

peem

**Fondations et
matériel spécialisé**

N° 4 AVRIL 1982 - 79^e ANNÉE

ISSN 0397-4634

Le bien-être à sa banque.

L'avenir.



La vie c'est comme une course, il faut prendre un bon départ. La Société Générale peut sérieusement vous aider à vous organiser : son compte de chèques, ses distributeurs de billets, sa carte bleue facilitent le règlement de vos achats. La Société Générale vous conseillera aussi sur la façon de réaliser vos projets en douceur. Le bien-être est l'un des mots-clés de votre avenir. Nous pouvons y contribuer.

 SOCIÉTÉ GÉNÉRALE

sommaire

Directeur de la publication :

Yves BOISSEREING
 Président de l'Association

Administrateur délégué :

Philippe AUSSOURD
 Ingénieur
 des Ponts et Chaussées

Rédacteurs en chef :

Olivier HALPERN
 Ingénieur
 des Ponts et Chaussées
 Benoît WEYMULLER
 Ingénieur
 des Ponts et Chaussées

**Secrétaire générale
 de rédaction :**

Brigitte LEFEBVRE du PREY

Assistante de rédaction :

Eliane de DROUAS

**Rédaction - Promotion
 Administration :**

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

**Bulletin de l'Association Nationale des
 Ingénieurs des Ponts et Chaussées, avec la
 collaboration de l'Association des Anciens
 Elèves de l'École des Ponts et Chaussées.**

Abonnements :

- France **200 F.**
- Etranger **200 F** (frais de port en sus).
- Prix du numéro : **22 F**
- + T.V.A. : 4 %

Publicité :

Responsable de la publicité :
 H. BRAMI

Société OFERSOP :
 8, Bd Montmartre
 75009 Paris
 Tél. 824.93.39



dossier

Préface par J.C. PARRIAUD	25
Reconnaissance in situ par F. BAGUELIN	26
Les traitements par injection par J. BRULOIS	30
Les fondations sur pieux par A. MILLAN	34
Le renforcement des sols par F. SCHLOSSER	38
La consolidation dynamique Ménard par M. GAMBIN	42
Les parois moulées par J.P. COUPRIE	46

rubriques

Réalisations dans les D.D.E.

.....	51
Portrait : J.B. Mercadier	58

La Vie du Corps des Ponts et Chaussées

.....	65
Colloque	66
Mouvements	67

Couverture :

PARIS - ASSEMBLÉE NATIONALE -
 Parking sous la cour d'honneur.
 Cliché Solétanche

L'Association Nationale 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.

IMPRIMERIE MODERNE
 U.S.H.A.
 Aurillac

Maquette : Monique CARALLI

LA PASSION SELON SCREG-ROUTES

6. FAIRE AUTORITÉ

C'est la compétence
de nos collaborateurs
qui fait notre notoriété,
et leur autorité.

BON!
ON REPOUSSE
LA PAUSE
D'UN QUART D'HEURE!

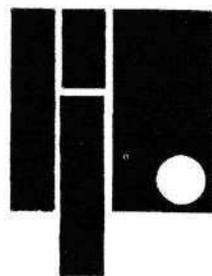


Si vous vous sentez la passion de diriger une entreprise ou un établissement en moins de 10 ans, si vous êtes Ingénieur diplômé ENPC, MINES ou d'autres écoles d'Ingénieurs T.P., écrivez ou téléphonez pour en savoir plus à la Direction du Personnel, TOUR MALTE, BP 65, 91035 EVRY Cédex, Tél. 077.90.60. Nous vous inviterons à une séance collective d'information.



pieux & infrastructures queret

Siège social :
Z.I. des marais - rue des osiers
78310 COIGNIERES
☎ (3) 062.43.13 - Télex : queret 695 861 F



Chantier du
Parc des Sports
de Bercy

- *Pieux forés Ø 0,40 à 3 mètres*
- *Pieux vibrofoncés*
- *Pieux battus et moulés dans le sol Ø 0,40 à 0,70 mètre*
- *Pieux d'ancrage*
- *Compactage des sols par pieux*
- *Parois de soutènement*
- *Sondages - Injections*
- *Puits - Embases élargies*
- *Drainage de terrains par puits*
- *Palplanches*

BOUTEUR KOMATSU D 455 A

Une grande première dans l'exploitation de gisements en France. L'un des plus grands, des plus puissants et des plus performants boteurs du monde, vient d'être mis en service.

Le D 455 A KOMATSU est un géant musclé infatigable et dont les possibilités sont exceptionnelles.

Il est équipé d'un moteur diesel Cummins à injection directe de 463 KW (620 CV) délivrant un couple maximum de 266 m/dan et assure une production sans équivalent pour une consommation très raisonnable en carburant. Des lames de grande capacité peuvent se monter et adapter le D 455 A KOMATSU à de très nombreux travaux : la lame en U atteint une capacité de 31,9 m³ en refoulement d'importantes masses de déblais et de matériaux sur les chantiers miniers ou de travaux publics. Le ripper géant disloque des roches ayant une vitesse de propagation des ondes sismiques supérieure à 3000 m/s avec une dent pouvant s'enfoncer jusqu'à 1,70 m.

Comme toujours, KOMATSU innove : sur le D 455 D, chaque chenille est entraînée séparément par une transmission hydrocinétique Torqflow. Le D 455 D est doté en effet de deux transmissions parallèles constituées chacune : d'un convertisseur de couple et d'une boîte de vitesse Torqflow. Cette disposition se traduit par une longévité et une fiabilité accrue de toute la chaîne cinématique. Les charges dûes au poids du tracteur et aux contraintes de la lame, du ripper et du sol sont encaissées par le châssis indépendamment de la transmission. Bien que très gros, le boteur KOMATSU vire pratiquement sur place, par mouvements opposés des chenilles (le rayon de braquage est de 3,50 m, valeur exceptionnelle pour un engin de cette taille). Le moteur de même que les transmissions possèdent leur propre circuit de refroidissement afin de garantir un meilleur rendement et un fonctionnement sans défaillance.

La cabine ROPS spacieuse est montée sur silent blocs. Le tableau de bord, les commandes, le siège, satisfont à toutes les exigences modernes de l'ergonomie et contribuent très largement au confort du conducteur dans les conditions de travail les plus éprouvantes.

Dans le but d'améliorer la rentabilité de l'engin, différents moyens ont été mis en œuvre pour simplifier les interventions d'entretien.

Le D 455 A KOMATSU peut être partiellement et rapidement désassemblé pour satisfaire aux exigences du code de la route lors de son transport.

Conçu pour travailler dur et longtemps, le D 455 A KOMATSU est toujours à la hauteur. Il est commercialisé en France par EQUIPCO, au travers de ses 10 centres régionaux.



CARREFOUR MONDIAL DES MATÉRIELS ET DES TECHNIQUES



Pour éviter l'attente à l'entrée du salon, **demandez dès maintenant votre EXPOCARTE**, carte d'identification individuelle et personnalisée qui vous sera nécessaire pour pénétrer dans l'enceinte de la manifestation.

EXPOMAT

12^e SALON INTERNATIONAL DU MATÉRIEL DE TRAVAUX PUBLICS ET DE BÂTIMENT

4-12 JUIN 82
PARIS - Le Bourget

Bon à découper et à envoyer à : **EXPOMAT - 141, av. de Wagram - 75017 PARIS**
Tél. : 766.03.44 - Téléc. : 640185 F

M./Mme/Mlle	Nom, prénom ou initiales
	Profession, titre ou service
	Société
N°	Rue/Avenue/ etc. (Adresse professionnelle).
Code postal	Ville
Pays	Téléphone

Souhaite recevoir : Mon Expocarte (début Mai).
 Documentation générale.
 Brochure d'analyse des nouveautés.
 Programme et conditions de participation aux conférences et colloques.

Commande : Le précatalogue (courant Avril) au prix de 33 F port inclus.
 Le catalogue officiel (courant Mai) au prix de 54 F port inclus.

et vous adresse ci-joint la somme correspondante

- Activités de votre entreprise
- A 1 Administrations techniques
 - A 2 Ent. de bâtiment
 - A 3 Ent. de dragage et de travaux hydrauliques
 - A 4 Ent. de terrassement
 - A 5 Ent. de travaux routiers
 - A 6 Ent. de transport
 - A 7 Ent. de travaux souterrains
 - A 8 Ent. de sondages, forages, fondations
 - A 9 Ent. de levage et manutention
 - A 10 Producteurs de béton prêt à employer
 - A 11 Fabricants de produits en béton manufacturé
 - A 12 Camions et autobus
 - A 13 Constructeurs importateurs distributeurs et loueurs de matériel
 - A 14 Autres
- Domaine d'intérêt : Matériels pour
- B 1 Alimentation en eau et assainissement
 - B 2 Battage et ancrage
 - B 3 Travaux à l'air comprimé
 - B 4 Terrassement
 - B 5 Sondage et forage
 - B 6 Transport terrestre
 - B 7 Levage et manutention
 - B 8 Construction et entretien des routes et ponts
 - B 9 Préparation des matériaux
 - B 10 Fabrication, transport et mise en place du béton
 - B 11 Fabrication des produits en béton
 - B 12 Échafaudages, étais et coffrages
 - B 13 Production et transformation de l'énergie
 - B 14 Hébergement et confort du personnel
 - B 15 Outillage à atelier et de chantier
 - B 16 Tous autres
- Nombre de salariés dans l'Entreprise
- C 1 de 1 à 10
 - C 2 de 11 à 50
 - C 3 de 51 à 100
 - C 4 de 101 à 500
 - C 5 de 501

TELESCOPIC JCB

POUR TOUS TRAVAUX

2,5 t à 6,40 m de haut
Allonge à plus de 3 m
en avant des roues



Pacific

C'est un chargeur, un chariot élévateur, une grue mobile, un dumper. En bout de flèche, peuvent s'adapter les équipements pour : déposer, charger, reprendre, lever, atteindre, retourner, déplacer, distribuer, soulever, creuser, nettoyer, décaper, remblayer, approvisionner, gerber, stocker, tracter, pousser, forer.



Demandez notre brochure Application à : JCB Manutention - Z.I. - Rue du Vignolle 95206 Sarcelles - Tél. (3) 990.54.23.

LES TELESCOPICS JCB au service des Entrepreneurs de Bâtiment et Travaux Publics

Les **TELESCOPICS JCB 520** et **525**, en version 2 ou 4 roues motrices, introduisent sur les chantiers de Bâtiment et de Travaux Publics une nouvelle dimension de la manutention.

Acceptant les charges palettisées, élinguées ou en vrac, les **TELESCOPICS JCB** peuvent prendre ou déposer ces charges, quels que soient les obstacles rencontrés : l'allonge télescopique permet en effet de manutentionner une palette à plus de 3 m en avant des roues, par dessus un mur ou une tranchée, ou à travers une ouverture : mais elle permet aussi de lever une palette en toute sécurité, sans perte de charge.



Puissants, maniables et sûrs, les **TELESCOPICS JCB** sont des engins robustes : bâtis sur un châssis monobloc, ils sont équipés de la ligne motrice éprouvée sur les chargeurs-pelles JCB : moteur de 72 cv, boîte synchronisée, inverseur hydraulique et convertisseur de couple assurent même en terrain difficile une conduite souple et des conditions de travail performantes.

En standard, les **TELESCOPICS** disposent d'une cabine de sécurité aux normes FOPS ; confortable, chauffée et insonorisée, elle permet une visibilité totale sur la charge ; le tableau de bord complet, est doté d'un indicateur d'état de charge avec témoin sonore et lumineux.

Depuis la préparation des sols, jusqu'à la finition des travaux le **TELESCOPIC** est la machine la plus active d'un chantier ; sa mobilité associée à sa large gamme d'équipements lui permet d'exécuter une grande variété de tâches. Véritable porte-outils pouvant être équipé :

- de fourches courtes ou longues,
- d'un mât de surélévation,
- d'un bras de manutention,
- de godets reprise de toutes capacités,
- d'un godet 4 en 1,
- de bennes à béton,
- d'une pelle rétro,
- d'une tarrière,
- d'un treuil,
- d'une nacelle,
- d'un crochet de manutention,
- et de bien d'autres outils,

le **TELESCOPIC JCB** est en même temps un chariot élévateur, une grue mobile, un dumper, une chargeuse, un engin tout terrain complet pour tous travaux, tous chantiers.



SOL-ESSAI

PÉNÉTROMÈTRES – FORAGES
LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES SOLS

- 49, rue des Sazières, 92700 COLOMBES
☎ 781.22.10 +. Télex Solessai 620524 F

et :

- 19, cours Mirabeau, 13100 Aix-en-Provence
☎ (42) 27.52.93 - Télex : Solessai Aixpr 430260

**TOUS PROBLÈMES
DE FONDATIONS**

TOUTES ÉTUDES DE SOLS

*Spécialistes de Matériel de Télécommunications
étanches et blindés*



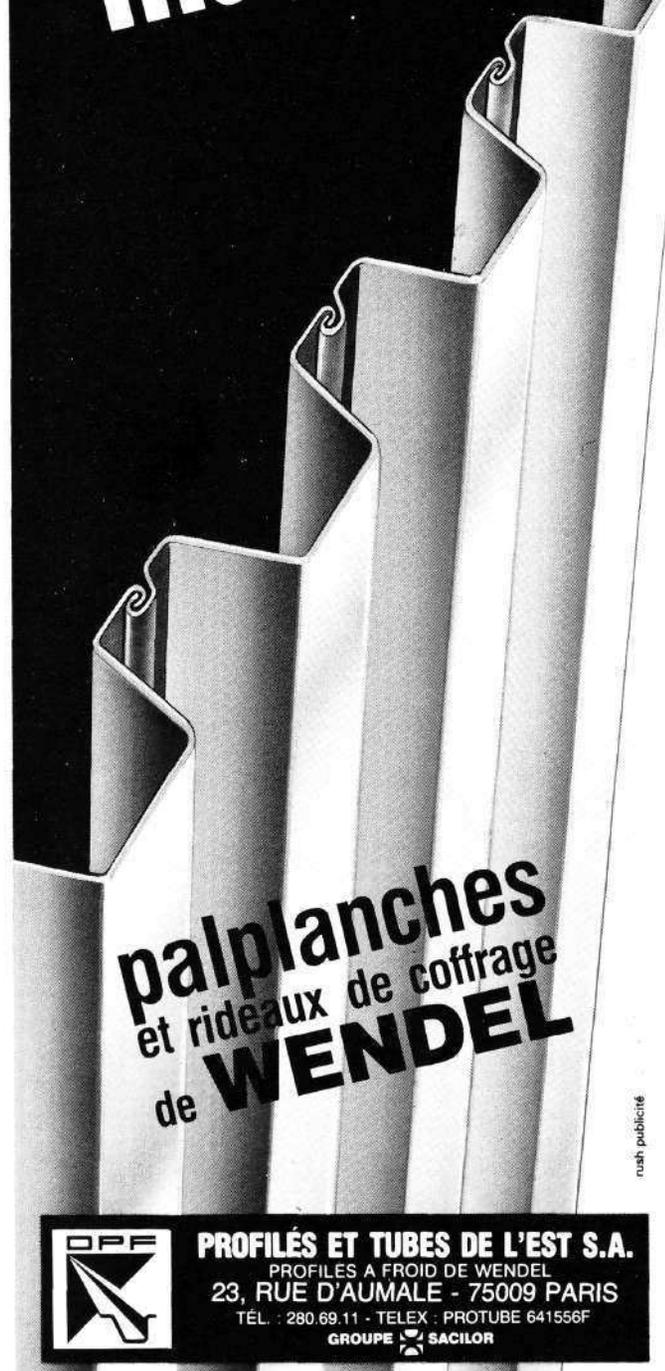
**TELEPHONIE
SIGNALISATION
SONORISATION
INTERPHONIE
BRANCHEMENT ET
ACCESSOIRES...**

TÉLÉPHONES LE LAS

☎ (1) 734.85.96

*131, rue de Vaugirard 75015 PARIS
TELEX LE LAS 250 303 PUBLIC PARIS*

une protection musclée



**palplanches
et rideaux de coffrage
de WENDEL**

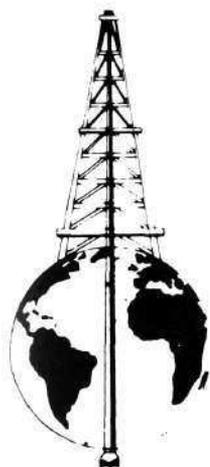


PROFILS ET TUBES DE L'EST S.A.
PROFILS A FROID DE WENDEL
23, RUE D'AUMAË - 75009 PARIS
TÉL. : 280.69.11 - TELEX : PROTUBE 641556F
GROUPE SACILOR

rush publicité

FORAMINES

S.A. Filiale de FORAKY S.A.



Sondages
géothermiques
miniers
hydrauliques

Travaux Miniers

Congélation des Sols

55, rue de Châteaudun 75009 PARIS

☎ 874.18.19



Activités

- Études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques,
- Sondages de reconnaissance,
- Étanchements et injections d'étanchéité,
- Pieux moulés dans le sol et micropieux,
- Parois moulées dans le sol,
- Parois préfabriquées « PREFASIF »,
- Parois berlinoises,
- Tirants d'ancrage,
- Congélation des sols,
- Stabilisation et drainage,
- Rabattement de nappes,
- Recherches et exploitation d'eau,
- Recherches minières,
- Consolidation des sols par vibration profonde et colonnes ballastées (procédé KELLER).

BACHY

92, rue Baudin 92300 LEVALLOIS-PERRET

— Tél. : 730.29.29. Télex : 620 669 —

LIANTS TRADITIONNELS MAIS AUSSI FORMULES NOUVELLES

HGD 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 désherbage
bon compactage
en arrière-saison

● **STAVOJET® - K :**
PENETRATION 80/100
goudron antikérosène
pour pistes d'aérodrome,
parkings, gares routières, etc.

© marque déposée



groupe C&F Chimie
HGD
HUILES GOUDRONS ET DÉRIVÉS

tour aurore - place des reflets
cedex 5 - 92080 paris défense 2
tél. : 778.53.72 - 778.53.84 +
telex : CDFCH 610826 F

dic publicite

TERRASOL

BUREAU D'INGÉNIEURS CONSEILS EN GÉOTECHNIQUE

Sous la direction de
François SCHLOSSER
et Francis BLONDEAU

une équipe d'ingénieurs
et d'experts de haut niveau

pour conseiller les maîtres d'œuvre
bureaux d'études - entreprises
sur tous les problèmes
de sols et fondations

Tour Horizon, 52 quai de Dion Bouton
92806 PUTEAUX CEDEX
TELEPHONE (1) 776.43.24 - TELEX : Terrarm 610386 F



GRAPHIC PROCÉDÉ

CHAMBRE SYNDICALE NATIONALE
DES ENTREPRISES DE REPROGRAPHIE



MAÎTRE REPROGRAPHE AGRÉÉ
N° 20

PROCÉDÉS :

Hélio
Gélatine
Impressions
Photo Industrielle

4, Rue de Bucy PARIS VI^e
Tél. : 326.55.05. 326.15.02 354.74.94

fondations profondes



avez- vous pensé aux pieux PH ?

Demander la nouvelle notice Pieux PH à :

usinor

Département Pieux et Soutènements

B.P. 379 - 59307 VALENCIENNES - Tél. (27) 47.00.00

Télex : 110.700 Usinor-Valci

110.822 Usinor-Valci

5 MILLIONS DE TONNES PAR AN DE CENDRES VOLANTES

pour améliorer vos bétons
réaliser vos remblais
effectuer vos travaux routiers

Publicité

Documentation sur simple demande

Entreprise

Adresse

Ville

Dépt

Tél.

Nom Responsable

CHARBONNAGES DE FRANCE

Service des Cendres Volantes
9, av. Percier, B.P. 396-08,
75360 PARIS CEDEX 08
Tél. : 563-11-20
Télex : 650203 Charbon-Paris



ELECTRICITE DE FRANCE

Service des Combustibles
Subdivision des Cendres Volantes
3, rue de Messine,
75384 PARIS CEDEX 08
Tél. : 764-27-29
Télex 280098 FRANCELEC PARIS

location

D'ENGINS DE NETTOIEMENT



LOCATIONS

Nous disposons d'un parc de matériels répondant à vos besoins et destinés à la location, avec mise à disposition de personnel de conduite.

- Sur simple appel téléphonique pour les chantiers.
- Etude de tous contrats longue durée



MATERIEL 100 % FRANÇAIS

FABRICATIONS

- Balayeuses-ramasseuses
- Arroseuses-balayeuses-laveuses
- Arroseuses-laveuses
- Laveuses haute pression
- Balayeuses-ramasseuses légères T.80 pour voies piétonnes, trottoirs, parkings, etc...
- Aspiro-chargeuses
- Brosseuses de voûtes de souterrains

CONSTRUCTION - LOCATION - REPARATION



LE MATERIEL DE VOIRIE

43, rue Michel-Carré
95100 Argenteuil
Tél. : 961.83.55 - Telex 695 077

SOLCOMPACT

SOCIÉTÉ POUR
L'AMÉLIORATION DES SOLS
DE FONDATION

**COMPACTAGE
DYNAMIQUE**



**DRAINS
VERTICAUX**



VIBRATION
VIBROFLOTTATION
COLONNES
BALLASTÉES
COMPACTAGE
DYNAMIQUE



15, RUE DES SABLONS 75016 PARIS
TÉLÉPHONE : 505 14 20 - TÉLEX-FORAGES PARIS 611017 F

DÉPRESSION
ATMOSPHÉRIQUE
EXPLOSIF
DRAINS VERTICAUX
RABATTEMENT
DE NAPPE

F. & F.

INTRAFOR-COFOR

SPÉCIALISTE DES TRAVAUX DANS LE SOL

15, RUE DES SABLONS - 75116 PARIS - TEL. : 505.14.20 - TELEX PARIS 611017 F



JONZAC - FORAGE GÉOTHERMIQUE

SONDAGES - FORAGES - PUIITS
FONDATEIONS - CONGÉLATION
INJECTIONS - TIRANTS D'ANCRAGE
TRAVAUX SOUTERRAINS ET MINIERIS

A

ARBED



Les Pieux HP ARBED

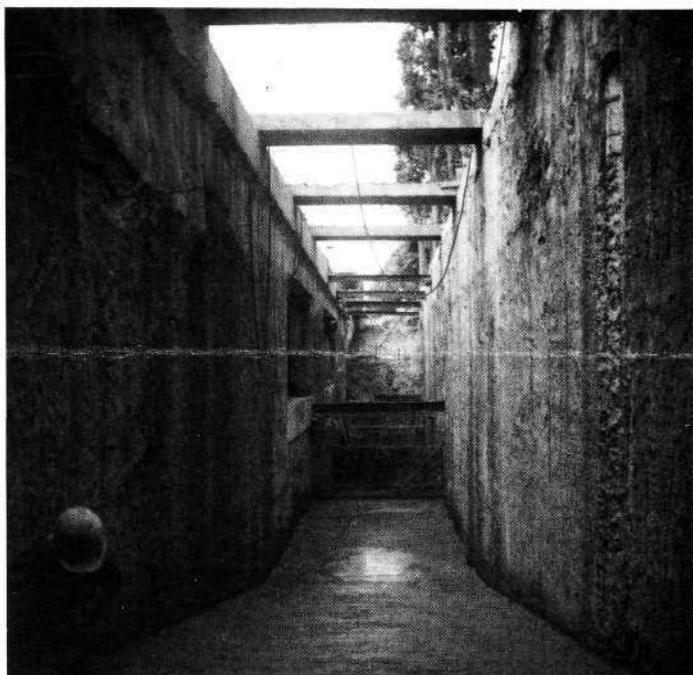
Vente
Trade ARBED S.A.
Boîte postale 1802
Luxembourg
Tél.: 4 79 21
Telex.: 3407 arbe lu

Vente en France:
Trade ARBED France
rue du Faubourg
Saint-Honoré 91
F - 75008 Paris
Tél.: 12 66 92-50
Telex: 28 07 68

Grâce à nos travaux de recherche récents nous sommes en mesure de vous offrir des pieux HP à force portante accrue, et un contrôle dynamique de la force portante de ces pieux.

Forces portantes de 950 kN à plus de 10.000 kN
Longueur maximum de fourniture: 36 m
Longueur de pieu illimitée par raboutage.
Profils courants livrables de stock.

Trade ARBED met à votre disposition son équipe d'ingénieurs pour le calcul et l'optimisation de vos fondations HP et de votre équipement de battage.



PARKING AVENUE DE SAINT-CLOUD VERSAILLES
9.000 m² de Paroi moulée
(Photo ci-dessus : Paroi des accès)

- PAROIS MOULÉES
- PIEUX FORÉS
- TIRANTS D'ANCRAGE



B.P. 48 — 95312 CERGY-PONTOISE CEDEX Tél. (3) 037.42.60 + - Télex : 696 635 F



Sondages - Forages
Injections - Drainages
Fondations spéciales
Travaux souterrains
Rabattement de nappes
Tirants d'ancrage
Congélation de sol
Micropieux - Résines
Pieux - Berlinoises

102, avenue de la Liberté, 94700 MAISONS-ALFORT
☎ 375.76.88

L'EMPLOI DES BALAYEUSES-RAMASSEUSES SUR CHANTIERS DE TRAVAUX ROUTIERS

LE CONTRAT DE LOCATION L.M.V. : UNE FORMULE INTERESSANTE

Les Balayeuses-Ramasseuses couramment utilisées pour le nettoyage des routes, autoroutes, chantiers... sont également très recherchées pour le ramassage des refus de gravillonnages projetés par la circulation sur les côtés.

L'expérience a montré que s'agissant dans l'ensemble de matériaux particulièrement abrasifs, on constate une usure rapide des buses, conduits, tôles, dans le cas de l'emploi d'engins travaillant par aspiration, usure due principalement à l'abrasion.

Lorsque le travail consiste à enlever les gravillons rejetés par la circulation sur les bas-côtés, les quantités sont telles que les engins à aspiration sont mal adaptés et ne peuvent réaliser ce travail qu'à une vitesse trop lente.

Ces inconvénients n'existent pas avec les Balayeuses-Ramasseuses mécaniques qui trouvent donc la faveur des Ingénieurs chargés de l'entretien des routes et des Entreprises exécutant des travaux à l'issue desquels elles doivent livrer un ouvrage en parfait état de propreté.

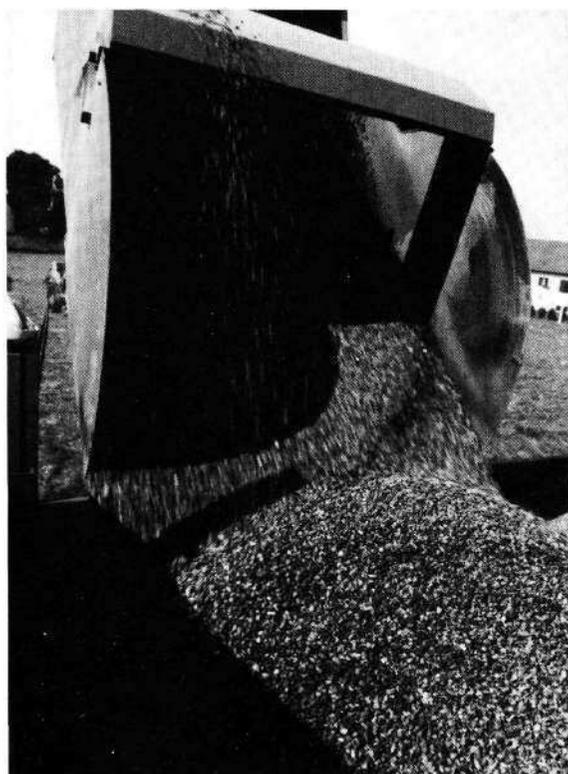
Des quantités importantes devront habituellement être traitées et il est alors nécessaire de disposer d'engins capables de charger directement les produits de balayage dans les camions de grande capacité.

Enfin, lorsque des travaux sont exécutés sur des tronçons de voies interdits à la circulation, la possibilité de manœuvrer sans déborder du chantier est particulièrement appréciée.

La Balayeuse-Ramasseuse "Concorde" L.M.V. est ainsi parfaitement adaptée à ces travaux puisqu'elle fait un demi-tour sans manœuvre dans un espace de 2,850 mètres et dispose d'une benne permettant le déversement direct des produits du balayage à une hauteur de 2,20 mètres, dans une benne T.P. par exemple.

On peut ainsi rappeler que la consommation de carburant d'un engin à ramassage mécanique est de l'ordre de 25 % de la consommation d'une Balayeuse-Aspiratrice à travail équivalent.

La possibilité d'utiliser désormais ce matériel en location devrait largement contribuer à en généraliser l'emploi.



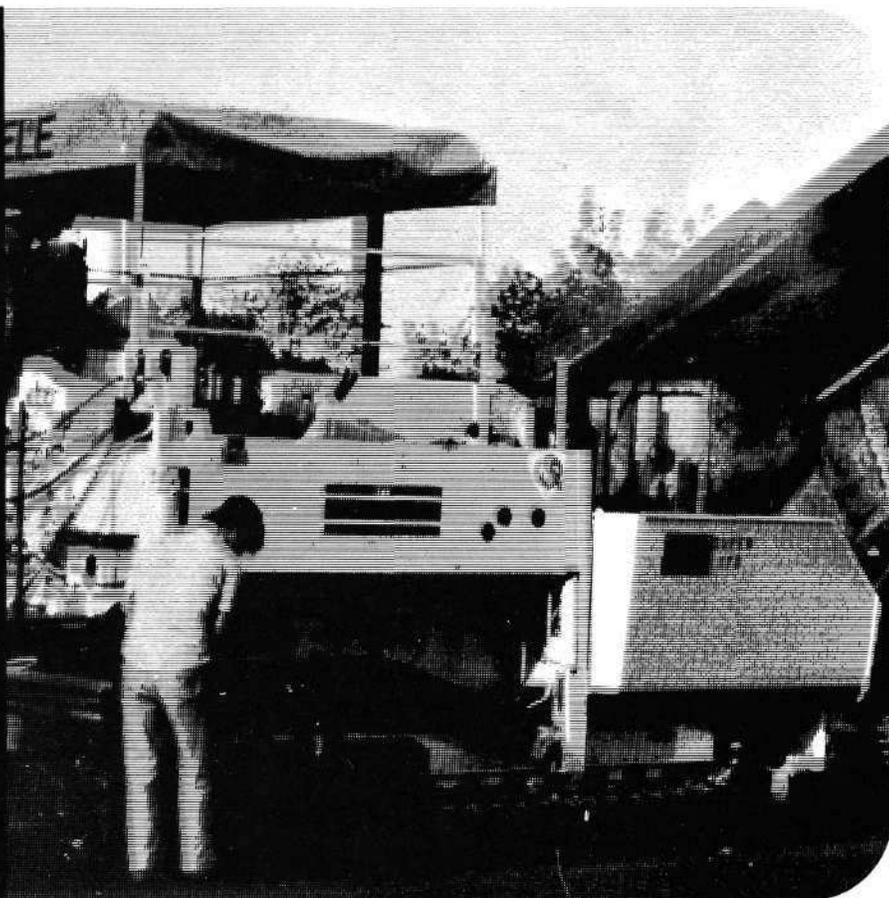
tapiprène

enrobés aux élastomères

SCR

CHIMIQUE DE LA ROUTE

5 avenue morane saulnier 78141
Velizy Villacoublay CEDEX
boite postale n°21 téléphone 946 96 60



VSL

Procédés spéciaux
de construction

VSL France
entreprise pour l'exécution de

Câbles de précontrainte
Tirants en rocher
et en terrains meubles
Coffrages glissants
Manutention de lourdes charges
Nattes en béton
Calfeutrement de joints

VSL France S.a.r.l.
154, rue du Vieux Pont de Sèvres
92100 Boulogne
Tél. 621.49.42

LA CONGELATION DU SOL

Etudiée et mise au point progressivement pour le fonçage des puits de mines à travers les morts-terrains aquifères depuis la fin du siècle dernier, la congélation artificielle du sol est une technique spéciale dont l'usage se répand de plus en plus pour la construction d'ouvrages souterrains de génie civil. Elle consiste à geler l'eau des terrains pour une durée limitée à celle du chantier.

Ceci permet :

- de conférer aux terrains meubles, - sables, argiles, silts, vases... - une résistance comparable à celle du béton maigre.
- de réaliser des enceintes et massifs dont l'étanchéité est complète.

La congélation complète la gamme des techniques spéciales de traitement des terrains, Elle peut par exemple apporter comme avantage par rapport aux injections, l'obtention d'une enceinte complètement étanche et peut être réalisée dans n'importe quel type de sol. En outre les résistances obtenues peuvent être sensiblement plus élevées.

Par contre, la congélation présente un caractère provisoire qui peut être un inconvénient lorsqu'une consolidation définitive du terrain est recherchée mais un avantage précieux dans certaines circonstances. Par exemple un courant d'eau souterrain peut être dérivé par un mur de glace le temps nécessaire à la réalisation d'un puits de métropolitain. Lorsque cet ouvrage est terminé la congélation est arrêtée, le mur de glace fond et le courant d'eau reprend son cours initial.

Disons également que la congélation des sols connaît un essor justifié par son faible coût lorsqu'il faut surmonter des situations difficiles, par sa "discrétion" en milieu urbain et par l'élégance des solutions qu'elle apporte à des problèmes techniques variés et complexes.

Figures 1 et 2.

Le principe de la congélation est simple. Des tubes métalliques sont introduits dans des forages réalisés dans les terrains à congeler. Ces tubes métalliques, appelés congélateurs, sont reliés à une installation frigorifique. Un fluide, le plus souvent un mélange d'eau et de sel, est refroidi à une température de l'ordre de $- 25^{\circ} \text{C}$. Cette saumure est mise en circulation dans le réseau de congélateurs. Autour de chaque congélateur se développe, à raison de quelques centimètres par jour, un cylindre de terrain gelé.

Avec le temps les masses gelées se soudent les unes aux autres pour former une voûte ou un mur continu et étanche. L'enceinte ainsi obtenue s'épaissit et les creusements peuvent commencer, généralement 3 ou 4 semaines après la mise en froid du terrain, lorsqu'elle présente la résistance voulue.

Notons encore que la congélation peut être réalisée à l'aide d'azote liquide. La congélation par cette méthode est plus rapide mais son coût deux à trois fois plus élevé. C'est pourquoi nous réservons son utilisation à des interventions particulières et brèves.

Si le principe de la congélation est simple, son application est un mélange d'expérience et de science. Le succès d'un tel chantier est lié à son étude préalable, à la qualité de son exécution et au contrôle du bon déroulement du processus de congélation.

Profitant des recherches menées un peu partout dans le monde à propos de la congélation du sol, le groupe FORAMINES-FORAKY a pu répondre à cette demande par la mise au point de techniques de calcul et par la création d'un laboratoire de mécanique des sols gelés.

