

CONVENTION P. ET T.
Département de la Guyane

**ÉTUDE DE L'AGRESSIVITÉ
DES SOLS ET DES EAUX
DE LA VILLE DE CAYENNE**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

INSITUT FRANÇAIS D'AMÉRIQUE TROPICALE



!

ETUDES SUR L'AGRESSIVITE DES SOLS ET DES EAUX

à CAYENNE (GUYANE FRANCAISE)

Le problème tel qu'il se pose à Cayenne

Il résulte d'une constatation de fait :

Quelques mois à peine après l'achèvement des travaux de construction de canalisations en béton, dans l'avenue du Général de Gaulle à Cayenne, destinées à recevoir des câbles téléphoniques, l'Administration des Postes et Télécommunications observait une détérioration rapide des ouvrages. (voir plan de localisation, Planche I).

Appelés en consultation dès septembre 1961, nous avons pu observer, notamment dans les "caissons", sortes de chambres de visite, des alvéoles de corrosion affectant le béton du fond sur plusieurs millimètres de profondeur, voire plus d'un centimètre, par exemple au caisson du carrefour Avenue Général de Gaulle, rue Voltaire. Les parois paraissaient intactes, encore que souillées de traînées ferrugineuses. Quant aux débouchés sur les caissons des canalisations multi-tubulaires, leurs orifices étaient érodés et, corrélativement, des traînées de carbonates témoignaient de la décomposition du ciment. Les produits étaient entraînés par la circulation des eaux, collectées à partir de la nappe phréatique, mais aussi en provenance de réseaux d'égouts, eux-mêmes soumis aux pulsations de la marée (voir carte, Planche II).

../..

Quelques analyses d'eau, faites alors, ont révélé des teneurs en calcium anormales, même compte tenu de l'invasion évidente des caissons à marée haute par de l'eau de mer en provenance du Canal Laussat. La présence de sels marins était contrôlée par une conductibilité électrique élevée. Plus inquiétante encore était la teneur en ions SO_4 , il est vrai 23 fois moins forte que pour les eaux de la nappe en bordure du Canal Laussat, mais pourtant 10 fois plus forte que celle des eaux de source, comme à Baduel, ou de puits forés en roche décomposées, sans revêtement de ciment.

Des témoins en plomb, immergés dans ces caissons, ont eux aussi montré quelques mois plus tard (Mai 1962) des piqûres de corrosion et, dans un cas, une alvéole d'environ 1,5 cm de diamètre, sur 2 à 3 mm de profondeur masquée par un dépôt de carbonate de calcium.

Enfin a été observée, en traînées sur les parois et en amas plus localisés sur le fond du "caisson Voltaire" une matière organique filamenteuse très riche en oxyde ferrique, qui laissait supposer une activité bactérienne non négligeable.

Des faits analogues nous avaient été antérieurement soumis dès 1960 à propos des travaux de fondation du nouvel hôpital de Cayenne. De même nous avons été consultés en 1961 au sujet de puits à revêtements en ciment, à la maison forestière du Tour de l'Île (puits destiné à l'alimentation d'une villa) et au Guest House de Rochambeau (puits destiné à l'alimentation d'une piscine).

Dans tous les cas, les mesures de pH accusaient une alcalinité anormalement élevée des eaux, notamment dans les puits à revêtement de Portlands ordinaires (pH entre 9 et 12) alors que les eaux des nappes dans les sols provenant de la désagrégation des roches cristallines offrent des valeurs de pH autour de 5, et souvent moins. C'est donc que les ciments ordinaires souffrent de l'agressivité du milieu naturel.

A Cayenne-ville, et pour ce qui regarde spécialement les canalisations enterrées destinées à recevoir des câbles téléphoniques, où les risques de corrosion des métaux s'ajoutent à ceux de la dissolution des ciments, le problème est aggravé du fait, d'une part de l'extrême variété des sols et sédiments, d'autre part de l'influence de la marée qui renouvelle à chaque haute mer les eaux des égouts et de la nappe en ions Cl et SO_4 , particulièrement agressifs.

En outre, comme il s'agit d'une ville sous climat chaud et humide, il faut envisager le rôle important, dans l'agressivité globale du milieu, des acides organiques et de l'activité bactérienne.

L'approche d'un tel problème, déjà abordé par M. THIEBAUD (1) Chimiste à l'I.F.A.T., au sujet de l'agressivité des eaux du sol sur les bétons, nécessitait une série d'études préliminaires qui constituent le plan présent du rapport.

Titre I - "La Corrosion" : revue des données classiques sur le problème général de la corrosion, telles qu'on les recueille dans la bibliographie. Autant qu'il est possible les exemples sont tirés de l'ensemble des travaux exécutés en Guyane par les chercheurs de l'Institut Français d'Amérique Tropicale ;
par M. BOYÉ, Sédimentologue à l'I.F.A.T.

Titre II - "Note pédologique" ; mettant en relief les différents types principaux de sols et leur évolution par l'étude des données recueillies sur la chimie des eaux et des sols ;
par A. LÉVEQUE, pédologue à l'I.F.A.T.

Titre III- "Etude sédimentologique de l'axe Banlieue Sud" consacrée aux projets de travaux Rue Félix Eboué et Route Nationale n° 1 ;
par M. BOYÉ, Sédimentologue à l'I.F.A.T.

Titre IV - Recherches microbiologiques et sur les acides organiques :
par KAUFMANN, Maître de Conférence à la Faculté des Sciences de Caen.

EN ANNEXE : Deux notes techniques établies par des spécialistes de la lutte contre la corrosion.

- Mr HERZBERG, Directeur technique de la Société NEOBITUM, 11 Brd Roger Salengro à MANTES (S.& O.)
- Mr FERE, Ingénieur à la Société TREFIMETAUX, 254 rue du Maréchal Leclerc, Saint Maurice(Seine)

La coordination de l'ensemble des travaux et les consultations auprès des différents spécialistes ont été assurées par Mr DEFOSSEZ, Chef de la Section Géologie, II^e Division Scientifique de l'O.R.S.T.O.M.

Titre I

LA CORROSION

DEFINITION, FACTEURS ET METHODES D'ETUDES

I.- LA NOTION DE CORROSION

Lorsqu'un métal ferreux rouille par oxydation ferrique, ou bien qu'un ciment se désagrège par dissolution de la chaux, la notion de corrosion évoque à la fois une transformation du matériau et une perte de matière qui aboutissent à la dégradation et éventuellement à la destruction d'un ouvrage. En première approximation l'on pense aux effets d'actions chimiques. Il en est de même pour le géologue ou le minéralogiste qui observe par exemple l'altération des silicates dans les roches cristallines.

Or comme l'indique l'éthymologie latine (cum rodere) la corrosion est le résultat d'actions concurrentes, complexes, qui exigent en même temps :

- Une affinité du matériau attaqué pour telle modification de son équilibre chimique et de sa structure moléculaire ou atomique;
- Un réactif d'attaque, "substances corrosives", qui peut agir par voie chimique directe mais aussi par ses propriétés physiques;
- Enfin un certain nombre de conditions variables : température, humidité, charges électriques ou encore influences du milieu biologique.

Prenons deux exemples simples :

1 - La corrosion de bétons à ciment Portland

Dans son étude sur l'agressivité des eaux en Guyane, M. THIEBAUD (1) a fait des essais de laboratoire sur deux témoins de béton identiques en poids et en composition, à base de ciment Portland, 315, marque "Hermès", d'une teneur de 66,5% de Ca O.

Ces témoins, grossièrement concassés et introduits, séparément, chacun dans un flacon jaugé, ont été plongés, l'un dans de l'eau distillée (pH = 6), l'autre dans de l'eau de la nappe phréatique (pH = 5,3). Après de courtes agitations, suivies de larges repos, l'équilibre des pH fut atteint à pH 12,15, après 6 jours dans les deux cas.

Les mesures de la chaux dissoute ont montré que l'eau de la nappe présentait sensiblement le même pouvoir dissolvant que l'eau distillée : 4,85% du poids du ciment mis en oeuvre dans le béton.

L'agressivité d'une eau acide, telle qu'on en trouve dans les sols granitiques de Guyane, sur le Portland est donc démontrée. C'est un phénomène chimique simple.

Mais quand on sait que les eaux de mer, ou bien les eaux de marécages littoraux riches en sulfates ou sulfures, tendent à attaquer les ciments riches en chaux, alors interviennent toutes les conditions qui projettent ces eaux sur les ouvrages de surface, ou qui favorisent la pénétration dans les nappes phréatiques de telles eaux agressives pour les ouvrages enterrés. Citons la variation saisonnière des pluies, le coefficient de la marée.

L'action des hommes intervient aussi. Ainsi, lors des travaux de fouille pour les fondations du nouvel hôpital à Cayenne, on a constaté qu'au niveau de la nappe, vers 5 m de profondeur, le sol accusait un pH plus bas que celui de l'eau. Voici ce que M. THIEBAUD (1) en écrit :

" La remontée de l'acidité de l'eau de pH = 5,3 par rapport à celui du sol au même niveau, pH = 4,95, peut s'expliquer par le fait que l'eau se trouve dans le sol à une pression de 200 gr/cm² et qu'au moment de la résurgence il y a probablement un départ de CO₂ libre dû à la détente provoquée par la mise en équilibre des pressions, et peut-être aussi par une différence de température entre celle de l'intérieur du sol et celle de l'air libre."

On voit donc que les réactions chimiques éventuelles sur un ouvrage en ciment dépendent en bonne partie de l'intervention d'actions physiques naturelles ou artificielles.

2 - La corrosion des métaux

M. R. EVANS (2), qui est considéré par les spécialistes comme "le père de l'anticorrosion moderne", s'est

intéressé spécialement à la corrosion des métaux. Voici comment il définit la corrosion : " toute transformation par laquelle un métal passe de l'état élémentaire à celui de combinaison". Il en résulte, selon cet auteur:

- soit une couche, en film croissant en épaisseur, d'oxyde ou de sulfure en atmosphère sèche;
- soit une solution de chlorure ou de sulfate, si le métal est plongé dans un électrolyte contenant les ions Cl ou SO₄.

Il précise que les réactions filmogènes en général se ralentissent avec l'épaississement du film, qui devient ainsi protecteur. Par contre, sans film, les réactions ne se ralentissent que si le réactif s'épuise, d'où la possibilité d'une corrosion croissante si le réactif est renouvelé.

Il va de soi que toute condition qui favorise le renouvellement des ions agressifs dans l'électrolyte, devient ipso facto cause de corrosion.

De plus, A.J. MAURIN (3) indique que lorsqu'un métal est plongé dans un électrolyte, la discontinuité spécifique de la couche limite due aux défauts du revêtement protecteur, à l'hétérogénéité des oxydes etc... constitue un ensemble poreux perméable à l'eau. Il se crée alors une "infinité de couples Volta microscopiques avec des éléments de métal protégé et de métal susceptible." Il en résulte au total une oxydation par effet statistique d'électrolyse.

Les phénomènes chimiques relèvent dès lors de processus électro-chimiques.

C'est la règle dès qu'un métal est en présence d'eau de mer.

Ajoutons ici, pour illustrer notre propos l'exemple d'un cas particulier cité par A.J. MAURIN (3) : la "tuberculation" des ouvrages métalliques à la mer. Il s'agit d'une modification de l'oxydation par l'action d'une symbiose de bactéries aérobies au contact de l'eau et de bactéries anaérobies, sous l'oxyde de fer qui joue le rôle d'un obstacle à la diffusion de l'oxygène.

Des actions complexes du même genre jouent dans la destruction des peintures sur les carènes de navires.

*
* *

Ainsi, mis à part l'oxydation de métaux à l'air sec, cas relativement exceptionnel, et la dissolution simple de la chaux d'un ciment sous l'effet d'une eau acide d'un sol granitique homogène (cas du puits de la maison forestière du Tour de l'Ile), la corrosion est rarement un phénomène uniquement chimique. En simplifiant on peut dire que la corrosion est un phénomène électrochimique ou biochimique et le plus souvent les deux à la fois, surtout en milieu tropical chaud et humide.

En bref il témoigne de l'affinité des métaux à retourner à l'état de minerais et de la chaux des ciments à s'hydrater. Mais les mécanismes de ces transformations sont complexes et dépendent de l'interaction de nombreux facteurs.

II - LES FACTEURS DE CORROSION

Une étude analytique des facteurs de corrosion nécessite une distinction formelle entre les agents d'une part, et les mécanismes d'autre part, avant que de définir les diverses causes de corrosion dont la classification (présentée en III^o partie) résultera du jeu des uns sur les autres, compte tenu du matériau affecté.

1.- Les Agents de Corrosion

Il sont d'abord d'ordre climatique et plus généralement géographique. Notre problème se situant en zone quasiment équatoriale nous nous bornerons à l'étude des agents climatiques propres à cette zone et aux données de la géographie physique locale puisqu'il s'agit plus précisément de corrosions sur des canalisations enterrées dans la ville ou aux abords de Cayenne.

Ils sont ensuite d'ordre biologique, soit naturels et à ce titre étroitement liés aux agents géographiques, soit artificiels du fait des travaux des hommes, forcément multiples dans une ville.

1.1. Les Facteurs climatiques

1.1.1. L'Humidité

Dans les climats équatoriaux, propices à la croissance de la "forêt de la pluie" (rain forest, des auteurs anglo-saxons) on admet que l'humidité atmosphérique, ou tension de vapeur moyenne, est de 80%. A Cayenne-Rochambeau, la moyenne annuelle serait de 85%.

La nuit, spécialement aux approches du jour, l'atmosphère peut atteindre la saturation.

Dans la journée les valeurs descendent en moyenne vers 65%. A Cayenne-Ville, 60% est une valeur fréquente.

Naturellement, ces valeurs varient avec le cycle saisonnier, sous l'influence de la pluviométrie, de l'insolation, du vent.

Ainsi, des études récentes faites sur l'évaporation à Cayenne (J. FOUGEROUZE 4), montrent deux maxima : l'un durant le "petit été de Mars" (Février, Mars-Avril) en liaison avec les vitesses moyennes maximales de l'Alizé de N.E., même s'il n'y a pas de petite saison sèche sensible; l'autre d'août à novembre, du à la forte insolation de la saison sèche.

Selon M. DARUTY de GRANPRÉ (5) qui s'est intéressé à la tropicalisation des matériels électriques, l'humidité agit sur les matériaux :

- par absorption : tissus, papiers, bois, qui ont des structures fibreuses ou encore matières poreuses ou cellulaires.
- par diffusion directe : certains produits, comme les polyamides.
- par condensation : verre, porcelaine, qui peuvent perdre ainsi de leur rigidité diélectrique.
- enfin par ses variations qui peuvent entraîner des foisonnements de matériaux hygroscopiques ou au contraire des fissurations (cas des vernis d'isolation) qui facilitent la pénétration de l'eau et aussi l'action d'autres agents.

Pour les bétons, écrit KLEINLOGEL (6) : " il est bien connu que dans la majorité des cas, c'est la pénétration de l'humidité qui permet et favorise le développement des processus dangereux. "

1.1.2. - la Pluviosité

Elle intervient aussi directement par l'abondance qui la caractérise en climats chauds et humides.

Nulle part, en Guyane, il ne tombe moins de 2 m. d'eau par an. A Cayenne, il tombe plus de 4 m certaines années et la moyenne annuelle se situe vers 3 m.

La pluie peut agir mécaniquement par flagellation et délavage en même temps, comme cela s'observe sur les briques ou les chaussées en latérite.

J. de JUNNEMANN (7) rappelle que l'eau de pluie, qui contient un peu de CO₂, des traces d'ammoniaque, éventuellement des traces d'acide nitrique (pluie d'orage), est particulièrement agressive sur les bétons frais.

Mais l'alimentation pluviale joue surtout sur celle des nappes du sol. Celles-ci subissent du fait de l'infiltration instantanée et aussi par la variation saisonnière un battement tel que les conditions de l'altération, tant des silicates du sol que des matériaux enterrés par l'Homme, sont alternativement celles d'une hydrolyse ou d'une oxydation.

En outre ces eaux peuvent se charger diverssement en sels. Dans sa zone d'action, l'évaporation peut faire remonter ces sels vers la surface. Pour toutes ces raisons les pH d'un profil du sol peuvent varier de manière très complexe.

Enfin toute variation de l'humidité dans le sol fait varier la conductibilité électrique.

On voit donc que l'humidité, plus encore dans le sol que dans l'atmosphère, préside à l'agressivité tant chimique qu'électro-chimique du milieu.

C'est pourquoi A. KLEINLOGEL (6) pouvait écrire dès 1925 ce conseil au sujet des ouvrages en béton :

" Les nappes et infiltrations douteuses, les eaux d'infiltration et les nappes souterraines doivent être examinées en temps voulu, c'est-à-dire avant le début de la construction, quant à leurs propriétés chimiques, afin de déterminer leur danger ou leur innocuité."

C. RAMBERT (8) rappelle que dans son ouvrage de 1925, A. KLEINLOGEL relevait déjà plus de 1000 facteurs ou influences physico-chimiques touchant à la corrosion des bétons.

1.1. 3. La Température

On sait que les climats équatoriaux se caractérisent par une température moyenne annuelle de 25° et des variations de cette moyenne très faible : quelques degrés - A Cayenne la valeur de 26° peut être retenue.

Les variations diurnes ne dépassent pas 15° . Bien entendu il y a des nuances saisonnières en relation avec la pluviosité. Toutes choses égales par ailleurs les variations sont encore amorties sous couvert forestier.

Les températures des sols dépendent essentiellement de ce couvert forestier. En Guyane par exemple (Renseignement Service Météorologique) on trouve :

- Sous forêt : moyenne de 24° avec minima de 21-22° et maxima toujours inférieurs à 30°
- Sous gazon : moyenne 32°, avec maxima de 45°
- Sol nu : moyenne 35°, avec maxima de 50°

Sol nu et gazon présentent les mêmes minima 25-26°

On voit que le gazon est d'une protection médiocre pour un sol.

Par elle-même la température joue par les phénomènes de dilatation et de contraction. De tels effets, en climat équatorial sont relativement faibles.

En fait elle joue surtout par l'accélération et l'intensification des effets d'autres agents, notamment l'humidité.

1.1. 4. La Rosée

Il s'agit d'une éventuelle corrosion, uniquement atmosphérique, résultant précisément du jeu combiné de la température et de la tension de vapeur d'eau. Elle active surtout l'oxydation des métaux à l'air libre. De ce point de vue, il serait intéressant d'étudier le point de rosée sous forêt, mais on n'a que trop peu de données encore.

1. 2. - Autres facteurs géographiques

Ils sont multiples mais on n'en examinera que deux qui intéressent plus spécialement la Guyane et Cayenne : l'altitude et l'existence d'un littoral marin.

1.2. 1. L'Altitude

Les altitudes modestes rencontrées en Guyane, sauf pour quelques "montagnes" (au plus, 800m) de l'intérieur, n'influent guère sur les températures. Le gradient adiabatique n'est d'aucun intérêt du point de vue qui nous occupe.

Par contre, les influences orographiques sur la répartition des pluies sur le territoire sont très notables.

C'est ainsi que le maximum pluviométrique de la Guyane se localise sur les montagnes de Kaw qui ne dépassent 300 m d'altitude qu'en quelques points. L'isohyète annuelle de 4.200 mm longe la façade Nord de la chaîne orientée parallèlement au littoral, s'étale en losange depuis l'Approague jusqu'à la Rivière Tonégrande et déborde vers le Sud-Ouest, sous le vent des crêtes, pour couvrir le bassin de la Rivière Comana. Il en résulte que la pluviométrie diminue vers le Sud-Ouest dans l'intérieur du pays (effet de continentalité) mais aussi vers le Nord-Ouest le long de la côte, de sorte que Mana et Pointe Isère, aux estuaires communs de la Mana et du Maroni, sont moins arrosées que Maripasoula sur le Haut Maroni.

Inversement la saison sèche est plus marquée sur le littoral, car les pluies n'y sont amenées que par l'Alizé de N.E. humide; tandis que dans l'intérieur l'Alizé de S.E. (sec sur la côte) y est moins sec et relaie pendant la saison sèche l'Alizé humide de N.E.

Du climat plus contrasté des côtes il résulte encore que ce sont les "Terres basses" spécialement au nord des montagnes de Kaw, qui connaissent les plus fortes précipitations enregistrées en 24 heures. Outre le pouvoir érosif de tels abats d'eau, il est évident qu'ils modifient brutalement et localement le jeu de tous les autres facteurs climatiques de la corrosion.

Quant à la ville de Cayenne, relativement abritée de tels excès, sa pluviométrie reste forte, pour une station côtière, en raison des nombreux mornes qui l'entourent.

1.2. 2. L'influence du littoral marin

Pour le cas qui nous occupe elle s'exerce sur trois plans. En premier lieu la région dite de "l'île de Cayenne" est un ancien archipel comaté d'une extrême complexité géologique et sédimentologique. En second lieu cette influence s'exerce à travers les actions de l'air salin et de la salinité de l'eau de mer. Enfin les mouvements de la marée introduisent une donnée mécanique qui joue sur le battement des nappes du sol et sur la chimie de leurs eaux.

Un ancien archipel colmaté : l'existence des Ilets de Remire, la tendance de la barre de vase de la Pointe Acoupa, (embouchure de la Rivière de Kaw) à venir s'y accrocher, montrent aujourd'hui ce que devait être l'archipel Cayennais vers le Quaternaire moyen.

L'échantillonnage lithologique des îles, îlots et écueils d'alors se lit aujourd'hui dans l'extrême diversité des roches qui forment les "mornes" ou collines qui entourent Cayenne (B. CHOUBERT 9)

- diorites et gabbros hyléens du Plateau de Mahury, d'âge précambrien le plus ancien (Pointe de l'Hôpital à Cayenne);
- quartzites et amphibolites de la série métamorphisée dite "de Cayenne" qui forment le Massif de Matoury (le Fort Cépérou)
- migmatites au nord de Bourda et du Montabo (Pte des Amandiers);

- granites guyanais de Montagne Tigre et Carrière du 4^e Km;
- granites plus récents et plus potassiques à la Madeleine;
- Enfin des filons de dolérite, beaucoup plus récents (âge secondaire?) aux Ilets Dupont, à la Pte Buzaret.

Dans la ville de Cayenne des pointements de ces roches affleurent probablement mais l'évolution pédologique les rend méconnaissables tels les latérites des Ilets Malouins (Usine électrique), du Terrain Rebard peut-être, ou encore la cuirasse qui couronne le Mt Baduel.

La sédimentation récente (Quaternaire et actuelle) est encore plus complexe (M. BOYE 10) :

- A l'Eémien (transgression marine de + 10 à 12 m) de puissants cordons littoraux sableux obligent l'Oyac à chercher ses embouchures vers Cayenne, par le Tour de l'Ile. Chaque ile ou ilot est taillé en niveaux soit dans la roche décomposée soit dans les colluvions qui en dérivent. Dans les intervalles la mer redistribue les produits, en sédiments à peine marins puisque leur origine continentale est toute proche (11).
- Au Préflandrien, période de régression de la mer, une violente érosion ravine les dépôts éémiens, mais collines et anciens écueils continuent de déverser leurs colluvions détritiques dans les bas-fonds.
- Au Flandrien (nouvelle transgression de + 5 à 6 m) une sédimentation vaseuse d'un type nouveau et franchement marine dépose les argiles bleues de Demerara qui ennoient le paysage et lui donne à peu près sa configuration actuelle. C'est alors que des bancs de sable régularise la côte d'une ile à l'autre (Cordons de Montjoly, de Susini, de Mirza), tandis que les eaux du fleuve Oyac abandonnent progressivement l'estuaire de Cayenne et se déversent finalement par l'estuaire de Mahury à une date sans doute très récente (Dunkerquien?); en tout cas le chenal du Tour de l'Ile existe encore.
- De nos jours, l'envasement se poursuit mais selon un cycle de 22 ans (11 ans d'envasement - 11 ans de dévasement) en liaison avec l'activité des tâches du Soleil (B. CHOUBERT et M. BOYE 13).

*

* *

../..

Dans de telles conditions il faut s'attendre à d'infinies variations des textures et compositions chimiques des sols de la région et donc à des variations, souvent sur quelques mètres de distance seulement, des pH et des résistivités. L'imbrication entre sédiments marins et colluvions continentales interstratifiées y ajoute des variations verticales. Les granulométries extrêmement diverses règlent la pénétration des eaux de pluie, comme des eaux de mer actuelles.

On conçoit dès lors que les analyses chimiques des eaux des nappes fournissent des résultats déroutants si l'on se contente de quelques sondages.

Salinité des eaux de mer : Air marin à taux d'humidité voisine de la tension de vapeur saturante, vents chargés d'électrolytes ($\text{NaCl} - \text{Mg Cl}^2$) sont des données valables pour tous les littoraux. R. WALLAEYS (14) précise que ces électrolytes étant hygroscopiques ils activent la corrosion chimique, spécialement l'oxydation des métaux. En outre ces dépôts salins sont presque toujours irréguliers, ils'ajoute donc à la corrosion chimique, une corrosion électro-chimique par piles de concentration d'électrolyte et d'oxygène. C'est pourquoi la rouille imprégnée de sels est un facteur d'oxydation continue; même après séchage elle reprend à des taux d'humidité atmosphérique relativement faibles.

Les embruns projettent assez haut sur les rochers comme sur les ouvrages en béton des sels. La moindre fissure est exploitée et le gonflement des sels, quand ils s'hydratent provoque des brisures qui se totalisent et provoquent une alvéolisation. Des exemples s'observent aux pieds de l'Hôtel du Montabo.

Quant à l'eau de mer elle-même, elle constitue une solution électrolytique idéale. On sait qu'elle contient en moyenne 3,5% de sels, sur lesquels il y a :

10%	de	Mg Cl^2
4%	de	$\text{SO}^4 \text{ Ca}$
76%	de	Na Cl
7%	de	$\text{SO}^4 \text{ Mg}$
3%	de	sels divers

Précisons ici que les conditions océanographiques, réalisées sur le littoral de Guyane par l'existence du courant marin à la côte (J. LE FLOCH 15), en provenance des bouches de l'Amazone et véhiculant des eaux d'origine fluviale (Amazone et fleuves du versant atlantique du Bouclier Guyanais), offrent au total des eaux de mer peu salées : 25‰ au maximum, 10‰ dans les estuaires, en saison de pluie. Ce sont de telles

eaux qui influent sur les pH et les conductibilités des eaux de la nappe phréatique à Cayenne.

Influence mécanique de la marée : A Cayenne la marée est semi-diurne (2 PM et 2 BM en 24h.50 min.) les marnages de 3 m en grande vive-eau à 0,80m en grande morte-eau. Les réactions piezométriques de la nappe ne sont pas connues avec précision ; il y faudrait un cycle annuel d'observations car la pluviométrie modifie le phénomène selon la saison. Il en résulte que les mesures de pH et de résistivité, faute de séries assez nombreuses, apparaissent souvent contradictoires.

Toutefois, dans le cadre du présent travail forcément préliminaire, les prélèvements faits le 17 Août 1962, en période de coefficients croissants de la marée (marées de vive-eau) dans des forages pratiqués à proximité des caissons P. et T. de l'Avenue De Gaulle, semblent montrer une tendance des pH à augmenter entre la PM du matin et la PM du soir. C'est très sensible au carrefour rue Arago. Mais nous manquons pour avancer une hypothèse, de mesures en période de morte-eau.

En tout état de cause, il est évident que les sols et les ouvrages enterrés ont à subir, du fait du battement bi-quotidien des nappes, des conditions alternatives d'oxydation et d'oxydo-réduction.

C'est ici qu'apparaissent les facteurs biologiques de la corrosion, lorsqu'on envisage les conditions biodynamiques de la fixation des vases à la côte par les formations végétales de mangroves (M. BOYE 17) et le rôle qu'y jouent les bactéries anaérobies, notamment en matière de réduction des sulfates (A. LEVEQUE 18).

1. 3 - Facteurs biologiques

1.3. 1 - Action des insectes et animaux

Des faits comme les dégâts commis par les tarets sur les carènes de navires en bois, ou par des crustacés lithofages sur les roches calcaires, les balanes, par exemple, sont bien connus.

Divers rongeurs peuvent également endommager, surtout les matières organiques, telles que bois, caoutchouc, textiles.

..//..

On cite aussi, spécialement en pays chaud et humide, les déprédations dues aux cafards (ravets) et aux fourmis, qui savent s'attaquer à des récipients de certaines matières plastiques. Les ménagères de Cayenne connaissent bien leurs méfaits.

Plus redoutables encore, sous tous les climats mais spécialement les climats tropicaux, sont les termites. En Guyane on sait que l'activité destructrice des "poux de bois" est un danger considérable pour tous les ouvrages en bois ou agglomérés. Pratiquement les termites ne respectent que les bois créosotés.

Des essais ont été effectués à leur sujet par l'Institut d'Enseignements et de Recherches Tropicales (Centre ORSTOM) à Adiopodoumé en Côte d'Ivoire (Cit Daruty de Grandpré 5), sur la résistance de diverses matières destinées à garnir les câbles électriques souterrains. Il en est résulté que ce sont les matières plastiques synthétiques (chlorure de polyvinyle) qui résistent le mieux aux termites. Le caoutchouc synthétique polychloroprène se comporte un peu moins bien. Par contre le caoutchouc naturel est rapidement détruit quand il n'est pas protégé par un vernis suffisamment résistant.

1.3. 2. Moisissures et Microorganismes

On sait que les champignons inférieurs trouvent les conditions optima de leur germination dans une humidité relative de 90% à 100% et sous une température de 22° à 33°. La Guyane réunit parfaitement ces conditions, tout au moins à la saison des pluies.

Tout ce qui est matière à base de cellulose et certaines résines synthétiques, les colles de caséine ou de gélatine sont des terrains d'élection pour le développement d'une végétation mycelienne.

Presque toutes les matières filmogènes usuelles (selon J.L. RABATE 19) vernis, peintures etc... sont susceptibles d'altération mycotique.

Il en résulte, par exemple pour les isolants des matériels électriques un abaissement de la résistance d'isolement. Les vernis peuvent être détruits dans leur épaisseur par le développement des colonies mycéliennes fibrillaires, ou seulement ternis. Les peintures changent de couleur.

Des moisissures apparaissent aussi sur les surfaces métalliques, sur les verres d'optique, sur les céramiques non émaillées. Nous avons observé à Cayenne sur des pièces de vaisselle ébréchée, un développement spectaculaire des mycelia entre le vernis de surface et la faïence à partir des ébréchures.

Différentes listes d'espèces-types à utiliser pour des essais en laboratoire ont été dressées. Les familles les plus souvent citées sont *Aspergillus* et *Penicillium*.

