Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 112 (1986)
Heft: 12

Artikel: Prolongation de la piste de l'aéroport de Funchal, à Madère
Autor: Frey, Claude
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75991

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Prolongation de la piste de l'aéroport de Funchal, à Madère

par Claude Frey, Genève

Le 18 décembre 1977, l'attention de l'opinion publique suisse était attirée sur l'aéroport de Madère par l'accident d'une Caravelle de la compagnie aérienne charter genevoise SATA. Sans revenir sur les circonstances déplorables de ce drame, qui a coûté la vie à 53 personnes, on relèvera que les installations de l'aéroport de Funchal n'étaient pas en cause.
De nombreux touristes, notamment suisses, venus par avion, ont apprécié depuis 1964, date de la construction d'un aéroport, le cadre enchanteur et l'hospitalité de cette île portugaise au large du Maroc. Cet engouement a conduit les autorités à envisager l'allongement de la piste et l'extension de l'aire de stationnement des avions.
Grâce à la SA Conrad Zschokke, à Genève, qui a activement participé à ces travaux, nous présentons ici ces réalisations hors du commun.

Rédaction

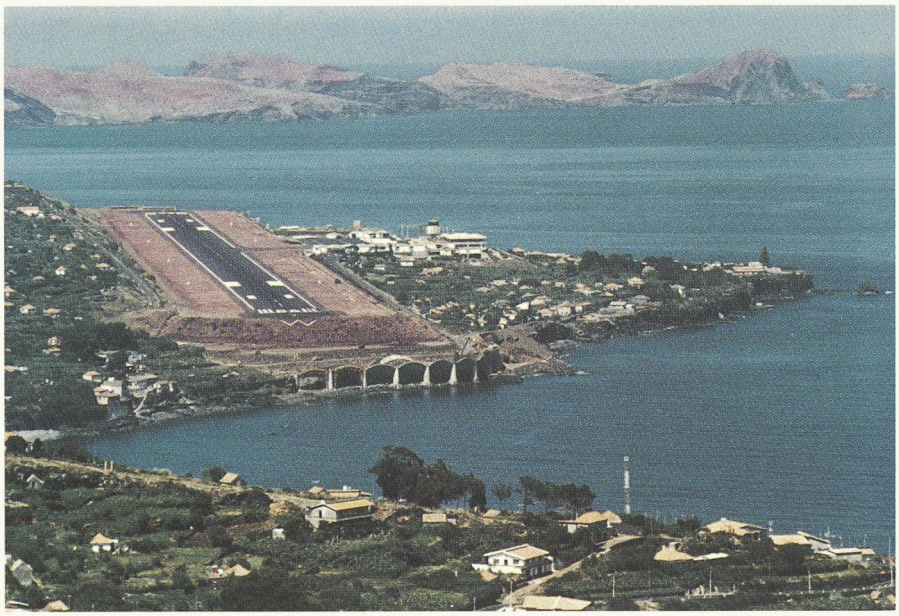

Fig. 1. — Vue générale de l'aéroport de Funchal. On distingue les travaux de prolongement de l'extrémité 06 de la piste, avec les voûtes servant de soutènement au remblai et de protection de ce dernier contre l'érosion marine. A droite, l'aérogare et l'aire de stationnement faisant également l'objet d'une extension.

Introduction

L'île de Madère — dont le nom est tiré des épaisses forêts qui la couvraient lors de sa découverte en 1416 — se situe en plein océan atlantique à quelque 1000 km de Lisbonne en direction sud-sud-ouest et à un millier de km à l'ouest de Rabat (Maroc) (fig. 2). Territoire portugais, elle jouit d'une certaine autonomie. Sa superficie est de 740 km² et elle compte une population d'environ 300000 habitants. Du fait de ses origines volcaniques, l'île de Madère présente un relief tourmenté avec des massifs de montagnes très escarpés, entrecoupés de vallées encaissées et sauvages. Le plus haut sommet de l'île est le «Pico Ruivo», un ancien volcan de 1861 m d'altitude.
Grâce à son climat subtropical et ses précipitations abondantes, l'île est couverte d'une végétation luxuriante. On y rencontre de nombreuses variétés de fleurs (dont l'orchidée), des bananes, du raisin, de la canne à sucre et même des fruits tropicaux tels que la papaye et la mangue. L'égalité de la température — jamais ni trop froide ni trop chaude — a créé une des principales sources de revenus de l'île: le tourisme.
Aujourd'hui, il n'existe plus aucune liaison maritime pour le transport des passagers entre Madère et le continent; le trafic étant assuré exclusivement par voie aérienne, il est donc impératif pour l'île de posséder un aéroport performant. En 1964, l'île de Madère se dotait d'un aéroport à Santa Catarina, 20 km au nord-ouest de Funchal, sa capitale. Sa situation ne peut être considérée comme idéale, mais du point de vue topographique, elle représente la seule possibilité d'implantation pour une telle installation (fig. 1).

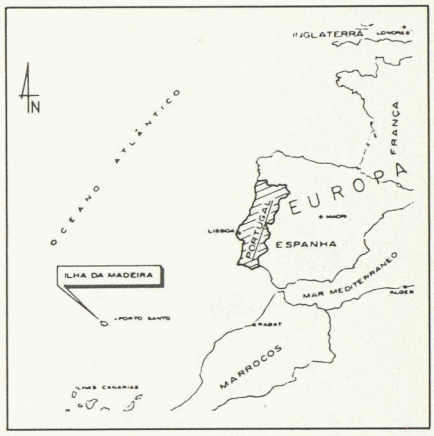

Fig. 2. — La situation de Madère explique le rôle capital du trafic aérien pour le tourisme.

Une piste asphaltée de 1600 m de long et 45 m de large permet de recevoir des avions de types Boeing 727 et 737, des Caravelle ainsi que des DC9-50.
En 1971, les installations sont complétées par la construction d'une aérogare moderne.
Par la suite, le maître de l'ouvrage, ANA (Aeroportos e Navegaçâo Aerea EP), entreprise gouvernementale, décidait, pour augmenter la sécurité opérationnelle de l'aéroport, de prolonger la piste actuelle de 200 m ainsi que d'agrandir l'aire de stationnement de 5 à 9 unités.
Au printemps 1979, deux bureaux d'études, celui du professeur Edgar Cardoso de Lisbonne pour les structures en béton et Hidroservice de São Paulo (Brésil) pour les terrassements, furent mandatés pour l'étude du projet (fig. 3).