La vérification de la stabilité d'un massif de sol gelé comporte deux étapes :

- une analyse thermique qui permet de déterminer en fonction du temps les températures dans le terrain ainsi que les puissances frigorifiques absorbées par celui-ci. Lors de la réalisation du chantier la propagation du froid est vérifiée par des forages de contrôle dans lesquels les températures sont régulièrement relevées ;
- une analyse de stabilité qui conduit à l'estimation, également en fonction du temps, des contraintes et déformations dans les terrains gelés. Lors de l'exécution du chantier ces estimations sont également vérifiées par des mesures de convergence et à l'aide d'inclinomètres installés dans le sol par exemple.

Après l'analyse thermique vient l'étude de stabilité. Il y a toujours fluage des terrains gelés.

Les études dont il est trop long d'exposer ici les principes se réalisent par la méthode des éléments finis. Les paramètres sont déterminés par des essais triaxiaux de fluage réalisés en chambre froide à des vitesses de déformation imposées, à différentes températures.

Au stade de l'avant projet on peut éventuellement estimer les contraintes à l'aide d'un modèle élastique. D'habitude on considère que la zone congelée qui est mécaniquement résistante est celle qui est comprise entre les isothermes de $- 3^{\circ} \text{C}$ et que dans cette zone la résistance peut être prise comme uniformément égale à celle du terrain à $- 10^{\circ} \text{C}$. Des contraintes admissibles à $- 10^{\circ} \text{C}$ sont pour des terrains saturés :

	Contraintes admissibles à $- 10^{\circ} \text{C}$ ($\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$)	
	Sables	Argiles
Compression	4,5	2,5
Cisaillement	2,0	1,2
Traction par flexion	2,5	2,0

L'étude d'une congélation doit encore envisager différents problèmes :

a) Circulations d'eau dans le terrain

Il est possible de ralentir les vitesses de circulation d'eau par différents procédés propres à l'entreprise. Le Groupe FORAMINES-FORAKY a réalisé avec succès une telle opération lors d'un congélation traversant une couche de galets en bordure de la Meuse.

b) Les gonflements et tassements du sol

Les mouvements de sol sont provoqués essentiellement par les migrations d'eau vers et à travers les zones gelées. La vitesse de ces migrations dépend de la granulométrie des terrains. Normalement les sables ne posent pas de problème. Par contre des phénomènes de gonflement et de tassement peuvent se développer dans les terrains peu perméables et argileux.

Il faut toutefois noter que les mouvements se produisent principalement dans les zones de terrain non chargées. C'est-à-dire que pour une congélation réalisée sous des fondations d'ouvrages existants on n'enregistrera que de faibles mouvements, de l'ordre de quelques millimètres, sous les fondations proprement dites.

c) La qualité du béton coulé contre le terrain gelé

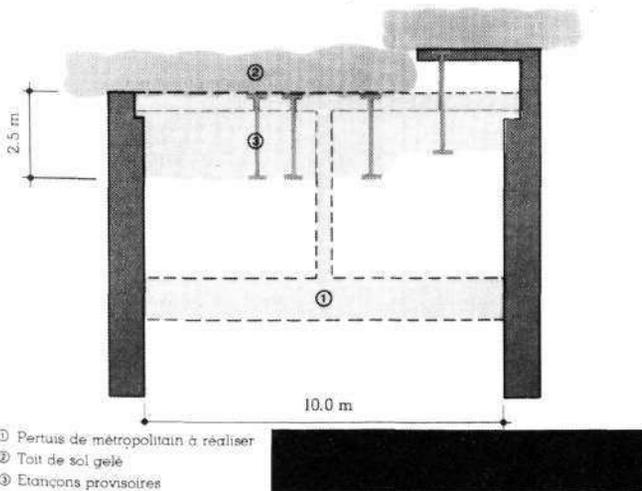
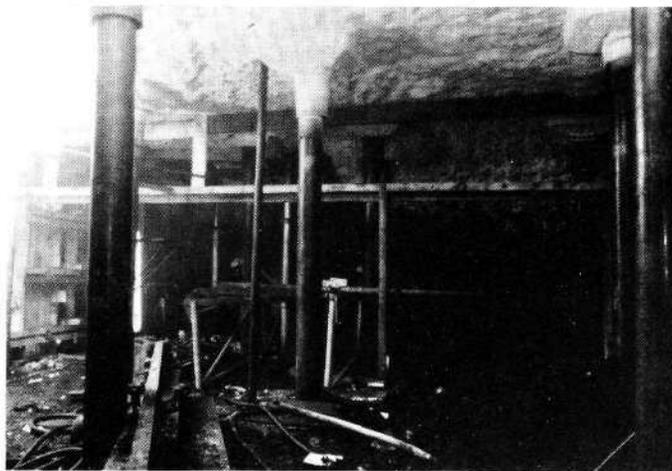
Pour autant que le ciment utilisé ne soit pas un ciment spécial à faible chaleur d'hydratation, et que les éléments coulés aient plus de 30 à 40 centimètres d'épaisseur, il ne faut pas craindre de dégradation du béton. Au contraire, comme le durcissement du béton est freiné, sa résistance est supérieure à celle du béton mis en œuvre dans les conditions habituelles.

FORAMINES S.A.



874.18.19

55, RUE DE CHATEAUDUN 75009 PARIS



▲
Vue de la dalle horizontale du sol congelé. (2 à la figure 1).

◀
Passage par congélation sous des bâtiments.

PROCEDE HOCHSTRASSER *(brevets dans de nombreux pays)*

1) Généralités

Le procédé Hochstrasser pour l'exécution de pieux de moyens et gros diamètres prend une place exceptionnelle dans les procédés les plus connus en raison de ses avantages techniques et économiques et des caractéristiques spécifiques des équipements.

Une caractéristique essentielle du procédé est l'indépendance relative de la louvoyeuse à air comprimé ou brimbale, simplement posée sur le tube de foration et de la grue située à une certaine distance de celui-ci.

La louvoyeuse ne nécessite pas d'appui pour absorber la réaction se produisant par la transmission de son énergie sur le tube de foration qui par l'action cumulée de l'énergie cinétique et du poids de la louvoyeuse, pénètre dans les couches de terrains les plus difficiles en effectuant des mouvements oscillatoires alternés.

Cette pénétration s'effectue :

- sans vibrations grâce à l'effet de découpage des terrains.
- sans bruits en raison de l'insonorisation de la louvoyeuse et du compresseur d'alimentation
- sans resserrement du tube de foration équipé ou non à sa partie inférieure d'une trousse coupante et comportant à sa partie supérieure un manchon d'entraînement.

L'extraction du tube est largement facilitée par l'action de l'air comprimé qui améliore de plus la liaison du béton avec les terrains.

2) Domaines d'application

Le procédé Hochstrasser trouve avantageusement son application pour l'exécution de pieux dans les cas suivants :

- sur l'eau, en rivière ou en mer, à partir d'engins flottants, pour les fondations de ponts, la réalisation de quais portuaires et la mise en place de ducs d'albe
- en site urbain, à proximité immédiate d'immeubles existants
- sur des pentes à consolider
- sur des remblais de voies ferrées ou entre les voies
- sur des bandes d'autoroute situées près de ponts existants
- dans des fouilles étroites, difficilement accessibles
- en combinaison aussi avec des équipements de forage à l'air lift
- pour l'ancrage de tubes perdus dans des couches rocheuses ayant une résistance à la compression très élevée.

3) Equipements spécifiques Hochstrasser

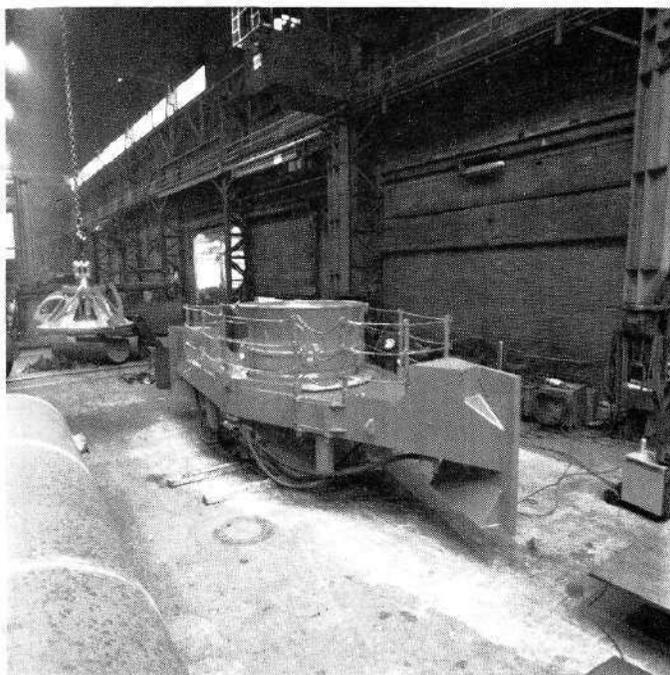
- Les louvoyeuses pour le fonçage et l'arrachage de tubes de diamètres variant entre 800 et 2750 mm, avec ou sans masses additionnelles démontables.
- Les grappins de forage équipés de pelles-bêches renforcées ayant une capacité élevée, dont les écartements varient entre 370 et 2800 mm.
- Les pompes à sable et à gravier pour le curage de pieux de diamètres variant entre 22 et 300 cm.
- Les trépans spéciaux à roche, réversibles, plats, et cruciformes et sur demande à spirales et élargisseurs avec tranchants circulaires.
- Les raccords étanches pour tubes de foration de diamètres variant entre 500 et 2500 mm.

HW

EQUIPEMENTS POUR FONDATIONS
DE PIEUX ET FORAGES

BREVETS DANS DE
NOMBREUX PAYS

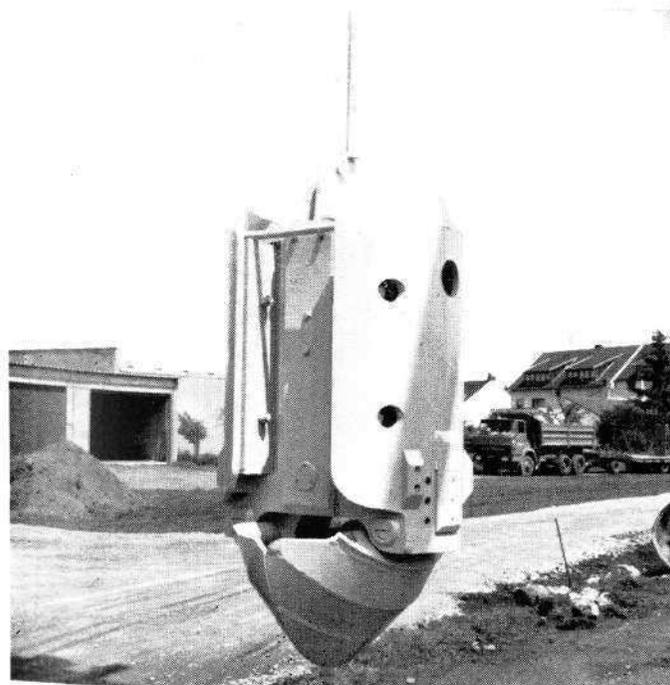
HOCHSTRASSER - WEISE



La brimbale HW est caractérisée par son indépendance avec la grue et son travail pratiquement exempt de vibrations et de bruit.

Elle est simplement placée sur le tube de foration par l'intermédiaire d'un manchon à endentures.

La photo montre une brimbale type 150 NLDSS dans les ateliers du constructeur, la société Hans LEFFER GmbH à Saarbrücken. Cette brimbale permet l'exécution de pieux de diamètres allant jusque 1,50 m. En second plan apparait le couvercle de sécurité HW pour fermer l'extrémité supérieure du tube.



Les grappins de forage HW pour pieux de diamètres compris entre 0,50 et actuellement 2,50 m ont une capacité de pelles atteignant 1,2 m³ par prise.

Ils permettent de traverser des formations de terrains les plus difficiles avec des blocs de rochers, des obstacles imprévus, des éboulis et par exemple de l'argile très compacte.

Les paliers largement dimensionnés sont prévus pour supporter des chocs importants.

La photo montre le grappin de forage type 120 nu, qui peut être équipé de pelles de diamètres allant de 1,10 m à 1,50 m.

Distributeur exclusif de licence

MATERIEL DE FOND ET D'INDUSTRIE

REPRESENTATION
EXCLUSIVE DE
LA VENTE DE
MATERIELS HW
POUR LA FRANCE
ET SES
TERRITOIRES



SIEGE SOCIAL ET USINES

BUREAU DE PARIS

Rue du Champ de Mars
Boîte Postale 61
57 202 SARREGUEMINES CEDEX
Téléphone (8) 795.02.77
Télex 926 486 MATN

37, avenue Paul Doumer
75016 Paris
Téléphone 504.79.28
Télex 619 607 EMEDAF



TELEMAC

2, RUE AUGUSTE-THOMAS
92600 ASNIERES.
TEL. 793 79 55 +
TELEX 610 448 F.

AUSCULTATION DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL ET DE LEURS FONDATIONS

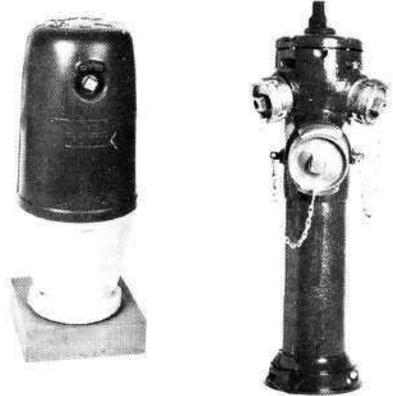
Appareils à capteur à corde vibrante et inductif.
Conception et fabrication d'appareils spécifiques.
Essais in situ, pose et mise en route d'ensembles
d'instrumentation.

SYSTEMES DE MESURES CLE EN MAINS

TÉL. 377TE

SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE HAUT-MARNAISE

TOUT CE QUI CONCERNE LE MATÉRIEL
D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION D'EAU



MATÉRIEL DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE
ÉQUIPEMENT DES CAPTAGES ET DES RÉSERVOIRS

B.P. 24 - 52300 JOINVILLE - TÉL. (25) 96.09.23
TÉLEX : OMARNEZ 840917 F

SIMECSOL

Études et Sondages

115, rue St-Dominique, 75007 Paris
Tél. : 555.07.11

MÉCANIQUE DES SOLS
INFRASTRUCTURE
FONDATIONS ET GÉNIE CIVIL
SONDAGES - ESSAIS - MESURES

Agences :

LYON - MARSEILLE - NANTES
DUNKERQUE - STRASBOURG

Laboratoire :

77, rue J.-J.-Rousseau, 92150 Suresnes
Téléphone : 772.31.73

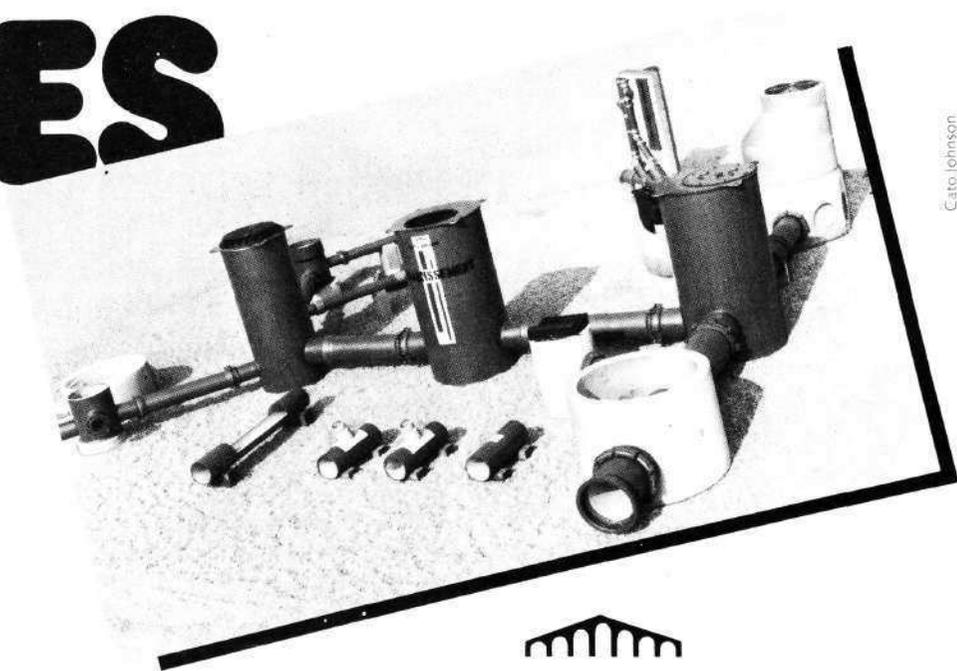
BOURDIN & CHAUSSE

ROUTES
AUTOROUTES
VOIRIE
RÉSEAUX DIVERS

40 centres de travaux en
FRANCE et à l'ÉTRANGER

Siège social
35, rue de l'Ouche-Buron - 44300 Nantes
Tél. : (40) 49.26.08
Direction générale
36, rue de l'Ancienne-Mairie - 92100 Boulogne
Tél. : 605.78.90

LA FONTE DUCTILE, LE SYSTEME LE PLUS SUR POUR LES EAUX USEES



Cato Johnson



PONT-A-MOUSSON S.A.

Contact auprès du service Promotion Industrielle,
Pont-à-Mousson, 91 avenue de la Libération, 4 X 54017 NANCY Cedex - Tél. : (8) 396.81.21

Maîtres d'ouvrage:

PRENEZ GARDE A VOS RESPONSABILITÉS



bureau de contrôle agréé par le Ministère de l'Environnement
et du Cadre de la vie
met à votre service ses Ingénieurs et Techniciens
dans 80 bureaux régionaux pour assurer

LE CONTRÔLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

- pré-contrôle du projet conformément à la loi
du 4 janvier 1978 et au décret 78-1146 du 7 décembre 1978
- examen du dossier
- contrôle sur le chantier
- vérification des lots techniques
- réceptions

Dès le stade de l'avant-projet, prenez contact avec le service central
du département «génie civil» et «contrôles des constructions»

du **CETEN**  102, rue des Poissonniers 75018 PARIS Tel. : 257.11.05

qui vous informera, vous conseillera et éventuellement vous orientera.



Préface

par J.-C. PARRIAUD

Directeur du Laboratoire central des Ponts et Chaussées

1 - Prendre appui dans le sol est le sort commun des ouvrages de Génie Civil ; cette partie cachée que l'on nomme fondation est souvent la plus délicate à concevoir et à réaliser. Dans les travaux de fondation, en effet, l'ingénieur se trouve aux prises avec un matériau, le sol, extrêmement divers selon le lieu, difficile à connaître, et qu'il n'a le plus souvent guère latitude de choisir.

La première responsabilité de l'ingénieur est donc de connaître le sol dans lequel il va prendre appui. L'enseignement traditionnel en soulignait l'importance en exigeant de l'ingénieur qu'il inspecte lui-même les fonds de fouille. Mais avant d'ouvrir, il est vite apparu utile de procéder à des reconnaissances permettant de connaître la nature du sol et d'étudier son comportement.

Pendant longtemps cet examen a reposé sur le prélèvement d'échantillons et leur étude en laboratoire ; c'est ainsi qu'ont vu le jour les essais oedométriques et triaxiaux en même temps que se développaient les recherches sur le comportement des sols et sa modélisation.

L'essai *in situ*, qui permet l'auscultation du sol en place, n'est pas pour autant une nouveauté puisqu'on peut en faire remonter la pratique à cet essai américain déjà ancien et toujours très utilisé qu'est le Standard Penetration Test.

Mais les essais *in situ* ont pris une extension considérable, notamment en Europe par la mise au point de pénétromètres statiques ou dynamiques, de pressiomètres et de scissomètres.

2 - L'école française s'y est distinguée notamment par le développement du pressiomètre issu des conceptions de Louis Ménard et par celui de l'autoforage, au cours de ces dernières années.

La supériorité de ces méthodes d'étude des fondations *in situ* s'affirme pour les ouvrages *off shore* où le prélèvement d'échantillons est très difficile.

3 - Le sol, une fois connues ses caractéristiques, comble rarement les vœux de l'ingénieur : d'où l'idée de l'améliorer ; d'où le devoir pour l'ingénieur de vérifier si l'économie globale du projet appelle une amélioration du sol de fondation.

C'est un ingénieur des Ponts et Chaussées, Charles de Bérigny, chargé des travaux de réfection de l'écluse de Dieppe, vers 1802, qui le premier, procéda à des injections dans le sol. Depuis les techniques d'injection se sont considérablement développées et améliorées, et bien d'autres procédés de renforcement ont été utilisés. On peut citer, dans le passé récent, l'invention de la terre armée et la mise en œuvre de géotextiles, et un procédé original de mélange de sable et de fil en cours de mise au point au L.C.P.C. L'obligation devant laquelle on se trouve de plus en plus fréquemment d'utiliser des terrains de mauvaise qualité autrefois délaissés, donne une grande actualité aux recherches sur le renforcement en place des sols.

4 - Connaître le sol, éventuellement l'améliorer, sont préliminaires à la construction proprement dite des fondations. Les techniques de construction ont évolué : si le pieu battu remonte à l'antiquité, si le pieu foré est séculaire, le pieu foré à la boue remonte aux années cinquante, la paroi moulée aux années soixante.

Comme dans l'amélioration des sols, les ingénieurs français se sont distingués dans l'innovation en matière de fondations, et nos entreprises et Bureaux d'Étude occupent à l'étranger

une position enviable. Ceci nous conduit à appeler une fois de plus l'attention sur l'importance de l'innovation technologique pour le soutien des exportations.

5 - L'avance technique se conquiert sur les chantiers les plus difficiles où les performances attendues de la fondation exigent la solution des problèmes très compliqués d'interaction entre sol et structure, et cela en comportement dynamique. Nos recherches sont ainsi amenées, pour répondre aux besoins des ingénieurs, à élaborer des codes de calcul de plus en plus performants et des lois de comportement de plus en plus complexes. Elles doivent être poussées plus activement pour combler le retard relatif de notre pays dans la prise en compte des séismes : il faut pour cela resserrer la collaboration entre équipes de recherche de compétences complémentaires. Une incitation des administrations responsables y contribuerait efficacement.

6 - L'avance prise dans notre pays est due au niveau des recherches qui y sont poursuivies, à la capacité d'innovation de nos entreprises et de nos Bureaux d'Étude, et à leur capacité d'assumer les risques correspondants, mais aussi à l'ouverture d'esprit de Maîtres d'Ouvrages qui ont suscité la mise en œuvre dans notre pays de procédés innovants.

Il convient que nous conservions ces qualités.

Je souhaite que la présente livraison de P.C.M. encourage chez les Maîtres d'Ouvrages, les Maîtres d'Œuvres, les Entrepreneurs et les Chercheurs la poursuite d'un effort de recherches et d'innovation que l'on me permettra de qualifier de fondamental.

Reconnaissance in situ

par F. BAGUELIN

I.P.C. Chef du département des Sols
et Fondations, L.C.P.C.

Les reconnaissances pour travaux de fondations font largement appel aux mesures et essais in situ, que ce soit dans la phase de reconnaissance initiale du site où il s'agit de déterminer la nature et la structure des terrains, ou bien dans la phase de dimensionnement des fondations, où les essais in situ fournissent en général les données mécaniques de base.

A cet égard, la France a connu une évolution sensible au cours des vingt dernières années, avec le développement des essais pénétrométriques et surtout pressiométriques, qui ont supplanté progressivement les essais mécaniques sur échantillons. Bon nombre de pays voisins en Europe connaissent une situation semblable. Les pays anglo-saxons sont restés, dans leur ensemble, très attachés aux techniques traditionnelles : essai SPT pour les sables, essai sur échantillons pour les sols fins. Mais avec les travaux en haute mer, pour les ouvrages pétroliers, on note un intérêt croissant pour les essais in situ, qui semblent être seuls en mesure de fournir des mesures représentatives des propriétés mécaniques du sol en place.

I. Les méthodes géophysiques et la détermination de la structure du site

La détermination exacte de la nature des terrains ne peut se faire que par prélèvements d'échantillons, le plus souvent par forages, mais les informations ainsi obtenues sont ponctuelles.

Leur application à des volumes entiers de terrains peut être obtenue par des méthodes géophysiques. Les deux techniques sont ainsi complémentaires l'une de l'autre.

Les méthodes de géophysique de surface, ou entre forage et surface, répondent directement à cette exigence ; de même, bien qu'à un degré moindre, les méthodes de mesures entre deux forages. Par contre, les techniques de diagraphie, qui sont pratiquées dans des forages et n'intéressent que le volume de terrain immédiatement adjacent, y répondent indirectement, dans la mesure où elles permettent de valoriser et de multiplier des forages à bas prix de

revient, par exemple de type destructif au lieu de sondages carottés.

Les prospections sismique et électrique sont les méthodes classiques de surface. Une méthode nouvelle, très prometteuse est la **magnéto-tellurique artificielle**.

C'est la **sismique réfraction**, qui est utilisée en génie civil à terre, tandis que la **sismique réflexion** connaît une large utilisation en mer. Ceci tient aux faibles profondeurs en jeu à terre, ne permettant pas de séparer le signal réfléchi du signal émis ; en mer, il faut des profondeurs d'au moins 10 m pour les distinguer. Dans la sismique réfraction (fig. 1), l'ébranlement sismique produit en S est observé en plusieurs localisations R^1, R^2, \dots suffisamment éloignées. L'étude du diagramme des temps de propagation en fonction de la distance permet de distinguer le trajet direct du trajet par le milieu (2) sous-jacent, à vitesse de propagation plus élevée, et de localiser l'interface des deux milieux. Des sites complexes, comportant plusieurs couches avec éventuellement pendage, peuvent être étudiées en réalisant plusieurs tirs avec des configurations différentes du dispositif d'essai.

La méthode est très utilisée en travaux de terrassement, intéressant de grands volumes de terre, pour définir les limites d'emploi des défonçeurs et des explosifs.

La prospection électrique utilise un quadripôle ABMN (fig. 2) : un courant continu d'intensité I est injecté dans le terrain par les deux électrodes A et B et l'on mesure la différence de potentiel en résultant entre les deux autres électrodes M et N. On interprète le rapport $\frac{V}{I}$ en termes de résistivité

par rapport à des modèles géométriques simples (massif semi-indéfini, surmonté d'une ou plusieurs couches de résistivité différente). Si l'on effectue en un même point des mesures correspondant à des distances AB croissantes, on auscultera des profondeurs de terrains de plus en plus grandes et l'on réalise ainsi un sondage électrique. Si, au contraire, l'on déplace sur le terrain un quadripôle de géométrie fixée, on réalise ainsi une **trainée électrique** et l'on peut dresser une carte de la résistivité apparente du terrain (modèle du massif semi-indéfini).

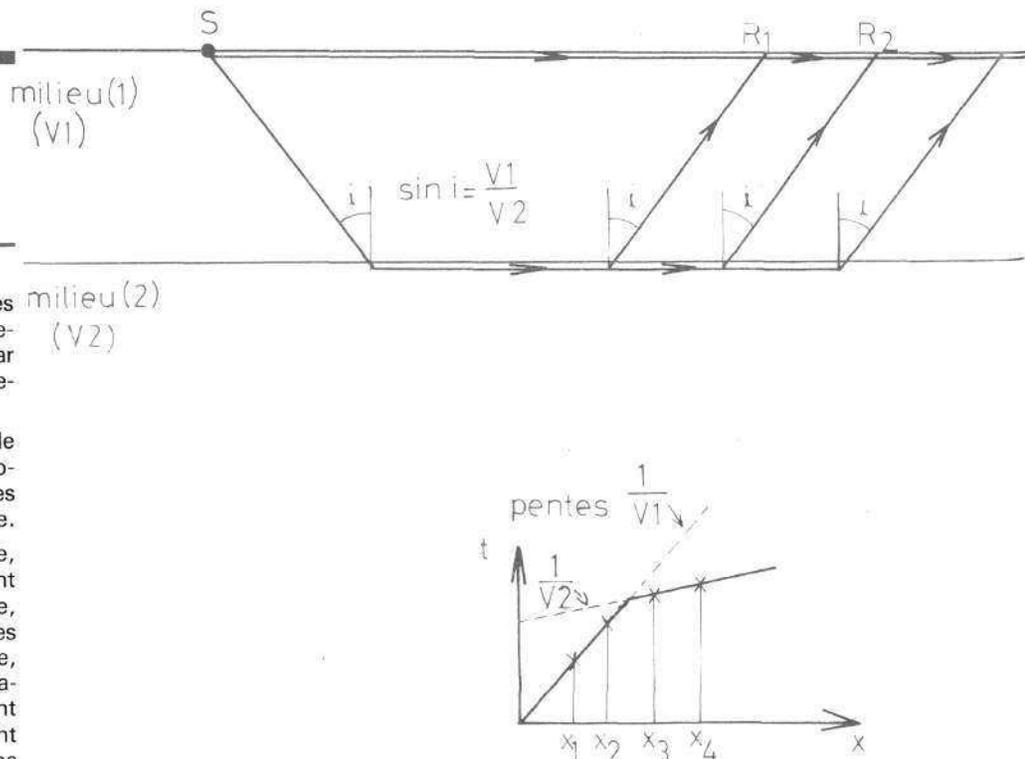
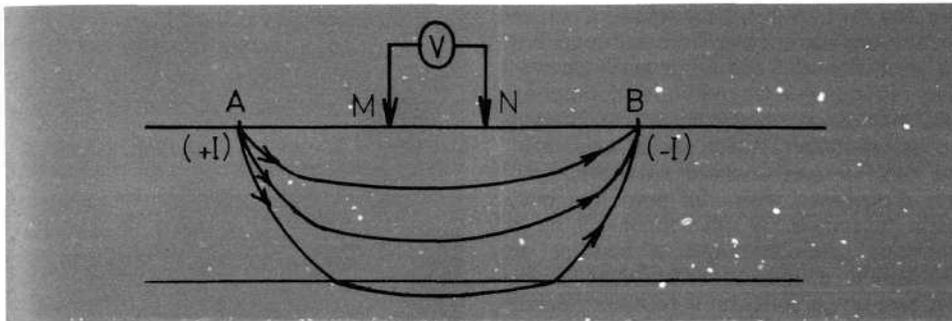


Fig. 1 - Principe de la sismique réfraction.



vation neutronique) comportent des sujétions d'emploi généralement prohibitives pour les reconnaissances de génie civil. Une voie intéressante pour certains cas consiste à incorporer le dispositif de mesure dans une sonde d'essai mécanique. Cette association a été réalisée par la diagraphie ρ , qui donne la densité des terrains, avec des pénétromètres statiques ou le pressiomètre autoforeur.

II. Les essais mécaniques in situ et le dimensionnement des fondations

Les principaux essais utilisés en reconnaissance de fondations sont les essais pénétrométriques et pressiométriques.

A noter que l'essai scissométrique en place est l'essai de base pour caractériser la résistance des sols mous, destinés à supporter des remblais.

Les **essais pénétrométriques** sont de types statique ou dynamique, suivant le mode de fonçage du pénétromètre, appareil constitué d'un train de tubes ou de tiges et d'une pointe, et il s'agit de déterminer la résistance à l'enfoncement de cette dernière. Ces essais souffrent depuis longtemps d'un manque de normalisation du matériel, situation à laquelle la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Travaux de Fondations (Réf. 7) a tenté de remédier en 1977, en éditant des recommandations de normes pour quatre essais :

Parmi les diagraphies, on relève d'abord les diagraphies instantanées, qui consistent à enregistrer divers paramètres de forage pendant sa réalisation même, et qui, sous cette forme continue et automatique, est une technique relativement récente (Réf. 5 et 6). La vitesse instantanée d'avancement, la force de poussée sur l'outil, la pression du fluide de forage peuvent être ainsi mesurées pour des forages destructifs, donc bon marché, que l'on multipliera à dessein dans le volume de terrain intéressé, ou qui seront exécutés lors du chantier, par exemple pour des injections, domaine où l'exploitation de ces résultats s'avère fort utile pour la conduite des travaux.

Avec les **diagraphies différées**, on introduit une sonde dans un forage réalisé au préalable. La diagraphie la plus intéressante en génie civil est la **RAN ou radioactivité naturelle**, parce qu'elle est très simple de mise en œuvre et s'accommode de quasiment tous les types de forages. Le résultat de mesure reflète la teneur en argile du terrain. En fondations, cette diagraphie peut être réalisée dans des forages pressiométriques.

Les autres diagraphies (résistivité électrique, sonique, ρ , neutron-neutron, acti-

Fig. 3 - Appareil de magnéto-tellurique artificielle.



Fig. 2 - Quadripôle pour la prospection électrique.

La méthode **magnéto-tellurique artificielle** (MTA), a été inventée en 1973 par Guineau et Dupis (Réf. 1). Elle est dérivée de la magnéto-tellurique introduite par Cagniar en 1953 (Réf. 2). Un appareillage a été développé par le Centre de Recherches Géophysiques de Garchy et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Réf. 3) pour répondre aux besoins des reconnaissances de génie civil (fig. 3). Le principe de la méthode consiste à mesurer à la surface du terrain le rapport des composantes horizontales, perpendiculaires, des champs magnétique et électrique, correspondant à une fréquence donnée et résultant d'une source électromagnétique lointaine, généralement un émetteur de radiodiffusion. Par exemple, l'émetteur de Radio-France, à Allouis (164 kHz), permet d'ausculter des profondeurs de quelques mètres à 20 m, suivant la valeur de la résistivité des terrains. Le résultat final, la résistivité apparente, est obtenu en continu, en fonction de la distance parcourue. La méthode a un rendement élevé et constitue un excellent outil d'extrapolation entre sondages.

En matière de fondations, la détection de vides souterrains tels que karsts ou carrières anciennes, peut être primordiale dans certaines régions. La microgravimétrie met actuellement en œuvre des appareillages très élaborés qui atteignent une précision de l'ordre de 20 microgals (soit 2.10^{-9} g), voire même 5 microgals (Réf. 4). Ceci rend possible par exemple la détection de cavités de 5 m de rayon dont le toit est à 13 m de profondeur. Une autre technique, très efficace en site non aménagé, est la télédia-graphie, qui est une méthode électrique entre surface, où est disposé un dipôle, et un forage, où l'on observe la composante verticale du champ électrique créé par le dipôle. On fait varier l'implantation du dipôle autour du forage et l'on étudie les anomalies de révolution cylindrique.

Pour l'étude des fondations devant supporter des séismes, une technique de mesure d'ébranlements provoqués entre forages (en anglais : cross-hole method) permet de déterminer un certain nombre de paramètres caractéristiques des diverses couches rencontrées par les forages (célérité des ondes, modules de déformation). Ces paramètres correspondent à de faibles niveaux de sollicitation et sont complétés par des essais mécaniques sur échantillons.

l'essai SPT, l'essai de pénétration statique, l'essai de pénétration dynamique, et un essai de pénétration par charges, pratiqué principalement en Scandinavie.

En pénétration statique, l'évolution devrait ainsi se faire vers les appareils à pointe fixe par rapport au train de tubes, avec mesure de l'effort de pointe par capteur incorporé, au détriment des appareils à pointe mobile, dont le prototype est le pénétromètre hollandais Gouda. On note aussi actuellement la tendance, très intéressante, à compléter la mesure en pointe par une mesure de frottement latéral sur un manchon, ce qui permet d'identifier les types de terrain traversés.