En ce qui concerne le rôle joué par les bactéries, on connaît toute une série d'espèces aérobies qui fixent le fer ferrique. En Guyane notamment elles sont responsables du brunissement des vases marines bleues dès qu'on les expose à l'air.

Quant aux bactéries anaérobies il est aujourd'hui admis par tous les auteurs comme démontré que les bactéries sulfato-réductrices, comme "*Vibrio désulfuricans*", sont responsables de la corrosion de canalisations métalliques enterrées.

1.3. 3. - Actions anthropiques

L'intervention de l'Homme, comme agent de corrosion n'est que rarement directe et voulue, mais les influences indirectes qu'il exerce en ce domaine sont d'une infinie diversité à la mesure de son ingéniosité et des inadverstances.

Prenons le cas simple de la déforestation pour la mise en culture d'un sol. Tout le monde sait qu'il y a dès lors risque d'érosion mécanique surtout si les pentes s'y prêtent. En climat fortement pluvieux le risque est majoré.

Ce que l'on sait moins, c'est que l'altération physico chimique des silicates du sol y est brusquement accélérée par le micro-climat que l'Homme provoque. On estime que la décomposition des silicates intéressants par leurs alcalins va de 2 à 4 fois plus vite, en climat tropical humide sur sol nu que sous forêt. L'appauvrissement des sols tropicaux qui est le gros problème des agriculteurs de ces pays réside dans cette intervention et le drame est que la dégradation est irréversible, surtout pour les sols granitiques.

Il est évident que les variations de micro-climat ainsi introduites retentissent sur tout ouvrage enterré, surtout à faible profondeur (câbles - canalisations).

Dans une ville, le réseau d'égouts est indispensable. Mais leur manque inévitable d'étanchéité signifie que les eaux polluées et notamment tous les acides organiques qui s'y trouvent ont chance de contaminer la nappe phréatique. En outre, à Cayenne en particulier, le réseau d'égouts n'a pas été étudié en fonction des risques d'invasion d'eau chargées en sulfates et sulfures en provenance des marais au Sud du Canal Laussat sous l'effet de la haute-mer.

Des techniques de progrès, comme la soudure électrique, le transport d'énergie électrique à haute tension, la traction électrique appliquée aux chemins de fer, sont d'un incontestable intérêt. Or ces appareils ou installations émettent dans le sol, parfois même en dépit des précautions prises, des "courants vagabonds" ainsi appelés parce qu'ils varient en intensité, en direction et même dans les trajets qu'ils parcourent. Les dangers qu'ils représentent sont considérables en matière de corrosion électrolytique dans les zones fortement industrialisées.

Ce n'est pas encore le cas de la Guyane, mais ceci nous conduit à considérer les mécanismes de la corrosion qui se ramènent pour l'essentiel, en ce qui regarde les ouvrages enterrés à des phénomènes électrochimiques.

2. Les Mécanismes de la Corrosion

2.1. - La Corrosion chimique

Elle procède soit d'une dissolution simple qui joue au niveau des molécules, soit de l'attaque par des acides ou des bases qui donnent des sels, eux-mêmes corrosifs soit par agressivité chimique, soit par les contraintes mécaniques qu'ils exercent en gonflant. De plus les sels favorisent indirectement la corrosion d'autant plus qu'ils sont solubles.

Elle procède aussi de phénomènes d'oxydation ou d'hydrolyse.

2.1.1. - Acides - Bases - Sels

Nous reprendrons l'exemple des bétons, le plus simple.

Si les bases les plus courantes, soude, potasse, sont pratiquement sans action sur les ciments, qui sont des

complexes basiques, par contre : "tous les acides à l'exception de l'acide phosphorique sont de puissants destructeurs du béton." (cit Ch. RAMBERT - 8)

L'acide sulfurique et l'acide sulfureux sont les plus corrosifs. C'est pourquoi les gaz de combustion et les fumées, notamment celle des locomotives, sont dangereux. L'acide sulfureux qu'il contiennent, combiné avec l'humidité, s'oxyde pour donner des sulfates.

Or les sulfates sont parmi les sels, ceux qui sont le plus redoutables pour ciments et bétons, tout spécialement le sulfate de chaux dont l'action destructrice est très énergique. Une dose de 500 mgr/litre de $SO_4 Ca + 2 H_2O$ peut provoquer la décomposition de la masse de béton (cit. M. THIEBAUT 1).

J. de JUNNEMANN (7) décrit ainsi le mécanisme :

- a - action physico-mécanique, par pénétration dans les pores du béton, et s'il se produit des alternances de recouvrement et d'assèchement, il y a cristallisation des sulfates avec augmentation progressive de volume et éclatement de l'ouvrage.
- b - action physico-chimique, par formation de sulfo-aluminates de chaux, eux aussi gonflants.

De telles cristallisations de sel double, s'effectuent en petits bâtonnets microscopiques en formes d'aiguilles disposées en étoile autour d'un corps de base; d'où le nom de "bacille du ciment" donné à cette maladie du ciment, bien qu'il ne s'agisse aucunement d'une action biologique.

Naturellement cette maladie affecte surtout les ciments type Portland. C'est pourquoi, en présence d'eaux séléniteuses, d'eaux de marais ou d'eaux de mer, on préconise l'emploi de ciments pauvres en chaux et en aluminates tricalciques tels que les ciments sursulfatés ou à base de laitier (ciment au clinker).

Les sulfates de sodium, de potassium, de magnésium, d'ammonium produisent les mêmes effets.

Parmi les chlorures : Sodium, Potassium, Calcium sont inoffensifs en principe quand ils sont purs, mais ils oxydent le fer des bétons. En fait la moindre impureté peut les rendre corrosifs. Ainsi le chlorure de sodium peut rendre un ciment poreux.

...//...

Ce sont les chlorures de magnésium et de fer qui sont les plus agressifs vis-à-vis des ciments riches en chaux. C'est pourquoi les eaux de mer sont redoutables, de par leur composition moyenne en sels. Toutefois la formation de sels insolubles de carbonates de chaux ou de magnésie peut assurer une protection plus ou moins fugaces des ciments, car Na Cl les attaque.

Enfin l'Anhydride carbonique intervient selon les teneurs des eaux en CO_2 libre. En quantité faible il donne des carbonates de chaux insolubles et protecteurs. En excédent il donne au contraire du bicarbonate soluble et devient cause de corrosion.

2.1. 2. - L'oxydation

U.R. EVANS (2) détaille ainsi les mécanismes de l'oxydation :

- A l'air sec - Aux températures ordinaires il n'y a pas de changement apparent du métal, sauf s'il y a présence d'un composé du soufre dans l'air. L'oxydation est très rapide puis se ralentit du fait du film d'oxyde, même imperceptible, qui fait écran à l'oxygène de l'air. L'oxydation ne peut recommencer que s'il y a fissuration du film.
- Oxygène dissout dans l'eau - Sauf pour les métaux alcalins, alcalino-terreux et le thallium, la corrosion est relativement faible en général sur les métaux car leurs oxydes ou hydroxydes sont peu solubles. Mais elle n'est pas négligeable et dépend du métal.
- Sur le plomb, l'eau pure provoque un réseau lâche de beaux cristaux; il n'y a donc pas protection et la corrosion se poursuit.
- Par contre sur le Zinc, le film protecteur est beaucoup plus largement étalé. Toutefois quelques points restent à nu d'où une corrosion en "piqures profondes".
- Pour le Fer, le mécanisme est plus compliqué car l'oxydation comporte deux stades :
 - 1- formation d'hydroxyde ferreux $\text{Fe}(\text{OH})_2$ sur la surface du métal,
 - 2--formation d'hydroxyde ferrique (rouille) à petite distance, là où l'oxygène est plus abondant dans la solution.

Cela tient à ce que $\text{Fe}(\text{OH})_2$ est beaucoup plus soluble que $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - Il ne se forme donc pas de film à la surface du métal et comme l'hydroxyde ferrique n'y adhère pas, son rôle protecteur est nul.

Quant au rôle essentiel que l'oxygène joue dans beaucoup de phénomènes de corrosion, précisons avec P.LACOMBE (20) qu'il peut selon les cas :

- ou bien jouer le rôle d'inhibiteur en oxydant par exemple les ions ferreux en ions ferriques (C'est ce que U.R.EVANS exprime par le mot anglais "déterrent");
- ou bien, au contraire jouer un rôle d'accélérateur de la réaction de corrosion comme agent dépolarisant.

Mais alors on entre dans le domaine de la corrosion électrochimique.

2.1. 3. - L'Hydrolyse

Elle résulte, on le sait, du comportement électrolytique de l'eau faiblement dissociée en ions OH^- et H^+ . Ce sont les conditions de concentration d'une solution en ions H^+ qui sont exprimées par le pH. Autrement dit une eau est d'autant plus acide qu'elle contient plus de (H^+); inversement elle est d'autant plus alcaline qu'elle contient plus de (OH^-).

La constante d'équilibre $K_e = (\text{H}^+) (\text{OH}^-)$ varie en fonction de la température (Loi de Van t'Hoff) qui augmente le coefficient de dissociation. C'est pourquoi l'efficacité de l'hydrolyse double pour une élévation de température de 10° .

De fait l'hydrolyse consiste en une substitution d'ions H^+ aux cations des édifices cristallins.

C'est ce qui se passe dans la dissolution du ciment par l'eau distillée. De manière plus complexe c'est ce qui produit l'effondrement des silicates des roches cristallines. L'échange d'ions rompt les liaisons cationiques entre édifices polyédriques en SiO_4 et AlO_4 notamment, qui passent en solution de même que les ions alcalins. A son tour la plus grande ionisation suractive l'action des bases et des acides (cf. G. ROUGERIE 21). Au niveau du front d'attaque des roches les solutions s'alcalinisent, mais un lessivage soit oblique, soit par dépression de la nappe, rétablit l'acidité. Il en résulte un jeu très variable du pH.

Il en est de même pour certains vernis ou matières plastiques (cit. DARUTY de GRANPRE 5) que l'hydrolyse ramollit ou même décompose. Il en résulte souvent une élévation de l'acidité qui entraîne à son tour des corrosions.

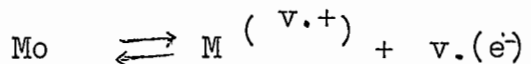
Dans tous les cas on se trouve de nouveau en présence de mécanismes à caractère électrochimique qui jouent à l'échelle ionique.

2. 2. - La corrosion électrochimique

Elle est particulièrement claire dans le cas des métaux.

2.2. 1 - Principes Généraux

" Si l'on met en contact un métal homogène avec une phase liquide ionique elle-même parfaitement homogène tout au long de la surface métal-liquide, écrit R. WALLAEYS (14), le métal a tendance à émettre des ions positifs passant en solution". Il reste alors chargé négativement par ses électrons, dont la charge même tend à s'opposer à l'éloignement des ions positifs. Il s'établit donc un équilibre entre le métal, ses ions et ses électrons. D'après A.J. MAURIN (3) le phénomène peut s'écrire :



M_o étant une électrode d'un métal de valence " v " et polarisée, (e^-) représentant les électrons.

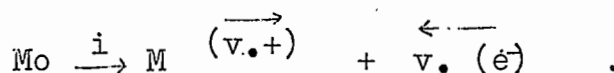
Ce sont les $v \cdot$ charges (+) qui s'opposent aux départ des cathions, lesquels restent adsorbés contre le métal. Et c'est la présence de la couche double électrons/ions à l'interface métal/solution qui crée un potentiel entre le métal et l'électrolyte dit "potentiel d'électrode".

Si un déséquilibre, quelle qu'en soit la cause, amène de nouvelles charges électronégatives, il provoque la libération des cathions qui migrent en accord avec la Loi de Faraday. Sous l'action du courant électrique, M_o perd de la matière : il y a corrosion.

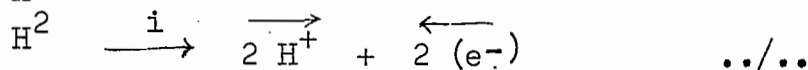
C'est ce qui permet à A.J. MAURIN de définir l'"anode" comme : " ... l'élément corrodé d'un quelconque couple de corrosion et qui tend à capter les électrons."

Cette corrosion demeure stable pour autant que le flux d'électrons se maintient et chaque nouvelle charge $v \cdot (e^-)$ élémentaire libère $M (v \cdot +)$ cathions.

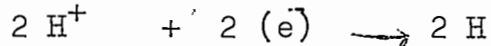
Sous l'action d'un courant "i" le vecteur \vec{i} figure le sens de la migration des éléments en jeu; le phénomène s'écrit



A.J. MAURIN (3) ajoute qu'un schéma identique gouverne la migration des ions H^+



R. WALLAEYS (14) fait observer que le potentiel d'électrode du métal attire l'ion H^+ de la solution qui vient se décharger sur le métal, suivant le schéma



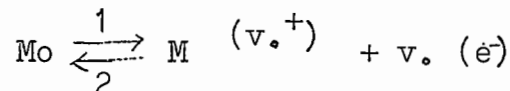
Il arrive que cet hydrogène atomique puisse diffuser à l'intérieur du métal, mais la plus grande partie se combine en hydrogène moléculaire $2 H \rightarrow H_2$, que l'on voit se dégager.

Ainsi R. WALLAEYS fait remarquer : "on voit apparaître ici l'influence du pH ... et l'on comprend que plus la solution sera acide, plus l'attaque sera forte, en accord avec la loi de déplacement de l'équilibre. Elle sera aussi plus rapide parce que le renouvellement d'ion d'hydrogène disponibles au contact du métal sera plus rapide."

C'est pourquoi (cit. P. LACOMBE 20) la plupart des métaux usuels se comportent très différemment selon la chimie des eaux naturelles. Ainsi des eaux fluviales très "dures" c'est-à-dire chargées en calcaire sont moins corrosives pour le fer que des eaux très pures dites "granitiques".

*
* * *

En résumé si l'on écrit l'équilibre sous la forme générale



toute cause qui déplacera l'équilibre dans le sens $\overset{1}{\rightarrow}$ provoquera une corrosion; inversement toute tendance au déplacement dans le sens $\overset{2}{\leftarrow}$ arrêtera la corrosion.

2. 2. 2. Domaines et diagrammes de corrosion

Selon CHAUDRON (cit. J. CHANGARNIER 22), un métal plongé dans un électrolyte peut donc prendre trois états appelés "domaines" :

a - domaine de "passivation" : le métal a un potentiel plus positif que le potentiel de corrosion; il se couvre d'une couche d'oxyde; si elle est uniforme, non poreuse et adhérente, les électrons sont arrêtés et le métal est protégé.

C'est ce qui se produit par exemple (Cit. R. WALLAEYS 14) lorsque le fer ou les aciers inoxydables sont plongés dans une solution concentrée d'acide nitrique et se recouvrent d'une mince pellicule d'oxyde qui arrête l'attaque et confère au métal une résistance à différentes solutions.

b - domaine de "passivité" = Le métal a un potentiel plus négatif que le potentiel de corrosion; il y a alors apport d'électrons à la surface du métal, une gaine continue d'hydrogène s'y forme alors et la dissolution du métal est arrêté.

c - Entre les deux, se trouve de domaine de "corrosion".

Les limites de ces domaines dépendent des potentiels d'électrode (chaque métal a son potentiel normal d'électrode) et du pH de l'électrolyte. Des auteurs comme POURBAIX (23) et A.J. MAURIN (3) ont été conduits à dresser des "diagrammes" de corrosion, par métal. Finalement prévoir l'agressivité d'un électrolyte pour un métal, c'est mesurer le paramètre E (potentiel d'électrode) et le pH.

Des diagrammes du fer et du plomb, par exemple (cit CHANGARNIER 22) on tire les enseignements suivants :

a - Fer : La passivité, en eau pure, est obtenue pour $E = -0,61$ volt (électrode à l'hydrogène) ou $-0,85$ volt (électrode Cu/SO_4Cu).

Pour des pH très alcalins, supérieurs à 12, le fer devient anode et il se forme des ferrites ou des ferrates instables et solubles. Il peut donc y avoir corrosion.

Dans l'eau de mer, riche en ions Cl^- , la passivité est obtenue à des valeurs de potentiel plus négatives ($-0,9$ volts - Cu/SO_4Cu). Cela tient à ce que les ions Cl^- sont dépolarisants, en se combinant avec l'Hydrogène, ils exigent un apport supplémentaire d'électrons pour que la passivité soit atteinte.

b - Plomb : les potentiels d'électrodes influent plus que les pH :

- Pour des potentiels très électropositifs, le plomb pourra être passivé par un film de PbO_2 ,

- En dessous, il y a protection cathodique avec dégagement d'hydrogène;

- Enfin, pour des potentiels encore plus négatifs, il peut se trouver une zone de corrosion cathodique avec formation de plomb métallique finement divisé et un important dégagement d'hydrogène.

.../...

2.2. 3. - La Protection Cathodique

De ces considérations découle le principe de la lutte contre la corrosion par la méthode dite "protection cathodique". Elle consiste essentiellement à imposer à un métal enterré qu'il faut préserver, un potentiel au moins égal à celui de la passivité.

Pratiquement, il en résulte deux grandes catégories de systèmes de protection cathodique (cit. CHANGARNIER - 22).

- a - Protection galvanique par "anode soluble" : Une canalisation métallique enterrée sera protégée si elle est reliée électriquement à un autre métal moins noble, c'est-à-dire avec un potentiel de dissolution plus bas. Ce dernier se corrodera en fournissant un certain ampérage qui assure au métal à protéger les qualités de cathode.

Cette méthode est classiquement employée pour protéger les ouvrages à la mer, les carènes des navires etc..

- b - Protection par "soutirage de courant" : le pôle négatif d'une source de courant continu auxiliaire est relié à la canalisation à protéger, tandis que le pôle positif est relié à une anode en métal ou en graphite, enterrée à une certaine distance. Ce courant partant de l'anode à travers le sol est admis par la canalisation, rendue ainsi cathodique vis-à-vis du sol. La corrosion est répartie sur l'anode artificielle.

Cette méthode est notamment utilisée pour la protection des armatures de béton armé. J. CHANGARNIER indique que les densités de courant à soutirer sont de l'ordre de 1mA au m^2 - Il faut donc que la continuité électrique de tout le ferrailage du béton soit parfaitement assurée et que les anodes ou prises de terre soient enterrées dans un milieu parfaitement en contact avec la structure du béton. Il y a d'ailleurs un risque à éviter, c'est que l'alcalinisation qui se développe autour de la cathode n'amène le métal dans le domaine de corrosion des pH très alcalins.

2.2. 4. - Notions de Corrosion chimique et Corrosion électrochimique

Suivant les auteurs le vocabulaire varie selon qu'ils mettent l'accent sur les mécanismes électrolytiques en jeu ou sur le type de résultat atteint.

../..

R. WALLAEYS (14) par exemple désigne par "Corrosion chimique" celle qui : "... est caractérisée par une attaque pratiquement régulière de toute la surface métallique en contact avec le liquide. On peut considérer que le métal comporte en surface des zones anodiques et cathodiques qui voisinent à l'échelle atomique." L'auteur explique que le jeu des départs d'ions métalliques en solution, laissant derrière eux des électrons excédentaires d'une part, et des décharges d'ions H^+ sur les zones cathodiques d'autre part, provoque une : "..... interversion continuelle des polarités, qui explique l'attaque très régulière du métal."

C'est en définitive ce caractère de régularité de l'attaque qui définirait selon cet auteur la "corrosion chimique" d'un métal.

Par suite, toujours selon R. WALLAEYS, la "Corrosion électrochimique" concerne l'attaque irrégulière des métaux par les liquides ioniques. "Cette irrégularité est due à l'existence de piles localisées sur l'intersurface métal/liquide à l'échelle microscopique, comme à l'échelle macroscopique et qui activent la corrosion chimique (c'est nous qui soulignons) par les courants électriques qu'elles entretiennent."

Comment naissent ces piles ? Elles sont dues soit à une hétérogénéité du matériau attaqué, soit à une hétérogénéité du liquide ionique.

C'est que A.J. MAURIN (3) définit comme "auto-corrosion" lorsque seule la résistance intérieure d'une pile volta est en cause.

Si de plus, l'énergie d'une source extérieure au système, apporte une charge électrique (-) capable de rendre le métal anodique, on a alors "allocalcorrosion" soit provoquée, soit accidentelle (par exemple sous l'action de courants vagabonds), mais toujours artificielle.

Ces distinctions, apparamment subtiles, permettent précisément de dresser une classification des causes de la corrosion.

III .- LES CAUSES DE CORROSION

On distinguera essentiellement deux grandes classes selon qu'il y a hétérogénéité du matériau ou bien du milieu ambiant fonctionnant comme électrolyte, sans dissimuler que le plus souvent les deux données interfèrent. C'est pourquoi nous traiterons à part la corrosion biochimique et l'action des courants vagabonds.

1 - Les cas d'hétérogénéité liée au matériau

En réalité le jeu des facteurs et des mécanismes, qui provoquent une corrosion, dépend de la nature du matériau et donc des préparations que l'Homme lui fait subir. Il faudrait autant de classifications que de grands types de matériau : bétons, métaux, matières organiques et plastiques etc...

1.1. - L'action de l'eau sur les bétons

L'action corrosive de l'eau, sous toutes ses formes (états physiques, compositions chimiques) sur un béton dépend avant tout des possibilités qu'elle a de pénétrer dans la masse. Granulométries mal étudiées, défauts de la compacité au moment de la confection, durcissement insuffisant ou trop rapide, éléments du ferrailage mal enrobés, en somme toute raison qui entraîne porosité ou fissuration devient cause de corrosion.

Le rôle de l'eau commence dès le gâchage. A ce stade les eaux très peu chargées (de pluies, de puits, de rivières) sont les meilleures. Par contre sont à proscrire selon J. de JUNNEMANN (7) :

- les eaux de marécage, à cause des sulfates et sulfures et aussi de la présence d'acide humique qui enroberait les agrégats du béton d'un film d'humates colloïdaux noirâtres et visqueux, cause de porosité et en tout cas susceptible d'une chute de résistance du béton jusqu'à 50% pour quelques % seulement d'acide humique.
- les eaux minérales et thermales, en raison de leur teneur en CO_2 en excès (formation de bicarbonates très solubles) qui provoquerait une porosité.
- les eaux séléniteuses, en raison de l'action des sulfates (gonflement par les sulfo-aluminates) cause de fissuration.

../..

Ces actions sont évidemment beaucoup moins à redouter sur les ciments de laitier, sursulfatés, de trass ou de pouzzolane.

Les techniques de compactage (vibrage, précontrainte) sont destinées à éviter dans la mesure du possible porosité et fissuration.

Le temps de durcissement doit, en dépit de quelques inconvénients, surtout sous climats pluvieux, être suffisamment long pour permettre aux phénomènes de retrait, responsables des fissurations, de se stabiliser. A ce sujet les constructeurs savent que l'on peut admettre une certaine fissuration en raison de phénomènes d'autocicatrisation spontanée par colmatage des fissures du fait de cristallisations à partir de solutions saturées d'hydrate de calcium.

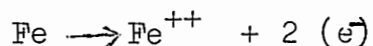
Enfin, dans la "vie" d'un béton, l'action des acides est pratiquement imparable lorsque le ciment est riche en chaux, encore faut-il que l'eau les véhicule dans la masse. A cet égard même en l'absence de porosité et de fissuration, condition idéale jamais complètement réalisée, un enrobage insuffisant du ferrailage d'un béton armé permet l'oxydation des fers, elle même gonflante et en tout cas, ouvre une brèche à la pénétration de l'eau.

1.2. - Les couples galvaniques

Le cas le plus simple est celui de la corrosion d'un métal aux fissures.

1.2. 1 - Corrosion aux fissures

U.R. EVANS (2) a indiqué dans le cas d'une plaque de fer, immergé dans une solution de chlorure de sodium oxygénée, qu'il se forme une croûte relativement épaisse d'oxyde ferrique, en contact d'autant plus étroit avec le métal que l'oxygénation de la solution est élevée. L'oxyde peut devenir protecteur par passivation; mais il se dépose irrégulièrement et pour peu qu'une lacune existe, par exemple par abrasion, cavitation ou du fait de vibrations, la croûte devient cathode et le fer dénudé devient une anode qui se corrode en donnant :



c'est-à-dire une solution sans fin d'ions ferreux qui se combinent avec Cl^- pour donner un chlorure ferreux. Le produit cathodique est Na OH .

Or NaOH et FeCl_2 sont très solubles, la réaction continue du fait du courant et la corrosion électrochimique est plus grave que l'oxydation directe, d'autant plus qu'elle est localisée.

1.2. 2. Couples bi-métalliques

Le schéma est le même si deux métaux sont plongés dans le même électrolyte. R. WALLAEYS (14) prend le cas d'un barreau Zinc, Cuivre. Zn ayant une tension de dissolution plus forte que Cu il émettra dans la solution une quantité supérieure d'ions et sa surface deviendra anode. Cu, au contraire, deviendra cathode et des ions Na se déchargeront sur lui. A l'intérieur du barreau il y aura par suite transport d'électrons du Zn au Cu. Ainsi la réaction ne s'arrêtera qu'avec l'épuisement du zinc, sauf s'il y a arrêt de l'attaque par polarisation due à l'hydrogène à l'état adsorbé. Mais, en ce cas la moindre présence d'oxygène relancera l'attaque par dépolarisation. Cela dépendra du potentiel d'oxydo-réduction de l'électrolyte.

On sait que les métaux ont été classés en série "électrochimique" suivant leur potentiel d'électrode normale. Les métaux "nobles" ont un potentiel d'équilibre électropositif par rapport à l'hydrogène; les métaux les plus corrodables ont un potentiel d'équilibre électronégatif.

Deux métaux de potentiels d'équilibre différents forment donc une pile et le métal anodique se corrode.

De tels couples sont fréquents, par exemple, pour les navires à coques métalliques, l'opposition entre métaux ferreux et pièces en bronze (hélice, arbre, appareils de gouverne) - J. CHANGARNIER (22) cite les réseaux de distribution de propane à canalisations principales en acier et branchements d'abonnés en cuivre qui forment cathode par rapport à l'acier. Dans les canalisations d'eau enterrées en fonte avec boulonnage acier, le couple fer/fonte fonctionne au détriment des boulons d'acier.

Les cas de ce genre sont hautement justiciables de la protection cathodique par anode perdue.

1.3. - Les Causes métallurgiques

P. LACOMBE (20) insiste sur le fait qu'un alliage peut voir son état structural modifié par le temps ou les traitements thermiques subis.

Par exemple un acier inoxydable type 18/8 (fer chrome-nickel) "hypertrempé" c'est-à-dire traité à 1.100° environ, puis trempé modérément à température ambiante, présente une structure microscopique analogue à celle du métal pur. Sa résistance à la corrosion est alors maxima.

Mais si l'état hypere trempé est partiellement détruit par un traitement de "revenu" entre 600 et 900°, l'acier devient sensible à la corrosion intergranulaire, c'est-à-dire à une véritable décohésion. Il se produit en effet une précipitation préférentielle de carbone dans les joints de grains de l'acier et corrélativement la teneur en chrome s'y appauvrit. Le centre du cristal devient cathode et le joint de grain chargé en carbure Cr₄C devient anode. La corrosion anodique y est d'autant plus sévère que la surface de l'anode, un fin liseré, est très petite par rapport à la surface des cathodes voisines.

La corrosion en ce cas est bien de mécanisme électrochimique mais la raison en est avant tout d'ordre métallurgique. Observons qu'en ce qui concerne le plomb, ces faits ne jouent pas, car le métal est systématiquement recuit.

1. 4. - Les Causes mécaniques

P. LACOMBE (20) cite un autre cas de corrosion intergranulaire dont la cause originelle est d'ordre mécanique. C'est le "Season-cracking" des laitons 70-30 (70% Cu, 30% Zn) où l'action combinée de fortes tensions internes dues à un écrouissage à froid et de vapeurs ammoniacales (exemple des douilles de laiton, stockées dans un parc d'artillerie à proximité d'écuries, favorise de manière spectaculaire la corrosion intergranulaire.

J. CHAUVIN (24) note à ce sujet : "qu'un solide métallique n'est pas formé d'un monocristal mais de "grains", La disposition régulière des atomes n'est respectée qu'à l'intérieur du grain. Mais aux limites intergranulaires les atomes sont à un niveau énergétique plus élevé que celui des atomes constituant le métal parfait, car ils sont à des distances interatomiques supérieures aux distances d'équilibre. Par suite, l'énergie à dépenser lors d'une action de corrosion sera plus faible là où le niveau énergétique est le plus élevé. C'est pourquoi lorsqu'un métal est déformé à une température telle que la recristallisation soit impossible, des désordres se produisent qui augmentent le niveau énergétique et donc facilitent la corrosion. Précisons que des phénomènes de ce genre ne sont pas à craindre pour le plomb qui n'a pas de limite d'élasticité.

2 - Les cas d'hétérogénéité liée à l'électrolyte.

Nous en avons déjà donné un exemple, en corrosion atmosphérique, dans l'inégale répartition des électrolytes d'origine marine projetés avec les embruns.

Nous examinerons les deux causes les plus fréquentes l'aération différentielle et l'effet "pile géologique".

2.1. - L'Aération différentielle

U.R. EVANS (2) a démontré que si deux électrodes équipotentielles d'un même métal sont plongées dans une pile cloisonnée contenant un même électrolyte et si l'on aère l'un des compartiments par barbotage, l'électrode de ce compartiment devient cathode, tandis que l'autre devient anode et se corrode.

C'est ce qui se passe dans le cas d'attaque d'une plaque de fer par une goutte de pluie : la partie couverte devient anode et se corrode en "nid" tandis que la périphérie reste cathode.

En somme tout phénomène physique qui permet à l'oxygène d'arriver plus facilement au contact d'un métal, favorise la corrosion anodique des parties les moins aérées. Naturellement l'importance de l'attaque est fonction de la conductibilité de l'électrolyte qui baigne le métal. Mais elle est aussi fonction du rapport des surfaces anodiques et cathodiques.

De tels "courants d'aération différentielle" selon l'expression d'EVANS se produisent fréquemment. L'auteur cite la corrosion aux recoins, là où des corps non conducteurs (verre - pierre - tissus) appuient sur un métal : il y a attaque anodique là où l'oxygène parvient le moins bien.

A cet égard la corrosion des charpentes métalliques par oxydation est aggravée par un effet mécanique de "coin" entre les pièces car l'oxyde de fer occupe un volume très supérieur à celui de l'acier détruit pour le produire.

Sur les ouvrages enterrés, par exemple dans une zone sableuse de granulométrie homométrique soumise aux battements de la nappe dus à la marée (c'est souvent le cas à Cayenne) les variations d'aération peuvent engendrer des changements de polarité.

