il s'agit d'une association de deux éléments dans laquelle chacun agit sur l'autre pour aboutir à un comportement global différent de celui des deux constituants ; cette notion a été soulignée, avant l'emploi des géotextiles, par les concepteurs de la Terre Armée ; elle se rattache à la notion de matériau composite.

Cependant dans la plupart des applications actuelles on utilise une seule nappe de textile ; sans parler par conséquent de matériau composite, on doit noter que la présence du géotextile modifie le comportement du sol. L'exemple pratique le plus courant est la réalisation d'une piste d'accès sur terrain marécageux ; un géotextile est déroulé sur le terrain avant l'épandage du matériau constituant la piste. On constate alors que le textile, par la continuité des déformations qu'il impose à l'interface des deux sols, empêche le développement de ruptures localisées dans le sol naturel en ses zones les plus faibles ; il est ainsi possible

(1) Il n'est peut-être pas inutile de rappeler qu'en France par exemple le marché de l'industrie textile est le double du marché automobile.



Réalisation d'une route forestière.

par l'interposition d'une nappe textile de caractéristiques mécaniques qui peuvent paraître très modestes, de modifier le type de rupture possible et de bénéficier ainsi en quelque sorte de la résistance moyenne du sol naturel au lieu d'avoir à subir l'effet des points les plus faibles.

Lorsqu'il s'agit de réaliser une piste de circulation ou une plate-forme sur un sol mou dépourvu de végétation tel que vase littorale, fond de fouille, sol naturel terrassé, etc..., un autre intérêt du géotextile est de constituer une séparation entre le sol et le matériau d'apport et de permettre ainsi à ce dernier de ne pas perdre ses qualités par mélange avec le mauvais sol sous-jacent ; on économise ainsi des matériaux de bonne qualité et on évite des pertes de temps ; ces deux points sont intéressants dans les conditions actuelles d'exploitation des gisements naturels et dans le contexte écono-

mique et financier des travaux, qui tendent à raccourcir toujours davantage les délais et qui rendent de plus en plus inacceptable la paralysie d'un chantier de terrassement en mauvaise saison. Dans les travaux routiers et autoroutiers on trouve à deux niveaux le type d'usage des géotextiles qui vient d'être décrit : d'une part à la base des remblais sur sol naturel humide, d'autre part sous des couches de forme.

Dans d'autres applications les géotextiles ont un rôle essentiellement hydraulique, jouant alors le rôle de filtre ou celui de drain.

Chacun connaît les effets nuisibles de l'eau sur les ouvrages. Ces effets peuvent être évités par un drainage efficace ; mais, dans la plupart des cas, cela exige la présence d'un système filtrant, dont on connaît les difficultés de réalisation.

Les géotextiles se sont révélés dans ce domaine des matériaux extraordinairement précieux : ils ont des qualités de perméabilité et de rétention des fines tout-à-fait remarquables, un coût modeste — surtout si l'on tient compte des frais de transport et de stockage en faisant la comparaison avec des matériaux filtrants granulaires — et l'avantage d'une mise en œuvre facile, rapide et sûre, en raison de leur légèreté, de leur souplesse et de leur résistance qui assurent l'absence de discontinuités dans le système filtrant.

En pratique, les géotextiles sont utilisés de deux façons comme filtre dans les travaux routiers ; d'abord, en tranchée drainante : on creuse une tranchée à la pelle, le textile est déroulé sur le fond et sur les parois de la tranchée, puis cette dernière est comblée avec un matériau perméable avec ou sans tuyau à la base de la tranchée ; le textile

est alors replié sur lui-même à la partie supérieure avant d'être recouvert d'une couche superficielle définitive. L'autre utilisation principale consiste à entourer les tuyaux perforés drainants d'une chemise — ou chaussette — filtrante en géotextile. On retrouve, d'après ce que l'on vient de voir, aussi bien sous l'aspect mécanique qu'hydraulique, les éléments essentiels cités au début de cet article qui font l'intérêt des géotextiles : la continuité d'une part, la nature fibreuse d'autre part, cette dernière donnant au produit à la fois ses qualités mécaniques et ses performances filtrantes et drainantes.

Une nouvelle application routière des géotextiles est à l'heure actuelle à l'étude ; bien que l'on ne dispose d'aucune certitude sur son avenir, il paraît intéressant de la mentionner.

Il s'agit d'utiliser les possibilités conjointes des fibres et du bitume pour réaliser une couche mince « antifissure » sous une couche de roulement en enrobés bitumineux, que cette couche d'enrobés soit placée sur une couche de base de chaussée neuve traitée aux liants hydrauliques ou sur une ancienne chaussée déjà fissurée. Des sections expérimentales ont été réalisées en 1977 et 1978 ; sans permettre encore de conclure sur l'intérêt de ce procédé, elles ont déjà montré que la réalisation de telles couches de liaison ne pose pas de problème d'exécution et est d'un coût équivalent à celui d'un à deux centimètres d'enrobés bitumineux ; elles peuvent donc être justifiées économiquement, même si leur efficacité n'est que limitée. Les textiles utilisés dans cette application sont les mêmes que ceux utilisés en géotechnique, et l'on parle donc toujours dans ce cas de géotextiles.

On ne connaît pas, à vrai dire, le mécanisme précis par lequel une telle couche de textile imprégnée de bitume peut exercer un rôle bénéfique. Ce que l'on sait, c'est que la transmission des fissures d'une couche de base traitée aux liants hydrauliques à la couche de roulement est un défaut gênant pour la durabilité des chaussées. On sait aussi qu'il ne faut pas chercher à l'éviter en désolidarisant la couche de roulement de la couche de base, car



Tranchée drainante en bord d'autoroute.

on augmente alors fortement les contraintes et les déformations à la base du béton bitumineux, ce qui accélère son vieillissement par fatigue ; c'est d'ailleurs à cause de cela que l'on recherche la meilleure adhérence de la couche de roulement sur la couche de base ce qui, évidemment, favorise la transmission des fissures.

La question est alors de savoir s'il n'est pas possible d'agir sur l'interface entre les deux couches pour se trouver dans une situation intermédiaire entre le décollement total et l'adhérence parfaite, ce qui pour

rait être un compromis évitant les inconvénients des deux extrêmes.

L'idéal serait de placer entre la couche de roulement et la couche de base une couche mince élastique suffisamment souple pour ne pas transmettre les mouvements des fissures de la couche de base dues aux variations thermiques et suffisamment rigide pour maintenir à un niveau minimal les contraintes dans le béton bitumineux ; cette double nécessité n'est pas impossible à satisfaire car les effets thermiques sont lents alors que la fatigue sous trafic est due à des variations de

contraintes très rapides. On peut alors concevoir l'intérêt d'une couche mince d'un matériau visco-élastique comme le bitume, qui réagit avec un module élevé sous des contraintes rapides, associé à des fibres textiles qui compensent le caractère visqueux du bitume et évitent par conséquent le fluage de cette couche.

Au-delà de ce principe, on peut imaginer différents autres mécanismes par lesquels une couche de liaison peut agir : éviter l'engrènement direct des granulats des couches supérieure et inférieure ; permettre un décollement de la couche de roulement sur une longueur limitée de part et d'autre des fissures de la couche de base ; constituer une membrane suffisamment tenace pour bloquer, au moins pendant un certain temps, la progression de l'extrémité d'une fissure ; retarder la propagation des fissures par le travail de fatigue nécessaire à la rupture de la nappe textile ; modifier les sollicitations dans la couche de roulement par le jeu de la répartition des contraintes et des déformations dans l'épaisseur même de la couche textile + bitume ; maintenir l'étanchéité malgré la présence de fissures, etc...

Il n'est pas facile de faire le tri parmi ces différentes hypothèses pour discerner les plus intéressantes dans la réalité ; ce que l'on peut dire, c'est qu'elles justifient les expériences faites. Ces expériences trouvent d'ailleurs d'autres justifications plus générales : d'une part la mécanique des chaussées à assises traitées a fait des progrès considérables au cours de ces dernières années et les phénomènes d'interface restent un de ses derniers points mal maîtrisés ; d'autre part la fissuration est une des dernières imperfections de la technique routière française à assises traitées aux liants hydrauliques, qui par ailleurs apparaît le plus souvent comme la moins chère des techniques routières pour les chaussées à fort et moyen trafic.

On peut dire en conclusion que les géotextiles ont permis à l'ingénieur de redécouvrir ce que pouvaient leur apporter des matériaux qui, bien qu'incapables d'encaisser les efforts primaires auxquels doivent résister les ouvrages, sont extrême-



Exécution d'une tranchée drainante tapissée d'un géotextile.

ment utiles pour servir d'interface ou d'élément complémentaire. On pourrait dire, de ce point de vue, qu'ils appartiennent à la famille des liants ; mais comme, d'autre part, la notion de liant suggère celle d'additif mélangé dans la masse, on leur a donné à un certain moment la dénomination d'« additifs de structure » ; cependant ce terme n'a pas été retenu, car il est trop abstrait et finalement assez ambigu.

Sur le plan pratique, le développement des géotextiles appelle trois actions.

La première est la recherche, pour mieux comprendre les mécanismes et adapter au mieux les matériaux et leurs conditions d'emploi.

La seconde est de mettre au point un cadre technologique pour permettre aux producteurs et aux utilisateurs de dialoguer et de commercer efficacement. Il s'agit de préciser le vocabulaire utilisé par les uns et les autres — ce qui ne va pas de soi étant donné la distance évoquée plus haut entre les milieux du textile et la profession du génie civil —, de définir des essais normalisés d'identification des géotextiles pour en chiffrer objectivement les propriétés, et de normaliser, autant que faire se peut, les conditions d'emploi les plus courantes. Cette seconde action a été prise en charge par le « Comité Français de Géotextiles » nouvellement créé.

La troisième est d'exploiter l'avance française dans ce domaine sur les marchés extérieurs. L'exportation en matière de géotextile peut porter aussi bien sur le savoir-faire que sur les produits. Les géotextiles français s'exportent d'ailleurs déjà dans une importante proportion.

Les actions de normalisation et d'exportation ne sont pas indépendantes ; si l'on veut notamment que les géotextiles français continuent à s'exporter, ils ne devront pas se trouver en butte à des normalisations plus ou moins hostiles. Une action de normalisation française ou européenne est donc très nécessaire. On peut illustrer ce besoin par la phrase suivante, que l'on pouvait lire dans le numéro du 9 novembre 1978 de « Engineering News Record », figurant dans un article relatif à l'implantation de l'« U.S. Army Corps of Engineers » au Nigeria et en Corée (après l'Arabie Saoudite) : « le rôle du Corps dans la gestion des projets (civils) peut signifier des affaires pour les bureaux d'études américains, et le fait d'imposer les normes américaines peut signifier des ventes de matériaux et d'équipement ». Cette petite phrase montre que cette arme, utilisée depuis longtemps par les Etats-Unis, est toujours considérée par eux comme efficace. Elle montre aussi que l'Administration Fédérale ne dédaigne pas d'y mettre la main ; pourquoi ne l'utiliserions-nous pas davantage ?

Une assistance décentralisée à l'élaboration des tracés routiers : le système "Piste"

par Michel-Pierre GONIN et Gérard SAUZET

Chargé des applications et Chef du Centre d'Etudes Techniques à la Division de l'Informatique du Setra.

Dès le début des années soixante, en France, les Services techniques de l'Équipement se sont attachés à développer l'utilisation des calculateurs pour aider à l'élaboration des tracés routiers.

Ces recherches étaient justifiées par le souci de faire face, dans de courts délais, au lancement des études du plan autoroutier français ; il s'agissait d'établir des avants projets sommaires et détaillés, élaborés de manière systématique avec courbes de transition, raccordements progressifs des dévers, étude des conditions de visibilité offertes aux usagers, ce que ne permettaient pas d'envisager les méthodes manuelles.

Quinze ans d'études : Trois générations de programmes

- La réalisation complète en 1967 du programme TEGI Tracés Electroniques en Géométrie Imposée — répondait au souci d'obtenir les cal-

culs numériques traditionnels (axe en plan, profil en long, cubatures de terrassements) et les dessins automatiques (profils en travers, perspectives) sans long et fastidieux travail manuel, ce qui a contribué à son succès auprès des projeteurs.

- L'utilisation convenable des techniques d'optimisation et de recherche opérationnelle devait, en 1970, permettre la prise en compte de la dimension économique dans l'établissement du projet, en fournissant une gamme d'optima ou de quasi optima relatifs, pour aborder dans des cas d'hypothèses, fruits de l'analyse et de l'expérience du projeteur, la recherche du profil en long associé à un axe en plan donné.

A ce problème, le projeteur donne une solution par tâtonnement et ajustement successifs. L'utilisation d'un ordinateur et d'un programme appropriés peut le guider.

Le programme Apollon a été écrit pour rechercher et définir, dans un domaine limité par des contraintes, un ensemble de points dont les liai-

sons constituent une ligne de moindre coût pour l'investissement et le bilan de l'usager.

Loin de diminuer l'intervention du projeteur, l'utilisation de tels programmes suppose que l'ingénieur ait bien cerné et précisé les paramètres dont dépend essentiellement le coût de la route ; elle l'oblige à un effort de recherche et de précision, astreignant, mais indispensable à un stade de l'étude qui détermine toutes les options fondamentales.

- Les conditions d'utilisation habituelle de ces programmes — recherche d'optima locaux, examen des conditions de visibilité, retouche de la solution obtenue, réexamen des coûts et des nouvelles conditions de visibilité — conduisaient à une suite d'opérations par tâtonnements successifs pouvant être assez longue.

Aussi est-il apparu particulièrement intéressant, sinon indispensable, de pouvoir faciliter ce dialogue permanent entre l'ingénieur et la machine.

Un instrument bien adapté pour faciliter ce dialogue est la console de visualisation ou console graphique interactive :

- Console car c'est un appareil périphérique de l'ordinateur couplé à celui-ci,
- Graphique car sur un écran peuvent être affichés tous symboles et dessins,
- Interactive car des données et des instructions peuvent être directement introduites pour modifier le déroulement d'un calcul, par emploi de dispositifs dans des conditions très variées :
- un crayon lumineux permet de localiser un élément graphique par un message affiché sur écran,
- de nouvelles données peuvent être tapées sur le clavier d'une machine à écrire,
- un clavier de touches de fonction permet le débranchement dans des séquences de calculs préétablies.

Le programme Artes a eu pour objet en 1973 de visualiser sur l'écran les éléments graphiques descriptifs de l'ouvrage — axe en plan, profil en long, profils en travers, perspectives — de modifier directement sur l'écran ces éléments afin d'apprécier immédiatement les répercussions de ces modifications sur les volumes de terrassement et les conditions de visibilité.

La nécessaire prise en compte de l'évolution technologique

Les études et réalisations des trois premières générations de programmes ont été menées dans un contexte dans lequel évoluaient les conditions d'établissement des projets et les possibilités des ordinateurs et de leurs systèmes d'exploitation.

Au terme de cette phase de développement des outils, il est apparu que la sophistication des produits sur des machines dotées d'une puissante unité de traitement, impliquait — pour une utilisation correcte — une mise en œuvre nécessairement centralisée, assistée par des équipes spécialisées. Ces conditions semblaient aller à l'en-

contre des procédures d'établissement des projets, dans le temps où étaient présentés, sur le marché, des mini-calculateurs ne permettant de répondre que très partiellement au problème, mais apportant des réponses dans les locaux mêmes des bureaux d'étude.

Les progrès de la télé-informatique et des matériels conduisant à faciliter l'utilisation des ordinateurs, devaient apporter les éléments technologiques permettant l'établissement d'outils de calcul offrant aux projecteurs les avantages des programmes des précédentes générations en ménageant, à moindre coût d'usage, des conditions de mise en œuvre très confortables.

Dans le cadre de cette évolution, les systèmes de temps partagé, qui peuvent être définis comme une utilisation conversationnelle et concurrente des ressources d'un ordinateur par un nombre élevé d'utilisateurs au moyen d'un langage de commande entré sur des postes terminaux et transmis par ligne téléphonique, permettent à distance :

- la création et la transmission d'ensemble de données,
- l'écriture et la mise au point de programmes,
- la soumission à distance de traitements par lots,
- l'exécution de programmes d'application conçus spécifiquement en mode dialogué.