Description des travaux

La piste actuelle est située à proximité de la mer sur un promontoire à quelque 50 m au-dessus du niveau de l'eau et limitée à chaque extrémité par des talus fortement inclinés tombant directement dans la mer.
Situation comparable à un gigantesque porte-avions. Géographiquement, l'axe de la piste s'oriente de S.-S.-O. vers E.-N.-E. d'où marquage 06, respectivement 24, des têtes de piste. La prolongation de la piste de 200 m a nécessité des travaux aux deux extrémités.

Cet article est une version mise à jour d'une contribution parue dans le journal d'entreprise Allo Zschokke *d'octobre 1984. Nous remercions les collaborateurs de cette maison, notamment des documents nouveaux mis à notre disposition. Leur tâche a été compliquée par la disparition, dans un accident d'avion le 1er septembre 1985, de leur collègue Christian Gafafer, qui dirigeait les travaux à Madère.*
Précisons que les travaux se sont achevés en octobre 1985 et que les nouvelles installations ont été inaugurées par le président de la République portugaise le 1er février 1986.
Rédaction

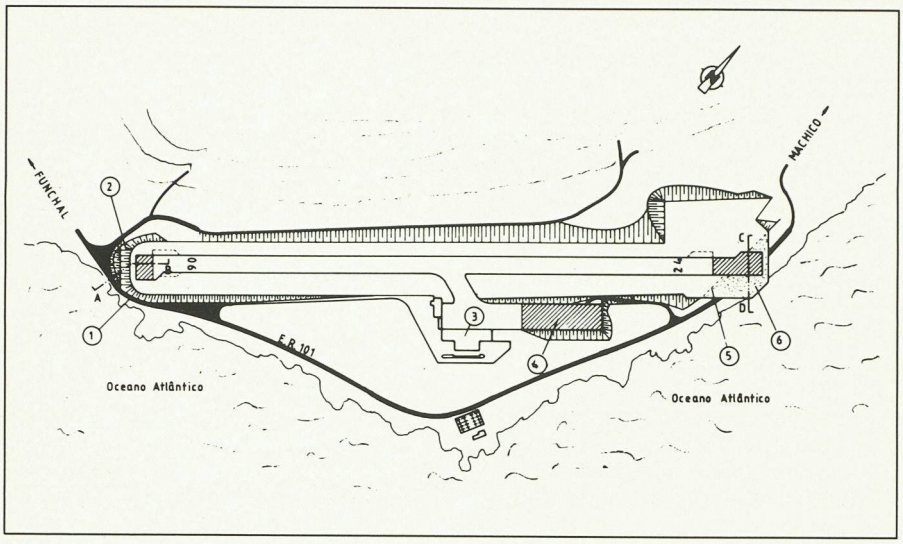

Fig. 3. — Les travaux d'extension de l'aéroport de Funchal (surfaces hachurées). A gauche, extrémité de piste 06, à droite 24.
1. Soutènement. 3. Bâtiments existants. 5. Mur de soutènement.
2. Remblai. 4. Extension. 6. Structure sur portiques.

Prolongement de la piste à l'extrémité 06

L'extrémité S.-S.-O. de la piste est prolongée de 50 m seulement. Le projet prévoit une première terrasse à environ 20 m au-dessus du niveau de la mer, en créant un remblai protégé de l'érosion marine par un énorme mur de soutènement courant le long du rivage. Cette plate-forme sert d'une part de base au remblayage sur lequel s'étendra la prolongation de la piste et, d'autre part, à l'implantation du nouveau tracé de la route ER 101, route d'accès à l'aéroport. Le mur de soutènement en béton, d'une conception toute particulière, est caractérisé par une succession de 10 voûtes inclinées à 37° et de 25 m de portée, s'appuyant sur des contreforts triangulaires. Ces voûtes, certaines à génératrices coniques, d'autres à génératrices cylindriques, varient en épaisseur de 100 cm à la naissance à 50 cm à la clé (fig. 4 et 5).

Les contreforts, servant d'appuis aux voûtes, ont une hauteur de 10 m et une épaisseur constante de 150 cm. Chaque contrefort repose sur une poutre en béton de 4 m d'épaisseur et 3 m de hauteur, dont la base se situe pratiquement au niveau de la mer. Cette poutre permet de reporter les forces résultant du système à deux massifs cylindriques en béton de 6 m de diamètre posés sur le fond rocheux à quelque 5 m sous le niveau de la mer (fig. 6).

Les différentes phases d'exécution pour la construction de cet ouvrage particulier sont décrites ci-après: après l'enlèvement des dépôts sous-marins à l'aide d'une pelle hydraulique type Retro, la surface rocheuse est attaquée au briseroche pour obtenir une surface d'appui horizontale à 6 m environ sous le niveau de la mer. Une équipe de plongeurs est chargée alors du nettoyage et du contrôle de la surface, du positionnement et de la superposition d'anneaux cylindriques préfabriqués en béton de 6 m de diamètre et d'un poids de 20 t. La mise en place des anneaux, effectuée à l'aide d'une grue puissante type Manitowoc 3900 T, se poursuit jusqu'à ce que le cylindre ⌀ 6 m ainsi formé dépasse d'environ 50 cm le niveau de la mer. Cette méthode présente l'inconvénient d'être dépendante des conditions maritimes (houle, marées, courants) qui peuvent occasionner de sérieux retards au programme des travaux. La mise en place des anneaux terminée, le cylindre est rempli de béton coulé sous l'eau. Chaque paire de cylindres est reliée par une entretoise bétonnée *in situ* sur laquelle vient se poser le contrefort de forme triangulaire, coffré à l'aide de banches métalliques et bétonné en une étape, sur 10 m de haut. Les voûtes qui s'appuient sur ces contreforts sont coulées en bandes de 3 m. Pour la construction du mur de soutènement (10 voûtes), il a fallu 48 étapes de bétonnage qui ont requis l'emploi de trois coffrages métalliques autoportants de 15 m de portée et pesant 30 t chacun. Les déplacements de ces coffrages se font à l'aide de grues mobiles (Manitowoc 3900 T ou similaire). Ainsi, avec une durée de prise de 3 jours, un déplacement de 1 à 2 jours et 2 jours pour la pose des armatures, une cadence de 8 jours par étape de bétonnage a pu être maintenue durant toute la période de construction du mur de soutènement (fig. 7).