En pénétration dynamique, la situation est moins claire car deux types d'appareillage sont proposés. En France, la tendance serait d'adopter des pénétromètres à pointe débordante par rapport au train de tiges, et à injection de boue bentonitique, dispositions qui seules permettent d'éliminer le frottement latéral parasite sur les tiges et d'obtenir un résultat représentatif de la résistance du sol rencontré par la pointe.

Quoi qu'il en soit, les pénétromètres sont utilisés largement, et à juste titre, en matière de fondations, pour obtenir des profils mécaniques et contribuer à l'étude de la structure du site : recherche du substratum ou des variations spatiales des couches, détermination de l'hétérogénéité.

L'exploitation quantitative des résultats, pour le dimensionnement des fondations, est tout à fait recommandable avec les pénétromètres statiques dans le cas de pieux et de sols ne comportant pas d'éléments grossiers. Elle est alors bien supérieure aux méthodes basées sur les essais sur échantillons. Elle est plus approximative dans le cas de fondations superficielles, et devient hasardeuse avec les sols à gros éléments ou dans le cas de pénétromètres dynamiques.

L'essai **pressiométrique** présente parmi les essais in situ, la particularité de fournir deux types de paramètres mécaniques : un module de déformation et un paramètre de résistance, la pression limite. La sollicitation du terrain résulte de l'expansion d'une sonde cylindrique, introduite dans un forage spécialement calibré. Son inventeur, L. Ménard, a associé à l'essai des règles d'exploitation pour le dimensionnement des fondations. Fort controversée dès l'origine, la méthode pressiométrique s'est imposée progressivement, d'abord comme une alternative valable aux méthodes traditionnelles, ensuite comme la méthode la plus efficace de dimensionnement des fondations. La première raison est qu'elle peut être mise en œuvre dans quasiment tous les types de terrains, la présence de blocs constituant la principale limitation. La deuxième raison, plus fondamentale, tient à la parenté de l'expansion pressiométrique avec les sollicitations créées par les fondations. Aussi, les règles

établies par L. Ménard sur la base d'expérimentations sur des éléments de fondations se sont-elles révélées à l'usage beaucoup plus réalistes que les méthodes concurrentes, ainsi que l'ont prouvé par exemple des constatations effectuées par les Laboratoires des Ponts et Chaussées sur des dizaines d'ouvrages réels. On peut dire que, dans l'ensemble, le développement de la méthode pressiométrique a conduit en France à un allègement des projets de fondations, en garantissant la tenue de fondations superficielles ou semi-profondes, ou bien en prévoyant des valeurs significatives de résistance de pieux aux efforts latéraux. Ce dernier point a contribué au développement des pieux forés.

L'**autoforage** constitue une autre innovation intéressante dans le domaine des essais in situ. Inventée vers 1965 par J.-F. Jézéquel, la technique consiste à faire réaliser le forage par la sonde destinée à la mesure mécanique (Réf. 8). Elle élimine pratiquement le remaniement du sol, inévitable et important avec les autres techniques de mise en place. Entre autres appareils, un pressiomètre autoforeur a été réalisé. L'autoforage constitue un progrès très important pour les études fondamentales sur le comportement des sols. C'est également dans certains cas une technique intéressante pour les reconnaissances de sols de fondations ; les reconnaissances en mer en sont un exemple.

III. Les reconnaissances en mer

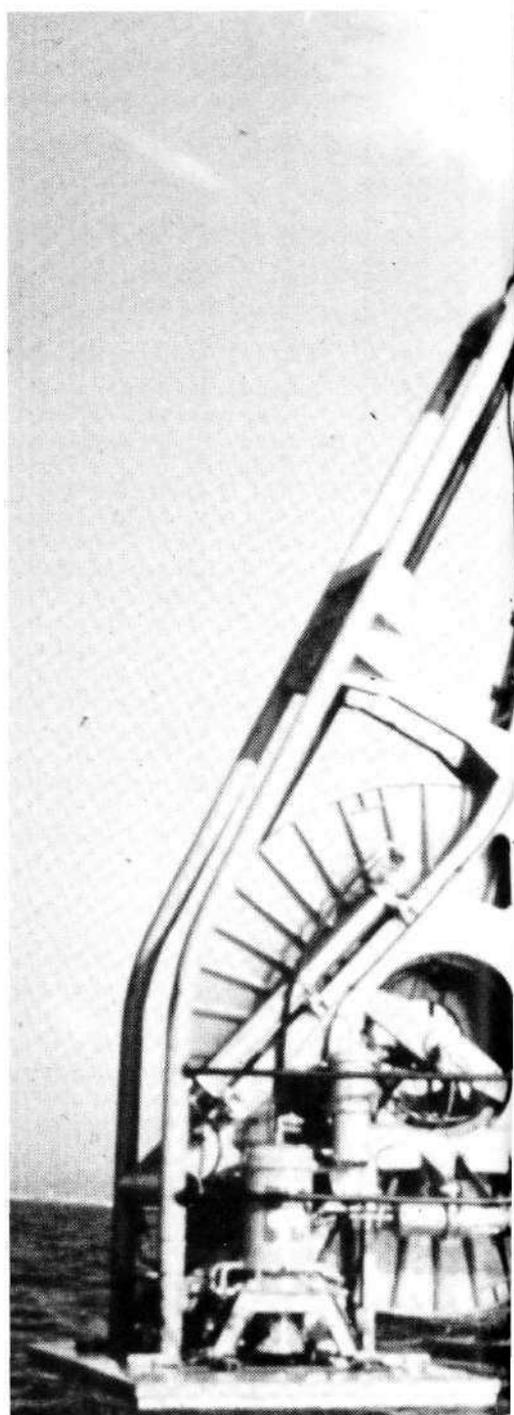
Les mesures et essais in situ sont largement utilisés en mer dans la phase de reconnaissance de la structure du site (Réf. 9).

Écho-sondeur et sonar à balayage latéral sont les outils de base pour la bathymétrie et la topographie. La sismique réflexion à haute résolution permet de reconnaître la configuration des couches géologiques sur les cent premiers mètres de terrain.

Pour la caractérisation mécanique des sols de fondations, notamment pour les ouvrages pétroliers en haute mer, par contre, les efforts ont surtout porté jusqu'à maintenant sur la transposition à la mer des techniques de carottage utilisées à terre, avec les essais mécaniques associés. Cette approche se heurte cependant à des obstacles importants, spécialement par grand fond, où la qualité des prélèvements est souvent inacceptable du point de vue de la mécanique des sols. D'où la tendance actuelle à faire appel aux essais in situ.

Des pénétromètres sont déjà utilisés assez couramment par des fonds de 300 m, des pressiomètres plus sporadiquement.

L'Institut Français du Pétrole a développé, avec le concours des Laboratoires des Ponts et Chaussées, un pressiomètre auto-



foreur marin (Fig. 4) qui a obtenu en 1981 à Houston le grand prix pour l'innovation en ingénierie au Congrès de Technologie Offshore et qui entre actuellement en utilisation opérationnelle.

Les Laboratoires des Ponts et Chaussées ont développé parallèlement, avec le Service Central des Ports Maritimes et Voies Navigables un pressiomètre autoforeur destiné aux applications portuaires et côtières (fonds d'au plus 50 m). Ils ont également réalisé récemment, avec le Commissariat à l'Énergie Atomique, un pressiomètre marin, mis en œuvre par une vibrofonceuse immergée de Techniques L. Ménard, utilisable pour des fonds moyens (< 100 m).

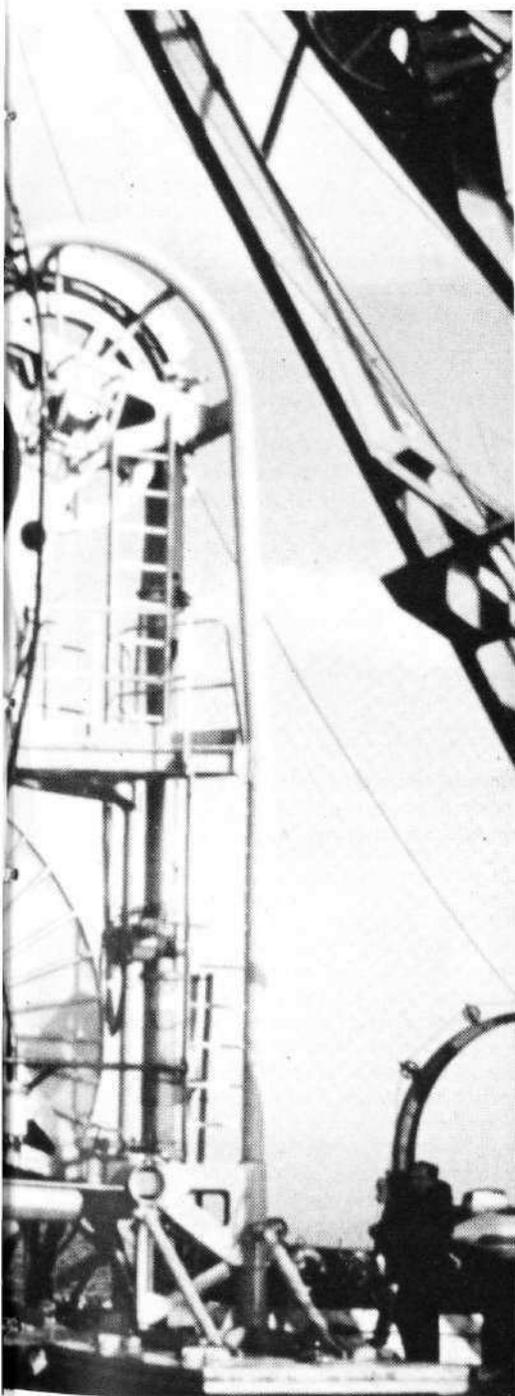


Fig. 4 - Pressiomètre autoforeur marin développé par l'IFP avec le concours des Laboratoires des Ponts et Chaussées.

IV. Conclusion

Les techniques in situ occupent une place de choix dans les reconnaissances de génie civil, et spécialement celles des sols de fondations.

En géophysique, ce sont probablement les méthodes électromagnétiques qui devraient connaître l'évolution la plus

importante, avec dans l'immédiat l'essor de la magnéto-tellurique artificielle (MTA).

Pour la caractérisation mécanique des sols de fondations, les essais in situ ont, au cours des dernières décennies, modifié considérablement l'ingénierie des fondations terrestres. L'avenir devrait leur réserver un rôle tout aussi important dans les études géotechniques d'ouvrages marins.

Références

- (1) (ANVAR. 1973) "Dispositif pour la prospection magnéto-tellurique de subsurface (Inventeurs : Guineau B., Dupis A.), Brevet n° 73-11-573.
- (2) Cagniar L., (1973), "Principe de la méthode magnéto-tellurique, nouvelle méthode de prospection géophysique, Ann. géophys., 1953, n° 9, pp. 95-125.
- (3) Lagabrielle R., Yardin D., (1979), "Application de la magnéto-tellurique artificielle à l'étude des gisements rocheux", 8^e Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, Madrid, Sec. IV, vol. 1, pp. 165-172.
- (4) Neumann R., (1967), "La gravimétrie de haute précision. Application aux recherches de cavités", Geophysical Prospecting, vol. XV, n° 1, 1967.
- (5) Richez P., (1981), "L'enregistrement des paramètres de forage dans les travaux de reconnaissance et de génie civil", Revue Travaux, n° 552, février 1981, pp. 77-83.
- (6) Lutz J., (1981), "Enregistrement des paramètres de forage", Revue Travaux, n° 552, février 1981, pp. 84-89.
- (7) Société Internationale de Mécanique des Sols et de Travaux de Fondations (1977), Normes recommandées pour les essais de pénétration, CR du IX^e Congrès International, Tokyo, vol. 3, pp. 95-152.
- (8) Amar S., Baguelin F., Jézéquel J.-F., (1980), "L'autoforage", Revue PCM n° 8021, avril 1980, pp. 15-18.
- (9) Le Tirant P., (1976), "Reconnaissance des sols en mer pour l'implantation des ouvrages pétroliers", Éditions Technip, Paris.



CONSTRUCTION
FLUVIALE ET NAVALE

101, rue du Rhin-Napoléon - 67100 STRASBOURG-NEUDORF
Tél. : (83) 79.41.41 - Télex : SCARFOR 890.591 F
Route de Liverdun - 54390 FROUARD - Tél. : (8) 349.02.45

Construction, Transformation, Motorisation, Réparation de tout bateau ou engin flottant de longueur jusqu'à 110 m et de poids jusqu'à 1000 tonnes, en particulier :

AUTOMOTEURS - POUSSEURS - BARGES - VEDETTES RAPIDES - PENICHES - PONTONS - DRAGUES SUCEUSES - Unités du type ouvrant "HYDROKLAPP"

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES FORGES DE STRASBOURG



SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES FORGES DE STRASBOURG - S.A. AU CAPITAL DE 20 000 000 FRANCS - SIÈGE SOCIAL : 101, RUE DU RHIN-NAPOLÉON - 67100 STRASBOURG - R.C.S. STRASBOURG B 318 785 656 - SIRET 318 785656 00014

Les traitements par injection

J. BRULOIS

Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées
Responsable des Études de l'Entreprise SIF-BACHY

I. Présentation de la technique

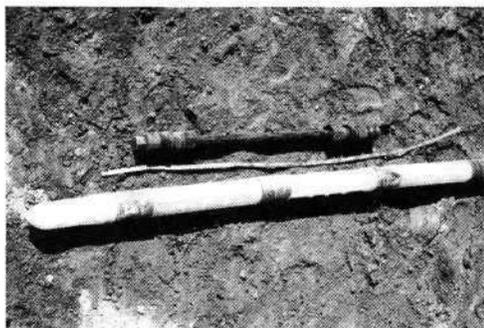
L'injection est un procédé qui consiste à faire pénétrer dans un milieu pour en améliorer certaines caractéristiques un coulis liquide susceptible de durcir dans le temps.

On parle généralement de traitement de terrain en considérant un milieu naturel pouvant présenter une perméabilité de fissures (roche), une porosité intergranulaire (sol meuble) ou encore des vides francs (karsts, poches de dissolution, cavités diverses...). Mais l'injection peut aussi concerner des milieux artificiels, par exemple de vieilles maçonneries ou un béton dégradé.

Le coulis est mis en place au travers de forages de petit diamètre comportant fréquemment des dispositifs spéciaux d'équipement, par exemple tubes à manchettes pour les terrains meubles. Il est pompé en pression dans le milieu en agissant soit par imprégnation, soit par claquage, soit le plus souvent par action combinée en formant de fins réseaux à partir desquels s'effectue partiellement l'imprégnation. Cette propagation est fonction de nombreux paramètres dont les plus importants sont la nature et la perméabilité du milieu, la viscosité du coulis et son évolution avec le temps, le débit et la pression d'injection. Bien que les études théoriques permettent d'analyser les influences respectives des divers paramètres, il est difficile de modéliser et reproduire en laboratoire le processus de l'injection. Le comportement réel du terrain reste souvent imprévisible et il nécessite toujours d'adapter le traitement et ses modalités d'exécution en fonction des enseignements acquis au fur et à mesure du déroulement des travaux.

II. Principales applications

La modification des caractéristiques d'un milieu intervient essentiellement dans les domaines de l'étanchement et de la consolidation dont les effets sont liés mais avec prépondérance de l'un ou l'autre facteur selon le problème à résoudre.



Tube à manchettes

Le tube est constitué par des éléments unitaires en plastique moulé et vissés les uns aux autres pour obtenir un espacement de 33 cm entre manchettes. L'obturateur double à coupelle que l'on voit sur la photo est conçu de façon à coulisser à l'intérieur du tube à manchettes en isolant successivement chaque manchette.

Parmi les principales applications de l'injection on peut citer :

— les coupures d'étanchéité sous les digues et barrages

Ces coupures ont pour but de réduire les fuites, d'empêcher les entraînements de matériaux fins et corrélativement de diminuer les sous-pressions dans le terrain de fondation, donc d'assurer la stabilité de l'ouvrage en association avec un drainage efficace.

— les radiers injectés. Ces radiers sont raccordés à des écrans périphériques formés par des parois moulées, des palplanches ou même des écrans injectés pour permettre la mise hors d'eau de fouilles profondes en terrain très perméable sans répercussion notable sur la nappe phréatique. On s'affranchit ainsi de pompages importants qui, outre leur coût prohibitif, pourraient causer de graves désordres aux ouvrages environnants suite à l'entraî-

nement de matériaux fins avec les eaux d'exhaure et à un abaissement difficilement contrôlable de la nappe.

— les traitements de terrain préalable-

ment au percement d'ouvrages souterrains soit pour étancher un rocher très ouvert soit pour étancher ou consolider des sols meubles. On peut dans ce domaine distinguer 2 types principaux d'ouvrages :

- les ouvrages sous forte couverture en site montagneux comme les tunnels routiers et les galeries d'aménagement hydroélectriques. On peut alors avoir à faire face à des pressions hydrauliques très élevées pouvant atteindre plusieurs MPa dont le contrôle implique des aménagements particuliers tels un drainage préalable, la perforation sous sas, la protection du front d'attaque par mur masque, etc...

- les souterrains à faible et moyenne profondeur en site urbanisé pour la réalisation de collecteurs ou le développement des réseaux de transport. Les conditions d'environnement liées à la construction de



Barrage de Grand'Maison

Il s'agit d'une digue en terre et en enrochements de 550 m de longueur en crête et d'une hauteur maximale de 160 m.

Les échafaudages que l'on distingue sont destinés à permettre la réalisation du traitement de peau sous le noyau vertical du barrage.

Le voile profond d'étanchéité est exécuté depuis une galerie du rocher qui suit sensiblement le profil de la vallée.

ces ouvrages imposent de nombreuses sujétions pour lesquelles l'injection apporte souvent une aide précieuse.

— la consolidation des sols sous les fondations d'ouvrages

Ces ouvrages peuvent être existants et il s'agit généralement de réparer des désordres liés à une évolution néfaste des caractéristiques des horizons sous-jacents consécutifs soit à des phénomènes naturels, soit à des actions extérieures. Mais on peut aussi envisager d'utiliser les techniques d'injection comme procédé direct de construction permettant de simplifier le mode de fondation d'un ouvrage.

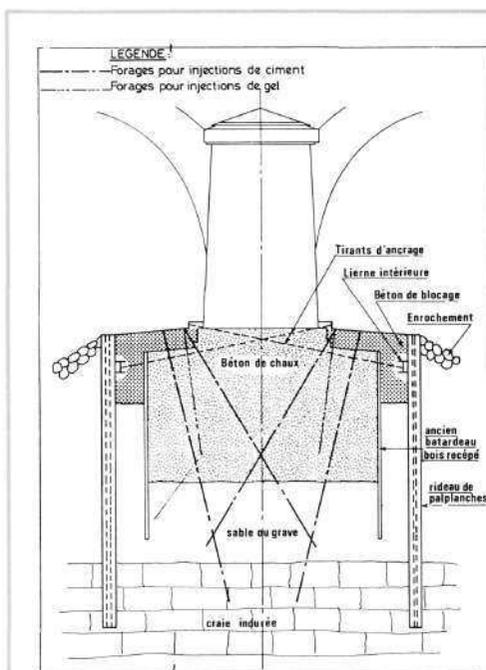
— le comblement de cavités souterraines

L'injection permet de maîtriser leur évolution en empêchant la création inopinée de fontis susceptibles de remonter brutalement jusqu'en surface. Dans le cas de carrières partiellement foudroyées dont l'accès est impossible soit matériellement soit pour des considérations de sécurité l'injection peut s'avérer la seule méthode en mesure de régler les problèmes par exemple pour rendre un terrain constructible.

— la réparation d'ouvrages par injections internes

On peut ainsi régénérer des maçonneries anciennes (tunnels, ponts, digues, bâtiments classés, etc.) dont le liant est altéré et partiellement dissout. On peut également traiter des fissures d'une structure en béton de façon à lui redonner des caractéristiques de résistance conformes à sa destination originelle.

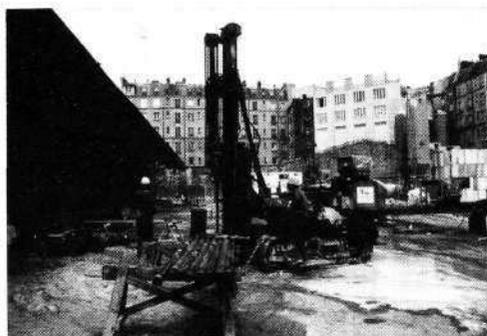
En application dérivée, on peut encore mentionner la réalisation des scellements au terrain de micropieux à haute adhérence et de tirants d'ancrage. L'injection ne constitue plus exactement la finalité de l'opération et on ne cherche d'ailleurs pas à traiter en masse le terrain. On est cependant conduit à mettre en œuvre des techniques découlant directement de l'injection de façon à obtenir l'accrochage recherché avec une efficacité optimale.



Viaduc S.N.C.F. de Montlouis-sur-Loire - confortement des fondations des piles (schéma)

Le traitement par injection exécuté sous la protection d'une enceinte en palplanches a permis de régénérer les anciennes maçonneries et de consolider des alluvions partiellement affouillées. Le traitement a comporté la mise en œuvre successive de 2 coulis :

- en première phase un coulis de ciment à $\frac{C}{E} = 1$ activé à la bentonite
- en deuxième phase un gel dur de silicate à réactif organique.



Gare souterraine de Paris-Nord

Traitement par injection des vides de dissolution du gypse et des horizons décomprimés sus-jacents pour empêcher l'évolution ou la formation de fontis. La découverte au cours des reconnaissances d'une caverne à faible profondeur dans le calcaire de St-Quen d'un volume estimé de 2 700 m³ a montré l'importance du problème.

Un traitement généralisé a été entrepris jusqu'à une profondeur de 60 m sous l'assise de l'ouvrage. L'enregistrement systématique des paramètres de perforation a permis de piloter le traitement et de l'adapter aux natures de désordres rencontrés. Le coulis de base mis en œuvre était un mortier ciment-cendres volantes, complété dans certains cas par un clavage avec un coulis stable bentonite-ciment.

On remarquera en premier plan l'atelier de perforation avec son dispositif d'enregistrement des paramètres et, dans le fond, la centrale de préparation et d'injection.



Paris - Gare d'Orsay

L'aménagement du hall de la Gare d'Orsay en futur Musée du 19^e siècle a nécessité la réalisation de près de 1 500 micropieux injectés d'une capacité unitaire de 80 T pour report des charges de fondation et reprise d'efforts de sous-pression.

III. Caractéristiques générales des coulis d'injection

A la fin du siècle dernier on utilisait essentiellement des laits de ciment plus ou moins dilués, éventuellement additionnés d'une charge inerte pour constituer un mortier. L'essor pris depuis par le procédé et son application à des cas de plus en plus complexes n'ont été possibles qu'avec l'apport de l'industrie chimique permettant d'étendre le choix des produits à mettre en œuvre. On dispose ainsi à l'heure actuelle

d'une gamme étendue de coulis constitués par des solutions, suspensions ou émulsions de produits minéraux ou organiques dilués dans un solvant aqueux ou non.

Les coulis se définissent par un certain nombre de caractéristiques qui conditionneront leur sélection compte tenu du problème posé. On peut parmi les plus importantes citer les suivantes :

— le pouvoir de pénétrabilité qui, pour un milieu donné, est lié à la viscosité et à la stabilité de la solution. Il peut aussi dépendre de certaines propriétés physico-chimiques faisant intervenir des phénomènes d'attraction moléculaires et de charge ionique.

— le temps de prise qui, dans certains cas, doit pouvoir être ajusté avec précision et répétitivité à l'échelle d'un chantier ;

— les caractéristiques mécaniques après prise pouvant faire intervenir non seulement l'adhérence au matériau support et la résistance globale obtenue mais encore des propriétés de déformabilité ou de stabilité dans le temps ;

— les facilités d'utilisation parfois en fonction de critères spécifiques par exemple pour manutention et mise en œuvre dans les ouvrages souterrains ;

— le coût.

Il existe, en fait, deux grandes familles de coulis que nous allons examiner succinctement :

- les suspensions,
- les liquides vrais.

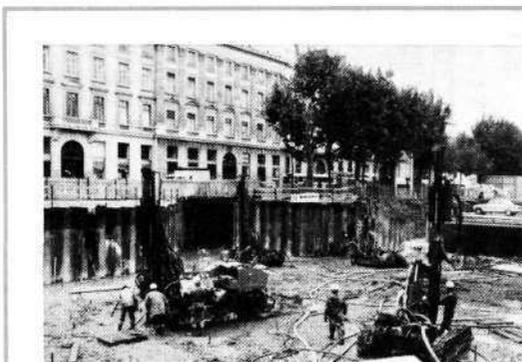
Dans la pratique, pour les traitements de terrain, on recourt souvent à l'utilisation successive de plusieurs coulis dans un souci de compromis technique et économique, de façon à pouvoir limiter l'utilisation de coulis très performants mais toujours coûteux.

Les suspensions

Les suspensions sont constituées par des dispersions dans de l'eau de matériaux granulaires fins, essentiellement ciment et produits minéraux. Elles sont stables ou instables selon leurs composants et leur mode de préparation. Leur comportement rhéologique s'apparente au modèle de BINGHAM et se traduit par des lois d'écoulement particulièrement complexes faisant intervenir des phénomènes de rigidité et de viscosité plastique.

Ces coulis qui couvrent une large gamme des applications de l'injection, sont très fréquemment mis en œuvre. On peut distinguer :

— **les coulis instables à base de ciment.** Ce sont de simples suspensions de ciment



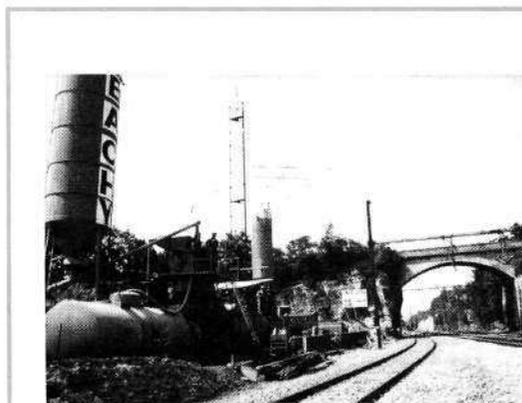
Lyon - radier injecté de la station métro place Bellecour

La perméabilité des alluvions rencontrées à Lyon nécessite un examen approfondi dès que l'on doit travailler sous la nappe, particulièrement en cas de présence d'immeubles riverains fondés superficiellement.

La mise hors d'eau par pompage s'avère pratiquement impossible sans compter les risques encourus. Pour des hauteurs d'eau inférieures à 1,50 m par rapport au fond de fouille la technique du béton immergé a été retenue.

Au-delà de cette valeur on a eu recours à un radier injecté d'une épaisseur variable de 1,50 m à 3,00 m et calé à une cote assurant la stabilité aux sous-pressions par équilibre gravitaire. L'injection comprend 2 phases :

- une phase d'injection d'un coulis fluide, bentonite-ciment dans la masse totale,
- une phase d'injection sélective d'un gel mou de silicate au bicarbonate pour assurer une continuité d'étanchéité par imprégnation sur une épaisseur réduite.



Ligne S.N.C.F. Paris-Lille Centrale d'injection de St-Maximin

Il s'agissait de consolider la plateforme de la voie établie au-dessus d'une ancienne carrière de calcaire. La carrière était inaccessible et avait été foudroyée et partiellement remblayée lors de la construction de la ligne mais la situation ne paraissait pas stabilisée.

La solution de confortation adoptée a consisté à réaliser par injection des piliers de terrain traités descendus au-dessous du niveau exploité de façon à assurer le support de la plate-forme par développement d'effet voûte.

Le coulis mis en œuvre était un mortier de ciment aux cendres volantes avec rigidification par silicate de soude.

Les dispositions pratiques d'injection étaient déterminées à chaque forage de pilier par descente d'une caméra de télévision pour examen préalable des terrains.

dans l'eau de concentration souvent faible. Elles décantent rapidement et leur action peut se comparer à un phénomène de remblayage hydraulique,

— **les coulis activés de ciment** qui sont des suspensions plus chargées en ciment dont la dispersion des grains est obtenue soit mécaniquement soit chimiquement,

— **les coulis stables ciment-argile ou ciment-bentonite.** Ils constituent par eux-mêmes une gamme très étendue dont on peut faire varier à volonté viscosité et résistance mécanique. Leurs propriétés, leur souplesse d'utilisation et leur coût modéré les rendent d'une utilisation courante pour de nombreux traitements en étanchement comme en consolidation.

— **les coulis d'argile ou de bentonite défloculée.** Ces coulis n'offrent aucune résistance mécanique et ne sont utilisés qu'en étanchement. L'incorporation d'une solution de silicate de soude et de réactif gélifiant permet d'obtenir un effet de prise par rigidification,

— **les coulis de ciment avec charge ou mortiers.** La charge peut être inerte comme un sable fin ou un filler calcaire. Elle peut aussi avoir un effet secondaire comme l'effet pouzzolanique des cendres volantes.

— **les coulis spéciaux** dont l'adjonction d'adjuvants spécifiques permet d'accroître certaines propriétés essentielles à la résolution d'un problème déterminé par exemple :

- les coulis surstabilisés de ciment ou ciment-bentonite très résistants à l'essorage,
- les coulis expansés contenant de l'air occlus en quantité appréciable et pouvant avantageusement remplacer les coulis avec charge,
- les coulis gonflants augmentant de volume à la prise par dégagement de bulles d'hydrogène,
- les coulis à rigidification contrôlée par adjonction de silicate pour maîtriser le cheminement de l'injection en milieu très ouvert même sous circulation d'eau.

Les solutions

La dimension des grains entrant dans les suspensions limite leur pénétrabilité particulièrement lorsqu'on cherche à imprégner tous les vides d'un milieu que ce soit un sol fin ou un rocher microfissuré. Il faut alors faire appel à des liquides vrais de type newtonien, c'est-à-dire ne présentant pas de rigidité et dont la viscosité est indépendante de la vitesse d'écoulement. Ces liquides sont des solutions chimiques présentant la propriété de se transformer en un solide plus ou moins résistant par réaction interne à l'issue d'une période correspondant au temps de prise.

— les solutions de silicate de soude ont vu leur emploi se généraliser avec la mise au point de réactifs assurant une gélification retardée et reproductible par mélange direct eau, silicate et réactif. Cette facilité d'utilisation en relation avec un coût modéré surtout en comparaison avec d'autres produits chimiques plus performants mais souvent d'un prix exorbitant conduit fréquemment à assimiler injection chimique et injection de silicate. Les coulis de silicate peuvent se répartir en deux groupes principaux, selon dilution de la solution :

- les solutions diluées à viscosité très faible et comparable à l'eau donnant des gels sans résistance ou gels mous utilisés exclusivement en étanchement,
- les solutions concentrées dont la viscosité ne dépasse pas quelques centipoises qui confèrent au milieu traité des résistances mécaniques notables sous forme de gels durs à mi-durs et sont utilisées en conformation comme en étanchement.

Les premiers réactifs utilisés ont été de type minéral tels des acides dilués ou des sols de soude comme le bicarbonate de soude et l'aluminate de soude. Ils ne peuvent être mis en œuvre qu'avec des solutions très diluées donnant uniquement des gels mous sans résistance mécanique. Ils présentent en outre l'inconvénient d'une gélification progressive, ce qui signifie que leur viscosité augmente avec le temps et limite leur rayon d'action.

Les réactifs organiques apparus depuis environ 25 ans ont permis d'étendre consi-



de grande hauteur et leurs caractéristiques.

On notera le comportement du mortier dont la diffusion a pu être contrôlée par rigidification pour former une masse résistante à talus très raide d'environ 2 de base pour 3 de hauteur.

Ligne S.N.C.F. Paris-Lille à Saint-Maximin - pilier injecté en carrière

Il s'agit d'un essai préliminaire réalisé dans une partie accessible des carrières pour étudier les conditions de réalisation des piliers injectés dans un vide franc

dérablement le champ d'action des gels de silicate. Ces réactifs dont les plus connus sont l'acétate d'éthyle, le glyoxal et les esters diacides lourds de la série des durcisseurs 600 de Rhône-Poulenc peuvent être utilisés en solution concentrée de silicate donnant ainsi des gels durs à mi-durs. De plus, leur viscosité initiale reste pratiquement constante jusqu'à la prise qui intervient brutalement avec une excellente reproductibilité, ce qui assure un meilleur contrôle de l'injection et facilite sa pénétration. Il semble également que leur stabilité dans le temps soit meilleure bien que l'on puisse citer des références de traitements déjà anciens de silicate avec réactif minéral qui ont, à l'heure actuelle, conservé toute leur efficacité.

— les résines organiques peuvent donner, selon les types, des gels élastiques utilisés en étanchement ou au contraire des gels durs très résistants à la fois en compression et en traction réservés à la consolidation et plus particulièrement à la réparation d'ouvrages.

Dans le traitement des terrains, leur handicap fondamental s'avère le coût surtout face aux progrès récents accomplis par les gels de silicate.

Les résines utilisées occasionnellement en injection des sols sont constituées par des monomères en solution aqueuse de viscosité comparable à celle de l'eau. Elles se transforment en une masse homogène par réaction de polymérisation ou polycondensation. Parmi les plus connues on peut mentionner :

- les résines acryliques ou acrylamides donnant des gels élastiques d'étanchement pouvant présenter un intérêt pour le traitement des fissures actives ;
- les résines phénoliques, phénoplastes ou aminoplastes utilisées en étanchement ou consolidation de terrains très fins à la limite de l'injectabilité comme des limons sableux.

Les polymères sans phase aqueuse correspondent aux résines précondensées époxy ou polyester. Ces produits ne sont pratiquement pas utilisés pour le traitement des terrains du fait de leur viscosité élevée et surtout de leur prix. Ils sont réservés à la réparation d'ouvrages par injection de fissures ou application d'enduits spéciaux. Ils nécessitent toujours des formulations particulières pour diminuer leur viscosité et permettre la polymérisation en présence d'eau qui constitue normalement un inhibiteur de la réaction.

On peut encore mentionner l'existence de résines aquaréactives dont la polymérisation se déclenche brutalement au contact de l'eau.

De cette énumération qui n'est d'ailleurs pas exhaustive, il ressort que l'on dispose d'une gamme considérable de produits utilisables en injection. Le choix est parfois difficile surtout lorsqu'il faut rechercher un compromis raisonnable entre l'économie et l'efficacité d'un traitement. Dans le domaine des coûts, en prenant comme unité de référence un coulis type bentonite-ciment, pour traitement d'étanchéité, on peut avancer en prix relatifs les fourchettes suivantes :

- Coulis classiques à base de ciment et mortiers 1 à 4
- Gels de silicate à réactif minéral ou organique 1 à 8
- Résine acrylamides 10 à 40
- Résines phénoliques 10 à 50
- Résines polyesters et époxy 150 à 400.