La Division de l'Informatique du Service Technique des Routes et Autoroutes s'est donc attaché à concevoir et à réaliser un ensemble d'outils d'aide à l'élaboration des projets routiers qui exploitait ses nouvelles possibilités techniques en bénéficiant de l'acquis des études antérieures qu'elle avait contribué à dégager et qu'elle avait maintenu.

Le système PISTE

Piste se définit comme un ensemble de programmes interactifs d'aide décentralisée à l'élaboration des projets routiers :

- qui respecte la méthodologie traditionnelle d'établissement des tracés,

largeur variable

enfin un screed à largeur variable

BARBER - GREENE

sur le **SB 131 / SA 144**
de 2,50 m à 4,25 m
(largeur maximum avec extensions rigides 5,85 m)

une hydrostatique basée sur une expérience de 10 ans

tous les finisseurs modernes sont hydrostatiques



STIME
5, avenue Montaigne 75008 Paris
tel. 261.51.84 (20 lignes) télex 650004

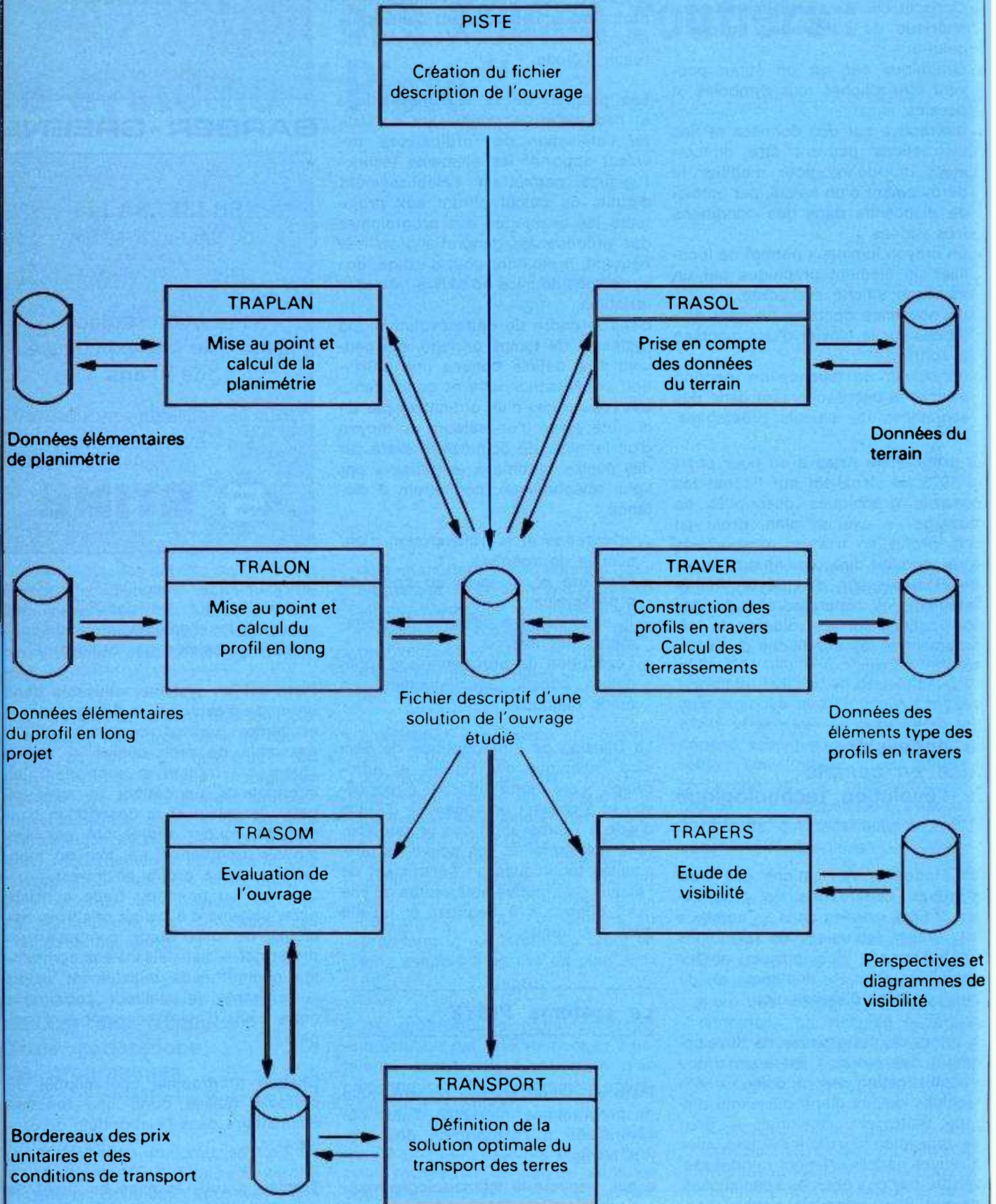
- mais intègre les possibilités des techniques d'optimisation et de conception assistée par ordinateur.

Piste est un système, utilisable dans un mode d'exploitation de l'ordinateur en temps partagé, constitué par un ensemble de programmes et de fichiers qui traitent et supportent les informations permettant la mise au point, le calcul et la description d'un ouvrage routier représenté par son modèle traditionnel — axe en plan, profil en long, profils en travers. La mise au point du tracé consiste essentiellement à définir ces trois éléments de base pour composer un projet qui — satisfaisant aux contraintes géométriques initialement fixées — présente le meilleur compromis entre coûts d'investissement et d'usage.

Chaque programme opérationnel du système réalise donc une fonction élémentaire dans l'élaboration du projet.

Traplan assure la mise au point, le calcul de l'axe en plan, la mise en

SYSTEME PISTE – SCHEMA D'ORGANISATION



place géométrique des profils en travers.

Tralon permet la constitution du profil en long et complète les informations relatives aux profils en travers par indication de leur cote.

Trasol permet la prise en compte, sous diverses formes, de la topographique et réalise les calculs nécessaires à la définition du terrain naturel en chaque profil en travers.

Traver enregistre les éléments-types des profils en travers, construit les profils en travers, permet la visualisation de la construction et l'évaluation des cubatures de terrassement.

Trapers calcule et visualise diagramme de visibilité et perspectives en tout point du tracé, permettant d'apprécier la sécurité offerte par le projet.

Trasom permet la définition d'un bordereau des prix élémentaires (coût des terrassements, coût des ouvrages d'art, etc.) afin d'obtenir une évaluation des coûts d'investissement et d'usage du projet.

Transport fournit la solution économique des terrassements compte tenu des conditions géotechniques d'utilisation des déblais en remblais, des possibilités de dépôts et d'emprunts, et d'une fonction de coût de transport attachée au parc d'engins utilisés.

Trappolon recherche la solution économique du profil en long d'un projet dont l'axe en plan est fixé.

Traimp permet l'implantation de l'ouvrage en transformant les coordonnées du projet connues dans le système Lambert dans des systèmes locaux attachées à une polygonale et des points de repères matérialisés sur le terrain.

Le système est complété par des programmes d'éditions imprimées et graphiques qui fournissent au projeteur la liste des informations et des dessins du projet, sous la forme dont il a fait choix.

L'architecture du système est conçue autour d'un fichier central contenant les éléments descriptifs de l'ouvrage constitués au fur et à mesure du déroulement de l'étude par appel des différents modules.

Chaque module recueille les données qui lui sont transmises par le projeteur dans une session de travail, et emprunte éventuellement au fichier central les éléments préalablement calculés nécessaires au traitement de la fonction étudiée.

Les données transmises et les résultats obtenus par le projeteur dans la session sont enregistrés sur un fichier de travail associé à chaque module.

Ce dispositif permet de traiter en plusieurs sessions une fonction d'étude et de ne transmettre au fichier central que les éléments correspondant au choix de la solution retenue par le projeteur.

La construction du système fait appel à des éléments normalisés :

- structuration des fichiers,
- écriture des programmes,
- conception du langage projeteur/ordinateur.

Ce type de construction donne au système :

- un caractère ouvert, c'est-à-dire qu'il a pu être développé progressivement et peut être complété ultérieurement. A titre d'exemple, le fichier central peut faire l'objet d'éditions récapitulatives imprimées ou graphiques sous des formes diverses ;
- une simplicité d'emploi.

L'appel des programmes est réalisé par indication de leur nom suivi des noms que le projeteur attribue au fichier principal du projet et au fichier associé à la fonction étudiée.

Les programmes répondent à des commandes fournies par le projeteur.

Les commandes de chaque programme se composent :

- d'un label opération définissant l'opération demandée,
 - d'un champ paramètre contenant soit des valeurs numériques, soit des labels résultats précédemment calculés,
- et obéissent à un nombre de règles très limité.

Les champs doivent être séparés par des blancs, écrits dans un ordre précis mais en format libre, c'est-à-dire sans se soucier de leur positionnement dans la ligne.

Les labels opération sont reconnus par les programmes et sont donc les seuls éléments que le projeteur doit connaître.

Dès sa passation, une commande est analysée :

- au plan formel pour reconnaître le label opération et dénombrer les champs,
- au regard des limitations imposées par les règlements et inhérentes aux programmes (exemple : le nombre de points ne peut excéder 80),
- au plan de la syntaxe, pour déceler les indéterminations dues à une absence d'informations,
- au plan géométrique, pour vérifier les possibilités de construction.

Les erreurs sont immédiatement détectées et font l'objet de diagnostics et de messages fournissant les renseignements nécessaires à leur correction.

L'absence d'anomalies est mentionnée par l'indication prêt qui invite le projeteur à continuer son travail par la passation de nouvelles commandes.

Screed combiné

le SA 41 - le SA 141
le SB 131 - le SA 144
le SB 170 - le SA 150

BARBER - GREENE

et en largeur variable
le SB 131 - le SA 144

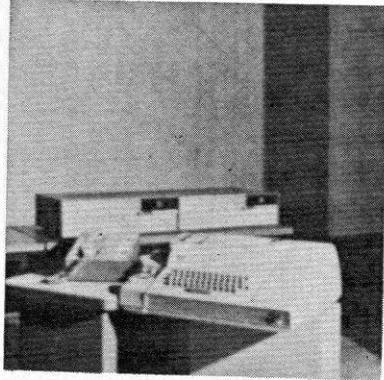
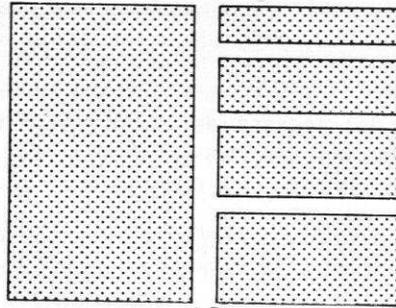
travail plus facile
et meilleure compaction