Plus généralement sur les canalisations une aération différentielle a pour origine un défaut du revêtement protecteur.

En outre lorsque un métal a commencé à s'oxyder il en résulte à la surface des petites variations topographiques qui suffisent à déclencher une corrosion anodique des creux par rapport aux bosses.

../..

2. 2. Les Piles Géologiques

L'effet "pile géologique" est lié à la Loi de Coehn (cit A.J. MAURIN (3)) : " Si deux corps différents sont en contact intime, celui qui présente la plus forte constante diélectrique est électropositif vis-à-vis de l'autre."

Si l'on admet les valeurs moyennes suivantes :

eau du sol;	constante dielectrique	:	environ	80
sol sec ;	"	"	"	1
Canalisation souterraine (sous revêtement)	"	"	"	4

On voit qu'une canalisation en sol humide est électro-négative et forme l'anode de la pile géologique; au contraire en sol sec elle forme cathode.

Si donc une canalisation passe à travers des formations géologiques très différentes (cas des pipe-lines, des adductions d'eau, cas du projet de canalisations téléphoniques sur l'axe "Banlieue Sud") il se crée tout au long une alternance de zones cathodique et anodiques. Ces dernières connaîtront une corrosion d'autant plus intense que leurs surfaces sont petites. C'est ce qui se passe au franchissement de zones argileuses étroites, par exemple une vallée.

A cet égard l'extraordinaire morcellement des formations géologiques et pédologiques qui portent la ville de Cayenne, y est l'une des causes les plus probables de corrosion de toute canalisation.

Toutefois les dégâts les plus considérables s'observent sur des canalisations à longues sections en terrain sec (sections cathodiques) suivies de sections courtes en terrain humide (section anodique). Dans la canalisation il circule un courant dit de "longue ligne" (cit. J. CHANGARNIER, 22) de sections cathodiques en sections anodiques. On a pu enregistrer des courants de 100 mA. Sur du fer, un tel courant débitant pendant 1 an peut dissoudre près de 100 cm³ de fer.

En fait l'"effet pile géologique" s'ajoute à bien d'autres causes et notamment à la corrosion bactérienne.

3, La Corrosion bactérienne

J. RABATE (19) précise ainsi le mode d'intervention des bactéries .

..//..

- Action directe : sous certaines conditions de prolifération, elles donnent naissance à des composés réactifs corrosifs (acides carbonique, sulfhydrique, acides organiques) ou bien elles occasionnent par leur rassemblement en colonies suffisamment compactes des distributions inégales de potentiel électrique, avec répartition irrégulière de plages anodiques et cathodiques.

- Action indirecte : leur métabolisme engendre des substances organiques qui interviennent comme dépolarisants ou catalyseurs des réactions de corrosion.

Cela semble bien le cas dans la corrosion anaérobie des métaux par les bactéries sulfato-réductrices qui affectionnent les terrains argileux et spécialement les sols marécageux ou de mangrove. Elles utilisent l'hydrogène pour réduire les sulfates en sulfures. Par suite elles produisent de l'oxygène, lequel par dépolarisation cathodique provoque l'attaque électrochimique du métal, notamment des fontes.

En dépolarisant le système électrochimique elles permettent à la corrosion de se poursuivre jusqu'à épuisement des sulfates.

Il va de soi que si un phénomène physique comme la marée réalimente le milieu en sulfates, la corrosion biochimique peut être indéfinie.

Il se pourrait donc bien qu'à Cayenne, leur action directe et indirecte (acides organiques et dépolarisation) y soit une cause fondamentale de corrosion sur tout ouvrage enterré.

4 - La corrosion due aux "Courants Vagabonds"

Le qualificatif de "vagabonds" tient non seulement à leurs tracés souvent inattendus et parfois difficiles à déceler, mais aussi au caractère épisodique des causes qui engendrent ces courants.

" Lorsqu'il sont dérivés de voies ferrées par exemple, ils se déplacent avec les motrices qui leur donnent naissance, écrit B. HEUZE (25), et leur valeur dépend de la charge de celles-ci, ainsi que de l'équilibre général du réseau."

Ils empruntent volontiers tout ce qui est canalisation métallique, enveloppes de câbles électriques et téléphoniques, charpente métallique et même les ferraillements de béton mal isolés.

Ils ont naturellement tendance à retourner vers le pôle négatif des sources d'énergie qui les engendrent.

Ce n'est donc pas leur entrée ou leur circulation dans un ouvrage enterré qui est dangereuse, mais au contraire la sortie dans le sol. Celui-ci par son humidité et les sels qu'il peut contenir est électro-négatif vis-à-vis du conducteur emprunté qui devient anode. La corrosion électrolytique peut alors être très sévère, d'autant plus sévère que la sortie de courant est plus localisée. C'est ce qui se passe pour une canalisation qui recoupe une voie ferrée à proximité d'une sous-station.

B. HEUZÉ donne à titre indicatif les estimations suivantes :

- Electrolyse de l'acier : 10 Kg / ampère/au
- " du plomb : 30 " " "

A cet égard il précise que le courant alternatif est environ 1000 fois moins dangereux que le courant continu. Mais il indique que des effets de redressement, donnant une composante continue peuvent être provoqués par les oxydes qu'un courant alternatif rencontre à la surface d'une canalisation.

Les procédés de protection sont de deux types : les uns "passifs" en ce qu'ils limitent ou même annulent les courants qui empruntent les ouvrages; les autres "actifs" en ce qu'ils consistent à neutraliser les courants vagabonds par des courants de signe contraire dans les zones mises en danger.

A la première catégorie appartiennent les "revêtements" à forte valeur diélectrique (par ex. brai de houille armé de tissu de verre); les "déversoirs de courant" autrement dit des prises de terre; les "joints isolants" (par ex. ceux utilisés pour rompre la continuité électrique des gaines en plomb des câbles électrique ou téléphoniques). Mais il y a des dangers si ces procédés sont mal employés. Ainsi un revêtement appliqué uniquement dans la zone électrolysée aura pour effet paradoxal de limiter le nombre des sorties de courant et donc d'accroître la rapidité d'attaque.

Quant aux déversoirs de courant il faut leur assurer une résistance de terre bien inférieure à celle qui limite les échanges entre le conducteur et le sol (quelques centièmes d'ohm). Il faut placer un déversoir à la sortie du courant, mais comme il se déplace de manière capricieuse, le choix est délicat et un déversoir mal placé peut même à son tour capter d'autres courants vagabonds.

- A la deuxième catégorie se rattachent divers dispositifs de "drainage polarisé" ou de "soutirage de courant" qui permettent, par un conducteur électrique interposé, le retour des courants vagabonds vers leur pôle d'attraction.

La mise en place de tels dispositifs demande des études préalables très soigneuses, notamment des mesures du courant qui circule dans les canalisations à protéger, sur potentiel par rapport au sol, la résistivité du sol. Comme il s'agit de courants épisodiques il faut effectuer ces mesures sur appareils enregistreurs de manière à avoir des séries statistiquement interprétables. De telles études demandent du temps et des moyens techniques assez considérables.

C o n c l u s i o n s

Il n'était pas question dans une mise au point sur les principaux aspects de la corrosion, ni de faire un recensement complet de toutes les causes possibles, ni de traiter de manière exhaustive la question et spécialement des moyens de lutte contre la corrosion.

On a surtout voulu montrer la grande complexité des agents et mécanismes mis en jeu, dans un phénomène de destruction qui est synthétique, surtout lorsqu'il s'agit d'ouvrages enterrés.

Si l'on y ajoute le problème de la protection des gaines de plomb des câbles téléphoniques, qui fait partie des préoccupations de l'Administration des Postes et Télécommunications à Cayenne, on peut dire que dans cette ville, à l'exception peut-être des corrosions dues aux courants vagabonds, sont réunies à peu près toutes les conditions requises pour une agressivité maximale des sols et des eaux du sol.

C'est ce que vont montrer les rapports qui suivent (titres II à IV). C'est aussi la raison pour laquelle nous joignons au dossier un exemplaire des "Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion" présentées à New-Delhi en 1960, sous l'égide du Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (C.C.I.T.T.) et publié en 1961 par le Secrétariat Général de l'U.I.T., Palais Wilson à Genève.

M. BOYÉ

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1.- THIEBAUD (M.) : Etude qualitative des eaux de la Guyane (agressivité des eaux). - Rapport dactylographié inédit - IFAT - Cayenne 1961.
- 2.- EVANS (U.R.) : Précis de corrosion - Dunod, Paris, 1952.
- 3.- MAURIN (A.J.) : Manuel d'anticorrosion, 2 T. - Eyrolles, Paris 1961-et 1962.
- 4.- FOUGEROUZE (J.) De divers éléments du climat en Guyane Française. Météo Nale. Gr. Antilles-Guyane, sous-région Guyane-Inini - Rapport ronéo - Mars 1961 - Cayenne.
5. - DARUTY
de GRANDPRE(M) Le matériel compte tenu des conditions climatiques, Journées Intern. de l'électricité dans les pays tropicaux, Commission du matériel, Rap. Gal., Mai 1956, Musée Guimet, Paris.
6. - KLEINLOGEL(A.) Einflüsse auf Beton - Ernst & Sohn - Berlin, 1925
- 7.- DE JUNNEMANN(J) Comportement du ciment en contact avec différents composés chimiques.- Cahiers Centre Scient. et Techn. du bâtiment, n° 52, Octobre 1961 - Paris.
- 8.- RAMBERT (Ch.) Les altérations du béton.- Centre d'information et de documentation du bâtiment, Bull. mensuel Mai 1961, Paris.
- 9.- CHOUBERT (B.) Feuille de Cayenne, Carte géologique dét. de la France et du dépt de la Guyane, échelle 1/100.000è, Ministère Commerce et Industrie - Impr. Nale, Paris 1956
- 10.- BOYÉ (M.) New data on the coastal sedimentary formations in French Guiana.- Fifth Geolog. Conf. Georgetown, Oct-Nov. 1959, Proceedings, Geol. Sarvey, Georgetown 1962.
- 11.- TRAVAUX DE SEDIMENTOLOGIE, au sujet de puits creusés par le Service Militaire Adapté à la Montagne Tigre. Inédit. Rapp. I.F.A.T., Cayenne 1962.

- 12.- TRAVAUX DE SEDIMENTOLOGIE sur les puits d'essai de Montjoly (Recherches d'eau pour l'alimentation de la ville de Cayenne) En préparation - I.F.A.T - Cayenne.
- 13.- CHOUBERT (B.)
et BOYE (M.) Envasements et dévasements du littoral en Guyane Française.- C.R. Ac.Sc. T 249, p. 145-47, Paris 1959
- 14.- WALLAEYS (R.) Des phénomènes de corrosion en phases gazeuse, liquide et atmosphérique. Cours post-universitaires de form. prof. des Cadres. Centre de la lutte contre la corrosion. Publ. Sté Chimie Industr, 28 rue St Dominique, Paris.
- 15.- LE FLOCH (J.) Esquisse de la structure hydrologique au large de la Guyane et de l'embouchure de l'Amazone.- Bull. C.O.E.C., VII, 10, 1955.
- 16.- LAFOND (R.L.) Laboratoire Central d'Hydraulique - Mission 1953 - Fasc. G. Sédimentologie. Rapport B.C.E.O.M. 1954
- 17.- BOYE (M.) Les palétuviers du littoral de la Guyane Française, ressources et problèmes d'exploitation.- Cahiers d'Outre-Mer. T. XV, p. 271-290. Bordeaux 1962.
- 18.- LEVEQUE (A.) Mémoire explicatif de la Carte des sols de Terres basses de Guyane Française. Mém. O.R.S.T.O.M. n° 3, 88 p. Paris 1962.
- 19.- RABATÉ (J.L.) La tropicalisation : vernis et peintures pour climats tropicaux humides.- Cours post-universitaires de form. prof. des cadres. Centre de la lutte contre la corrosion. Publ. Sté Chimie Industr. Paris.
- 20.- LACOMBE (P.) Les bases et les facteurs de la corrosion des métaux.- Cours post-universitaires de form. prof. de cadres. Centre de la lutte contre la corrosion. Publ. Sté
- 21.- ROUGERIE (G.) Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière.- Mém. n° 58 I.F.A.N. - Dakar 1960.

- 22.- CHANGARNIER (J.) Protection cathodique des canalisations enterrées.- Cours post-universitaires de form. prof. des cadres, Centre de la lutte contre la corrosion. Publ. Sté Chimie Industr. Paris.
- 23.- POURBAIX Thermodynamique des solutions aqueuses diluées. Béranger - Paris-Liège.
- 24.- CHAUVIN (J.) Le plomb dans la protection contre la corrosion. Cours post-universitaires de form. prof. des Cadres. Centre de la lutte contre la corrosion. Publ. Sté Chimie Industr. Paris.
- 25.- HEUZÉ (B.) Physionomie des courants vagabonds et moyens de protection.- Cours post universitaires de form. prof. des Cadres, Centre de la lutte contre la corrosion, Publ. Sté Chimie Industr. Paris.
- 26.- CENTRE D'INFORMATION DU PLOMB : Corrosion par les liants hydrauliques.- Note ronéo C.I.B. - 10 pl. Vendôme, Paris:

Titre II

NOTE PEDOLOGIQUE

I - GENERALITES .

L'une des principales caractéristiques de la zone étudiée est la grande diversité des roches-mères ayant donné naissance aux sols.

Nous pourrions cependant, en gros, distinguer 3 origines géologiques :

1° - Le socle antecambrien, cristallin, recouvert en grande partie par des alluvions d'origine plus ou moins récente, mais représenté, localement, par des jointements ayant donné naissance à des sols très évolués, très profonds, ferrallitiques (ou "latéritiques") le plus souvent constitués d'argile kaolinique et d'hydroxydes, libres, d'aluminium et de fer. Les profils Rouget de l'Isle et Secrétariat Général sont certainement situés sur ces pointements.

2° - Des alluvions sableuses ou argileuses provenant de l'arrière pays mises en place lors de transgressions marines depuis le début du quaternaire jusqu'à des niveaux se situant, ici, de 1 mètre à 1 mètre 50 au dessus des plus fortes marées actuelles : c'est l'origine générale de toute la zone que suit l'axe matérialisé par l'avenue Général de Gaulle.

3° - Des alluvions très fines, argileuses, provenant des sédiments transportés par l'Amazone puis par le courant Nord Equatorial et mises en place le long des côtes de Guyane par une transgression actuelle : ces alluvions forment les "Terres Basses" dont le niveau supérieur se situe à quelques décimètres en dessous des plus fortes marées actuelles : c'est l'origine générale des terrains constituant l'axe de la rue du Gouverneur Général Félix Eboué en venant du sud, jusqu'à la rue du Lt Brassé.

* * *

.../..

Toutefois, ces deux axes se trouvent à la limite de ces deux principales formations géologiques et l'imbrication des deux catégories de terrains est souvent telle que la prospection pédologique révèle une véritable mosaïque de sols constituée de tous les intermédiaires imaginables entre les compositions texturales, minéralogiques, chimiques, des 2 extrêmes représentés, l'un par les sables fins d'anciens cordons littoraux, l'autre par les argiles extrêmement plastiques des terres basses.

Cette imbrication est due à l'action de l'érosion qui a entaillé les alluvions sableuses, permettant à celles-ci d'être mêlées aux argiles marines et à ces dernières de s'invaginer dans les alluvions d'origine continentale.

A ces considérations, ajoutons le fait que depuis l'établissement de la ville de Cayenne, de multiples travaux de fouille et de remblaiement ont provoqué des bouleversements dans la succession des horizons des profils (planches III & IV)

II - CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES

1.- Sols développés sur les alluvions anciennes d'origine continentale, sableuse ou sablo-argileuse.

Le type en est le sondage "Petit Monaco", très sableux jusqu'à 1 mètre de profondeur. Le profil est très perméable dans les horizons supérieurs et permet aux eaux de pluies de les traverser aisément. Cependant, le taux d'argile assez élevé en profondeur provoquera un engorgement plus ou moins prolongé à la saison des pluies. Nous aurons donc là une alternance de conditions oxydantes et réductrices avec augmentation et remontée des sels en saison sèche dans les horizons supérieurs. Les résultats donnés par l'analyse (Tableau I) traduisent ce phénomène par une plus forte teneur en sodium pour la surface que pour 80 cms de profondeur (respectivement de 16,13 m. éq. % et de 8,31 méq.%) ainsi que par un pH un peu relevé (4,7 en surface, 3,8 à 80 cms de profondeur).

Même processus, en gros, pour le profil du Stade Municipal où teneur en sodium et pH se relèvent vers la surface.

.../...

Cependant au profil de la rue Arago, le phénomène de remontée du sodium est inopérant, ou mieux, beaucoup moins marqué: peut-être cela est-il dû au défaut d'évaporation en surface, conséquence d'une "couverture" totale du sol, soit par le bitume de la chaussée, soit par les constructions (les différences de pH étant dues alors aux différences de composition des colloïdes (minéraux et organiques), variations relevées par la morphologie du profil (sable argileux jaune clair à 80 cms de profondeur, argile ferrallitique ensuite). Nous avons là un profil complexe, c'est-à-dire où la succession des horizons de bas en haut ne résulte pas des seuls processus de pédogenèse, mais d'origines différentes.

Nous pouvons voir, en général, que la suprématie du sodium est évidente sur tous les autres cations, de même que l'anion SO_4 est souvent le mieux représenté. Nous avons cependant de grandes variations sur de petites distances: à 80 cms de profondeur, nous trouvons 8,31 m éq. de sodium par 100 g. de sol au profil du Petit Monaco, tandis que le profil du Stade Municipal révèle 23,49 ou éq à la même profondeur.

Les pH sont en général assez peu acides eu égard aux conditions prévalant en Guyane dans des sols identiques.

2. Sols développés sur les pointements du socle cristallin.

Mêmes caractéristiques que celles des sols précédents, avec cependant une tendance vers une texture généralement nettement argileuse : c'est ce que nous pouvons constater en comparant le profil de la rue Rouget de l'Isle à celui du Petit Monaco : la seule conséquence peut en être une réduction des mouvements de la nappe qui cependant présente, pour une même profondeur, les mêmes caractéristiques chimiques.

3. Sols développés sur les alluvions marines argileuses récentes

Le trait le plus marquant de cette catégorie de sols dans la situation que ceux-ci occupent dans la région qui nous intéresse, réside en la présence de fortes teneurs en soufre (pouvant atteindre 6% de S-élément), ainsi que par la saturation du complexe colloïdal par une forte proportion de Na et de Mg, cette dernière caractéristique étant normalement due à la composition du milieu marin dans lequel s'effectue le dépôt des alluvions.

Comment, cependant, a pu s'effectuer cette accumulation de soufre ?.. par la réduction des sulfates marins en sulfures insolubles sous l'action des sulfo-bactéries en présence de matière organique, le réapprovisionnement en sulfates s'effectuant à chaque inondation par les fortes marées. Il est évident que, à mesure que le rivage avance, les inondations par les eaux marines sont de plus en plus difficiles et l'accumulation de soufre finit par cesser. Ce n'est pas le cas pour l'Ile de Cayenne où l'envasement est rendu difficile par la configuration du rivage et du réseau hydrographique qui la ceinture. Nous avons donc ici des terrains où l'accumulation de soufre se situe parmi les plus fortes constatées en Guyane.

Quand ces sols seront drainés, aérés, l'oxydation des sulfures pourra s'effectuer en libérant des sulfates et de l'acide sulfurique libre qui dénaturera le complexe colloïdal, attaquera le réseau argileux avec production de sulfate d'alumine (terres alunées) ou (et) de sulfate de fer, et fera baisser le pH. Nous aurons donc des sols très acides, très agressifs, où le pH pourra descendre d'une moyenne de 6,5 à 2,5.

Lors de l'aération du profil, la couleur du sol vire au brun, à l'ocre, ou rouille etc... par oxydation du fer ferreux associé à l'argile.

Nous pouvons voir, sur la fiche d'analyses (Tableau I) que la teneur en alumine soluble peut être très importante : 36,51 méq % pour l'eau du forage B2/5 par exemple.

* * *

Nous pouvons donc résumer, au vu des fiches d'analyses, le chimisme du milieu par les caractéristiques suivantes :

- a/ - pH voisin de la neutralité en conditions réductrices; pouvant s'abaisser, d'après ce que nous avons observé dans notre étude générale des marécages côtiers, à des valeurs très faibles, lors de l'aération.
- b/- prédominance du sodium sur tous les autres cations.
- c/ - prédominance de l'anion Cl (jusqu'à 316 méq%) dans les eaux de la nappe, et de l'anion SO₄ dès que le sol est aéré et soustrait à l'action des inondations marines.

..//..

d/ - fréquence de l'ion Al associé à l'ion SO_4 dans les eaux de la nappe, SO_4 et Al provenant le premier de l'oxydation des sulfures, le second de l'attaque des argiles dans le sol à marée basse et entraînés par le mouvement de la nappe à marée haute.

Ces terres basses représentent donc pour l'ensemble de la nappe phréatique de Cayenne un réservoir d'ions essentiellement actifs : sodium, aluminium, chlore, SO_4 et hydrogène mais selon les conditions d'oxygénation de la nappe, de l'accessibilité des eaux marines, nous aurons d'un point à un autre et d'un moment à un autre des différences de pH, de $r\text{H}_2$, de concentrations, essentiellement variables.

A. LEVEQUE

Titre III

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

" AXE BANLIEUE SUD "

=====

I - INTRODUCTION

Le projet d'extension du réseau aéro-souterrain de Cayenne, Route Nationale n° 1, dit "Axe Banlieue Sud" demande l'étude des conditions de construction de canalisations en ciment, enterrées, jalonnées de caissons, entre l'Avenue du Général de Gaulle (caisson D 2/9) jusqu'à un point à 146 m au Sud de la Digue Galmot (caisson B 2/8), avec franchissement du Canal Laussat au Pont Berland (voir Pl I)

Comme l'indique la note pédologique (Titre II) cet axe franchit une zone de sédiments récents ou actuels, mais s'accroche çà et là à des pointements de roche très décomposée. Du point de vue sédimentologique, il s'agissait de déterminer, pour chaque profil, et pour les niveaux 0,80 m, 1,80 m, éventuellement 2,50m dans chaque profil, l'origine exacte du matériau concerné (type de sédiment, conditions de dépôt, matériaux de remblaiement) et leurs caractéristiques chimiques susceptibles d'influencer la corrosion des ouvrages prévus (Pl. IV) :

Pour les analyses chimiques des eaux et des sols on se rapportera au tableau I (titre II). Pour les Analyses physiques, le tableau II donne toutes les caractéristiques granulométriques (médiannes, indices de classement, faciès des courbes cumulatives, fractions en % des diamètres inférieurs et supérieurs à 37 microns et de la perte en eau (105°) sur le sol frais). Il donne aussi les couleurs, d'après le Code Expolaire (1), notées séparément sur la fraction inférieure à 37 microns et sur la fraction sableuse, mouillées. Il donne enfin le diagnostique.

Remarquons que les courbes granulométriques des Planches V à IX ne concernent que la fraction supérieure à 37 microns.

../..

L'interprétation a été conduite selon les méthodes de A. CAILLEUX (2) et de A. RIVIERE (3) déjà éprouvées sur d'autres travaux exécutés en Guyane (M. BOYÉ 4). La carte géologique consultée est celle de la Feuille de Cayenne (B. CHOUBERT, 5) au 1/100.000è.

II - ANALYSE DES PROFILS

Tous les profils, exécutés par forages à travers les chaussées, comportent au moins 50 cm de matériaux rapportés pour l'asphaltage. Un seul cas a été étudié (A 1 - surface) pour mémoire. C'est un matériau très composite = laterite, quartz, mica, quartzite à amphiboles; on y trouve aussi des débris végétaux et des fragments coquillers. La couleur générale est rouge-jaune (E. 46 - Code Expolaire). On peut donc qualifier ce matériau de "latéritique" cependant son pH est pratiquement neutre (7,4).

1. Niveau 0,80 m

En suivant la rue Félix Eboué, depuis l'Avenue de Gaulle jusqu'au pont Berland, on a successivement :

- Au carrefour Avenue De Gaulle; rue Eboué (D 2/9); une colluvion latéritique provenant d'un pointement proche de quartzite à amphibole, c'est ce qui donne à la fraction sable sa couleur brun-gris (F. 62), la fraction inférieure à 37 microns étant plus riche en oxydes ferriques (E. 34 brun-rouge).

De ce point de vue, il y a un rapprochement avec l'argile latéritique entre 0 et 1,10 m dans le profil du carrefour Rue Rouget de l'Isle.

Toutefois, la diversité minéralogique (quartz, mica, grains de quartzite, concrétions ferrugineuses, opaques noirs, débris coquillers) est équivalente au matériau A.1 (surface) qui est rapporté en remblai.

S'agit-il donc, ou non, d'un remblai? le faciès de la courbe (Pl. V) qui traduit l'état granulométrique de 65% de la formation, est bien bimodal mais non plurimodal et irrégulier comme pour A. 1 (surface). Des effets de transports courts se sont exercés. Par ailleurs la teneur en calcium (voisine de 3% - Tableau III) est élevée; elle est due à l'abondance des débris coquillers, qui peuvent rendre compte du pH légèrement alcalin.

La conclusion la plus vraisemblable est qu'il s'agit d'une colluvion latéritique provenant d'un pointement très proche de quartzite de la série "Ile de Cayenne" (Cx - Carte géologique), déchargée sur un littoral, comme cela se produit actuellement au Nord du Montabo.

Par suite il y a lieu de penser que le matériau utilisé en A 1 pour remblayer en surface, provient de tout près. C'est pourquoi il ressemble à D 2/9-0-80 m (Pl III). Les roches décomposées qui les ont fournis se rencontrent dans la rue Rouget de l'Isle, vers la ligne de partage des eaux (Pl. II) c'est-à-dire au croisement de la Rue Lalouette; de même au Cimetière.

- Au carrefour rues F. Eboué et Christophe Colomb (B 2/1), un sable vasard fin (médiane 190 microns). Ce sable ne représente plus que la moitié en poids du matériau. Le faciès hyperbolique (Pl-V) indique clairement des conditions de dépôt lagunaire ou sur un littoral à "vasière" avec petits bancs de sable en placage (épaisseur 30 cm), comme on en observe partout le long du littoral de Guyane, surtout actuellement en période de dévase-ment. En effet, l'érosion actuelle du littoral procède surtout par délayage des vases qui sont toujours plus ou moins sableu-ses et provoquent, par ségrégation, les placages de sable.

La composition minéralogique de ce sable est la même que celle de D 2/9 - 0,80m. Il y a aussi des débris coquillers, en plus grand nombre (3,50% de Ca - Tableau III). Le pH est neutre (7,2) et les couleurs nettement plus grises que pour D 2/9 indiquent les effets de la réduction au sein des vases.

L'état des fragments de coquillages accuse là l'existence d'un littoral vaseux extrêmement récent, l'échan-tillon provenant de l'estran.

- Au carrefour rues F. Eboué et Lt Becker (A 1), un sable très fin (médiane : 90 microns) formant 41,5% du lot et mêlé à 36,5% d'argile. Il est très bien classé (Hétérométrié 0.30) et le faciès de la courbe (Pl VI) est logarithmique entre les deux quartiles médians. Il s'agit d'un sable vasard de plage, où l'évolution du matériau est achevée par l'effet des vagues. Il y a donc concordance sédimentologique avec le sable vasard rencontré en B 2/1 - 0,80 m.

Toutefois, on note que les couleurs tendent vers le rouge (Rose à brun rouge clair). Cela tient au fait que l'échantillon a été prélevé à la limite des formations marines soujacentes et du remblai latéritique qui les surmonte. Le pH approche de la neutralité (6,5); de fait les débris coquil-lers sont moins nombreux (1,6% de calcium, Tableau III).

- Au carrefour rues F. Eboué et Lt Brassé (B 2/2), un matériau un peu plus grossier et un peu moins bien trié que A 1 - 0,80m, mais il lui est comparable. Il est aussi plus argileux et plus riche en débris coquillers (3,85% Ca - Tableau III). Quelques anomalies de distribution granulométrique laissent craindre quelques mélanges avec le remblai sus-jacent.
- Au Carrefour F. Eboué et Chaussée Laussat (B 2/3), un changement, ici, très net; la médiane est de 2.750 microns, la proportion des graviers supérieurs à 10 mm, dépasse 20%. Il s'agit manifestement d'un remblai fait de latérite et de graviers de concassage plus ou moins mêlés à la vase sous-jacente riche en coquillages. Le point intéressant à noter est le relèvement de l'alcalinité (pH 7,9) sous l'influence des eaux d'infiltration venant du Canal Laussat; par contre, la résistivité est très élevée (5319 ohms/cm) par rapport à celles des eaux de la nappe (113 à P.M., 145 à B.M.) au même endroit.

Ce remblai d'environ 1 m d'épaisseur est récent, il correspond à l'édification des berges du Canal Laussat, rive droite.

A partir du Pont Berland, l'axe suit la Route Nationale n° 1, dans la Banlieue Sud.

- Sur rive gauche du Canal (B 2/4), se présente une vase sableuse d'estran de couleur brun gris. Le sable n'y représente que 15% du lot et sa couleur est pratiquement blanche; il est fin et assez mal trié. Le faciès de la courbe granulométrique (Pl VII) est hyperbolique, ce qui indique une dispersion du sable dans la vase. C'est un dépôt de vase typique comme il s'en forme de nos jours. La teneur en eau représente le tiers de l'échantillon frais, la consolidation est donc médiocre. La prédominance des ions Na (tableau I) explique la résistivité faible (361 ohms/cm) cependant 4 fois plus forte que celle des eaux de la nappe. Le pH (6,5) n'atteint pas la neutralité ce qui est en contradiction avec la teneur en calcium (2,8%, tableau III) due encore à des coquillages.
- Caisson B 2/5 (Rte Nale n° 1 entre rue Daramathe et Digue Ronjon), on y trouve une argile de couleur brune (D.62) représentant la moitié du lot, mêlée à 18,3% de sable brun-rouge (F 42). La teneur en eau de l'échantillon constitue le 1/3 de l'échantillon en poids.

La fraction sableuse est assez bien triée (Hétérométrie : 0,43) mais le faciès de la courbe granulométrique (Pl VIII) exprime bien le mélange de deux stocks sédimentaires différents (moitié parabolique, moitié hyperbolique).-

L'argile est un dépôt de marécage riche en débris végétaux; le sable fortement ferruginisé est un sable de plage remanié. Au total le pH est très bas (3,8) sous l'influence de la décomposition des matières organiques et en dépit d'une teneur en calcium élevée (2,27%, tableau III). Par contre la résistivité reste faible (457 ohms/cm - Tableau I) en raison de l'abondance relative des ions Na;

On peut donc conclure à un dépôt de vase marine, évoluant en marécage sublittoral, alimenté par l'érosion en sables, provenant d'une plage ancienne proche.