Il est fondamental de prendre en considération cet aspect économique en corrélation avec l'hétérogénéité des terrains, d'où l'emploi fréquent de plusieurs types de coulis pour traiter successivement les différents milieux.

Les fondations sur pieux dans le domaine des ouvrages d'art

par A. MILLAN
I.P.C. S.E.T.R.A.
Division des ouvrages d'Art

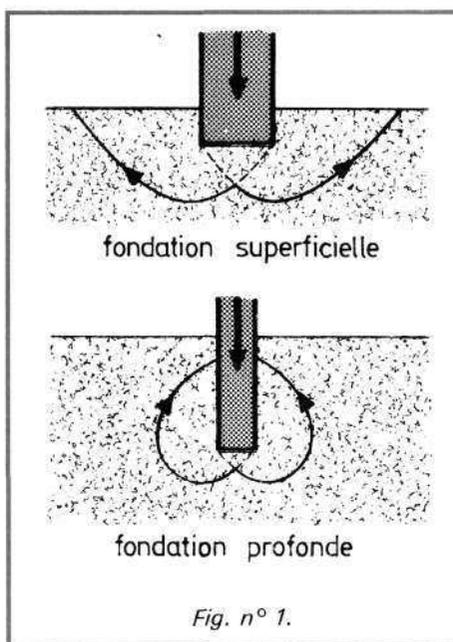
On distingue généralement, suivant leur mode de fonctionnement, deux types principaux de fondations :

- les fondations superficielles (semelles, radiers) ;
- les fondations profondes (pieux, puits).

D'un point de vue géotechnique, la distinction entre ces deux catégories se fait suivant la façon dont les lignes de rupture se développent dans le sol lorsque la fondation atteint la limite de sa capacité portante ; elle dépend essentiellement du "degré d'encastrement", rapport entre la profondeur du niveau d'appui et la largeur de la fondation (fig. 1). Dans le cas des fondations superficielles, ces lignes atteignent rapidement la surface du sol, où l'on observe l'apparition de bourrelets sur les bords de la fondation ; dans ce type de rupture, la capacité portante augmente rapidement avec le degré d'encastrement.

Dans le cas des fondations profondes, les lignes de rupture n'atteignent plus la surface du sol où, hormis l'enfoncement de la structure portée, aucune déformation sensible ne peut être décelée ; la capacité portante peut alors être décomposée d'une part en un terme de frottement latéral, sensiblement proportionnel à la surface verticale de fondation en contact avec le sol, et d'autre part en un terme dit "terme de pointe", qui ne dépend pas, dans un sol homogène, de la profondeur du niveau d'appui, pourvu que celle-ci soit suffisante. La transition entre ces deux types de comportement constitue la catégorie des fondations dites massives ou semi-profondes.

D'un point de vue technologique, la fondation superficielle est de loin la plus facile à exécuter, puisqu'elle consiste simplement à prévoir, à une profondeur généralement modeste, une assise suffisamment large pour que le sol de surface puisse supporter, compte tenu de ses caractéristiques, la pression qui lui sera transmise. Pour la plupart des sols où une activité notable se soit développée (c'est-à-dire en excluant les sols tels que vases, tourbes ou argiles molles), cette méthode est suffisante pour fonder la plupart des constructions courantes (maisons d'habitation individuelles, petites industries, etc.) moyennant, au pire, quelques déformations que lesdites construc-



tions supportent en général assez bien. Bien entendu, lorsqu'un substratum résistant est affleurant, une telle fondation pourra supporter des charges extrêmement lourdes sans pratiquement aucune déformation.

En dehors de cas particuliers (cités lacustres préhistoriques, Venise, etc.), la nécessité d'un type de fondation plus performant s'est surtout fait sentir avec l'apparition des ouvrages d'art, et plus particulièrement des ponts en maçonnerie, et ce pour trois raisons principales :

- le report des charges sur le sol se fait à l'aide d'un faible nombre d'appuis, le plus espacés possible, ce qui amène à reprendre des charges très importantes sur des emprises relativement faibles ;
- l'ouvrage, plus "tendu" du point de vue de la résistance des matériaux qu'une construction courante ; supporte mal un enfoncement des appuis ;
- la principale utilisation des ponts, tout au moins à l'origine, fut le franchissement des cours d'eau, où l'on rencontre le plus souvent des sols alluvionnaires hétérogènes,

constitués de dépôts plus ou moins stables, donc par essence peu porteurs.

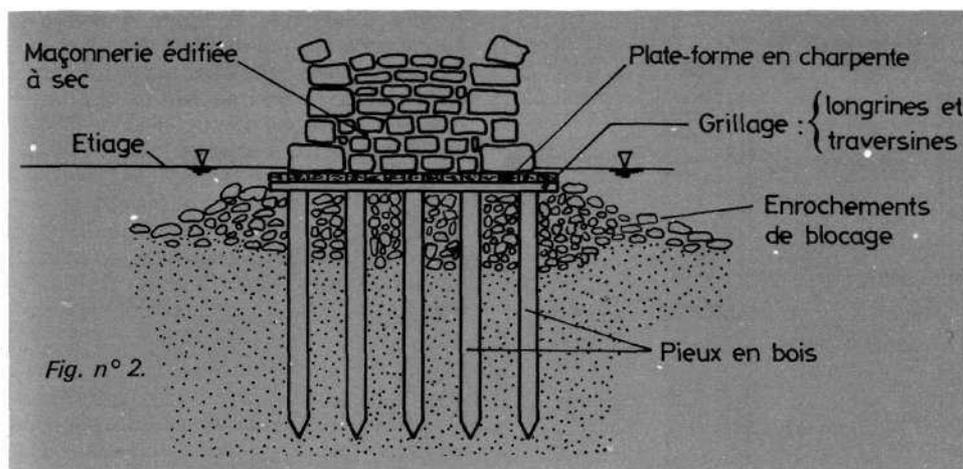
Les fondations sur pieux répondent bien à ces impératifs ; suivant la configuration du site, elles peuvent travailler de deux façons différentes :

- s'il existe un substratum porteur à une profondeur que l'on puisse atteindre, la pointe des pieux est arrêtée sur cette couche et assure la quasi-totalité de la reprise des charges, ce type de pieux est dit "travailler en pointe" ;
- si un tel substratum est inexistant, la longueur des pieux doit être dimensionnée de telle sorte que le frottement latéral soit suffisant pour reprendre la majeure partie de la charge, le terme de pointe n'assurant qu'un rôle d'appoint, on parle alors de "pieux flottants".

Un bilan exhaustif mettrait sans doute en évidence l'existence de plusieurs dizaines de types de pieux se distinguant soit par des détails technologiques soit par leur procédure de mise en œuvre. Nous nous bornerons ici à évoquer quelques étapes marquantes de leur utilisation dans le domaine des ouvrages d'art.

1) Pieux en bois

Très rarement utilisée de nos jours, cette technique, déjà employée par les Romains, consistait à battre sous l'emplacement de chaque appui un grand nombre de pieux de faible diamètre (20 à 40 cm) à l'aide d'une masse que l'on laissait tomber d'une certaine hauteur sur la tête du pieu. Parfois munis d'un sabot métallique à leur extrémité pour améliorer la pénétration, ces pieux étaient battus jusqu'au "refus", c'est-à-dire jusqu'à ce que les outils de battage utilisés ne permettent plus d'assurer un enfoncement sensible. En l'absence de moyens de travail sous l'eau efficaces, ils étaient alors sciés dans un même plan, au niveau des plus basses eaux, leur longueur libre au-dessus du sol étant ensuite blo-



quée par un massif d'enrochements déversés qui tenait également lieu de protection contre les affouillements (fig. 2). Il ne restait qu'à établir sur les têtes de ces pieux une plate-forme en bois permettant l'édification de la pile. En dehors des cas où un substratum rocheux était affleurant (Pont du Gard par exemple) ; cette technique a été utilisée sans grands changements jusqu'au milieu du 18^e siècle.

Malgré une excellente tenue du bois des pieux dans le temps, pourvu que ceux-ci restent constamment immergés, ce type de fondation présentait des inconvénients multiples :

- la limitation de la longueur des pieux due aux difficultés d'enture et surtout aux faibles performances des engins de battage ne permettait de traverser que des terrains relativement lâches et peu épais (10 à 15 m) ;
- la fondation ainsi constituée était extrêmement sensible aux affouillements car les pieux, de faible section et mal liaisonnés à la pile, n'offrent pratiquement plus aucune résistance latérale lorsqu'ils se trouvent dégarnis sur une certaine hauteur ;
- l'absence des moyens de reconnaissance et d'étude que regroupe aujourd'hui la "mécanique des sols" amenait souvent à sur-estimer la capacité portante des fondations (qu'elles soient d'ailleurs sur pieux ou sur semelles, comme dans le cas de la tour de Pise), engendrant ainsi des désordres graves par tassement ou déversement, parfois avant même l'achèvement de l'ouvrage.

Les affouillements sont en particulier responsables d'innombrables effondrements de ponts anciens (le plus récent étant celui du pont Wilson à Tours), ainsi que du mauvais état des fondations d'un grand nombre de ceux qui ont subsisté jusqu'à nos jours (1).

(1) Voir document SETRA-LCPC "Fondations de ponts en site aquatique en état précaire".

2) Pieux battus en béton armé ou en acier

L'apparition de l'acier dans la construction (construction métallique, béton armé), a permis, par sa résistance à la traction, de concevoir des structures beaucoup plus légères et de plus grande portée (à titre d'exemple, la charge sur la fondation de chaque pile du pont Wilson est à peu près de 7500 t pour des portées de 25 m, elle vaut moins du double sous chacune des deux piles principales du projet de pont à Honfleur, d'une portée centrale de 510 m). En contre-partie, les efforts horizontaux dus principalement aux effets du vent sur les structures, se sont considérablement accrus, rendant plus difficiles les conditions de fonctionnement des fondations.

Fort heureusement, les pieux ont parallèlement bénéficié de cet apport technologique et l'emploi d'éléments battus en béton armé ou en acier est devenu courant à partir des années 1900. Si leur principe reste le même que celui des pieux en bois, les progrès réalisés dans les domaines de la manutention, du battage, et des possibilités de travail sous le niveau de l'eau (batardage) ont permis de fonder suivant ce principe un très grand nombre d'ouvrages. Citons un cas extrême : la plate-forme pétrolière "Cognac" dans le golfe du Mexique est fondée par 300 mètres de fond à l'aide de 24 pieux battus d'environ 2 m de diamètre et 140 m de longueur.

Moins utilisée en France depuis l'apparition des pieux forés évoquée ci-dessous, cette technique reste d'un emploi très courant et parfois quasi systématique dans un grand nombre de pays (pieux en béton armé dans les pays nordiques, pieux métalliques dans les pays en voie de développement).

Les principaux inconvénients de ces pieux résident dans les aléas liés au battage : des blocs isolés ou une couche dure de faible épaisseur peuvent arrêter toute pénétration

sans que pour autant la capacité portante requise ait été atteinte. Par ailleurs, dans les utilisations courantes, les contraintes introduites par la manutention limitent le diamètre et donc l'inertie des éléments, ce qui conduit à des structures relativement grêles ne pouvant reprendre d'efforts horizontaux importants qu'au moyen de pieux inclinés.

3) Pieux moulés dans le sol

Pour parer à ces inconvénients, une multitude de techniques de pieux dits "moulés" se sont rapidement développées. Les plus classiques consistent à enfoncer dans le sol un tube ouvert épais en acier par battage vibrofonçage ou louvoiment, tout en extrayant simultanément le terrain à l'intérieur du tube ; l'emploi d'outils de forage puissants tels que les trépan rotatifs ou à percussion permet ainsi de traverser par désagrégation les blocs ou les couches dures. Lorsque la cote désirée est atteinte, une cage d'armatures est mise en place et l'ensemble est bétonné (généralement sous l'eau apportée par la nappe) à l'aide d'un tube plongeur. Le tube métallique, très coûteux est remonté au fur et à mesure du bétonnage et entièrement récupéré.

Cette technique convient bien pour exécuter des pieux ne dépassant pas 1,5 m de diamètre et une vingtaine de mètres de profondeur mais au-delà, la puissance nécessaire au fonçage du tube et les difficultés liées à sa récupération rendent ces manœuvres très délicates. Pour cette raison, l'apparition en 1949 de la technique des pieux dits "forés à la boue" constitue un événement marquant dans le domaine des fondations profondes, car elle permet de s'affranchir de presque toutes les contraintes liées à la manipulation d'éléments lourds et encombrants.

Son principe (fig. 3), directement dérivé des techniques de forages pétroliers est très voisin de celui des pieux moulés évoqués ci-dessus, à la différence fondamentale près que la paroi du forage est constamment maintenue par une boue, généralement composée d'un mélange d'eau et de bentonite. Son action stabilisatrice est très efficace en raison de ses propriétés thixotropiques, qui permettent la formation d'un "cake" peu perméable tapissant les parois ; la pression hydrostatique exercée sur ce cake limite les risques d'éboulement et évite les infiltrations de la nappe dans le forage (2).

La disparition des sujétions liées à la présence du tube de travail donne une très grande liberté au projeteur :

- possibilité d'exécuter des pieux de grand

(2) Voir document SETRA-LCPC "Les pieux forés".

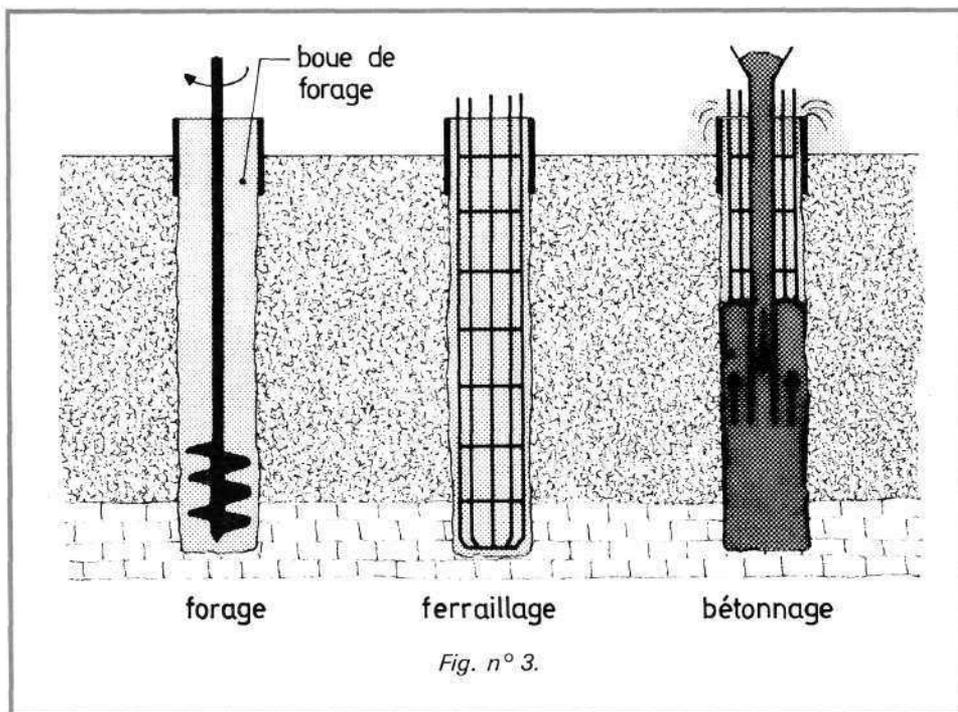


Fig. n° 3.

A titre d'exemple, la figure 4 donne la coupe schématique de l'une des deux fondations prévues sous chaque pile principale du projet de franchissement de la Seine à Honfleur. Chacune d'entre elles est formée de 8 pieux d'un diamètre de 2,40 m et d'une longueur d'environ 50 m. Elles peuvent reprendre individuellement une charge verticale de l'ordre de 8500 t, ainsi qu'un effort horizontal de 5000 t en cas de choc d'un bateau de fort tonnage sur l'île de protection.

Malgré son apparente simplicité, la technique de pieux forés à la boue reste cependant relativement délicate car elle demande un savoir-faire important et un soin constant durant toutes les étapes de l'exécution. Parmi les diverses difficultés, on peut citer :

- la composition, la régénération et le maintien de la boue à un niveau constant ;
- le parfait nettoyage du fond du forage où ont tendance à s'accumuler des sédiments ;
- la composition et les adjuvants du béton, ainsi que la parfaite maîtrise du bétonnage,

diamètre (jusqu'à 3 m actuellement) et de grande longueur (plus de 100 m) ;

- possibilité de formes variées (rectangulaires, en croix, etc.) permettant d'obtenir de très fortes inerties dans une direction donnée et partant de reprendre des charges horizontales et des efforts de basculement importants ;

- bonne adaptation à une exécution en site aquatique par adjonction d'une virole métallique en tête ;

- conditions d'exécution fiables et peu dangereuses par opposition avec les techniques de fondations massives telles que les caissons hâvés.

Ces avantages expliquent que la technique des pieux moulés dans le sol, et plus particulièrement des pieux forés à la boue se soit développée de façon considérable en France au cours des quinze dernières années dans le domaine des ouvrages d'art, et ce au point de reléguer les pieux battus à un rôle presque marginal. Il est juste de noter que ce développement est aussi largement lié aux progrès décisifs effectués en matière de reconnaissance géotechnique et plus particulièrement à la généralisation des essais in-situ par sonde pressiométrique (3). Cette technique permet en effet d'une part de prévoir de façon fiable la capacité portante d'un pieu exécuté en place et d'autre part, de prendre en compte la résistance du terrain vis-à-vis d'un déplacement latéral de la fondation, qui est considérable mais qui était auparavant négligée faute de moyens d'appréciation. Ces possibilités de prévision du comportement permettent de tirer le meilleur parti possible de la forte résistance de ces pieux de grandes dimensions.

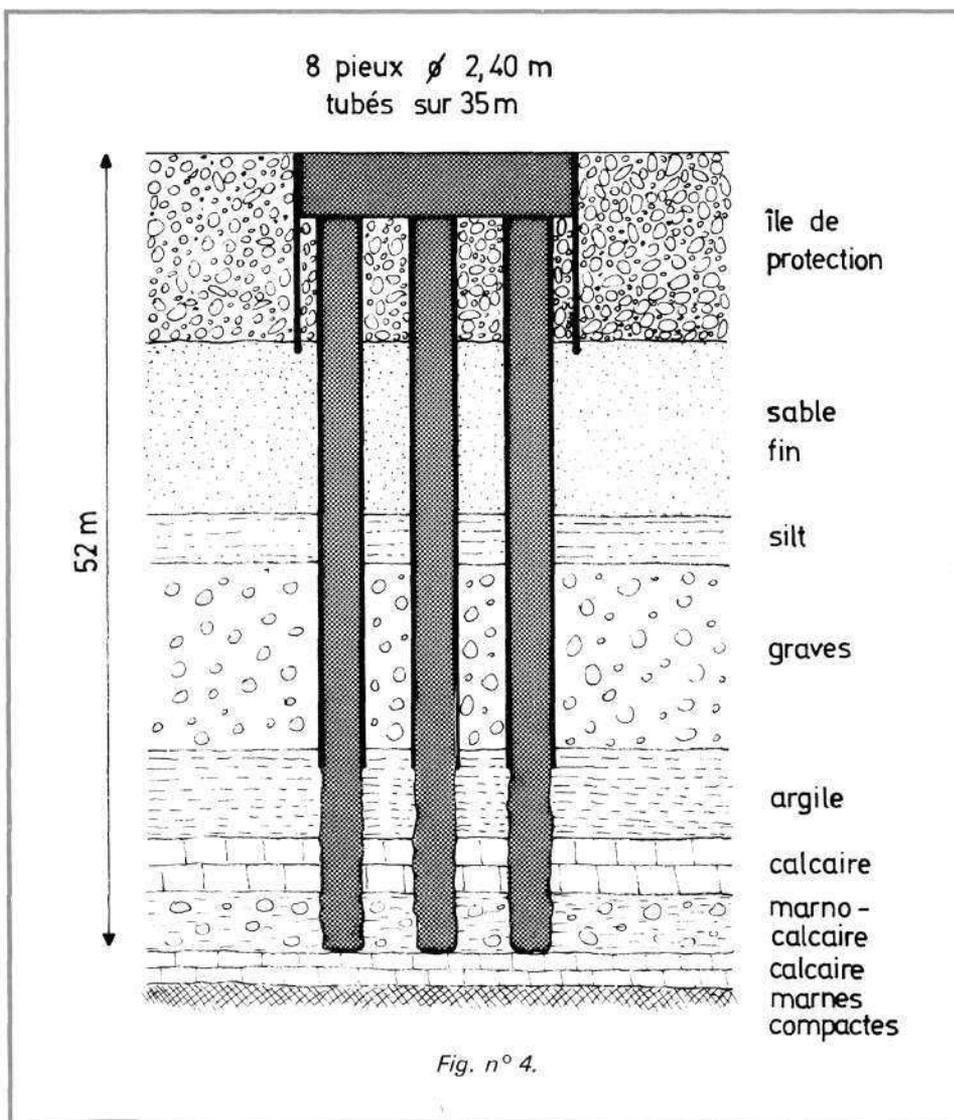


Fig. n° 4.

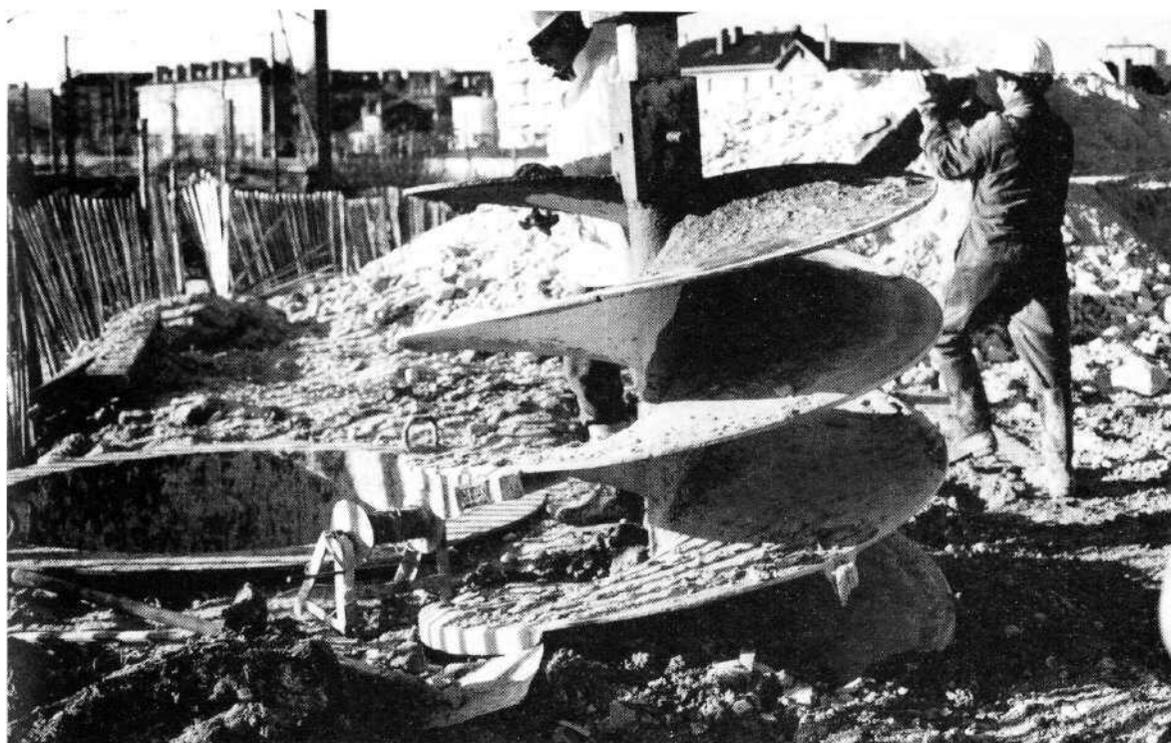


Photo 1. Tarière.

la pollution du béton par la boue de forage étant à éviter à tout prix.

Il faut noter également qu'en dépit de certains progrès, tous les types de terrains ne peuvent pas être stabilisés par la seule boue de forage ; c'est le cas en particulier des sols fluants ou inconsistants, ainsi que des graves creuses soumises à des circulations d'eau importantes.

Il en résulte que, d'une part, malgré ses grandes qualités, cette technique ne saurait constituer une solution universelle et que, d'autre part, elle ne souffre aucune improvisation sur le terrain, et demande une parfaite planification de toutes les phases d'exécution.

4) Conclusion

Dans le domaine de la géotechnique, la France a pris ces dernières années plusieurs options originales que l'on retrouve tout au long des articles de ce numéro consacré aux fondations. Parmi celles-ci, les entreprises françaises ont joué un rôle de tout premier plan dans la maîtrise de la technologie des pieux forés à la boue, qui a permis de résoudre une grande partie des problèmes de plus en plus difficiles posés par les fondations des ouvrages d'art modernes ; elles se sont assurées de ce fait une place privilégiée au sein de la concurrence internationale. On peut simplement regretter que l'engouement pour cette technique ait quelquefois conduit à éclipser de façon injustifiée des solutions plus traditionnelles et espérer qu'un certain rééquilibrage interviendra dans les années à venir.

(3) Voir article de M. BAGUÉLIN sur la reconnaissance in-situ.

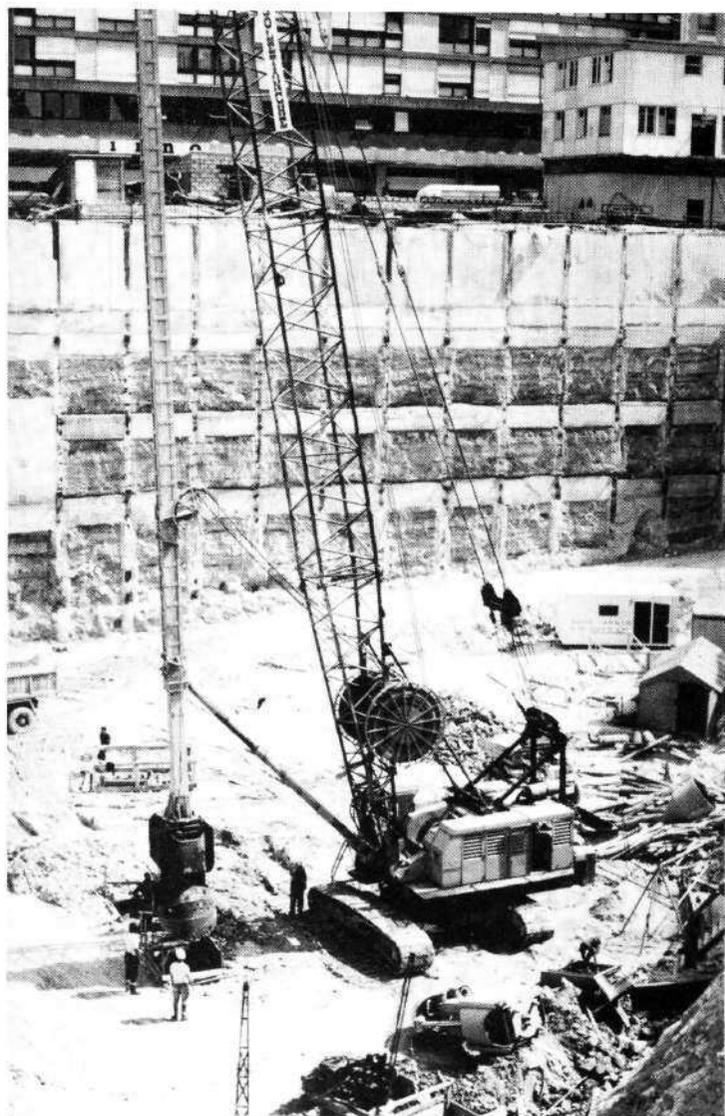


Photo 2. Exécution des fondations de la Tour Maine Montparnasse.

Le renforcement des sols

par François SCHLOSSER, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,
P.D.G. de TERRASOL, Bureau d'Ingénieur-Conseils en Géotechnique

1. Introduction

Dans le domaine des travaux de fondations et de la mécanique des sols, la décennie écoulée a vu se développer de nombreuses techniques d'amélioration des sols en place. Deux raisons principales expliquent cette évolution : d'un côté la nécessité de construire sur des terrains de plus en plus médiocres, de l'autre la recherche de solutions efficaces et peu coûteuses pour traiter de tels terrains.

La France, pour sa part, a largement contribué à ce développement par la mise au point de techniques nouvelles qui se sont souvent imposées sur le plan international. Elles se classent schématiquement en deux catégories correspondant à des types d'amélioration très différents :

- les méthodes de compactage, dont le compactage dynamique, visant à modifier la structure du sol pour obtenir un état plus stable et plus résistant. De façon simplifiée, on peut dire qu'il y a augmentation du nombre de contacts entre les grains du sol ;

- le renforcement par inclusions de nombreux éléments résistant à des sollicitations diverses : traction, compression, cisaillement, flexion. Le tableau 1 montre les trois principaux types de renforcement rattachés à cette catégorie - clouage, micropieux, colonnes ballastées - et les efforts qui se développent dans les inclusions correspondantes.

Leur comportement et leur mode de dimensionnement sont largement inspirés des enseignements tirés du matériau Terre Armée inventé et développé par H. Vidal. L'idée de base, transposée au renforcement des sols en place, est de transformer le milieu d'origine en un ensemble quasi homogène au sein duquel les inclusions

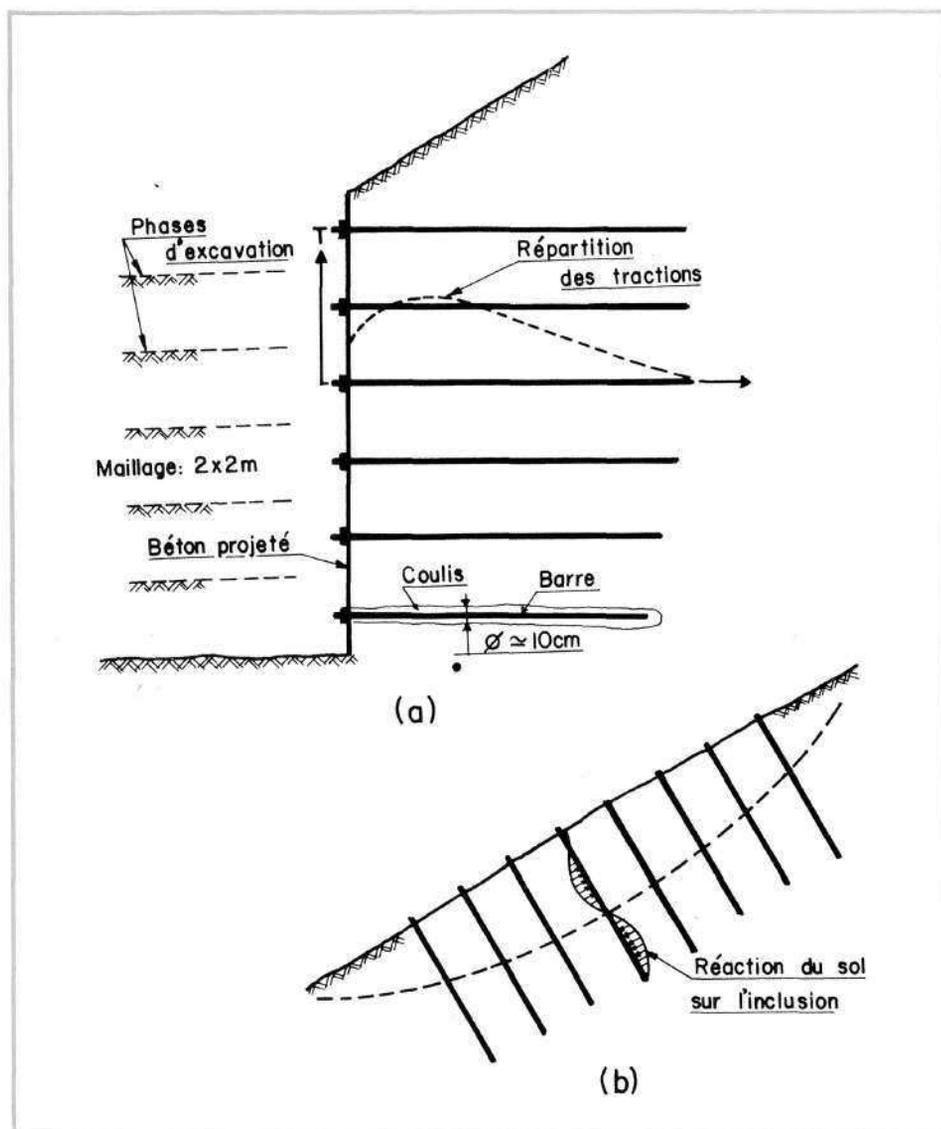


Fig. n° 1 : Clouage.
a) massif de soutènement
b) stabilisation de pente.

travaillent avec un rendement optimal. Le renforcement est donc essentiellement anisotrope.

On se limite ici à une brève description de ces trois techniques :

Type de renforcement	Clouage	Micropieux	Colonnes ballastées
Effort dans l'inclusion			
Traction	x	x	
Compression		x	x
Cisaillement	x		x
Flexion		x	

2. Le clouage

Le clouage est une technique de renforce-

ment en place par des éléments linéaires travaillant à la traction et au cisaillement. Ces éléments sont généralement des barres métalliques, soit mises en place par battage ou fonçage, soit scellées par un coulis dans des forages effectués au préalable.

Cette technique est assez récente et s'est principalement développée en France. Elle couvre actuellement deux domaines d'application : les soutènements d'excavations et la stabilité des pentes.

Pour les excavations les barres sont placées à peu près horizontalement dans le sol en place au fur et à mesure de l'excavation de façon à réaliser un massif de sol renforcé complètement stable (Fig. 1a). Les barres travaillent à la traction, sauf au voisinage de la rupture où leur résistance au cisaillement est mobilisée.

Pour l'amélioration de la stabilité des pentes les barres sont souvent simplement battues et placées le plus perpendiculairement par rapport à la surface du glissement potentielle (Fig. 1b). Les barres travaillent au cisaillement.

Les parements des ouvrages de soutènement cloués sont légers, car ils ne jouent qu'un rôle local. Ils sont constitués soit de béton projeté, soit d'éléments préfabriqués métalliques.

Les ouvrages de soutènement actuellement réalisés ont été essentiellement à caractère provisoire. Leur coût est souvent bien inférieur à celui d'autres procédés de soutènement (paroi berlinoise, paroi moulée) ce qui explique l'intérêt du clouage qui devrait normalement trouver un assez large développement tant en France qu'à l'étranger.

3. Les micropieux

Les micropieux appelés également pieux-racines sont déjà utilisés depuis de nombreuses années puisque la première réalisation remonte à 1949. Il y a cependant peu de temps qu'ils ont été considérés comme un procédé de renforcement dans lequel ils s'allient au sol en place pour donner un matériau composite, bien qu'il semble probable que tous les constructeurs des siècles passés qui fondaient leurs édifices sur des picots en bois utilisaient sans le savoir ce type de renforcement.