une hydrostatique
basée sur une expérience
de 10 ans

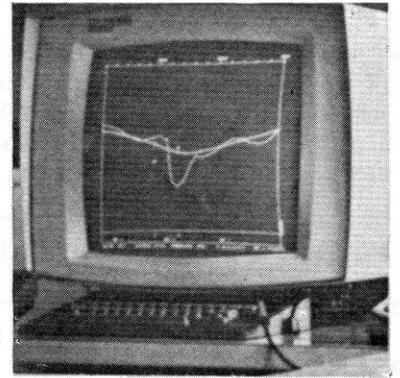


STIME
5, avenue montaigne 75008 paris
tél. 261 51 84 (20 lignes) télex 650004

Calculateur

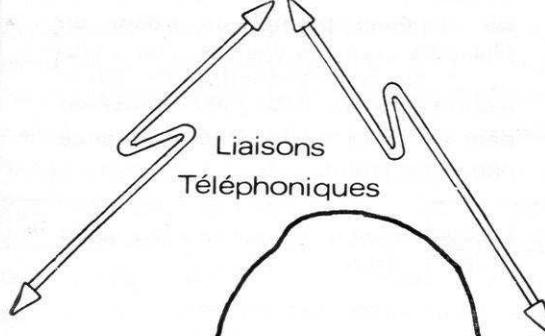


Unité Conversationnelle



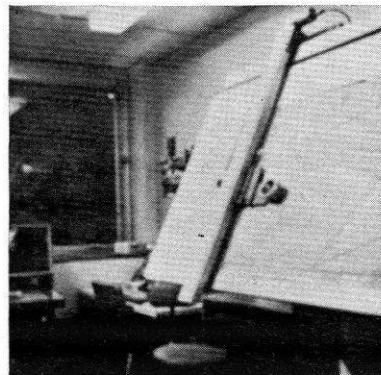
Unité Graphique

Liaisons
Téléphoniques



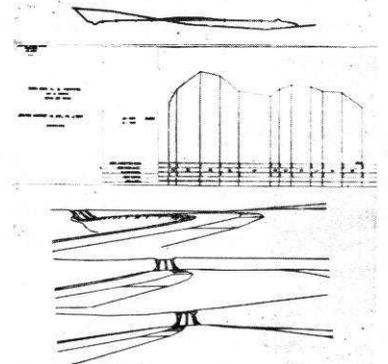
Résultats

| PROJET | DATE | STATUT | PROJETANT | PROJETANT |
|--------|------------|----------|----------------|----------------|
| 1 | 1980-01-01 | En cours | J. Dupont | J. Dupont |
| 2 | 1980-02-15 | Terminé | M. Martin | M. Martin |
| 3 | 1980-03-10 | En cours | P. Petit | P. Petit |
| 4 | 1980-04-05 | En cours | R. Roux | R. Roux |
| 5 | 1980-05-20 | En cours | S. Simon | S. Simon |
| 6 | 1980-06-10 | En cours | T. Tardieu | T. Tardieu |
| 7 | 1980-07-01 | En cours | V. Vasseur | V. Vasseur |
| 8 | 1980-08-15 | En cours | W. Weber | W. Weber |
| 9 | 1980-09-01 | En cours | X. Xavier | X. Xavier |
| 10 | 1980-10-10 | En cours | Y. Yvon | Y. Yvon |
| 11 | 1980-11-05 | En cours | Z. Zola | Z. Zola |
| 12 | 1980-12-20 | En cours | AA. Audebert | AA. Audebert |
| 13 | 1981-01-15 | En cours | BB. Baudouin | BB. Baudouin |
| 14 | 1981-02-10 | En cours | CC. Caillet | CC. Caillet |
| 15 | 1981-03-05 | En cours | DD. Dreyfus | DD. Dreyfus |
| 16 | 1981-04-20 | En cours | EE. Eeckhoutte | EE. Eeckhoutte |
| 17 | 1981-05-15 | En cours | FF. Fassin | FF. Fassin |
| 18 | 1981-06-10 | En cours | GG. Gaudin | GG. Gaudin |
| 19 | 1981-07-05 | En cours | HH. Huet | HH. Huet |
| 20 | 1981-08-20 | En cours | II. Imbert | II. Imbert |
| 21 | 1981-09-15 | En cours | JJ. Jais | JJ. Jais |
| 22 | 1981-10-10 | En cours | KK. Kieffer | KK. Kieffer |
| 23 | 1981-11-05 | En cours | LL. Lamy | LL. Lamy |
| 24 | 1981-12-20 | En cours | MM. Maitte | MM. Maitte |
| 25 | 1982-01-15 | En cours | NN. Naud | NN. Naud |
| 26 | 1982-02-10 | En cours | OO. Oudin | OO. Oudin |
| 27 | 1982-03-05 | En cours | PP. Pignatelli | PP. Pignatelli |
| 28 | 1982-04-20 | En cours | QQ. Quilès | QQ. Quilès |
| 29 | 1982-05-15 | En cours | RR. Remy | RR. Remy |
| 30 | 1982-06-10 | En cours | SS. Sarrasin | SS. Sarrasin |
| 31 | 1982-07-05 | En cours | TT. Tassin | TT. Tassin |
| 32 | 1982-08-20 | En cours | UU. Ugeux | UU. Ugeux |
| 33 | 1982-09-15 | En cours | VV. Valadier | VV. Valadier |
| 34 | 1982-10-10 | En cours | WW. Waeber | WW. Waeber |
| 35 | 1982-11-05 | En cours | XX. Xerret | XX. Xerret |
| 36 | 1982-12-20 | En cours | YY. Yvonnet | YY. Yvonnet |
| 37 | 1983-01-15 | En cours | ZZ. Zuccato | ZZ. Zuccato |
| 38 | 1983-02-10 | En cours | AA. Audebert | AA. Audebert |
| 39 | 1983-03-05 | En cours | BB. Baudouin | BB. Baudouin |
| 40 | 1983-04-20 | En cours | CC. Caillet | CC. Caillet |
| 41 | 1983-05-15 | En cours | DD. Dreyfus | DD. Dreyfus |
| 42 | 1983-06-10 | En cours | EE. Eeckhoutte | EE. Eeckhoutte |
| 43 | 1983-07-05 | En cours | FF. Fassin | FF. Fassin |
| 44 | 1983-08-20 | En cours | GG. Gaudin | GG. Gaudin |
| 45 | 1983-09-15 | En cours | HH. Huet | HH. Huet |
| 46 | 1983-10-10 | En cours | II. Imbert | II. Imbert |
| 47 | 1983-11-05 | En cours | JJ. Jais | JJ. Jais |
| 48 | 1983-12-20 | En cours | KK. Kieffer | KK. Kieffer |
| 49 | 1984-01-15 | En cours | LL. Lamy | LL. Lamy |
| 50 | 1984-02-10 | En cours | MM. Maitte | MM. Maitte |
| 51 | 1984-03-05 | En cours | NN. Naud | NN. Naud |
| 52 | 1984-04-20 | En cours | OO. Oudin | OO. Oudin |
| 53 | 1984-05-15 | En cours | PP. Pignatelli | PP. Pignatelli |
| 54 | 1984-06-10 | En cours | QQ. Quilès | QQ. Quilès |
| 55 | 1984-07-05 | En cours | RR. Remy | RR. Remy |
| 56 | 1984-08-20 | En cours | SS. Sarrasin | SS. Sarrasin |
| 57 | 1984-09-15 | En cours | TT. Tassin | TT. Tassin |
| 58 | 1984-10-10 | En cours | UU. Ugeux | UU. Ugeux |
| 59 | 1984-11-05 | En cours | VV. Valadier | VV. Valadier |
| 60 | 1984-12-20 | En cours | WW. Waeber | WW. Waeber |
| 61 | 1985-01-15 | En cours | XX. Xerret | XX. Xerret |
| 62 | 1985-02-10 | En cours | YY. Yvonnet | YY. Yvonnet |
| 63 | 1985-03-05 | En cours | ZZ. Zuccato | ZZ. Zuccato |
| 64 | 1985-04-20 | En cours | AA. Audebert | AA. Audebert |
| 65 | 1985-05-15 | En cours | BB. Baudouin | BB. Baudouin |
| 66 | 1985-06-10 | En cours | CC. Caillet | CC. Caillet |
| 67 | 1985-07-05 | En cours | DD. Dreyfus | DD. Dreyfus |
| 68 | 1985-08-20 | En cours | EE. Eeckhoutte | EE. Eeckhoutte |
| 69 | 1985-09-15 | En cours | FF. Fassin | FF. Fassin |
| 70 | 1985-10-10 | En cours | GG. Gaudin | GG. Gaudin |
| 71 | 1985-11-05 | En cours | HH. Huet | HH. Huet |
| 72 | 1985-12-20 | En cours | II. Imbert | II. Imbert |
| 73 | 1986-01-15 | En cours | JJ. Jais | JJ. Jais |
| 74 | 1986-02-10 | En cours | KK. Kieffer | KK. Kieffer |
| 75 | 1986-03-05 | En cours | LL. Lamy | LL. Lamy |
| 76 | 1986-04-20 | En cours | MM. Maitte | MM. Maitte |
| 77 | 1986-05-15 | En cours | NN. Naud | NN. Naud |
| 78 | 1986-06-10 | En cours | OO. Oudin | OO. Oudin |
| 79 | 1986-07-05 | En cours | PP. Pignatelli | PP. Pignatelli |
| 80 | 1986-08-20 | En cours | QQ. Quilès | QQ. Quilès |
| 81 | 1986-09-15 | En cours | RR. Remy | RR. Remy |
| 82 | 1986-10-10 | En cours | SS. Sarrasin | SS. Sarrasin |
| 83 | 1986-11-05 | En cours | TT. Tassin | TT. Tassin |
| 84 | 1986-12-20 | En cours | UU. Ugeux | UU. Ugeux |
| 85 | 1987-01-15 | En cours | VV. Valadier | VV. Valadier |
| 86 | 1987-02-10 | En cours | WW. Waeber | WW. Waeber |
| 87 | 1987-03-05 | En cours | XX. Xerret | XX. Xerret |
| 88 | 1987-04-20 | En cours | YY. Yvonnet | YY. Yvonnet |
| 89 | 1987-05-15 | En cours | ZZ. Zuccato | ZZ. Zuccato |
| 90 | 1987-06-10 | En cours | AA. Audebert | AA. Audebert |
| 91 | 1987-07-05 | En cours | BB. Baudouin | BB. Baudouin |
| 92 | 1987-08-20 | En cours | CC. Caillet | CC. Caillet |
| 93 | 1987-09-15 | En cours | DD. Dreyfus | DD. Dreyfus |
| 94 | 1987-10-10 | En cours | EE. Eeckhoutte | EE. Eeckhoutte |
| 95 | 1987-11-05 | En cours | FF. Fassin | FF. Fassin |
| 96 | 1987-12-20 | En cours | GG. Gaudin | GG. Gaudin |
| 97 | 1988-01-15 | En cours | HH. Huet | HH. Huet |
| 98 | 1988-02-10 | En cours | II. Imbert | II. Imbert |
| 99 | 1988-03-05 | En cours | JJ. Jais | JJ. Jais |
| 100 | 1988-04-20 | En cours | KK. Kieffer | KK. Kieffer |



Plan d'Etude

Dessins



Un Système au Service du Projeteur en Bureau d'Etudes
" PISTE "

Le caractère immédiat de l'analyse des commandes, leur enregistrement, les réponses qu'elles apportent ou les précisions qu'elles réclament, donnent au système ses caractères conversationnel et interactif.

Exemple d'utilisation du langage :

| | | | | | |
|-----|------|--------|------|------|--|
| POI | A | 100. | 100. | | |
| POI | B | 200. | 100. | | |
| POI | C | 300. | 200. | | |
| DRO | AB | A | B | | |
| DRO | BC | B | C | | |
| DIS | RAY | 1 000. | | | |
| DIS | DEPO | — 1. | | | |
| CER | CER1 | AB | BC | RAY | |
| CER | CER2 | CER1 | | DEPO | |
| LIA | CLOT | AB | | CER2 | |

Cette succession de commandes permet dans le programme Traplan, de définir trois points A, B, C, deux droites AB et BC, deux distances RAY et DEPO, deux cercles CER1 et CER2, une clothoïde CLOT entre droite AB et cercle CER2 dans le langage de la géométrie traditionnelle qui est à tout moment contrôlé par le programme.

Le système Piste ajoute à la simplicité de sa mise en œuvre des possibilités fonctionnelles complexes :

- des calculs de géométrie plane sophistiqués :
 - mise en place de courbes déduites d'un axe principal suivant des lois de variation cubique ou linéaire,
 - intersection de courbes complexes, courbes en omelette, en C, en S, à sommet ;
- une prise en compte du terrain naturel choisie par le projeteur, faisant appel à des représentations numériques diverses, adaptée à la précision de l'étude, avec leur mode d'interpolation associée :
 - semis de points en vrac et méthode de la quadrième des moindres carrés,
 - semis de points ordonné, distribué dans les profils en travers indépendant de la planimétrie et méthode gravitaire,
 - sections transversales descriptives du terrain attachées à la planimétrie du projet ;

une construction des profils en travers conforme au terrain : le programme retient parmi les solutions et les critères proposés par le projeteur, la définition des talus adaptée au terrain naturel en mettant en place des éléments divers de lar-

geur et de pentes variables et figurant des murs, des risbermes, des fossés de pied de talus, etc...

- une recherche de solutions de moindre coût d'investissement en profil en long et transport des terres ;
- une visualisation graphique sur écrans des vues perspectives de l'ouvrage en tout point du projet permettant une étude de visibilité pour mesurer les conditions de sécurité offertes aux usagers, les conditions d'intégration dans le site.

L'architecture et la construction du système reposent sur un Environnement technologique, intégrant système d'exploitation et matériels.

Piste est développé sur le système en temps partagé TSO et en service sur l'ordinateur 370/158 équipant la Division de l'Informatique de S.E.T.R.A. et le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement d'Aix-en-Provence.

Piste est transposable à tout autre système de temps partagé et doit notamment faire l'objet d'une implantation sur matériel CII-HB.

Les programmes sont écrits en langage Fortran de base, utilisent des fichiers à accès direct, et allouent l'espace nécessaire aux informations en fonction du nombre de profils traités dans la section projetée.

Les terminaux actuellement utilisés, permettant de façon conversationnelle l'entrée des données et la réception des résultats peuvent être distingués en trois classes, compte tenu de leurs

Systemes de nivellement

tous les finisseurs de la série 100

BARBER - GREENE

peuvent être équipés de systèmes de nivellement total et proportionnel permettant les travaux les plus soignés

BARBER-GREENE
depuis toujours
le n° 1 incontesté
de l'enrobage



performances et de leurs coûts de location mensuelle :

- clavier et imprimante,
- écran et imprimante,
- écran graphique et reprographe.

Les échanges de données se font par ligne téléphonique spécialisée, louée aux P.T.T. ou appartenant au réseau commuté, aux extrémités de laquelle sont adjoints 2 modems permettant la traduction des messages sous une forme transmissible et leur restitution avant leur traitement par le terminal ou le calculateur central.

Le choix de l'équipement à retenir dépend essentiellement du degré d'utilisation des produits. Il apparaît actuellement que l'accès aux programmes du système Piste est aisé pour les services dotés d'un clavier et d'une imprimante fonctionnant en réseau commuté.

En toutes hypothèses, le coût propre des calculs sur machine apparaît presque négligeable au regard des avantages qu'un système bien conçu offre aux ingénieurs :

gain en qualité et en délais lors de la réalisation des études,

- gains économiques lors de l'exécution des travaux.

Le choix du mode d'utilisation des ordinateurs en temps partagé comme support informatique du système correspond à un parti pris initial, justifié, dans sa réalisation, par les possibilités offertes et le faible coût de leur mise en jeu.

Ce choix n'est pas irréversible.

Il a été prévu, dans la conception du produit, que le support des traitements puisse être changé.

Par son architecture, le système autorise, dans de bonnes conditions, son adaptation à un environnement technologique en évolution très rapide, illustrée par l'apparition sur le marché de mini-ordinateurs de plus en plus performants équipés de périphériques divers — disquette, écran graphique, table de numérisation.

L'équipe chargée du développement de Piste envisagera, au moment opportun, l'implantation du système dans cet environnement technologique diversifié, en respectant le choix ou les contraintes des bureaux d'étude en matière d'équipement informatique.

Actuellement, une vingtaine de sites terminaux bénéficient des programmes opérationnels dans leur ensemble depuis cette année et les utilisent quotidiennement. Au terme de l'étape de développement va succéder une phase de diffusion généralisée qui doit conduire à desservir dans les prochaines années, une centaine de bureaux d'étude des secteurs publics et privé auxquels seront proposées les possibilités de mise au point et de calcul des projets offertes par Piste.

Le principal intérêt du système est de constituer un outil d'investigation de la solution qui apparaisse à l'ingénieur comme le plus judicieux compromis entre la nécessité de respecter un coût d'investissement et le souci d'offrir un tracé présentant les meilleures conditions possibles d'utilisation.

L'établissement d'un projet dans ces conditions, n'est pas un processus linéaire et nécessite des retouches et des modifications dans chacun des éléments — axe en plan, profil en long, profil en travers — composant le modèle de l'ouvrage.

L'architecture et la construction de Piste en un ensemble de modules intégrés dans une structure spatiale, et non plus linéaire, permettent de solliciter chacun de ses modules, à tout moment, sous réserve de certaines conditions de cohérence dont le système vérifie lui-même la réunion.

L'intégration et la souplesse de l'organisation qui prévoit des contrôles de données à tous les niveaux et assure au projeteur un découpage efficace en fonctions bien distinctes, autorisent tous les enchaînements ou reprises souhaités.

Le système offre la possibilité de définir numériquement des objets, de les visualiser graphiquement, de les modifier afin de rechercher une composition qui apparaisse à l'ingénieur comme le plus judicieux compromis.

Conçu par des ingénieurs routiers pour les besoins des constructeurs des ouvrages, Piste répond en premier lieu aux préoccupations techniques des projeteurs en se présentant comme un système de conception assistée par ordinateur des tracés, directement accessible en bureaux d'étude. ■



SCETAUROUTE

BUREAU D'ETUDES ET D'INGENIERIE AUTOROUTIER

DIRECTION GENERALE : Rue Gaston-Monmousseau - B.P. n° 117 - 78192 TRAPPES CEDEX - Tél. : 050.61.15
Télex : BETSER 697 293

AGENCES

Agence de NICE

28, avenue de la Californie - 06200 NICE
Tél. 86.22.53 - Télex : 470 198

Agence de NIORT

75, rue de Goise - 79000 NIORT
Tél. (49) 28.10.68 - Télex : 791 213

Agence de MIDI-PYRENEES

Zone Industrielle de Montaudran
Rue Jean-Rodier - 31400 TOULOUSE
Tél. 80.45.20 - Télex : 520 006

Agence d'AQUITAINE

B.P. 189 - 47007 AGEN
Tél. 66.63.08 - Télex : 570 417

Agence de ANNECY

13 bis, boulevard du Fier - B.P. 552 - 74000 ANNECY
Tél. 57.19.13 - Télex : 300 807

Agence de CLERMONT

Aérogare d'AULNAT - B.P. n° 9 - 63510 AULNAT
Tél. 92.60.67 - Télex : 390 024

Agence de BOURGOGNE

2, avenue Garibaldi - B.P. n° 622 - 21016 DIJON CEDEX
Tél. 32.80.93 - Télex : 350 810

Agence de PAU

Lotissement Berlanne - Cidex 36 - 64160 MORLAAS
Tél. (59) 30.23.23 - Télex : 570 895 F

Agence du NORD

Rue Yves-de-Cugis (Triolo) - B.P. 58 - 59650 VILLENEUVE-D'ASCO
Tél. (20) 91.27.19 - Télex : 120 648

Agence de l'EST

2, rue du Vair - 54520 LAXOU
Tél. (28) 96.50.13 - Télex : 960 801

Agence REGION PARISIENNE

Rue Gaston-Monmousseau - B.P. n° 117 - 78192 TRAPPES
Tél. 050.61.15 - Télex : BETSER 697 293

Agence de BORDEAUX

Avenue de la Résistance, Carrefour de la Croix-Rouge
33310 LORMONT
Tél. 06.40.68 - Télex : 550 181

L'utilisation du béton léger dans les ouvrages d'art

par Michel VIRLOGEUX, I.P.C.

Division des ouvrages d'art du SETRA

Professeur de calcul des structures à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Deux grands ouvrages en béton léger sont actuellement en cours de construction en France. Le plus important est le pont d'Ottmarsheim, sur le canal d'Alsace. Avec une portée de près de 172 mètres, il constituera le record du monde des ponts construits par encorbellements successifs avec des voussoirs préfabriqués, et aura aussi le record de portée pour une travée construite partiellement en béton léger par encorbellements successifs. L'autre est le pont du Tricastin, plus modeste avec une portée centrale de 142,50 mètres, mais tout aussi exceptionnel par la conception de ses travées de rives.

Ces deux réalisations spectaculaires n'ont pu être entreprises qu'après une longue période de recherche, et après une série de constructions expérimentales, modestes pour commencer, qui ont permis de maîtriser la mise en œuvre de ce matériau.

L'expérience étrangère

Comme nous l'avons indiqué dans un article paru dans le numéro de septembre 1976 du P.C.M., c'est au début du vingtième siècle que furent fabriqués les premiers granulats légers artificiels, par S.J. Hayde (1).



Pont de Cheneau sur la Moselle.

Ils ont permis, aux Etats-Unis, des réalisations spectaculaires et célèbres, comme la couverture de l'Oakland Bay Bridge à San Francisco au début des années 1930, le cargo Selma en 1919, et une série d'une centaine de liberty ships au cours de la seconde guerre mondiale.