- Caisson B 2/6 (Route Nationale n° 1 au droit du quartier de Mirza); Il s'agit ici d'un sable très fin, peu argileux, extrêmement bien trié (Hétérométrie 0,18 - tableau II) appartenant à un cordon littoral évoluant vraisemblablement en dune. Ce sable, que laissait déjà prévoir celui du caisson précédent, est le même que celui que l'on rencontre dans le quartier Laudernet, vers l'ancien terrain de sport (lotissement "Les Manguiers").
- Caisson B 2/7 (Carrefour Digue Galmot, Rte Nale n° 1); il s'agit toujours du même sable de cordon littoral, caractérisé par un faciès logarithmique indiquant bien un sédiment en fin d'évolution. La dispersion aléatoire (Pl. IX) est due essentiellement à des concrétions ferrugineuses et des plaquettes de mica.

Quant aux couleurs, elles ^{sont} dues au développement de la végétation, sur cordons de sable, comme cela se produit alentours; (sable : blanc; fraction inférieure à 37 microns : brun-gris foncé). Seule originalité : le pH est neutre.
- Caisson B 2/8 (146 m, au Sud de la Digue Galmot); toujours le même sable, mais à nouveau, de pH acide (4,4) et avec une dispersion aléatoire plus notable couvrant les grandes dimensions, de 75% à 100% de la distribution (Pl. IX). Comme il est de règle pour tous les cordons littoraux de ce type en Guyane, cela exprime que l'origine du matériau est dans les pointements de roches décomposées proches.

2. Niveaux 1,80 m et 2,50 m

Ces niveaux ont été choisis parce qu'ils correspondent au fond des caissons, suivant le type de caisson prévu par les P et T. C'est pourquoi A.1 n'est pas étudié à ces niveaux.

D 2/9, carrefour Av. de Gaulle - Rue Eboué (2m,50). Le matériau est ici une argile sableuse. La fraction supérieure à 37 microns représente 21,2%. Le faciès de la courbe (Pl V) est nettement hyperbolique ce qui indique des conditions de dépôt lagunaire. Toutefois, l'étalement de la courbe vers les grandes dimensions (jusqu'à 12 mm) n'est pas seulement dû à la dispersion aléatoire. Il y a mélange entre des sables fins (médiane 260 microns) appartenant au sédiment vaseux lui-même et des éléments plus grossiers apparentés aux colluvions déterminées au niveau D 2/9 - 0,80m; en effet, la composition minéralogique des grains de grandes dimensions est la même. On a pu observer en outre des grains de pegmatite. C'est bien le signe que les colluvions du niveau supérieur sont récentes et de provenance toute proche, sans quoi les feldspaths de la pegmatite eussent déjà disparu par décomposition.

Les couleurs, rose à gris-rouge, soulignent les conditions de dépôt sous une tranche d'eau au moins saumâtre (35,9 m. eq. % de Na - Tableau I) d'une colluvion en grande partie argileuse; il est difficile d'apprécier le degré de l'influence marine, mais l'environnement continental semble avoir influencé les pH (4,5) en dépit d'une teneur en calcium non négligeable (1,44% Ca - Tableau III), moitié moindre que celle du niveau D 2/9-0,80 m. Le résultat en est que la résistivité est au moins 2 fois plus élevée qu'en D 2/9 - 0,80 m (tableau I).

B 2/1, Carrefour rues Eboué et Christophe Colomb (1,80 m).

Il s'agit ici d'une vase sableuse de plage où l'environnement marin est plus net. Le sable est très fin (médiane 98 microns) et le faciès de la courbe (Pl VI) 30% parabolique et 35% hyperbolique (tableau II) indique bien un mélange de deux stocks, avec le même type de dispersion aléatoire que pour D 2/9 - 2,50 m. Une partie de la fraction sableuse au moins est d'origine colluviale mais le triage est typiquement celui d'une plage (Hétérométrie 0,30). Cette plage a été fossilisée par des dépôts de sables vasards plus récents (B 2/1 -0,80 m); son pH est un peu plus acide (6,5) et sa teneur en calcium moitié moindre (1,8%), ce qui indiquerait qu'une partie des débris coquillers a déjà disparu par dissolution.

Les couleurs, brun gris à brun jaune (argile) gris clair (sable) indiquent un milieu plus réducteur.

B 2/2, carrefour rues Eboué et Lt Brassé (1,80 m) - Le matériau se présente comme une vase sableuse analogue à B 2/1 - 1,80 m, mais le faciès à 70% parabolique de la courbe granulométrique (Pl VI) indique que le sédiment était en cours de transport lors de son dépôt. Il est aisé d'y retrouver l'existence d'un chenal de marée dans les vasières au Sud de

de l'ancienne ville de Cayenne, puisque l'on sait que le prolongement de la rue Lt Brassé a nécessité le comblement d'un canal. C'est d'ailleurs l'un des échantillons qui contient le plus d'eau à l'état frais (35,2%), indice d'une mauvaise consolidation.

B 2/3, Chaussée Laussat - Pont Berland (1,80m). Il s'agit d'une véritable vase, très peu sableuse (5,6% seulement), correspondant à la vasière actuelle remaniée par les travaux du Canal Laussat. La courbe granulométrique de la fraction sableuse est influencée par la pénétration des matériaux de remblaiement. Le milieu est fortement réducteur (couleurs grises E. 90 - H. 62); le pH est alcalin 7,7; la teneur en calcaire élevée (voisine de 3%) toujours due à des coquillages; enfin la resistivité est très faible (297 ohms/cm Tableau I) bien que la teneur en ions Na ne soit pas très forte (11,3 m. eq. %).

B 2/4, Pont-Berland, rive gauche (1,80m). On trouve ici une vase du même type qu'en B 2/3 - 1,80 m. Elle est un peu plus sableuse et encore plus riche en eau (près de 40% - Tableau II). Les couleurs grises sont plus foncées qu'au niveau B 2/3 - 0,80, la teneur en matières organiques, notamment débris végétaux, est visiblement plus forte. Il s'agit donc vraisemblablement d'un recouvrement très récent d'une vasière littorale à mangrove où les pH n'arrivent pas à la neutralité (6,5 - 6,9).

B 2/5 - Entre Rue Daramathe et Digue Ronjon (1,80m). Au niveau considéré intervient en B 2/5 un changement latéral de faciès sédimentaire. Ce matériau comporte, outre 27,3% d'eau, une quantité égale de vase lagunaire du type B 2/4 - 1,80 et de sable littoral du type B 2/5 - 0,80.

La fraction sableuse a en effet les mêmes caractéristiques de médiane et d'hétérométrie que le sable sus jacent.

Mais le faciès de la courbe granulométrique (Pl VIII) est double : 45% logarithmique jusque vers 60% de la distribution par dimension; au-delà vers les grandes dimensions la dispersion n'est pas aléatoire, elle est due à la ferruginisation. C'est ce qu'on peut appeler un "palier de pédogénèse". Il s'agit donc du remaniement d'un sable littoral déjà évolué en sol avant d'être localement déversé sur un marais sublittoral par l'érosion, comme cela se produit toujours sur les bords d'un cordon littoral sableux édifié en partie sur un soubassement vaseux. Mais la présence, aux grandes dimensions, de mica et d'opaques noirs à reflets métalliques, distincts des concrétions d'oxydes ferriques, laisse présager l'origine éluviale proche.

B 2/6 - Au droit du Quartier de Mirza (1,80 et 2,50 m)

Commençons par le niveau le plus profond : 2,50 m. C'est une argile sableuse rose à brun plus ou moins clair (B à E. 54 Code Expolaire). La fraction sable (11%) a une médiane fine (98 microns). Le triage est bon (Hétérométrie 0,30) de type marin. Le faciès de la courbe granulométrique est à 35% logarithmique. Mais il est très nettement bimodal. La composition minéralogique de la fraction grossière (au-dessus de 500 microns) comporte des concrétions latéritiques, du mica, du quartz et des fragments d'amphibolites reconnaissables. C'est donc bien qu'un pointement rocheux est tout proche et qu'il est à l'origine de cette argile, d'origine continentale, mais déversée sur un littoral et remaniée par la mer. Le pH (5,7) et la faible teneur en chlorure de sodium (1,61 m. eq. % Na) le confirme. Toutefois une autre donnée apparaît contradictoire : il y aurait 4,54% de calcium (tableau III) à ce niveau, soit l'une des plus fortes teneurs enregistrées, alors que l'on observe pas de débris coquillers.

Néanmoins on peut voir, à la fois sur les planches VIII et IV et sur le tableau II, que le sédiment du niveau B 2/6 - 1,80 est un mélange complexe entre sable du type B 2/6 - 0,80 m et sédiments type B 2/6 - 2,50 m et B 2/5 - 1,80 m.

Notons qu'au niveau 1,80 m, B 2/6 accuse une teneur beaucoup plus forte de chlorure de Sodium (47,88 m. eq. % Na) qu'à 2,50 m. Mais il faut aussi noter que les eaux de la nappe qui baigne ces deux niveaux accusent une teneur de 248,4 m. eq. % Na, ce qui explique que les résistivités soient très faibles (340 - 425 ohms/cm - Tableau I) alors qu'au niveau 0,80 elle est beaucoup plus élevée (5.000 ohms/cm).

B 2/7 et B 2/8^e - Digue Galmot et 146 m plus au Sud (1,80m)

Il n'y a pratiquement aucune différence avec les sables étudiés aux niveaux 0,80m de ces deux profils. Nous sommes ici en présence des mêmes sables que ceux du Terrain Laudernet que nous avons eu l'occasion d'étudier à la demande de la S.I.A.G.

Tout au plus relève-t-on que les courbes granulométriques de B 2/8 (Pl IX) montrent une dispersion aléatoire notable et que B 2/7 - 1,80 m accuse une teneur de 5,37% au calcium, s'apparentant ainsi à B 2/6 - 2,50m, enfin que dans tout le profil B 2/8 les pH sont franchement acides (4,4 - 4,8) tandis qu'en B 2/7 ils sont neutres ou faiblement alcalins (7,0 - 7,4).

III - ANALYSES CHIMIQUES TRIACIDES ET CONCLUSIONS

Les courbes granulométriques (Pl V à IX), de même que les profils de la Planche IV, montrent très clairement que l'Axe Banlieue-Sud franchit des formations sédimentaires très diverses. Elles sont essentiellement au nombre de trois :

1.- Avenue de Gaulle : Des sédiments d'origine continentale très proche. Nous sommes à proximité immédiate de la ligne de partage des eaux dans la ville de Cayenne, où coexistent des pointements de roche très altérée, amphibolites ou quartzites à amphibole de la Série de Cayenne (Cx); l'altération est du type latéritique mais le dépôt sous forme de colluvions, plus ou moins remaniées, déchargées sur un littoral de caractère vaseux, n'est pas douteux.

2.- Du Carrefour rues Eboué et Christophe Colomb jusqu'au Pont Berland (rive gauche incluse.- Des sédiments vaseux marins ou lagunaires de dépôt très récent, correspondant à l'axe du Canal Laussat; plus vers le Sud, on discerne des dépôts de mangroves un peu plus anciens, correspondant aux vasières du marais Leblond, elles-mêmes éventuellement recouvertes de vases encore plus récentes. On sait, en effet, (B. CHOUBERT et M. BOYE 6) que lors du bombardement du Fort-Orange (alias Cépérou) en 1676 l'escadre de l'Amiral d'Estrées était embossée dans le Sud des Ilets Malouins (c'est-à-dire l'Usine électrique) par sept brasses de fond.

3.- A partir de la Digue Ronjon et au delà vers le Sud, des sables appartenant à un cordon littoral sableux, s'épaississant et manifestement ancré, à proximité, sur des pointements rocheux altérés. Les carrières de la Madeleine sont l'un des points d'ancrage. Il s'agit là d'un cordon littoral ancien, étalé à la fois par l'érosion et par les travaux des hommes, mais des sondages faits à Mirza montrent qu'il est sûrement post-Demerara. L'âge pourrait donc être dunkerquien, c'est-à-dire correspondant à l'ultime phase de la transgression demerara, environ le Moyen-Age.

En outre, notamment sur rive droite du Canal Laussat, des remblais de nature latéritique ont été apportés par l'homme au siècle dernier et viennent compliquer l'échantillonnage des matériaux rencontrés.

Quelques analyses chimiques triacides viennent confirmer ces faits. Partons du Sud, c'est-à-dire du plus simple :

En B 2/8, les sables ne comportent qu'une proportion infime d'argile ou de limons (Pl. XIII): plus de 90% de quartz ou de silicates non attaqués par les 3 acides;

En B 2/3, au Pont Berland, on distingue bien (Pl XII) le matériau latérique en remblai (niveau 0,80), très ferrugineux, avec un excédent d'aluminium caractéristique des altérations du type ferrallitique (rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1,68$). Par opposition, à 1,80m, le diagramme montre une vase marine plus riche en kaolinite ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,69$) et en alcalin - la teneur en quartz (25%) est fréquente dans ce type de sédiment en Guyane;

En D 2/9, Avenue de Gaulle, on saisit nettement la parenté entre l'argile peu sableuse et peu ferrugineuse déposée vers 2,50m et la colluvion plus ferruginisée et beaucoup plus sableuse du niveau 0,80 m qui était en surface avant le recouvrement par la chaussée - les rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sont semblables (Pl X);

En A.1, carrefour rues Eboué et Lt Becker, on note Pl XI que le matériau de surface, apporté en remblai, est bien le même que D 2/9 - 0,80 - Par contre à 0,80 m, le diagramme montre très bien le mélange d'un sable avec une argile, au moins lagunaire ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,16$.)

*
* *

Au total, toutes autres causes de corrosion n'étant pas ici considérées, on voit que le projet d'extension du réseau de câbles souterrains entre l'Avenue De Gaulle et le caisson B²/8 va se heurter à l'inconvénient sérieux de l'effet "pile géologique", à la fois dans le sens longitudinal, surtout en ce qui concerne les câbles eux-mêmes, qui courront aux environs du niveau 0,80m, et dans le sens vertical; mais ici il s'agit de la protection des bétons des caissons les plus profonds.

Toutefois, s'il est vrai que les bétons sont à l'abri de l'effet pile géologique, par contre on peut tenir que leurs fonds se situent en règle générale dans les

..//..

milieux les plus corrosifs du point de vue chimique et bio-chimique, parce que c'est la zone de battement de la nappe et que, par conséquent, les variations d'aération et de teneurs en électrolytes introduisent les conditions optima d'agressivité du milieu. Seuls les caissons B 2/8 et B 2/7 semblent à l'abri, encore n'en est-on pas sûr pour B 2/7.

M. BOYÉ¹

Références.

- 1.- CAILLEUX (A.) et TAYLOR (G.) Code Expolaire des couleurs avec notice. Editions Boubée et Cie - Paris.
- 2.- CAILLEUX (A.) et TRICART (J.) Initiation à l'étude des sables et des galets. 3 T. C.D.U. - Paris 1959.
- 3.- RIVIERE (A.) Notion de faciès granulométrique CR. Ac. Sc., T. 234, p. 2628-2630, 1952
- 4.- BOYÉ¹ M. La Géologie des Plaines Basses entre Organabo et le Maroni - Guyane Française - Sous presse, à paraître dans Mem. Serv. Carte géol. Fr. Départ. Guyane Fr., Paris Imp. Nat.
- 5.- CHOUBERT (B.) Feuille de Cayenne et Notice (carte au 1/100.000). Carte géol. det. de la France, Départ. Guyane; Min. Commerce et Industrie - Paris Imp. Nat. 1956
6. CHOUBERT (B.) et BOYÉ (M.) Envasements et dévasements du littoral en Guyane Française. CR. Ac. Sc. T. 249, p. 145-147.

TITRE IVRECHERCHES MICROBIOLOGIQUES ET SUR LES ACIDES ORGANIQUES

Le présent rapport a pour objet de mettre en évidence quelques aspects du rôle que peuvent jouer les microorganismes en matière de corrosion.

C'est un fait bien connu que de nombreuses bactéries de l'eau et du sol manifestent leur activité dans certaines conditions seulement et nombreuses sont celles qui peuvent supporter des doses de chlore qui détruisent aisément les organismes pathogènes. C'est le cas pour les organismes réducteurs de sulfate, qui peuvent supporter au moins 20 p.p.m. de chlore. Les types et les nombres de bactéries qui peuvent se maintenir en développement actif dans une situation donnée dépendent largement du milieu ambiant. De nombreuses bactéries qui ne sont pas capables de se développer dans un milieu ambiant déterminé peuvent néanmoins y subsister en état de non activité, pour se multiplier ensuite rapidement si le milieu devient plus favorable.

La corrosion bactériologique peut se produire de différentes manières :

- a) Par action directe, par exemple, production bactériologique de substances telles que le gaz carbonique, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque, les acides organiques et inorganiques.
- b) Par dépolarisation ou catalyse de réactions de corrosion par des substances résultant du métabolisme des bactéries.
- c) Par processus analogues à la corrosion anaérobie du fer sous l'action d'organismes réducteurs de sulfate; la réaction de corrosion constituant partie intégrante du cycle métabolique de la bactérie.

Des colonies de bactéries produisant les substances mentionnées en "a" peuvent se développer dans des dépôts fixés et de nature bourbeuse qui se trouvent en contact étroit avec la surface du métal; en pareil cas, l'agent de corrosion ne présente souvent la concentration nécessaire qu'au voisinage immédiat de la colonie; il peut ne pas être décelable dans l'eau ou dans le sol ambiant. Il suffit alors que les bactéries qui provoquent la corrosion ne produisent que de très faibles quantités de produits de corrosion pour que l'attaque, bien que localisée, soit néanmoins très sévère.

En outre, la colonie peut, sans produire aucune substance nettement corrosive, jouer le rôle d'un dépôt mettant en jeu un élément différentiel à oxygène avec formation d'anodes et de cathodes locales.

Il peut également se faire que l'agent de corrosion soit entièrement contaminé par les organismes; si ces derniers produisent des substances susceptibles de catalyser les réactions de corrosion, le milieu peut rester anormalement corrosif, même après la mort des bactéries, leur mise en état de non-activité ou leur enlèvement.

Le facteur le plus important qui conditionne le développement des bactéries est la possibilité d'alimentation. Les eaux et les terres accusent des teneurs très différentes en éléments nutritifs de types très divers; c'est là un facteur qui détermine la nature des bactéries susceptibles d'y vivre; il faut parfois y voir, sans aucun doute, la cause de la brutale apparition de phénomènes de corrosion.

Les expériences qui ont été faites dans les laboratoires de la British Non-Ferrous Metals Research Association confirment l'influence de la nature et de la quantité des substances nutritives sur la gravité de la corrosion, lorsque des colonies de bactéries se développent en contact étroit avec une surface métallique. Des colonies de bactéries prélevées dans l'eau de mer à une courte distance du rivage ont fourni une corrosion plus intense après addition, à l'eau de mer, de sucres existant dans l'eau de rivage.

LES BACTERIES ET LA THEORIE DE LA CORROSION

Il paraît opportun de donner quelques indications sur l'action bactériologique dans le cadre de la théorie générale de la corrosion.

La théorie électrochimique de la corrosion est suffisamment riche pour fournir une explication rationnelle de la plupart des accidents dus à la corrosion, y compris les cas complexes de corrosion par fatigue et par chocs.

La conception admise suivant laquelle la corrosion constitue un processus électrochimique peut être présentée d'une manière générale comme suit. Des différences de potentiel provoquent le passage de courants à travers le liquide, entre différentes parties de la surface du métal, de telle sorte qu'il se forme en fait de petits éléments primaires. Aux endroits où le courant passe du métal dans le liquide (zones anodique), le métal entre en solution; aux endroits où le courant passe du liquide dans le métal (zones cathodiques), il se forme de l'hydrogène. Cet hydrogène reste à la surface du métal et forme éventuellement un potentiel en opposition suffisant pour neutraliser les éléments; c'est le phénomène connu sous le nom de polarisation. Dans ces conditions, il ne se produit pas de corrosion, mais la corrosion se manifeste si les éléments sont dépolarisés. C'est ce qui se produit généralement à la suite du lent enlèvement de l'hydrogène par l'oxygène; toutefois, les substances qui sont susceptibles d'aider la dépolarisation, soit en assurant l'élimination de l'hydrogène, soit en catalysant la réaction entre l'oxygène et l'hydrogène, constituent des accélérateurs de corrosion.

L'allure effective et la répartition de la corrosion sont grandement influencées par la formation et la dislocation de pellicules ou écailles et il arrive fréquemment, en fait, qu'une eau qui présente des caractéristiques nettement corrosives possède en même temps une forte aptitude à former des pellicules protectrices, aptitude qui compense ses caractéristiques corrosives.

Ces deux aspects peuvent être influencés par l'action bactérienne. Du fait de leur métabolisme normal, de nombreuses bactéries donnent naissance à des systèmes oxydants et réducteurs réversibles et à des composés organiques susceptibles de se comporter comme véhicules d'oxygène. Dans le premier cas, l'hydrogène cathodique est éliminé de la surface du métal par la réduction par le système oxydo-réducteur, qui est ultérieurement oxydé à nouveau et se trouve alors prêt à reprendre de l'hydrogène. De son côté le véhicule d'oxygène accélère la corrosion en empêchant l'étouffement de la réaction cathodique oxygène hydrogène par manque d'oxygène.

Les bactéries qui forment des colonies en contact avec les surfaces métalliques exercent une influence sur les formations pelliculaires et toute substance qui s'interpose dans la formation d'une couche protectrice peut provoquer une attaque localisée aux endroits de discontinuité; il peut en résulter des piqûres et l'attaque est particulièrement sévère lorsque les colonies bactériennes produisent également des substances corrosives telles que des acides ou des composés alcalins.

De plus, le développement des dépôts micro-biologiques dans les tubes de condenseurs peut provoquer des irrégularités à la surface du métal; il se forme alors des éléments d'aération différentielle et la corrosion se produit suivant la théorie électro-chimique. La croissance d'une colonie de bactéries sur une surface métallique peut également modifier l'électrolyte dans la zone considérée, avec constitution d'éléments de concentration. Les modifications possibles du potentiel d'oxydo-réduction, du pH, des concentrations en oxygène, en gaz carbonique et en ammoniacque sont d'une infinie variété et toutes peuvent jouer un rôle important dans le processus de la corrosion.

QUELQUES TYPES DE BACTERIES EXERCANT UNE INFLUENCE NOTOIRE SUR LA CORROSION.

Bien que nous manquions actuellement encore de preuves complètes, il serait sans aucun doute exact de dire que toute bactérie susceptible de former une colonie à proximité immédiate d'une surface métallique peut exercer une influence sur la corrosion qui se manifeste en cet endroit. Il est également exact que de nombreuses bactéries peuvent produire, soit par suite de leur propre métabolisme, soit par destruction de matière organique, des substances susceptibles de se comporter dans des conditions appropriées, comme accélérateurs de la corrosion ou comme catalyseurs de réactions de corrosion. Il existe toutefois quelques cas dans lesquels l'action de corrosion des bactéries elles-mêmes est nettement définie et admise.

a) - Bactéries réduisant les sulfates.

En 1923, Von Wolzogen Kühn attirait l'attention sur l'influence exercée par les bactéries réduisant les sulfates sur la corrosion des pipe-lines en métaux ferreux, question qui a fait ultérieurement l'objet d'importantes études de Baars, Bunker, Hadley, Rogers, Starkey et de nombreux auteurs. Autant qu'on le sache il n'existe qu'un groupe spécifique d'organismes qui peuvent réduire les sulfates en sulfites. Ces bactéries sont nettement spécialisées physiologiquement et nettement distinctes morphologiquement; elles sont constituées par des cellules extrêmement mobiles recourbées ou enroulées en hélice. Dans certaines conditions, elles peuvent former des spores; l'espèce la plus commune est le *Sporovibrio desulphuricans*... Elles sont généralement considérées comme strictement anaérobies. Bien que ceci puisse être exact dans le cas d'une croissance rapide et très active, elles amorcent leur développement dans la boue, au fond de béciers à demi-remplis et ouverts à l'air.

Une fois le développement amorcé, la production d'hydrogène sulfuré leur assure rapidement un milieu ambiant exempt d'oxygène. Pour ces bactéries anaérobies, le sulfate joue le même rôle que l'oxygène libre dans le métabolisme des aérobies. Les substances organiques qui fournissent l'énergie nécessaire à leur développement sont oxydées par le sulfate, qui est lui-même corrélativement réduit en sulfite.

L'action de ces organismes dans la corrosion anaérobie du fer est bien connue et fait l'objet d'une abondante littérature. Von Wolzogen Kühr a montré que ces bactéries provoquent la corrosion du fer dans des conditions anaérobies dans lesquelles on pourrait prévoir que le fer resterait passif. Ce processus bactériologique de corrosion rentre toutefois dans le cadre de la théorie électro-chimique de la corrosion, les bactéries rendant plus active l'élimination d'hydrogène cathodique. Dans les conditions aérobies, l'hydrogène cathodique est oxydé par l'oxygène de l'air au cours du processus de la rouille. Dans les conditions anaérobies, cet hydrogène s'accumule et il ne se produit pas de corrosion en l'absence d'un dépolarisant. Les organismes réducteurs de sulfate exercent alors cette fonction de dépolarisation en éliminant l'hydrogène et en l'oxydant aux dépens du sulfate qui se trouve ainsi réduit en sulfite.

Au cours des recherches faites sur la corrosion des métaux enterrés et en particulier du plomb, on a constaté que la vitesse de corrosion des tuyauteries en plomb est accélérée aux endroits où le sol contient des organismes actifs réduisant les sulfates. Ce type de corrosion ne se limite d'ailleurs pas aux tuyaux enterrés, mais se produit aussi dans l'eau salée et dans l'eau douce.

Dans le cas des alliages non-ferreux, la corrosion ne se produit pas nécessairement au cours de l'activité des organismes qui réduisent les sulfates car le fait qu'il s'est produit de l'hydrogène sulfuré suffit pour donner naissance à un milieu ambiant exerçant une action corrosive violente, tout particulièrement dans l'eau de mer. On ne comprend pas encore entièrement cette propriété de l'hydrogène sulfuré formé par réaction bactériologique, de rendre une eau de mer anormalement corrosive. On a constaté qu'une eau de mer qui contient des bactéries réduisant les sulfates et ayant provoqué la formation d'hydrogène sulfuré pendant une période de stagnation peut rester extrêmement corrosive, malgré un changement de conditions impliquant une aération considérable et bien que l'hydrogène sulfuré ne puisse plus être décelé chimiquement dans l'eau de mer aérée. On pense que ce phénomène est dû à l'activité de bactéries aérobies qui transforment l'hydrogène sulfuré en composé sulfureux organiques ou en soufre élémentaire.

Starkey signale une autre modalité suivant laquelle les organismes qui réduisent les sulfates peuvent provoquer la corrosion. Dans le cas où ces organismes produisent l'hydrogène sulfuré dans des tubes d'eau et lorsque les tubes ne sont que partiellement remplis de sorte qu'il existe un matelas d'air au-dessus du niveau de l'eau, une certaine partie de l'hydrogène sulfuré se dissout dans la pellicule d'humidité qui tapisse les parois supérieures des tubes. Cet hydrogène sulfuré subit là une oxydation, assurée principalement par des bactéries aérobies spécialisées, avec formation corrélative d'acide sulfurique (voir chapitre suivant) qui à son tour attaque les tubes.

b) - Bactéries provoquant l'oxydation du soufre.

Les bactéries de ce groupe peuvent oxyder le soufre et ses composés. Elles sont morphologiquement très mélangées et pour la plupart sans intérêt en matières de recherches sur la corrosion, bien que certaines d'entre elles puissent intéresser les hydrauliciens par suite de leur aptitude à la formation de boues. L'un de ces organismes mérite toutefois de retenir l'attention du point de vue de la corrosion. C'est le Thiobacillus thio-oxydans, bactérie aérobie qui peut oxyder le soufre et certains composés sulfureux incomplètement oxydés, en donnant de l'acide sulfurique. Il présente ceci de remarquable que son pH optimum de développement est situé entre 3 et 4. L'auteur a obtenu à partir d'eaux résiduelles, des cultures se développent activement à pH= 1. Il a été indiqué que ces bactéries interviennent dans la corrosion des tuyauteries en fonte; dans un cas, le compound d'étanchéité soufre-silice a été attaqué par ces organismes, avec constitution d'un milieu ambiant localement corrosif dû à la formation d'acide sulfurique. Une acidité locale anormalement élevée, en cas de rupture de tube de condenseur, peut indiquer la présence de ces organismes.

c) - Bactéries produisant du gaz carbonique ou de l'ammoniaque

De nombreuses bactéries habitant les sols et les eaux naturelles, tant salées que douces, produisent des substances telles que le gaz carbonique ou l'ammoniaque. Grant, Bate et Myers ont montré que les Bactéries du groupe Proteus peuvent accélérer la corrosion. De nombreux hydrauliciens, tant en Angleterre qu'aux Etats-Unis, ont souvent pensé que la corrosion pouvait être accélérée par la présence dans l'eau d'agents produisant de l'ammoniaque. La preuve bactériologique est évidemment difficile à faire, car la plupart des services d'essai ne sont généralement en mesure que de procéder à la détermination chimique de l'ammoniaque présente. Le gaz carbonique est également un produit de fermentation à action corrosive.

d) Bactéries produisant de l'acide nitrique.

Les bactéries nitrifiantes produisent de l'acide nitrique à partir de l'ammoniaque. De telles bactéries existent pratiquement dans tous les sols, même ceux soumis au milieu marin. Cet acide au même titre que l'acide sulfurique intervient dans la corrosion des matériaux.

e) Bactéries produisant des acides organiques.

Nombre de bactéries du sol soumises ou non au milieu marin sont susceptibles, à partir de diverses substances organiques, de produire des acides organiques (acides butyrique, acétique, propionique, lactique etc....)

On sait actuellement que ces acides peuvent avoir des effets corrosifs très puissants sur les matériaux.

Les terres de Cayenne très imbibées d'eau, créant de ce fait des conditions anaérobies dans le sol, seront un milieu éminemment favorable pour la production de ces acides organiques.

L'activité microbienne est d'autant plus intense que le milieu est chaud et humide, le climat de Guyane sera donc particulièrement favorable à la corrosion biologique.

Corrosion des pierres calcaires

Toute pierre calcaire sera sujette également à l'attaque des acides produits par les microorganismes, spécialement par l'acide nitrique produit par les bactéries nitrifiantes.