La réalisation d'un micropieu se fait de plusieurs manières, mais elle aboutit toujours à

la mise en place dans le sol d'une barre ou d'un tube scellé par un coulis d'injection, avec un diamètre final d'environ 10 à 15 cm.

Le domaine d'application des micropieux est assez vaste, mais il concerne surtout l'amélioration des sols de fondations comme le montre la figure (3). Le volume constitué par les micropieux et le sol intercepté se comporte comme une fondation massive et les charges de la superstructure sont reportées à un niveau inférieur où le sol est plus résistant. Une telle solution présente souvent des avantages techniques et financiers, car elle permet de réaliser à faible coût un type de fondation intermédiaire entre une fondation superficielle (semelles, radier) et une fondation profonde (pieux).

Le mécanisme structural de ce renforcement a été encore peu étudié et son dimensionnement reste très empirique, ce qui est un handicap pour le développement du procédé. Cependant les premières études et expérimentations réalisées mettent en évidence les effets suivants (Fig. 4) :

- effet de structure,
- effet de groupe,
- effet de réseau.

Fig. n° 2 : Soutènement par clouage. Parking de la Clusaz. Chantier réalisé par l'entreprise INTRAFOR-COFOR. (Photo J.-P. Mirabel).



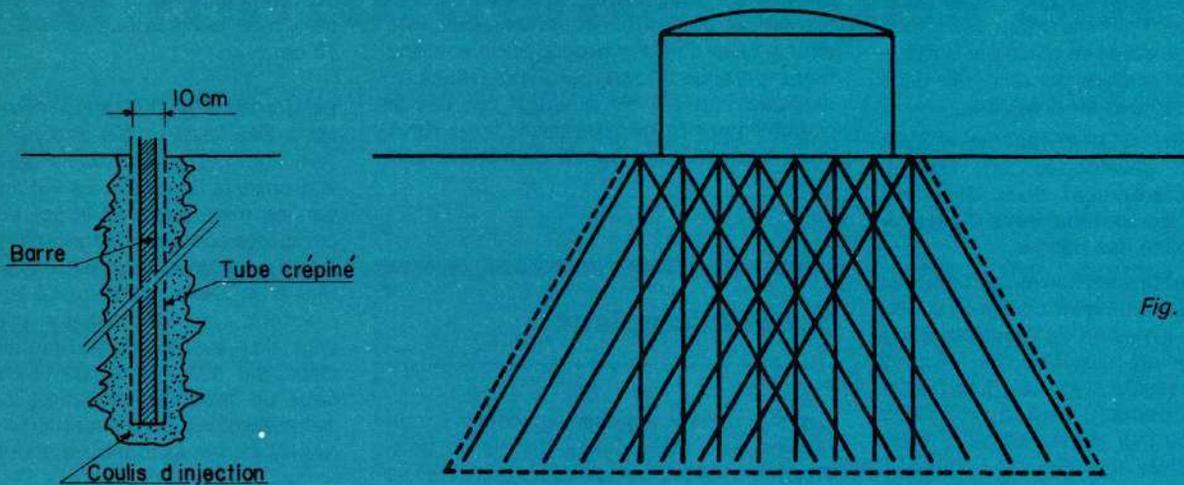
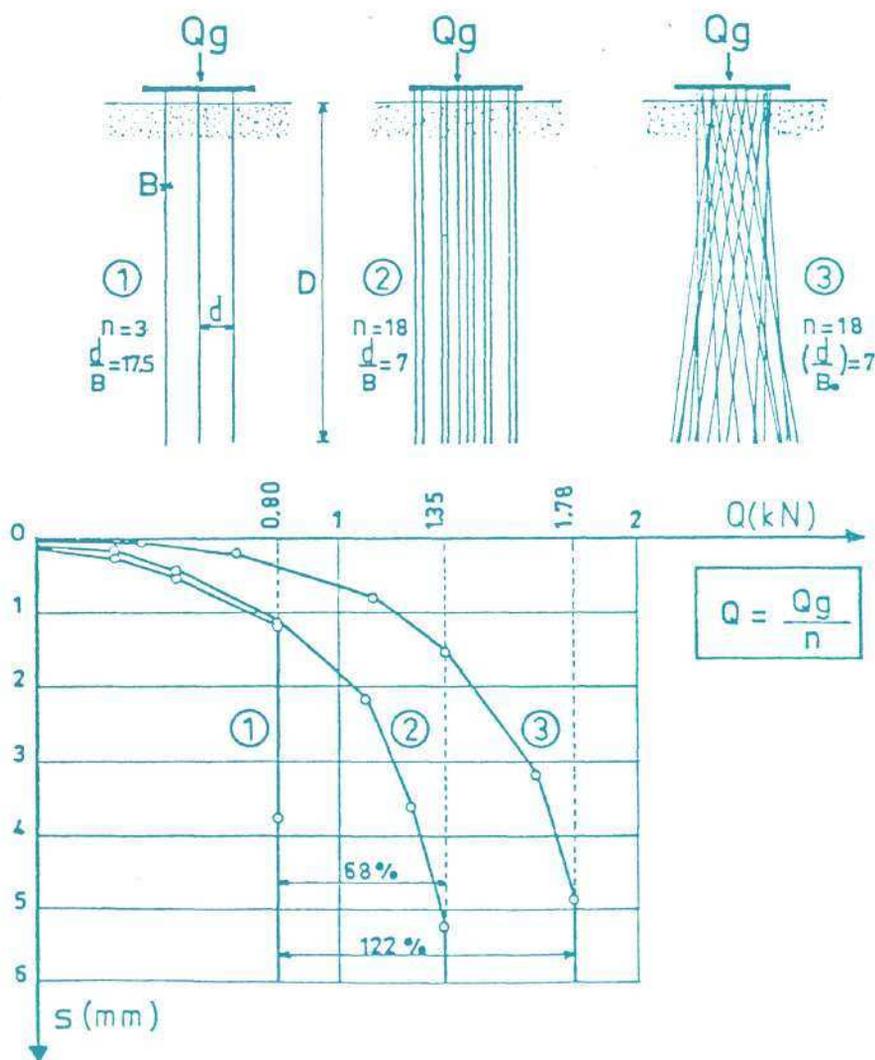


Fig. n° 3.



5. Les colonnes ballastées

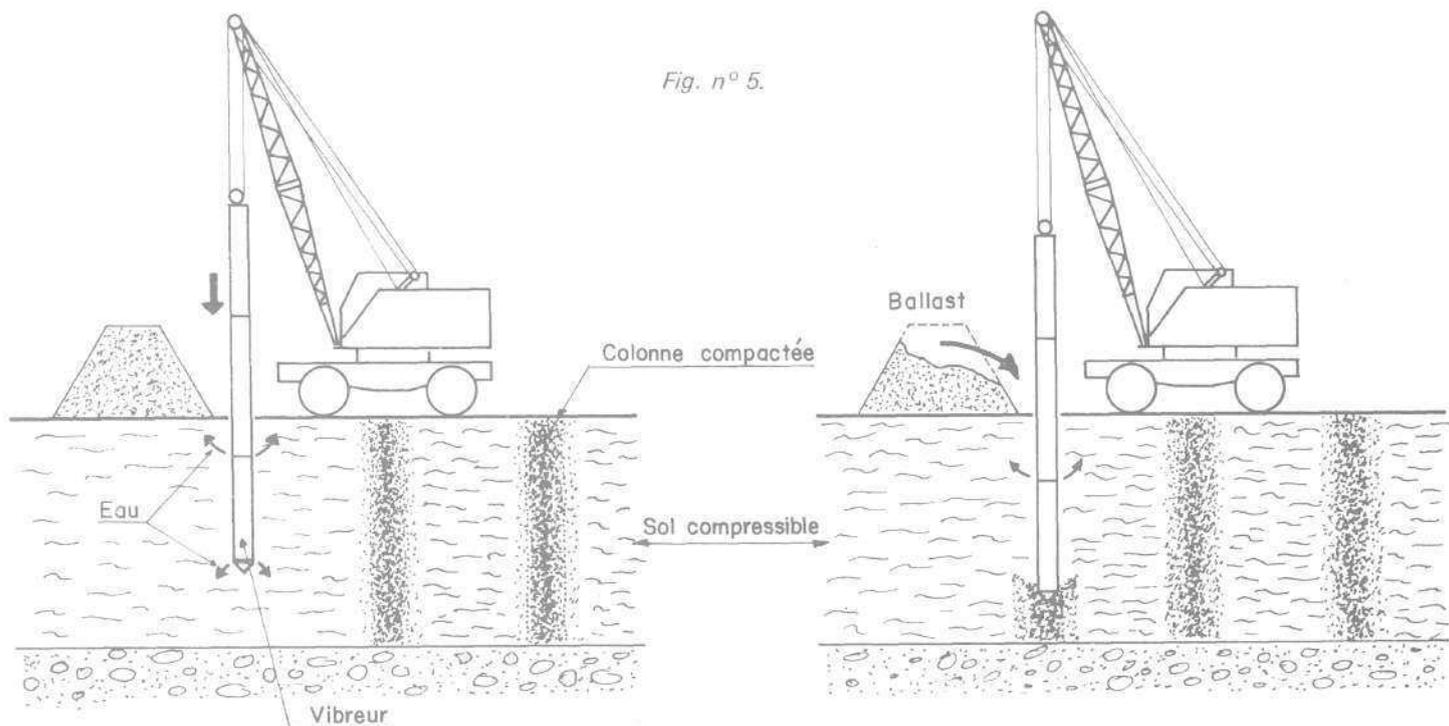
Comme les micropieux, les colonnes ballastées constituent une technique de renforcement en place des sols de fondation. L'inclusion est une colonne verticale de matériau granulaire qui est exécutée dans le sol par vibration (Fig. 5). Les colonnes ballastées sont disposées suivant un maillage régulier. Compte tenu de leur relative déformabilité elles ne reprennent pas la totalité des charges appliquées et le dimensionnement d'un projet consiste à adapter le maillage aux charges à reprendre et aux tassements tolérés. Le fonctionnement d'une colonne ballastée fait doublement intervenir le sol qui l'entoure : d'une part celui-ci reprend une partie des charges, d'autre part il procure à la colonne une étreinte latérale qui limite sa déformation.

Cette technique est limitée aux sols fins de faible résistance et bien qu'elle soit relativement ancienne, son développement, lié à une amélioration de la technologie et des méthodes de calcul, est assez récent.

Son principal avantage est d'offrir une fondation dont la souplesse peut être modulée en fonction des tolérances de la superstructure. Par ailleurs les colonnes jouent un rôle de drain et accélèrent les tassements de consolidation.

En France cette technique a été par exemple utilisée plusieurs fois sous des culées de pont en Terre Armée.

Fig. n° 5.



5. Conclusion

Plusieurs aspects caractérisent les techniques de renforcement par inclusions précédemment décrites :

1) Les inclusions reprennent les efforts que le sol ne peut supporter à lui seul.

2) Le renforcement est anisotrope, ce qui permet de n'améliorer que dans les directions strictement indispensables.

3) Le renforcement conduit à des ouvrages souples avec un dimensionnement adaptable aux tolérances de déformations imposées par la superstructure ou par les ouvrages adjacents.

4) Leur coût est le plus souvent inférieur à celui d'autres solutions plus classiques.

Ajoutons que s'agissant de techniques récentes, on devrait assister à leur développement rapide au cours de ces dix prochaines années et que la France se doit d'y conserver une place privilégiée. Le fait que tous les sols renforcés soient très stables vis-à-vis des sollicitations sismiques ne peut que favoriser ce type d'amélioration.



S O B I L O R

**7, rue Poincaré - 57200 SARREGUEMINES
Tél. : (8) 798.25.88 - B.P. 147**

distribue dans toute la FRANCE :

- délinéateurs
- balises J1 - J3
- poubelles et mobilier de parkings
- signalisation de chantier lumineux

La Consolidation Dynamique Ménard

par Michel GAMBIN
Techniques Louis Ménard

Certaines formes de compactage sont connues depuis des décennies sinon des siècles. Toutefois il a fallu attendre Louis Ménard pour que l'utilisation de pilons de dizaines de tonnes tombant de plusieurs dizaines de mètres de hauteur soit conçue comme une méthode opérationnelle pour compacter des épaisseurs de sols en place variant de 5 à 40 m (fig. 1). C'est pourquoi le nom de Consolidation Dynamique a été donné à ce procédé. En effet l'inventivité du procédé est optimale quand il s'agit de traiter des sols quasiment saturés et que ce procédé consiste à diminuer la teneur en eau du sol en même temps que l'indice des vides.

Si la méthode a d'abord été essayée sur des matériaux de remblai généralement de grosse granulométrie, elle a été ensuite étendue à des matériaux de granulométrie de plus en plus fine et de plus en plus proche de la saturation.

I. Formes d'action de la Consolidation Dynamique

A l'heure actuelle il n'existe pas encore de

théorie synthétique de l'action de la Consolidation Dynamique. Comme toujours pour un "entrepreneur" la théorie suit la pratique. Il en a été de même pour les drains verticaux, la vibroflotation, les injections, etc... L'ingénieur essaye une méthode, constate les résultats et recommence.

Cependant de nombreuses analyses du phénomène ont été effectuées sur différents plans :

- le plan de la théorie de la consolidation dans le sens de Terzaghi, où l'on a pu montrer le rôle joué par les microbulles de gaz (Menard, 1974).

- le plan de la théorie de la propagation des ondes dans un espace semi indéfini (Gambin, 1979) où l'on met en évidence le rôle des ondes de cisaillement (onde de volume et ondes de Raleigh).

- le plan de la théorie des déformations de cisaillement par opposition à celles de compression isotrope (Gambin, 1980) les premières seules entraînant, même dans le domaine des très faibles contraintes des déformations toujours irréversibles (fig. 2).

- le plan du comportement "explosif" de l'eau incluse sous l'effet du choc (Bourdon,

1979) ce qui provoque les chemins de drainage privilégié et les geysers que l'on observe quand la couche drainante superficielle qui est recommandée est de trop faible épaisseur.

- le plan de la liquéfaction sous sollicitations cycliques (Gambin, Capelle et Dumas, 1979) où l'on démontre l'effet stabilisant de la méthode vis-à-vis du risque sismique.

II. Résultats obtenus à ce jour

Louis Ménard ayant montré que l'épaisseur maximale de sol traité (en mètres) était proportionnelle à la racine carrée de l'énergie par coup (exprimée en tonnes-poids de pilon x mètres de chute) il fallut très rapidement dépasser le stade des moyens de levage classique pour s'orienter vers des engins spécifiques tels le tripode 40 t x 40 m, la mégamachine de Nice 170 tx 26 m, etc... Ces matériels permettent de traiter raisonnablement des sols à caractère sablo-silteux ou des enrochements sur des épaisseurs de 20 à 40 m (Mitchell, 1981). Fin

Fig. n° 1 : La Giga machine Ménard (170 t x 23 m) sur l'Aéroport de Nice Côte d'Azur.



Fig. n° 2 : Quelques aspects des différences entre la consolidation statique et la consolidation dynamique Ménard.

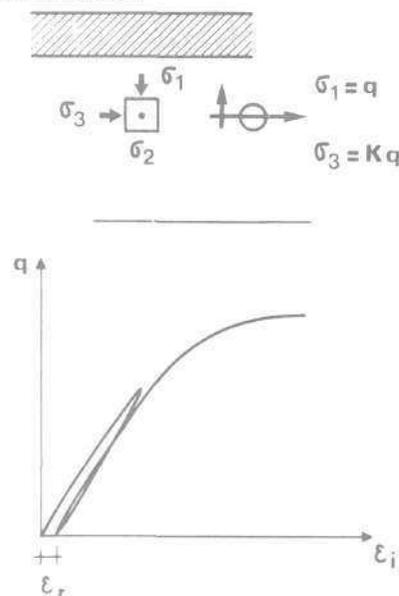
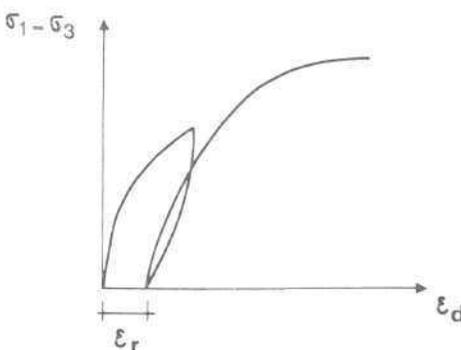
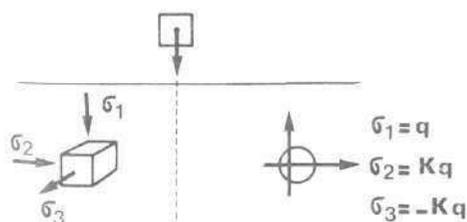




Fig. n° 4 : Vue partielle du levier en fin de consolidation dynamique créé au Groupe Ménard et permettant de générer des impacts de 700 t x m chacun.



1981 plus de 20 millions de m² ont été ainsi traités de par le monde.

Ce procédé a été appliqué pour toutes sortes de projets : traversée de sol compressibles par des remblais routiers, réservoirs de pétrole et autres zones de stockage (portuaires par exemple), implantations industrielles, supermarchés, marinas (avec bâtiments de 8 étages) et autres opérations gagnées sur la mer.

Il est à noter que cette méthode peut être employée sous l'eau, moyennant l'utilisation de pilons de forme spéciale. Parmi les principaux chantiers ainsi réalisés (Gambin, 1982) on peut citer :

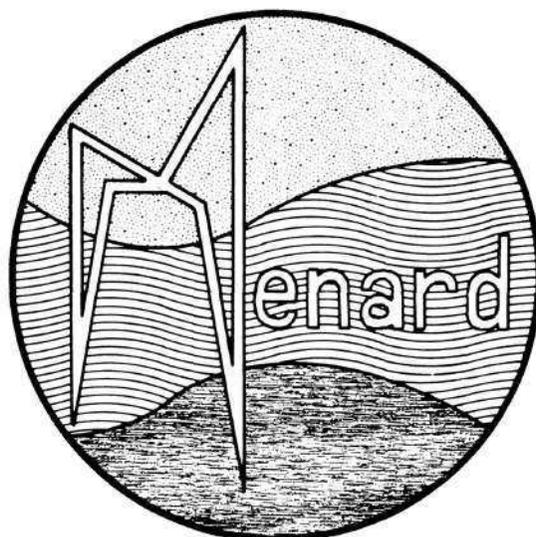
- la cale de radoub des SNLE à Brest en 1974.
- une digue de protection en mer au Koweït en 1978.
- le nouveau port de pêche de Sfax en Tunisie en 1979.
- le sol support de l'usine compacte de dessalement de Yanbu (Arabie Saoudite) transportée flottante depuis le Japon.

— la nouvelle cale de radoub militaire de Lagos (Nigéria), etc...

Enfin et non parmi les moindres résultats, l'expérience a montré qu'il était possible d'étendre le procédé aux sols fins, à la condition, soit qu'il existe déjà dans l'argile par exemple des filons sableux permettant de rendre le drainage continu entre zones d'influence des impacts, soit qu'on puisse compléter les moyens de chantier par des drains verticaux flexibles et même une surcharge statique temporaire.

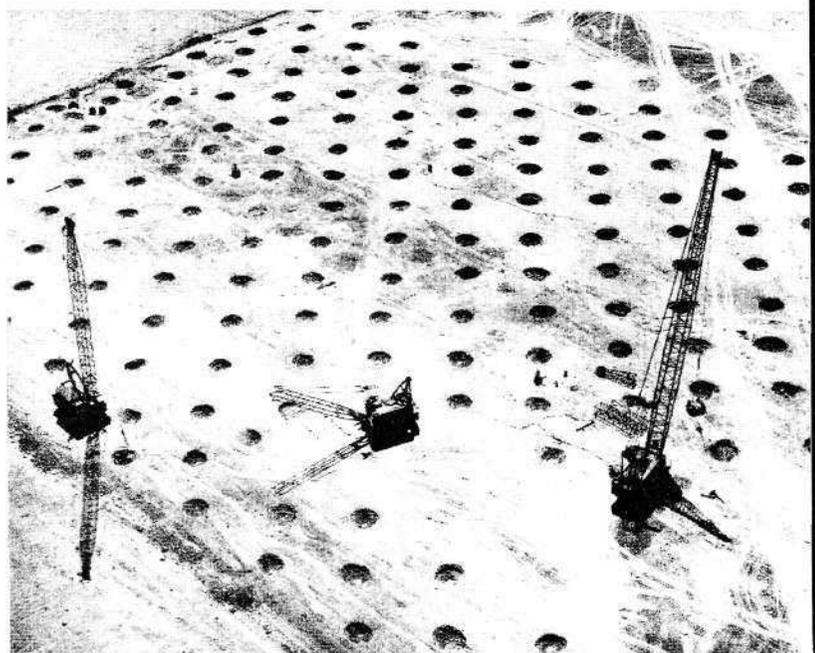
C'est dans ces conditions qu'a été par exemple réalisée l'amélioration :

- de la piste n° 2 de l'Aéroport de Changi (Singapour).
- des terres pleins du Port Autonome de Paris à Limay (Yvelines).
- des terres pleins du supermarché Auchan à Trignac (Loire Atlantique).
- du sol de fondation de la nouvelle laiterie de Reitmehring (RFA), etc...



Une réputation qui n'est plus à faire dans le domaine de l'amélioration des sols :

- Consolidation Dynamique
- Surcharge et drains verticaux souples
- Minipieux de densification, etc . . .



Plus de 500 opérations réalisées à ce jour dans le monde, à terre comme en mer.

Contacter Techniques Louis Ménéard :

– Centre d'Étude Géotechnique de Paris
BP 117

91163 Longjumeau Cédex

Tél. : (6) 934.50.02

Télex : 692714

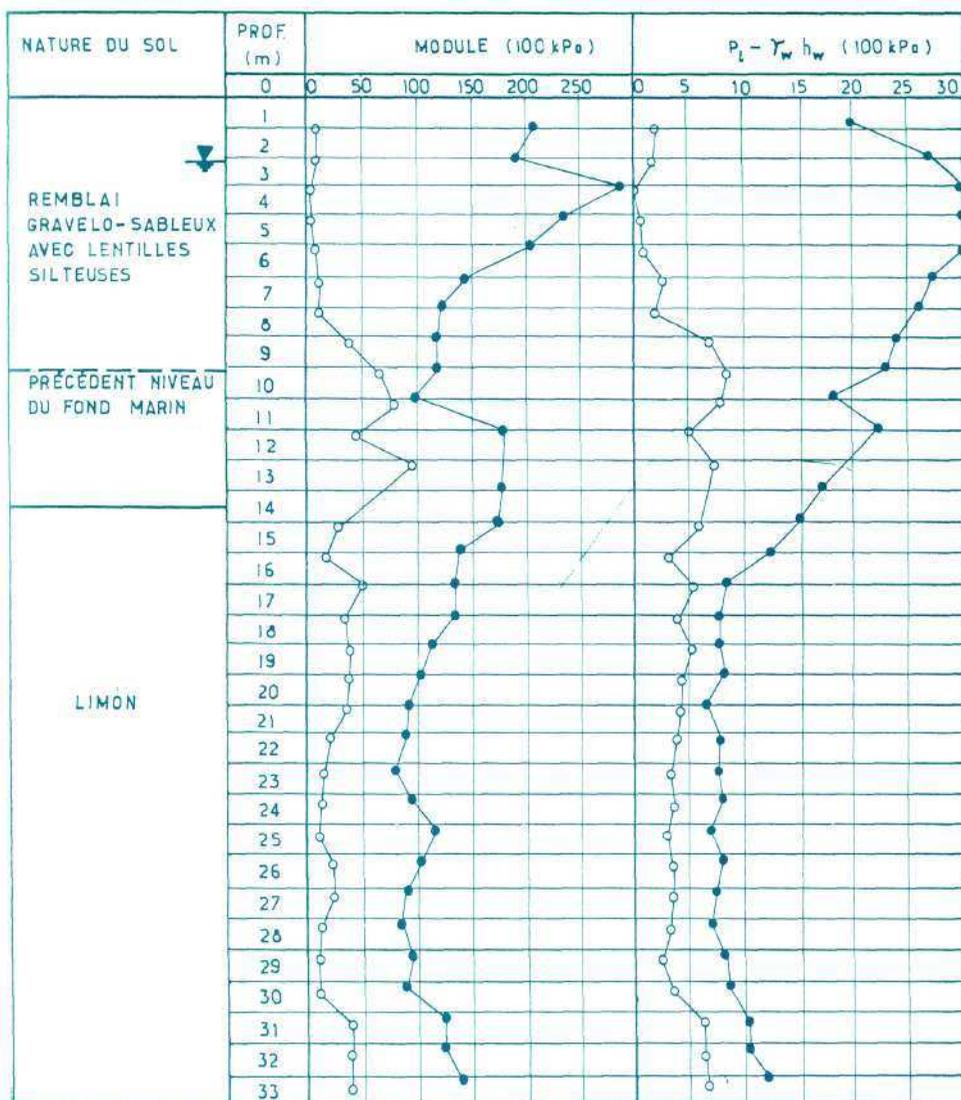
– Centre Régional Ouest
BP 5

50400 Granville

Tél. : (33) 50.22.56

Télex : 170935

ou Établissements et Agences à l'étranger = Singapour,
Woking (GB), Monroeville, Pa (E.-U.), Djeddah (A.S.),
Tokyo, etc . . .



LEGENDE

- AVANT CONSOLIDATION DYNAMIQUE
- APRES 3 PHASES DE CONSOLIDATION DYNAMIQUE
CHAQUE PHASE CONSISTE EN 6 COUPS D'UN PILON DE 170 TONNES D'UNE HAUTEUR DE 23 m.

Fig. n° 3 : Amélioration des caractéristiques mécaniques (Aéroport de Nice Côte d'Azur).

III. Contrôle géotechnique des travaux

Si comme on vient de la décrire la méthode paraît élémentaire, il n'en est rien dans les faits. En effet le traitement d'un terrain donné nécessite plusieurs passes et les paramètres à déterminer pour chaque passe sont nombreux : espacement des impacts, énergie et nombre de coups par impact, temps de repos entre passes, etc... Cette détermination nécessite des "planches d'essai" dont le sol est soumis à un contrôle de comportement très strict grâce à de nombreux capteurs de nivellement, de pression totale et de pression interstitielle

placés à différentes profondeurs. Ces mêmes capteurs, avec une densité plus faible, sont également mis en place sur l'ensemble du terrain. Enfin avant chaque passe et pour la réception de la dernière passe de nombreux essais géotechniques classiques sont réalisés : SPT et pénétromètre statique quand ils sont demandés par le client mais surtout essais pressiométriques, seul essai de chargement statique permettant d'obtenir à la fois une caractéristique de déformation pseudo-élastique et une caractéristique de cisaillement du sol (fig. 3).

Grâce aux essais de fin de chantier il est possible de donner au client des garanties de taux de travail admissible et de tassements différentiels maximaux compte tenu

du type et de la rigidité de la structure à implanter.

L'expérience montre que les caractéristiques mécaniques mesurées en terme de résistance au cisaillement peuvent être triplées après consolidation dynamique. Bien entendu si l'on part donc de valeurs très faibles, les résultats ne pourront être que très moyens et l'on s'en était expliqué dès l'origine (Ménard, 1974).

IV. Conclusion

Si les résultats obtenus sont exceptionnels, il n'en reste pas moins beaucoup à faire dans le domaine de la théorie de la Consolidation Dynamique. De plus l'extension de la méthode aux sols fins nécessite encore des recherches in situ qui font l'objet de programmes en cours au groupe Ménard.

Bibliographie

G. Bourdon (1979) *La Consolidation Dynamique et le problème de l'évacuation de l'eau*. Sols-Soils n° 30/31.

M. Gambin (1979) *Menard Dynamic Consolidation*. Sols-Soils n° 29 (a paper presented at the Ground Reinforcement Seminar, under the sponsorship of ASCE, Washington, D.C.).

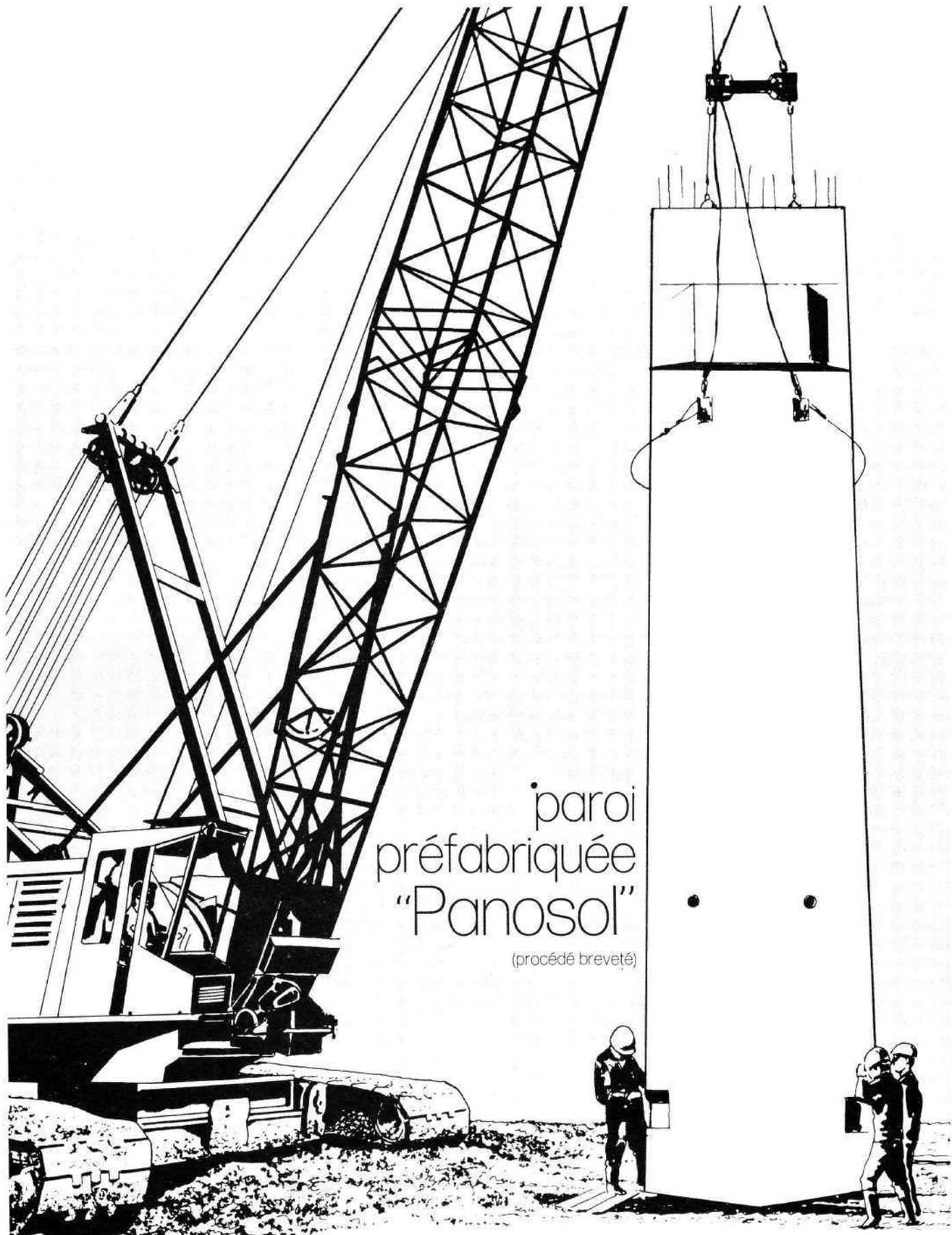
M. Gambin (1980) *Dynamic Consolidation, in Diepverdichting Studiedagen, KVIV, Antwerpen, 6-7 mai, (non publié)*.

M. Gambin (1982) *A new method for improving foundation beds offshore, International Symposium, Engineering in Marine Environment, Bruges, 5-7 mai*.

M. Gambin, J.F. Capelle et J.C. Dumas (1979) *La Consolidation Dynamique : une technique permettant de diminuer les risques de liquéfaction des sols fins saturés en cas de tremblement de terre, 3^e Conférence Canadienne de Génie Sismique, Montréal, juin*.

L. Ménard (1974) *Un procédé de consolidation : le pilonnage intensif, Annales de l'ITBTP, septembre*.

J. Mitchell (1981) *Soil Improvement : State of the Art Report X^e Conférence Internationale de Mécanique des Sols, Stockholm, juin*.



paroi
préfabriquée
"Panosol"

(procédé breveté)



c'est une technique
SOLETANCHE

6, rue de Watford - B.P. 511-92005 NANTERRE Cedex (France)

Tel. Paris (1) 776.42.62. Télec 611722 SOLET F

Les parois moulées

par J.P. COUPRIE
Directeur Technique SOLETANCHE

Les parois moulées plutôt que la paroi moulée car, nous le verrons au cours de cet exposé, les types et les applications de cette technique, très variés, constituent une technologie d'importance industrielle : rien qu'en France, il a été réalisé près de 300 000 m² de parois en 1981 et une quantité à peu près égale en 1980.

Autour de l'idée simple de soutenir, au cours de sa réalisation, une excavation verticale dans le sol par de la boue, s'est développée la technologie de la paroi moulée.

Le matériau de remplissage de l'excavation, véritable substitution au terrain est en effet très variable allant de l'élément rigide et imperméable en béton, à l'élément imperméable mais déformable, au massif déformable et perméable : des applications multiples.

L'excavation

L'un des avantages de la technique paroi moulée est de s'adapter à tous les types de sols : depuis les sols les plus meubles, jusqu'aux rochers assez durs (jusqu'à 200 MPa dans certains cas exceptionnels) mais cavernes. Le matériel de creusement est en général constitué de bennes suspendues à câble ou guidées par une tige métallique. Le mode de fermeture de la benne par vérin hydraulique ou par câble conditionne souvent le rendement, car la puissance d'une benne dans un sol consistant dépend de la capacité de cette dernière à "bêcher" le sol. En cas de sol dur, il est courant d'utiliser des outils auxiliaires désagrégateurs : trépan, certains pouvant peser jusqu'à 10 tonnes, foreuses...

Cependant, l'hydrofraise a été développée par la Société Soletanche pour pouvoir excaver les sols jusqu'à 100 MPa de résistance en compression : cet appareil est une sorte de drague muni d'un désagrégateur constitué de deux fraises à axe horizontal munies de pics et tournant en sens inverse. Cet appareil a été employé dans la réalisation de deux quais à Gizan (Arabie Saoudite) pour traverser du sel gemme, matériau de 20 MPa de résistance mais bien trop plastique pour être cassé au trépan).