En Europe, le développement a été beaucoup plus tardif, puisqu'il a fallu attendre le début des années 1960 pour voir construire — essentiellement en Allemagne et aux Pays-Bas

— des ponts de grande portée et des tours en béton léger. Ce développement s'est poursuivi en Australie et en Afrique du Sud.

Ce développement du béton léger est dû — notamment en Allemagne et aux Pays-Bas — au manque de granulats traditionnels.

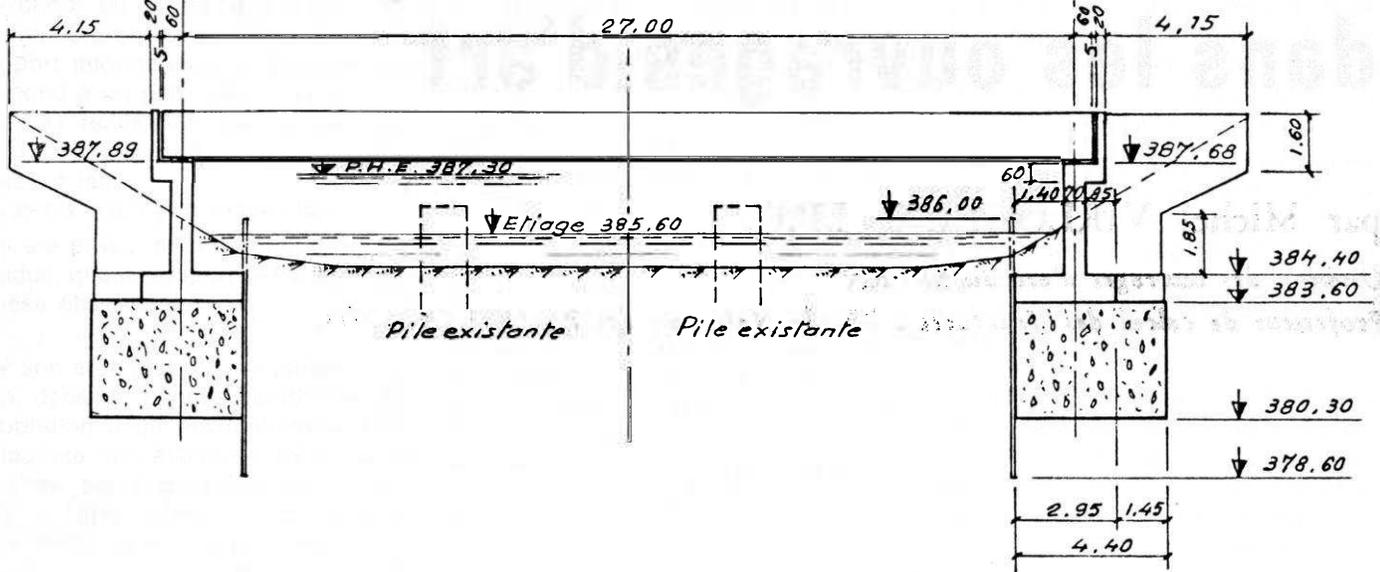
(1) Avant 1920, puisqu'un bateau construit en béton léger, le Selma, a été lancé dès juin 1919.

Niveau fini 389,36
Niveau béton brut 389,30

COUPE LONGITUDINALE

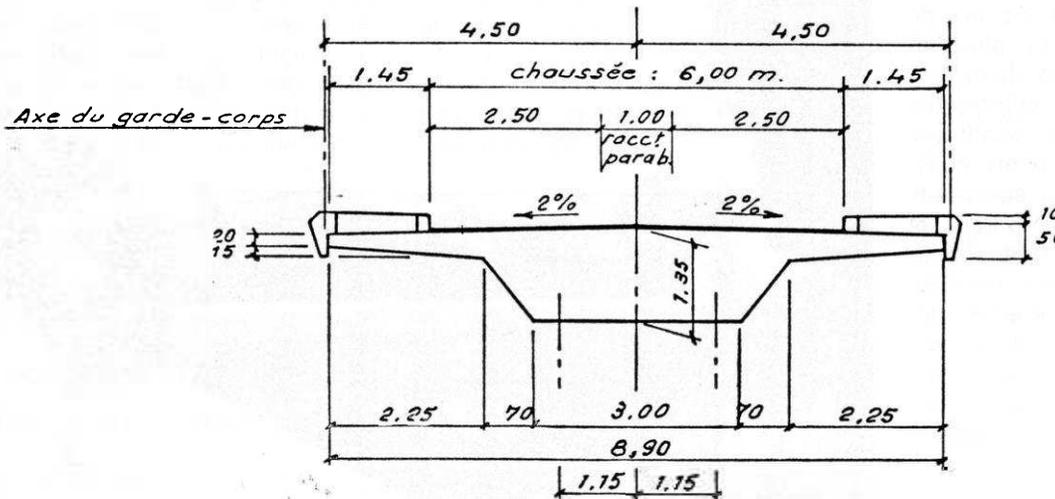
Echelle : 1/200

389,19 Niveau fini
389,13 Niveau béton brut



COUPE TRANSVERSALE

Echelle : 1/100



Pont de Cheneau
Schémas de l'ouvrage

R.D. : 2 appuis néoprène 300 x 350 x 5 (12 + 2)
R.G. : 2 dés de béton fretté 30 x 35 x 5

Et c'est l'abondance de granulats silico-calcaires traditionnels qui a retardé l'apparition, en France, du béton léger.

Il a fallu attendre les années 1960 pour que la première usine d'argile expansée soit construite. Sa production était orientée vers les applications courantes du bâtiment, blocs et panneaux préfabriqués, essentiellement.

D'autres usines ont été construites au début des années 1970, et c'est à partir de cette époque que l'on a cherché à développer l'utilisation du

béton léger dans les ouvrages d'art, et, de façon plus générale, dans les structures fortement sollicitées.

Les premières réalisations

Le pont de Cheneau

Le premier pont construit en béton léger, en France, est le pont de Cheneau, dans les Vosges, sur la Moselle. Il a été construit en 1971-1972 par

l'entreprise CITRA, sous l'impulsion du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, notamment de Mme Brachet.

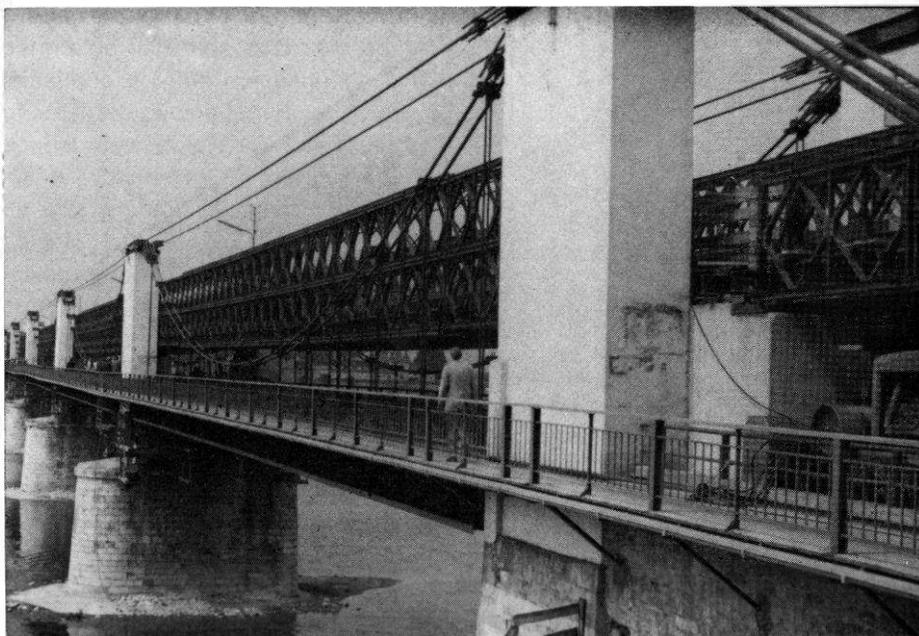
Il s'agit d'un pont en dalle nervurée, isostatique, de 27 mètres de portée.

Le pont de Jargeau

La seconde réalisation est celle du pont de Jargeau, sur la Loire. Elle date de 1973.

Le remplacement de la vieille dalle de couverture du pont suspendu faite en voutins de briques — par une dalle en béton léger, coulée sur bacs métalliques auto-porteurs perdus, a permis de conserver l'ancienne suspension. Le gain de poids amené par l'emploi de béton léger autorisait en effet le passage des poids lourds sans limitation de tonnage, ce qui n'aurait pas été possible avec une dalle classique. C'est l'entreprise Baudin - Châteauneuf qui a réalisé les travaux.

L'expérience de cet ouvrage est à l'origine d'un très grand nombre de réparations d'ouvrages métalliques, notamment sous la direction de M. Lecroq.



Pont de Jargeau. Vue générale, avec le Pont Bailey assurant la circulation provisoire.

Les ouvrages du Nord

Tandis que les ponts de Cheneau et de Jargeau étaient construits sous le contrôle du SETRA ou du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, d'autres ouvrages ont été construits dans le Nord de la France à l'initiative d'entreprises.

La localisation de ces expériences dans le Nord est évidemment liée à la présence de l'usine des charbonnages de France, près de Lens, qui a produit le granulats léger le plus utilisé pour les ouvrages d'art.

Citons les passages inférieurs numéros 23 et 25 sur la rocade minière de Lens, construits en 1974 par Caroni, avec un projet d'Europe-Etudes. Il s'agit de dalles précontraintes classiques, qui ont donné lieu à un incident dû à l'utilisation d'un béton trop raide (trop long temps d'attente, ciment trop chaud, fausse prise du ciment).

Citons aussi les passages supérieurs numéros 37 et 40 de la liaison entre l'autoroute A1 Nord de la rocade Est de Lille. Il s'agit, là encore, de dalles précontraintes, qui ont été construites en 1974 par la Société des Grands Travaux du Nord, sur un projet d'Europe-Etudes.

Deux ponts plus importants ont été construits par Quille entre 1974 et 1975, avec des projets d'Europe-Etudes.

Le premier, le pont du CD 48, à Lille, est un pont de trois travées franchissant la Deule. Chacune des deux travées de rive, assez courtes, a été coulée sur cintre avec une amorce de travée centrale, en béton traditionnel. Trois poutres rectangulaires ont ensuite été préfabriquées, en béton léger et mises en place en console sur les amorces de travée centrale déjà réalisées. L'ouvrage a été achevé en solidarissant, par matage et précontrainte, ces poutres au reste du tablier, et en réalisant le hourdis supérieur dans la zone centrale, en béton léger. Cet ouvrage a donné lieu à quelques désordres, dus à une assez mauvaise conception du câblage. Il a été facilement réparé en 1977, sous le contrôle du SETRA, au moyen d'une précontrainte extérieure.

Le mode de construction du second — le pont de Fontenelle, sur l'Escaut à Valenciennes — est encore plus original. Comme l'ouvrage a été construit avant l'aménagement de l'Escaut au grand gabarit, une moitié de l'ouvrage a pu être directement coulée sur cintre. L'autre moitié a été coulée sur cintre, mais parallèlement à l'Escaut. Elle a ensuite été mise en place par rotation autour de la pile, la culée se déplaçant sur un chemin de roulement. Là aussi la partie centrale a été réalisée en béton léger,

pour réduire le déséquilibre en phase de construction, et les travées de rive — qui jouent un rôle de contrepoids — en béton traditionnel.

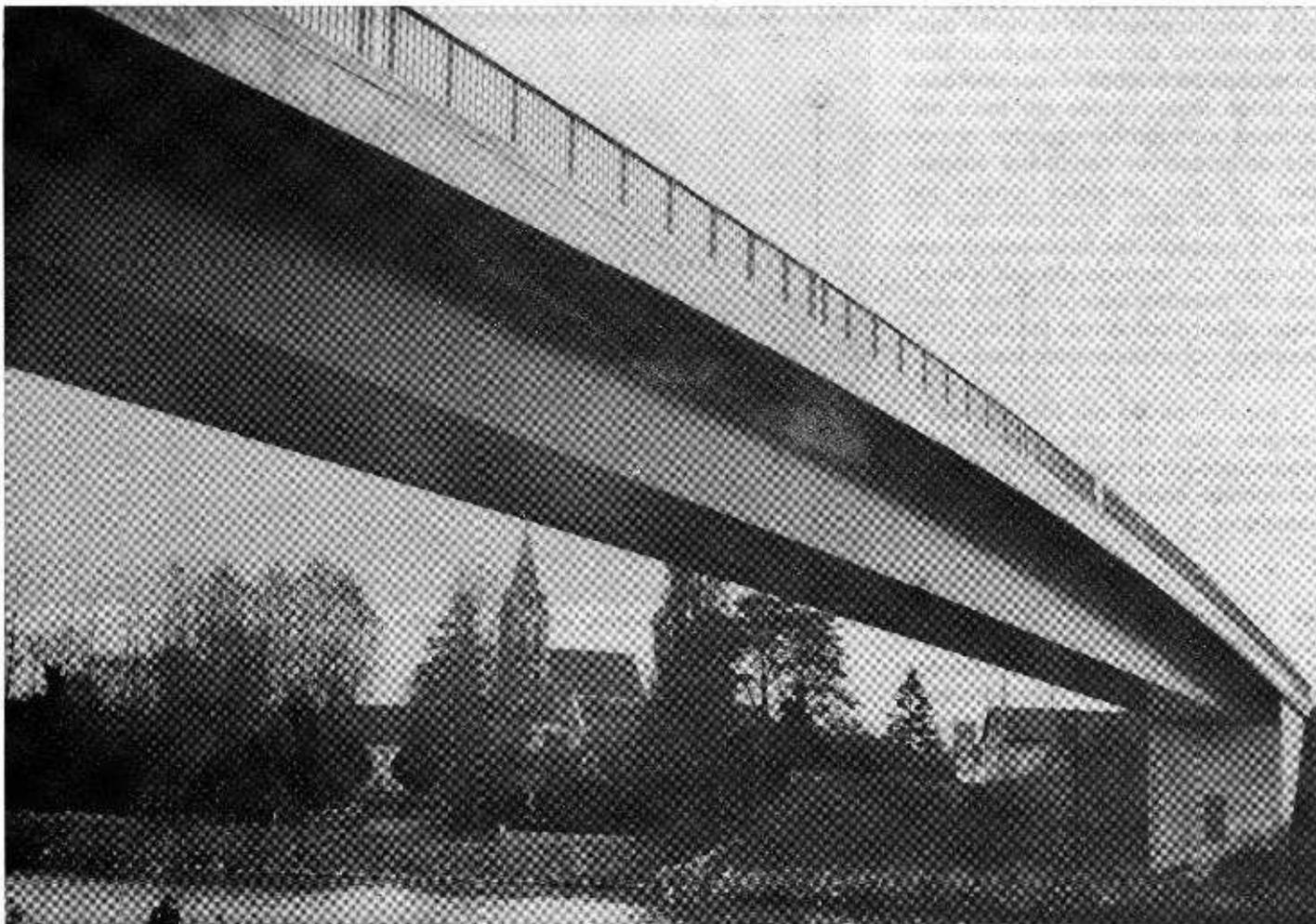
Le pont de Bruyères sur l'Oise et la passerelle de Cergy

En région parisienne, deux ponts importants ont été construits pendant cette période 1974-1975, sous le contrôle du Service Régional.

Il s'agit tout d'abord du pont de Bruyères-sur-Oise, réalisé par l'entreprise Drouard, sur un projet de la Structec.

Il s'agit d'un pont constitué de deux cadres fermés formant travées de rive, et reliés par une travée centrale. L'ouvrage a été construit sur cintre au sol, la dérivation de l'Oise ayant été faite après construction du pont. La travée centrale a été construite en béton léger, par voussoirs pour limiter le volume des bétonnages. Le câblage est filant dans la travée centrale, pour qu'il n'y ait pas d'ancrages dans le béton léger.

De façon à supprimer un travail en arc, qui aurait imposé des fondations trop importantes, le cadre formant travée de rive est encastré sur ses pieux sur une rive, mais sur l'autre



Pont de Cergy.

les déplacements horizontaux ont été libérés par interposition d'appuis glissants.

Le second ouvrage est une passerelle isostatique, de 102 mètres de portée, construite sur l'Oise à Cergy. Il s'agit d'une ossature mixte acier-béton léger. Elle a été réalisée par Sotracomet pour la structure métallique, et par Lecat, pour le béton léger.

