

# Quai de chargement et usine de traitement des résidus urbains, Genève

Autor(en): **Perreten, R. / Jeheber, TH.R. / Guex, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **91 (1965)**

Heft 15: **Epuration des eaux usées - Sauvegarde des eaux naturelles - Incinération des ordures, fascicule no 3**

PDF erstellt am: **05.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-67669>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

## Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrurin, arch.; J.-C. Ott, ing.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: D. Bonnard, ing.  
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre,  
arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.  
Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua,  
architecte  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 40.—	Etranger	Fr. 44.—
Sociétaires . . . . .	»	» 33.—	»	» 2.50
Prix du numéro . . . . .	»	» 2.—	»	»

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:	
1/1 page . . . . .	Fr. 385.—
1/2 » . . . . .	» 200.—
1/4 » . . . . .	» 102.—
1/8 » . . . . .	» 52.—



Adresse: Annonces Suisses S.A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. 1000 Lausanne et succursales

## SOMMAIRE

Quai de chargement et usine de traitement des résidus urbains, Genève, par R. Perreten & Th. R. Jeheber, ingénieurs civils,  
et E. Guex, architecte.

Équipement électromécanique de l'usine d'incinération des ordures ménagères de la ville de Genève, par F. Wüthrich et  
R. Bopp, ingénieurs de Von Roll S.A., Zurich.

Bibliographie. — Documentation générale. — Documentation du bâtiment.

Nouveautés, informations diverses.

## QUAI DE CHARGEMENT ET

## USINE DE TRAITEMENT DES RÉSIDUS URBAINS, GENÈVE<sup>1</sup>

par R. PERRETEN & TH. R. JEHEBER, ingénieurs civils, et E. GUEX, architecte

### I. Quai de chargement à la Jonction<sup>2</sup>

#### a) Route d'accès

Elle longe la rive gauche de l'Arve sur une distance  
de 500 m et relie le pont de Saint-Georges au bâtiment  
du quai de chargement. Ce chemin d'accès situé à flanc  
de coteau implique la réalisation de murs de soutène-

ment importants, car il faut éviter un empiètement  
trop grand sur l'Arve par des talus, et réserver les sur-  
faces indispensables à l'avenir aux voies express pré-  
vues aux abords immédiats des rivières dans cette  
région.

Pour des raisons d'économie et aussi d'encombrement  
du chantier, une solution en murs voiles ancrés par des

<sup>1</sup> La disposition générale des ouvrages d'épuration des eaux usées  
et de destruction des ordures ménagères, et leurs relations ayant été  
données par ailleurs à notre numéro du 10 juillet 1965, notamment  
sous les signatures de MM. Yves Maystre, ingénieur cantonal, et  
Pingeon, ingénieur, les auteurs du présent article se bornent à

évoquer quelques problèmes relatifs au transport et à la destruc-  
tion des ordures ménagères et déchets industriels de la ville de  
Genève et des communes avoisinantes. (Réd.)

<sup>2</sup> Voir plan général donné dans l'article de M. Pingeon, page 217  
du précédent numéro.

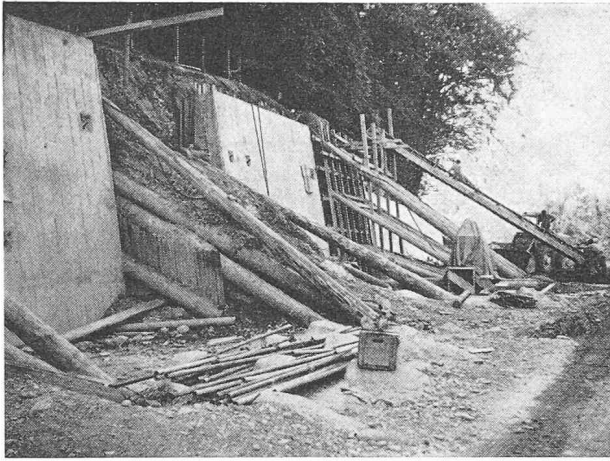


Fig. 1. — Mur de soutènement. — Vue générale pendant les travaux.

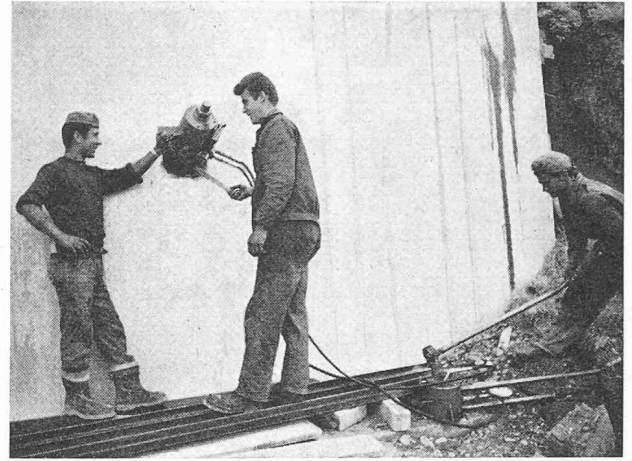


Fig. 2. — Mise en tension des ancrages en alluvions.

tirants a été préférée à celle des murs de soutènement avec semelles.

Un sondage laissait prévoir un terrain très compact facile à couper à la verticale, le mur devenant alors un simple mur de parement. Malheureusement, sur des distances relativement longues, les sols se sont révélés de plus mauvaise qualité, rendant nécessaire un boisage important qui est finalement resté enterré derrière le mur. Celui-ci est tenu par des ancrages dans l'alluvion, ancrages fixés par injection et prolongés au-delà du plan de glissement présumé (fig. 1 et 2).

Sur proposition de l'entreprise, le parement vu est coffré avec des profils métalliques verticaux de forme transversale légèrement arrondie qui donne un aspect intéressant à la surface.

#### b) Bâtiment de chargement (fig. 3)

##### Généralités

Ce bâtiment doit répondre à quatre conditions essentielles :

1. Permettre un déchargement facile des camions d'ordures en répartissant convenablement ces dernières dans les barges.

2. Réduire au minimum les déchets et poussières pouvant tomber dans l'eau.
3. Etre dimensionnée de façon à imposer un minimum d'attente aux camions.
4. Permettre un déplacement facile des barges.

La première condition, dépendant surtout de la forme des barges, a été solutionnée par un quai sous lequel celles-ci peuvent être déplacées. Le bord de ce quai est découpé en dents de scie permettant de déposer des tas d'ordures disposés en quinconce dans la barge. En déplaçant celle-ci de 3,90 m environ, longitudinalement, les endroits de la barge non encore comblés se trouvent aux points de déchargement. Ce système permet d'obtenir une bonne répartition des ordures. Des volets métalliques actionnés par un moteur électrique égalisent les tas lors de leur fermeture ; ils ferment la barge pendant le transport, empêchant ainsi le dégagement d'odeurs et prévenant les effets du vent.

Pour satisfaire à la deuxième condition, il avait été prévu d'abord de sortir les barges de l'eau sur une rampe et de les conduire dans un local fermé, afin que poussières et objets légers pouvant s'envoler retombent sur un dallage où il serait facile de les récupérer. Pour

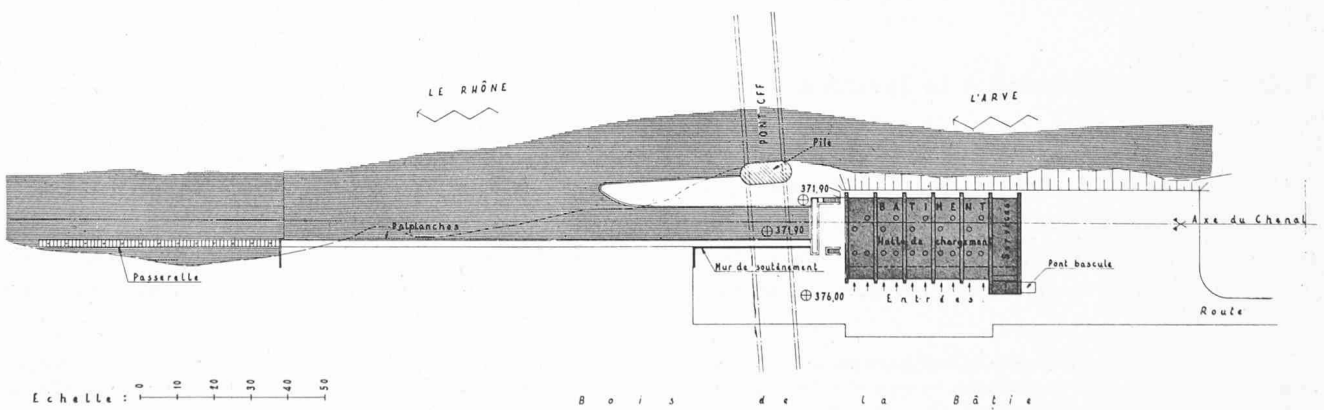


Fig. 3. — Bâtiment de chargement. Situation.