Avant que les opérations de remblayage de la plate-forme (élévation 20 m) ne

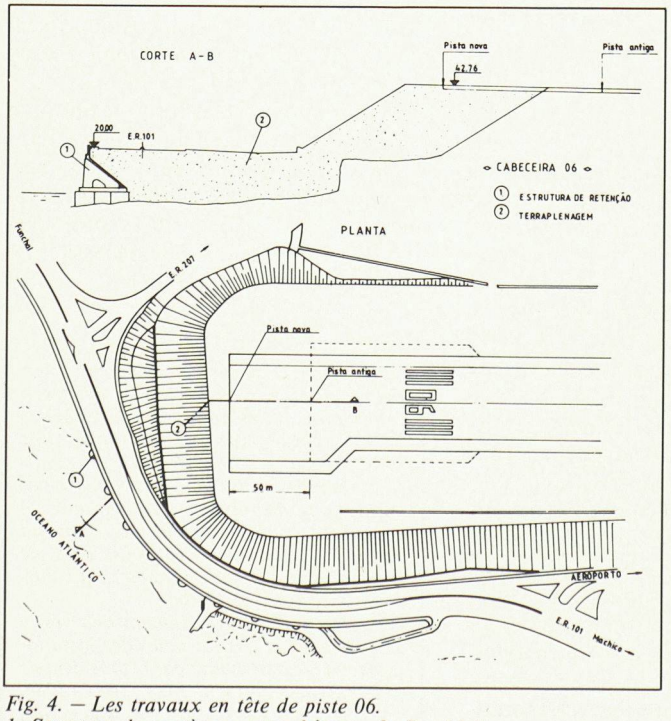

Fig. 4. — Les travaux en tête de piste 06.
1. Structure de soutènement en béton. 2. Remblai.

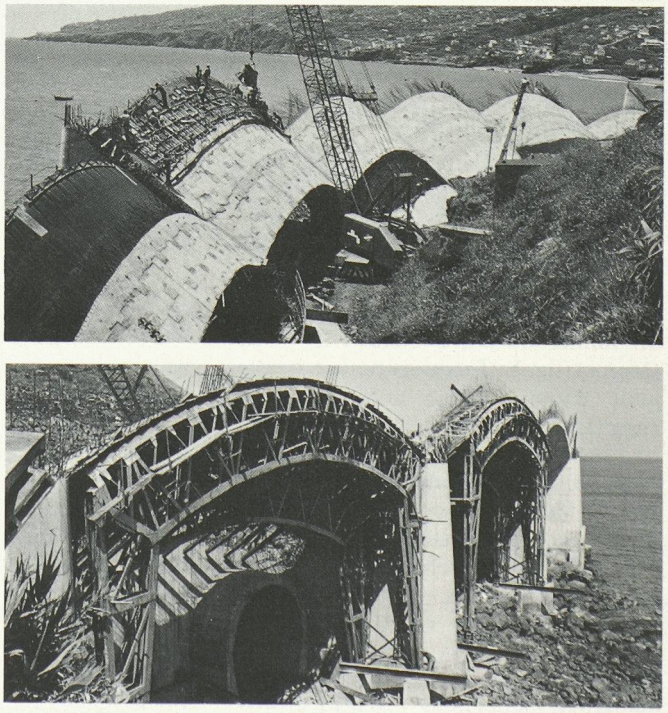

Fig. 5. — Etayage (en bas) et bétonnage des voûtes.

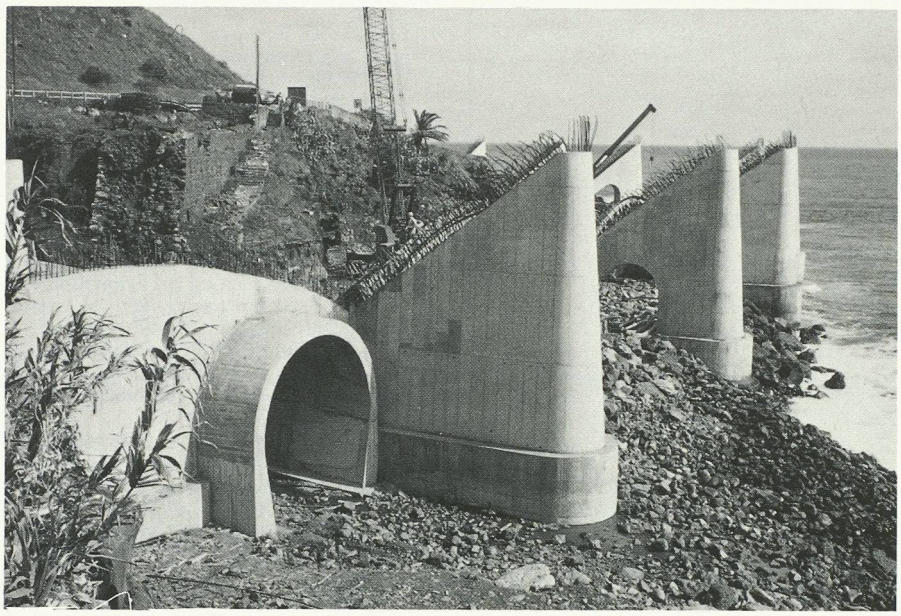

Fig. 6. — Les contreforts servant d'appui aux voûtes.