Elaboration d'une réglementation

Tous ces ouvrages ont été construits sans règles de calcul ou d'exécution propres au béton léger.

L'absence de règles était une source de risques, mais aussi un frein

considérable au développement du béton léger.

En 1974, l'Administration et la Profession, par l'intermédiaire de l'Union Technique Interprofessionnelle (UTI), ont donc décidé de créer un groupe de travail chargé d'élaborer les textes nécessaires.

Les recommandations provisoires pour l'utilisation des bétons de granulats légers ont été publiées par l'UTI dans le numéro de mars 1976 des Annales de l'ITBTP.

Le texte de l'Administration — les recommandations provisoires pour l'emploi du béton léger dans les ouvrages dépendant de la Direction des Routes et de la Circulation Routière du Ministère de l'Équipement (RPBL) — a été publié par le SETRA en décembre 1976.

Ces recommandations ont été établies en se servant des réglementations étrangères (américaines, belges et allemandes notamment), et des publications techniques existantes. Mais elles ont surtout été basées sur un certain nombre de recherches expérimentales faites en France, essentiellement par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, et par le CEBTP, sur les résultats des épreuves d'études, de convenance et de contrôle des premières réalisations françaises, et sur l'expérience constructive de ces ouvrages.

Ces recommandations — aussi bien le texte de la profession que celui de l'Administration qui ne diffèrent en fait que par la forme et non par le fond —, ont été rédigées dans un esprit de grande prudence, en prenant des marges de sécurité confortables chaque fois que les résultats expérimentaux, ou les références bibliographiques, ne permettaient pas de courbure de façon certaine.

Aujourd'hui, trois ans après la rédaction de ces textes dont le contenu a été arrêté à la fin de 1975, les modifications que l'on pourrait envisager de leur apporter restent extrêmement limitées. Elles iraient d'ailleurs presque toutes dans le sens d'une atténuation de certaines précautions qui avaient été prises et qui s'avèrent, à l'expérience, un peu excessives. Mais il est de toutes façons encore un peu tôt pour faire un bilan suffisamment complet.

En liaison avec l'élaboration de cette réglementation, le LCPC et le CEBTP ont entrepris d'établir des fiches donnant les caractéristiques des différents granulats légers disponibles en France, aussi bien ceux qui y sont fabriqués que ceux qui sont fréquemment importés, de Belgique essentiellement.

Lancement d'un important programme de recherche

Les résultats expérimentaux qui ont servi de base à l'établissement de la réglementation provisoire du béton léger, comportaient des lacunes importantes.

Dans le but d'améliorer la connaissance du béton léger et de son comportement, d'importants programmes de recherche ont été lancés.

Le programme de la DBTPC

Un programme très important a notamment été mis au point par la Direction du Bâtiment des Travaux Publics de la Conjoncture.

Une partie des recherches a été orientée vers les granulats légers eux-mêmes. Une étude fondamentale a été faite par le Laboratoire de l'Ecole Nationale des Mines de Paris (Armines) sous la Direction du Professeur Arnould. Une autre, plus directement orientée sur l'aspect opérationnel de la fabrication, a été confiée au (CTTB) Centre Technique des Tuiles et Briques.

Une étude confiée au CEBTP, a permis de faire une analyse plus systématique et plus complète des propriétés des bétons légers, et de l'incidence des différents paramètres : masse volumique de grains, dosage en eau, prémouillage, etc.. Cette étude très importante, faite par M. Coquillat, a permis de confirmer de façon plus précise, et plus scientifique, les règles qui avaient été adoptées sur la base d'essais fragmentaires, ou par référence à des prescriptions étrangères qu'il n'avait pas été possible de vérifier.

Une recherche sur l'étuvage a été faite par le CERIB, qui a permis de déterminer les conditions de l'étuvage du béton léger.

D'autres recherches ont été menées, qui étaient plutôt orientées vers le bâtiment. Sur les bétons très légers notamment.

Le programme de recherche SETRA-UTI

La Direction des Routes a un budget de recherches sur les ouvrages d'art dont la gestion est confiée au SETRA.

Ce budget sert à lancer des recherches, financées à moitié par le SETRA et à moitié par la profession — l'UTI — et confiées au service d'Etudes des Structures du CEBTP, à Saint-Rémy.

A la différence de recherches de la DBTPC, qui ont été orientées vers les caractères élémentaires des bétons légers, les recherches SETRA-UTI ont eu pour objet l'étude du comportement structurel du béton :

- résistance aux efforts concentrés, avec l'application évidente à la diffusion des efforts de précontrainte,
- études des lois de déformation du béton léger,
- étude du comportement en flexion simple et en flexion composée de poutres en béton léger,
- étude au flambement du béton léger.

Les programmes de recherche du LCPC :

Enfin, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées finance un certain nombre de recherches.

Les recherches sur le matériau, et les recherches expérimentales de Laboratoire sont maintenant assez limitées, mais les expérimentations sur ouvrages réels se multiplient.

On peut citer les recherches menées sur le pont de Cheneau, sur celui de Bruyères sur l'Oise, sur la passerelle de Cergy, sur le pont de Calais, et maintenant sur les ponts d'Ottmarsheim et du Tricastin.

Les enseignements que l'on cherche à tirer des constructions réelles portent surtout sur les variations dimensionnelles dans les conditions réelles de l'ouvrage, avec en particulier l'étude de la redistribution d'efforts par fluage, celle de l'effet des gradients thermiques, et sur les conséquences des variations dimensionnelles sur la géométrie du tablier.

Des recherches sont aussi menées sur la masse volumique réelle du béton léger de l'ouvrage.

Promotion du béton léger

Au moment où paraissent les recommandations provisoires pour l'emploi du béton léger, un gros effort d'information a été fait.

En effet, la crise de l'énergie a durement touché les fabricants de granulats légers, car l'énergie intervient beaucoup dans le bilan financier de la fabrication.

En outre, la modification des règles d'isolation thermique des bâtiments a été très défavorable au béton léger. Avec les anciennes normes, on pourrait construire en murs pleins de béton léger, alors que le sandwich s'imposait en béton traditionnel. Avec les nouvelles normes, le gain d'isolation

qu'apporte le béton léger ne permet plus de réaliser des murs pleins. Il faut faire des murs sandwich, comme avec du béton traditionnel, et l'intérêt du béton léger disparaît.

Comme seule l'industrie du bâtiment pouvait assurer un débouché suffisant, la production s'est fortement ralentie, et plusieurs usines de granulats légers ont dû fermer leurs portes entre 1975 et 1977.

C'est dans le but de faire connaître ce matériau, de montrer ses avantages et de mettre en évidence son domaine d'emploi, dans cette période difficile, que de nombreuses conférences et journées d'information ont été organisées.

Les principales ont été les journées d'information de mars 1974, à l'ITBTP, les conférences de décembre 1975 toujours à l'ITBTP, les journées du CETE de Lille en décembre 1975, et le séminaire de l'INSA de Rennes en septembre 1976. En outre, des séances d'information ont été organisées dans certains CIFP.

Actuellement, enfin, la DBTPC envisage d'éditer un livre sur le béton léger, en liaison avec la formation continue de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

La préparation des réalisations importantes

Des études rapides faites par le SETRA en 1974, ont montré que le béton léger devrait être surtout intéressant pour les ouvrages de grande portée.

Mais, bien qu'il existe, à l'étranger, des réalisations très importantes en béton léger, il a paru imprudent de construire tout de suite des ponts de grande portée.

Le SETRA a donc décidé de réaliser d'abord des ouvrages modestes, en prévoyant dès le projet l'utilisation du béton léger, de façon à limiter les risques éventuels.

Deux ouvrages ont ainsi été réalisés.

• Le premier est la passerelle du Tremblay, sur l'autoroute A4, à la sortie de Paris.

Il s'agit d'une dalle nervurée continue, de quatre travées, dont la portée principale dépasse 42 mètres. Elle a été réalisée sur cintre unique en deux phases de bétonnage.

Sa réalisation, par l'entreprise Quillery Saint-Maur, au premier trimestre 1976, a donné lieu à trois incidents malgré les précautions prises, mais elle a été riche d'enseignements.

Le premier incident concernant le béton léger a eu lieu au bétonnage. Un surdosage en adjuvant, dû à la non fermeture d'une électrovanne, s'est produit sur quatre gâchées. Les éprouvettes d'information n'avaient pas fait prise sur chantier au bout de 48 heures, et, le lendemain du bétonnage, le béton n'avait pas fait prise à la surface du tablier. Heureusement, les mesures qui ont été faites ont montré qu'au cœur de la nervure le béton avait fait son durcissement, malgré le surdosage, grâce à l'exothermicité de l'hydratation du ciment des autres gâchées.

Comme l'emploi d'un adjuvant est pratiquement indispensable pour le béton léger, cet incident a mis en évidence les précautions à prendre à l'avenir.

Le second incident aurait, lui, pu être évité par une meilleure réflexion. Il s'est en effet produit une importante fissure longitudinale dans la nervure, sur culées. Cette fissure était due essentiellement à un phénomène de retrait différentiel entre la plaque de répartition préfabriquée en béton traditionnel, formant entretoise d'appui, et la nervure en béton léger. Ces phénomènes de retrait différentiel sont inévitables à une jonction béton traditionnel - béton léger, compte tenu du fort retrait de ce dernier.

L'expérience de cet incident — qui a imposé une réparation facile — a permis de prendre à l'avance des précautions pour les grands ouvrages en caisson comportant une partie en béton léger, en augmentant le ferrailage du premier voussoir en béton léger.

• Le second pont qui a été construit grâce à Monsieur Paré qui était alors à la D.D.E. du Pas-de-Calais, est le pont de la Rocade Sud de Calais, sur le canal maritime. Il s'agit d'un pont isostatique à poutres précontraintes sous chaussée, de plus de 42 mètres de portée, qui a été construit par l'entreprise Quille.

Cet ouvrage comporte des âmes de trente centimètres d'épaisseur, et les poutres ont une hauteur de 2,50 mètres. Les conditions de bétonnage se rapprochaient donc de celles d'un pont caisson.

Sa construction a permis de fixer les valeurs optimales de la maniabilité, pour une bonne mise en œuvre du béton léger. Et, si les premières poutres n'ont pas été faciles à bétonner, à cause d'une maniabilité insuffisante, la leçon a été retenue.

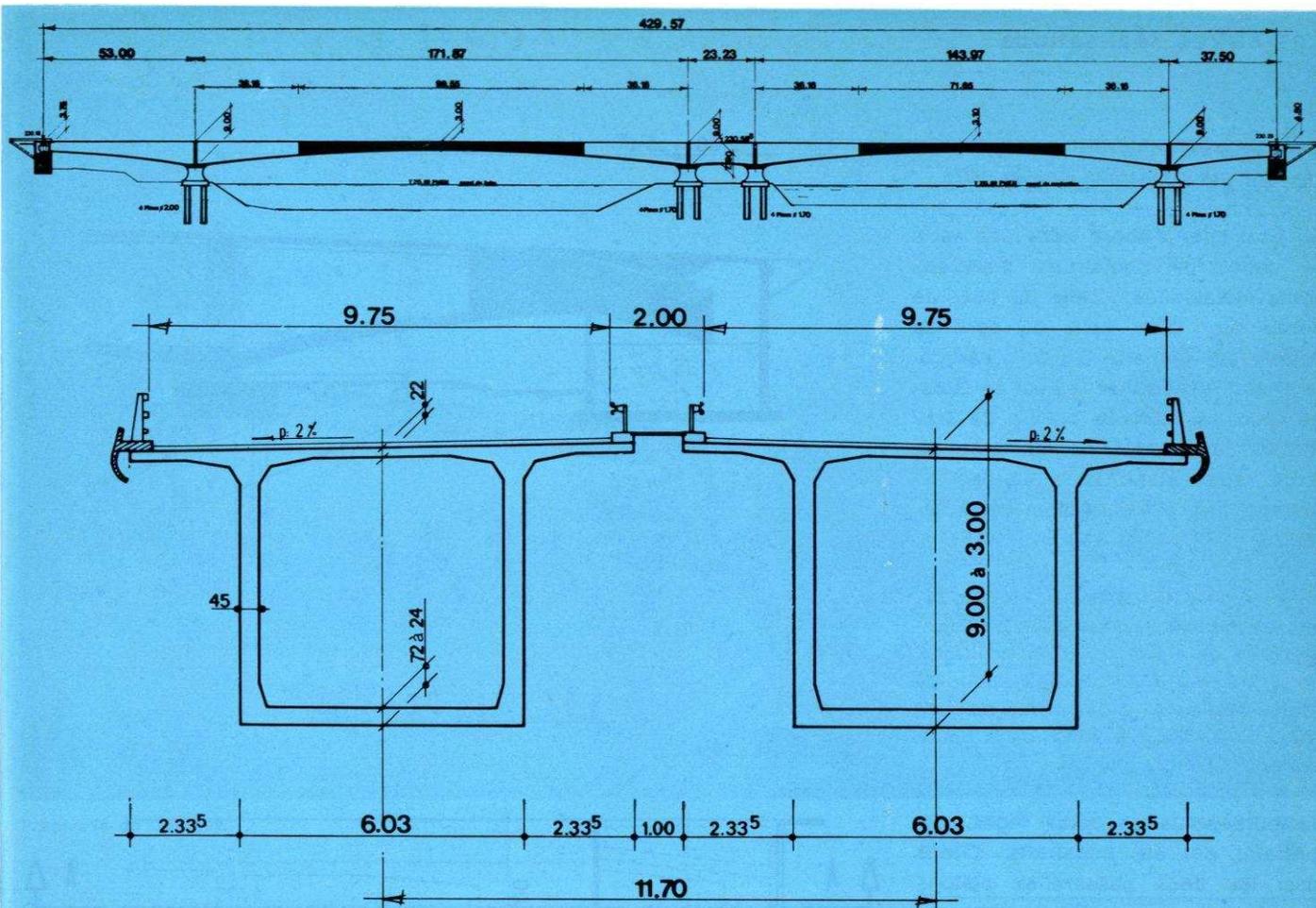
Les ponts d'Ottmarsheim et du Tricastin

C'est bien l'expérience des premiers ponts en béton léger qui a permis la réalisation des ponts d'Ottmarsheim et du Tricastin.

Dans le cas du pont d'Ottmarsheim, quatre solutions avaient été étudiées par l'Administration avant l'appel d'offres, dont une en béton léger, comportant un certain nombre d'améliorations par rapport à la solution de référence, qui s'est en définitive avérée la plus économique. La différence de prix était de l'ordre de 3 à 4 % en faveur du béton léger.

Compte tenu de l'importance de l'ouvrage, la décision de retenir la solution en béton léger a été prise par le Directeur des Routes lui-même.

Si la construction de l'ouvrage, par l'entreprise Coignet, se déroule de façon très satisfaisante, il faut reconnaître que le béton léger a été, pour cet ouvrage, une source de soucis. La masse volumique du béton léger s'est avérée supérieure aux prévisions, et il a fallu compenser cet alourdis-



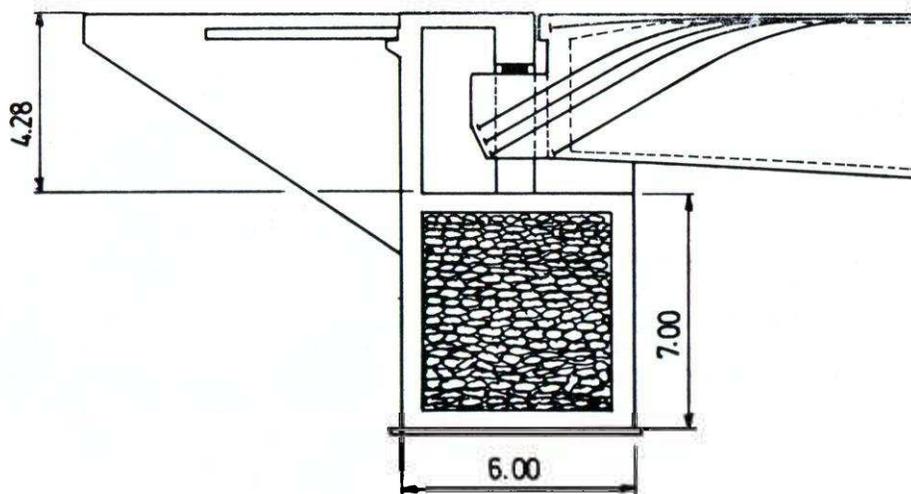
Pont d'Ottmarsheim. Schémas de l'ouvrage.

sement par l'utilisation de corniches en aluminium. Et les résistances, qui ont été supérieures aux prescriptions, n'ont pas été aussi bonnes que prévu.