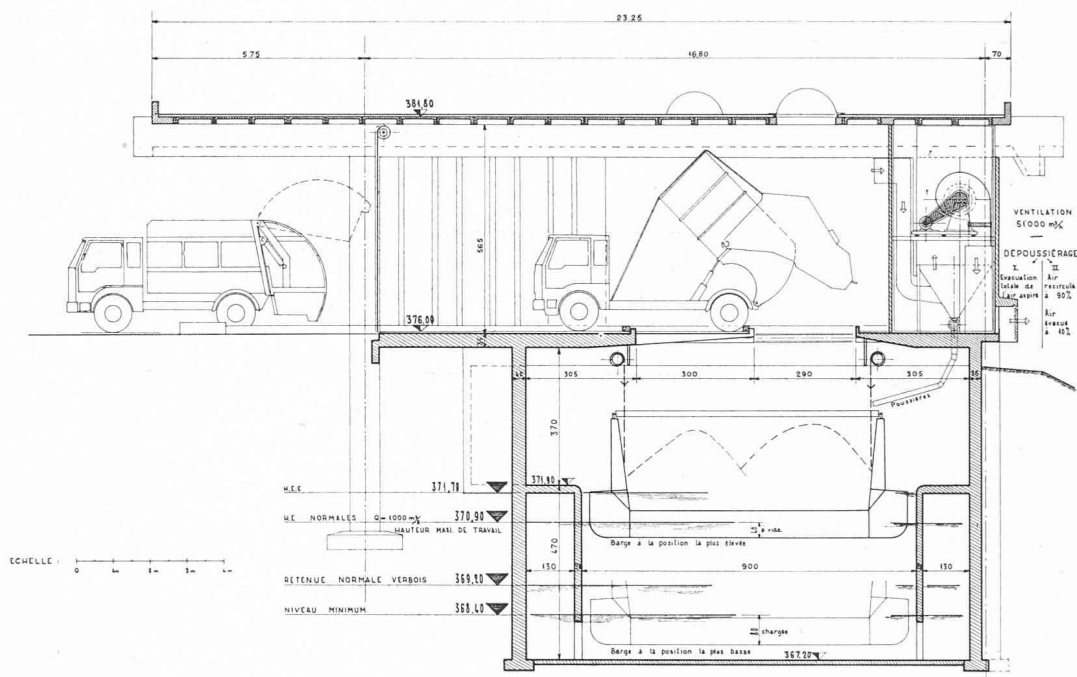


Fig. 4. — Bâtiment de chargement. Coupe en travers.

des raisons de navigabilité (longueur de la rampe et disposition locale), cette solution a dû être écartée<sup>1</sup>. La solution choisie est celle d'un bâtiment-quai fermé dans lequel les barges peuvent entrer. Les couloirs de déchargement des camions sont cloisonnés par groupes de trois ou quatre.

Sous la dalle du quai de chargement, des rideaux plastiques se déroulent verticalement. On obtient ainsi des volumes « barges - quai de chargement » fermés. Ces volumes sont légèrement mis en dépression, au moyen de ventilateurs, afin que seule une quantité négligeable de poussière soit dégagée à l'extérieur.

La troisième condition a été satisfaite par le choix de dix couloirs de déchargement pour les camions. Ce choix est conditionné d'une part par la longueur de la barge, mais aussi et surtout par le fait que la cadence d'arrivée des camions peut être très importante. En effet, chaque camion d'ordures fait normalement deux levées le matin et deux l'après-midi ; c'est donc en principe quatre fois par jour, mais à des heures coïncidant assez bien, que les camions arrivent au lieu de déchargement. De ce fait, il était utile de prévoir un nombre important de couloirs. Avec la disposition choisie, seuls les camions devant attendre un changement de la barge seront immobilisés une dizaine de minutes.

La quatrième condition fixait les dimensions principales de l'ouvrage en coupe (fig. 4), soit :

section minimum pour permettre, par basses eaux et barges chargées, l'écoulement latéral de l'eau lors d'un

déplacement de la barge, sans nécessiter des efforts trop grands sur les cabestans de halage.

Les couloirs latéraux, sous les passages, autorisent une construction moins profonde, ce qui est intéressant vu la présence d'une nappe phréatique plus élevée que le fond du bâtiment.

#### Système de construction (fig. 4)

Les murs latéraux de l'infrastructure s'appuient à leur pied sur le dallage et à leur tête dans la dalle du quai de chargement. L'ouverture permettant le déchargement des ordures est étayée par deux béquilles métalliques horizontales.

La superstructure est formée par des cadres à double section. Les poutres reliées entre elles par une dalle inférieure créent de ce fait un caniveau servant à l'écoulement des eaux. Des dalles préfabriquées précontraintes (Stahlton) sont posées sur les cadres et forment la toiture.

La structure en cadre à double section a été choisie par l'architecte pour des raisons d'esthétique. Elle est constituée comme un cadre à deux étages semi-encasté aux pieds et possédant un grand porte-à-faux (auvent).

#### Exécution des travaux

Malgré la proximité de l'Arve, les qualités du terrain, coefficient de perméabilité maximum  $K = 10^{-1}$  cm/s, ont permis un abaissement de la nappe sans travaux d'étanchéité autres que ceux consistant à augmenter l'épaisseur de la digue en utilisant une partie des terres excavées.

<sup>1</sup> Voir article de M. E. Pigeon, page 217 du précédent numéro. (Réd.)

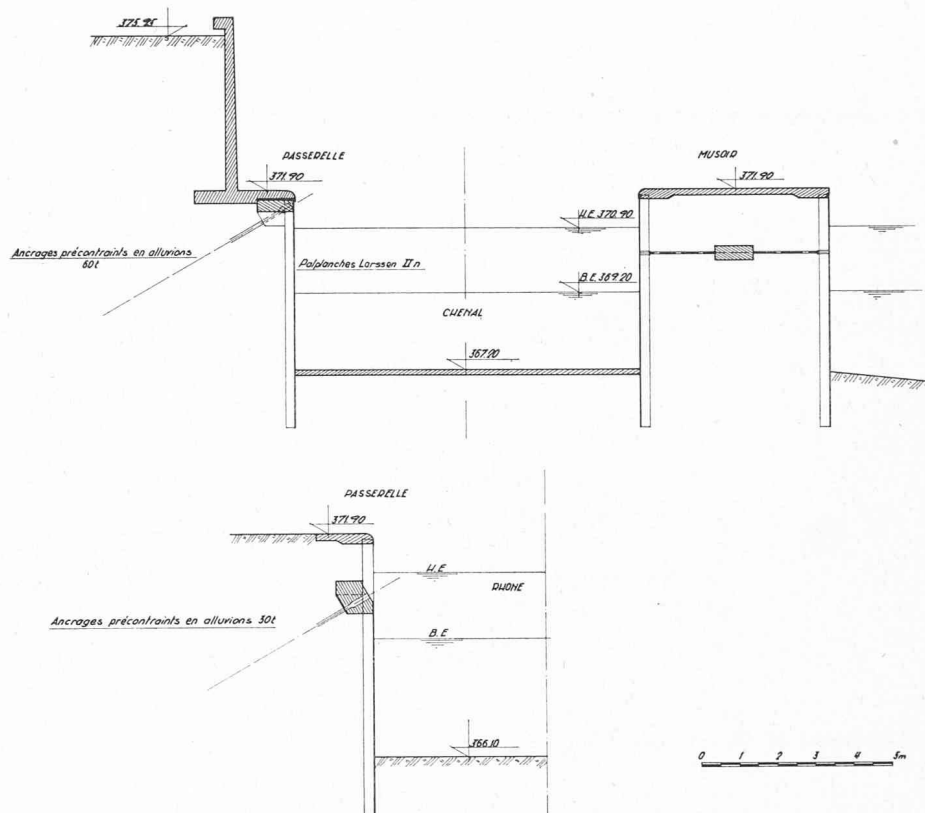


Fig. 5. — Coupes sur mur de quai.

Ce coefficient de perméabilité a été déterminé par un essai de pompage préliminaire à une profondeur de 8,50 m environ. Cette valeur a conduit à l'installation de six puits symétriquement disposés (voir plan et coupe) par rapport au bâtiment.

Pour provoquer l'abaissement de la nappe de 5,00 m en moyenne, le débit total des puits était d'environ 3000 l/min. Le niveau de la nappe étant lié à celui de l'Arve, la variation de son niveau entraînait naturellement des variations importantes du débit.

Les puits ont un diamètre intérieur minimum de 60 cm et sont dotés d'un filtre extérieur de gravier d'une épaisseur minimum de 30 cm. Ils sont équipés de pompes de 1500 (3 puits) et 2000 l/min qui permettent d'abaisser la nappe, en cas de hautes eaux normales. Les hautes eaux exceptionnelles auraient atteint un niveau supérieur à celui de la digue et auraient inondé le chantier, risque qu'il a été admis de courir.

L'infrastructure du bâtiment a pu ainsi être construite dans les conditions normales d'un chantier en fouille ouverte asséchée. La superstructure, ouvrage en béton apparent, ne présente en fait pas d'intérêt, si ce n'est celui des qualités de coffrage ; ce problème sera évoqué dans un paragraphe ultérieur.

### c) Port

La circulation par voie d'eau implique une possibilité d'amarrage de plusieurs barges, d'où une longueur d'ac-

costage de 210 m. Les conditions topographiques locales (fig. 3), ont conduit à la solution d'un mur de quai d'environ 150 m, constitué par des palplanches ancrées avec des tirants précontraints. Ce mur est prolongé par une passerelle de 65 m de longueur. Muss de quai et passerelles sont équipés avec des cabestans-moteurs qui permettent de déplacer les barges sans l'aide du pousseur.