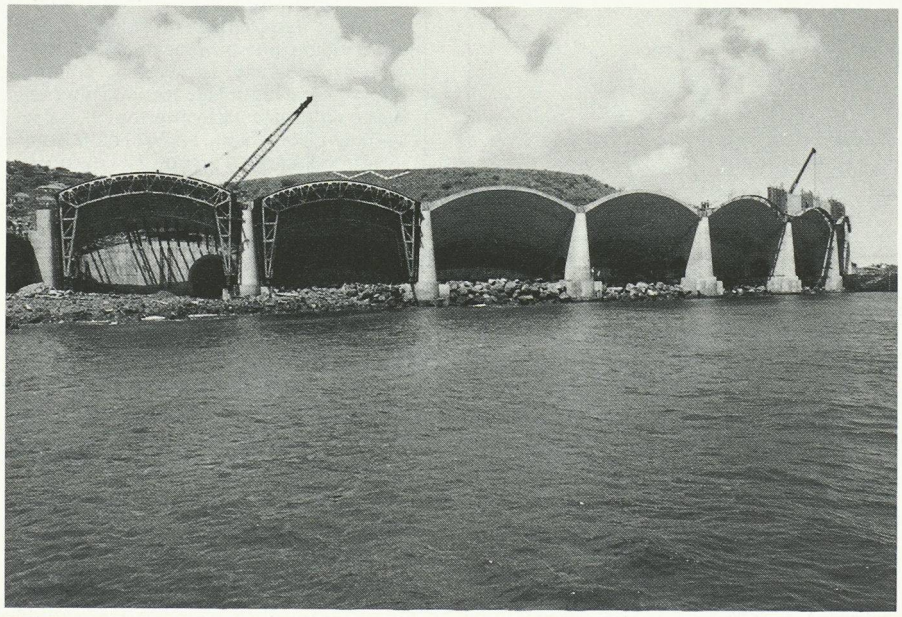

Fig. 7. — Bétonnage des voûtes sur les contreforts.

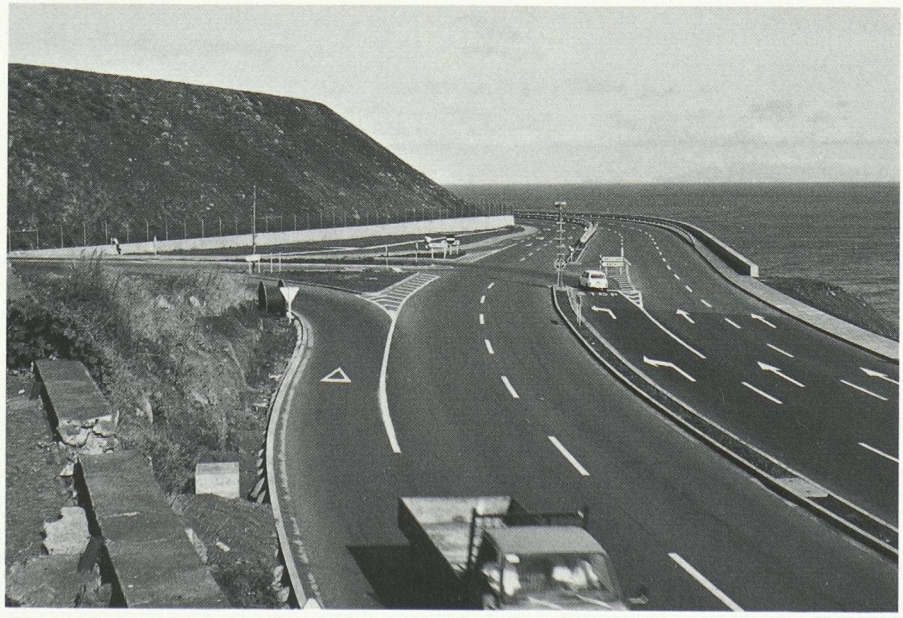

Fig. 8. — La route d'accès à l'aéroport emprunte la plate-forme servant de base au remblayage pour l'extension de la piste (vue du nord-ouest, cf. fig. 3).

commencent, l'extrados de la voûte reçoit une couche d'asphalte afin d'assurer son imperméabilité.

Le remblayage des 50 m de prolongation de la piste côté 06 requiert également la mise en voûtage du «Ribeiro do Moreno», ruisseau qui coule au pied du talus actuel.

En résumé, le prolongement de 50 m de la tête 06 a nécessité:

4000 m³ d'excavation;
28000 m³ de coffrage;
650 t d'armature;
12500 m³ de béton;
390000 m³ de remblais.

Prolongement de la piste à l'extrémité 24

L'extrémité N.-N.-E. de la piste, elle, est prolongée de 150 m. Dans ce but, un mur de soutènement est construit 50 m en avant de l'extrémité de la piste actuelle selon un angle oblique par rapport à l'axe. Ce mur remplit une double fonction: d'une part il soutient un remblayage permettant un prolongement de la piste de 50 m, d'autre part, il sert d'appui à la structure en béton en forme de terrasse, constituant les autres 100 m. Cette dalle est soutenue par 14 piliers de 3 m de diamètre et de hauteurs variables allant jusqu'à 55 m pour les plus grands et reliés au sommet par des sommiers. Sous la plate-forme, entre les piliers, se faufile une route (ER 101) qui doit rester ouverte au trafic durant toute la durée des travaux. Il en va de même pour le trafic aérien. A aucun moment, le couloir d'atterrissage ou de décollage de l'aéroport ne doit être perturbé par des installations fixes telles que grues à tour, rubans transporteurs, etc., utilisées pour les bétonnages des sommiers et de la plate-forme. Cette contrainte représente une des difficultés majeures de ces travaux (fig. 9 et 10)!

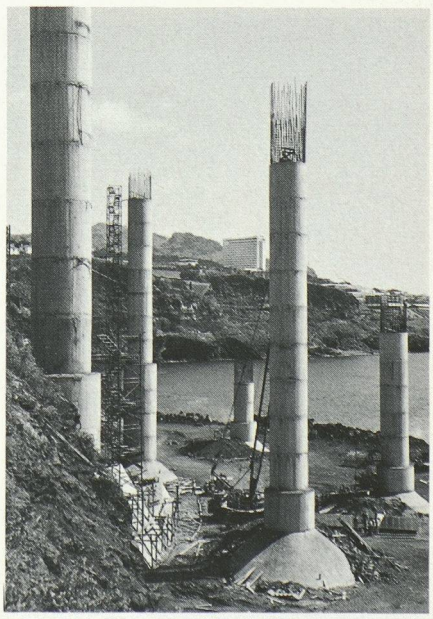

Fig. 9. — Une contrainte majeure: édifier une forêt de piliers sans entraver le trafic aérien survolant directement le chantier!