Le cas du pont du Tricastin est très différent. Il s'agit d'une solution variante proposée par l'entreprise Campenon Bernard. Cet ouvrage est surtout remarquable par ses culées contre-poids, pesant 1 800 tonnes.

Le suivi de la géométrie de l'ouvrage a mis en évidence un bon accord entre les prévisions et la réalité, apportant des informations intéressantes sur les déformations du béton léger.

Et les résultats sur le béton léger ont été satisfaisants, puisqu'on a respecté la masse volumétrique prévue, avec d'assez faibles écarts, et que les résistances ont été correctes compte tenu des performances du ciment.



Pont d'Ottmarsheim. Schéma de la culée.

Les autres réalisations

Mais de très nombreux autres ouvrages ont été construits depuis 1975.

On peut citer d'abord toute une série de dalles de couverture d'anciens ponts métalliques : celle du pont de Boran sur l'Oise, celle du pont de Veurey sur l'Allier... On doit particulièrement mentionner le pont de Gros-lée, dont la nouvelle poutre de rigidité est en aluminium. La dalle de béton léger participante en fait un ouvrage original aluminium-béton léger.

On peut citer un certain nombre d'osatures mixtes : la passerelle de Gournay près de Paris, le pont de l'abattoir à Valenciennes, la passerelle de Reuilly-Sauvigny, le deuxième pont de l'autoroute A1 sur le canal de la haute Deule.

Plusieurs ponts en béton léger précontraint ont été construits. Citons aussi les deux passerelles piétons d'Amiens en béton léger armé, et l'utilisation du béton léger dans deux ponts SNCF.

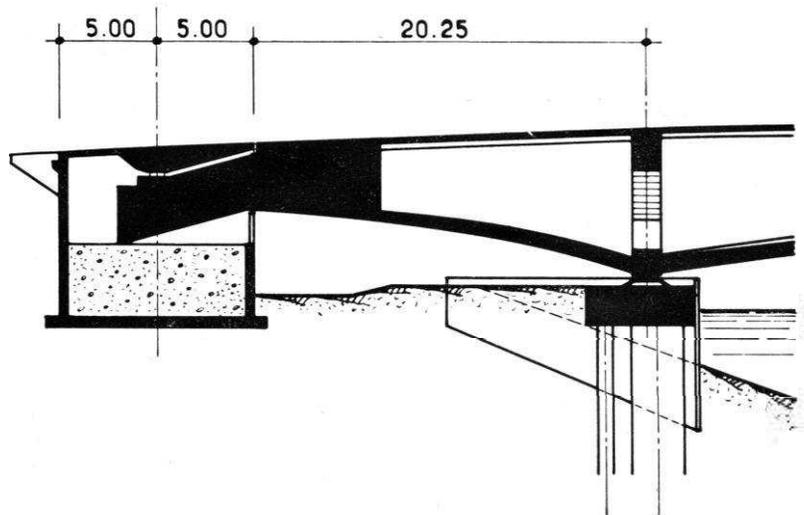
Développement futur

Pour le futur, le béton léger devrait trouver deux domaines d'application intéressants.

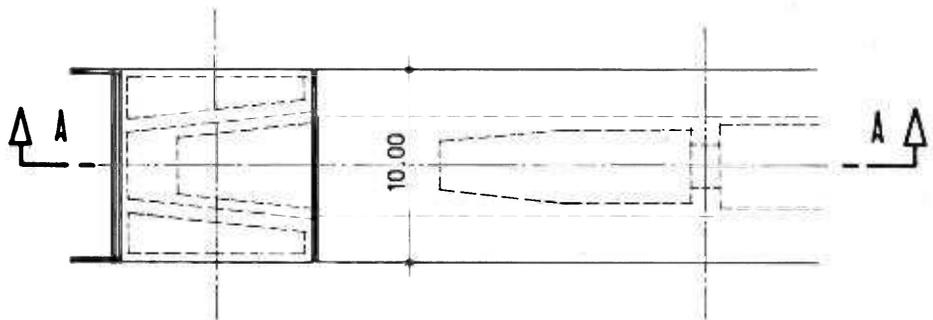
Tout d'abord, les ponts à haubans en béton précontraint. Le gain de poids apporté par l'emploi du béton léger permet de réduire d'environ 20 % la section des câbles et l'effort normal sur le pylone. Le gain financier sur les câbles est évident. Et les conditions de stabilité au flambement du pylone sont telles qu'une réduction de 20 % de l'effort normal est intéressante.

Et le béton léger devrait trouver une application intéressante dans les arcs construits par encorbellements successifs avec haubannage provisoire.

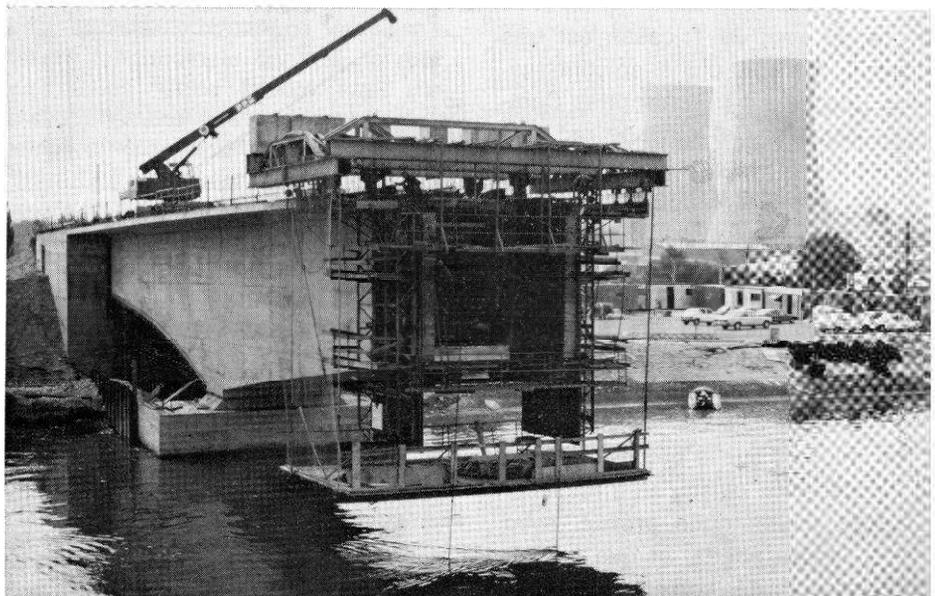
COUPE A



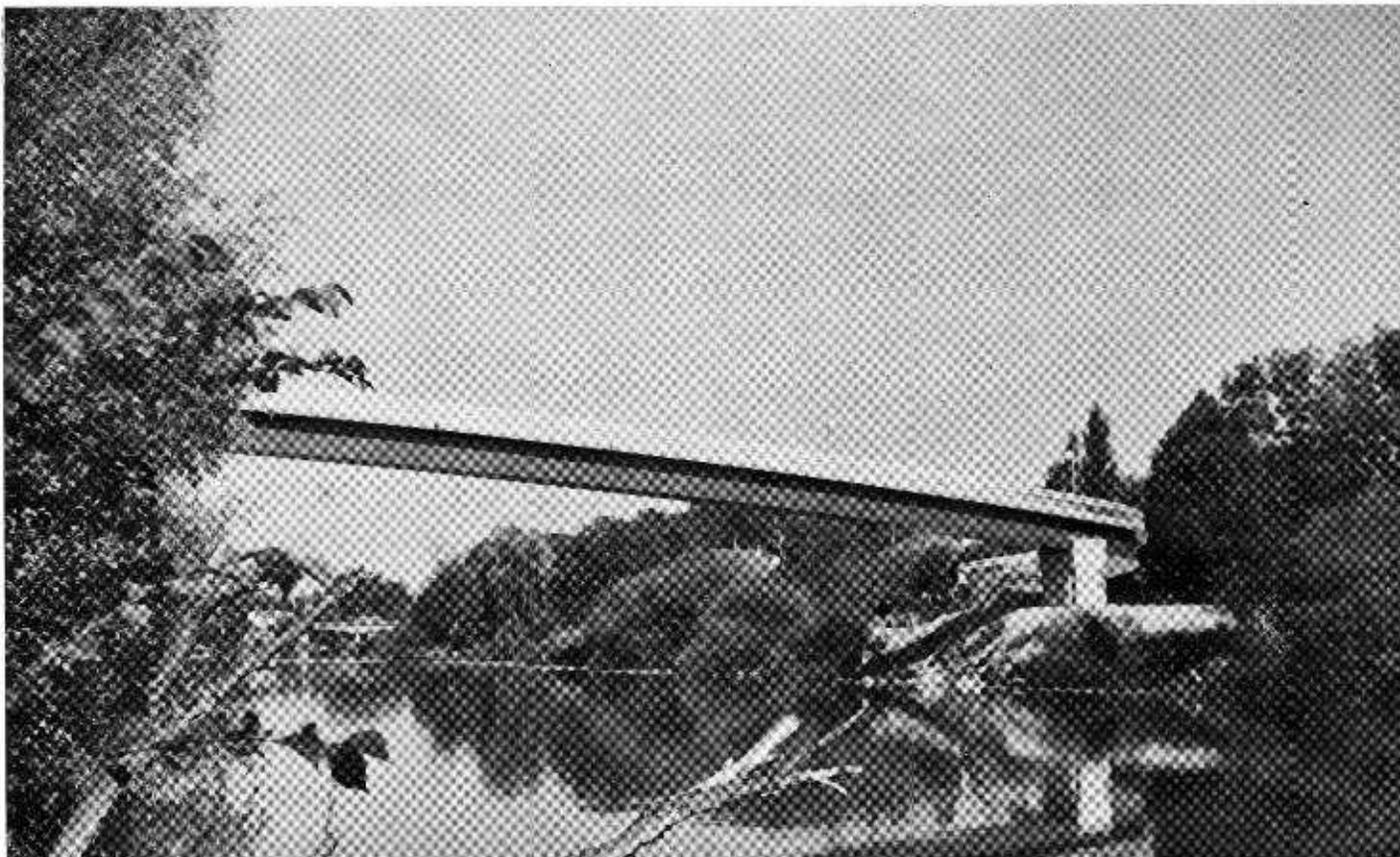
VUE DE DESSUS



Pont du Tricastin. Schéma de l'ouvrage.



Pont du Tricastin.



Passerelle de Gournay.

Photo P. Mehue

Ce type de construction, qui se développe à l'étranger, permet de franchir sans appui de grandes brèches aux parois assez raides, à condition que les conditions de fondation soient favorables.

Le béton léger, par son faible poids, permet évidemment de réduire la quantité de haubans à mettre en œuvre en phase de construction.

Application du béton léger en dehors du domaine des ouvrages d'art

Le béton léger peut avoir des applications intéressantes dans d'autres domaines que celui des ponts.

En se limitant aux applications structurales, on peut citer tout d'abord

les immeubles de grande hauteur et les structures offshore.

De nombreuses tours ont été construites en béton léger à l'étranger. Aux Etats-Unis, en Allemagne, en Afrique du Sud, en Autriche. La fin des programmes de construction de grandes tours a empêché la réalisation de tels ouvrages en France.

Dans le domaine de l'offshore, les réalisations sont peu nombreuses. On doit surtout citer le dock flottant de Gênes, qui est certainement le plus bel ouvrage existant en béton léger. En France, on aurait pu, par exemple, imaginer de construire en béton léger le bateau porte de la dernière forme de Brest. Mais l'idée est venue trop tard.

Les deux seules réalisations françaises importantes sont l'Ambassade d'Australie, construite par Oger, et les voies de couverture de l'aérogare numéro deux de Roissy, dont Bouygues commence la construction.

GRANULEX

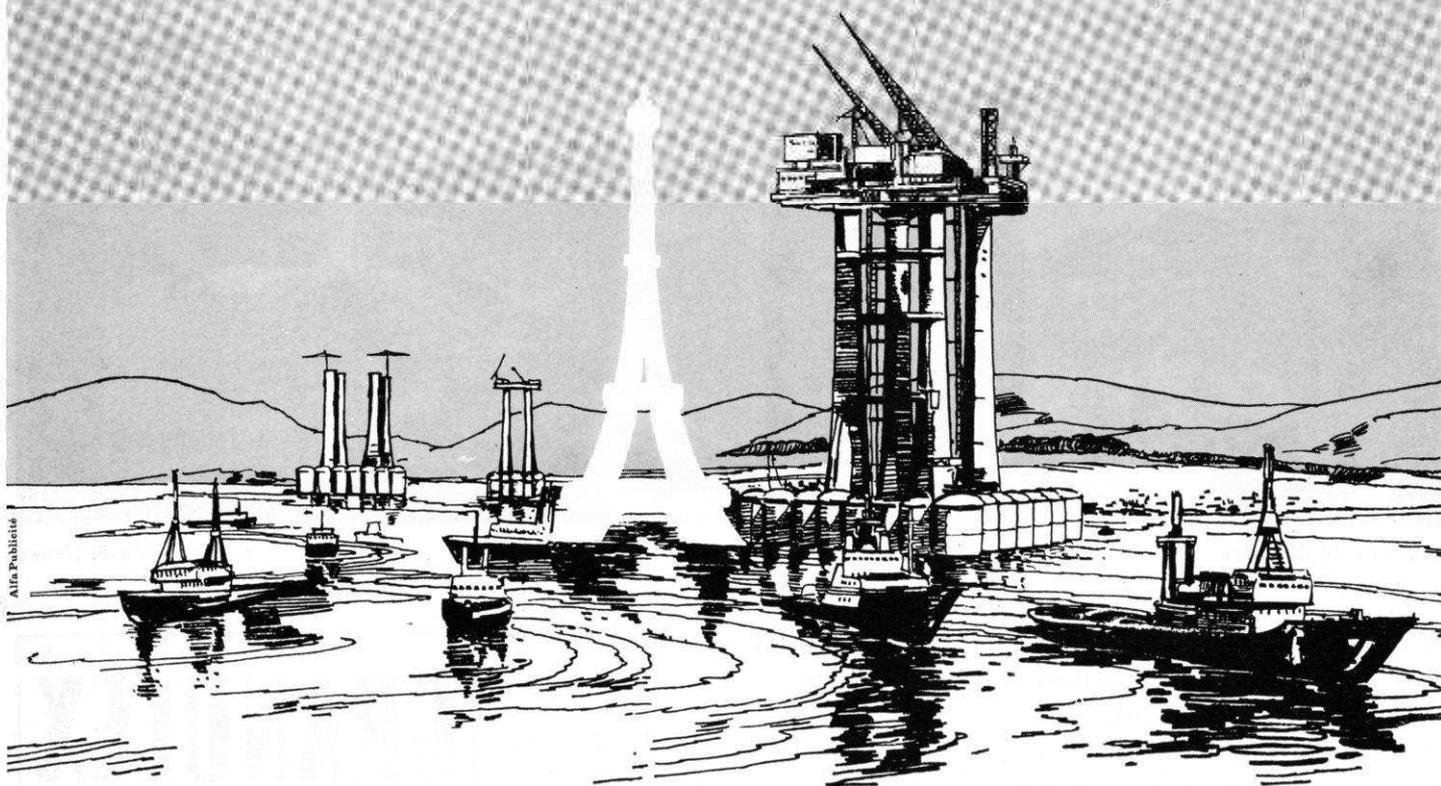
GRANULATS
LEGERS
DE SCHISTE
EXPANSÉ
POUR
OUVRAGES
d'ART

G. E. M.

13, rue de Turin
75008 PARIS
Tél. 387.37.40

Sea Tank Co

**a créé une nouvelle génération d'ouvrages en mer
avec la construction et l'installation en Mer du Nord
de 3 plates-formes géantes en béton pour l'exploitation
du pétrole et du gaz**



aussi hautes que la tour Eiffel!

Parce qu'ils ont travaillé dans une mer réputée la plus dure du monde
les hommes qui ont su créer ces structures, les entretenir et les faire vivre
sont prêts à inventer et à réaliser pour vous des unités simples ou complexes
sur tous les océans.