### Murs de quai (fig. 5)

Les sondages avaient laissé apparaître des couches de terrain graveleux.

Les murs sont constitués par des palplanches du type Larsen II n, coiffées de poutres de répartition en béton armé ancrées par des tirants de 60 tonnes distants de 3,20 m pour la partie supportant le mur de soutènement et de 30 tonnes distants de 4,00 m pour le cas normal. Après ancrage des murs, on obtint par dragage le tirant d'eau nécessaire au pied des palplanches.

### Passerelles (fig. 6)

Les quais et les passerelles servent d'une part à l'attache des barges et d'autre part au halage de celles-ci par les cabestans-moteurs. De ce fait, ils sont appelés à subir, indépendamment des efforts statiques dus aux surcharges mobiles ou aux pressions des terres, des efforts localisés aux cabestans atteignant 1000 kg. Ils doivent aussi pouvoir résister aux chocs des barges. Si ces efforts

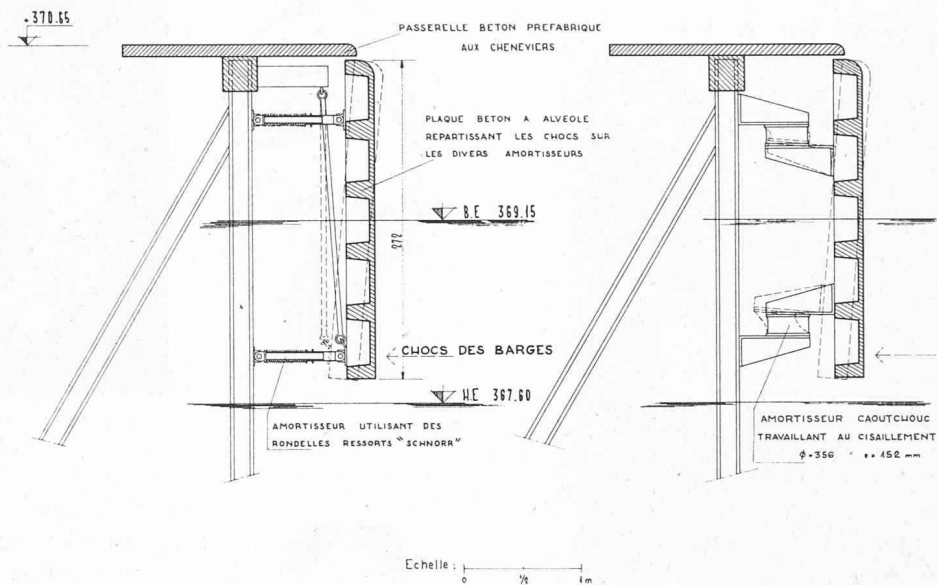


Fig. 6. — Coupe type des passerelles.

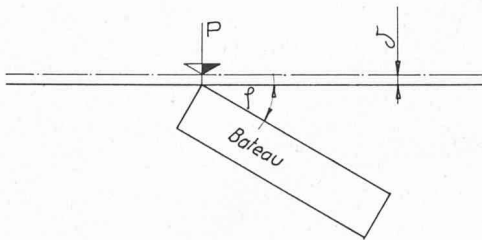
dynamiques ont pu être négligés pour les palplanches, il en va différemment pour les passerelles.

Le calcul a fait intervenir le poids de la barge, la déformabilité de la barge, la valeur élastique de l'amortisseur, la vitesse de la barge, son angle d'arrivée sur l'élément amortisseur.

Il donne pour différentes valeurs du coefficient d'amortissement les résultats de la figure 7.

L'analyse de ce graphique montre qu'une conception de passerelle rigide permettant un déplacement très faible implique un effort très grand lors du choc. Plusieurs études comparatives nous ont conduit à admettre un déplacement de 14 cm donnant une force de 4,5 tonnes, relativement faible, qui autorise une construction légère des chevalets.

**CHENAL-PASSERELLE**  
RELATION CHOC-DEFORMATION



- $\delta$  = Déformation sous l'effet du choc
- $P$  = Force exercée  $\perp$  au mur (t)
- $V_0$  = Vitesse du bateau (m/s)
- $\varphi$  = Angle d'attaque par rapport au mur
- $M = \frac{\text{Poids (tonnes)}}{g}$  (m/sec<sup>2</sup>)
- $G$  = Poids (t)
- $E$  = Module d'élasticité (t/m<sup>2</sup>)
- $F$  = Section de l'entretoise longitudinale (m<sup>2</sup>)
- $J$  = Moment d'inertie de l'entretoise longitudinale (m<sup>4</sup>)
- $l$  = Longueur du bateau (m)
- $\alpha$  = Coefficient de rigidité du mur

$$P = 4V_0 \sin \varphi \sqrt{\frac{MEFJ}{8lJ \sin^4 \varphi + 16aEFJ \sin^2 \varphi + 0.61l^3 F \cos^4 \varphi + 64aEFJ \cos^2 \varphi}}$$

Fig. 7. — Courbes donnant les valeurs des chocs des barges en fonction de l'élasticité des amortisseurs.

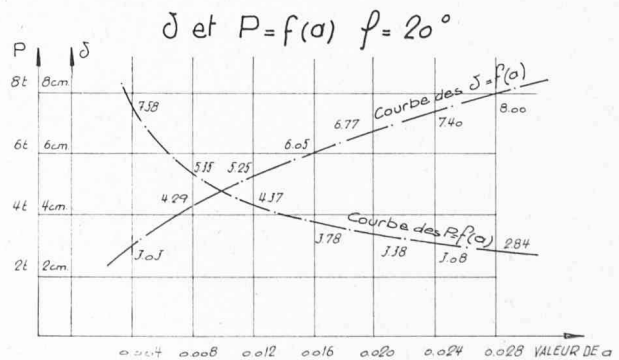
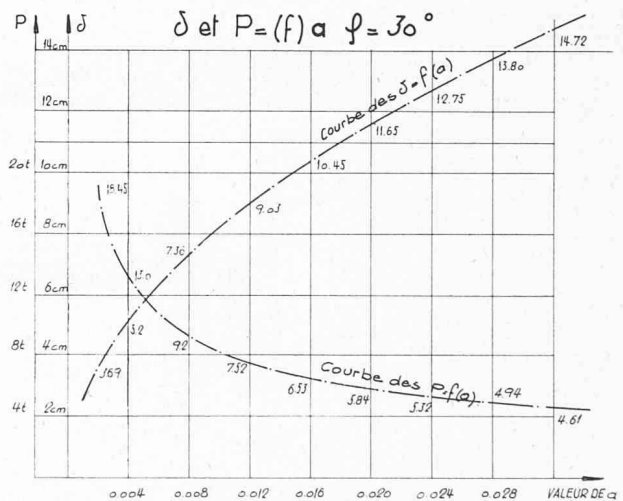


Fig. 7.



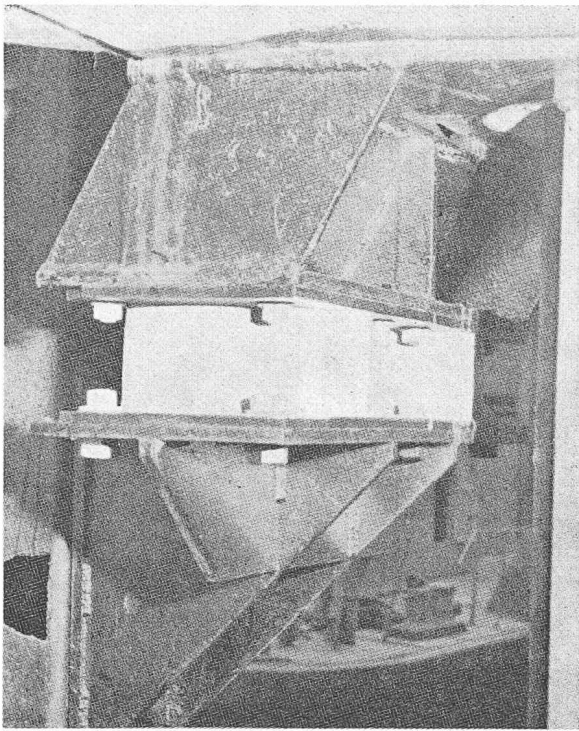


Fig. 8 a. — Bloc de caoutchouc travaillant au cisaillement (André Rubber).

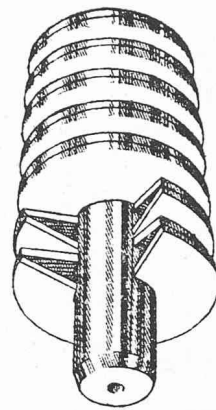


Fig. 8 b. — Montage réalisé avec des rondelles ressorts Schnorr.

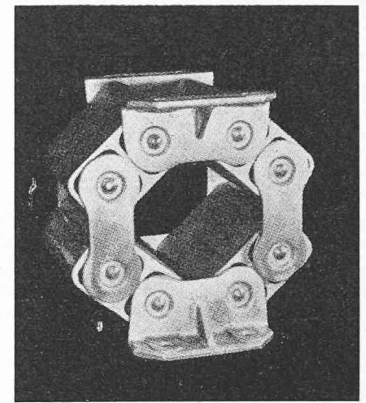


Fig. 8 d. — Système Neidhart.