La longueur totale de panneaux pouvant rester ouverts, seulement soutenus par la

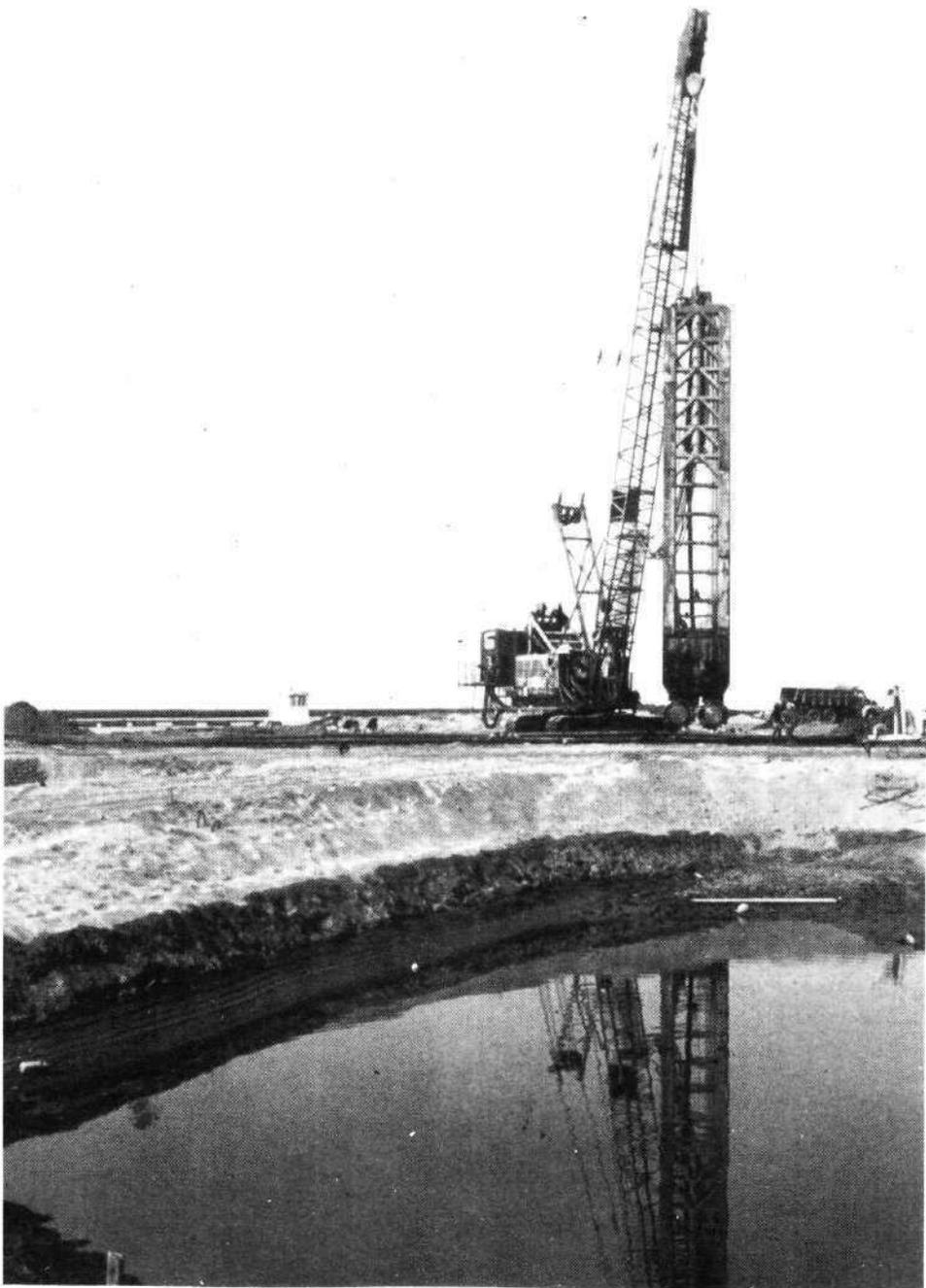
boue, dépend de la nature du terrain et de la difficulté de substituer le matériau de remplissage à la boue : les longueurs courantes sont de 5 à 7 m : il y a donc exécution en règle générale de panneaux primaires, puis de secondaires entre les précédents, après durcissement du matériau de remplissage.

Le remplissage

• Béton coulé en place

Une paroi moulée est donc constituée de

Exécution d'un mur de quai en paroi moulée à l'hydrofraise. Quai de Jizan - Arabie Saoudite.



panneaux jointifs non liés entre eux : en particulier lorsqu'on réalise une paroi moulée en béton armé les armatures ne sont pas jointes d'un panneau à l'autre. Cependant différents essais ont été réalisés récemment en France au cours desquels par l'emploi d'un joint particulier il a été possible d'assurer un certain recouvrement des armatures. L'emploi d'un tel type de joint coûteux à fabriquer et à mettre en œuvre ne va pas sans une dépense supplémentaire importante. Cependant, il permet de répondre à deux problèmes difficiles :

- assurer sous une construction lourde l'établissement d'un réseau d'appui constitué de poutres cloisons continues formant un réseau orthogonal.

- assurer la continuité complète de parafouille de barrage, d'une grande sécurité en cas d'affouillement important et surtout en présence de gros blocs.

• Paroi préfabriquée

L'insertion dans l'excavation d'un élément en béton suppose seulement que des marges aient été prises lors du creusement.

Des objets relativement complexes peuvent être placés : c'est ainsi que, sur la ligne Aulnay Roissy des panneaux comportant la niche abritant le personnel ont été mis en œuvre.

Le procédé est utilisé pour poser des conduites d'égouts par exemple une conduite en tube béton de Ø 1,80 m.

Des charpentes métalliques ont également été utilisées au quai de Fos darse III en particulier, des palplanches à la forme de radoub Secoter à Dunkerque.

L'un des avantages de l'élément préfabriqué est que coulé à l'air dans les conditions courantes, la précision de la forme et la qualité des parements sont celles des ouvrages habituels en béton armé.

Le coulage du béton dans la tranchée ne peut donner cette qualité de parement : la surface du sol est réglée de façon plus sommaire par la benne, ou par l'hydrofraise, sans cependant que le parement soit inacceptable dans un ouvrage souterrain.

• Béton plastique

Le béton plastique composé de granulats, sable, argile ou bentonite ciment et adjuvants est mis en œuvre comme le béton ordinaire, cependant on s'attache à choisir une composition de béton qui lui confère une grande aptitude à la déformation.

Le recours à la solution paroi moulée revient à prolonger, par une réalisation à distance, le corps étanche des barrages. Le procédé apparaît comme très sûr, dès lors que le problème de la déformabilité convenable a été réglé : une substitution de matériau.

La continuité rigoureuse du matériau au droit des joints reste la préoccupation majeure du Maître d'Ouvrage et du cons-



Mise en place d'un panneau préfabriqué (brevet Soletanche Panosol).

tructeur : l'hydrofraise, par la possibilité qu'elle offre bien mieux que les bennes, de retailer une part de chaque panneau primaire, garantit de façon bien plus complète cette continuité. A cela s'ajoute que la verticalité des panneaux creusés par l'hydrofraise est mieux assurée que dans toute autre méthode : des déviations inférieures à 10 cm ont été mesurées sur des panneaux de 100 m de profondeur forés au Japon.

• Coulis bentonite ciment

L'un des procédés les plus simples et les plus courants pour réaliser un écran étanche est de forer sous un coulis bentonite-ciment qui durcit sur place : il n'y a plus substitution. Ce sont des boues déstabilisées par le ciment : donc des problèmes d'essorage et de décantation, mais que la pratique courante a bien cerné.



Pieds droits d'un tunnel en parois préfabriquées.



Exécution d'une coupure étanche à l'hydrofraise.



Mise en place d'une cage d'armature.

• Les tranchées drainantes

L'emploi d'une boue à base de produit organique altérable en quelques jours par des micro-organismes permet de s'affranchir de l'effet imperméabilisant de la bentonite. Le remplissage, effectué en matériau pulvérulent perméable, réalise une tranchée drainante : c'est la transposition aux tranchées d'une technique courante en matière de puits.

Autour de deux opérations simples : creuser, remplir, nous avons situé les principales applications des parois moulées, elles couvrent un champ très large et s'adaptent à des cas très divers.

Dans le domaine des soutènements, l'emploi des parois moulées pour construire les quais se développe : en effet avec l'accroissement des profondeurs la paroi, dont on fait varier de façon très large la résistance à la flexion, est bien plus ajustable que les moyens traditionnels qu'elle tend à remplacer.

L'emploi de parois préfabriquées comme éléments définitifs de tranchée couverte continue de se développer là où la nappe n'est pas très profonde.

Nous avons déjà exposé l'emploi de parois moulées en béton plastique comme continuation sous le sol du corps imperméable du barrage ; à cela s'ajoute les très nombreux écrans étanches en coulis bentonite ciment : celui au batardeau de la forme n° III de Brest qui s'est déformé horizontalement de 10 cm sur 1 M de hauteur sans augmentation appréciable des débits d'exhaure.

Les tranchées drainantes enfin apportent une solution originale à un problème souvent très délicat : réaliser une tranchée drainante dans une masse de matériau en mouvement.

En résumé, la technique de la paroi moulée, tout en ayant largement atteint le stade industriel, reste souple d'emploi et adaptable à l'infinie variété des problèmes que la pratique nous pose.

1982

ANNUAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES

INGÉNIEURS DU CORPS - INGÉNIEURS CIVILS

Téléphone : 260.25.33

Téléphone : 260.34.13

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

28, RUE DES SAINTS-PÈRES - PARIS 7^e

Les Ingénieurs des Ponts et Chaussées jouent, par vocation, un rôle éminent dans l'ensemble des Services des Ministères des Transports, de l'Urbanisme et du Logement.

Ils assument également des fonctions importantes dans les autres Administrations, et dans les organismes du Secteur Public, Parapublic et du Secteur Privé, pour tout ce qui touche à l'Équipement du Territoire.

En outre, dans tous les domaines des Travaux Publics (Entreprises, Bureaux d'Études et d'Ingénieurs Conseils, de Contrôle) les Ingénieurs Civils de l'École Nationale des Ponts et Chaussées occupent des postes de grande responsabilité.

C'est dire que l'annuaire qu'éditent conjointement les deux Associations représente un outil de travail indispensable.

Vous pouvez vous procurer l'édition 1982 qui vient de sortir, en utilisant l'imprimé ci-contre.

Nous nous attacherons à vous donner immédiatement satisfaction.



BON DE COMMANDE

à adresser à

OFERSOP — 8, bd Montmartre, 75009 PARIS

CONDITIONS DE VENTE

Prix 270,00 F
T.V.A. 17,60 47,50 F
Frais d'expédition en sus 25,00 F

- règlement ci-joint, réf. :
 règlement dès réception facture.

Veillez m'expédier annuaire(s) des Ingénieurs des Ponts et Chaussées dans les meilleurs délais, avec le mode d'expédition suivant :

- expédition sur Paris
 expédition dans les Départements
 expédition en Urgent
 par Avion

réalisations dans les D.D.E.

Direction Départementale de l'Équipement du Calvados

LA DÉVIATION DE LA R.N. 175 ENTRE CAEN ET MISSY ET LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE OUEST DE CAEN

par Michel DÉMARRE I.P.C.

I - Présentation

Entre 1972 et 1976 ont été réalisées les sections Nord et Est du Boulevard Périphérique de Caen ; ces travaux ont doté l'agglomération caennaise d'un itinéraire de contournement et soulagé le centre-ville du trafic de transit qui emprunte notamment :

- la R.N. 13 (Paris - Caen - Cherbourg)
- la R.N. 158 (Caen - Sées)
- la R.N. 175 à l'Est de Caen (Caen - Rouen)
- l'autoroute A 13 (Paris - Caen).

Les sections les plus chargées de ce Boulevard Périphérique supportent actuellement un trafic de 43.000 véhicules/jour.

De toutes les routes du schéma directeur, seule la R.N. 175 à l'Ouest de Caen, dite "route de Bretagne", restait isolée de ce dispositif de contournement ; les travaux décrits ci-après ont permis d'opérer la jonction.

En premier lieu, la R.N. 175, à son entrée dans l'Ouest de l'agglomération, supportait sur une chaussée à deux voies, un trafic important (10.000 véhicules/jour), dans un tissu urbain quasi-continu, rendant impossible un aménagement sur place ; la déviation entre Caen et Missy a en conséquence, été entreprise et mise en service en juillet 1981.

Ensuite, la mise en service, en février 1982 d'une nouvelle section - dite "Boulevard Périphérique Ouest" - a permis de relier cette déviation de la R.N. 175 au reste du Périphérique.

II - Caractéristiques techniques et financières

A) DÉVIATION DE LA R.N. 175 ENTRE CAEN ET MISSY

Caractéristiques principales

Sur une longueur de 8.800 m, elle se développe dans la plaine de Caen, en suivant en majeure partie le tracé de la voie ferrée désaffectée Caen - Vire ; l'effet de coupure créé par la voie nouvelle a de ce fait été

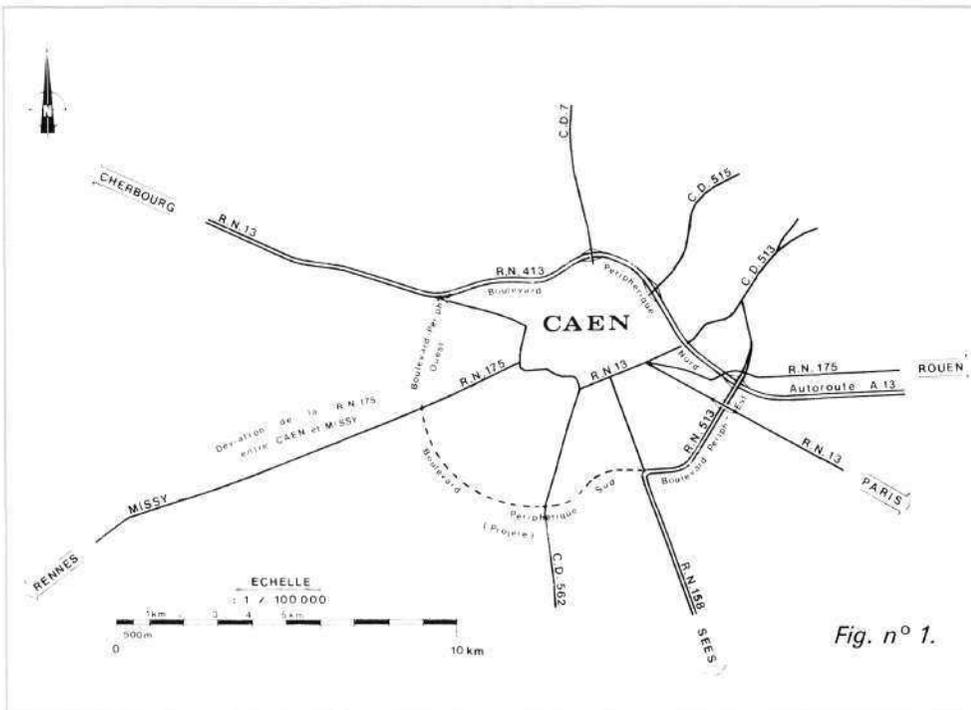


Fig. n° 1.

considérablement limité, ainsi que les atteintes aux cheminements et au parcelaire agricoles.

Sur la seule commune de Verson, le tracé de la déviation s'écarte de l'emprise de la voie ferrée, trop insérée dans le tissu urbain ; un remembrement préalable a permis, sur cette commune, de compenser les atteintes au milieu agricole.

Les caractéristiques de la déviation sont conformes aux normes ICTARN pour une vitesse de référence de 100 km/h.

Quatre passages supérieurs permettent le rétablissement, sans échange, de deux chemins départementaux et de deux voies communales. Ce sont des ouvrages classiques à 4 travées, avec dalle continue en béton armé ; ils sont dimensionnés en vue de la phase finale (déviation à 2 x 2 voies avec T.P.C. de 6 m), mais seule la chaussée Nord, à 2 voies, a été réalisée en première phase.

Les terrassements ont intéressé pour l'essentiel des terrains limoneux et argileux recouvrant le substratum calcaire, à l'exception de l'extrémité Est du chantier, où le calcaire affleurerait ; au total, ils sont répartis en 270.000 m³ de déblais (dont

100.000 m³ mis en remblais) et 80.000 m³ de remblais provenant d'emprunt.

Une couche de forme a été réalisée sur l'ensemble du projet, soit à partir de déblais calcaires de bonne qualité, soit à partir de tout-venant primaire en provenance d'une carrière proche.

La structure de chaussée est la suivante :
Couche de fondation : grave-laitier (épaisseur : 18 cm)
Couche de base : grave-laitier (épaisseur : 20 cm)
Couche de roulement : béton bitumineux (épaisseur : 6 cm).

Au total, 78.000 tonnes de graves-laitier et 11.000 tonnes de bétons bitumineux ont été mis en œuvre.

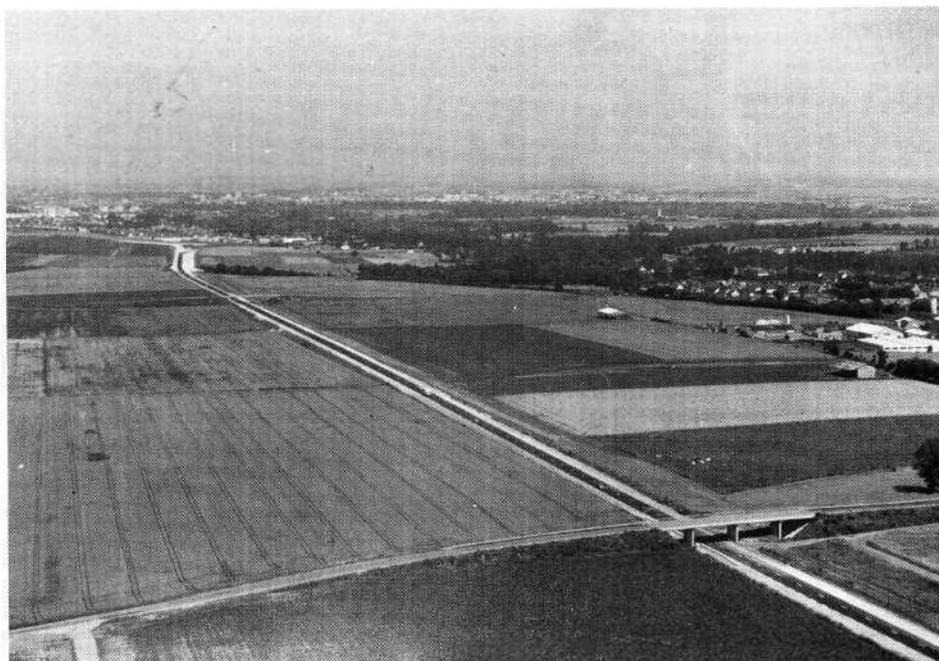
Déroulement des travaux

Les travaux connexes au remembrement ont été réalisés en 1978.

Les ouvrages d'art ont été réalisés au 1^{er} trimestre 1979.

Lancés à la fin de l'année 1979, les terrassements n'ont pu entrer dans une phase active qu'au printemps 1980. Des pluies

réalisations dans les D.D.E.



RN 175. La déviation Caen-Missy en service.

persistantes au début de l'été ont retardé les travaux, notamment les couches de forme, qu'il était prévu initialement de réaliser par traitement des limons en place : un changement de technique (substitution aux limons en place de tout-venant primaire en forte épaisseur) a permis de poursuivre les travaux pendant l'hiver et de livrer la chaussée à la circulation avant la période estivale 1981.

Financement

L'opération, d'un montant total de 31 M.F., a été englobée dans un contrat État-Région Basse Normandie plus vaste. Dans ce

cadre, la répartition du financement a été la suivante :

État - F.S.I.R. : 1,85 M.F.

Établissement Public Régional : 29,15 M.F.

B) BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE OUEST

Caractéristiques principales

Il relie sur une longueur de 3.000 m la R.N. 13 à l'Ouest de Caen à l'extrémité Est de la déviation de la R.N. 175 décrite ci-avant.

Son tracé se développe pour l'essentiel sur des terrains à vocation agricole situés en zone périurbaine. Il longe toutefois au Nord la Zone Industrielle de Carpiquet.

La forte atteinte aux parcelles agricoles a nécessité la mise en œuvre d'un remembrement sur les communes de Carpiquet, et Brettville-sur-Odon : des acquisitions d'opportunité menées par la SAFER ont permis de limiter notablement les prélèvements particuliers ; les travaux connexes ont toutefois nécessité la réalisation de 5.000 m de chemins de desserte.

Seule une chaussée bidirectionnelle est réalisée en première phase : ses caractéristiques sont conformes à l'ICTARN pour $V_r = 80$ km/h en chaussée bidirectionnelle et $V_n = 100$ km/h en chaussée unidirectionnelle.

Le statut de voie express est conféré à cette section du Boulevard Périphérique :

— les échanges sont organisés au niveau de deux échangeurs :

* au Nord l'échangeur du Bessin, qui assure les liaisons avec la R.N. 13 et la R.N. 413 (Boulevard Périphérique Nord)

* au Sud, l'échangeur avec la R.N. 175 déviée

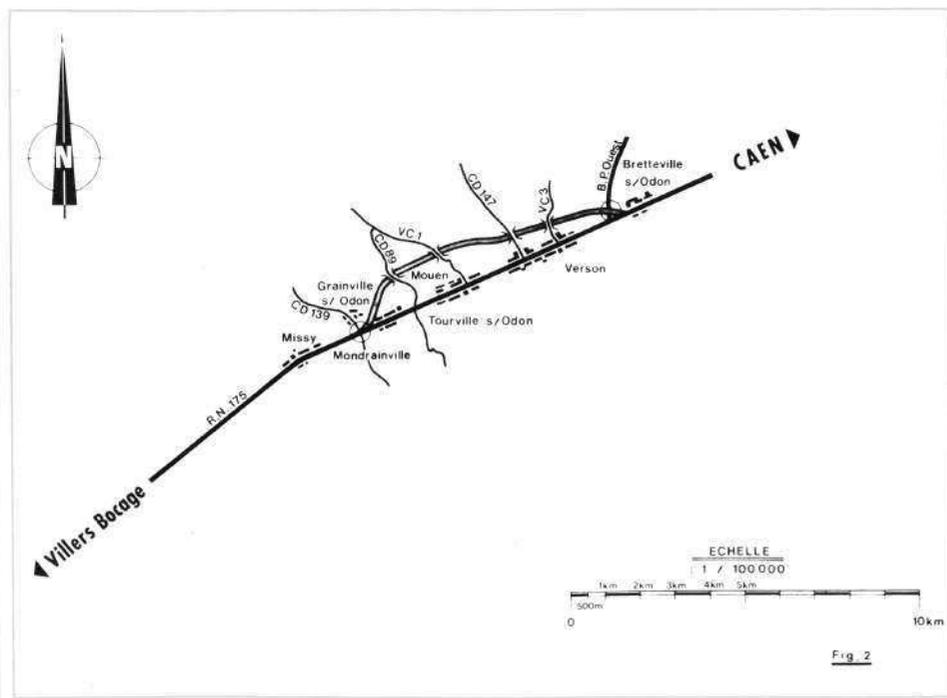
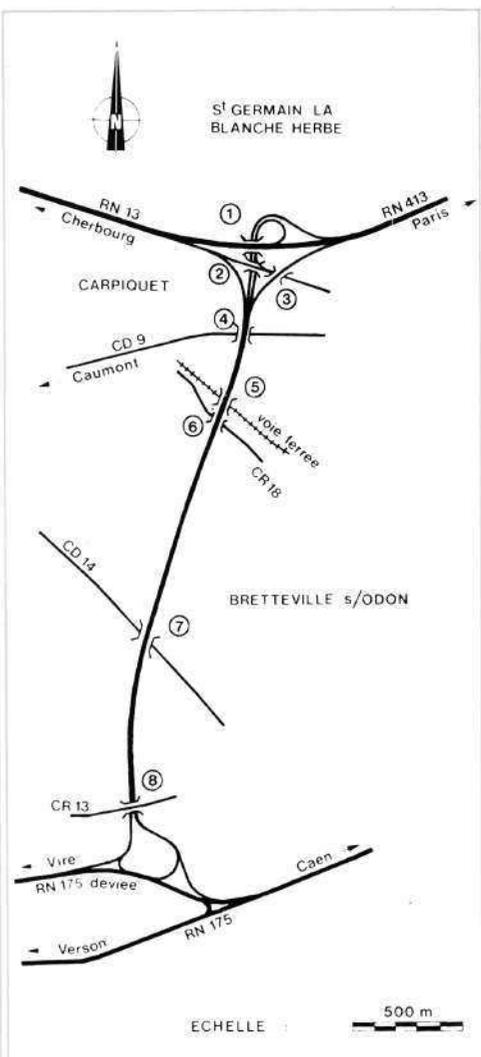


Fig. 2



réalisations dans les D.D.E.

— au total, huit ouvrages d'art assurent le franchissement à niveaux séparés des bretelles ou des voies rencontrées :

* n° 1 et 2 : passages supérieurs à dalle précontrainte

* n° 3, 4 et 7 : portiques en béton armé (type PIPO)

* n° 5 : tablier à poutres précontraintes par fils adhérents

* n° 6 : buse métallique

* n° 8 : passage supérieur à dalle en béton armé.

En partie courante, la structure de la chaussée est la suivante :

Couche de fondation : grave-laitier 20 cm

Couche de base : grave-laitier 22 cm

Couche de roulement : béton bitumineux 8 cm.

Les chiffres suivants traduisent l'importance globale des travaux :

dès 1976 en même temps que le Boulevard Nord, l'essentiel des travaux a démarré en 1979 avec les travaux connexes au remembrement, puis, dans le cadre du plan de soutien à l'économie, avec la construction des ouvrages d'art.

Les terrassements préalables à ces ouvrages ont été menés afin d'optimiser le transport des déblais réutilisables en remblais, voire en couche de forme sous une faible épaisseur de limons, le terrain naturel était en effet constitué de "plaquette calcaire", et pour les couches plus profondes, de calcaire dur, qui a nécessité une extraction à l'explosif.

Les chaussées ont été réalisées au 3^e trimestre de l'année 1981. Le bon comporte-

tion ont pâti des conditions météorologiques et retardé la mise en service, intervenue le 8 février 1982.

Financement

Le coût total des travaux, y compris ceux réalisés en 1976, est de 55 M.F.

La contribution des diverses parties prenantes s'est élevée à :

État : 25,26 M.F.

Département du Calvados : 19,40 M.F.

E.P.R. Basse-Normandie : 10,34 M.F.

III - Conclusion

Ces deux nouvelles infrastructures constituent un maillon de la "route des estuaires" ; sur un plan plus local, elles contribuent au désenclavement routier du Sud-Ouest du département du Calvados et du Bocage Virois.

Peu après leur mise en service, elles supportent un trafic de l'ordre de 6.000 véhicules/jour, qui témoigne de l'opportunité de leur réalisation.

Terrassements :

Matériaux de chaussée :

Déblais

Remblais

Graves-laitier

Béton bitumineux

195.000 m³

160.000 m³

72.000 t

14.000 t

Déroulement des travaux

A part une 1^{ère} tranche de travaux (ouvrage n° 1 dans l'échangeur du Bessin) réalisée

ment des sols rencontrés lors des terrassements a permis de respecter à un mois près le planning initial. Seuls les travaux de fini-

Boulevard périphérique Ouest : l'échangeur du Bassin en cours de réalisation.



réalisations dans les D.D.E.

Direction Départementale de l'Équipement de Seine-et-Marne

AUTOROUTE G 4 ENTRE L'AUTOROUTE DE L'EST ET L'AÉROPORT CHARLES-DE-GAULLE

par Daniel LAURE, I.P.C.

I Présentation

L'autoroute G 4 est une voie rapide urbaine d'orientation générale Nord-Sud, et d'une vingtaine de kilomètres de longueur, destinée à relier l'aéroport Charles-de-Gaulle à Roissy-en-France et la ville nouvelle de Marne-la-Vallée. Elle se raccorde au Nord à la voie rapide F 2 (actuelle RN 2 bis) Paris-Soissons et au Sud à l'autoroute A 4 Paris-Metz.

Au Nord, par l'intermédiaire des échangeurs prévus avec F 2, et avec la RN 3 et le CD 105, elle desservira l'aéroport Charles-de-Gaulle, les zones industrielles proches, et le pôle urbain de Mitry-Villeparisis.

Dans sa partie Sud entre l'autoroute A 4 à Collégien et la RN 34 à Pomponne, elle assurera le raccordement autoroutier vers Paris de l'agglomération de Lagny.

Grâce à ces nombreux échangeurs (avec le CD 404, le CD 10p, la voie X 18, ultérieurement la voie primaire Nord de la ville nouvelle), elle constituera d'autre part l'axe structurant des urbanisations de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée : zone d'aménagement concerté de Saint-Thibault, zone industrielle de Torcy, desserte du centre commercial et du terminus de Torcy de la ligne A du Réseau-Express-Régional (St-Germain-en-Laye - Paris - Marne-la-Vallée).

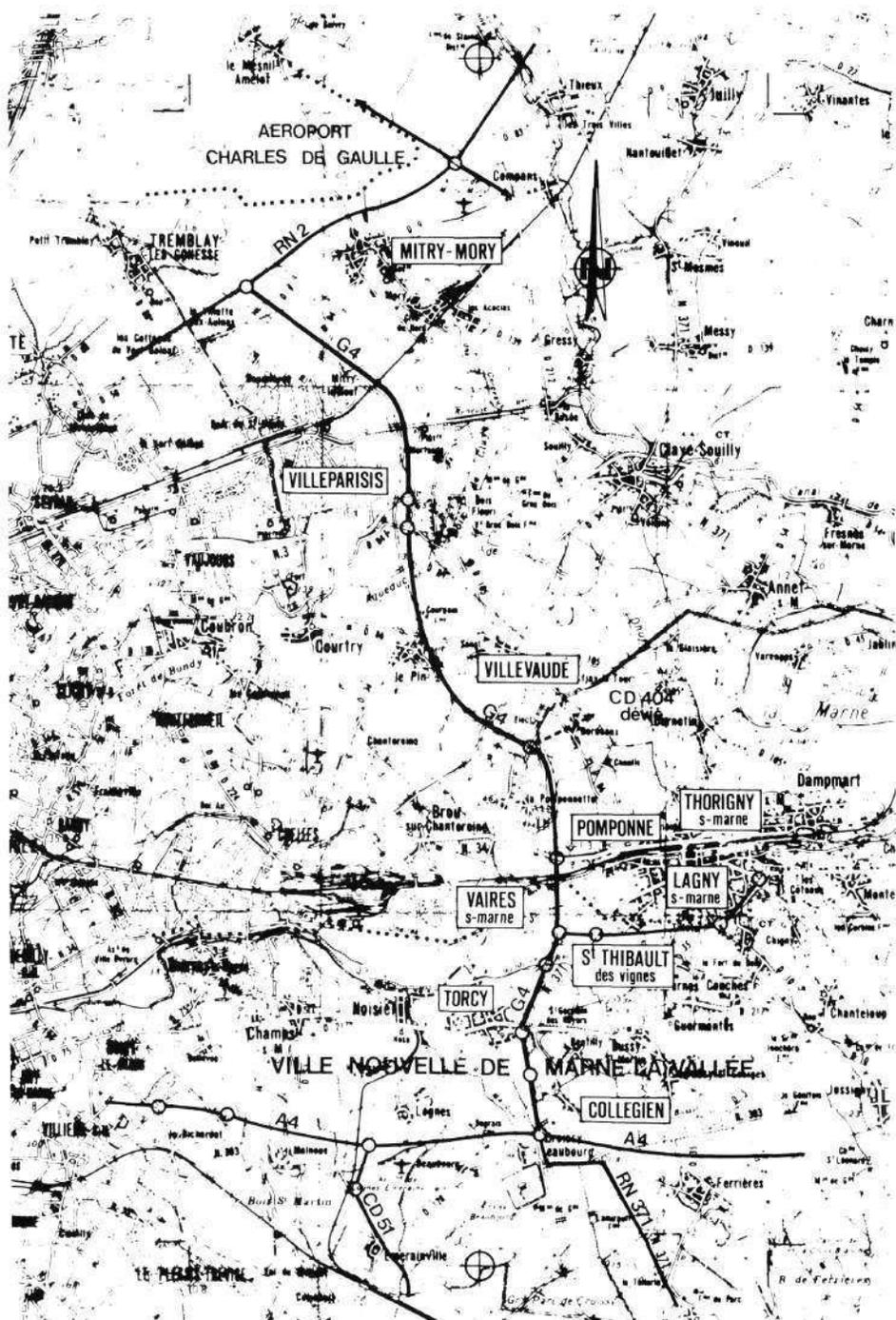
Avec une section nouvelle du CD 404 projetée à Pomponne et Villevaude, G 4 constituera une déviation du trafic de transit Nord-Sud du CD 404 qui traverse actuellement Lagny et Thorigny en provenance de la déviation d'Annet.

Enfin l'autoroute aura pour effet de faciliter au niveau régional le contournement de la zone agglomérée de l'Est Parisien entre F 2, la RN 3, la RN 34 et l'autoroute A 4, en permettant une excellente liaison entre la Seine-Saint-Denis et le Nord de la Seine-et-Marne.

Le tracé de cette autoroute est situé entièrement en rase campagne, et seulement proche de rares urbanisations au Sud de Villeparisis et au Pin. Tout en respectant les grands massifs boisés, il emprunte pour l'essentiel une coupure déjà existante créée par un couloir des lignes électriques à haute

tension. A l'intérieur de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée la conception simultanée de l'autoroute et des urbanisations voisines a permis de prendre en considération au mieux les préoccupations d'esthétique et de protection du cadre de vie des nouveaux

habitants. Une attention particulière a été apportée au traitement paysager de l'autoroute aux abords des sites sensibles et notamment près du Pin, le long du parc du château de Pomponne et de la future zone d'aménagement de Saint-Thibault.



réalisations dans les D.D.E.

Les terrains rencontrés sont principalement : des limons de surface, des argiles du plateau de Brie, des marnes blanches de l'horizon de Romainville, des marnes vertes de l'horizon de Pantin, et plus localement l'éperon gypsifère de l'Est Parisien au niveau de la butte de Montzaigle.

Sur la plus grande partie du tracé, il est prévu de réaliser dans un premier temps deux chaussées de 7 mètres (2 X 2 voies) séparées par un terre-plein central de 11 mètres. Toutefois, les caractéristiques de la plate-forme et le nombre des voies sont adaptés aux besoins locaux. La réalisation sera progressive et fonction des trafics observés.

Pour les besoins de la programmation, liée en particulier aux acquisitions foncières et à la mise en place des financements, l'autoroute G 4 a été découpée en plusieurs sections :

— la première section comprise entre le CD 10p et la RN 34 a été mise en service en octobre 1979 ;

— la seconde section comprise entre la RN 3 et F 2 est en cours de travaux ;

— la troisième section comprise entre la RN 34 et la RN 3 en est aux travaux préparatoires ;

— Quant à la quatrième section comprise entre la CD 10p et A 4, sa réalisation devrait être entreprise en 1982.

II Caractéristiques techniques

A) Tracé - Normes VRU

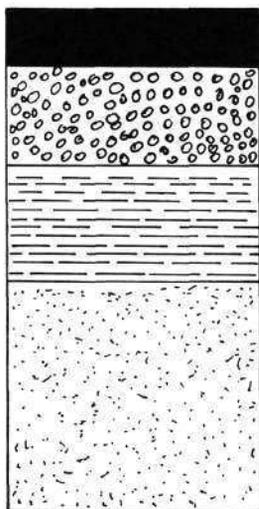
Le tracé a pris en compte une vitesse de référence de 100 km/h.