Les nitrites et nitrates de calcium formés solubles sont entraînés par l'eau, la pierre se transforme ainsi en une sorte de poudre constituée surtout par des grains siliceux ou par des gros cristaux de calcite résistant mieux aux acides que la masse calcaire.

L'altération sera moins prononcée dans une pierre riche que dans une pierre pauvre en calcaire. Dans ce second cas le calcaire forme une sorte de ciment qui maintient entre eux les éléments non calcaires présents dans la pierre. Une faible production d'acide attaquera ce ciment et libérera ces éléments qui tomberont en poudre.

La lutte contre la détérioration des matériaux calcaires doit empêcher l'établissement de conditions favorables aux processus biologiques.

ECHANTILLONS	PH	NATURE	NITRIFICATION (acides minéraux)	FIXATION ANAEROBIE (Clostridium) Acides organiques
STADE	6,5	Vase	+++	++
PETIT MONACO	7,8	Vase	++	+
SECRETARIAT GENERAL	7,6	Vase	+++	+++
ROUGET DE L'ISLE	4,7	Vase	+	++
ARAGO	7,4	Vase	++	++
ROUGET DE L'ISLE	6,5	eau	+++	+
STADE	7,5	eau	+++	+

+ faible
++ moyenne
+++ forte

C o n c l u s i o n s

Nous n'avons déterminé que l'activité de deux groupes de microorganismes :

- des anaérobies (Clostridium P.) à production d'acides organiques
- des aérobies (bactéries nitrifiantes à production d'acide minéral.

Nous constatons que ces deux types de microorganismes sont très actifs dans plusieurs échantillons de vase; les échantillons liquides sont particulièrement riches en bactéries nitrifiantes.

En conclusion, un climat chaud et humide, tel qu'il existe en Guyane, crée dans le sol et dans les eaux un milieu très favorable à l'activité bactérienne, c'est-à-dire un milieu favorable à la corrosion. Vous étudiez les moyens de lutte contre cette corrosion rapide sous climat tropical, il ne faut donc pas seulement voir le problème sous l'angle chimique seul mais sous l'angle chimio-biologique.

J. KAUFMANN

ANNEXE I

Lettre du 7 janvier 1963, adressée à l'ORSTOM,
à l'attention de M. DEFOSSEZ, par Mr. M. HERZBERG,
Directeur Technique de la Société NEOBITUM,
11 brd. Salengro, MANTES (Seine et Oise).

Deux notices techniques sont jointes :
" Les Polykottes" et "Polyprene 50-1".

-----*-*-*-----

Messieurs,

Le Professeur KAUFFMANN, avec lequel j'ai gardé les meilleures relations, a bien voulu me demander en tant qu'ancien de l'O.R.S.T.O.M., de rencontrer Monsieur DEFOSSEZ afin d'examiner avec ce dernier certains problèmes de corrosion. M'étant spécialisé dans cette branche depuis mon départ de l'O.R.S.T.O.M., j'ai pu y acquérir une certaine expérience pratique et ma position actuelle de Directeur Technique d'une société spécialisée en anticorrosion, fait que j'ai souvent à résoudre des problèmes de ce genre dans les différentes branches de l'industrie. Notre société s'occupe notamment très activement de la protection du matériel enterré. Je serais heureux, si les quelques éléments que je vous indique, ci-après, vous sont de quelque utilité.

Lors de notre entretien du 4 janvier, vous avez bien voulu nous exposer les éléments du problème de la corrosion des câbles téléphoniques dans les sols de Cayenne. Vous nous avez transmis les résultats analytiques concernant la composition des sols qui sont d'un très grand intérêt et que nous avons examinés attentivement. Vous nous avez également présenté des photographies concernant les attaques des fontes et vous nous avez présenté des échantillons des différents matériaux en cours de dégradation.

.../...

L'étude théorique que vous avez ainsi réalisée est très complète et fournit des éléments extrêmement intéressants pour la résolution de votre problème, toutefois, ainsi que nous vous l'avons exposé, une étude d'anticorrosion comporte deux phases distinctes qui sont indispensables dans l'état actuel des connaissances.

La première ^{phase} consiste à obtenir autant d'éléments analytiques qu'il est possible, en ce qui concerne d'une part les matériaux qui se détruisent et d'autre part le milieu destructeur. A la fin de cette phase, il est possible de prévoir un certain nombre de solutions ayant de sérieuses chances de résoudre le problème posé.

Toutefois la complexité des phénomènes de corrosion qui font intervenir des branches extrêmement différentes de la Science tels que microbiologie, chimie des sols, géologie, propriétés chimiques des matériaux de construction dans le cas des bétons, courants vagabonds, chimie des matières plastiques, chimie des peintures etc...., font que l'on est toujours conduit, après étude préliminaire, à mettre en place un système de tests locaux sur lesquels tous les systèmes probablement bons sont essayés, c'est la seconde phase qui ne peut être mise en route que par un spécialiste et sur place.

Les P. & T. qui vous ont posé le problème ne doivent donc pas s'attendre à avoir une solution définitive avant un minimum de 18 mois (temps minimum nécessaire aux tests).

Ces réserves étant faites, nous pensons que la corrosion que vous nous avez présentée est due principalement aux acides organiques produits par les bactéries du sol. Ce sont ces acides qui détruisent progressivement tous les systèmes en place et qui laissent le passage aux sels et aux acides minéraux qui aggravent considérablement le phénomène.

Nous croyons donc qu'il est nécessaire, tout en conservant l'actuel système de plomb et béton, que ce dernier soit recouvert par un système qui le rende étanche et qui soit lui-même particulièrement résistant à la fois aux acides organiques et aux bactéries.

Nous pensons qu'il sera également intéressant que les gaines de plomb soient isolées du béton par un composé inerte résistant aux différents acides, ceci étant une sécurité supplémentaire.

A notre avis, il existe deux familles de systèmes qui, sur le plan théorique, permettent de résoudre un tel problème, en pratique un seul est à retenir pour des considérations de prix de revient et de facilité d'application. Nous

avons en effet songé à utiliser des matières plastiques très résistantes aux acides organiques dans la famille des super-polyamides ou des polyester. Toutefois, notre expérience nous fait rejeter ces solutions :

a) pour des questions d'adhérence entre béton et plastique,

b) vu les difficultés de mise en oeuvre. Nous avons également songé à l'utilisation des résines époxydiques qui ont une excellente adhérence et une très grande inertie chimique, mais la seconde solution est nettement moins onéreuse.

Nous sommes donc conduits à vous conseiller d'utiliser les associations entre brai de houille et résines époxydiques elles-mêmes recouvertes par des résines époxydiques pures.

En prenant un exemple pratique, on devrait appliquer directement sur la gaine de plomb et avant mise en place du béton, deux couches de POLYKOTTE K 31, à raison de 350 Grs par m² et par couche en observant un intervalle de trois jours entre les couches et de 5 jours avant la mise en place du béton.

Le béton étant mis en place, c'est-à-dire coulé dans un coffrage faisant le tour des canalisations, on appliquerait :

- 8 jours au moins après décoffrage, directement sur le béton, une couche de POLYKOTTE K 31, à raison de 800 Grs par m²,

- après attente de trois jours, une seconde couche de même épaisseur,

- 8 jours après: application d'une première couche de POLYPRENE 50-1, à raison de 120 Grs par m²,

- et 4 jours après : pose d'une seconde couche, dans les mêmes conditions.

On attendrait 8 jours avant de remblayer les fouilles.

Une autre solution intéressante pourrait être d'utiliser des demies coquilles de béton précontraint (du type C L K), qui seraient enduites sur toutes les faces non assemblées d'un produit à base de brai époxy et d'un produit époxydique selon la technique indiquée plus haut. Ces éléments pourraient être réalisés soit en France par une Société spécialisée comme la Société CAMPENON BERNARD, soit directement sur place, si les possibilités locales le permettent.

Au moment de la mise en place, les différents éléments de béton seraient scellés entre eux selon une technique que la Société CAMPENON BERNARD et nous-mêmes avons mise au point pour le nouveau métro de la Défense, c'est-à-dire, à base d'un produit de brai époxy portant la référence K 21. On pourrait parfaire le système en envisageant de noyer, à l'aide de K 21, appliqué à l'intérieur des demies coquilles, tous les vides et porosités pouvant exister entre plomb et béton.

Il n'est pas exclu que d'autres techniques extrêmement valables soient à envisager, après examen sur place et mise en place des essais locaux.

De tels systèmes devraient permettre une protection de longue durée, certainement supérieure à 4 ans. Toutefois, nous insistons sur le fait que seuls les tests réalisés sur place permettent d'avoir une certitude. Nous vous joignons une documentation (en deux exemplaires), sur les produits que nous vous avons indiqués et nous sommes à votre disposition pour vous en adresser autant que nécessaire.

Il nous paraît également utile que les services scientifiques locaux aient à leur disposition un certain nombre d'ouvrages techniques concernant l'anticorrosion, afin que chaque Ingénieur soit à même de comprendre les phénomènes qu'il peut rencontrer.

Nous vous remettons, ci-joint, bibliographie, non limitative, à laquelle nous vous conseillons d'avoir recours.

Nous vous prions d'agréer, Messieurs, nos salutations les plus distinguées.

DIRECTION TECHNIQUE

M. HERZBERG

ANNEXE II

Rapport daté du 6 février 1963
adressé à l'ORSTOM à l'attention de M. DEFOSSEZ
par M. J. BELE, Directeur des Etudes et Recherches
de la Sté TREFIMETAUX, Départ. des Fils et Câbles isolés
254 rue du Maréchal Leclerc à St Maurice (Seine)

-----*-*-*-----

Planches et photos
jointes.

Objet : CORROSION DES CABLES
DES P. & T. de la
GUYANE.

Messieurs,

Nous vous prions de trouver, ci-joint, le compte-rendu des observations effectuées sur des tronçons de gaine de plomb provenant du réseau des P et T de la Guyane, ainsi que quelques indications relatives à la protection des câbles sous plomb contre la corrosion.

Nous avons d'autre part, remis à Monsieur DEFOSSEZ, au cours de sa visite du 4 courant, un document intitulé "Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion". (CCITT New-Dehli, 1960).

En espérant que ces documents pourront vous être utiles, nous vous prions d'agréer, Messieurs, nos salutations distinguées.

J. BELE

Directeur des Etudes
et Recherches.

..//..

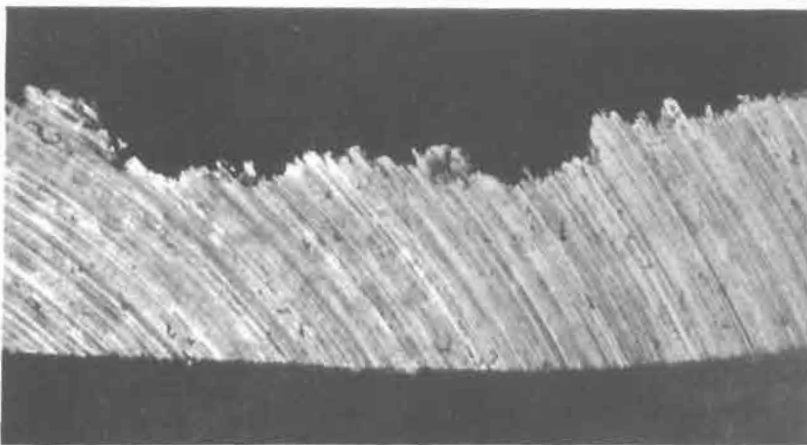


Fig. n° 1 G = 15

Fig. n° 2 G = 25



Fig. n° 3 G = 10

Fig. n° 4 G = 25



suite à TL/164 du 6.2.63 -

Fig. n° 5 G = 100

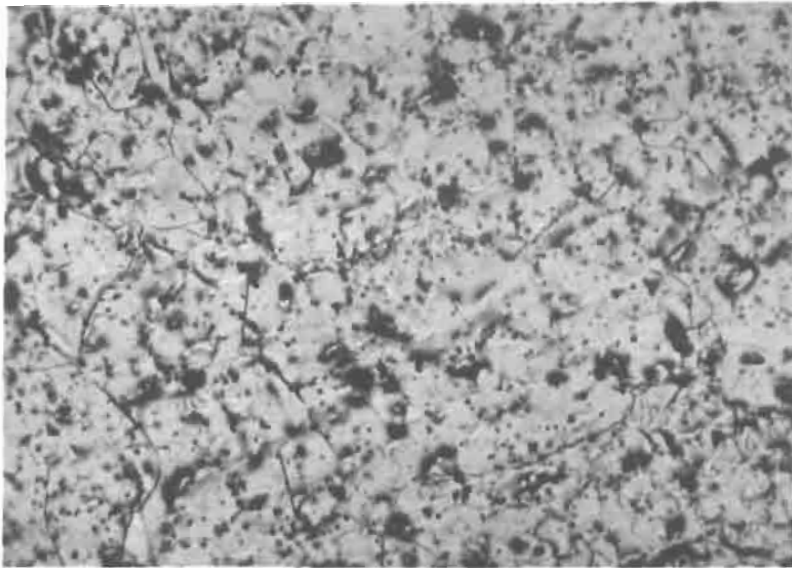
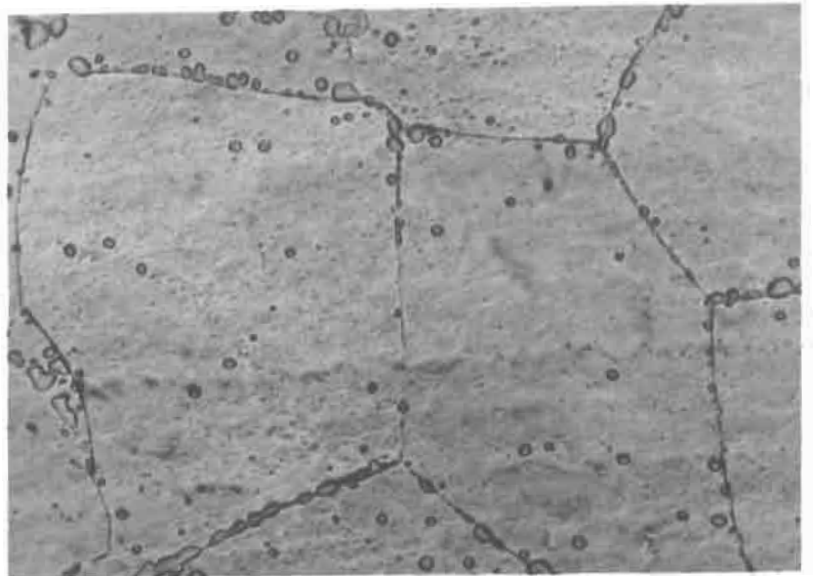


Fig. n° 6 G = 380



EXAMEN DE CABLES SOUS PLOMB CORRODES
EN PROVENANCE DE CAYENNE (GUYANE)

1.- ECHANTILLONS.

Quatre échantillons de gaine de plomb, en provenance de Cayenne, ont été fournis à TREFIMETAUX (Département des Fils et Câbles Isolés, Service Technique) par Monsieur DEFOSSEZ de l'ORSTOM, le 29 Janvier 1963 (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer).

Ces échantillons ont été numérotés par nos soins :

Echantillon n° 1. Plaque de plomb rectangulaire de dimensions 100 x 120 mm, provenant du développement d'un tronçon de tube.

Echantillon n° 2. Plaque de plomb rectangulaire de dimensions 65 x 120 mm, provenant du développement d'un tronçon de tube.

Echantillon n° 3. Tube de plomb, diamètre 30 mm, l = 60 mm

Echantillon n° 4. Tube de plomb, diamètre 30 mm, l = 80 mm

2.- EXAMEN DES CORROSIONS.

Tous les échantillons présentent une corrosion sur les deux côtés de la gaine.

Echantillon n° 1. La face externe de la gaine est plus corrodée que la face interne. Des cavernes assez profondes et étendues (fig. 1) contiennent un dépôt grisâtre d'aspect granuleux (fig. 2). De petites quantités de produits de corrosion blancs ont été observés (carbonates de plomb) (fig. 3).

Echantillon n° 2. L'attaque est moins accentuée sur cet échantillon que le précédent. Les produits de corrosion observés sont blancs (carbonates de plomb) ou légèrement jaunâtres.

Une partie bien délimitée de l'échantillon est recouverte d'un produit de corrosion rose, contenant un peu de protoxyde de plomb PbO (fig. 4).

Echantillon n° 3. Attaque moins profonde que celle des échantillons 1 et 2. Quelques produits de corrosion blancs ont été observés.

Echantillon n° 4.

Son aspect est comparable à celui de l'échantillon n° 3. Sous une couche de produits de corrosion superficiels se trouve, par endroits, un dépôt grisâtre granuleux. Quelques cavernes assez profondes et étendues ont été observées, tout à fait comparables à celles représentées par la figure 1.

..//..

3.- EXAMEN METALLOGRAPHIQUE.

3.1. Echantillons 1 et 2. La structure observée est celle d'un plomb allié, de structure voisine de celle de l'alliage PTT (0,7% Sb + 0,07% Cu). En sombre apparaissent des particules du composé Sb - Cu (fig. 5)

3.2. Echantillons 3 et 4. La structure est celle d'un plomb très légèrement allié (fig.6)

4.- ANALYSE CHIMIQUE.

Dosage de Sn, Sb, Cu sur les échantillons 1 et 4 :

	<u>Sb</u>	<u>Cu</u>	<u>Sn</u>
Echantillon 1	0,5	0,08	0
" 4	0,2	0	0

5.- CONCLUSIONS .

La qualité de la gaine de plomb doit être mise hors cause; aucun défaut de fabrication n'apparaît, notamment aucun défaut d'étachéité.

Les phénomènes observés sont des corrosions de type électrochimique, dues à un milieu particulièrement agressif.

L'annexe jointe donne quelques indications relatives à la protection du plomb contre la corrosion.

G. POULLEAU.

PROTECTION DES CABLES SOUS PLOMB CONTRE LA CORROSION EN MILIEUX AGRESSIFS.

Dans le cas qui nous intéresse, le problème présente deux aspects :

- tentative de "sauvetage" d'un réseau sérieusement menacé
- mise en oeuvre des mesures préventives pour éviter le retour des mêmes accidents sur les installations futures.

..//..

1. PROTECTION CONTRE LA CORROSION DES CABLES EN SERVICE.

L'application de la protection cathodique pourrait être tentée avec une grande probabilité de succès.

La protection cathodique consiste à porter un ouvrage métallique enterré à un potentiel négatif convenable, rendant la corrosion thermodynamiquement impossible.

En ce qui concerne le plomb, on obtient une protection efficace si on porte ce métal à un potentiel de - 0,6 Volt (ou inférieur) par rapport à une électrode impolarisable cuivre-sulfate de cuivre en solution saturée.

La protection cathodique est assurée soit à l'aide d'anodes réactives en zinc ou magnésium, soit à l'aide de sources extérieures de courant continu.

Les anodes réactives, qui ne sont susceptibles de fournir que des courants de faible intensité, peuvent convenir dans les cas où les échanges de courant entre plomb et sol sont limités.

Cette condition ne doit pas exister pour les câbles posés à Cayenne car les plombs ne sont pas isolés du sol et le sol lui-même est de faible résistivité.

L'installation de sources extérieures de courant pourrait, par contre, être étudiée.

A priori, on peut s'attendre à la nécessité d'une installation assez importante et à une consommation de courant assez élevée étant donné les conditions particulièrement sévères à surmonter. Mais nous pensons que c'est là la meilleure solution, sinon la seule. Une étude sur place, effectuée par un spécialiste, nous paraît indispensable.

L'étude et l'installation d'une protection cathodique ne sont pas du domaine de "TREFIMETAUX".

Le service SEPO (Service d'Etude et de Protection des Ouvrages) du Gaz de France nous paraît susceptible d'étudier ce problème. Voici son adresse :

S E P O - 23 rue Philibert Delorme - PARIS 17ème

Nous vous signalons également deux sociétés privées qui réalisent des installations de protection cathodique :

../..

STECTA " Société Technique et Commerciale des Canalisations
Souterraines en tube d'acier" Sce technique
103 rue de la Boétie, Paris.

SECCO "Société d'Etude contre la Corrosion"
19 rue Nicolo, PARIS 16ème.

2. MESURES PREVENTIVES A PREVOIR LORS DES EXTENSIONS DU RESEAU TELEPHONIQUE.

Les câbles devront comporter une protection étanche inaltérable ou du moins de longévité satisfaisante.

Les gaines extrudées constituées d'un mélange approprié à base de polychlorure de vinyle ou de polyéthylène possèdent une résistance élevée à un grand nombre de facteurs de dégradation. Un mélange du type "tropicalisé" peut tenir plusieurs années dans le cas général, mais des conditions très sévères ou très particulières peuvent réduire la durée de son efficacité.

Une excellente solution consiste à combiner la protection "passive" par revêtement étanche et la protection "active" que constitue la protection cathodique.

Les hautes valeurs de résistivité entre plomb et sol peuvent alléger considérablement les installations de protection cathodique qui agit néanmoins dans les zones où la gaine vinylique a pu être endommagée mécaniquement, par exemple par des chocs, des rongeurs, des micro-organismes, etc...

La présence d'une gaine vinylique sur le plomb augmente évidemment le prix de revient du câble, mais constitue une bonne garantie contre les corrosions du plomb.

Les services commerciaux de TREFIMETAUX, Département des Fils et Câbles Isolés, sont à votre disposition pour vous faire une proposition, compte-tenu des spécifications des câbles qui vous sont nécessaires.

CONCLUSION GENERALE

Le problème de la corrosion n'est pas simple et une étude attentive fait ressortir un certain nombre de paramètres très variés qui n'ont pas nécessairement trait au milieu naturel auquel était limitée cette étude de "l'agressivité des sols et des eaux". En fait, si les facteurs physico-chimiques et biologiques du milieu naturel sont, pour Cayenne, particulièrement déterminants, il n'était pas possible de négliger pour autant de nombreux autres phénomènes dus :

- soit à des actions anthropiques toujours très importantes dans une ville,
- soit au matériau corrodé lui-même,
- soit à l'interaction des différents matériaux corrodés.

Pour illustrer ce dernier cas, je ne reprendrai comme exemple que le problème du ciment et du plomb : nous avons vu, en effet, que le ciment Portland donne à la prise un dégagement de chaux vive qui attaque le plomb, or ce dégagement se poursuit en milieu humide pendant un certain temps qu'il est difficile d'estimer; il est donc recommandé, non seulement l'utilisation de ciments non corrosifs, alumineux ou sursulfatés, mais également de ne jamais laisser en contact direct plomb et ciment.

Devant cette complexité des phénomènes, il nous est apparu nécessaire avant toute chose de reprendre dans son ensemble le problème de la corrosion d'une manière didactique sans doute, mais en l'illustrant de données et d'exemples pris à Cayenne même. Dans ce but nous vous joignons également les "recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion", ouvrage offert gracieusement à votre intention par la Société TREFIMETAUX.

Vient ensuite l'exposé de nos recherches présenté par différents chercheurs, sédimentologue, pédologue, microbiologiste, qui confirme la rare prédisposition du milieu à l'agressivité.

Il nous est enfin apparu nécessaire d'élargir le cadre de travail initial, limité à l'explication des phénomènes, en recherchant les palliatifs à apporter à la corrosion. Ceci nous a amenés à contacter différentes sociétés privées spécialisées, dont deux, NEOBITUM et TREFIMETAUX, ont bien voulu apporter bénévolement leur concours.

A la lumière des résultats de notre étude et des renseignements qui étaient en notre possession, différentes possibilités de remédier à cette corrosion nous ont été données: revêtement résultant d'une association de brai de houille et résines époxydiques d'une part, protection cathodique et revêtement par matière plastique (mélange approprié à base de polychlorure de vinyle ou de polyéthylène) d'autre part.

Cependant, si une solution est trouvée dans ce cas particulier des câbles téléphoniques enterrés, on pourrait admettre, dans une région telle que Cayenne où tout concourt à provoquer et développer la corrosion, que le même problème risque de se poser, s'il ne s'est déjà posé, dans d'autres domaines (bâtiments, installations portuaires, canalisations etc....), ce qui justifierait de faire appel à un spécialiste qui, sur place, traiterait l'ensemble des problèmes de corrosion et préconiserait les solutions remèdes.

M. DEFOSSEZ

LISTE DES PLANCHES ET TABLEAUX

- PLANCHE I - Carte de localisation
- PLANCHE II - Carte des zones inondées à forte marée.
- PLANCHE III - Profils Avenue Général de Gaulle
- PLANCHE IV - Profils Axe Banlieue-Sud
- PLANCHES V à IX - Courbes cumulatives et Granulométries Axe Banlieue-Sud.
- PLANCHES X à XII - Analyses chimiques Triacides Axe Banlieue-Sud.
-

- TABLEAU I - Analyses Sols et Eaux (A. LEVEQUE)
- TABLEAU II - Analyses sédimentologiques (M. BOYÉ)
- TABLEAU III - Calcimètries Axe Banlieue-Sud.

-----*-*-*-*-*-----

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	1
TITRE I : LA CORROSION Définition, Facteurs et Méthodes d'études.	
I .LA NOTION DE CORROSION	4
1. La corrosion de bétons à ciment Portland :	4
2. La corrosion des métaux	5
II. LES FACTEURS DE CORROSION	
1. <u>Les Agents de corrosion</u>	8
1.1. <u>Les Facteurs climatiques</u>	8
1.1.1. L'Humidité	8
1.1.2. La Pluviosité	9
1.1.3. La Température	10
1.1.4. La Rosée	11
1.2. <u>Autres facteurs géographiques</u>	11
1.2.1. L'Altitude	11
1.2.2. L'influence du littoral marin	12
1.3. <u>Facteurs biologiques</u>	15
1.3.1. Action des insectes et animaux	15
1.3.2. Moisissures et Microorganismes	16
1.3.3. Actions anthropiques	17
2. <u>Les Mécanismes de la Corrosion</u> ...	18
2.1. <u>La Corrosion chimique</u>	18
2.1.1. Acides - Bases - Sels	18
2.1.2. L'oxydation	20
2.1.3. L'Hydrolyse	21

2.2. <u>La Corrosion électrochimique</u>	22
2.2.1. Principes généraux	22
2.2.2. Domaines et diagrammes de corrosion	23
2.2.3. La Protection cathodique	25
2.2.4. Notions de corrosion chimique et corrosion électro-chimique	25
III. LES CAUSES DE CORROSION	27
1. <u>Les cas d'hétérogénéité liée au matériau</u>	27
1.1. <u>L'action de l'eau sur les bétons</u>	27
1.2. <u>Les couples galvaniques</u>	28
1.2.1. Corrosion aux fissures	28
1.2.2. Couples bi-métalliques	29
1.3. <u>Les Causes métallurgiques</u>	29
1.4. <u>Les Causes mécaniques</u>	30
2. <u>Les cas d'hétérogénéité liée à l'électrolyte</u>	30
2.1. <u>l'Aération différentielle</u>	31
2.2. <u>Les Piles géologiques</u>	32
3. <u>La Corrosion bactérienne</u>	32
4. <u>La Corrosion due aux "Courants vagabonds "</u>	33
TITRE II : NOTE PEDOLOGIQUE	
I . GENERALITES	39
II . CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES	40

1. <u>Sols développés sur les alluvions anciennes d'origine continentale</u>	40
2. <u>Sols développés sur les pointements du socle cristallin</u>	41
3. <u>Sols développés sur les alluvions marines argileuses récentes</u> . . .	41

TITRE III - ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DE
L'AXE BANLIEUE-SUD

I. INTRODUCTION	44
II. ANALYSE DES PROFILS	45
1. <u>Niveau 0,80 m</u>	45
2. <u>Niveaux 1,80 m et 2,50 m</u>	48
III. ANALYSES CHIMIQUES TRIACIDES ET CONCLUSIONS	52
Références bibliographiques	54

TITRE IV - RECHERCHES MICROBIOLOGIQUES ET SUR LES ACIDES ORGANIQUES	55
- <u>Les bactéries et la théorie de la corrosion</u>	56
- <u>Quelques types de bactéries exerçant une influence notoire sur la corrosion</u>	58
a) Bactéries réduisant les sulfates . .	58
b) Bactéries provoquant l'oxydation du soufre	60
c) Bactéries produisant du gaz carbonique ou de l'ammoniaque	60
d) Bactéries produisant de l'acide nitrique	61
e) Bactéries produisant des acides organiques	61

- <u>Corrosion des pierres calcaires</u>	61
- <u>Conclusions</u>	62
ANNEXE I - Rapport de Mr HERZBERG, Directeur Technique de la Société NEOBITUM	63
(Deux notices jointes)	
ANNEXE II - Rapport de la Société TREFIMETAUX (2 planches photographiques jointes)	67
CONCLUSION GENERALE	74
LISTE DES PLANCHES ET TABLEAUX	76
TABLE DES MATIERES	77



POLYPRENE 50-1

PEINTURE A RÉSISTANCE CHIMIQUE

Le **POLYPRENE 50-1** est une dissolution de matière plastique pigmentée, d'une très grande résistance, tant chimique que physique, livrable dans toutes les teintes industrielles.

Le revêtement obtenu par une simple application de **POLYPRENE 50-1** sur toutes surfaces: métaux, ciment, bois, etc... est d'une tenue remarquable aux acides minéraux, aux bases et aux détergents à grand pouvoir mouillant. C'est ainsi qu'un tel film est insensible à un contact de plusieurs semaines avec l'acide sulfurique à 70 %, à 100 heures dans la potasse à 25° Baumé à la température de l'ébullition.

Le progrès exceptionnel réalisé par le **POLYPRENE 50-1** sur les revêtements à grande résistance chimique, c'est que cette tenue à l'action agressive des acides et des bases est réalisée dans une gamme de température très étendue: bien au-dessous de 0°, bien au-dessus de 50°, que la résistance mécanique est considérable aux frottements, abrasions, chocs.

Accessoirement le **POLYPRENE 50-1** reste insensible aux actions solvantes usuelles des hydrocarbures, des huiles, des alcools.

Le **POLYPRENE 50-1** présente donc un ensemble de qualités qui n'était pas jusque là réuni dans un produit à fonction anti-acide ou anti-alcaline et son emploi peut donc être envisagé désormais pour des usages où l'industrie de la peinture ne donnait pas de réponses satisfaisantes aux problèmes posés.