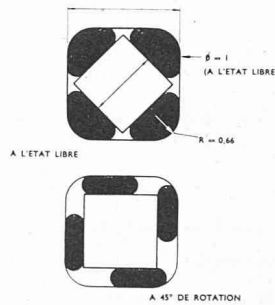


Fig. 8 c. — Eléments Neidhart.

Fig. 8 a-d. — Amortisseurs.

Le choix des amortisseurs sera fait après une étude économique comparative entre les trois systèmes représentés sur la figure 8 qui tous satisfont aux conditions énoncées ci-dessus.

Les parois verticales sont en béton armé, solution intéressante du point de vue économique tout en satisfaisant aux exigences posées

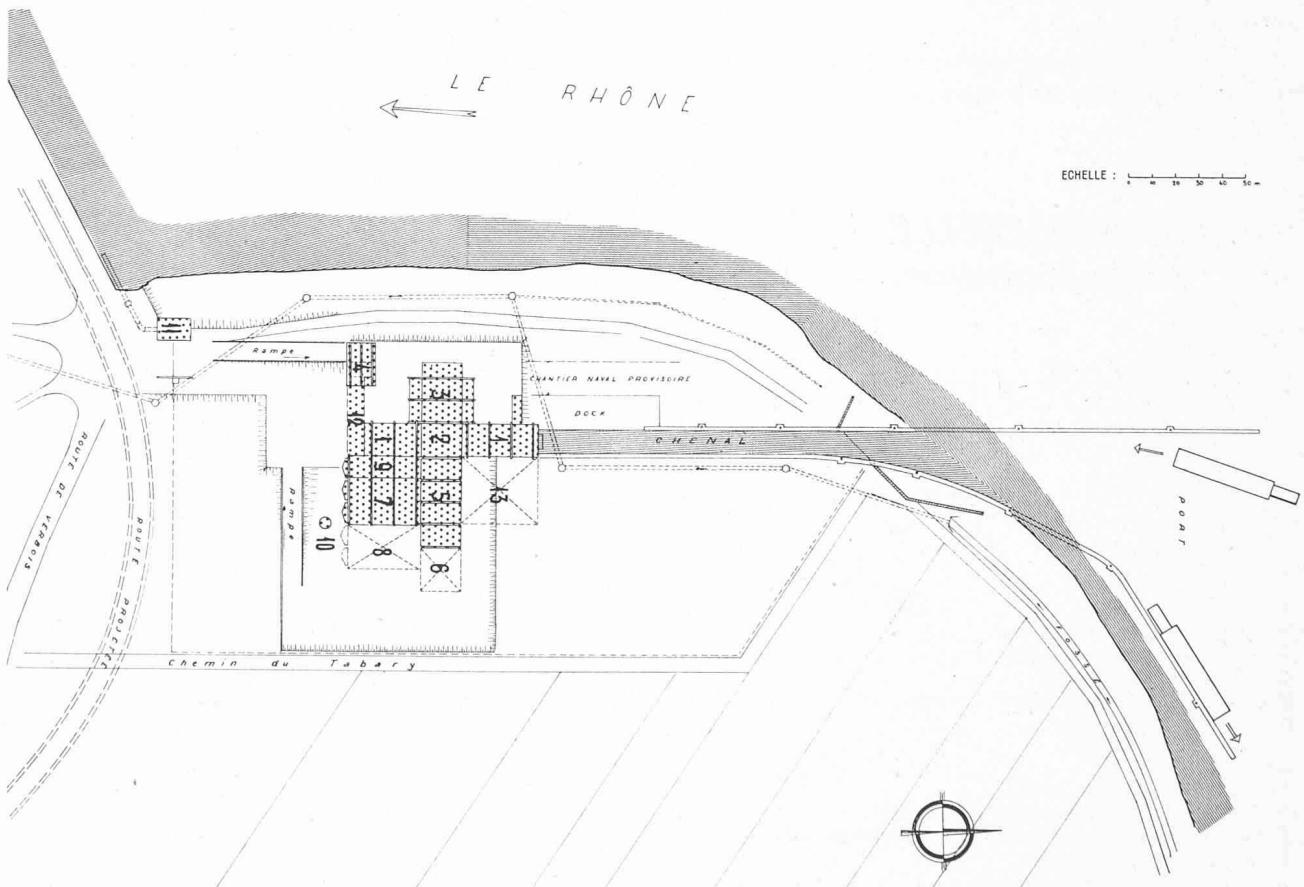


Fig. 9. — Usine des Cheneviers. Plan d'ensemble avec extensions.

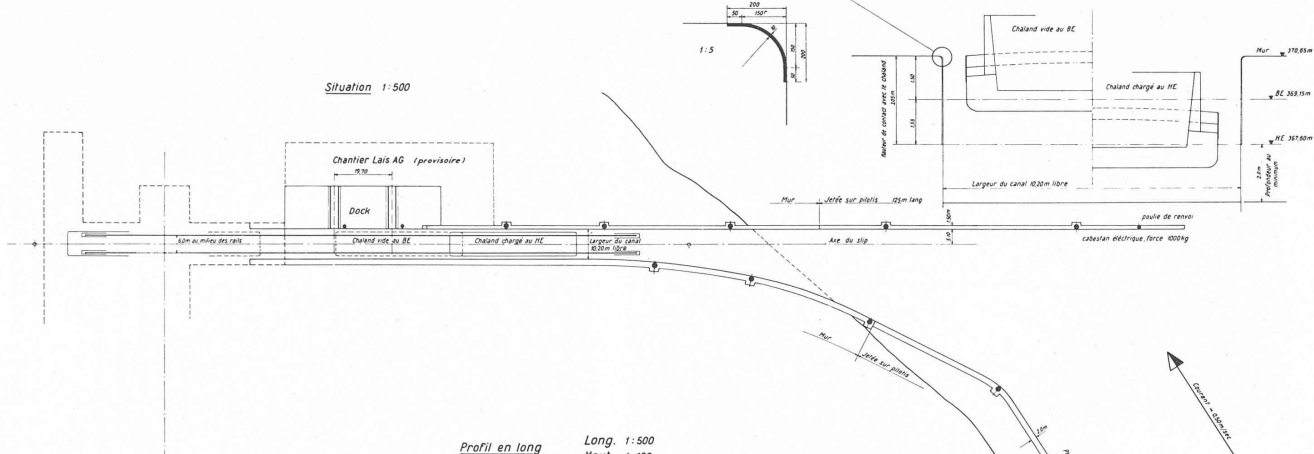
- 1 Lift des barges
- 2 Halle centrale, déchargement des barges
- 3 Halle centrale, silos à ordures
- 4 Pesage des ordures arrivant par camion
- 5 Halle centrale, chargement des fours

- 6 Halle centrale, extension future
- 7 Incinération
- 8 Incinération, extension future
- 9 Administration
- 10 Cheminée
- 11 Station de pompage (eaux industrielles et de refroidissement)
- 12 Décantation des huiles de vidange
- 13 Compostage, extension future

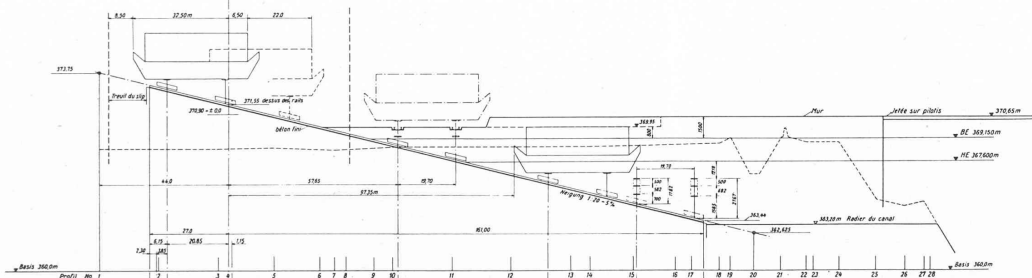
Bordure de protection en acier  
aux murs et jetees du canal et du port

Canal avec chaland 1:50

Situation 1:500



Profil en long Long. 1:500  
Haut. 1:100



Operation:	Unit	Point	Chaland:	Chemin de Slip (Niveau du chariot avant) en m
Embarquement	vide	0	0	0,00
Remorque 1	avec charge	1	1	4,85
	vide	2	2	7,65
Remorque 2	avec charge	3	3	12,85
	vide	4	4	15,65
Remorque au dock	avec charge	5	5	20,85
	vide	6	6	23,65
Chemin de slip au maximum		7	7	28,85
Longueur totale des rails				48,00

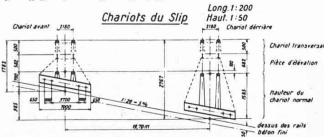


Fig. 10. — Chenal - Plan et profil en long.



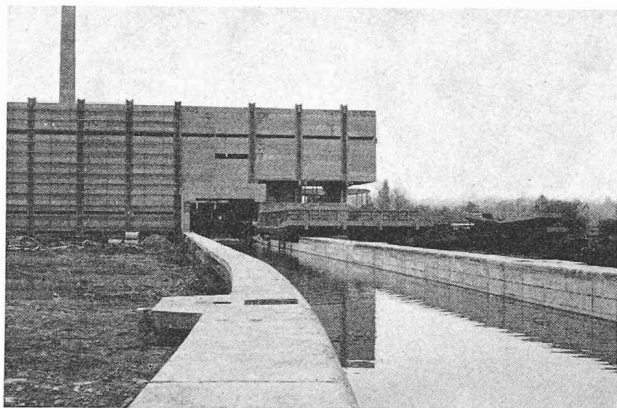


Fig. 11. — Chenal, vue générale.