Le rayon des courbes en plan sera au moins égal à 700 m, celui des courbes en profil en long sera au moins égal à 6000 m aux points hauts et 5000 m aux points bas. La pente maximale prévue est de 6 %.

B) Chaussées

La plate-forme est dimensionnée pour deux chaussées séparées unidirectionnelles, de 10,5 m de largeur (3 voies) avec un terre-plein central de 4 m et des accotements en bordure de chaussée de 3 m de largeur, dont 2 m utilisés pour la bande d'arrêt d'urgence.

En faisant l'hypothèse d'un trafic de la classe To, en considérant les caractéristiques géotechniques médiocres des sols



8 cm de béton bitumineux

22 cm de gravier laitier

25 cm de sable laitier

30 cm de couche de forme en sable ciment

ainsi que leur sensibilité prévisible à l'humidité à long terme, il a été choisi de réaliser une couche de forme, traitée au ciment sur l'ensemble du tracé.

D'autre part, le projet a été estimé sur la base d'une structure semi-rigide de type B 4 paraissant plus compétitive en raison du sectionnement des travaux.

C) Ouvrages

Le projet comporte plus d'une vingtaine d'ouvrages de rétablissement de voies franchies et une dizaine d'échangeurs. Il s'agit de ponts-dalles ou de ponts à poutres précontraintes.

Le plus important de ces ouvrages est le viaduc de franchissement de la Marne et des voies ferrées qui la longent. Long de

500 mètres, il comporte un ouvrage principal de 300 mètres à huit travées de 30 à 45 mètres de portée.

Ces travées sont constituées de poutres en béton précontraint préfabriquées sur place puis lancées, et dont certaines atteignent le poids de 100 tonnes.

Le viaduc principal est encadré d'ouvrages d'accès à dalle précontrainte de 100 mètres de longueur.

En section courante le viaduc présente deux demi-tabliers de 13,5 mètres de largeur séparés par un vide central de 8 mètres, réservant la possibilité d'un élargissement éventuel des chaussées par le centre.

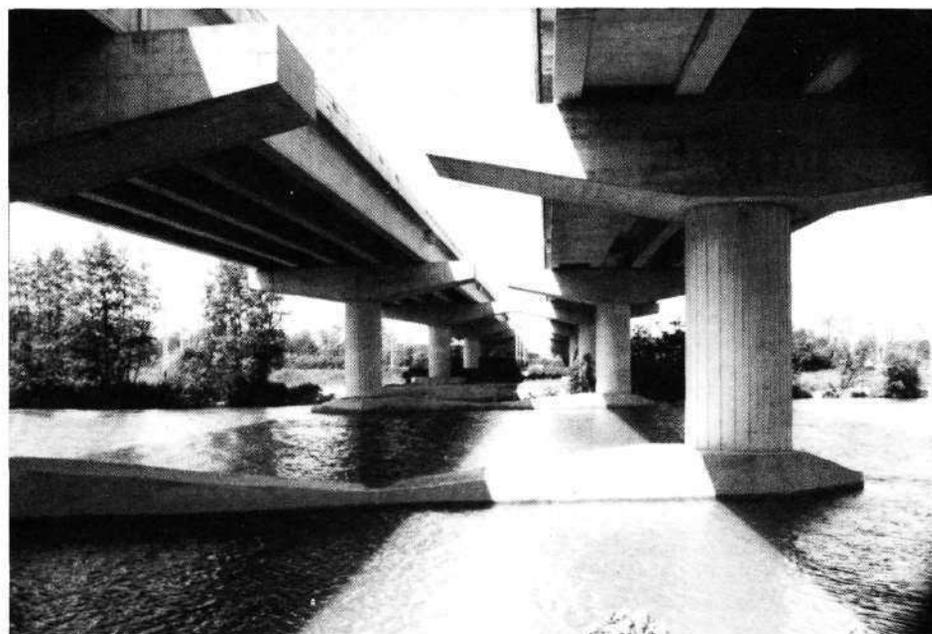
Le chantier a duré 26 mois dont 76 jours de crues ou d'intempéries. Il a été confié à l'entreprise Bouygues (pilote).

D) Remblais en cendres volantes

Les grands chantiers de terrassement de l'autoroute G 4 ont permis d'expérimenter l'emploi des résidus de la combustion du charbon, dits "cendres volantes", provenant de centrales thermiques exploitées par l'Electricité de France en Région Parisienne et notamment à Vairès-sur-Marne.

Les résidus de combustion sont en partie achetés à certaines périodes de l'année par les industries cimentières. Le solde est stocké en tas ou en bassins au voisinage immédiat des centrales. Ces dépôts nuisent à l'environnement sur le plan visuel, mais également à la qualité de la vie des riverains, car les cendres ont tendance par temps sec à se répandre dans l'atmosphère sous l'effet des vents.

Viaduc sur la Marne - Les piles en rivière - l'ouvrage peut être élargi par l'intérieur.



réalisations dans les D.D.E.

Par ailleurs, la construction des grands remblais de G 4 et de ses échangeurs nécessite des quantités extrêmement importantes de matériaux d'apport. Ces matériaux ne peuvent provenir que des carrières existantes relativement éloignées du tracé, à un coût trop important, ou de l'ouverture de carrières nouvelles au voisinage du tracé, ce qui poserait des problèmes relatifs à la protection des sites et des massifs boisés.

Dès lors la Direction Départementale de l'Équipement s'est orientée vers la réalisation de remblais routiers en cendres volantes, ce qui :

- respecte les impératifs de la protection de l'environnement,
- assure un débouché à des sous-produits industriels mal utilisés jusqu'à présent,
- permet des aménagements routiers d'un coût plus économique.

Toutefois, les différentes caractéristiques de ce nouveau matériau devaient être préalablement étudiées avant son utilisation effective dans des travaux de grande ampleur.

C'est ainsi que des essais, effectués en 1977 sur plusieurs petits chantiers permettent de mettre au point les conditions d'utilisation : teneur en eau, compactage, sensibilité aux conditions atmosphériques.

Il fut alors possible de réaliser en 1978, avec 65.000 m³ de cendres volantes, le remblai de la déviation de Lagny entre G 4 et CD 404, puis en 1979 deux échangeurs de G 4 avec à nouveau 55.000 m³ de cendres volantes.

III Quelques chiffres

Remembrement

• Acquisitions foncières	182 ha
• Communes remembrant	3 sur 10
• Emprises sur ces communes	82 ha
• Périmètre total de remembrement	2.205 ha
• Coût total estimé des frais de géomètre	1,762 MF
• Ratio à l'hectare	799 F/ha

Travaux

• Déplacements de pylones électriques	50
• Remblais	2.617.000 m ³
• Déblais	1.378.000 m ³
• Canalisations d'assainissement	30.500 m
• Matériaux pour comblement des galeries de gypse	50.000 m ³
• Surface d'ouvrage d'art	33.500 m ² *
• Volume de béton	42.100 m ³ *



Ouvrage pour le rétablissement du CD 9.



Cendres volantes stockées sur le chantier.

• Surface couche de forme	648.000 m ²
• Sable laitier	331.000 T
• Grave laitier	299.000 T
• Béton bitumineux	107.000 T
• Glissières	56.800 m
• Dernière estimation	514 MF
* dont 15.000 m ² et 20.500 m ³ pour le viaduc.	

Les remblais ainsi constitués ont nécessité certaines précautions à la mise en œuvre, mais se sont très bien comportés depuis lors, sans tassements particuliers malgré la circulation automobile et les intempéries de trois hivers dont un particulièrement rigoureux (gel et neige pendant trois semaines, crue décennale de la Marne).

A noter la cadence de mise en œuvre des remblais qui a atteint 5.850 m³/jour en

réalisations dans les D.D.E.

moyenne avec une pointe à 8000 m³/jour correspondant à la cadence d'un camion toutes les 90 secondes.

L'utilisation des cendres volantes se poursuit en quantités nettement supérieures pour réaliser la section de G 4 comprise entre la RN 2 et la RN 3 : 450.000 m³ de cendres sont actuellement stockées.

IV Exécution

La première section mise en service en octobre 1979 comprenait l'échangeur de la Renaissance (avec la RN 34), le viaduc de la Marne et le raccordement de la déviation de Lagny.

Elle a été prolongée dans ce sens jusqu'au CD 10p et ouverte alors sur 2 km entre le CD 10p et la RN 34 en juillet 1980.

La section actuellement en cours de travaux est celle comprise entre la RN 3 et la RN 2. Quatre ouvrages sont déjà construits et les trois autres seront achevés au début 1982. Le marché de terrassement pour la mise en œuvre est prévu au programme 1982.

Dans le même temps la Direction Départementale de l'Équipement fait procéder au déplacement des nombreux réseaux, lignes à haute tension, gazoduc, PTT, eau, afin de libérer les emprises entre la RN 34 et la RN 3, où tous les terrains sont maintenant acquis. Enfin la quatrième section pourra être commencée en 1982.

Dans l'ensemble la réalisation de cette autoroute progresse régulièrement et la programmation actuelle devrait permettre d'achever les travaux et de mettre en service l'ensemble aux alentours de 1985.



Mise en œuvre des cendres volantes.

Principales entreprises ayant participé aux travaux

Beugnet, Bouygues, Cano, Cosson, Morillon-Corvol, Nord-France, Razel, SGE-TPI, Sotraba...

Il était né à Bélesta et vécut à Mirepoix

Jean-Baptiste Mercadier

ingénieur et savant 1750-1816

Le docteur Jean-Louis Causse, médecin à Saint-Girons dans l'Ariège, a publié dans le numéro d'août 1981 du magazine de l'ariégeois, dont il est le Directeur, un portrait de Jean-Baptiste Mercadier, qui fut le premier ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de l'Ariège. Ce document m'a paru susceptible d'intéresser les lecteurs de P.C.M. Le docteur Causse m'a donné son accord pour une éventuelle publication dans la revue.

Il se trouve que je possède, venant de la bibliothèque de mon père un ouvrage intitulé "ébauche d'une description abrégée du département de l'Ariège par le citoyen Mercadier, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées" et daté de Frimaire an 9.

Je pense qu'il serait intéressant de compléter l'article du Docteur Causse par les documents suivants :

1 - "l'avis aux habitants du département de l'Ariège" qui constitue la préface de l'ouvrage de Mercadier.

J'observe que l'opinion assez sévère qu'il exprime à l'encontre des géographes n'a plus de raisons d'être à l'heure actuelle !

2 - "la table des indications" le caractère très complet de cette table des matières mérite d'être souligné.

3 - des extraits de l'ouvrage relatifs :

d'une part à la protection contre les eaux et à l'hydraulique des cours d'eau d'autre part à l'état du réseau routier et des Ponts.

Cette situation "très mauvaise" était, d'ailleurs assez générale comme le montrent certains articles du numéro spécial des Annales des P.C. à l'occasion de leur 150^e anniversaire.

Le docteur Causse évoque en terminant les circonstances pénibles de sa fin, à la suite des revirements politiques qui entraînèrent pour lui changements de situation et retrait d'emploi.

Je rappelle à cet égard ce qu'il en fût de Gauthey, face aussi à une période de grand bouleversement politique, en citant cet extrait de son éloge historique par Navier

"M. Gauthey a su conserver en traversant la révolution, le caractère indépendant et énergique dont la nature l'avait doué. Ne se mêlant d'aucune affaire étrangère à son service, mais ne balaçant jamais à remplir un devoir, il n'eut à rougir devant aucun parti, parce qu'il ne sut en caresser aucun. Sa liberté ne lui fut point ravie : le besoin que l'on avait de ses talents et l'usage continuel que l'on en faisait en furent sans doute la cause ; il leur dû sa tranquillité que les inquiétudes de ses amis ont seules troublée".

Bel exemple qui vaut pour tous les temps.

Étienne ROBERT
I.G.P.C.

Jean-Baptiste Mercadier, peu connu des ariégeois, fut cependant le premier et l'un des plus remarquables ingénieurs en chef des ponts et chaussées de l'Ariège. Il appartenait à cette classe de savants dont la mission est chercher constamment les intrications qui peuvent exister entre la Science et l'Industrie et qui passent leur vie à améliorer par leurs découvertes les conditions de vie de leurs compatriotes. Mercadier hérita des goûts et de la vocation de cet autre habile ingénieur ariégeois du XVI^e siècle, le célèbre Louis de Foix, qui collabora à la construction de l'Escurial.

Qui croirait que la Poésie, la Musique et les Mathématiques vont ensemble ? Cette alliance se rencontre cependant souvent et Jean-Baptiste Mercadier offrit cette singularité de se faire remarquer à la fois dans les Arts et dans les Sciences, non seulement en simple dilettante, mais en praticien et théoricien richement doué.

Jean-Baptiste Mercadier était né le 18 avril 1750 à Bélesta, dans le Pays d'Olmes. Son père était secrétaire de François de Cambon, dernier évêque de Mirepoix. Il lui fit apprendre les lettres, les langues anciennes car il voulait en faire un homme d'Église. Mais le jeune Mercadier montra bientôt plus de goût pour les Sciences exactes que pour la Théologie. On raconte d'ailleurs qu'il se procurait des livres de mathématiques avec l'argent que lui donnait une vieille tante dont il était l'enfant gâté et qu'il allait seul, à l'insu de son père, dans une maisonnette isolée qui faisait partie du patrimoine de la famille, et que là, dans cette petite bibliothèque improvisée, il étudiait la géométrie et l'algèbre.

La reconnaissance d'une vocation

Lorsque ses goûts si décidés pour la Science furent connus, on envoya le jeune Mercadier au Collège royal de Toulouse, en 1771, pour y terminer ses études. Il en sortit deux ans après, laissant à ses professeurs une grande impression de son aptitude aux Mathématiques. Dans les archives de

ce Collège, on témoigna par écrit de la manière dont il avait suivi les cours pendant deux ans : "Il est familier avec les courbes algébriques et avec le calcul différentiel, disait son professeur de Mathématiques, Gardeil, (certificat du 10 avril 1773). Les principales propriétés du calcul intégral lui sont déjà connues".

Bientôt les rapides progrès qu'effectuait Jean-Baptiste Mercadier faisaient concevoir de hautes espérances de ce qu'il ferait dans la suite. A la fin de ses solides et brillantes études, il fut appelé au poste d'ingénieur du Languedoc et vint s'installer dans son pays natal. Il allait alors demander à ses sites merveilleux des environs de Bélesta, de Lavelanet et de Mirepoix des inspirations artistiques, en même temps que les parties incultes et arriérées de la région devaient lui fournir un sujet de recherches, d'amélioration et de perfectionnement.

Une grande habileté

Mercadier, qui avait de nombreux rapports avec la ville de Mirepoix, où avant sa nomination officielle d'ingénieur, le Marquis de Mirepoix, son grand ami et protecteur, lui confia l'éducation scientifique de ses enfants, fit ses premières armes dans cette cité qu'il ne devait d'ailleurs pas tarder d'habiter avec sa famille. Les nombreux édifices de cette cité épiscopale et de ses environs témoignent encore de l'habileté du jeune savant. Après qu'il eut fourni les plans et devis des travaux que Mgr Tristan de Cambon voulait faire exécuter au château épiscopal de Mazarettes, on lui demanda, en 1779, le plan de l'hôpital de Mirepoix, dont la première pierre fut posée, au nom du prélat, par messire Jean-Jacques de Saint-Jean de Pointis, prévôt de la cathédrale et vicaire général de Mirepoix, le 22 novembre 1780.

En 1784, Mercadier publia un ouvrage sur les ensablements des ports de mer, qui fut couronné par l'Académie des Sciences et imprimé en 1788 sous le titre suivant : "Recherches sur les ensablements des ports de mer et sur les moyens de les empêcher à l'avenir, particulièrement dans les ports du Languedoc". Cette publication contenait une nouvelle théorie touchant les jonctions des rivières et le chemin que suivent les eaux d'une rivière ou d'un étang qui se jettent dans la Méditerranée ou dans certaines parties de l'Océan. Cet ouvrage obtint le prix proposé en 1784 et 1786 par la Société royale des Sciences de Montpellier, au nom des États généraux du Languedoc.

Du talent et du génie

Frappés de l'importance de cet ouvrage, et pensant que l'auteur, par de nouvelles découvertes, pourrait rendre de grands services au pays, les États du Languedoc lui donnèrent la mission de visiter les divers ports du royaume et de l'étranger pour y prendre des instructions sur les digues, les recurements et autres ouvrages. Le jeune ingénieur partit sur un vaisseau que le Gou-



vernement avait mis à sa disposition. Mais la Révolution de 1789, interrompant ces nouveaux travaux, lui en fit naturellement perdre tout le fruit. Il quitta l'Italie, dont il était entrain de visiter les ports, et vint à Foix prendre l'important poste de premier ingénieur en chef du département de l'Ariège qu'on lui avait assigné après la constitution de la France en départements. Pendant la période agitée de la Révolution, surtout à l'époque où la Terreur envoyait aveuglément les français à la mort, les talents nombreux de l'ancien ingénieur de Louis XVI lui avaient servi de sauvegarde. En 1794, la France était en guerre avec l'Espagne et les officiers du génie manquant, l'ingénieur civil fut requis pour en remplir les fonctions en Catalogne. Il s'en tira avec honneur, et la place de Figuières, devant laquelle il faisait ses opérations, étant tombée au pouvoir des français, il put revenir en Ariège reprendre des travaux plus conformes à ses goûts. Il fit une remarquable "Statistique du département de l'Ariège" qui lui mérita les éloges du ministre Chaptal. Son "Système des poids et mesures à l'usage du département de l'Ariège" fut considéré comme un des meilleurs ouvrages du genre. Une simple question départementale lui valut, par sa science et sa netteté, une très grande autorité dans notre région. Il fut en effet le premier qui prouva que dans un pays de montagne comme le nôtre, il était aussi facile qu'avantageux de n'adopter pour les routes qu'une pente réduite, et que, pour l'Ariège, le maximum devait être de quatre centimè-

tres et demi pour un mètre. C'est d'ailleurs Mercadier qui fit, suivant ses principes, le tracé de la route d'Espagne devenue aujourd'hui la route nationale 20. En outre il rectifia le tracé de plusieurs côtes importantes dans le département, entre autres celle du Mas Saint-Antonin à Pamiers et celle de Foix à la Bastide-de-Sérou par la Barguillère.

Un homme utile

Jean-Baptiste Mercadier consacra les dernières années de sa vie à la composition d'une "Histoire des mouvements de la mer", volumineux ouvrage auquel il attachait une grande importance et dont le premier volume seul a été imprimé. Napoléon 1^{er}, suivant une lettre du 3 octobre 1810 de M. Barbier, bibliothécaire de l'empereur, avait examiné avec une attention particulière, ce premier volume.

Mercadier avait doté notre département de nombreux projets de routes dont plusieurs n'ont été exécutés qu'après sa mort. Il fut un homme utile à l'Ariège et à la France, et les étrangers qui visitent nos montagnes peuvent encore admirer quelques travaux d'art dont il traça les plans. Jean-Baptiste Mercadier était un penseur et un savant.

Les revirements de la politique lui suscitérent des changements de situation et un retrait d'emploi. Il ne résista pas au chagrin et mourut, âgé de 65 ans, en janvier 1816.

É B A U C H E

D U N E

DESCRIPTION ABRÉGÉE

DU DÉPARTEMENT DE L'ARIÈGE,

PAR le Citoyen MERCADIER, Ingénieur en
chef des Ponts et Chaussées, Membre du Jury
Central d'Instruction publique et de la Société
d'Agriculture du même Département, et du
Lycée de Toulouse.

IMPRIMÉE ET PUBLIÉE

PAR ordre du Citoyen BRUN, PRÉFET du
Département de l'Ariège.



A FOIX;

De l'Imprimerie de POMIÉS l'aîné, Imprimeur de la
Préfecture du Département de l'Ariège.

PRIMAIRE AN 9.

NOTA. Les renseignemens, mémoires ou
avis que chaque Citoyen voudra fournir,
doivent être remis à l'Ingénieur en chef
à Foix, ou aux Maires des différentes
Communes, qui l'adresseront par la poste
et sous bande au Préfet du Département.

TABLE DES INDICATIONS.

Ancien territoire du Département, page. 1

Ses limites. *ibid.*

De l'Andorre. 2

Son administration. *ibid.*

Ses Tribunaux. *ibid.*

Ses lois. 3

Sa police. *ibid.*

Son sol. *ibid.*

Ses redevances. 4

Ses usages envers quelques villages françois. *ibid.*

Ses ressources publiques. 5

Sa Sujétion à l'Intendant de Perpignan. *ibid.*

Son état actuel. *ibid.*

Origine de ses usages. *ibid.*

Ses limites. 6

Décision sur celles qui la séparent de la Commune de Merens. *ibid.*

Sous-Préfectures et Tribunaux du Département. 7

Son étendue et sa position. *ibid.*

Sa population. 8

Ses contributions. *ibid.*

Sa dénomination. *ibid.*

Ses rivières. 9

Règne animal. 10

Règne végétal. *ibid.*

Sciences et Arts. *ibid.*

Imprimeries. 11

Etymologie du nom du Chef-lieu. 11

Salubrité de l'air. *ibid.*

Variété du sol. 11

Curiosités et recherches naturelles 12

De l'agriculture. 13

Abus des défrichemens et privation des engrais. *ibid.*

Inconvéniens qui en résultent. *ibid.*

Des communaux des montagnes. 14

Ceux qui ont été partagés devoient être rendus au public. *ibid.*

Droit de dépaissance qu'il conviendrait d'établir pour les réparer. 14

Des communaux de la plaine. . 15

Ils ne devoient pas être divisés. 16

Des prairies. *ibid.*

Abus qui en diminue le produit. 17

Règlement à désirer pour détruire ces abus. 18

Des bois. *ibid.*

Leur rareté. *ibid.*

Ses causes. *ibid.*

Cherté du bois. *ibid.*

Coupes extraordinaires qui ont été faites dans les forêts. 19

Dégradations des bois taillis par les dépaissances. 20

Leur destruction par les incendies 21

De leur culture. *ibid.*

Espèces d'arbres qu'on trouve dans les bois. 22

Des mûriers. *ibid.*

Des plantations aux bords des routes. *ibid.*

Etendue des bois du Département. 23

Rareté des forêts de haute-futaie. 23

Soins des propriétaires pour remédier à la rareté des bois. . 24

Pillage qui rend ces soins inutiles 24

Mesures à prendre pour le faire cesser. 25

Culture des terres dans la partie montagneuse du Département. 25

Loi à désirer concernant les défrichemens. 26

Des feniens. *ibid.*

Culture des terres dans la plaine. 26

Des vignes. *ibid.*

Leur propagation. 27

Leur culture. *ibid.*

Des vignes en hautes. 28

Des vignes en espalier. *ibid.*

Des vignes plantées parmi des pierres entassées. *ibid.*

Des terres labourables. 29

Des prairies artificielles. *ibid.*

Du lin, du chanvre, de la cire et de l'huile. 30

Moyens dont on se sert pour travailler la terre. 31

Des fossés pour l'écoulement des eaux. *ibid.*

Des défrichemens le long des rivières. 32

Des réparations offensives à leurs bords. 32

Du droit d'alluvion. 33

Réparations des terres dégradées par les eaux. *ibid.*

Des chevaux. 34

Commerce de bœufs. 35

Fronage et beurre. *ibid.*

Différentes espèces de bœufs. *ibid.*

Commerce des moutons. 36

De leur laine. *ibid.*

Des laines qui entrent dans le Département. 38

Des laines d'Espagne. *ibid.*

Des manufactures de draps. *ibid.*

Fabriques de droguets. 40

Fabriques de chapeaux. *ibid.*

Fabriques de peignes. *ibid.*

Tanneries. *ibid.*

Règne minéral. 42

Mannes. *ibid.*

Poterie. *ibid.*

Faïence. 43

Tourbes. *ibid.*

Houille. *ibid.*

Mines de jais. 44

Ardoise. *ibid.*

Carrières de plâtre. *ibid.*

Pierre de taille de grès. *ibid.*

Pierre de taille calcaire. *ibid.*

Chaux. 45

Marbres. *ibid.*

Pierres à rasoir et pierres de touche. *ibid.*

Amiante et asbeste. 46

Alun. *ibid.*

Substances volcaniques. *ibid.*

Des mines métalliques. 47

Mine d'or. *ibid.*

Paillettes d'or. *ibid.*

Mines d'argent. *ibid.*

Mine d'argent et de plomb. . 48

Belle mine de plomb. *ibid.*

Plombagine. *ibid.*

Mines de cuivre. *ibid.*

Mines de fer. *ibid.*

Exploitation des mines de Rancé. 49

Leur abondance. *ibid.*

Leurs filons. 50

Leur état présent. *ibid.*

Danger de les perdre. *ibid.*

Projet d'une nouvelle galerie. *ibid.*

Secours nécessaires pour l'ouvrir. 51

Mines hématites. *ibid.*

Mines spathiques. 52

Manganèse et aimant. *ibid.*

Mines de fer micassées. *ibid.*

Des Forges du pays de Foix. . 53

Avantages qu'elles offrent. *ibid.*

Munière de fine du fer foix. . 54

Des trompes. 55

De la nature de leur vent. . . 56

Moyen de le produire avec peu d'eau. 57

Perfectionnement dont les forges du Département sont susceptibles. 57

Obstacles qui s'y opposent. *ibid.*

Moyens économiques de les élever. *ibid.*

Forge d'expérience à établir. . 58

Autres usines du Département. 59

Énumération des curiosités naturelles. 60

Eaux thermales et minérales. . 62

Eaux salées. *ibid.*

Vieux châteaux. 63

Édifices remarquables. 64

Grandes routes. 65

Mauvais état de la plupart des ponts. 66

Chemins vicinaux. 67

Des ports sur les montagnes. . *ibid.*

Navigation. 68

Sur le Salat. *ibid.*

Sur l'Ariège. 69

Idee d'un nouveau canal. 70

A V I S

AUX HABITANS DU DÉPARTEMENT

DE L'ARIÈGE.

LORSQU'ON a voulu faire quelque description un peu étendue des différentes contrées de la France, les auteurs n'en ont demandé les matériaux qu'à quelques personnes dont le hasard a pu leur procurer la connoissance dans chacune de ces contrées, et qui, le plus souvent, n'ont mis aucun intérêt à répondre à leurs vues, ou même qui n'en avoient pas les moyens. Aussi les mémoires qu'on a pu obtenir par cette voie étoient-ils pour la plupart incomplets et infidèles. Les ouvrages qui ont résulté de ces secours trompeurs n'ont pu donc être exempts de fautes et d'omissions, et néanmoins ils ont été copiés par les Géographes, qui ont écrit après leur publication. C'est pourquoi l'on n'a encore aucune description de ce vaste pays qui ne soit très-défectueuse. Le Gouvernement, pour en avoir une plus exacte, a demandé celle de chaque Département en particulier, dans laquelle il désire qu'on offre « des renseignemens certains sur les productions » naturelles et industrielles du Département, et sur leurs » quantités présumées, année commune; sur les différens » objets d'exportation et d'importation dont se compose » son commerce; sur les manufactures, fabriques et » autres établissemens quelconques d'utilité publique; » sur l'état actuel de l'industrie et des arts; sur la » quantité de terrains perdus et qui pourroient être » rendus à l'agriculture par des canaux de dessèchement » ou d'irrigation; sur les améliorations possibles dans » les différentes parties; sur les mœurs et usages des » habitans du Département; sur les restes des monumens » des Romains, tels que canaux, aqueducs, fontaines » publiques; sur les différentes machines hydrauliques » destinées à élever les eaux ou à les diriger; enfin, » sur tout ce qui se trouve d'utile, d'intéressant, de » remarquable dans le Département, sous quelque rapport » que ce puisse être ».

Si ce travail n'étoit confié qu'à une seule personne dans chaque Département, il seroit à craindre que les inconvéniens qu'on vient de remarquer ne se renouvellassent. Pour éviter d'y retomber, il faut, autant qu'il est possible, que cette description soit l'ouvrage de tous les habitans du Département qu'elle concerne.

Mais pour les mettre à portée d'y contribuer, et pour utiliser les renseignemens qu'ils peuvent fournir, il paroît convenable que quelqu'un leur présente une esquisse de la description à laquelle ils doivent concourir; qu'il recueille les instructions qu'ils lui donneront et qu'il en fasse la rédaction.

C'est la tâche que j'entreprends aujourd'hui de remplir pour le Département de l'Ariège. J'offre donc aux Citoyens qui l'habitent l'esquisse d'une description de cet intéressant Département, qui sans doute est bien éloignée de la perfection, mais qui par leurs secours pourroit en approcher de très-près, et je les invite à m'indiquer les défauts, les inexactitudes et les omissions qu'ils y trouveront. Je profiterai des avis qu'ils voudront bien me donner, et je tâcherai de mettre de la précision et de la clarté dans la rédaction de leurs idées, ce qui me paroît suffisant pour une description particulière.

Si ma proposition a le succès que j'ai lieu d'en attendre, et que l'on suive la même marche dans tous les autres Départemens, il n'est pas douteux qu'une bonne plume ne s'empare de toutes les descriptions particulières qu'on en fera, et qu'elle ne donne une Géographie générale de la France, qui sera l'ouvrage le plus intéressant, le plus utile et le plus complet qui ait jamais paru en ce genre, et qui peut-être sera bientôt imité pour les autres pays par les Nations qui les habitent.

(...)

On fait en général trop peu de fossés pour l'écoulement des eaux ; et ce qui le prouve d'une manière incontestable, c'est que souvent des pièces de terre qui ne portoient rien, ont été très-fertiles lorsqu'elles ont été traversées par un grand chemin bordé de fossés.

Des fossés pour l'écoulement des eaux.

Les fossés seroient encore d'une très-grande utilité sur les terrains qui ont beaucoup de pente, si on les faisoit presque horizontalement et de distance en distance, en contournant les coteaux, pour en diviser la surface en bandes ou zones d'une petite largeur, placées les-unes au dessus des autres. Chaque zone n'auroit alors à supporter que les eaux qui y tomberoient immédiatement du ciel, et qui n'auroient pas la force d'en emporter les terres. Ces fossés, à-peu-près parallèles entr'eux, iroient aboutir à un ravin commun conduit par une ligne droite ou courbe du sommet du coteau à sa base dans l'endroit le plus ferme et le moins susceptible d'être dégradé.

On pourroit dans des terrains précieux, mettre ces bandes par échelons et amphithéâtre, en faisant les fossés étroits dont le fond fût couvert d'un pavé de cailloux ou de pierres plates et dont les bords fussent revêtus de murs de pierres sèches. Il n'y auroit plus d'excavations ni d'éboulemens à craindre ; les terres seroient conservées et la pente même de chaque bande seroit fort diminuée. C'est à-peu-près de cette manière que sont arrangées quelques vignes de la Catalogne, et l'on pourroit sans difficulté excepter les terrains ainsi disposés, de la loi qui fixeroit les degrés de la pente pour les défrichemens.

C'est toujours avec avantage qu'on divise par quelque fossé presque horizontal les terres en pente d'un coteau. On garantit ainsi la partie inférieure, qui d'ordinaire est la plus fertile, des eaux et des décombres de la partie supérieure, qui le plus souvent est inculte.

Une loi qui seroit fort utile, ce seroit celle qui défendrait les défrichemens le long des rivières jusqu'à une certaine distance, comme à cinquante ou cent mètres de leurs cours, dans toutes les parties où leurs lits ne seroient pas fixés par des rives ou des bermes d'une solidité reconnue. Il arrive souvent que par un intérêt mal entendu, les cultivateurs défrichent les terres les plus voisines des environs des rivières, et les exposent ainsi à être emportées par les premières crues. Nous en avons rapporté des exemples.

Des défrichemens le long des rivières.

Il y a des propriétaires qui, distraits par les occupations d'une profession quelconque, négligent de défendre les terres qu'ils ont au bord d'une rivière, tandis que d'autres au contraire ne cherchent qu'à s'agrandir en écartant les eaux par des réparations offensives. Les possessions des premiers sont dès-lors attaquées et quelquefois emportées, ou réduites à si peu de chose, avant même qu'ils s'en aperçoivent, qu'elles ne valent plus la peine qu'on les conserve.

Des réparations offensives à leurs bords.

Il semble que le droit d'alluvion devrait être supprimé ou au moins modifié, et qu'un particulier qui a perdu une partie considérable de son terrain par le ravage d'une rivière, devrait être autorisé à le reprendre et à remettre les eaux dans leur premier lit, sur-tout lorsque ce lit auroit été déjà redressé avant les dégradations. Ce seroit le moyen de faire remédier aux écarts des rivières redressées sans qu'il en coûtât rien à la République. Le propriétaire ne perdrait plus alors ses possessions par le caprice des eaux ou par la négligence de ses fermiers, et l'on ôteroit

Du droit d'alluvion.

aux voisins avides l'envie de faire des réparations offensives, qui devraient toujours être prohibées lorsqu'elles nuisent aux possessions d'autrui.

Lorsque les eaux ont emporté la bonne terre d'une possession, et n'y ont laissé que du gravier, il est quelquefois facile de leur faire réparer ce dégât. Quelques agriculteurs font dans ce cas, de distance en distance, de petites levées entre lesquelles les eaux troubles des inondations vont déposer le limon dont elles sont chargées. Les nouvelles terres formées par ce moyen, peuvent donner de très-bonnes récoltes; mais en les labourant, on s'expose à les voir de nouveau emportées. On doit y planter des arbrisseaux d'osier, de saule, ou d'autres bois, qui en préservant la surface de la terre de l'érosion des eaux, favorisent les atterrissemens et fournissent du bois, dont on peut faire usage pour cuire le pain, la chaux, le plâtre et la brique.

Reparations des terres dégradées par les eaux.

Cette méthode, si l'on donne un peu plus de solidité aux levées, peut servir à former des atterrissemens aux bords de la mer, et à étendre les plages qui la contiennent. Ces plages pourroient produire de bons paturages, qui en fixant la surface des sables, pourroient empêcher les vents d'en porter dans les ports et les rades où ils sont très-nuisibles. Comme nous sommes éloignés de la mer, nous abandonnerons cet objet pour nous renfermer dans ceux qui intéressent l'agriculture de notre Département, parmi lesquels les bestiaux méritent particulièrement notre attention.