"LE NÉOBITUM"

Société à Responsabilité Limitée au Capital de 17.000.000 de Francs

Ancienne Maison Albert CABARET

11, Boulevard Roger-Salengro, 11
MANTES-LA-JOLIE (SEINE-A-OISE)
(FRANCE)

UNIS-FRANCE

R. C Seine-et-Oise 54 B 9

Tél. : 3.58 MANTES-LA-JOLIE

Adres. Télégraph. : NÉOBITUM-MANTES-LA-JOLIE

Le **POLYPRENE 50-1** dérivé du **POLYPRENE 50-9** (polymérisable à chaud) a ceci de particulier qu'il est en quelque sorte polymérisable à froid par addition, au moment de l'emploi, d'un catalyseur qui détermine une réaction chimique conférant un durcissement très élevé à la pellicule.

Toutes les vertus physiques du **POLYPRENE 50-1** sont dues à l'emploi de ce catalyseur dont le dosage a été judicieusement étudié.

MODE D'EMPLOI

Il est recommandé de ne pas appliquer le **POLYPRENE 50-1** sur des surfaces dont la température est inférieure à 15°, le froid empêchant la réaction chimique qui assure la qualité de la pellicule.

Avant emploi verser le catalyseur dans le **POLYPRENE** et agiter. Le mélange est utilisable pendant un laps de temps d'environ 30 heures. Il ne faut donc préparer que la quantité de mélange strictement requise pour le travail prévu.

Le **POLYPRENE 50-1** peut être livré soit à la fluidité pinceau, soit à la fluidité pistolet, les deux modes d'application étant possibles. Nous rappelons qu'il reste conseillé d'appliquer la première couche au pinceau lorsqu'il s'agit d'application directe sur le support.

Toute dilution supplémentaire justifiée par une évaporation du produit exige un dilutif parfaitement adapté qui peut être livré sur demande.

Les surfaces doivent être propres et sèches, comme d'usage.

Appliquer ensuite 2, 3 ou 4 couches de **POLYPRENE 50-1** en laissant un intervalle minimum de six heures entre couches.

Le durcissement total, fonction de la température ambiante, demande quelques jours, laps de temps au bout duquel la pellicule a toutes ses qualités physiques. Ce délai peut d'ailleurs être raccourci si le revêtement peut être soumis à l'action accélératrice d'une chaleur modérée.

Le **POLYPRENE 50-1** est applicable sur tous matériaux. Il faut toutefois se défier particulièrement, en ce qui concerne l'adhérence, de l'interposition de pellicule ancienne de peinture quelconque, susceptible d'être détremmée par les solvants du **POLYPRENE 50-1**.

Les pinceaux et le matériel ayant servi à l'application du **POLYPRENE 50-1** doivent être lavés avec un solvant fort, le trichloréthylène par exemple, immédiatement après usage, sans attendre le durcissement de la pellicule.

" LES POLYKOTTES "

Les **POLYKOTTES** sont des associations de résines époxydiques et de brais qui sont réalisées sous forme de peintures, d'enduits ou de masses à couler selon un procédé breveté S.G.D.G. L'intérêt de telles associations est de permettre la réalisation de revêtements économiques, par rapport aux revêtements époxydiques purs, en ajoutant les qualités d'adhérence et d'inertie chimique des brais. Les préparations de surfaces sont simples et la mise en œuvre aisée.

PRINCIPAUX TYPES

Le champ d'application des **Polykottes** s'étant considérablement étendu depuis leur commercialisation, notre Société a été amenée à créer, en plus du type standard, un certain nombre de types destinés à des applications plus spécialisées.

Les principaux types sont donc :

K 41 (STANDARD). — Produit dont les qualités sont une moyenne entre les qualités des produits ci-après :

K 41 TYPE A. — Ou K 41 accéléré, produit dont le durcissement est deux fois plus rapide que le produit standard. Il permet aussi l'application lorsque la température ambiante est plus basse (mais $> 10^{\circ}$). Ce produit est plus dur et moins souple que les autres.

K 41 TYPE B. — Ou K 41 d'étanchéité, produit dont on a surtout développé la souplesse aux dépens du temps de séchage qui est doublé. La souplesse est durable et ce produit convient particulièrement à la résistance aux intempéries et aux ambiances moyennement agressives. — Permet la marche.

K 41-12. — Intermédiaire entre le **K 41** et le **K 31**.

K 41 TYPE D. — Produit qui peut subir l'épreuve de la température sans perdre de sa souplesse et qui rend des services dans des cas particuliers comme celui des tuyauteries chaudes. Résistance à la corrosion un peu moindre.

K 41 TYPE S. — Pour étanchéité très souple. — Ne permet pas la marche.

K 41 TYPE E ou K 41 SANS SOLVANT. — Produit sans solvant pour endroits confinés ou pour adhérence et étanchéité entre fers et bétons. Ne peut être appliqué aussi épais que les précédents, au maximum 300 g/m^2 .

K 31 STANDARD. — Produit dont la résistance chimique, et particulièrement aux ambiances mixtes agressives et solvantes ou aux déjections très agressives, est augmentée par rapport aux différents K 41.

K 31 TYPE L. — Produit applicable en épaisseur moindre ($< 300 \text{ g/m}^2$) mais donnant des revêtements très durs et très lisses, à utiliser pour les conduites forcées et pour tout problème de pertes de charges.

D'autre part, le cas échéant, les **Polykottes K 31** peuvent être livrés dans les types A, B, D, E, mais sur demande spéciale.

POLYKOTTE N° 4. — Peinture anti-corrosive, très adhérente ; à appliquer en couches minces.

POLYKOTTE N° 5. — Peinture semi-épaisse (150μ par couche), de très haute résistance chimique et physique.

FICHE TECHNIQUE POLYKOTTE K 41

PRESENTATION. — En deux emballages, l'un contenant le **Polykotte**, l'autre le catalyseur exactement nécessaire au premier emballage. L'emballage standard est le cylindre 33/35 kg environ.

I. — MISE EN ŒUVRE

MELANGE. — On introduit le catalyseur dans le récipient contenant le **Polykotte** en laissant égoutter une minute environ. Il est nécessaire de bien mélanger les deux constituants. On opérera, de préférence, à l'aide d'un agitateur mécanique (deux minutes) en montant et descendant l'agitateur plusieurs fois. Pour un cylindre de 33/35 kg, si on opère à la main à l'aide d'un bâton il sera nécessaire de mélanger pendant au moins cinq minutes.

OBSERVATIONS. — Le **Polykotte** et son catalyseur peuvent être stockés séparément un an, passé ce délai les échantillons devront nous être soumis pour vérification. Après mélange, le produit doit être utilisé dans la journée ; si on a préparé un excès, il est possible de garder la vie du mélange en portant le récipient à une température inférieure à $+ 5^{\circ}$.

PREPARATION DES SURFACES. — Les surfaces doivent être non grasses, débarrassées des calamines et des oxydes non adhérents. En général, un bon brossage et éventuellement un piquage, sont largement suffisants. Le sablage n'est pas exigé. Les anciens revêtements de peinture devront être éliminés au maximum.

DILUTION. — Le **Polykotte** ne doit jamais être dilué par l'utilisateur. Exceptionnellement, il pourra être fourni, sur demande expresse, un solvant spécial.

SOUS-COUCHES PRE-EXISTANTES. — Dans tous les cas, le meilleur résultat est obtenu sur métal, béton ou bois nus et secs. Si une sous-couche existe, il faudra effectuer des essais préalables d'adhérence.

APPLICATION. — Le **Polykotte** peut être appliqué à la brosse, au rouleau et au pistolet à produits pâteux. Pour la première couche, nous recommandons tout particulièrement l'utilisation de la brosse.

CONSOMMATION. — Le **Polykotte** est un thixotrope. Il est aisé de l'appliquer en des couches allant de 50 microns à 500 microns. Dans la pratique, il a été constaté que deux couches de 300 g par m^2 , donnaient une excellente protection.

APPLICATION DE LA SECONDE COUCHE. — Il est nécessaire d'attendre au moins quatre jours après la première couche avant d'appliquer la seconde lorsque la température ambiante est supérieure à $+ 10^{\circ}C$ (voir catalyse).

NETTOYAGE DU MATERIEL. — Toluène, solvants benzéniques, orthodichlorobenzène.

CATALYSE. — Le **Polykotte** a pour filmogènes des brais de houille et des résines époxydiques. C'est la présence de ces dernières qui confère à l'ensemble la résistance chimique particulière au **Polykotte** et les qualités mécaniques.

La catalyse, et donc le durcissement final du produit, ne peuvent avoir lieu que lorsque la température diurne est supérieure ou égale à $+ 10^{\circ}$, il faudra alors une semaine environ, il est toutefois possible d'appliquer le **Polykotte** à des températures plus basses, mais la catalyse finale ne se produira que plus tard.

La catalyse peut être accélérée par la température, elle sera de quelques heures à 60° par exemple. Il sera toujours nécessaire d'attendre le départ des solvants (trente-six heures) avant d'accélérer la catalyse par augmentation de la température.

RECOUVREMENT EN COULEUR. — Huit jours après application du **Polykotte**, ce produit peut être recouvert de peinture colorée comme nos **Polyprènes**, mais nous attirons l'attention de l'utilisateur sur le fait que tous les types de peinture ne conviennent pas. Nous recommandons les peintures au caoutchouc isomérisé, les peintures à base de métacrylate de méthyle, les peintures vinyliques. Nous recommandons à l'utilisateur de nous consulter dans tous les cas.

II. — CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

Toutes les caractéristiques mécaniques des revêtements constitués sont données pour une application de 500 microns en deux couches.

COULEUR. — Noire ou brun noir.

CONSISTANCE. — Thixotrope : avant ajout du catalyseur 72,5 poises
une heure après mélange 255 poises

DENSITE. — 1,4 à 1,5.

EXTRAIT SEC. — 70 %.

ETIQUETTE. — Sans étiquette (sauf modifications).

RESISTANCE AU FROID. — Moins 40°C.

RESISTANCE EN TEMPERATURE. — Contrairement à tous les autres produits bitumineux, les **Polykottes** ne fluent pas en température, ils deviennent au contraire durs et plus fragiles. Le **Polykotte K 41** peut résister d'une manière permanente à 100°, il peut supporter des pointes de 120°. La variété spéciale pour température, notre **Polykotte K 41 type D** peut supporter 180° en permanence.

DURETE PERSOZ DU REVETEMENT CATALYSE. — 220.

EMBOUITISSAGE ERICHSEN. — Après huit jours : 3 ; après un an : 1.

PENETRATION. — Sous une charge de 50 g à 20° : 8.

POROSITE. — 0,001 micromohs cm² au Porosimètre Blet.

CONDUCTIBILITE THERMIQUE. — K = 1,9 kilocalorie m² heure degré C au Fluxomètre Schmit.

FINESSE DE BROYAGE. — 8 (North Americain).

III. — CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

A) **AMBIANCES AGRESSIVES.** — Dans les atmosphères comportant seules ou en mélange, les produits suivants :

Halogène ou acides hallogénés, SO₂, SO₃, ammoniacque, vapeurs nitreuses, humidité permanente, air marin.

La résistance des revêtements est excellente.

Dans le cas de concentrations particulièrement élevées, nous recommandons de nous consulter, une variété encore plus résistante, le **Polykotte K 31**, pouvant être alors recommandée.

B) **CONTACT AVEC LES PRODUITS CHIMIQUES.** — Voir tableau page 3.

La résistance du **Polykotte K 41** aux solvants organiques et aux acides organiques varie selon les cas. Nous consulter pour chaque cas particulier.

Les renseignements donnés dans cette fiche technique sont purement indicatifs et n'engagent en rien notre responsabilité.

Nous sommes à la disposition des utilisateurs pour leur fournir gratuitement, plaquettes revêtues ou échantillons nécessaires à leurs essais.

Les propriétés des autres types de **Polykotte** sont celles du **K 41 Standard** avec les variations indiquées ci-après.

RESISTANCE des POLYKOTTES aux DIFFÉRENTS AGENTS AGRESSIFS

**Les résistances sont exprimées en jours. - R = inattaqué après 36 jours.
Les réactifs sont à température ambiante.**

2 couches = 700 g/m ²	K 41	K 31	K 41-12	K 41 E	K 41 B	K 41 D
Sulfate de cuivre à 10 % pH 5,5.....	2	R	2	R	13	1
Chlorure sodium à 30 g/litre.....	R	R	R	R	R	R
Sulfate d'alumine solut. saturée.....	R	R	R	R	R	25
Sulfate d'ammonium 50 %.....	R	R	R	R	R	19
Acide Nitrique 40° Bé à 10 %.....	R	R	R	R	13	1
Acide Nitrique 40° Bé à 30 %.....	R	6	R	35	13	3
Acide Chlorhydrique d = 1,19 à 10 %	36	R	R	8	R	3
Acide Chlorhydrique d = 1,19 à 30 %	20	R	23	R	35	1
Acide Sulfurique 66 Bé à 10 %.....	2	R	8	R	17	3
Acide Sulfurique 66 Bé à 30 %.....	R	R	R	R	22	1
Ammoniaque 22° Bé à 50 %.....	R	28	R	R	R	5
Soude solide à 10 %.....	3	5	3	R	1	1
Soude solide à 30 %.....	2	5	2	R	1	1
Nitrate d'Ammonium sol. saturée.....	R	R	R	14	Non mesuré	Non mesuré
Acide lactique 20 %.....	28	R	13	34		
Acide lactique pur.....	4	R	30	5		
Eau de Javel pure.....	12	17	R	15		
Eau de Javel à 20 %.....	R	17	19	30		
Acide phosphorique 85 % à 20 %...	24 H	26	12	10		
Acide phosphorique 85 %.....	24 H	35	4	21		
Phénol 100 g/litre.....	<24 H	<24 H	<24 H	<24 H		
Acide chromique à 20 %.....	<24 H	<24 H	<24 H	<24 H		
Acide acétique à 30 %.....	12	24	11	96 H		

"Les Polykottes" sont une exclusivité de Néobitum B.P. 10 Mantes - Tél 358.

TABLEAU I

ANALYSES

Profils	Prelevements	Analyse granulométrique				P.H.	Résistivité ohms/cm.	T° des eaux	Matière organique %	Cations - meq %					Somme Cations	Anions - meq %				Somme des Anions			
		Argile %	Limon %	S. Fin %	S. Gros %					Ca	Mg	K	Na	Al		Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃			SiO ₃	
A ₁	Eau du forage	PH					6,8	2349	30°5		2,44	0,20	0,23	0,68		3,54	0,94	0,17	2,18	0,14	3,53	A ₁	
		BH					6,4	1622	31°		3,36	1,20	0,53	2,94		8,03	2,66	1,64	3,56	0,08	7,33		
	Sol	Surface					7,4	3723			0,52	0,79	0,38	6,33			1,12	5,18					
			0m.80				6,5	11702			1,66	Traces	0,16	9,98			1,00	4,30					
B ² / ₁	Eau du forage	PH					7,1	3530	31°		2,32	0,65	0,36	0,45			0,80	0,44	2,36	0,10		B ² / ₁	
		BH					7,2	1792	31°		3,52	1,64	0,47	4,15			4,70	0,75	4,42	0,17			
	Sol	0m.80	20,80	3,00	37,67	27,86	7,2	3404		10,56	0,85	2,72	0,23				0,50	6,68					
			1m.80	37,25	16,35	36,48	5,23	6,5	1535		9,00	1,20	1,89	0,44	38,58			0,22	5,81				
B ² / ₂	Eau du forage	PH					7,5	3510	31°5		1,84	Traces	0,35	0,97			0,54	0,66	2,10	0,10	3,39	B ² / ₂	
		BH					7,1	1800	32°		2,24	2,20	0,57	8,85		13,86	8,22	0,57	4,16	0,14	13,09		
	Sol	0m.80					6,7	3617															
			1m.80	41,60	7,95	24,70	18,80	6,8	313		12,12	0,35	0,74	0,23	18,85			2,87	9,01				
B ² / ₃	Eau du forage	PH					7,0	113	31°5		3,50	8,68	0,22	6,64			19,04	7,66	4,62	6,52	0,80	19,60	B ² / ₃
		BH					7,2	145	31°5														
	Sol	0m.80					7,9	5319		10,33	0,70	0,41	0,23	11,29			1,10	2,87					
			1m.80				7,7	237		11,24	1,05	0,33	0,33	11,29			16,50	5,61					
B ² / ₄	Eau du forage	PH					5,5	30	32°		9,60	25,60	4,36	113,38	8,77	0,36	162,0	153,80	4,47	4,22	0,08	162,57	B ² / ₄
		BH					5,4	82	30°5														
	Sol	0m.80	49,10	22,00	12,87	6,03	6,5	361		11,55	0,50	0,93	0,35	16,83			9,75	14,11					
			1m.80	55,25	24,40	6,04	2,58	6,3	237		13,90	0,35	0,17	0,57	12,20			16,00	11,80				
B ² / ₅	Eau du forage	PH					4,1	138	32°2		6,60	21,10	4,36	96,77	36,51	0,36	165,0	137,00	27,35	1,66	0,44	166,44	B ² / ₅
		BH					3,7	80	31°5														
	Sol	0m.80	46,50	25,80	17,76	4,76	3,8	457		10,98	0,75	1,40	0,36	33,57			8,13	10,36					
			1m.80	40,20	12,75	31,00	3,53	6,8	287		11,21	1,75	0,08	0,60	17,64			12,75	13,23				
B ² / ₆	Eau du forage	PH					3,5	125	32°		7,20	70,64	5,19	248,37	11,38	0,48	343,0	316,00	19,29	8,18	0,28	343,75	B ² / ₆
		BH					3,6	114	31°5														
	Sol	0m.80					4,0	5000		11,62	0,95	1,23	0,27	18,45			1,49	3,25					
			1m.80				5,5	340		9,84	0,35	0,33	0,23	17,88			7,25	6,80					
			3m.50				5,7	425		11,88	0,75	0,51	0,27	1,61			6,63	8,87					
B ² / ₇	Eau du forage	PH					6,3	92	30°5		5,20	26,00	0,26	11,81			43,26	18,10	16,59	9,70	0,08	44,47	B ² / ₇
		BH					6,3	75	32°														
	Sol	0m.80	13,50	4,95	72,47	5,91	7,0	531		4,96	1,65	1,80	0,73	30,24			8,38	7,87					
			1m.80	16,05	6,80	67,36	3,30	7,4	287		6,28	1,05	0,66	0,42	16,33			15,78	5,37				
B ² / ₈	Eau du forage	PH																				B ² / ₈	
		BH																					
	Sol	0m.80					4,4	2127		1,38	0,61	0,67	0,43	5,04			1,98	2,37					
			1m.80				4,8	510		1,78	1,22	0,11	0,33	10,08			12,75	3,25					
D ² / ₉	Eau du forage	PH					6,2	2146	32°		3,00	0,48	0,20	1,05			4,73	2,00	0,62	2,17	0,08	4,81	D ² / ₉
		BH					6,0	1918	31°5		1,88	1,72	0,26	3,70			7,57	3,30	0,87	1,86	0,10	6,13	
	Sol	Surface					6,7																
			0m.80				7,5	3191		7,43	1,40	Traces	0,23	6,35			1,49	2,43					
			2m.50				4,5	6914		11,71	1,08	0,22	0,21	35,83			1,43	2,56					
Avenue du G ² de Gaulle	Surface																					Avenue du G ² de Gaulle	
	Sol	1m.80																					
			3m.50																				
Rue François Arago	Eau du forage	PH						2127	31°		2,88	0,72	0,17	1,44			4,67	1,34	0,88	2,96	0,07	Rue François Arago	
		BH						2235	32°5														
	Eau du caisson	PH					7,4	3401	35°		1,92	Traces	0,77	1,15			0,34	0,05	2,78	0,27			
			0m.80	22,55	10,15	52,75	11,72	6,7	12129		9,02	1,05	0,17	0,45	10,08			5,00	3,06				
			2m.50																				
			2m.90	41,80	17,05	27,82	10,78	6,4	14270		8,04	0,43	0,89	0,16	25,20			0,62	3,87				
Petit Monaco	Surface																					Petit Monaco	
	Sol	0m.80	25,25	5,75	51,20	14,33	4,7	4852	33°5	12,24	1,22	Traces	0,23	16,13			1,12	2,62					
			0m.80	25,65	8,35	56,94	5,74	3,8	20631	32°5	11,04	1,13	"	0,33	8,31			0,75	2,75				
			1m.30	50,25	18,55	22,36	4,90				11,95	1,20	1,07	0,20	26,01			0,98	3,31				
			1m.50					4,7	24259														
Rue Rouget de l'Isle	Eau du forage	PH					5,5	1237	33°5		2,44	0,44	0,45	4,67			7,61	4,94	1,59	1,26	0,08	7,86	Rue Rouget de l'Isle
		BH					5,2	1247	31°		1,88	0,84	0,46	4,13			7,30	4,62	1,15	1,26	0,08	7,10	
	Eau du caisson	PH					6,4	2940	34°5														
			1m.30	66,15	16,40	6,62	3,15			10,80	0,95	0,51	0,29	20,76			0,87	4,24					
			1m.50																				
			2m.90	57,30	27,05	5,18	4,01	3,8	12129		9,33	1,10	1,32	0,48	10,08			0,87	2,31				
Secretariat General	Eau du forage	PH					6,1	2113			2,48	0,28	0,32	1,34			4,41	1,62	0,66	1,93	0,33	4,53	Secretariat General
		BH					6,1	2123			2,51	0,36	0,32	1,40			4,58	1,78	0,96	1,81	0,05	4,60	
	Eau du caisson	PH					8,7	2780															
			Surface	34,10	3,25	43,10	17,47			5850		14,38											
			1m.80	34,45	31,16	24,57	17,35																
			2m.00																				
			3m.50	33,55	31,60	18,67	16,23	6,4	15697		17,59												

TABLEAU II

SÉDIMENTOLOGIE — AXE "BANLIEU SUD"

TABLEAU RECAPITULATIF des Analyses physiques

N° des Caissons	Niveaux	MÉDIANES en microns	HÉTÉROMÉTRIE	Qd phi	ÉCART en unités phi	FACIES de la courbe cumulative	SOL FRAIS Fractions en %			COULEURS (Code Expolaire)		
							Diamètres < 37 microns	Sables et gravier	Perte en eau	Fractions fines	Fractions grossières	
D ^{3/9}	0,80m	600	1,70	2,67	0,97	Bimodal	18,2	65,3	16,5	E. 34	F. 62	Colluvion latéritique sur un littoral
	2,50m	260	0,90	1,15	0,35	Hyperbolique	58,2	21,2	20,6	B. 44	E. 21	Dépot lagunaire, d'origine colluviale
B ^{3/1}	0,80m	190	0,77	1,17	0,40	70% Hyperbolique	29,0	50,0	21,0	F. 64	E. 62	Sable vaseux d'astron, } Sable d'origine
	1,80m	98	0,30	0,48	0,18	30% logarithmique 35% hyperbolique	40,1	31,5	28,4	E. 62	B. 81	Vase sableuse de plage, } colluviale
A 1	Surface	188	0,70	1,57	0,57	Plurimodal				D. 38	D. 61	Matériau de remblaiement
	0,80m	94	0,26	0,31	0,05	50% logarithmique	36,1	41,5	22,4	B. 43	D. 21	Sable vaseux de plage, id. à B ^{2/4}
B ^{2/2}	0,80m	160	0,59	0,60	0,01	50% logarithmique			28,1	D. 12	D. 61	Echantillon comparable à A.1 - 0,80m
	1,80m	181	0,46	0,54	0,08	70% parabolique	37,0	27,8	35,2	E. 61	B. 81	Vase sableuse en transport (chenal)
B ^{2/3}	0,80m	2750	0,95	2,70	1,75	Plurimodal				L. 44	H. 32	Matériau de remblaiement
	1,80m	160	0,70	1,08	0,38	70% Hyperbolique	56,8	5,6	37,6	E. 90	H. 62	Vase lagunaire, peu sableuse
B ^{2/4}	0,80m	119	0,50	0,95	0,95	Hyperbolique	52,9	15,0	32,1	E. 72	B. 90	Vase sableuse d'astron, récente
	1,80m	149	0,63	1,04	0,41	- id -	46,9	13,5	39,6	E. 61	B. 81	- id - plus ancienne
B ^{2/5}	0,80m	102	0,43	0,55	0,12	50% hyperbolique 50% hyperbolique	53,2	18,3	29,5	D. 62	F. 42	Argile sableuse mélange de 2 stocks sédimentaires
	1,80m	117	0,38	0,55	0,17	45% logarithmique et palier de pédogenèse	37,5	35,2	27,3	C. 72	D. 62	Mélange d'une vase lagunaire et d'un sable de cordon littoral évolué en sol
B ^{2/6}	0,80m	89	0,18	0,18	0,00	50% logarithmique	15,6	65,6	18,8	D. 61	C. 61	Sable de cordon littoral, ou même dune
	1,80m	95	0,23	0,68	0,45	Plurimodal dont 40% logarithmique	53,2	21,8	26,0	D. E 52	C. 42	Mélange complexe entre sable type B ^{2/6} 0,80m et sédiments types B ^{2/5} 1,80m et B ^{2/5} 2,00m
	2,50m	98	0,30	0,86	0,56	Bimodal dont 35% logarithmique	62,4	11,0	26,6	B. C 54	D. E 54	Argile sableuse d'origine continentale ramassée sur un littoral
B ^{2/7}	0,80m	92	0,21	0,21	0,00	logarithmique	17,4	62,4	20,2	E. 61	A. 81	Sable de cordon littoral
	1,80m	92	0,20	0,20	0,00	- id -	19,8	53,7	27,5	E. 90	A. 90	- id -
B ^{2/8}	0,80m	100	0,23	0,33	0,10	logarithmique avec				E. F 54	B. C 62	Sable de cordon littoral dérivé d'un sol latéritique proche
	1,80m	105	0,25	0,31	0,06	dispersion aléatoire notable	5,4	78,8	15,8	E. F 54	B. C 62	

TABLEAU III

DETERMINATION DU CALCIUM - AXE BANLIEUE SUD

(Calcimétrie Bernard - Résultats pour 100 gr. de terre
séchée à l'air)

<u>Prélèvement</u>	<u>:</u>	<u>Niveau</u>	<u>:</u>	<u>Ca %</u>
D ² /9		0.80 m		2.99
D ² /9		2.50 "		1.44
B ² /1		0.80 "		3.51
B ² /1		1.80 "		1.86
A ¹		Surface		1.34
A ¹		0.80 "		1.65
B ² /2		0.80 "		3.85
B ² /2		1.80 "		2.27
B ² /3		0.80 "		2.06
B ² /3		1.80 "		2.89
B ² /4		0.80 "		2.79
B ² /4		1.80 "		3.10
B ² /5		0.80 "		2.27
B ² /5		1.80 "		2.17
B ² /6		0.80 "		2.17
B ² /6		1.80 "		2.27
E ² /6		0.80 "		4.54
B ² /7		0.80		2.99
B ² /7		1.80		5.37
B ² /8		0.80		1.65
B ² /8		1.80		2.89

SECRETARIAT D'ETAT A LA RECONSTRUCTION ET AU LOGEMENT

Guyane CAYENNE

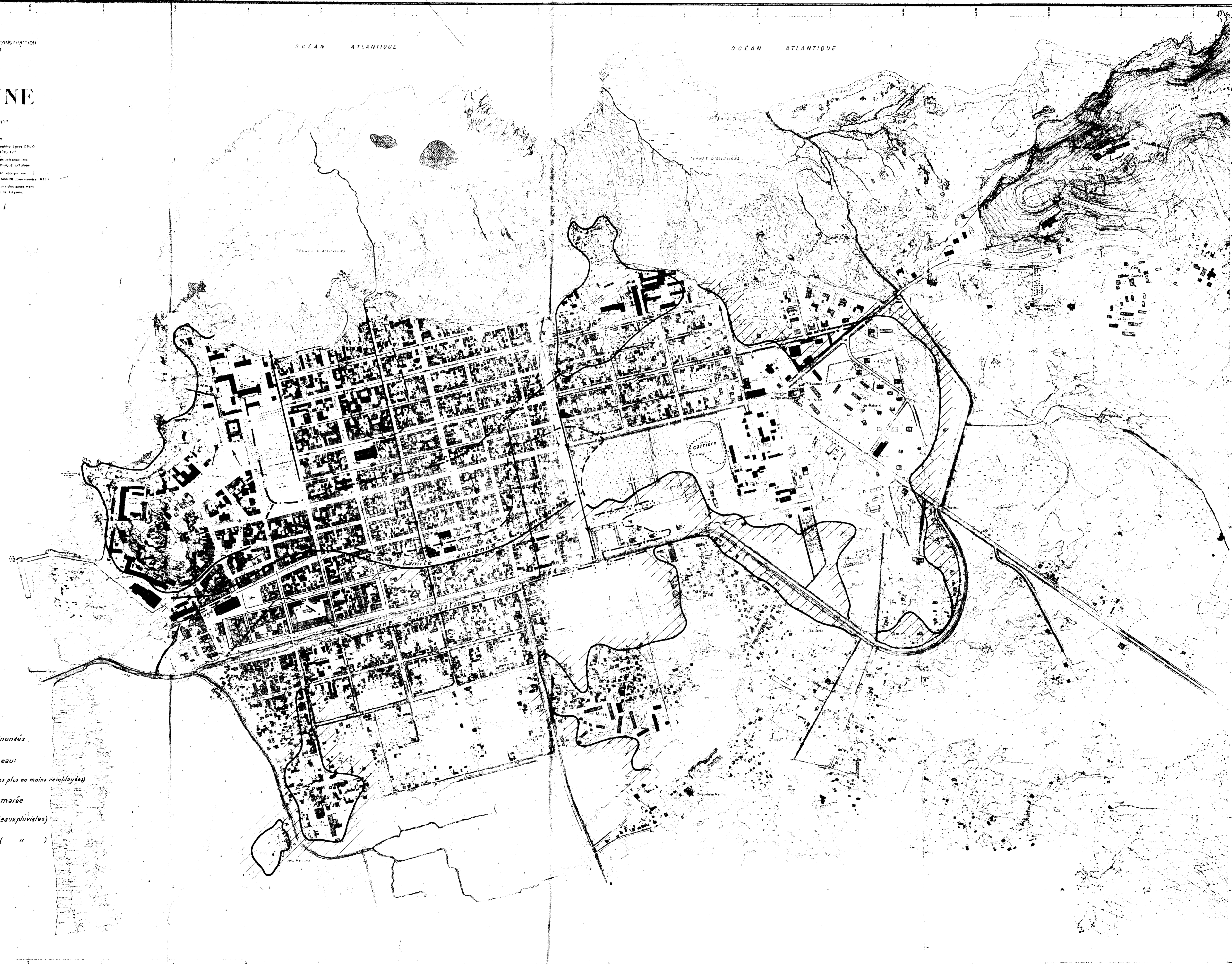
Echelle du 1/5 000^e

Plan Topographique

Travaux effectués en 1957 par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957
Relevés effectués par M. BENOIST Ingénieur Ecole Supérieure des Travaux Publics, S.M. 1957