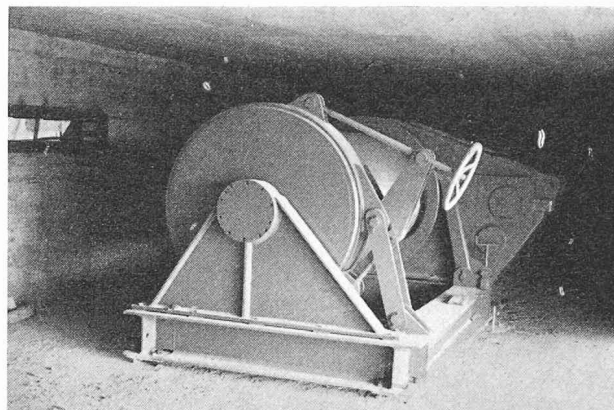


Fig. 12. — Treuil du lift des barges.

par le constructeur des bateaux en ce qui concerne la qualité des surfaces de contact.

Les parois en béton armé, du type dalle alvéolaire, forment une poutre Gerber de façon à permettre les dilatations sans qu'il en résulte de décalage entre les plaques lorsqu'elles sont sollicitées par le choc d'une barge. Cette disposition simplifie aussi la fixation des ancrages sur les chevalets puisque le joint de dilatation est séparé de l'amortisseur. Toute la superstructure, soit poutre longitudinale, tablier et parois en béton armé, sera préfabriquée au chantier et mise en place depuis un bac spécialement équipé.

## II. Usine des Cheneviers

### a) Port

La topographie de l'ancien lit du Rhône et les modifications apportées par alluvionnements depuis la construction de l'usine de Verbois, rendent nécessaire un travail important de terrassement pour créer le tirant d'eau suffisant dans le port.

Les matériaux à évacuer sont en grande partie des vases d'alluvionnement du Rhône. Ces dernières, d'une consistance très plastique, se sont révélées, lors d'essais préliminaires, inexploitable au moyen de pompes ou de jets d'eau. Un grapin monté sur un bac et l'utilisation d'un bateau noyeur s'est avéré être la solution adéquate. Ainsi 20 000 m<sup>3</sup> de vase doivent être transportés dans le talweg de l'accumulation de Verbois, par le bateau noyeur. Les vases une fois évacuées, il reste environ 2000 m<sup>3</sup> de terrassement à effectuer dans la moraine formant les anciennes berges du Rhône. Cette moraine très compacte sera exploitée par des machines, trax et bulldozers, et l'exécution de ce terrassement devra s'effectuer pendant les trois jours de vidange du lac de Verbois en juillet 1965.

L'équipement du port, semblable à celui de la Jonction, comporte 300 m de passerelle.

### b) Chenal (fig. 10 et 11)

La disposition topographique permet ici, contrairement au quai de chargement de la Jonction, de sortir les barges de l'eau et de les transporter dans l'usine par un lift. Cette solution permet d'éviter que des poussières ou détritifs ne tombent dans l'eau. Le treuil assurant le

déplacement des barges a été conçu pour permettre une accélération progressive. Pour réaliser ce point, il est entraîné par un groupe Ward-Leonard (fig. 12).

Un dock de réparation attenant au chenal est équipé pour l'entretien et les réparations éventuelles à effectuer au matériel flottant (voir plan général). L'ouverture à créer dans la digue, liaison entre le lac de Verbois et le chenal sur la rive gauche, doit l'être sans que soit influencée la qualité des eaux de la nappe phréatique de la presqu'île d'Aire-la-Ville. Cette nappe est en effet exploitée par les Services industriels de Genève au moyen d'une station de pompage située à 300 m en aval du port. L'eau ainsi prélevée sert au refroidissement des axes des turbines de l'usine hydro-électrique de Verbois. Depuis la mise en service de cette usine, la qualité de cette eau de refroidissement est un souci permanent pour les exploitants.

L'augmentation des infiltrations des eaux du lac pourrait avoir de graves incidences sur la qualité des eaux de la nappe, donc sur le fonctionnement de l'usine de Verbois. C'est la raison pour laquelle les services industriels de Genève furent très exigeants en ce qui concerne les précautions à prendre lors des travaux d'exécution de l'ouverture de la digue et de construction du chenal, afin que soit garantie une étanchéité parfaite. Les multiples sondages laissaient apparaître une couche de terrain alluvionnaire relativement perméable, reposant sur une couche de moraine très étanche. Un fossé de drainage préexistant, situé derrière la digue, avait en son temps donné les matériaux ayant servi à la construction de celle-ci.

C'est à l'abri d'un rideau d'injection exécuté dans l'axe de la digue, de 200 m de longueur, que le chenal et les murs enterrés en ailes ont été construits. Une campagne d'injection de colmatage entre les murs en ailes et le rideau de la première étape a été effectuée après la construction du chenal. Une mise en eau provisoire, par pompage, a permis de vérifier l'étanchéité du chenal et de sa liaison avec la voile d'injection de la digue avant l'ouverture de cette dernière.

Le chenal est un caisson enterré de hauteur variable. Il est coupé par des joints de dilatation distants de 10 m, qui sont fermés par une bande Sika. L'étanchéité des reprises de bétonnage entre le radier et le mur est améliorée par un talus au mortier additionné de Sikalite, solution qui a été éprouvée en d'autres circonstances.

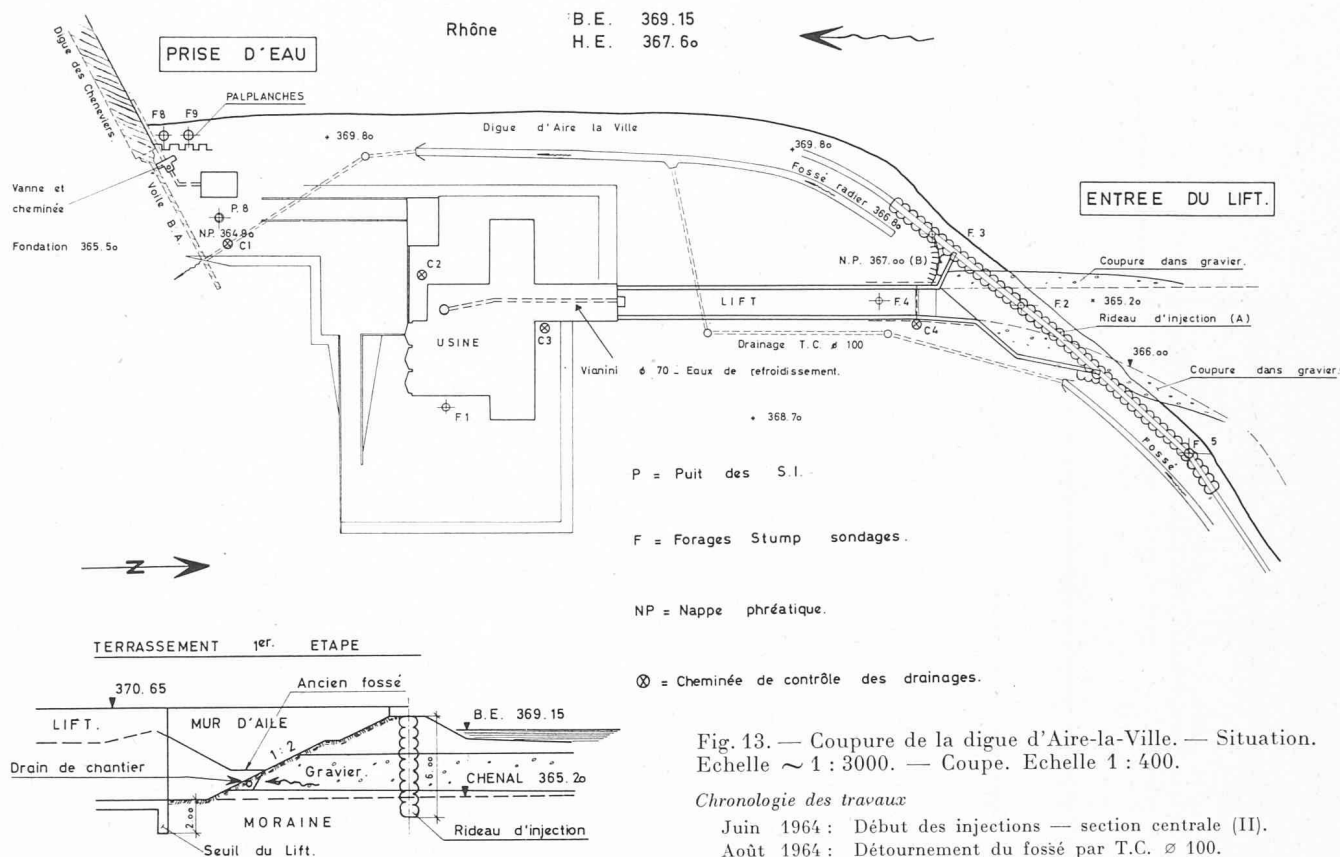


Fig. 13. — Coupure de la digue d'Aire-la-Ville. — Situation. Echelle ~ 1 : 3000. — Coupe. Echelle 1 : 400.

