

L'ossature en béton du cône.
Les caractéristiques de l'édifice se rapprochent davantage d'un ouvrage d'art

L'INGÉNIEUR & L'ARCHITECTE : DUO GAGNANT

DANS CETTE AVENTURE
TECHNIQUE
- CAR C'EN EST UNE -,
L'ARCHITECTE S'EST APPUYÉ
SUR L'INGÉNIEUR.
MAGINER LES VOLUMES,
C'EST ÉVIDEMMENT SON MÉTIER.
MAIS RÉSISTERONT-ILS AU VENT,
AU SÉISME, À LA ROCHE ?
AUTANT DE QUESTIONS
QU'ILS ONT RÉSOLU ENSEMBLE,
AU TERME DE RENCONTRES
FRÉQUENTES, SE SOUVIENT
RENÉ COSTES, GÉRANT D'ITC,
BUREAU D'ÉTUDES
POUR LES STRUCTURES.

toute l'histoire du chantier est contenue dans ces nombreux dossiers, alignés derrière lui, occupant un mur entier de la salle de réunion. À côté, les photos rappellent dix ans d'efforts et de nuits blanches en l'honneur d'un "monument" hors norme. Il a fallu, bien souvent, avancer en tâtonnant, échafauder différents scénarios, passer par les laboratoires, multiplier les essais, reprendre les calculs pour suivre au plus près la pensée de l'architecte. Pour assurer à la fois la faisabilité technique et financière du projet et la sécurité de l'ouvrage.

Avec Hans Hollein, les réunions se terminaient tard dans la nuit, tous les intervenants le confirment. Mais l'enjeu était à ce prix. *"Il écoutait beaucoup avant de prendre sa décision, raconte René Costes. Nous sommes partis, en fait, des croquis. L'esprit du projet était résumé dans ses dessins. Il en faisait partout, sur des nappes de restaurant et même dans la neige,*



quand nous allions sur le chantier. C'est là qu'il a dessiné le système d'inclinaison des poteaux soutenant la verrière, se rappelle-t-il. Toute sa pensée était occupée continuellement par le projet. Il était "habité" littéralement par Vulcania. Nous avions une trame bien sûr, mais entrait également en ligne de compte une grande part d'improvisation, car nous n'avons jamais reçu de plans intermédiaires. Cette attitude compliquait notre mission mais la rendait en même temps beaucoup plus intéressante".

Qu'importe ! L'architecte s'est adapté aux contraintes de l'ingénieur, non sans défendre, à chaque fois, son point de vue. Sur un chantier, comme celui-ci, si complexe, on ne peut pas exiger une géométrie parfaite. En cours de route, il a modifié pas mal de plans, en raison surtout de la roche, un basalte fissuré, instable, mal connu dans la région. Et d'une faille profonde, d'une dizaine de mètres au moins, qui traverse le site de part en part. Comment se comporterait-elle si le terrain venait à bouger ?

Des études complémentaires ont alors été demandées à un spécialiste du CETE de Marseille, Centre d'études techniques de l'Équipement. La politique des petits pas était appliquée à tous les niveaux : *"Aller doucement certes, mais sans perdre de temps, car les délais d'études et, surtout, d'exécution ne le permettaient pas",* répète



La mise en œuvre des piliers soutenant le cône.

Ce chantier très technique a exigé beaucoup d'études avant que ne se prennent les décisions.

Aller doucement, certes, mais sans perdre de temps, car les délais d'études et, surtout, d'exécution

René Costes. Même si le moindre détail pouvait demander des mois de mise au point. L'impatience de certains devait donc être calmée de temps en temps, face aux réalités du chantier.

DES POUSSÉES ÉNORMES

Qui s'est révélé particulièrement difficile dans plusieurs domaines. Prenons le cône, coupé en deux parties désaxées, compliquant au passage encore un peu plus les choses. Tout a été modélisé et calculé par informatique pour qu'il puisse résister non seulement à un séisme, mais aussi à la violence du vent - l'équivalent d'une poussée horizontale de 200 tonnes -, en prévoyant une structure qui fléchisse, se déforme mais récupère l'effort au deuxième niveau en sous-sol.