L'histoire du Languedoc par Dom Vaissette (*) fait mention des superbes haras qui étoient aux environs de Mazères, du tems du célèbre Gaston-Phébus, XII.^e Comte de Foix, sous Charles VI. On voit aussi dans cette histoire, ainsi que dans celle d'Olhagaray (**), qu'en 1390 lorsque Charles étoit à Toulouse, y fit venir Phébus, l'équipage de celui-ci étoit de six cents beaux chevaux, et que le roi étant venu à Mazères, Phébus chargea la cour de présens tant en chevaux qu'en objets rares et magnifiques. Il y est aussi parlé des grands présens que Gaston fit à l'armée que le roi envoya en Languedoc contre le duc de Lancastre, et des superbes chevaux qu'il donna au duc de Bourbon, au retour de cette armée. Les comtes de Foix qui étoient souverains, avoient avec l'Espagne, en partie occupée par les Maures, des relations qui pouvoient leur donner la facilité de se procurer des étalons de barbarie, qui étoient d'une belle espèce. Mais il faut que cette race se soit perdue ou qu'elle ait bien dégénéré. Il n'y a plus de haras dans le Département, et l'on n'y voit guères que de petits chevaux foibles et mal faits. Les poulains que donnent ordinairement nos jumens, sont ordinairement d'un bas prix. C'est pourquoi on leur fait porter le plus souvent des mulets, qui sont d'une beaucoup plus grande valeur. On pourroit continuer de profiter, de la même manière, de cette espèce rabougrie.

Des chevaux

Mais on devoit aussi élever des chevaux d'une belle race, qui avec le tems pourroit se répandre dans tout le Département. Un particulier qui a ici de belles immensités

(*) Tome IV, pag. 197 et suivantes.
(**) Pag. 293 et suivantes.

(...)

démolies et remplacées par des objets d'agrément, ainsi que tout ce qui avoit été fait dans le principe pour le fortifier.

Le château de Foix est situé au pied d'un rocher qui anciennement étoit presque inaccessible, et que Philippe-le-Hardi fit escarper en 1272 pour en faire le siège. Roger-Bernard, IX.^e Comte de Foix s'y étoit réfugié, après avoir pris et détruit, de concert avec le Comte d'Armagnac, celui d'Antpouy ou de Sompouy, que Geraud de Casaubon avoit mis sous la protection de ce monarque (*). Le rocher dont on vient de parler est placé au confluent de l'Ariège et du Larget. Son sommet est couronné de trois tours en pierre, l'une ronde, les autres carrées, toutes bien conservées et sur-tout la première. A côté de ce même rocher, vers le nord, on voit de grandes masses qui en sont tombées, ou qui en furent détachées par les travaux qu'ordonna Philippe-le-Hardi, et qui encomrent les bords du Larget.

On ne fera pas ici l'énumération de tous les châteaux du Département. Plusieurs ont été brûlés ou démolis dans le cours de la révolution, et entr'autres celui de Canac, bâti par Gaston-Phébus. Ceux de Mazères, de Montaut, Manvesin et Formes, qui ont été bâtis par le même Comte de Foix, n'ont rien de remarquable.

Les autres édifices du Département ne méritent pas non plus une grande attention. On peut distinguer néanmoins, 1.^o le clocher gothique de la ci-devant Cathédrale de Mirepoix : sa flèche est une pyramide octogonale très-déliée et d'une belle élévation, dont les murs, qui n'ont qu'environ deux décimètres d'épaisseur, sont hérissés sur tous les angles d'une sorte de consoles ou de modillons qui ont une grande saillie ; 2.^o la ci-devant église cathédrale de Pamiers, qu'on dit avoir été bâtie sur les dessins de Mansard ; 3.^o le pont de Mirepoix, à sept arches en pierre d'environ vingt mètres d'ouverture, construit d'après les principes du célèbre Perronet, et quelques autres ponts en pierre, faits depuis un petit nombre d'années. Le pont de Foix à deux arches en pierre, sur l'Ariège, fait ou commencé dans le douzième siècle par Roger dit Bernard-le-Gros, et achevé ou refait dans le quinzième siècle par Gaston fils de Jean, et de Jeanne d'Albret (*), est un ouvrage qui seroit très-commun pour le tems actuel, mais qui étoit considérable pour le tems où il fut construit.

Edifices remarquables.

Nos grandes routes sont assez nombreuses. La principale est celle de Toulouse à Pignerol, qui traverse le Département sur plus de cent mille mètres de longueur. Elle est fort importante pour le commerce d'Espagne, d'où nous tirons de la laine et du numéraire, et où nous envoyons des bestiaux, des étoffes, des toiles, de la cire, des merceries et quelquefois du grain. Elle n'est faite que jusques à Ax, et ensuite ébauchée jusqu'à Merens. Il seroit d'autant plus à désirer qu'elle fût continuée et bientôt finie, qu'elle pourroit être par-tout construite sur des pentes fort douces. Cette route a un embranchement à Sabart au-delà de Tarascon, qui conduit à Vicdessos et aux grandes minières dont nous avons parlé.

Grandes routes.

Les autres routes sont celles qui conduisent de Bayonne ; par St.-Girons, par Foix ou par Pamiers, et par Mirepoix, tant à la ligne de la poste de Toulouse à Montpellier, qu'au canal du midi et aux divers ports de la méditerranée

et qui ont des embranchemens pour Castelnaudary, pour Limoux et pour Carcassonne ; celle de Foix à Toulouse, par Lesat ; celle de Toulouse à Montlibre par Mirepoix, avec des embranchemens pour Chalabre et pour Tarascon ; celle de Toulouse en Espagne, par St.-Girons et quelques autres. Toutes ces routes ne sont faites que sur environ quatre cents kilomètres de longueur et il en reste à peu près autant à faire pour les compléter. Elles sont utiles en général pour le commerce avec l'Espagne, dont nous avons déjà parlé et pour celui de l'intérieur, pour le service des forges et des autres usines, pour celui de l'agriculture, pour la circulation des troupes et pour la correspondance. Mais leur utilité ne pourra se faire bien sentir que lorsqu'elles seront achevées, et c'est alors que le produit des barrières sera considérable. au lieu qu'il est très-modique aujourd'hui qu'il n'y a pas de ligne de chemin d'une certaine longueur, qui ne soit interrompue par des parties qui ne sont pas encore commencées. Telles sont, 1.^o la route de Toulouse en Espagne, qui n'est ouverte que jusqu'à une petite distance au-delà de Merens ; 2.^o celle de St.-Marty à Carcassonne, qui est interrompue sur la plus grande partie de la distance de Sabarat à Pamiers ; 3.^o celle de St.-Girons à Tarascon, qui n'est que légèrement tracée, depuis Massat jusqu'à Sarat ; 4.^o celle de Foix à Toulouse par Lesat dans les vallons de l'Argensal et de la Lèze, où il n'y en a que quelques parcelles qui sont près d'être achevées.

Les parties mêmes qui avoient été faites sont pour la plupart extrêmement dégradées, faute d'un entretien régulier depuis plusieurs années. Celles de Foix à St.-Girons, et de St.-Girons à Massat sont tout-à-fait ruinées ; celle de Mirepoix à Faujaux est devenue impraticable hors des limites du Département, et force les charretiers de passer par Toulouse pour aller de Foix à Carcassonne et de faire ainsi quatre journées de chemin au lieu de deux.

Mauvais état de la plupart des ponts.

Mais la principale cause qui nous prive d'un grand nombre de communications, c'est le défaut ou le mauvais état de la plupart des Ponts. Celui de Tarascon sur l'Ariège, qui est en bois, a son plancher presque pourri. Celui de Pamiers, aussi en bois, sur la même rivière est tombé depuis peu. Celui de St.-Girons, qui est en pierre, s'est écroulé en partie, et les voitures n'y passent plus. Il en est beaucoup d'autres qui sont hors de service. Il y en a même qui n'existent qu'en projets sur des routes qui sont faites et qui par cette raison restent inutiles, au moins lorsque les eaux sont grosses. Tels sont ceux de Canon et de Roumenggoux sur le Lers, où sont interrompues nos communications avec les villes de Chalabre et de Limoux, du Département de l'Aude, remarquables par leur commerce et par leurs manufactures ; et ceux de St.-Paul et de Prat, sur les petites rivières de Sios et de Covarèze, qui interceptent quelquefois les routes de Tarascon à Lavelanet, et de St.-Girons à St.-Marty.

(*) Hist. des Comtes de Foix, par Olhagaray, pag. 62 et 363.

H

(*) Hist. du Béarn par Marca, pag. 77, et hist. gén. du Languedoc par D. Vaissette, tom. IV, pag. 7.

Les chemins vicinaux sont encore dans un très-mauvais état. Cependant ils sont absolument nécessaires pour l'agriculture et le commerce, qui exigeroient qu'on les réparât avec soin. Malheureusement les Communes ont été depuis quelques années dans l'impossibilité d'y faire quelques dépenses, malgré la bonne volonté que quelques-unes en avoient, parce qu'elles n'ont pas eu la faculté d'imposer les sommes qui auroient été nécessaires pour cet objet.

Chemins vicinaux.

Les routes traversent quelquefois une chaîne de montagnes à l'endroit le moins élevé et le plus commode de son sommet. Ces passages, qui ont proprement le nom de cols, ont celui de ports dans ce pays, où ils sont en grand nombre. Le port de Puy-maurin, sur la route de Toulouse à Puicerda, est le plus important de tous, soit à cause de l'utilité de la route, soit parce qu'il est facile à passer et peu sujet à la neige. Après celui-là,

Des ports sur les montagnes.

le plus fréquenté est celui de Salau, qui conduit de Soix à Balagner et à Tortose, par la vallée de la Noguera Pallaresa. Ceux d'Aula, de Leziou, d'Ustou, de Laléc, et d'Aulus, conduisent dans la même vallée. Ceux d'Orle et de la Hourquette servent pour aller de St-Girons à la vallée d'Aran. Il y en a plusieurs dans l'intérieur du Département, tels que ceux de Marmare et de Paillères au passage de Tarascon et d'Ax à Quérigut, et celui de Lirs sur la communication de Viadessos à Aulus.

(...)

La Vie du Corps des Ponts et Chaussées

Formation continue E.N.P.C.

ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES D.F.C.A.I. 28, rue des Saints-Pères 75007 Paris Tél. 260.34.13. et 260.14.80

ouvrages d'art		Responsables
l'exécution des fondations et appuis mardi 27 au jeudi 29 avril 1982	paris	M. François BAGUELIN LCPC M. Georges-Yvon FENOUX SOLETANCHE M. Angel MILLAN SETRA
structures, géotechnique, matériaux		
les injections lundi 3 au vendredi 7 mai 1982	région parisienne	M. Jean LACOUR SIF-BACHY M. Bernard POUPELLOZ LRPC Est Parisien
les problèmes particuliers de terrassements mardi 15 au vendredi 18 juin 1982	l'alpe d'huez	M. Marc SCHAEFFNER LCPC M. Yvan SIFRE Entreprise RAZEL Frères

Mission de la Recherche

COLLOQUE

TRAVAILLEURS DU TRANSPORT ET CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES

résultats de recherches en sciences humaines

avec la participation de :

M. FITERMAN, Ministre d'État, Ministre des Transports
M. CHEVENEMENT, Ministre d'État, Ministre de
la Recherche et de la Technologie

Palais des Congrès de Versailles 1, 2 et 3 juin 1982

pour tous renseignements D. IATTONI 589.89.27 poste 266

PRÉSENTATION THÉMATIQUE
DU COLLOQUE

"TRAVAILLEURS DU TRANSPORT ET CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES

*résultats de recherches
en sciences humaines"*

Les changements technologiques transforment tous les jours le contenu des tâches des différents travailleurs. Ils le font, selon les périodes, à des rythmes rapides ou lents, en bouleversant ou en infléchissant l'utilisation de connaissances, de méthodes et de postures de travail. Dans les transports, ces mutations ne manquent pas de produire des effets similaires à ceux des autres secteurs. Mais le caractère distinctif du secteur (métiers ambulants, importance stratégique reconnue) semble donner une collaboration particulière au résultat de ces bouleversements.

L'objet de ce colloque est d'essayer de démêler le général et le particulier dans ces résultats. On y présentera l'état des recherches en sciences humaines portant sur l'évolution et la permanence des systèmes professionnels dans les transports.

Le colloque est organisé en six demi-journées thématiques. Chacune d'entre elles est composée de trois à quatre inter-

ventions d'un quart d'heure. Cela permettra de consacrer plus de la moitié du temps à la discussion.

Chaque demi-journée sera animée par un président de séance et des discutants choisis pour leur compétence dans le domaine évoqué.

L'ensemble des contributions vous sera communiqué pour le 10 mai en même temps que les informations pratiques concernant l'organisation du colloque.

Les frais qui vous sont demandés (F 250 T.T.C.) comprennent l'envoi des contributions et d'une synthèse des débats ainsi que les frais des déjeuners.

programme

Section I - *LES POINTS NODAUX DES SYSTÈMES DE TRANSPORTS*

Section II - *LES ÉVOLUTIONS DANS LA DIVISION DU TRAVAIL*

Section III - *CHANGEMENTS DES POSTES ET CHARGES DE TRAVAIL*

Section IV - *CONTENU DU TRAVAIL ET IDENTITÉS PROFESSIONNELLES*

Section V - *RUPTURE DES SYSTÈMES PROFESSIONNELS ET SEGMENTATION MARCHÉS DU TRAVAIL*

Section VI - *RECHERCHES EN SCIENCES HUMAINES ET TRANSFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ : SYNTHÈSES DE RÉSULTATS ET ORIENTATIONS POSSIBLES DE LA RECHERCHE DANS LES TRANSPORTS.*

COMMUNIQUÉ

1^{er} COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA PERSUASION SOCIALE

PARIS 10-11 DÉCEMBRE 1981

Les actes complets du premier colloque international sur la persuasion sociale, organisé par l'École nationale des Ponts et Chaussées, et qui s'est tenu à Paris les 10 et 11 décembre 1981 sous la présidence de Michel Le Net, viennent d'être publiés.

Cet ouvrage présente la totalité des conférences des experts français et étrangers du colloque. Il étudie les campagnes d'information dans le monde, les méthodes, les fondements, les légitimités et les limites de la communication sociale.

Y figurent, par ailleurs, les réflexions des dirigeants politiques français sur le rôle et l'importance qu'ils accordent à ce nouveau et prestigieux moyen de gouvernement, dont l'emploi exige tout particulièrement précaution et compétence.

Ce livre (format 15 x 21, 352 pages) est disponible à l'E.N.P.C., 52, rue Madame 75006 Paris, tél. : 544.73.80 (140 F, franco 165 F). Renseignements, tél. : 567.55.44 p. 4648.

DÉCISIONS

M. Michel **BLEITRACH**, I.P.C., est, à compter du 1^{er} novembre 1981, placé en service détaché pour une période de cinq ans, éventuellement renouvelable, auprès de la Société Nationale ELF AQUITAINE (SNEA) en qualité de Chef de Département à la Direction Chimie et Développements Industriels (Branche Habitat). Arrêté du 10 janvier 1982.

M. Pierre-Alain **ROCHE**, I.P.C., est, à compter du 1^{er} septembre 1980, placé en service détaché pour une période de deux ans éventuellement renouvelable auprès du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Arrêté du 10 janvier 1982.

M. Jacques **CARTIGNY**, I.P.C., à la Direction des Affaires Économiques et Internationales, est mis à la disposition de la Commission des Communautés Européennes à compter du 15 janvier 1982. Arrêté du 11 février 1982.

Melle Michèle **CYNA**, I.P.C., à l'E.N.P.C., est, à compter du 1^{er} février 1982, affectée au C.E.T.U.R., en qualité de Chef du Département des Études Générales. Arrêté du 11 février 1982.

M. Claude **LIEBERMANN**, I.P.C. à la Direction de la Construction sera, à compter du 1^{er} janvier 1982, pris en charge par la Chambre Régionale de Commerce et d'Industrie "Ile de France". Arrêté du 12 février 1982.

M. Jean-Paul **PAUFIQUE**, I.C.P.C., en service détaché auprès de l'Établissement Public pour l'Aménagement de la Ville Nouvelle de l'Isle d'Abeau, est, à compter du 1^{er} septembre 1981, réintégré dans son administration d'origine en vue d'un détachement auprès de la S.N.C.F. Arrêté du 16 février 1982.

M. André **DELORME**, I.G.P.C., en service détaché, est, à compter du 6 février 1982, réintégré dans son administration d'origine et désigné comme Membre de l'Inspection Générale de l'Équipement et de l'Environnement. Arrêté du 19 février 1982.

M. Jacques **LECLERCO**, I.P.C., en service détaché auprès d'E.D.F., est maintenu dans la même position pour une période de trois ans auprès de cet organisme. Arrêté du 22 février 1982.

M. Michel **CROC**, I.P.C. en service détaché auprès d'Aéroport de Paris, est, à compter du 1^{er} avril 1982, réintégré pour ordre dans son administration d'origine en vue d'un détachement auprès de la Société du Métro de Marseille en qualité de Directeur Technique. Arrêté du 3 mars 1982.

M. Michel **MERLIN**, I.P.C. en service détaché auprès de la S.N.C.F., est, à compter du 16 mars 1982, réintégré dans son corps d'origine et affecté au S.T.B.A., en qualité de Chargé de Mission auprès du Directeur. Arrêté du 12 mars 1982.

M. Olivier **BONNIN**, I.P.C., est, à compter du 25 août 1981, placé en service détaché pour une période de deux ans auprès du Bureau Central pour les Équipements d'Outre-Mer. Arrêté du 22 mars 1982.

M. Christian **BOIREAU**, I.P.C., est, à compter du 1^{er} septembre 1980, placé en service détaché pour une période de cinq ans éventuellement renouvelable auprès de la Compagnie Nationale AIR-FRANCE. Arrêté du 23 mars 1982.

M. Jacques **MEARY**, I.P.C., est, à compter du 1^{er} février 1981, placé en service détaché pour une période de cinq ans éventuellement renouvelable auprès de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Lyon, en qualité de Directeur de la Concession des Aéroports de Satolas et de Bron. Arrêté du 23 mars 1982.

M. Jean-François **MAQUET**, I.P.C., est, à compter du 1^{er} septembre 1981, placé en service détaché pour une période de cinq ans éventuellement renouvelable auprès de la Société Française d'Études et de Réalisations Maritimes, Portuaires et Navales (S.O.F.R.E.M.E.R.) en qualité de Directeur Général. Arrêté du 23 mars 1982.

M. Marcel **RAYNALT**, I.P.C., est, à compter du 12 janvier 1981, placé en service détaché pour une période de cinq ans éventuellement renouvelable auprès de la Compagnie Nationale AIR-FRANCE. Arrêté du 23 mars 1982.

M. Antoine **AUQUIER**, I.P.C., à la Direction des Ports et de la Navigation Maritimes, est, à compter du 1^{er} mai 1982, placé en position de disponibilité pour convenances personnelles pour une période maximale de deux ans. Arrêté du 24 mars 1982.

M. Gabriel **SCHREIBER**, I.P.C., en service détaché, est, à compter du 1^{er} avril 1982, réintégré dans son administration d'origine

et placé en position de disponibilité pour convenances personnelles pour une période maximale de deux ans. Arrêté du 24 mars 1982.

M. Jean **GRAUJEMAN**, I.C.P.C., est, à compter du 15 juillet 1981, placé en service détaché pour une période de cinq ans, éventuellement renouvelable, auprès de l'Établissement Public chargé de l'Aménagement de la Ville Nouvelle de l'Isle-d'Abeau, en qualité de Directeur. Arrêté du 25 mars 1982.

M. Jacques **LUGIEZ**, I.C.P.C., est, à compter du 1^{er} avril 1982, placé en position de disponibilité pour une période de trois ans éventuellement renouvelable une fois pour une durée égale auprès de la Société "VIA-FRANCE", en qualité de Directeur Général Adjoint. Arrêté du 25 mars 1982.

M. Paul-François **BURSAUX**, I.P.C., est, à compter du 15 avril 1982, placé en position de disponibilité pour une période de trois ans éventuellement renouvelable une fois pour une durée égale, auprès du Gouvernement d'Intérêt Économique ELIS, en qualité de Directeur Général Technique. Arrêté du 25 mars 1982.

M. Maurice **TRICHARD**, I.P.C., en service détaché auprès de la Société Nationale de Construction de Logements pour Travailleurs (SONACOTRA), est, à compter du 1^{er} avril 1982, réintégré dans son corps d'origine et affecté à la Direction du Personnel. Arrêté du 25 mars 1982.

M. Jean-Claude **DROIN**, I.C.P.C., en service détaché auprès du Ministère des Relations extérieures, au titre de la Coopération Technique (Maroc), est, à compter du 7 mars 1982, réintégré dans son corps d'origine et affecté à la Direction des Affaires Économiques et Internationales (service des Actions Internationales). Arrêté du 25 mars 1982.

M. Jacques **MARVILLET**, I.P.C., Directeur Départemental de l'Équipement de l'Ardèche, est, à compter du 1^{er} avril 1982, réintégré dans son corps d'origine et affecté au Conseil Général des Ponts et Chaussées en qualité de chargé de mission auprès du Vice-Président. Arrêté du 25 mars 1982.

M. Louis **COURAUD**, I.C.P.C., Chef de la Mission des organismes techniques à la Direction du Personnel, est, à compter du 15 mars 1982, affecté à l'Inspection Générale de l'Équipement et de l'Environnement pour recevoir une mission d'Inspection Générale. Reste chargé provisoirement de la mission des organismes Techniques. Arrêté du 25 mars 1982.

M. Pascal **DOUARD**, I.P.C., à la Direction Départementale de l'Équipement du Gard, est, à compter du 1^{er} avril 1982, mis à disposition du Ministère de la Recherche et de la Technologie en qualité de chargé de Mission auprès de la Direction du Développement Scientifique et Technologique et de l'Innovation (DDSTI).
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Bernard **WALLISER**, I.P.C., en service détaché auprès du Ministère de l'Économie et des Finances - Direction de la Prévision - est, à compter du 1^{er} mai 1982, réintégré dans son corps d'origine et affecté à l'E.N.P.C., en qualité d'enseignant chercheur au sein du Département d'Économie et Sciences Sociales.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Bernard **CHEVENEZ**, I.P.C., chargé du Service de la Planification et des Études Générales à la Direction Départementale de l'Équipement de la Haute-Savoie, est, à compter du 15 mars 1982, chargé de mission auprès du Directeur Départemental de l'Équipement de la Haute-Savoie.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Dominique **TESSIER**, I.P.C., à la Direction des Affaires Économiques et Internationales, est, à compter du 1^{er} avril 1982, affecté à la Direction du Personnel en qualité de Chargé de Mission auprès du Chef de la Mission Informatique.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Pascal **GIRARDOT**, I.P.C., à la Direction Départementale de l'Équipement du Doubs, est, à compter du 1^{er} mai 1982, affecté à la Direction Départementale de l'Équipement de Seine-et-Marne, pour y être chargé de l'Arrondissement Territorial Ouest, en remplacement de M. BEAUBAT.
Arrêté du 16 avril 1982.

NOMINATIONS

M. Robert **PIERRON**, I.C.P.C., chargé de mission auprès du Directeur Régional de l'Équipement "Lorraine", est, à compter du 1^{er} février 1982, nommé Adjoint au Directeur Régional de l'Équipement "Lorraine".
Arrêté du 11 février 1982.

M. Pierre **FARRAN**, I.P.C., Adjoint au Directeur du C.E.T.E. de Bordeaux, est, à compter du 1^{er} mars 1982, nommé Directeur du C.E.T.E. de Nantes.
Arrêté du 15 février 1982.

M. Alain **MASSON**, I.C.P.C., à la D.D.E. du Nord, est, à compter du 1^{er} mars 1982, nommé Directeur du C.E.T.E. d'Aix-en-Provence.
Arrêté du 15 février 1982.

M. Gérard **BLACHERE**, I.G.P.C., Membre attaché au C.G.P.C., est, à compter du 11 février 1982, nommé Président de la Section "Marchés et Travaux" du C.G.P.C.
Arrêté du 18 février 1982.

M. Jean-Claude **BATAILLEY**, I.P.C., chargé du Service de l'Urbanisme à la D.D.E. du Tarn-et-Garonne, est, à compter du 1^{er} janvier 1982 nommé au sein de la même direction, Adjoint au Directeur et reste chargé du Service de l'Urbanisme.
Arrêté du 19 mars 1982.

MUTATIONS

M. Jean **GUILLOT**, I.P.C., à la Direction de la Construction, est, à compter du 1^{er} mars 1982, muté à la D.D.E. de la Seine-Maritime, pour y être chargé de l'Urbanisme Opérationnel et Construction.
Arrêté du 3 mars 1982.

M. François **DELARUE**, I.P.C., à la D.D.E. de Saône-et-Loire, est, à compter du 1^{er} mars 1982, muté à la D.D.E. de Seine-et-Marne pour y être chargé de la Division Urbanisme Opérationnel.
Arrêté du 3 mars 1982.

M. Didier **CHAPPET**, I.P.C., au C.E.T.E. de Lyon, est, à compter du 1^{er} juillet 1982, muté à la Direction Départementale de l'Équipement de Haute-Savoie en qualité de Chef du Service de la Planification et des Études Générales en remplacement de M. CHEVENEZ.
Arrêté du 25 mars 1982.

RETRAITES

M. Robert **BONNAL**, I.G.P.C., Président de Section au C.G.P.C., est, à compter du 11 février 1982, admis sur sa demande à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 22 octobre 1981.

M. Roger **OUVRARD**, I.C.P.C., à l'Inspection Générale de l'Équipement et de l'Environnement, est, à compter du 26 juin 1982, admis à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 22 mars 1982.

M. André **LE GUEN**, I.G.P.C., à l'Inspection Générale de l'Équipement et de l'Environnement, est, à compter du 15 août 1982, admis sur sa demande à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 24 mars 1982.

M. Jacques **FAUDON**, I.G.P.C., en service détaché auprès du Ministère des Relations Extérieures - Banque Européenne d'Investissement, est, à compter du 2 juillet 1982, réintégré dans son corps d'origine et admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 25 mars 1982.

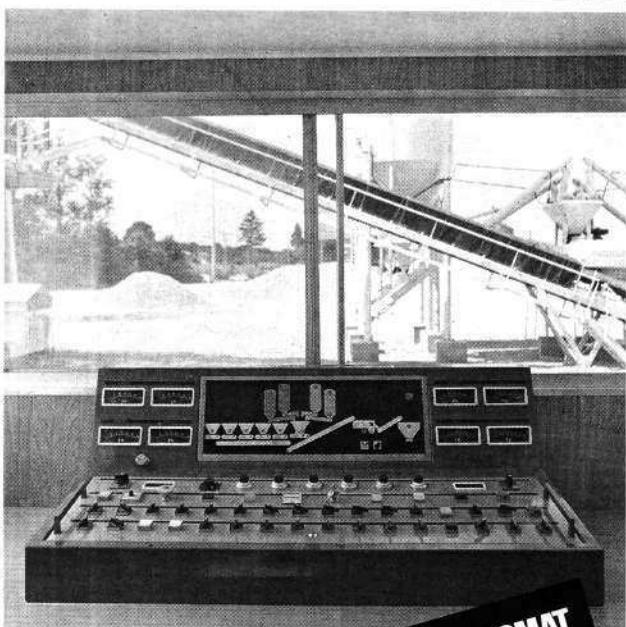
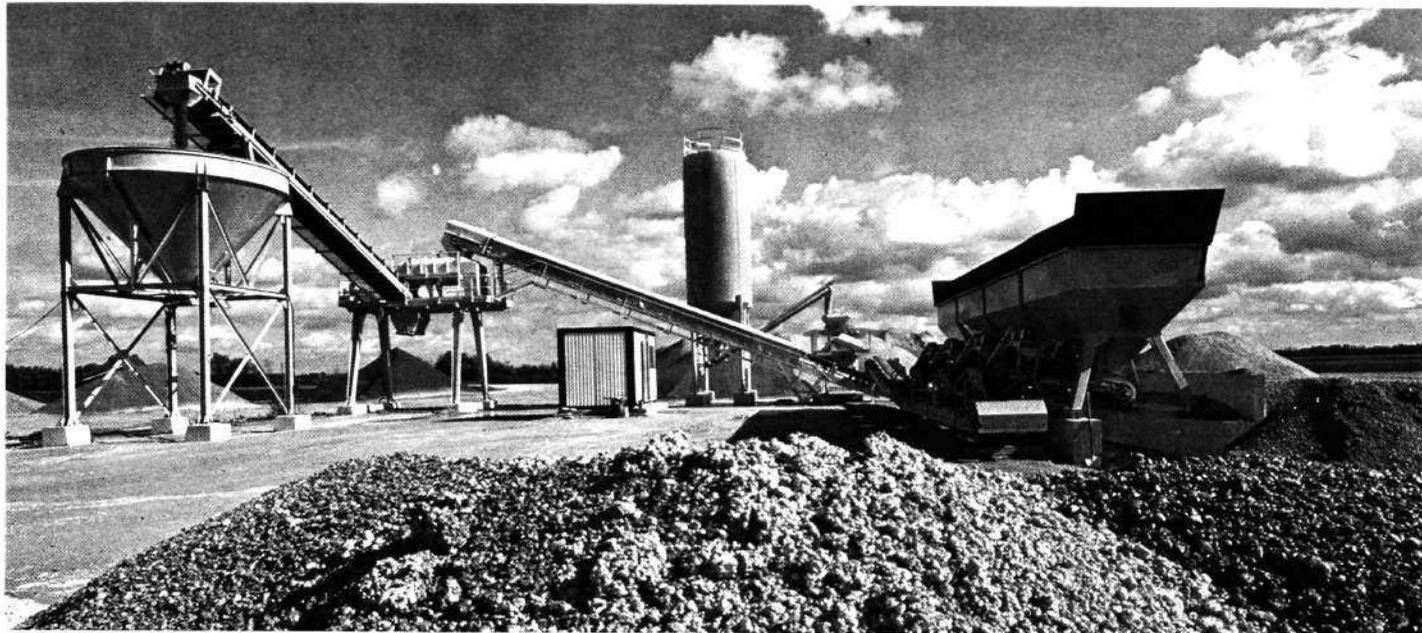
M. Georges **BABLON**, I.G.P.C., à la Direction des Ports et de la Navigation Maritimes, est, à compter du 2 juillet 1982, admis sur sa demande à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Jacques **DESCHAMPS**, I.G.P.C., à l'Inspection Générale de l'Équipement et de l'Environnement, est, à compter du 22 août 1982, admis à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Marchel **TRENTI**, I.G.P.C., à la Direction Départementale de l'Équipement du Val-de-Marne, est, à compter du 2 juillet 1982, admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Jacques **GRUOT**, I.C.P.C., en service détaché auprès du Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer, est, à compter du 1^{er} juillet 1982, réintégré dans son corps d'origine et admis sur sa demande à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 25 mars 1982.

M. Hubert **HARDY**, I.G.P.C., au Conseil Général des Ponts et Chaussées, est, à compter du 2 juillet 1982, admis sur sa demande à faire valoir ses droits à la retraite.
Arrêté du 25 mars 1982.



Les installations mobiles et semi-mobiles de production pour les composants de matériaux de construction rendent les gros chantiers

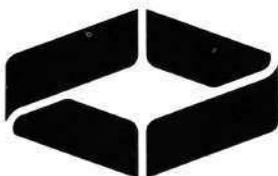
- plus fonctionnels
- plus rapides
- plus rentables

L'approvisionnement direct des gros chantiers en composants de matériaux de construction par les installations mobiles de production TECHNIFRANCE présente des avantages décisifs:

- Diminution des frais de transport, grâce à un raccourcissement des parcours et à un nombre réduit des véhicules
- Adaptation à courte échéance de la production au besoin actuel grâce à un contact direct entre les chantiers et la production de béton
- Qualité élevée constante grâce à une prise instantanée du béton
- Déroulement continu du travail sans égard aux problèmes de transport et de circulation.

**Nous serons présents à EXPOMAT
Hall H, Stand No. 510, Allées B et 1
En extérieur:
Allée W bloc 01 et 01 bis**

Les installations mobiles de production pour les composants de matériaux de construction veillent à une rentabilité optimale durant tout le délai de construction, car elles sont déplacées rapidement et facilement à l'endroit le plus favorable à chaque fois.

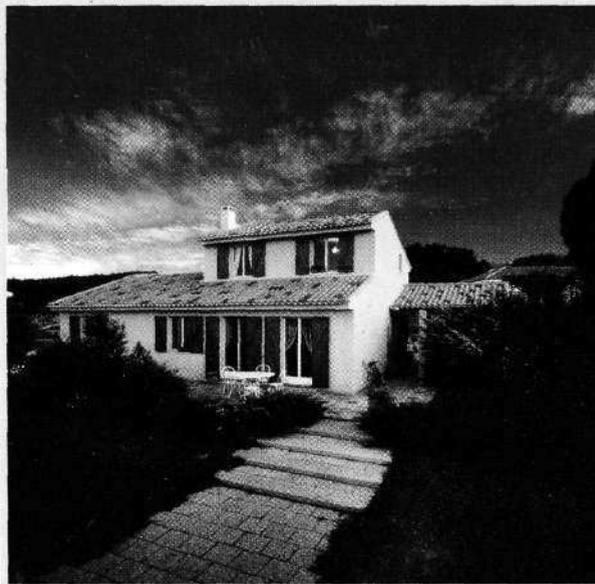


Technifrance

**Tour Galliéni 1
78-80 Avenue Galliéni
93174 BAGNOLET CEDEX
Téléphone (1) 360.12.12
Télex technifr 220 634 f**

Derrière le crépi provençal, un matériau plus résistant que la pierre.

Notre force: une technique. Regardez la «Durance» en Provence. Elle semble avoir toujours été là. Pourtant ses murs sont bien d'aujourd'hui. Ils sont en béton armé-vibré, le béton dont on fait les barrages. Ils sont solidaires d'une charpente d'acier. Une armature qui vous met à l'abri. Nos matériaux: nous utilisons pour leurs performances l'acier et le béton. Ils rendent inaltérables les fondations et le gros-œuvre. Nous sommes en avance en matière d'isolation: (Lauréat concours Hot 1985). Nous sélectionnons pour leurs qualités naturelles des matériaux régionaux: la tuile, le bois, le carrelage se prêtent à des finitions parfaites. Notre méthode: nous bâtissons à partir d'éléments systématiquement testés et contrôlés en usine. Nous construisons avec



des équipes professionnelles. Nous assurons les finitions avec les artisans de la région. Notre technique est rigoureuse: achats groupés des composants élémentaires, sélection régionale des produits destinés au second œuvre nous assurent d'excellentes performances dans 3 domaines: qualité/prix/délais. Notre technique est simple: nous rationalisons toutes les étapes de la construction. Nos délais, sont courts, nos chantiers sans histoires. Notre technique est souple: nos maisons régionales démontrent sa capacité à s'adapter à vos besoins. Nous vous construisons une maison bien de votre temps et bien dans sa région. Elles sont plus de 130000 à prouver aujourd'hui la supériorité de notre technique: une technique d'acier.

PHENIX. POUR QUE CHACUN AIT SA MAISON

MAISON PHENIX
70, av. de la Grande-Armée, 75850 Paris Cedex 17, Tél. 574.99.99
Sans engagement de ma part, je désire recevoir gratuitement
la documentation de ma région. Nom: _____
N°: _____ Rue: _____ Ville: _____
Code postal: _____ Tél.: _____
Je cherche un terrain à: _____
Je possède un terrain à: _____