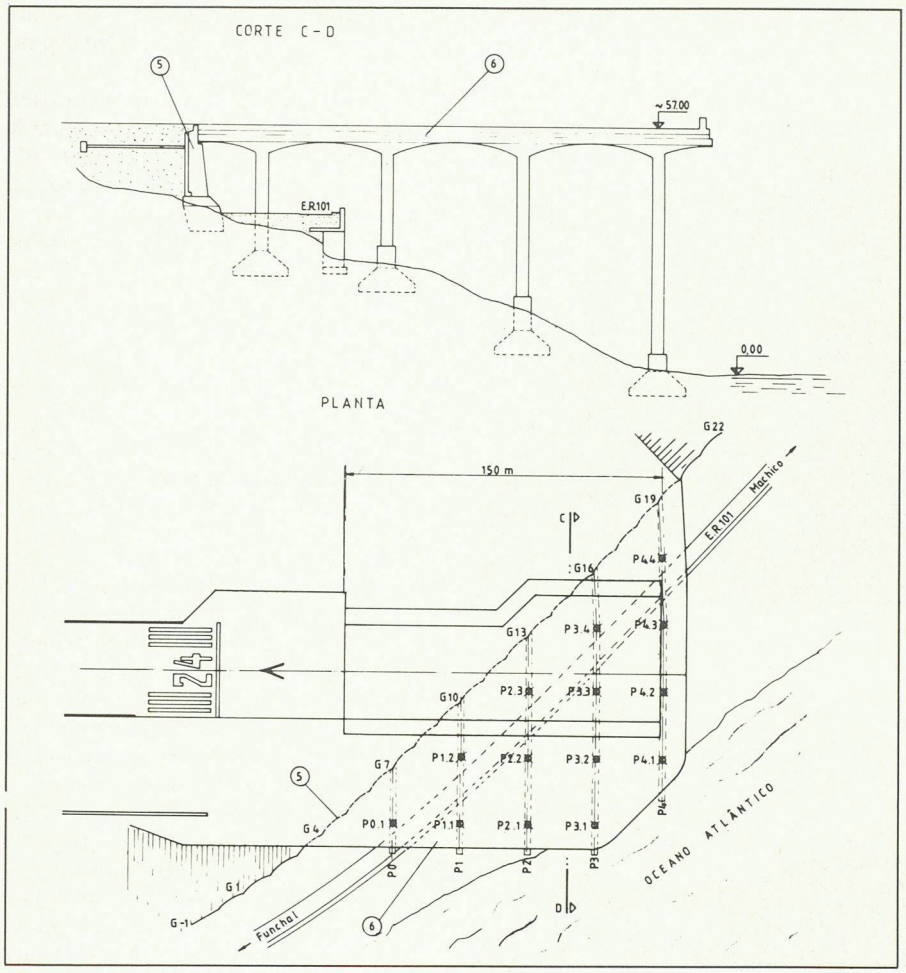

Fig. 10. — L'extension de la piste en son extrémité 24.
5. Mur de soutènement. 6. Structure sur portiques.

Comme on l'imagine, les cas de charge pour le prolongement 24, où la piste est constituée d'une dalle reposant sur 14 piliers atteignant jusqu'à 55 m de haut, ne sont pas banals et ne se trouvent dans aucune norme usuelle.
Le professeur Edgar Cardoso, interrogé à ce sujet, nous a fourni les indications suivantes: pour la dalle, les portiques et les piliers, les charges considérées sont le poids propre, les actions thermiques, hygrométriques et dynamiques; en outre, comme chargement, le trafic d'avions gros porteurs de 400 t a été pris en considération, avec, en cas d'accident, un impact dynamique sur une zone réduite correspondant à une charge statique de 1000 t.
D'autre part, les grands murs de soutènement ont été dimensionnés en tenant compte de la poussée des terres combinée à un freinage d'urgence, soit 400 t au niveau du sol, ainsi que d'une majoration de 5% du poids comme facteur dynamique.
On peut supposer que la structure composée de la dalle, des portiques et des piliers a fait l'objet d'une analyse dynamique, notamment pour tenir compte de la composante verticale de l'impact à l'atterrissage et des charges au décollage. En effet, même si le prolongement est destiné à améliorer la sécurité comme réserve pour le roulage lors de l'atterrissage ou d'un décollage interrompu et si le seuil de piste se situe après la dalle pour un atterrissage en direction 24, l'éventualité d'un atterrissage trop court ne saurait être exclue.

Jean-Pierre Weibel

Mur de soutènement, mur des géants

Ce mur, d'une longueur de 330 m, se compose d'une série de 23 contreforts, dont les plus hauts atteignent 30 m. Fondées sur la roche, certaines assises ont requis la construction de puits, excavés en plein talus de la piste existante et allant jusqu'à 12 m de profondeur. Dans leurs parties supérieures, les contreforts sont retenus par des ancrages noyés dans les remblais afin de donner au mur une stabilité supplémentaire. Entre les contreforts, distants de 15 m, une voûte horizontale est coulée, directement sur le terrain. Sur cette dernière vient s'ajuster une voûte verticale de 30 m d'épaisseur en béton fortement armé et formant ainsi un mur de soutènement à voûtes multiples (fig. 11). Le coffrage des contreforts et des voûtes verticales a été réalisé à l'aide de grues mobiles, de préférence de nuit, pour ne pas interférer avec le trafic aérien, le pompage du béton n'ayant pas été approuvé par l'auteur du projet.

Piles

Les piles, au nombre de 14, qui soutiennent la plate-forme de la tête 24, sont disposées selon une trame de 32 × 32 m.

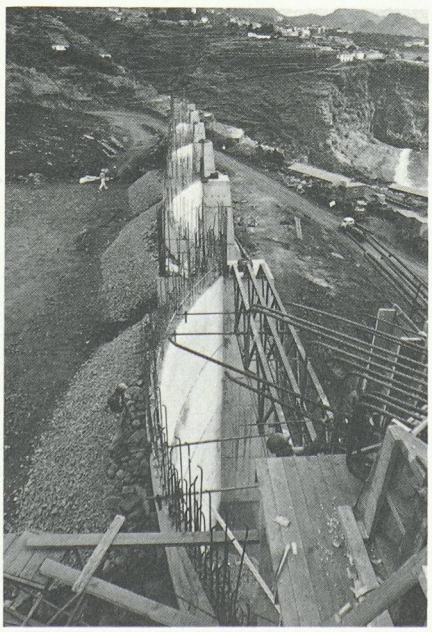

Fig. 11. — Le mur de soutènement — «Mur des géants».