*Chronologie des travaux*

- Juin 1964 : Début des injections — section centrale (II).
- Août 1964 : Détournement du fossé par T.C.  $\varnothing$  100.
- Oct. 1964 : Contrôle des débits — chambre C1.
- Sept. 1964 : Début des terrassements pour entrée du lift.
- Oct. 1964 : Bétonnage ergot et radier du lift.
- Nov. 1964 : Fouilles blindées pour murs d'aile.
- Déc. 1964 : Bétonnage et remblayage des murs d'aile.
- Janv. 1965 : Fin des injections de raccords aux murs d'aile.
- Fév. 1965 : Mise en eau du lift et mesures de contrôle.
- Fév. 1965 : Mesures de contrôle C4-C1.

c) Usine

Une commission de six membres, présidée par M. *Maystre*, alors chef de la division de l'assainissement, a précisé, lors de son travail préliminaire (janvier 1961 à juillet 1963) :

- Le plan général.
- L'importance et le système de traitement.

L'usine doit pouvoir, au stade définitif, être équipée pour l'incinération et le compostage. C'est ce qui a amené les projecteurs à disposer les bâtiments d'incinération et de compostage de part et d'autre d'une halle centrale de distribution (fig. 9), avec possibilité très souple d'extension.

*Description*

L'ensemble comprend trois corps de bâtiments principaux et contigus :

1. *Halle centrale* abritant les silos à ordures, les trémies de chargement des fours et le déchargement des barges.
2. *Halle d'incinération* comprenant les installations électromécaniques, soit : deux fours d'incinération, le turbo-générateur, les électrofiltres et le poste de commande.
3. *Aile administrative*, avec les ateliers, dépôts, vestiaires, réfectoires, salle de conférences, bureau de direction, laboratoires, etc.

Les bâtiments annexes sont :

- halle de déchargement des barges ;
- bâtiment pont-basculé ;
- entrée avec la station de pompage.

L'implantation des différents volumes tient compte des nécessités fonctionnelles et de l'agrandissement

futur (halle centrale et halle d'incinération). L'unité architecturale a été recherchée en opposant le caractère très ouvert de la halle d'incinération à celui très fermé de la halle centrale. La structure uniforme en béton armé apparent, basée sur un module de 9,50 m découlant de l'encombrement des installations mécaniques, comprend des piliers en forme de H, dont l'évidement sert de gaine technique (ventilation, incendie, électricité, etc.) qui se prolonge par des passages identiques entre les sommiers.

Le traitement en façades des différents volumes a été conditionné pour permettre l'extension, d'où l'emploi d'éléments préfabriqués.

*Halle centrale.* — Atmosphère poussiéreuse, façades opaques, avec remplissage en panneaux préfabriqués en béton léger Leca, épaisseur 18 cm, montés sur ossature métallique et poteaux en béton armé.

Eclairage zénithal par coupole en polyester.

*Halle d'incinération.* — Volume de travail, façades constituées de panneaux préfabriqués translucides « Kalwall » (deux faces de polyester) montés sur charpente métallique et cadre aluminium.

Chaque niveau de travail est marqué en façades par des guichets de ventilation transparents créant le contact avec la campagne environnante.

Eclairage zénithal par coupoles en polyester.

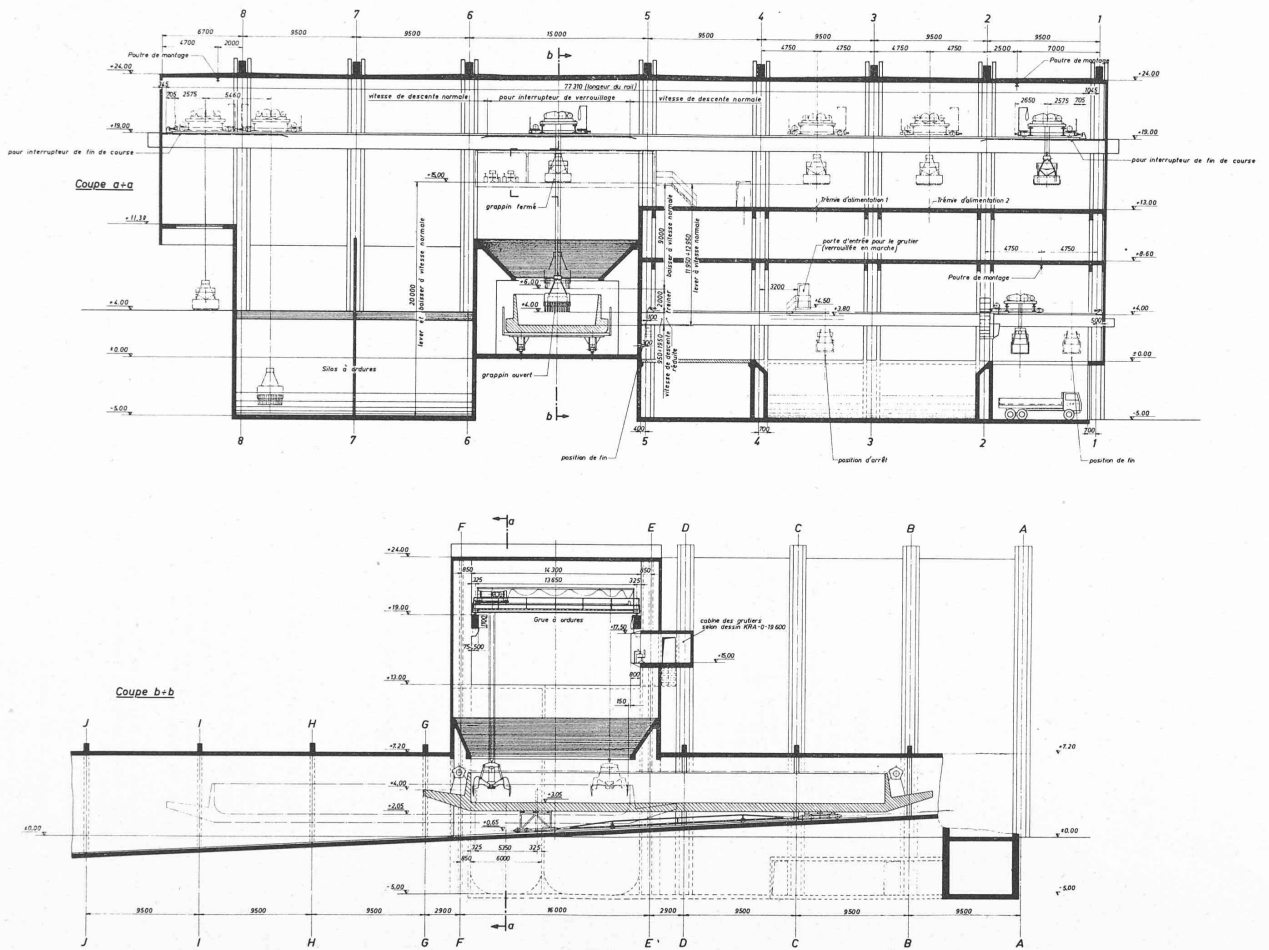


Fig. 14 — Coupe montrant la structure du bâtiment.

*Aile administrative.* — Élément à l'échelle humaine, dont les façades sont traitées en murs-rideaux composés de panneaux Leca et de vitrages en aluminium. Chaque niveau de ce bâtiment est en contact avec la halle d'incinération.

Le béton apparent, employé pour toutes les structures, affirme l'unité des différents volumes, mais la fonction elle seule a déterminé les masses et leur expression dans l'espace.

#### Structure (fig. 14)

L'ensemble de la structure des différentes parties du bâtiment se compose de cadres à étages multiples.

Certains ont été calculés par les méthodes habituelles. Les plus compliqués au moyen de la machine électronique et des programmes IBM.

Le système des doubles sommiers présente l'avantage de permettre l'encastrement de tous les éléments horizontaux (dalles) en travées de rive, ce qui, pour des éléments très chargés, permet de mieux équilibrer les efforts de flexion. D'autre part, les imposantes dimensions des différentes parties du bâtiment exigent que soient conservées certaines proportions entre les divers éléments.

La section des poteaux choisie essentiellement sur la base de considérations esthétiques est cependant tout à fait normale pour la grande hauteur de la halle d'incinération (29,00 m). La forme en H présente l'avantage d'un grand moment d'inertie, dans toutes les directions et élimine de ce fait les risques de flambage. De même, les efforts d'encastrement des poutres horizontales sont facilement absorbés. Le calcul de tous les éléments des bâtiments ne présente que peu d'intérêt et fut effectué d'une façon tout à fait classique.

Seule l'extrémité de la halle centrale, porte-à-faux supportant les charges de façades, posait un problème délicat pour la compensation des flèches. Cette dalle en porte à faux encastree dans un sommier a été calculée par une méthode d'itération développée par l'ingénieur E. Schmid, de Stuttgart.

Un essai de charge a permis de contrôler les flèches calculées avant la mise en place des façades.

#### d) Cheminée

L'élément porteur de la cheminée est un tube légèrement conique en béton armé dont l'épaisseur est variable. Elle est revêtue intérieurement de briques réfractaires. Une isolation de laine de pierre est bourrée entre les briques et le béton (fig. 15).