Ces hommes ont confiance dans l'avenir.

Ils s'appuient sur les moyens des plus grandes sociétés françaises de travaux publics :

**Société Générale d'Entreprises
Dumez
L'Entreprise Industrielle
Sainrapt et Brice
Dragages et Travaux Publics**



Immeuble IENA - 12, rue Le Corbusier - 94-RUNGIS FRANCE. Tél. 687.23.32.

DECISIONS

M. José Roman, I.P.C. à la Direction Départementale de l'Équipement de l'Hérault, est, à compter du 1^{er} décembre 1978, mis à la disposition de la ville de Montpellier en qualité de Directeur Général des Services Techniques.

Arrêté du 17 novembre 1978.

M. Jean-Claude Demouy, I.P.C. est, à compter du 1^{er} novembre 1978, chargé à la D.D.E. du Pas-de-Calais de Politique Infrastructures et Transports.

Arrêté du 17 novembre 1978.

M. Guy Deyrolle, I.C.P.C., est à la D.D.E. du Pas-de-Calais, adjoint au Directeur, chargé de Politique Aménagement du Territoire, à compter du 1^{er} novembre 1978.

Arrêté du 17 novembre 1978.

M. Gérard Lemonnier, I.P.C. à la D.D.E. de Vaucluse, est, à compter du 1^{er} août 1978, mis à la disposition de la ville de Cannes pour y occuper l'emploi de Directeur Général des Services Techniques.

Arrêté du 20 novembre 1978.

M. Jean-Louis Lascar, I.C.P.C., affecté provisoirement à la D.P., est à compter du 1^{er} novembre 1978, affecté au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Paris en qualité d'Adjoint au Directeur : Prévision Contrôle et Information.

Arrêté du 22 novembre 1978.

M. Christian de Gayardon de Feuoyl, I.P.C., mis à la disposition du Ministère des Transports, est, à compter du 15 novembre 1978, mis à la disposition du Secrétariat d'Etat aux Postes et Télécommunications en qualité d'Adjoint au Directeur Général des Postes.

Arrêté du 1^{er} décembre 1978.

M. Armand Laudénbach, I.P.C., à la D.D.E. du Pas-de-Calais, est, à compter du 1^{er} décembre 1978, mis à la disposition de la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale.

Arrêté du 1^{er} décembre 1978.

M. Christian Jamet, I.P.C. à la Direction des Routes et de la Circulation Routière, est, à compter du 1^{er} novembre 1978, mis à la disposition du Cabinet du Ministre des Transports.

Arrêté du 1^{er} décembre 1978.

M. Edouard Brezin, I.C.P.C., en service détaché auprès du Commissariat à l'Énergie Atomique, est, à compter du 1^{er} octobre 1978, maintenu dans la même position auprès de cet organisme pour une nouvelle période de cinq ans éventuellement renouvelable.

Arrêté du 6 décembre 1978.

M. Roger Louzaouen, I.P.C. à la D.D.E. de la Loire-Atlantique, est, à compter du 1^{er} octobre 1978, chargé à la même D.D.E. de l'arrondissement opérationnel.

Arrêté du 6 décembre 1978.

M. Jean-Pierre Maillard, I.P.C. à la D.D.E. de la Savoie, est, à compter du 1^{er} février 1979, placé en disponibilité pour études et recherches pour une période de trois ans éventuellement renouvelable.

Arrêté du 6 décembre 1978.

NOMINATION

M. Robert Vion, I.C.P.C., Chef de l'Infrastructure à la D.D.E. du Bas-Rhin, est, à compter du 1^{er} janvier 1979, nommé Adjoint au Directeur Départemental de l'Équipement du Bas-Rhin.

Arrêté du 17 novembre 1978.

MUTATIONS

M. Alain Chandèze, I.P.C. à la D.D.E. de la Vienne, est, à compter du 1^{er} janvier 1979, muté à la D.D.E. de la Moselle pour y être chargé du Groupe d'Études de la Planification urbaine.

Arrêté du 1^{er} décembre 1978.

M. Michel Carrèse, I.P.C. au Service des Bases Aériennes, est, à compter du 1^{er} décembre 1978, muté à la D.D.E. de Seine-et-Marne pour y être chargé du Groupe d'Études et de Programmation.

Arrêté du 5 décembre 1978.

M. Bertrand Desbazeille, I.P.C., à la D.D.E. du Nord, est, à compter du 1^{er} décembre 1978, muté à la D.D.E. des Hauts-de-Seine, en qualité d'adjoint au Directeur, chargé des Infrastructures.

Arrêté du 13 décembre 1978.

M. Michel Guy, I.P.C. à la D.D.E. de la Seine-Saint-Denis est, à compter du 1^{er} janvier 1979, muté à la D.D.E. du Puy-de-Dôme pour y être chargé du Groupes d'Études et de Programmation en remplacement de M. Molina.

Arrêté du 18 décembre 1978.

M. Bertrand Levy, I.P.C. à la D.D.E. de l'Yonne, est, à compter du 1^{er} janvier 1979, muté à la Direction des Routes et de la Circulation Routière, — Sous-Direction des Etudes et Programmes — Bureau des Etudes Économiques et de la Recherche en rase campagne en qualité de chargé de mission.

Arrêté du 3 janvier 1979.

M. Michel Demarre, I.P.C. à la D.D.E. du Lot-et-Garonne, est, à compter du 1^{er} février 1979, muté à la D.D.E. du Calvados pour y être chargé du 1^{er} arrondissement tracés neufs routiers et autoroutes en remplacement de M. Sicherman.

Arrêté du 3 janvier 1979.

M. Claude Maisonnier, I.P.C. au Service Technique des Bases Aériennes, est, à compter du 1^{er} janvier 1979, muté à l'Administration Centrale — Direction de la Construction en qualité d'Adjoint au Chef de la Division des composants au Service de la Politique Technique.

Arrêté du 3 janvier 1979.

M. Gérard Salignat, I.P.C. à la D.D.E. de Vaucluse, est, à compter du 1^{er} janvier 1979, muté à la D.D.E. de la Haute-Garonne pour y être chargé de l'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Toulousaine.

Arrêté du 3 janvier 1979.

RETRAITES

M. Raymond Hudry, I.C.P.C., est, à compter du 16 février 1979, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 9 novembre 1978.

M. Jacques Fauchart, I.P.C., est admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 9 novembre 1978.

M. Pierre Cot, I.G.P.C., en position de disponibilité, est réintégré dans son Administration d'origine et admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 28 novembre 1978.

M. Armand Baux, I.C.P.C., est, à compter du 12 mars 1979, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 18 décembre 1978.

M. Camille Raynaud, I.P.C., est, à compter du 30 mars 1979, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 18 décembre 1978.

M. Hubert Loriferne, I.G.P.C., chargé de la mission spécialisée d'Inspection pour la lutte contre la pollution maritime et fluviale, est, à compter du 26 avril 1979, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 28 décembre 1978.

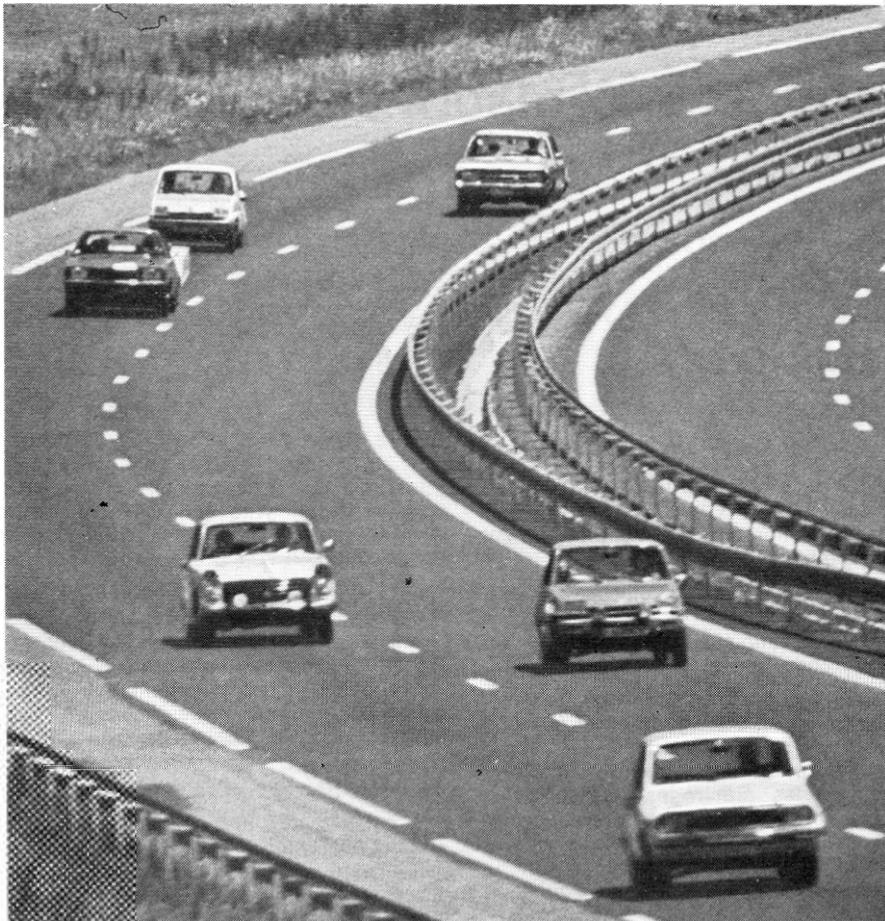
M. Georges Meunier, I.G.P.C., Chef de l'Inspection Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie, est, à compter du 21 mai 1979, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

M. Arnaud Boulard de Vaucelles, I.G.P.C., à l'Inspection Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie, est, à compter du 28 juin 1979, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Arrêté du 3 janvier 1979.

DECES

Nous avons le regret de faire part du décès de **M. Jean Mathieu**, I.G.P.C., ancien Président du PCM, survenu le 30 décembre 1978. Nous présentons à sa famille toutes nos condoléances.



COFIROUTE

Autoroutes L'OCEANE

(Paris-Chartres-Le Mans)

et L'AQUITAINE

(Paris-Orléans-Tours-Poitiers)

11 SOCIÉTÉS ACTIONNAIRES

Compagnie Générale d'Electricité,

Société Générale d'Entreprises,

Société des Grands Travaux

de Marseille,

Société Européenne d'Entreprises,

Société Fougerolle,

Entreprise Jean Lefebvre,

Société Routière Colas,

Crédit Commercial de France,

Comptoir Central de Matériel d'Entreprise,

Société Générale,

Banque de Paris et des Pays-Bas.

465 KM REALISES A NOVEMBRE 1978

285 KM A CONSTRUIRE

Le Mans-Vitré; Angers-Nantes;

Orléans-Bourges.

COFIROUTE

77, avenue Raymond-Poincaré
75116 Paris - Tél. 505.14.13.



SEPT 1978

LES SOCIÉTÉS D'ÉCONOMIE MIXTE D'AUTOROUTES

**autoroute Esterel-Côte d'Azur
ESCOTA**

**autoroutes du Sud de la France
ASF**

**autoroutes Paris-Rhin-Rhône
SAPRR**

**autoroute Paris-Normandie
SAPN**

**autoroutes du Nord et de l'Est de la France
SANEF**

exploitent un réseau de 2 000 km
en assurant aux usagers le maximum de sécurité.

41 BIS, AVENUE BOSQUET - 75007 PARIS - TÉL. 550.32.29

LES STATIONS AUTOMATIQUES D'ANALYSE ET D'ALERTE (2^e partie)*

Les stations automatiques d'analyse et d'alerte permettent au traiteur d'eau d'améliorer la connaissance qu'il a de sa matière première.

Grâce à la mesure en continu de certains paramètres physico-chimiques et à un test global de pollution sur des truites, une variation brutale de qualité de l'eau pompée est rapidement détectée ; les décisions nécessaires, modification du traitement ou arrêt du pompage, peuvent être prises immédiatement.

De plus, le stockage rationnel des paramètres mesurés permet de mieux apprécier l'évolution dans le temps de la qualité de la Seine et d'étudier les éventuelles corrélations entre certains paramètres de qualité et les taux de réactifs ; ces études devraient aboutir à une meilleure efficacité des traitements et à une automatisation accrue des usines.

Jusqu'à l'installation de ces stations, la seule appréciation de qualité de l'eau de Seine brute dont nous disposions était des analyses de laboratoire faites régulièrement. Pour entreprendre des études statistiques, le dépouillement des résultats était laborieux ; de plus, nous n'étions pas en mesure de détecter une pollution subite.

Abordons maintenant de façon plus détaillée la description des stations d'analyse et d'alerte que la Lyonnaise des Eaux a installées en amont de son usine de Morsang-sur-Seine avec l'aide financière de l'Agence de Bassin Seine-Normandie.

La station d'analyse automatique

Malgré l'intérêt que les distributeurs d'eau et les Agences de Bassin manifestent pour les stations d'analyse automatique, leur développement a été, jusqu'à présent, très lent.

Le souhait des utilisateurs est d'acquérir un appareil qui, dans des conditions difficiles et souvent loin de toute présence humaine, nécessite un entretien et un contrôle aussi réduits que possible ; les interventions de maintenance nécessaires doivent être espacées d'au moins une semaine. Pour répondre à ce souhait, les constructeurs se heurtaient à deux difficultés principales :

Le nombre des électrodes réellement spécifiques et fiables était limité ; quant aux mesures par photolorimétrie sur l'eau brute, elles avaient du mal à franchir le cap du laboratoire.

De plus, les problèmes liés au colmatage des appareils par l'eau brute et au nettoyage des différentes sondes paraissaient insurmontables.

Dans l'appareil mis au point par la Société Degremont, dont nous avons acquis le premier exemplaire, ces difficultés ont été en grande partie résolues.

Pour tous les paramètres mesurés, le choix de la méthode a été rigoureux et fonction de la destination industrielle de l'appareil. Le pH et l'oxygène dissous sont mesurés par des électrodes potentiométriques et ampérométriques, la température et la conductivité par des sondes électriques, la turbidité par une méthode optique et l'ammoniaque par colorimétrie au bleu d'indophénol.

Quant aux problèmes de colmatage, ils ont été résolus par une étude très détaillée de la circulation de l'eau brute dans les différentes parties de l'appareil ; les vitesses adoptées sont élevées et les conduites sont largement dimensionnées. Le problème du nettoyage a été résolu d'une façon simple et efficace en injectant à intervalles de temps réguliers de l'eau propre sous pression.

A chacun des paramètres mesurés, dont nous allons détailler l'intérêt qu'il présente pour la Lyonnaise des Eaux, sont associés deux seuils réglables, dont le dépassement provoque une alarme.

Le pH

La Seine est un milieu très tamponné ; son pH est donc très stable, avec des variations, en temps normal, peu importantes. Cependant, ce paramètre a une grande influence sur l'efficacité de la coagulation, qui est l'une des phases essentielles du traitement.

La température

Des températures très basses en hiver entraînent une décantation difficile. Des températures élevées en été doivent inciter à la vigilance ; le taux d'oxygène dissous diminue, donc l'auto-épuration est ralentie ; de plus, le développement d'algues responsables de mauvais goûts est à craindre.

La conductivité

Elle rend compte de la minéralisation

totale de l'eau. La Seine est un milieu dont la conductivité est très stable ; une augmentation brutale peut être un signe de pollution.

L'oxygène dissous

La mesure est exprimée en pourcentage de saturation ; une baisse peut être une conséquence d'une augmentation importante des matières organiques, qui captent l'oxygène dissous présent dans l'eau.

La turbidité

Elle est liée aux matières en suspension et aux particules colloïdales présentes dans l'eau. Une augmentation de la turbidité incite immédiatement les responsables du traitement à réajuster les doses de réactifs utilisés.

L'ammoniaque

L'ammoniaque est généralement considéré comme un bon indicateur du degré de pollution. Son taux conditionne directement la dose de chlore à injecter au début de la filière de traitement.

Pour faciliter les études statistiques ultérieures ou même une simple relecture, tous ces paramètres sont transmis en continu au dispatching central de la Région Parisienne Sud à Vigneux-sur-Seine. Ils sont stockés sur des disques souples. L'ensemble des télétransmissions et du stockage est piloté par un micro-processeur.