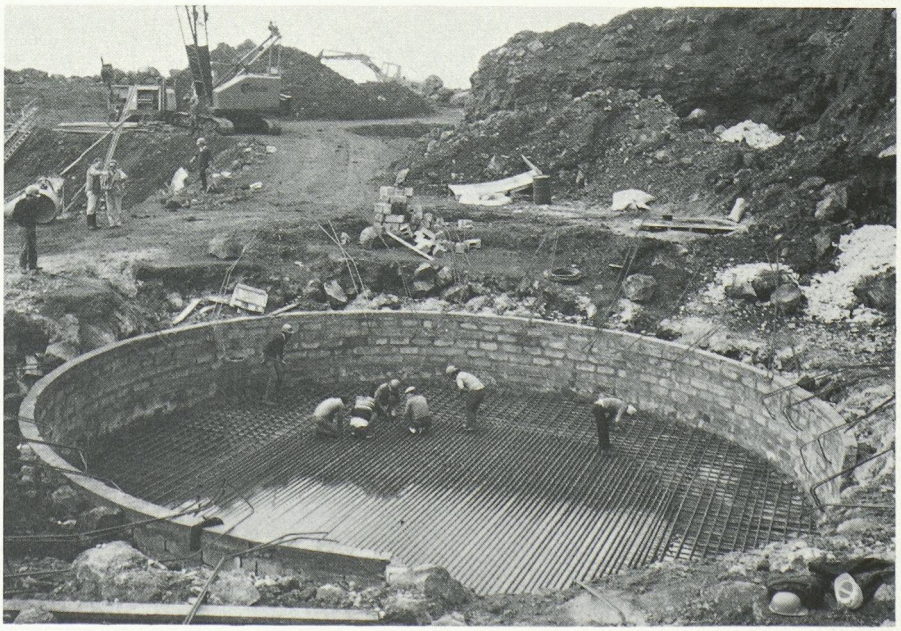

Fig. 12. — Fondation d'une pile en mer.

Fig. 13. — Extension de la piste à l'extrémité 24 : vue générale du chantier. On distingue (de gauche à droite) les piles fondées en mer, le tracé futur de la route d'accès à l'aérogare, la réalisation des sommiers à l'aide de poutres en treillis, le mur de soutènement et l'aérogare avec l'aire de stationnement. Cette vue met également en évidence les contraintes imposées par le maintien du trafic aérien.

Pour atteindre la roche en place, certaines fondations ont requis de profondes excavations dans le talus côtier, d'autres, des travaux maritimes jusqu'à 6 m sous le niveau de la mer (fig. 12). L'assise des piles est de forme conique avec une base de 12 m de diamètre. Les piles ont des hauteurs variables allant jusqu'à 55 m. Le diamètre du fût de la pile est de 4 m dans sa partie basse et 3 m dans sa partie supérieure.

La mise en place des bétons des piles s'est effectuée à l'aide de grosses grues mobiles avec l'utilisation de coffrages métalliques grimpants de 3 m de haut.

Sommiers

Les cinq sommiers, de différentes longueurs (de 40 à 140 m), s'appuient d'une part sur le mur de soutènement et s'encastrent d'autre part dans les têtes des piles pour former un système de cadre rigide. La section des sommiers varie de 12 m² à la clé à 18 m² sur les piles.

La réalisation des cinq sommiers est exécutée en 15 étapes de bétonnage et de mise en précontrainte. Le bétonnage d'une étape, environ 500 m³, s'effectue, pour des raisons impératives dues au trafic aérien, à l'aide de pompes à béton type Putzmeister BRA 2100 H avec adjonction d'un fluidifiant (Melment).

L'étayage des sommiers est assuré par deux systèmes distincts :

a) *Echafaudage avec poutres en treillis*

Ce système est utilisé pour des échafaudages ne dépassant pas 30 m. Pour cette méthode, une tour type «Acrow» est montée à chaque tiers de portée. Ces tours servent d'appuis aux éléments composés de 11 poutres en treillis dont la forme correspond à la face inférieure bombée du sommier en béton. Des corbeaux bétonnés aux sommets des piles servent également d'appuis aux poutres en treillis. La portée des poutres de l'échafaudage est ainsi réduite à une dizaine de mètres, permettant des charges de 40 à 50 t/m². Ces éléments de poutres en treillis sont montés en atelier et déjà munis du coffrage inférieur du sommier. D'un poids total de 35 t, ces éléments sont transportés sur remorques jusqu'à leurs lieux de montage où une

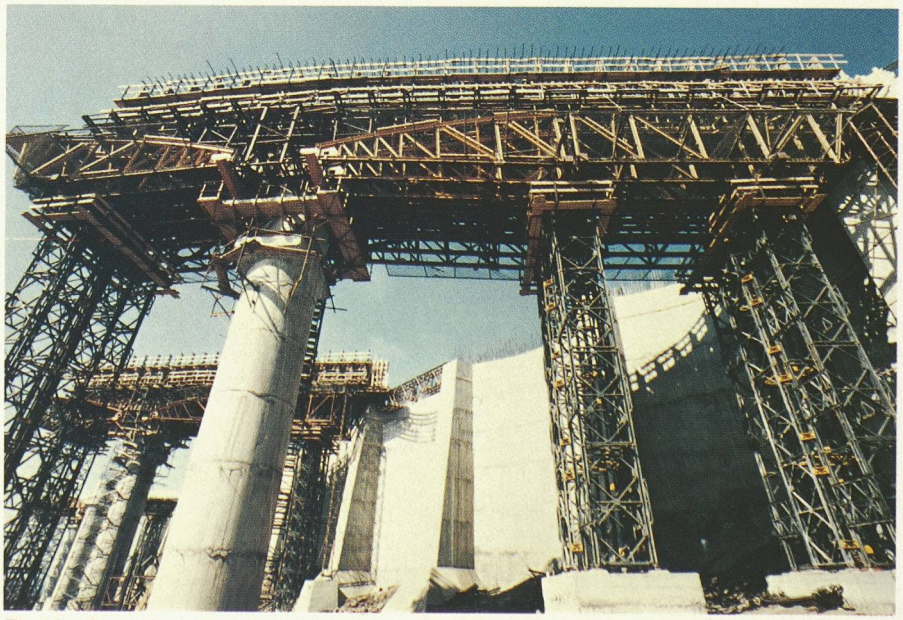

Fig. 14. — Le système d'échafaudage utilisé pour la réalisation des sommiers sur les piles ne dépassant pas 30 m.