La période d'oscillation propre de cette construction étant supérieure à une seconde, une analyse spéciale des efforts dynamiques dus à l'action du vent est exigée par les normes suisses (SIA 160, art. 20, al. 9).

Le problème a été étudié par E. Rausch, dans un article des *Zeitschrift VDI* 1933, p. 433. La méthode de calcul habituelle est résumée par A. Mayor, dans son livre *Fondation de machines et turbines* (VEB, Berlin 1961, p. 654).

L'hypothèse de calcul est un vent dont la vitesse augmente pendant un certain temps pour rester constante

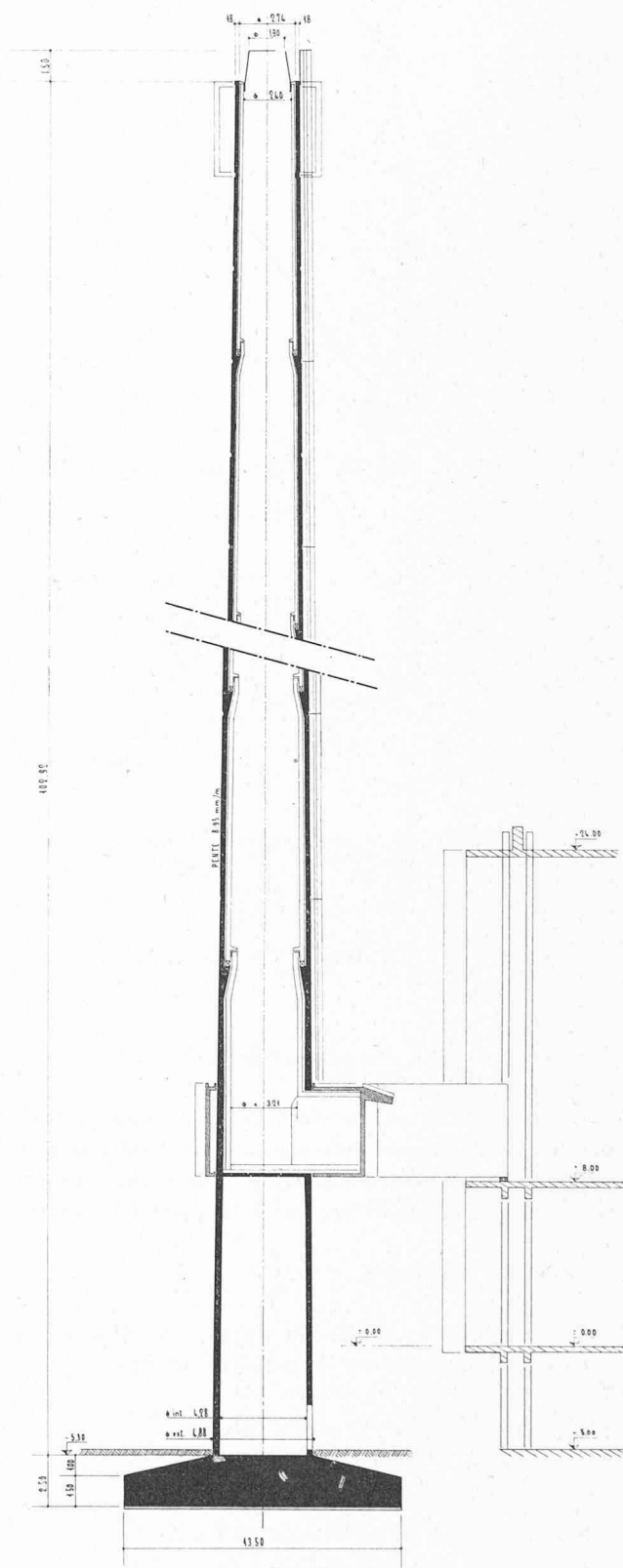


Fig. 15. — Cheminée.

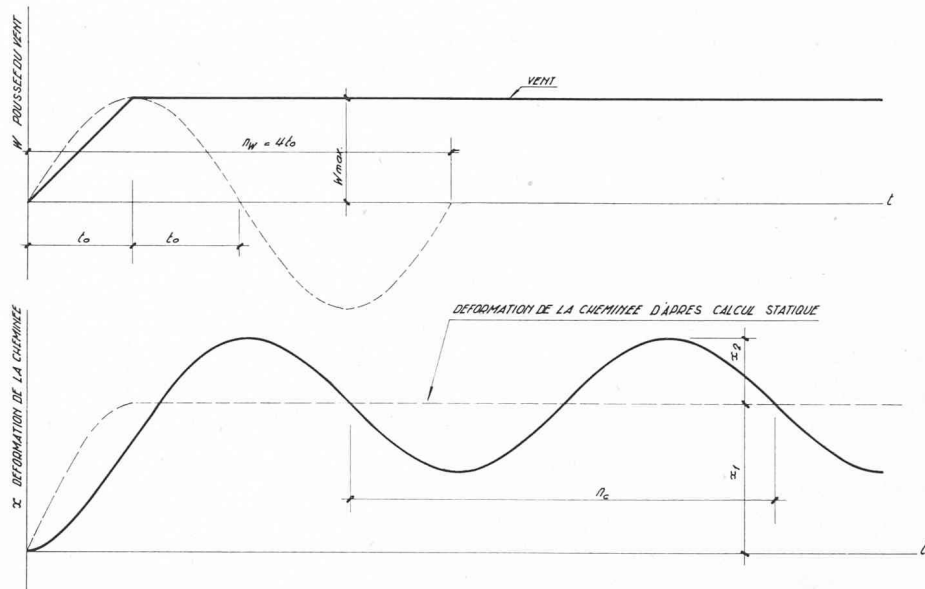


Fig. 16. — Oscillations de la cheminée. 1<sup>re</sup> hypothèse.

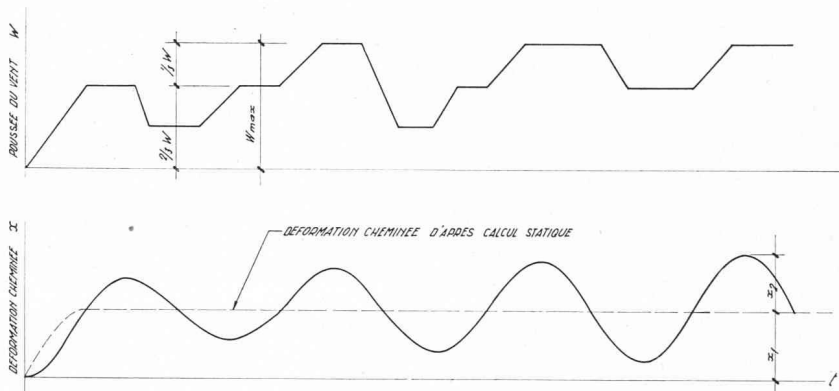


Fig. 16 a — Oscillations de la cheminée. 2<sup>me</sup> hypothèse.

par la suite. La cheminée oscille alors autour de sa nouvelle position d'équilibre.

L'amplitude de ces oscillations est fonction du rapport de la soudaineté du coup de vent, c'est-à-dire du temps qu'il met pour atteindre sa vitesse maximum, à la durée des oscillations propres de la cheminée (fig. 16).

$$\text{Degré de soudaineté } \alpha = \frac{n_c}{n_w} \quad (1)$$

A l'aide des équations de Föppl, on obtient une valeur de l'augmentation dynamique des efforts :

$$\beta = \frac{x_2}{x_1} = \frac{\alpha}{\alpha^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + \alpha^2 - 2\alpha \sin \frac{\pi}{2}} \quad (2)$$

$$\text{d'où le coefficient dynamique } \nu = 1 + \beta. \quad (3)$$

Si  $\alpha$  varie de 0 à l' $\infty$ ,  $\nu$  varie de 1 à 2.

Une autre hypothèse suppose un vent dont la vitesse oscille irrégulièrement autour d'une valeur moyenne

$$W_0 = \frac{2}{3} W_{\max}$$

avec une amplitude de  $1/3 W_{\max}$ .

Elle admet de plus que les coups de vent irréguliers sont en phase trois fois de suite avec les oscillations de la cheminée (fig. 16 a).

Cette dernière hypothèse néglige l'amortissement des oscillations de la cheminée pendant la durée d'un tel coup de vent ou, plus exactement, elle considère qu'il y a compensation des effets de cet amortissement par un phénomène de fatigue. En d'autres termes, elle considère que la baisse de la contrainte admissible que l'on devrait admettre à cause de la fatigue est égale à la baisse de contrainte effective due à l'amortissement.

Des équations (1) et (2) on voit que plus la cheminée est rigide ( $n_c \rightarrow 0$ ), moins le coup de vent est brusque ( $n_w \rightarrow \infty$ ), plus le coefficient est faible.

Pour la soudaineté du coup de vent, Rausch conseille de prendre  $t = 2s$ , soit  $\frac{n_c}{n_w} = 8$ .

Pour l'ouvrage qui nous intéresse plus spécialement, sa forme très élancée lui donne une souplesse assez grande. Son temps d'oscillation propre est de 3,8 s pour le fût seul et de 4,7 s pour la cheminée terminée (fût + revêtement intérieur) entraînant respectivement des coefficients dynamiques de 1,7 et de 1,8. (Les fréquences



propres ont été calculées selon Kayser et Troche, B. u. E. 1930, p. 16).