**Société Lyonnaise des Eaux
et de l'Eclairage**

45, rue Cortambert

75769 PARIS CEDEX 16

Tél. 503.21.02

* Voir la première partie

dans le numéro

de novembre 1978

LE CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR LE SOL MISE HORS GEL ET DENEIGEMENT DES CHAUSSEES, ETC..., PAR CABLES ELECTRIQUES

La Société Terrawatt S.A.R.L. commercialise depuis le mois de septembre 1978 les câbles chauffants de la Société allemande Calorway Heiz-System GmbH & Co.

Terrawatt se base sur la longue expérience (12 années) de la Société mère « Calorway », qui n'a pas cessé de mettre au point des nouvelles techniques, tout en veillant aux questions de réglage, de confort et à l'exploitation économique du chauffage.

Les caractéristiques particulières du système sont les suivantes :

1. Simplicité de la conception :

Les câbles chauffants Terrawatt sont d'une conception très simple et consistent en :

- une âme en 7 fils d'alliage de cuivre comme conducteur chauffant ;
- une gaine en EVA comme isolation (éthylène-vinyl-acétate) ;
- une tresse de brins de cuivre zingué, comme conducteur de protection (mise à la terre) ;
- une gaine protectrice extérieure en caoutchouc de chloroprène, qui est entièrement étanche.

Terrawatt livre ses câbles sous la forme de matelas préfabriqués avec cinq résistances différentes, qui couvrent les divers besoins de puissance par m².

2. Simplicité de mise en œuvre :

Les câbles Terrawatt sont fixés entre eux par des raidisseurs en caoutchouc formant ainsi une grille rectangulaire homogène.

Les câbles Terrawatt en forme de tunnel et les raidisseurs rectangulaires permettent une pose plane et régulière des matelas et garantissent la distance constante entre les câbles chauffants, et entre la trame et la surface du sol.

Terrawatt livre les « matelas chauffants » sur le chantier, ce qui permet une mise en œuvre extrêmement facile, en déroulant le matelas comme un tapis. L'écartement entre les câbles varie de 5, 10, 15, 20, 25 et 30 cm pour les matelas standards.

La largeur et la longueur du matelas varient selon la puissance demandée par m².

Les ingénieurs des bureaux d'études choisiront dans la liste des « matelas chauffants Terrawatt » (d'après la puissance nécessaire) la taille exacte du matelas.

3. Simplicité des jonctions et raccordements :

Les liaisons froides se font par sertissage et l'isolation par des manchons thermorétractables. Les éventuelles

réparations ne posent pas de problèmes :

- après la détection exacte du lieu du défaut (par générateur à haut voltage) on ouvre le sol sur environ 10 cm² seulement et on installe à cet endroit une liaison froide comme décrite ci-dessus.
- les percements de fosses ou caniveaux éventuellement nécessaires par la suite sont facilités par la simplicité des raccordements par sertissage.

Applications du câble Terrawatt

a) extérieures :

- chaussées ;
- ponts ;
- rampes d'accès ;
- terrasses, parkings ouverts ;
- aéroports, héliports...

b) intérieures :

- logements ;
- usines ;
- ensembles sportifs ;
- piscines...

TERRAWATT s.a.r.l.

24, avenue du Recteur-Poincaré
75016 PARIS

Téléphone : 524.59.44

TERRAWATT®

LE CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR LE SOL mise hors gel et déneigement des chaussées par câbles électriques

90 % D'ECONOMIE D'ENERGIE

POURQUOI ET COMMENT ?

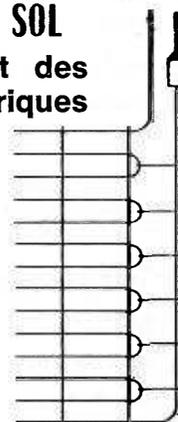
TOUS RENSEIGNEMENTS

TERRAWATT SARL

24, av. du Recteur-Poincaré

75016 PARIS

Tél. (1) 524.59.44 TX 613 246 F



RÉPERTOIRE DÉPARTEMENTAL DES ENTREPRISES

SUSCEPTIBLES
D'APPORTER
LEUR CONCOURS
AUX ADMINISTRATIONS
DES PONTS
ET CHAUSSÉES

ET A TOUS LES AUTRES
MAITRES D'OUVRAGES PUBLICS
PARAPUBLICS ET PRIVÉS

01 AIN

Concessionnaire des planchers
et panneaux dalles « ROP »
Les Préfabrications Bressanes
01-CROTTET - R.N. 79 près de Mâcon
Tél. 29 à Bagé-le-Châtel

05 HAUTES-ALPES

**SOCIETE ROUTIERE
DU MIDI**
Tous travaux routiers
Route de Marseille - 05001 GAP - B.P. 24
Telex : ROUTMIDI 430221
Tél. : (92) 51.60.31

13 BOUCHES-DU-RHONE

**SOCIETE ROUTIERE
DU MIDI**
Tous travaux routiers
Zone Industrielle - 13290 LES MILLES
Tél. : (42) 26.14.39
Telex : ROUTMIDI 410702

**SOCIÉTÉ T.P. ET BATIMENT
Carrière de BALEONE**
Ponte-Bonello par AJACCIO
Tél. 27.60.20 Ajaccio
Vente d'agréats et matériaux de viabilité
Tous travaux publics et Bâtiment

26 DROME

**SOCIETE ROUTIERE
DU MIDI**
Tous travaux routiers
Route de Mours
26101 ROMANS - B.P. 9
Télex : ROUTMIDI 345703
Tél. : (75) 02.22.20

39 JURA

Sté d'Exploitations et de Transports PERNOT
Préfabrication - Béton prêt à l'emploi
Rue d'Ain, 39-CHAMPAGNOLLE Tél. 83
Sté des carrières de Moisse
39-MOISSEY

59 NORD

Ets François BERNARD et Fils
MATÉRIAUX DE VIABILITÉ :
Concassés de Porphyre, Bordures, Pavés en
Granit, Laitier granulé, Sables.
50, rue Nicolas-Leblanc - LILLE
Tél. : 54-66-37 - 38 - 39

63 PUY-DE-DOME

BÉTON CONTROLE DU CENTRE
191, a. J.-Mermoz, 63-Clermont-Ferrand
Tél. : 92-48-74.
Pont de Vaux, 03-Estivareilles
Tél. : 06-01-05.
BÉTON PRÊT A L'EMPLOI
Départ centrale ou rendu chantiers par
camions spécialisés « Trucks Mixers »

67 BAS-RHIN

**EXPLOITATION DE CARRIERES DE GRAVIERS
ET DE SABLES -- MATÉRIAUX CONCASSÉS**
Gravière du Rhin Sessenheim
S.A.R.L. au Capital de 200.000 F
Siège social : 67-SESSENHEIM
Tél. : 94-61-62
Bureau : 67-HAGUENAU, 13, rue de l'Aqueduc
Tél. : 93-82-15

93 SEINE-SAINT-DENIS

S.a.r.l. DEVAUDEL
FOURNITURES
INDUSTRIELLES
73-75, rue Anselme - 93400 SAINT-OUEN
Tél. 254.80.56 +

94 VAL-DE-MARNE

ENTREPRISES
QUILLERY SAINT-MAUR
GÉNIE CIVIL — BÉTON ARMÉ
— TRAVAUX PUBLICS —
8 à 12, av. du 4-Septembre - 94100 Saint-Maur
Tél. 883.49.49 +

FRANCE ENTIÈRE

 **Compagnie Générale
des Eaux**
Exploitation : EAUX
ASSAINISSEMENT
ORDURES MÉNAGÈRES
CHAUFFAGE URBAIN
52, r. d'Anjou - 75008 PARIS - Tél. 266.91.50

Forages horizontaux
de \varnothing 400 à 3600 mm

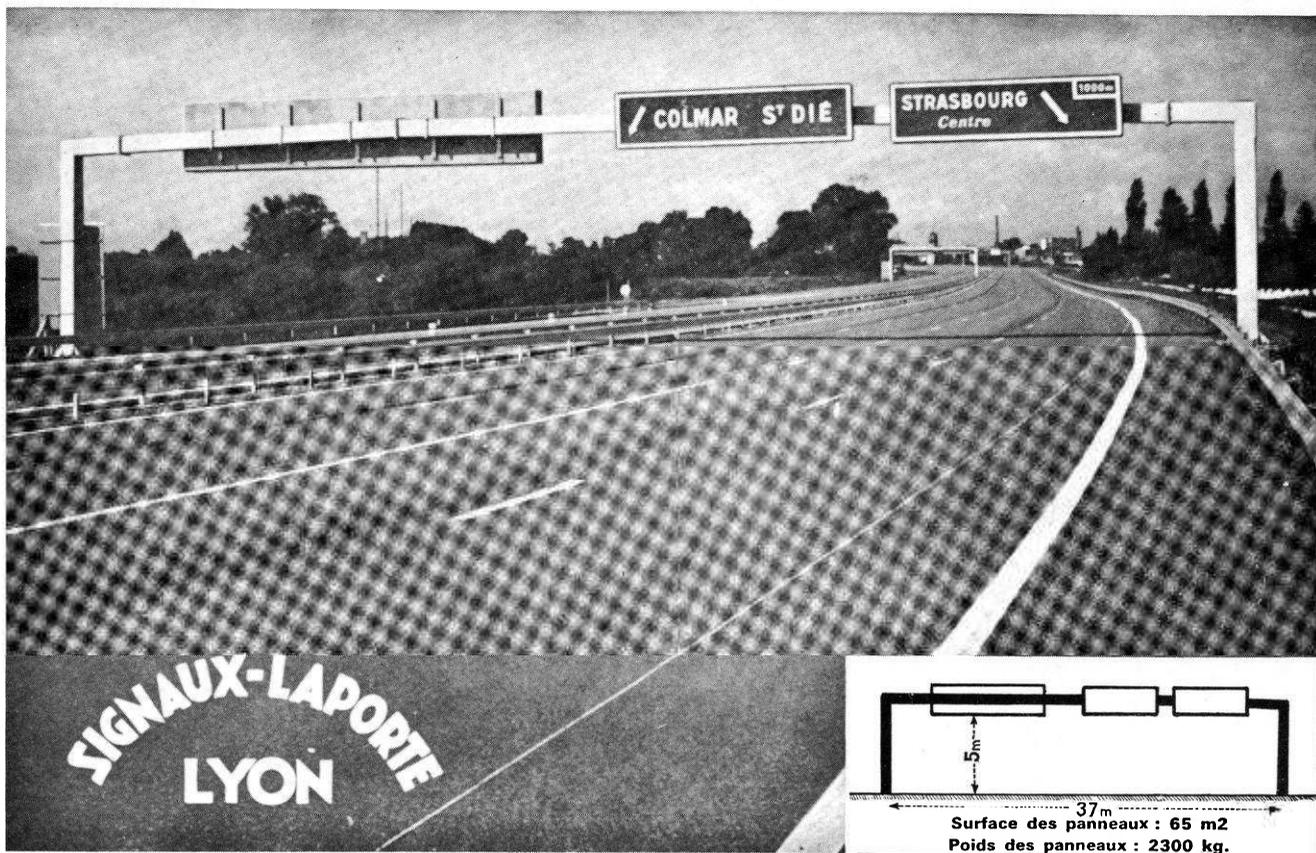
passages sous voies ferrées,
routes, autoroutes,
liner plates,
passages piétons



SONDAGES ET FORAGES

Siège social : 5, rue Lavoisier
91420 MORANGIS
Tél. 448.27.27

R.C. Corbeil Essonnes
B 314 208 802
SIRET : 314 208 802 00012
APE 5520
S.A.R.L. au capital de 20 000 F
Télex : SITRABA 600 409 F



RINCHEVAL

SOISY-SOUS-MONTMORENCY (Val-d'Oise) - Tél. : 989.04.21 +

TOUS MATERIELS DE **STOCKAGE, CHAUFFAGE ET EPANDAGE**
DE **LIANTS HYDROCARBONES**

ÉPANDEUSES avec rampe

- Eure et Loir
- Jets multiples à commande pneumatique

POINT A TEMPS

- Classiques
- Amovibles
- Remorquables



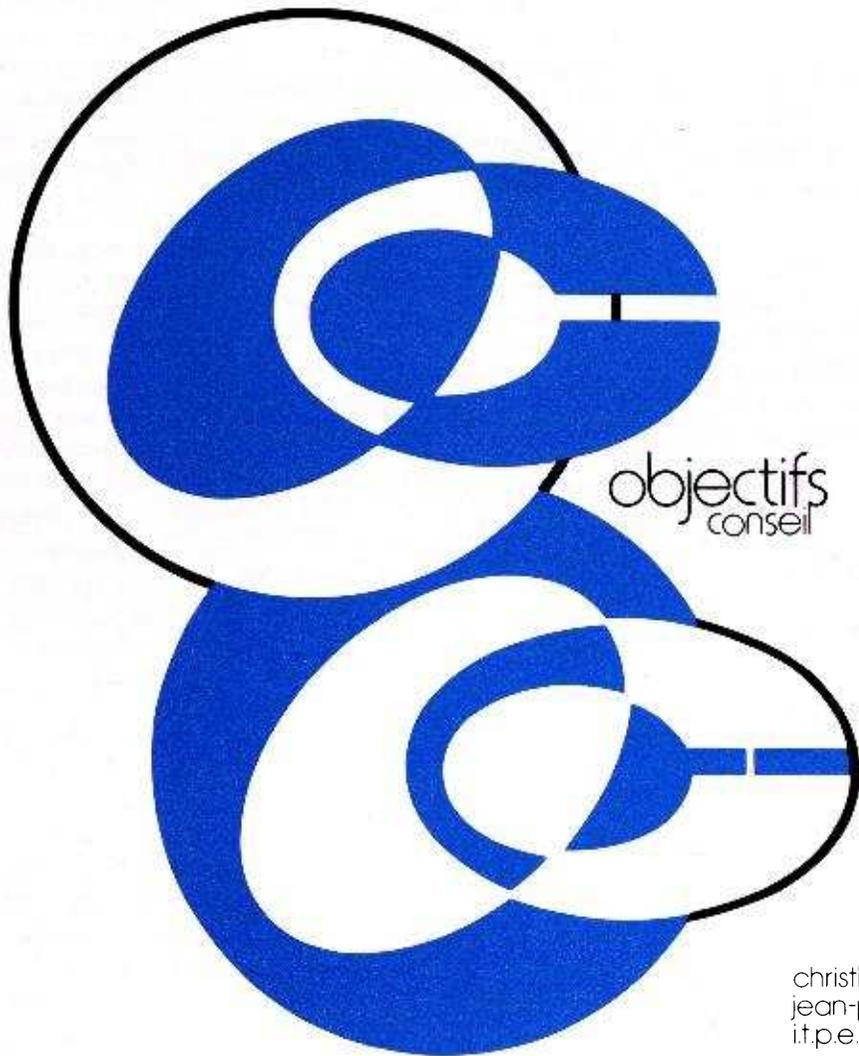
Équipement épandeur à transmission hydrostatique et rampe à commande pneumatique

STOCKAGE et RÉCHAUFFAGE de liants :

- Citernes mobiles
- Spécialistes de l'équipement des installations fixes

(300 réalisations)

DEPUIS 1911, LES ÉTABLISSEMENTS RINCHEVAL CONSTRUISENT DES MATERIELS D'ÉPANDAGE



christian duconseille
jean-paul sevin
i.t.p.e.

OBJECTIFS CONSEIL CONSEIL EN INFORMATIQUE

prend en charge des études informatiques complètes dans le domaine de la gestion, du calcul scientifique et du temps réel

Quelques applications :

- gestion des travaux et des marchés
- suivi des crédits
- maintenance de réseaux ou d'installations
- système temps réel de recueil et de visualisation des informations de circulation routière

CONSEIL EN ORGANISATION ET EN GESTION

apporte son expérience, sa compétence ainsi que sa connaissance particulière de l'administration et de ses structures pour vous aider à résoudre vos problèmes d'organisation

Quelques études réalisées :

- structure d'une D.D.E.
- étude de l'impact d'une action administrative
- introduction de la fonction relations publiques
- études d'impact

objectifs
conseil

160, rue de Bagnolet - 75020 PARIS
tél. 361.06.22 et 361.06.23