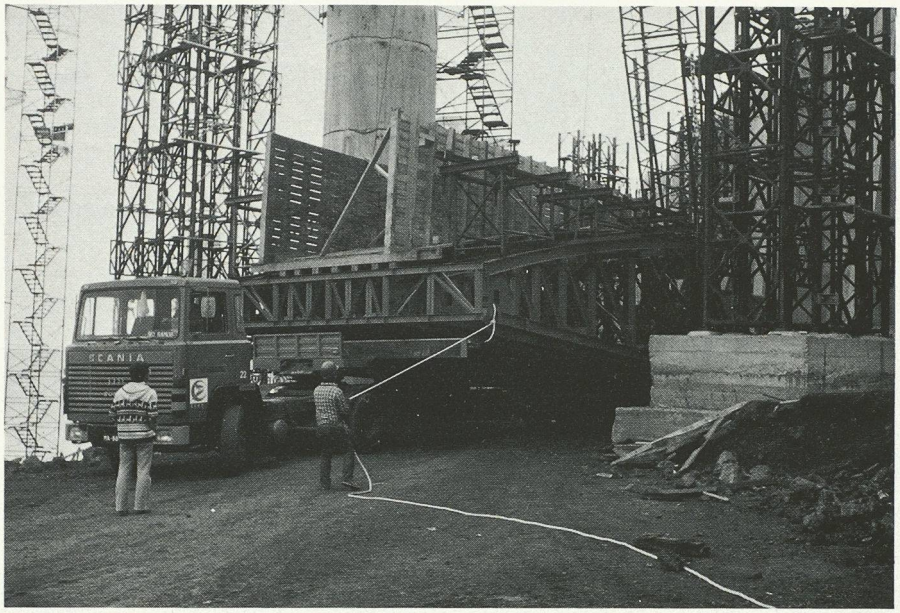

Fig. 15. — Un élément de poutre en treillis de 35 tonnes de l'échafaudage, muni du coffrage, quitte l'atelier.

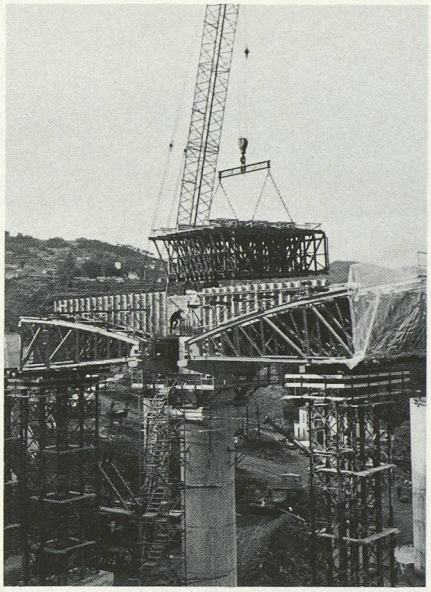

Fig. 16. — Mise en place de l'élément d'échafaudage à l'aide d'une grue pendant une pause du trafic.

grue puissante (Manitowoc 3900 T), les place dans leur position exacte (fig. 14 à 16). Ensuite sont fixées les joues du coffrage d'une hauteur de 4 à 6 m, puis les câbles de précontrainte et les fers d'armature. Le bétonnage s'effectue par pompes. Une semaine après la mise en tension de la première étape de précontrainte, le sommier est décoffré. Les tours « Acrow » sont démontées et les éléments de poutres en treillis sont abaissés à l'aide de treuils. Ce système est appliqué à 8 étapes sur les 15 que compte le bétonnage des sommiers et pour la réalisation desquelles 3 jeux de coffrages sont à disposition.

b) *Poutre de lancement*

Pour l'exécution des 7 dernières étapes, là où les hauteurs sous les sommiers deviennent très importantes, on utilise un coffrage sur poutre de lancement. Il s'agit d'une poutre-coffrage métallique autoportante, de 38 m de long, ayant la forme d'un caisson dont les dimensions sont de 4,80 m de haut, 3 m de largeur et 24 m de portée. La poutre de lancement se déplace d'une étape de bétonnage à l'autre par un système de vérins hydrauliques et s'appuie sur la pile par l'intermédiaire des corbeaux en béton. La poutre est dotée d'un bec de lancement à l'avant comme à l'arrière afin d'assurer plus de stabilité lors des opérations d'avancement. Le montage de la poutre de lancement d'un poids total de 300 t s'effectue en éléments à l'aide d'une grue Manitowoc 3900 T.

Fig. 18. — L'aérogare et l'aire de stationnement en cours d'extension.

Fig. 17. — La plate-forme triangulaire en cours de finition et avant la fin du remblayage. On voit encore le mur de soutènement avec ses voûtes verticales.

Plate-forme

Cette plate-forme de forme triangulaire s'appuie d'une part par son grand côté sur le mur de soutènement et d'autre part sur les 5 sommiers décrits ci-dessus (fig. 17). Les éléments de la plate-forme sont bétonnés et précontraints transversale-

Pas d'interruption du trafic aérien pendant les travaux: approche vers le seuil de piste 24 (en haut) et vers le seuil 06 (en bas).
(Photographies de cet article: Zschokke, département photo.)

ment par rapport aux sommiers. Leur portée est de 32 m et leur épaisseur variable de 180 cm aux naissances à 90 cm à la clé. La plate-forme est subdivisée en 9 éléments-dalle carrés et en 5 éléments-dalle triangulaires situés le long du mur de soutènement. Pour l'étape de bétonnage d'un élément-dalle carré dont les dimensions sont 30 × 30 m, ce ne sont pas moins de 1050 m³ de béton à mettre en place. Les coffrages (2 jeux) des éléments-dalle triangulaires s'appuient

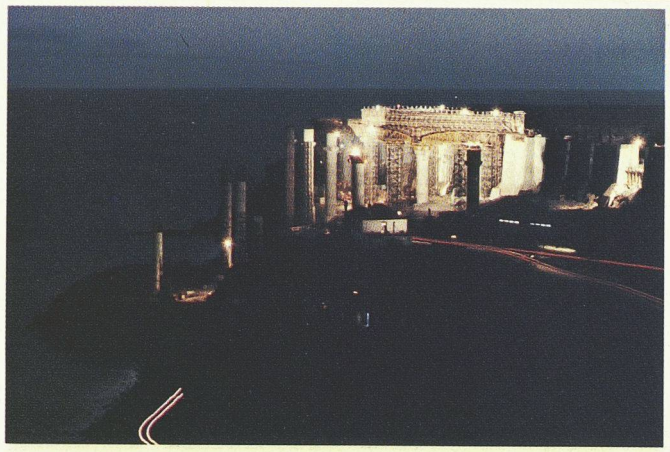

Fig. 19. – Travail de nuit.