Ces valeurs nous ont semblé très fortes. Le manque de temps pour effectuer des mesures au moyen d'anémomètres ayant une inertie suffisamment faible nous ont privé de renseignements précis sur la structure du vent, et la valeur de  $n_w$  a été choisie arbitrairement en tenant compte des conseils des auteurs.

De plus, la simultanéité des forces de vent sur une hauteur de 100 m nous a semblé très improbable.

Ces considérations nous ont donné l'idée d'effectuer des mesures sur la cheminée exécutée, ceci avec autorisation du Département des travaux publics. Nous avons entrepris, avec le concours de M. Gilbert Béguin, ingénieur spécialiste des essais sur maquette, une étude des dispositions à prévoir pour vérifier dans quelle mesure les efforts calculés sur la base des hypothèses correspondent à la réalité. De telles mesures ne pouvant permettre de conclusion que si elles sont poursuivies pendant assez longtemps, un appareil sera placé pour les enregistrer pendant de forts coups de vent sans que la présence d'un observateur soit nécessaire.

Aux contraintes ayant fait l'objet des considérations ci-dessus se superposent des contraintes thermiques, dont l'importance est atténuée par la présence de l'isolation. L'épaisseur de cette isolation diminue avec la hauteur de la cheminée, bien que la température des gaz de fumée ne s'abaisse que lentement à cause de leur grande vitesse (1 à 2° C pour toute la hauteur).

La diminution de cette épaisseur se justifie par le fait que les contraintes non thermiques perdent de l'importance de la base au sommet. On peut donc laisser augmenter les contraintes thermiques dans ce même sens.

Au point de vue constructif, précisons que cette cheminée conique (ext 8 ‰) a été exécutée avec un coffrage glissant par l'entreprise Lucks & Co. Son système breveté de coffrage permet de faire varier dans une certaine mesure et même d'inverser la conicité du fût, aussi bien intérieure qu'extérieure et de manière indépendante. Ceci nous a permis de renforcer le manteau de béton armé en augmentant l'épaisseur de ses parois dans la région de la trainasse sans devoir maintenir ce renforcement sur le reste de la hauteur, tout en profitant des avantages du coffrage glissant.

La maçonnerie intérieure est portée par une série d'anneaux formés de segments préfabriqués.

Le carneau de fumée, reliant l'usine à la cheminée à environ 13 m au-dessus du niveau inférieur du fût, est construit également en béton armé avec isolation et revêtement réfractaire intérieurs. Il est posé côté bâtiment sur des appuis en néoprène.

La section intérieure de la cheminée a été déjà dimensionnée pour permettre l'extension de l'aile d'incinération de l'usine. En attendant, un rétrécissement provisoire sera placé au sommet pour donner aux gaz une vitesse de sortie assez grande pour que la pollution de l'air soit négligeable.



Fig. 17. — Exemples de marbrures de la surface des bétons.

#### e) Problèmes pratiques de coffrage et de mise en œuvre des bétons

L'ensemble des bâtiments et des ouvrages de génie civil du quai de déchargement de la Jonction et de l'usine elle-même sont des éléments que le projecteur a voulu en béton apparent.

Les formules de soumission de ces différents ouvrages ont été rédigées en tenant compte d'exigences sévères en ce qui concerne les qualités des coffrages.

Pour la majeure partie des constructions, ce sont des panneaux de coffrages préfabriqués qui furent utilisés.

#### Piliers

*Coffrage.* — Constitué par des panneaux réutilisables d'une hauteur de 5,00 m. Chaque arrêt de bétonnage est marqué par une baguette en bois de 6×1,5 cm qui est située au haut de l'élément qui se termine. Le coffrage est particulièrement soigné avec des planches d'égale largeur et des joints étanches.

*Béton.* — Béton CP 325 de granulométrie choisie 0-30, consistance terre humide. Les essais préliminaires de résistance furent excellents et la direction des travaux accepta ces bétons.

*Résultats.* — D'une façon générale, les bétons apparents sont excellents.

Indépendamment des taches de couleur dont nous parlerons plus loin, signalons le problème majeur qui nous préoccupa lors de la mise en œuvre des piliers.

Toutes conditions semblant requises pour obtenir des surfaces parfaites, il est cependant apparu en maints endroits des marbrures du béton (fig. 17).

On attribua ce fait d'abord à un gonflement des coffrages et par voie de conséquence à une espèce de tassement secondaire du béton. L'hypothèse qui se révéla en définitive exacte consiste à attribuer cet inconvénient à une qualité de béton rendue trop « rêche » par les exigences de granulométrie et de résistance. On ajouta alors avec succès de la poussière de pierre ou du sable très fin au béton, à raison de 50 kg par m<sup>3</sup> de béton ; les marbrures disparurent presque complètement. Parallè-





Fig. 18. — Variation de teinte résultant de l'emploi de produits retardant la prise.

lement, les résistances des bétons baissèrent, mais dans une proportion tout à fait admissible.

#### *Dalles*

*Coffrage.* — Les coffrages sont constitués par des panneaux de bois contreplaqués imprégnés en fabrique et enduits d'une couche d'huile avant chaque bétonnage. Une disposition des panneaux en quinconce conduisit à un aspect satisfaisant les exigences de la direction des travaux.

*Béton.* — Les volumes journaliers de béton à mettre en œuvre dépassèrent généralement de beaucoup les capacités de l'installation de bétonnage. D'autre part, le très grand nombre d'ouvertures de tous genres à réserver pour l'installation des fours, du turbo-générateur et de tous les éléments de l'équipement électromécanique, ne permettaient pas de prévoir des joints de reprise de bétonnage judicieusement localisés. Ayant dû exclure, faute d'autorisation, le travail de nuit, la direction des travaux décida d'utiliser des produits retardant la prise de manière à obtenir des éléments continus, malgré l'interruption de la nuit.

#### *Taches des surfaces de béton*

Les bétons des piliers, et surtout ceux des dalles, présentent systématiquement des différences de teintes assez sensibles et localement assez nettes.

En accord avec l'avis exprimé au numéro 22 de 1963 du Bulletin de l'E.G. Portland, nous pensons que ces taches sont dues aux différences de capacité d'absorption d'eau des diverses surfaces en contact avec le béton.

D'autres expériences nous ont montré que les coffrages étanches donnent des surfaces claires. On peut admettre que la teinte du béton devient plus foncée lorsque les surfaces contre lesquelles il est coulé sont plus absorbantes. Cette remarque est confirmée par le fait qu'en utilisant des produits retardant la prise, on

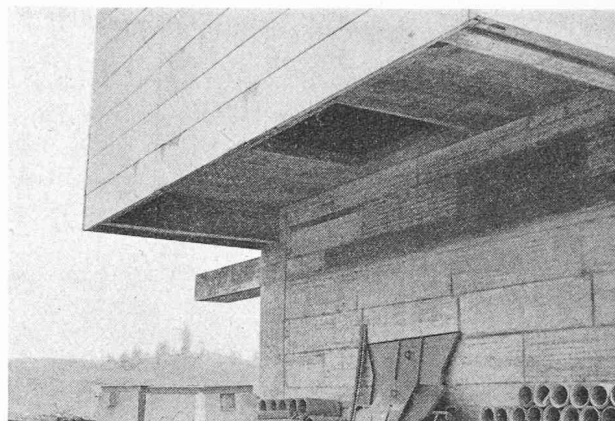


Fig. 19. — Taches de couleur résultant d'une différence de nature des panneaux de coffrage.

augmente la durée d'absorption par les coffrages et l'on obtient alors des surfaces plus foncées (fig. 18).

Dans notre cas, la provenance de bois différents pour la constitution des panneaux contreplaqués et surtout leur différence d'âge a provoqué l'apparition de teintes variables d'un panneau à l'autre malgré la protection par une imprégnation (fig. 19).

Seuls des coffrages parfaitement étanches donneraient des surfaces de couleur uniforme.

Le choix d'un bois de même âge et de qualité régulière, de même que le fait de saturer les coffrages d'eau avant le bétonnage sont des moyens qui donnent généralement satisfaction, mais qui ne peuvent être absolus.

#### *Avancement des travaux*

Sous l'impulsion du chef de la division de l'assainissement, M. Maystre, l'avancement des travaux est rapide et, en accord avec les prévisions, l'usine entrera en fonction au mois de janvier 1966.

A noter la constitution pour cette réalisation importante d'un groupe technique de spécialistes parmi lesquels les ingénieurs civils furent choisis comme coordinateurs des travaux et responsables de la direction générale, leur contribution aux différents problèmes étant prépondérante.

Ce groupe d'étude est formé de :

- Ass. Ed. Pigeon et R. Perreten, ingénieurs civils, Genève, direction générale
- Th. R. Jeheber, collaborateur
- E. Guex et G. Kirchhoff, architectes-conseils
- E. Bösch, ingénieur naval, Bâle
- P. et C. Deriaz, ingénieurs géotechniciens, Genève
- F. Hauser, ingénieur électricien, Genève
- H. Rigot, E. Barro et S. Rieben, ingénieurs ventilation, Genève
- Von Roll, construction de fours, récupérateurs d'énergie, Zurich
- Maison Lais AG., construction des barges, pousseur et équipements portuaires, Bâle