Equivalence des courbes
Niveau de référence
Tableau d'orientation

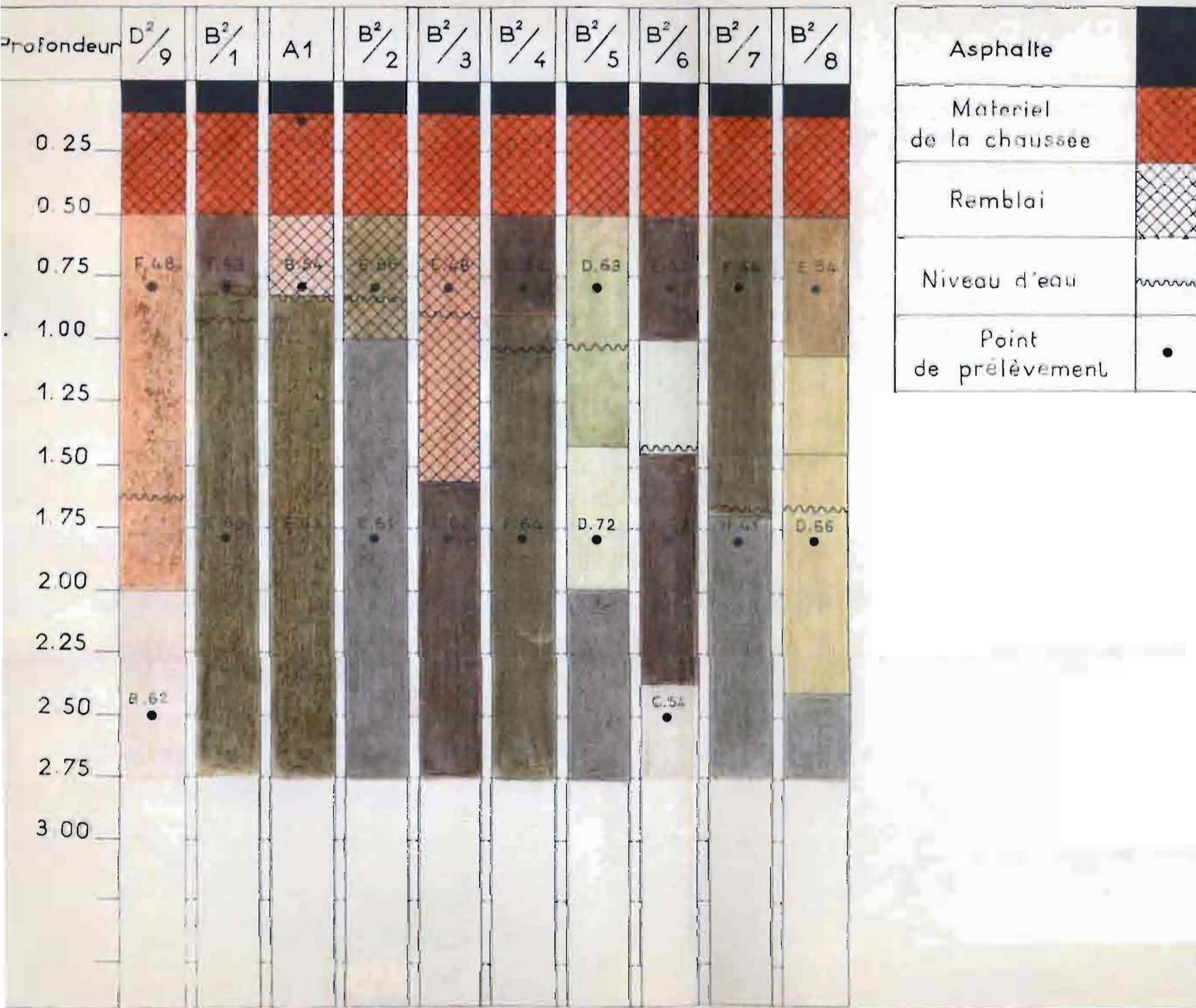
2



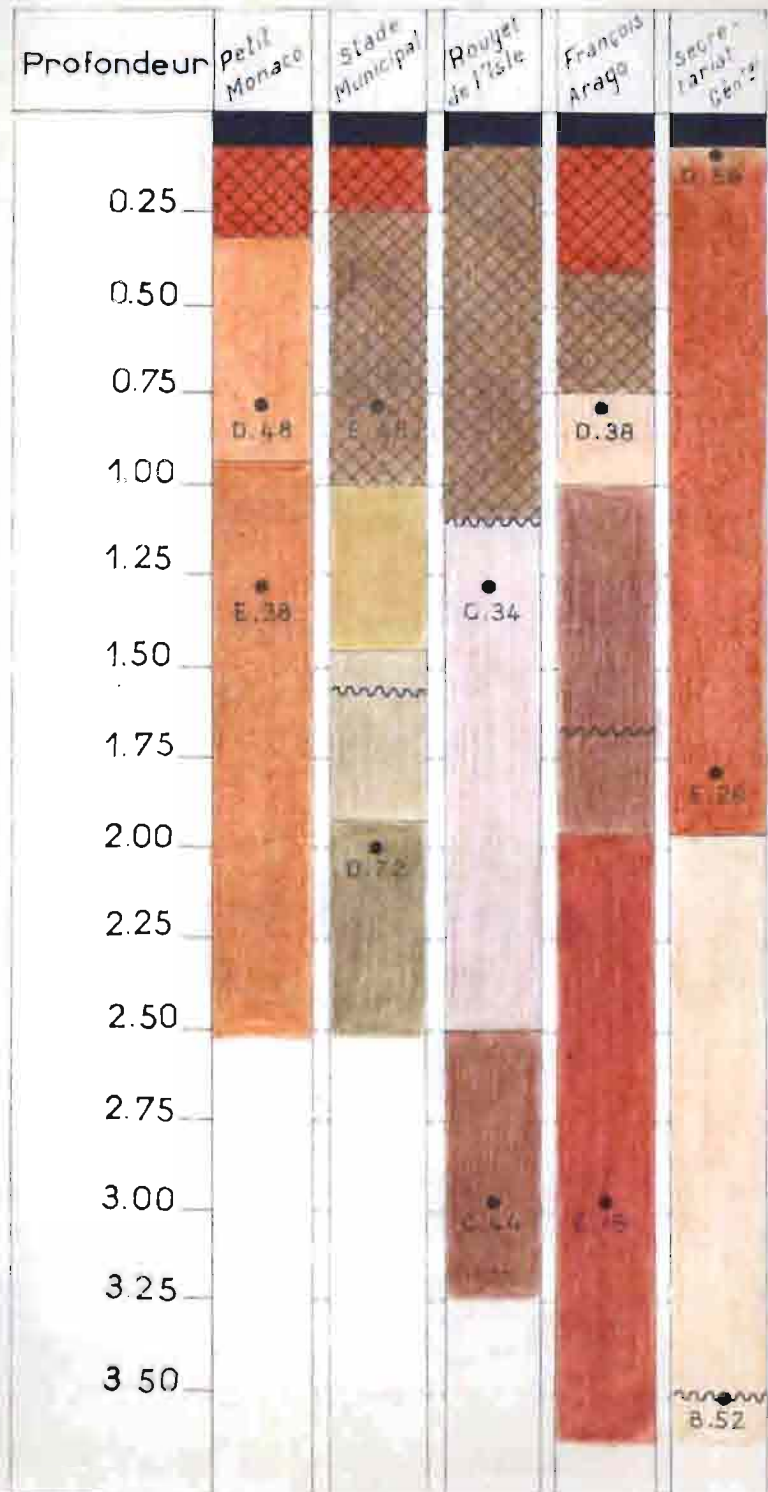
Légende

- zone rocheuse
- Zone de collecteurs inondés à forte marée.
- Ligne de partage des eaux
- Limites mangrove (Zones plus ou moins remblayées)
- Zone inondée à forte marée
- Collecteurs principaux (eaux pluviales) - 1,00 m sous chaussée
- Collecteurs secondaires (") - 0,70 sous chaussée

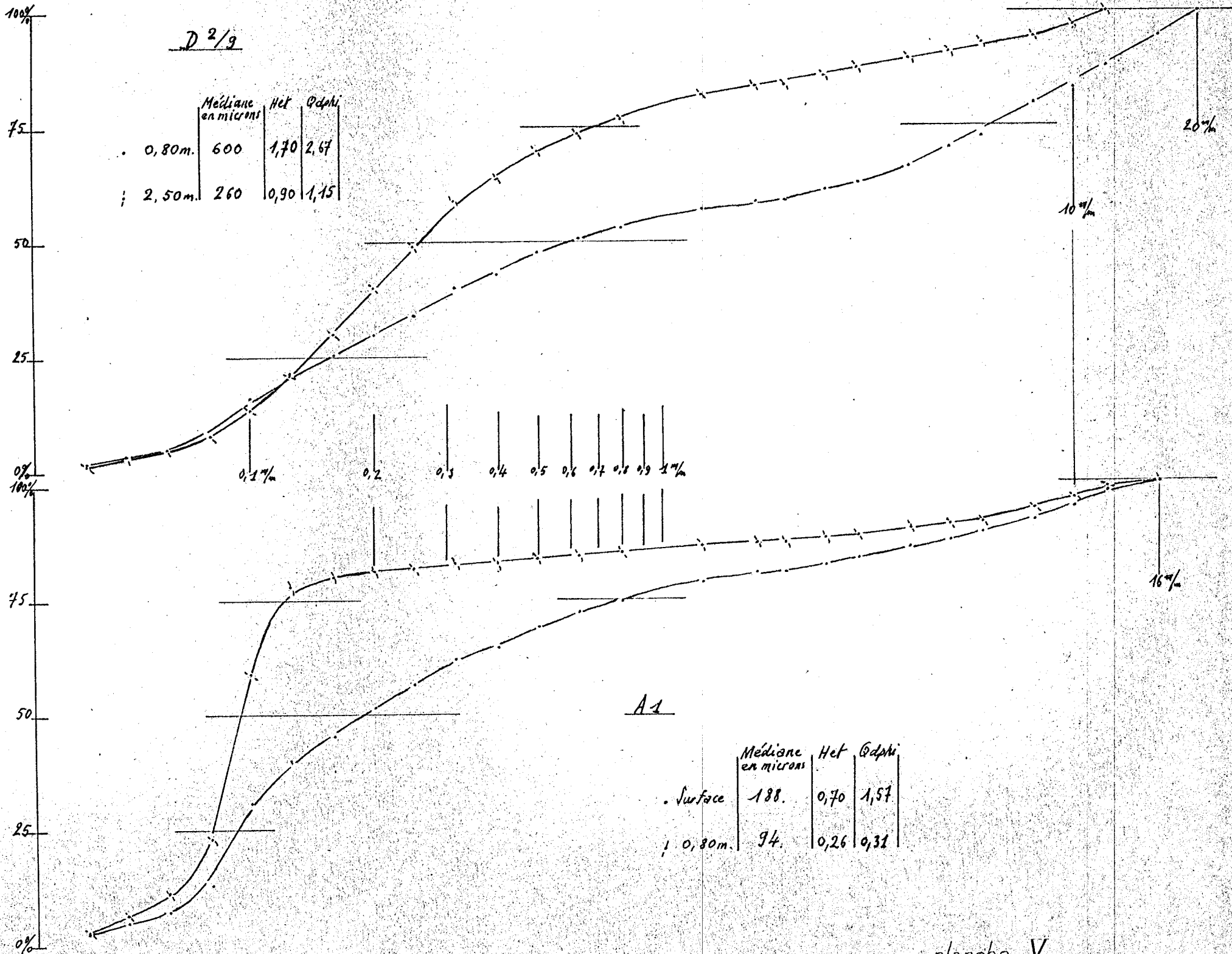
PROFILS DE SONDAGES POUR ETUDE P.T.T.

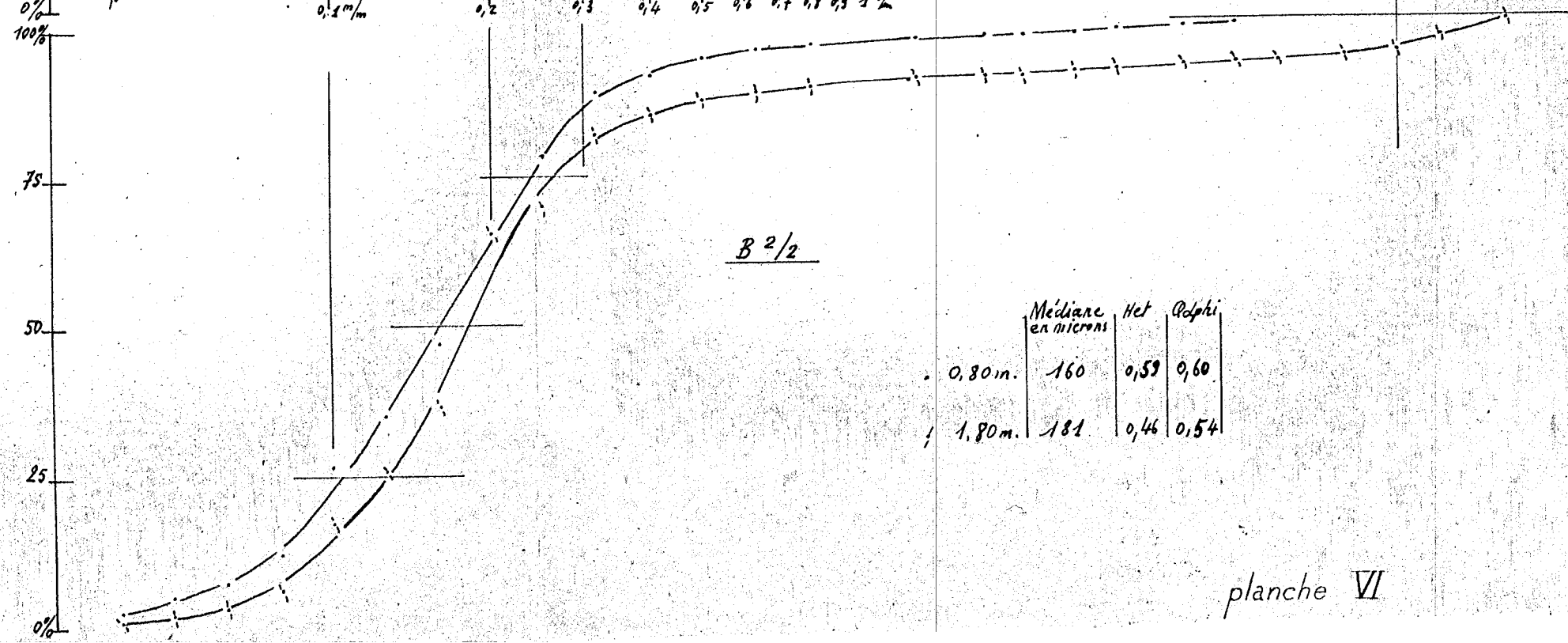
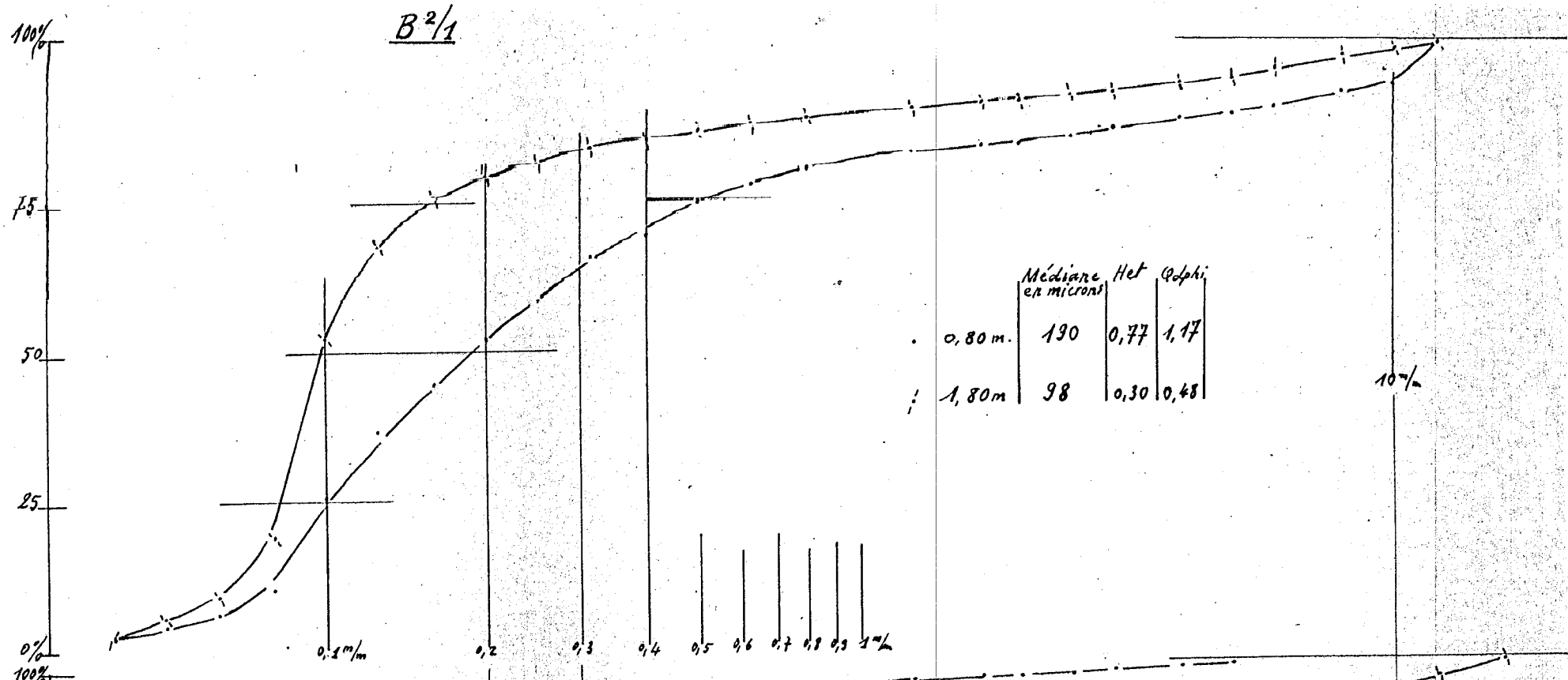


PROFILS DE SONDAGES POUR ETUDE P.T.T.

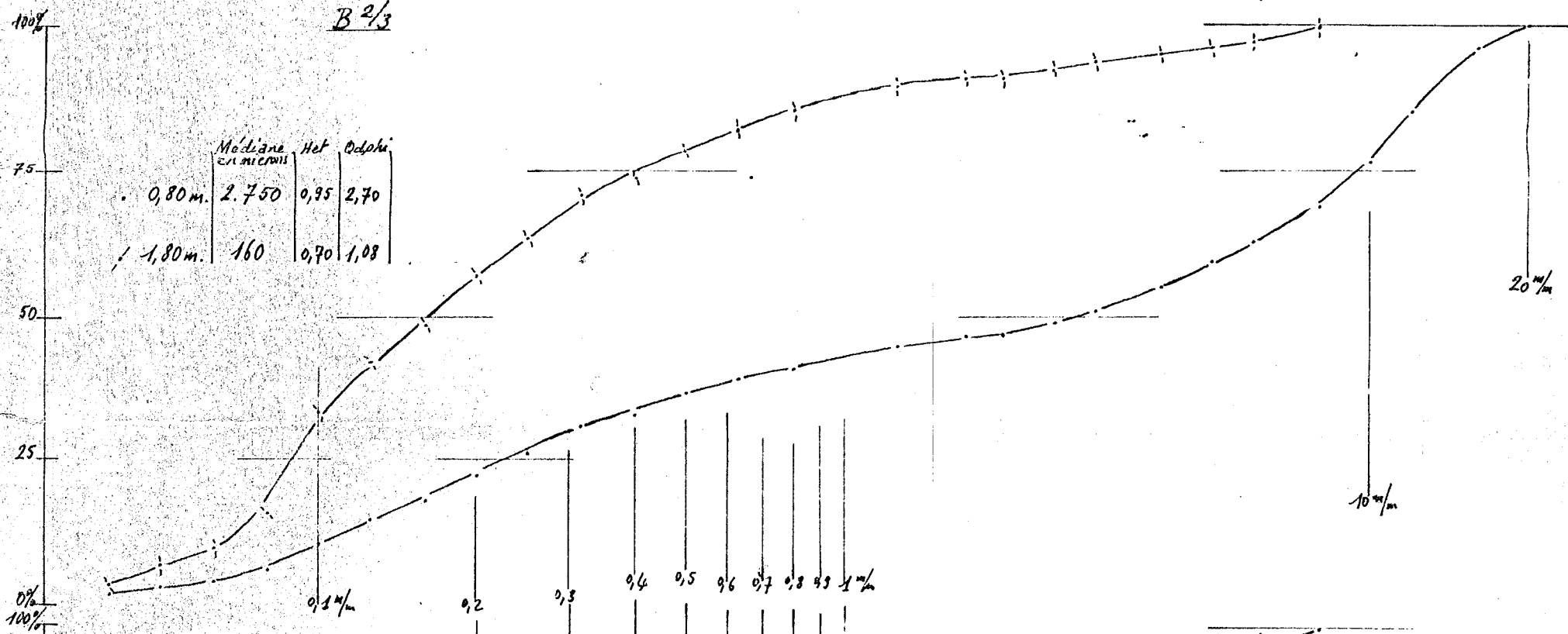


Asphalte	
Matériel de la chaussée	
Remblai	
Niveau d'eau	
Point de prélèvement	



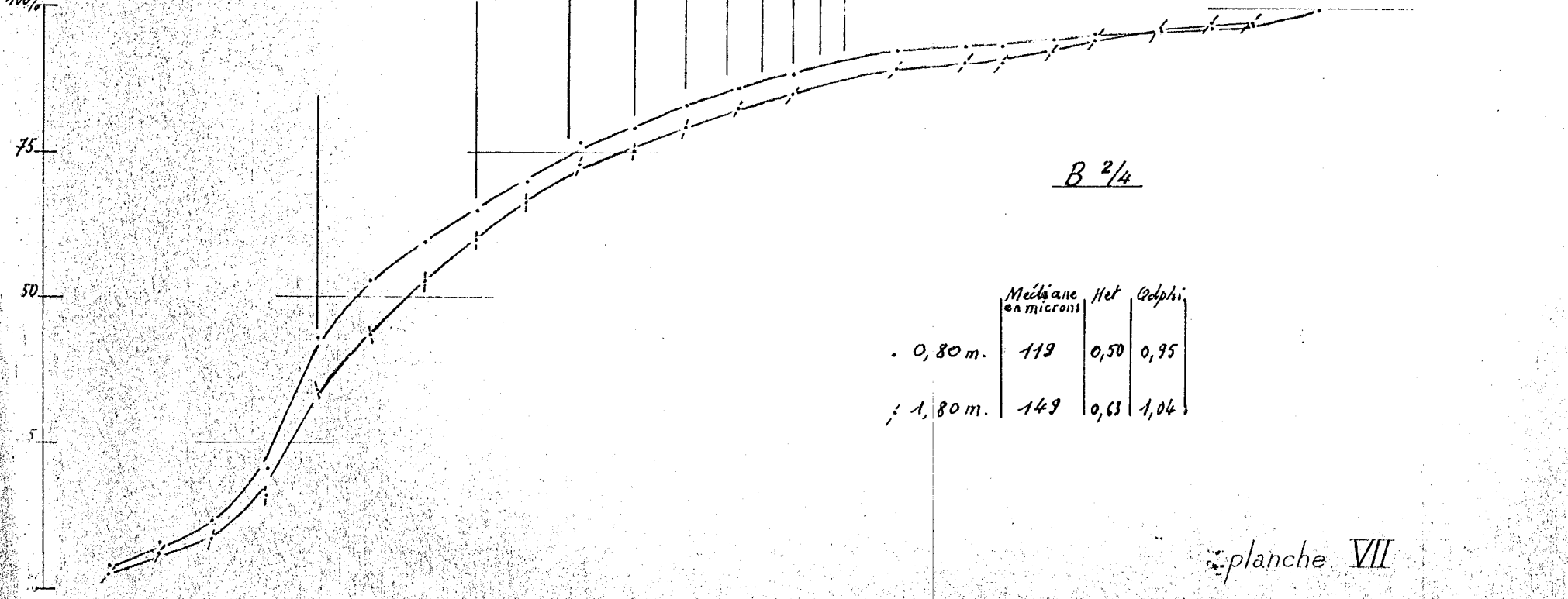


B 2/3



	Mediane en microns	Het	Adphi
• 0,80 m.	2.750	0,95	2,70
∴ 1,80 m.	160	0,70	1,08

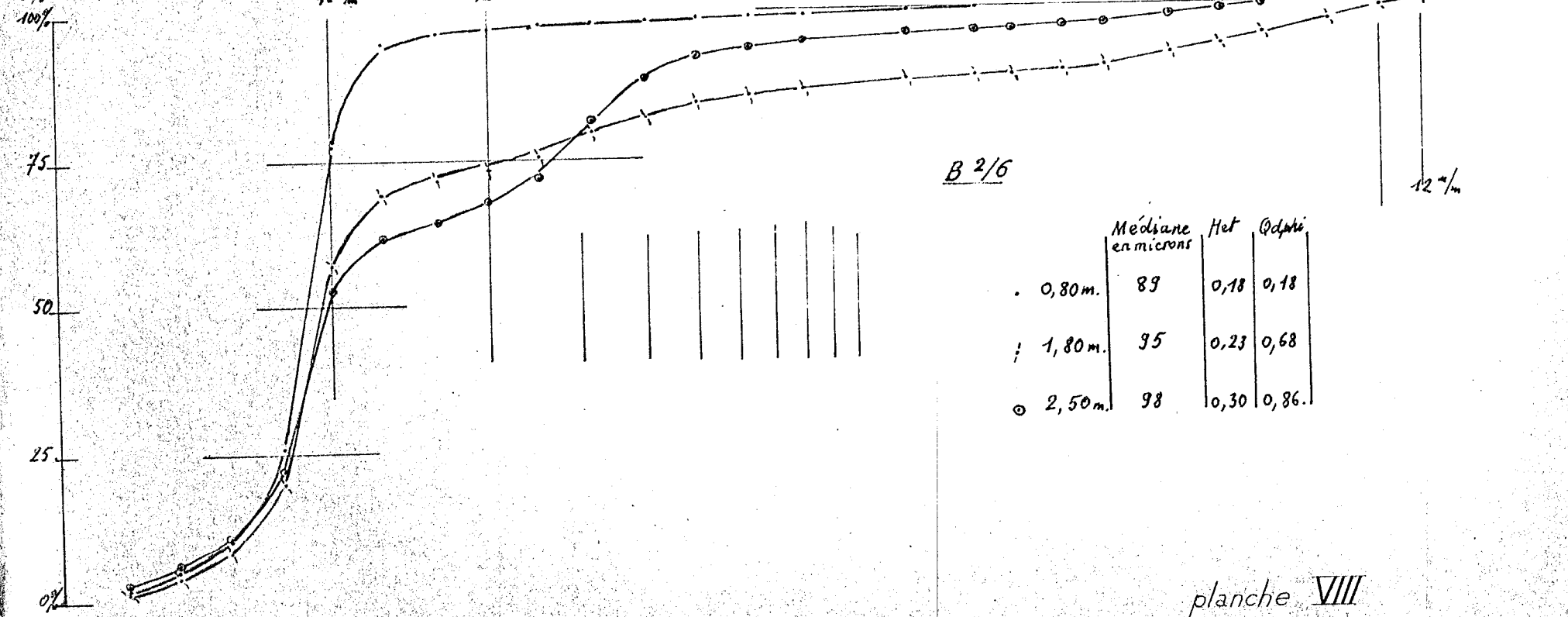
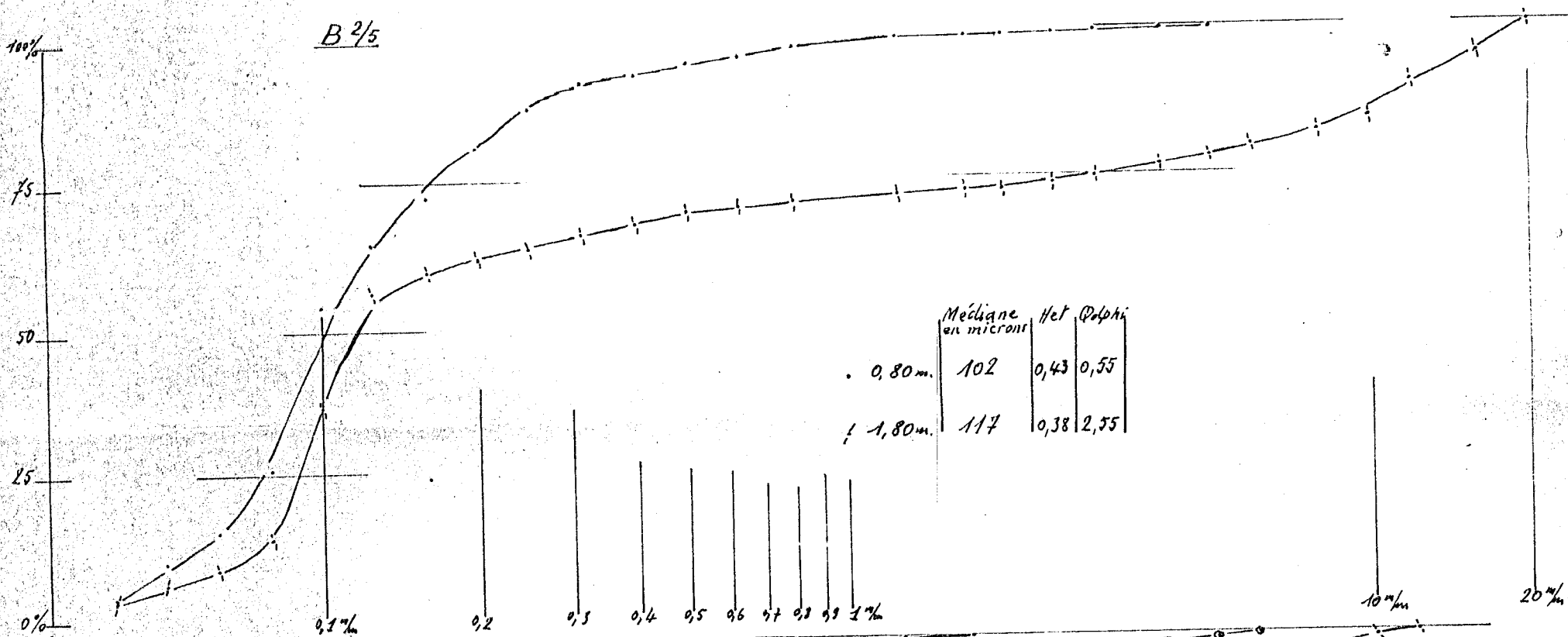
B 2/4