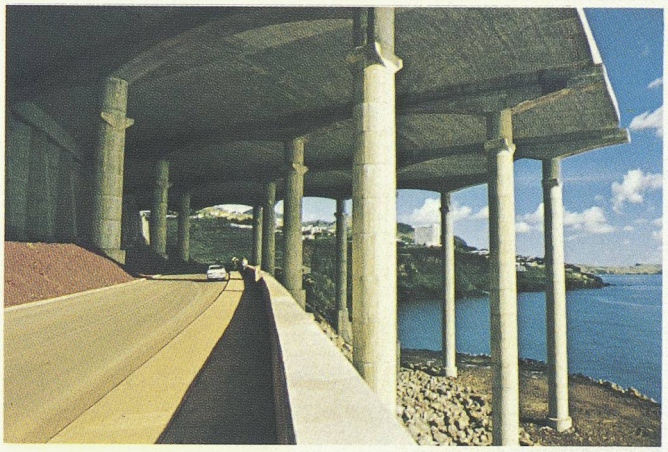

Fig. 22. – Sous la plate-forme: la route d'accès surplombe la mer.

directement sur un échafaudage constitué d'étais et de poutres en treillis. Les coffrages des éléments-dalle carrés (3 jeux) s'appuyant sur le sommier sont constitués de poutres en treillis déjà utilisées pour l'étayage des sommiers et ont une portée de 20 m. A la fin d'une étape de bétonnage, le coffrage est abaissé à l'aide de vérins hydrauliques puis déplacé en roulant sur des ailerons situés sur la partie inférieure du profil du sommier. Finalement, les brèches laissées ouvertes sont bétonnées et la mise en tension est opérée dans le sens transversal par rapport à l'axe de la piste.

Le prolongement de la piste de 150 m à la tête 24 (fig. 17 et 19 à 22) a requis:

30 000 m³ d'excavation;
54 000 m² de coffrage;
1 300 t de structure métallique pour l'échafaudage;
3 400 t de fers d'armature;
3 900 mt de précontrainte;
45 000 m³ de béton;
90 000 m³ de remblai.

Agrandissement de l'aire de stationnement pour les avions

Aux travaux de prolongation de la piste à ses deux extrémités vient s'ajouter la création d'une nouvelle plate-forme. Elle permet l'agrandissement de l'aire de stationnement des avions qui passera de 5 places aujourd'hui à 9, et la construction de nouvelles installations fixes telles que: ateliers pour la compagnie aérienne portugaise (TAP) et nouveaux dépôts pour les carburants (fig. 18). Le remblayage de cette plate-forme de 30 m de haut a nécessité la mise en place de 280 000 m³ de matériaux et se situe en prolongation de l'actuelle aérogare sur le côté S.-E. de la piste. La zone d'emprunt des matériaux nécessaires aux terrassements tant pour la prolongation de la piste que pour l'aire de stationnement, est située sur le côté N.-W. de la piste. Les terrains ainsi gagnés pourraient, cas échéant, être utilisés pour une nouvelle extension. Celle-ci ne pourrait se faire qu'en déplaçant légèrement l'axe de la piste et en la prolongeant au moyen d'un pont sur la mer de 125 m de large et de 600 m de long. L'aéroport pourrait alors accueillir les gros porteurs et l'île remplir pleinement sa vocation touristique.

Fig. 20. – Le chantier de la piste 24 photographié le 9 juillet 1984.

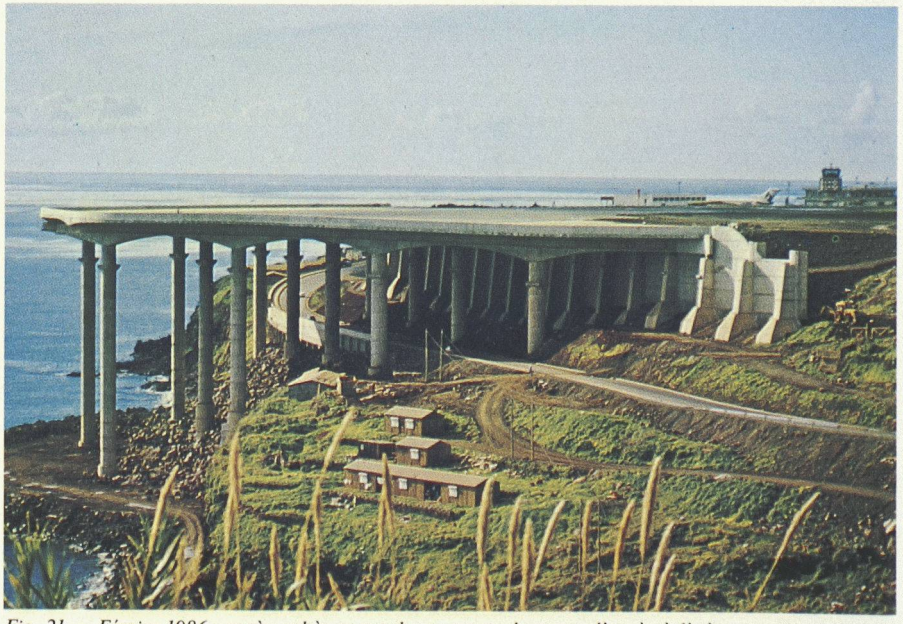

Fig. 21. – Février 1986: après achèvement des travaux, la route d'accès à l'aérogare passe sous la plate-forme.

Adresse de l'auteur:
Claude Frey
SA Conrad Zschokke
Rue du Trente-et-Un-Décembre 42
1207 Genève