	Mediane en microns	Het	Adphi
• 0,80 m.	119	0,50	0,95
∴ 1,80 m.	149	0,63	1,04

planche VII

B 2/5



B 2/6

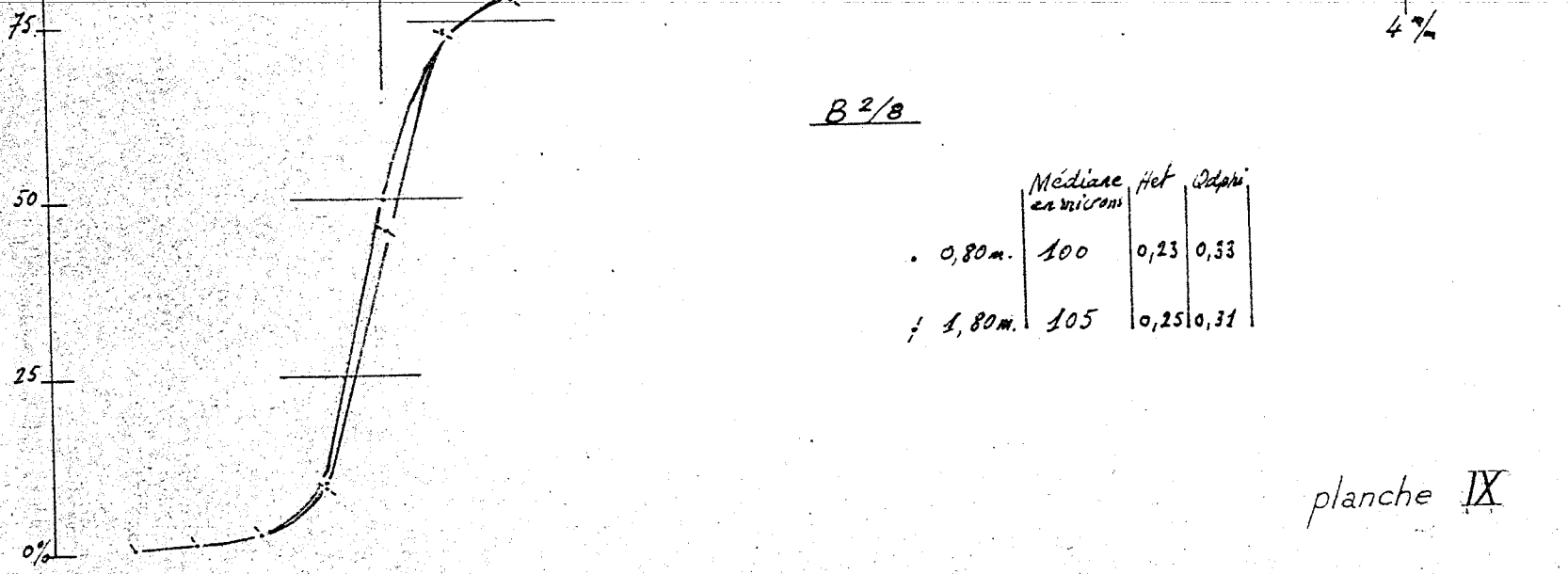
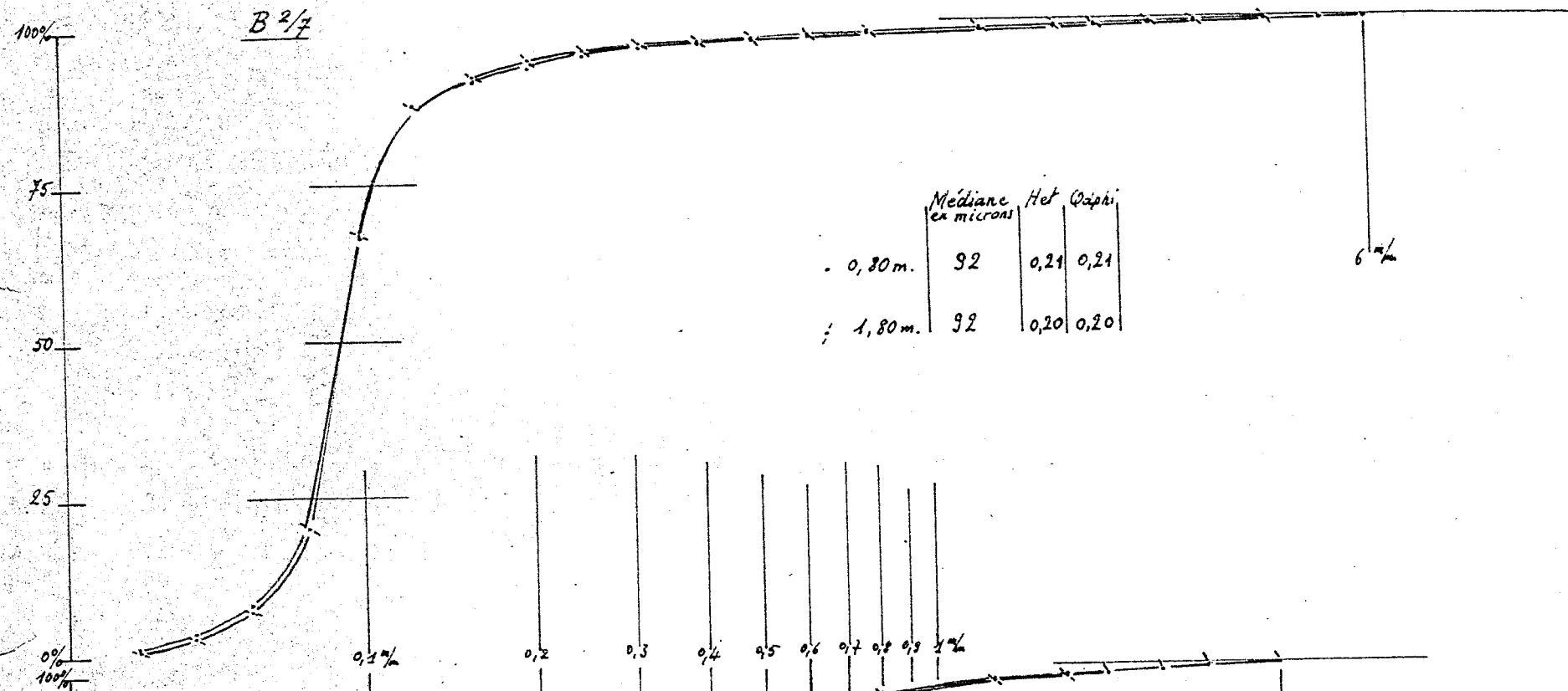
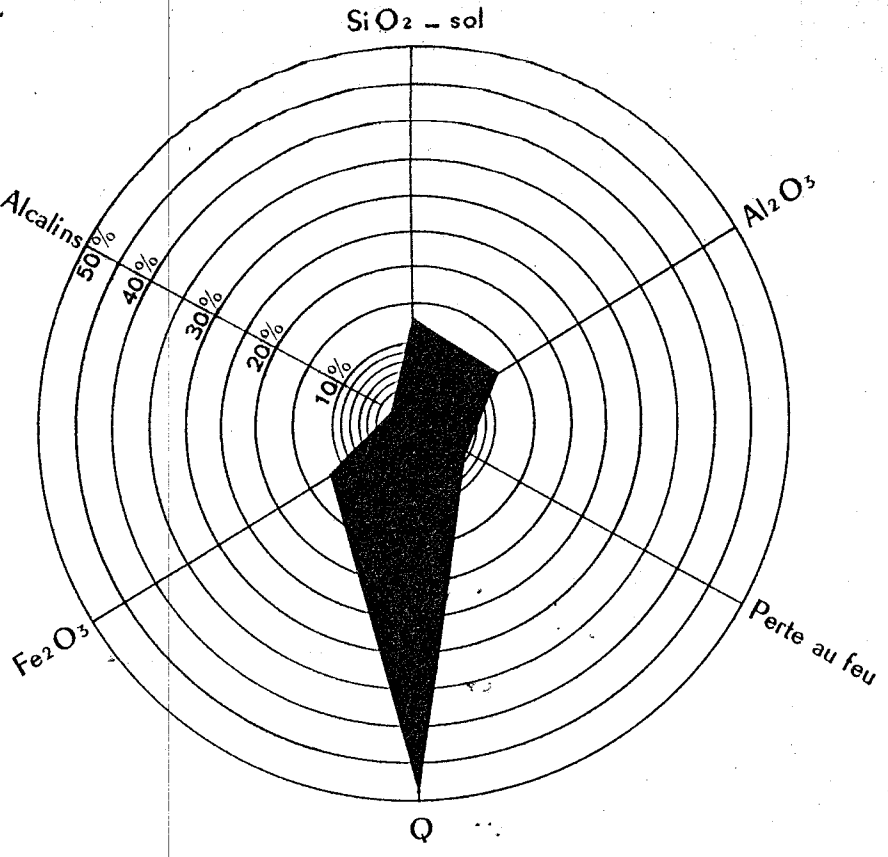
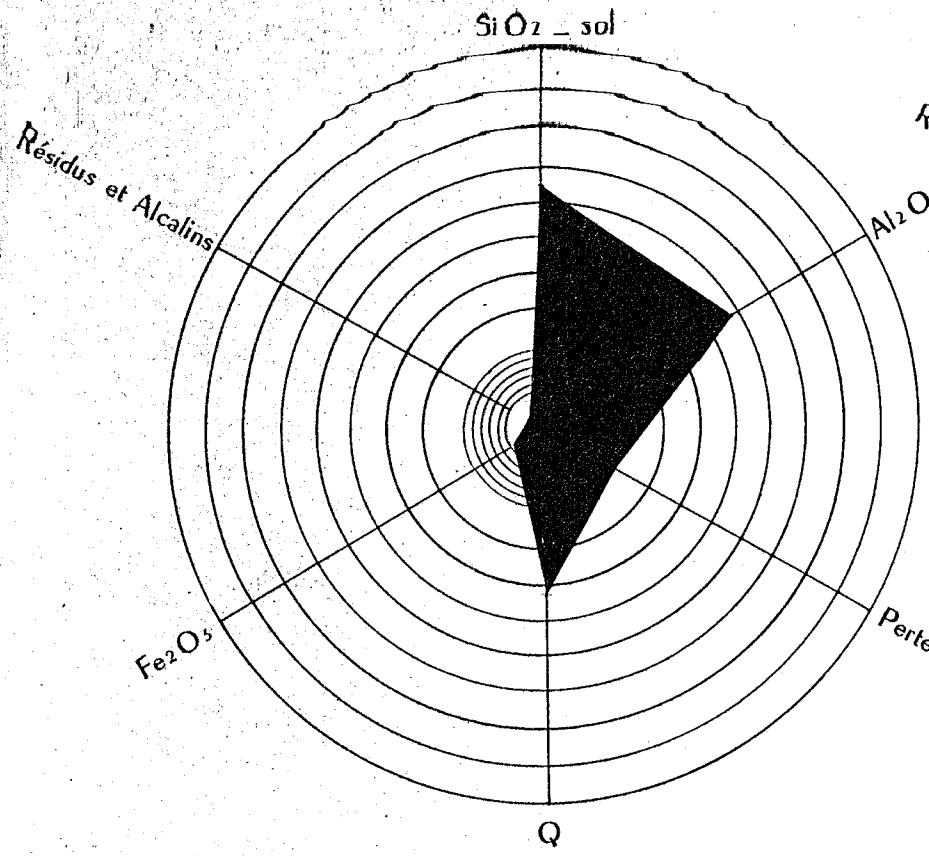


planche IX

Carcassonne
Ave. De Gaulle - Rue Eboué

D^{2/9} - 2,50

D^{2/9} - 0,80



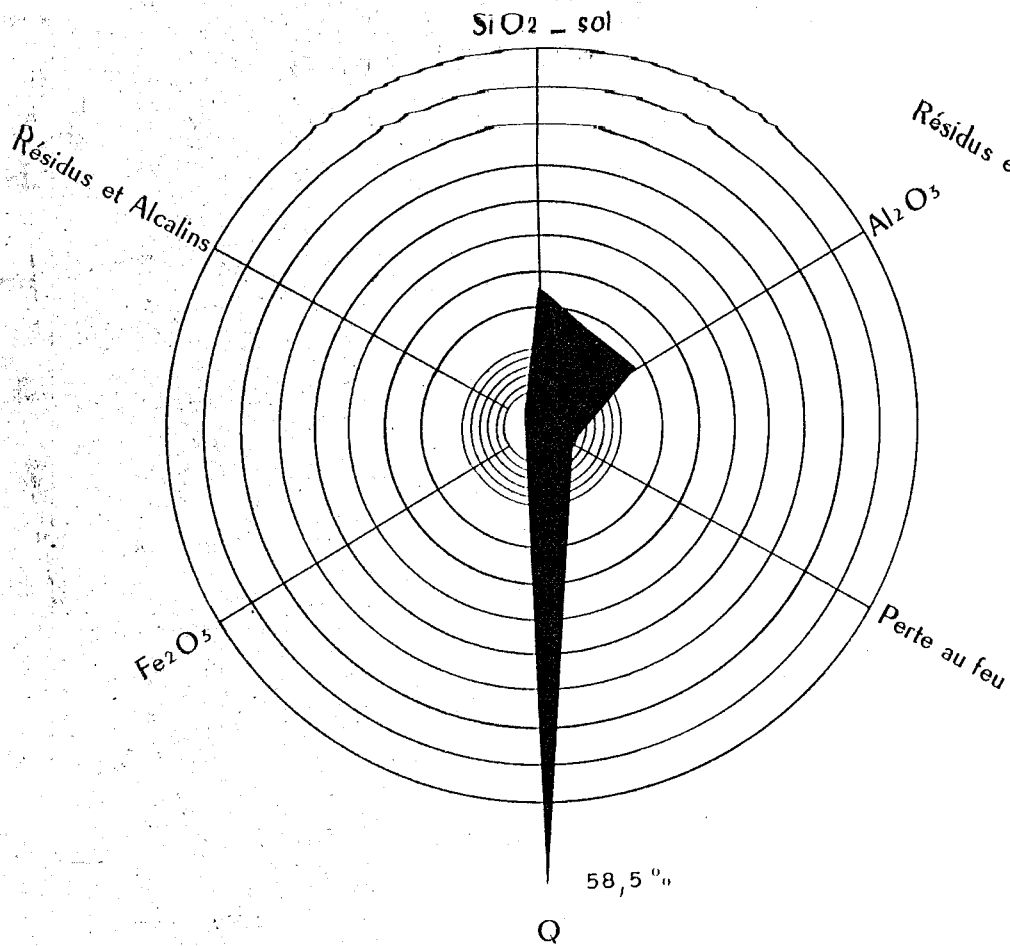
$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 1,87$

$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 1,84$

PLANCHE X

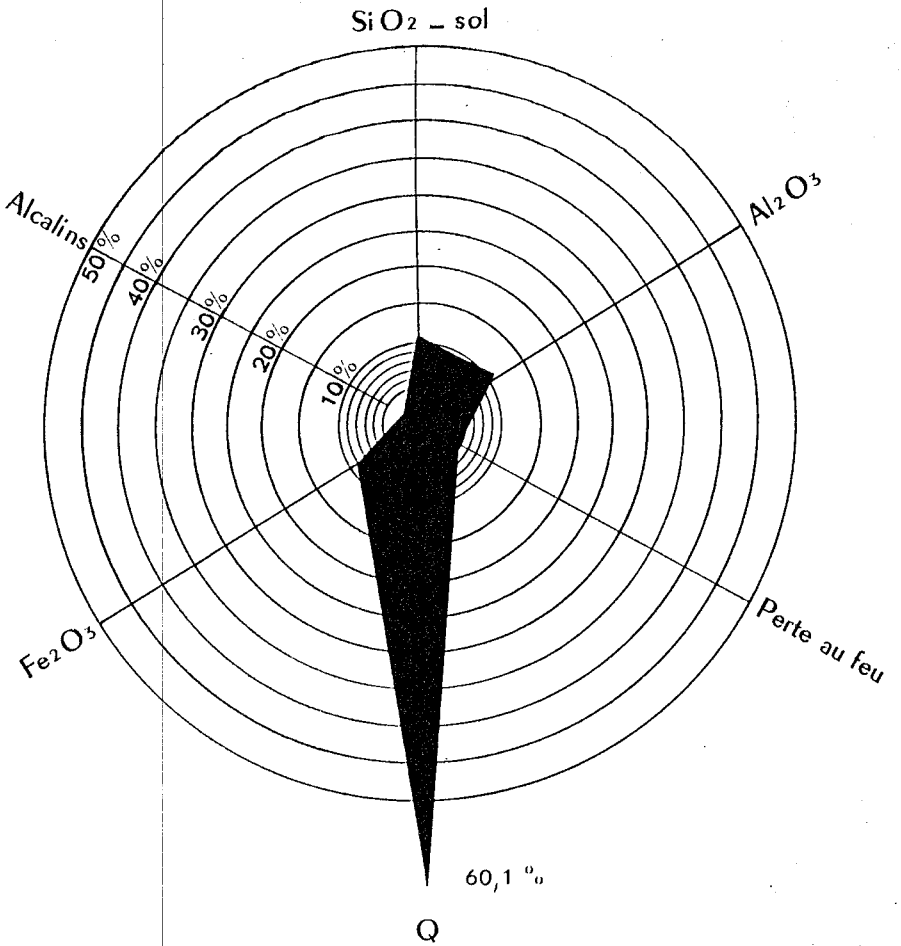
Carrefour rue Eboué et
rue L^{ie} Becker

A.1 - 0,80 m



SiO₂/Al₂O₃ = 2,16

A.1 - SURFACE

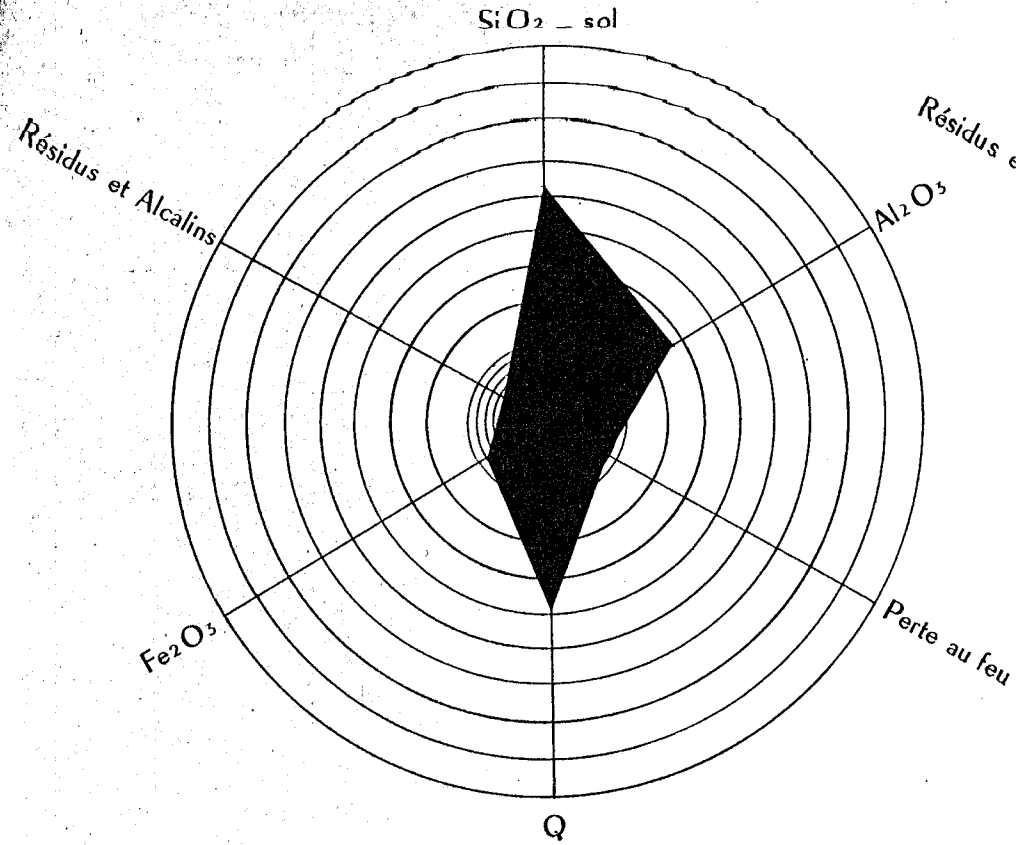


SiO₂/Al₂O₃ = 1,74

PLANCHE XI

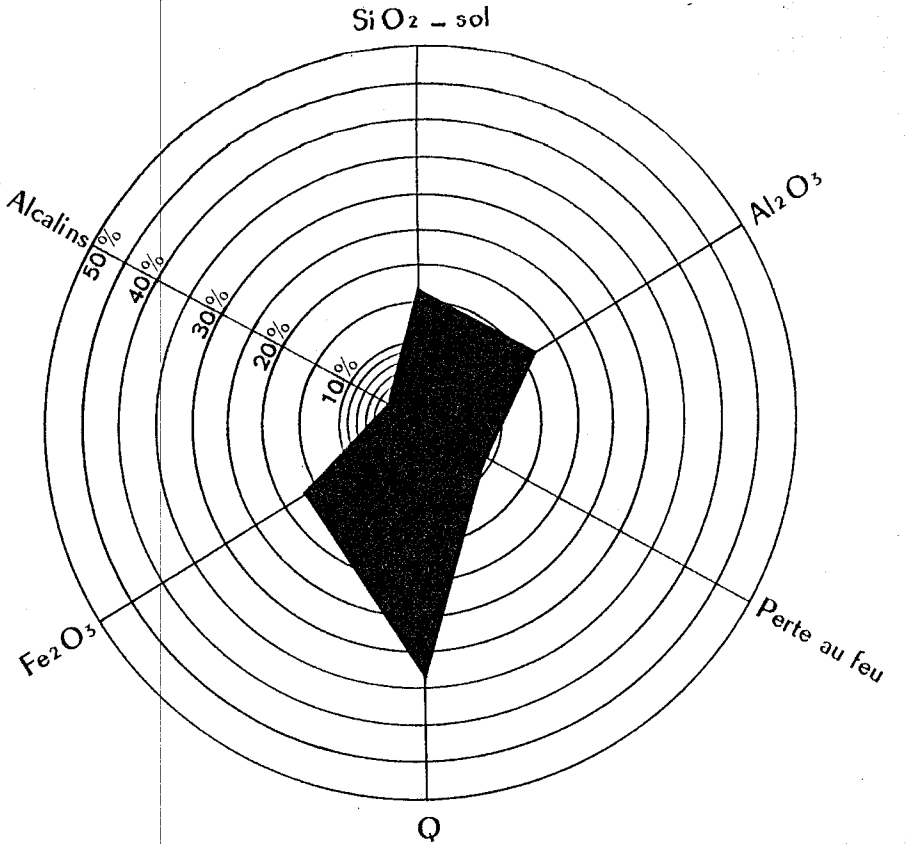
Pont Berland
Rive droite

$$B^{2/3} = 1,80$$



$$SiO_2 / Al_2O_3 = 2,69$$

$$B^{2/3} = 0,80$$



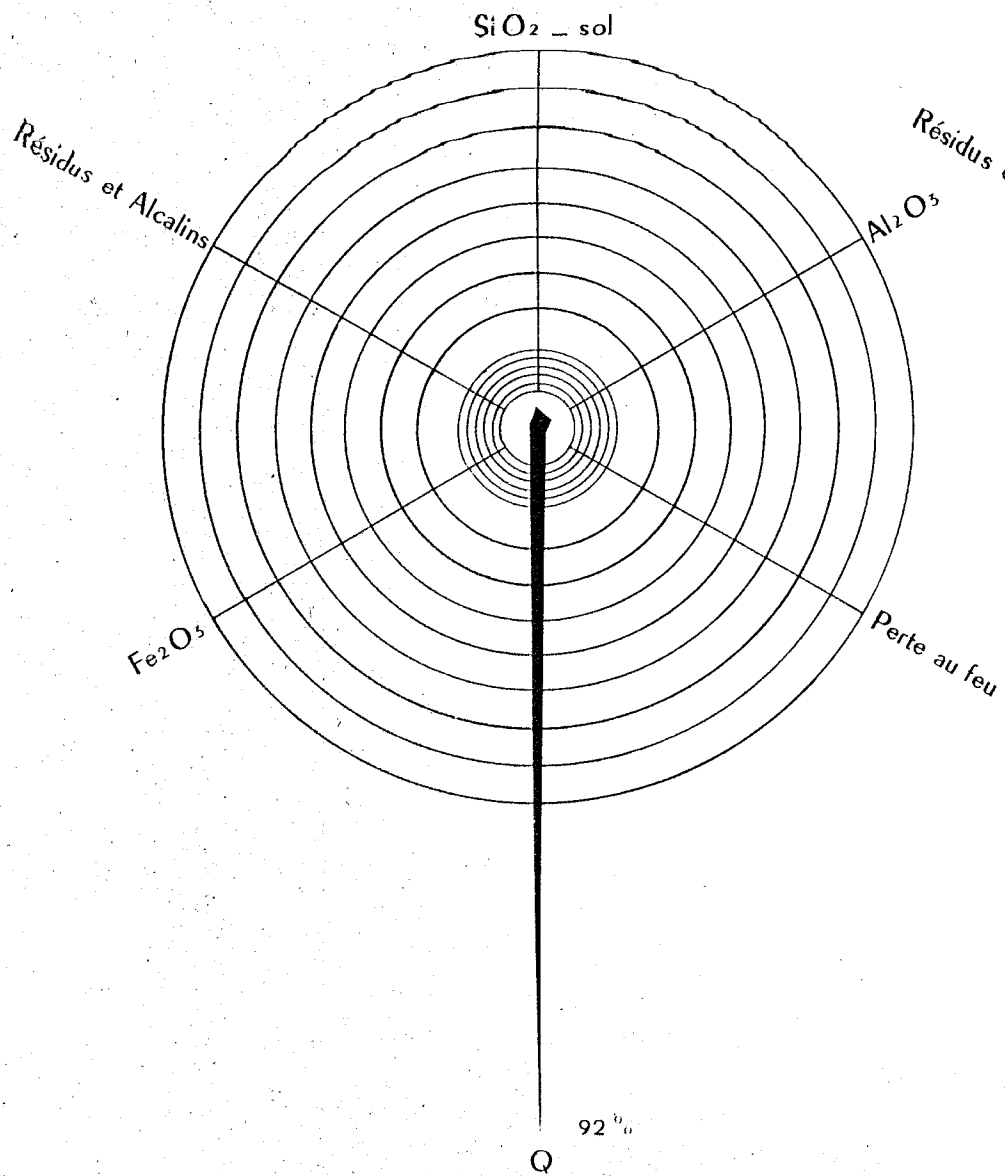
$$SiO_2 / Al_2O_3 = 1,68$$

PLANCHE XII

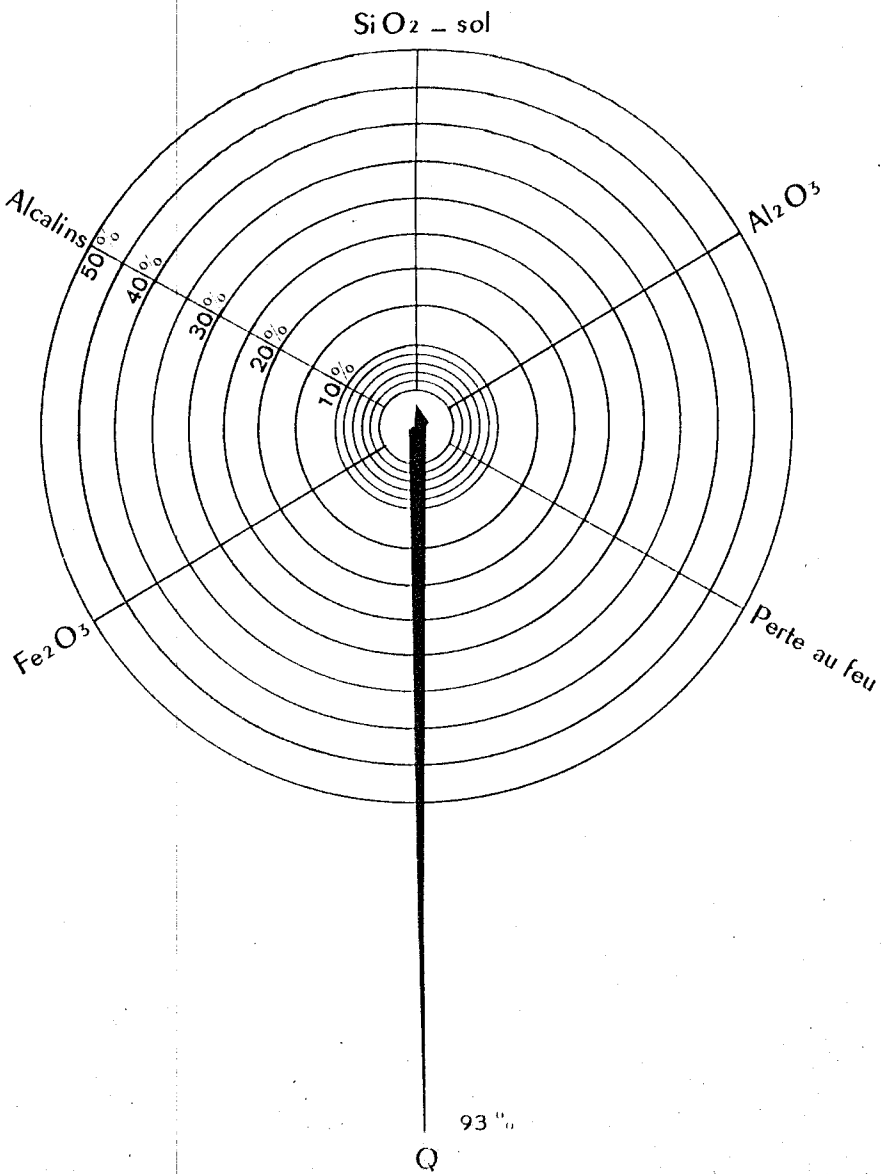
146 m au Sud de la
Digue GALTOT

B^{2/8} - 1,80

B^{2/8} - 0,80 m



SiO₂/Al₂O₃ = 1,52



SiO₂/Al₂O₃ = 2,43