Il a fallu prendre un béton encore plus résistant pour le cône, précontraint horizontalement et armé verticalement, avec un système de "ceroes", en quelque sorte une résille, prévus tous les trois mètres dans lesquels un câble est passé pour exercer une compression

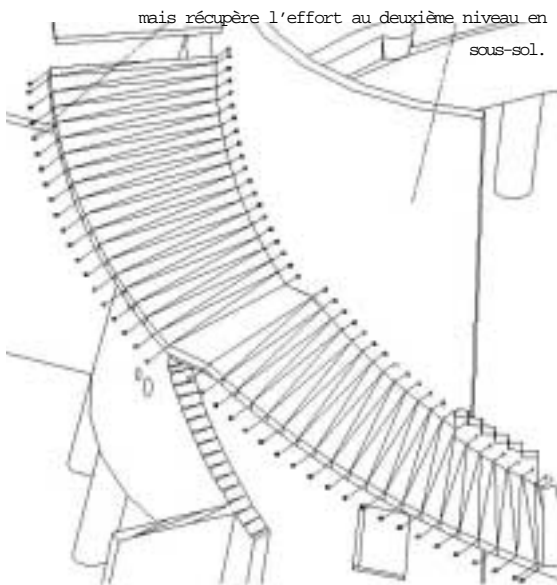
ITC

**INGENIERIE ET TECHNIQUE
DE LA CONSTRUCTION**

PARC TECHNOLOGIQUE DE LA PARDIEU
9, rue Louis Rosier - 63063 Clermont-Fd Cedex 1
Tél. 04 73 26 58 58 - Fax 04 73 27 66 16
E.mail : info@itc-be.fr

- INGENIERIE
- ETUDES TECHNIQUES
Bâtiments tertiaires
Bâtiments industriels
Ouvrages d'Art
Béton - Béton précontraint
Charpente Acier - Bois
Electricité - Câblage informatique
- DIRECTION DE TRAVAUX

Tout a été modélisé et calculé par informatique pour que le cône puisse résister non seulement à un séisme, mais aussi à la violence du vent - l'équivalent d'une poussée de 200 tonnes -, en prévoyant une structure qui fléchisse, se déforme mais récupère l'effort au deuxième niveau en sous-sol.



Les 25 000 mètres cubes de béton ont été coulés sur place, les poteaux du cône mais aussi les dalles et la plupart des ouvrages, hormis les garde-corps du cratère, les "cerces" du cône et les retombées des poutres, en raison de la complexité des formes.

parfois extrêmes dans la chaîne des puits, et vieillissent normalement. Il a fallu prendre un béton encore plus résistant pour le cône, un B 45, précontraint horizontalement et armé verticalement, avec un système de "cerces", en quelque sorte une résille, prévus tous les trois mètres, dans lesquels un câble est passé pour exercer une compression de 150 tonnes à chaque extrémité. L'ensemble étant recouvert de pierres, par un découpage assisté par CAO (Conception assistée par ordinateur).

L'ÉQUIVALENT DE 60 PONTS AUTOROUTIERS

Tout ce béton a été coulé sur place, les poteaux du cône mais aussi les dalles et la plupart des ouvrages, hormis les garde-corps du cratère, les "cerces" du cône et les retombées des

comme le sable. Grâce à ses caractéristiques, elle peut être empilée sans subir de déformation et accepter des contraintes de l'ordre de 2 bars, c'est-à-dire 20 tonnes par mètre carré.

Mais rien ne se passait comme prévu, obligeant les architectes et les entreprises à réétudier sans cesse le programme. Surtout pour les fondations. Par manque d'expérience dans un site volcanique, les ingénieurs ont revu leur copie et demandé de nombreux avis avant de retenir une solution. Au début, ils avaient prévu des injections de ciment dans la pouzzolane pour former des bulbes. Finalement, ils ont préféré une autre formule, en découvrant le fond de la fouille, et prévu des fondations superficielles, déjà pratiquées sur le plateau des Cézéaux, entre Clermont et Aubière.

Ils l'ont validé ensuite après avoir consulté un spécialiste français, connaissant bien ce type de terrain, et effectué un essai avec une charge de 50 tonnes, pour étudier les comportements de la pouzzolane. Rien n'a donc été laissé au hasard et toutes les précautions prises. Sans compter la reconnaissance systématique, menée sous tous les points d'appui de l'édifice, pour repérer les éventuelles poches de gaz, jusqu'à la coulée de basalte coincée au-dessous de la pouzzolane.

UN OUVRAGE D'ART

À lui seul, l'escalier descendant entre les demi-cônes a réclamé de nombreuses études pour mettre au point une technologie applicable par les entreprises, afin qu'il puisse être démonté pour vérifier l'étanchéité. À tous les stades, de nouvelles questions se sont posées, qui devaient être résolues, en tenant compte aussi bien des délais que des répercussions financières. La même démarche a été retenue pour le mur cyclopéen, qui descend doucement vers le cratère. Un mur gigantesque dépassant les 10 mètres et large de 5 mètres à la base.

Dans un premier temps, le béton avait été envisagé, mais il coûtait encore plus cher que l'assemblage de bombes volcaniques, prélevées sur les parois du puy de Lemptegy, juste en face de Vulcania, sélectionnées une par une par Hans Hollein, et de blocs de basalte retirés au cours des terrassements. Le tout relié par une tache inoxydable, testée en laboratoire, à un mur en terre armée, composé de pouzzolane, lui-même enveloppé dans une feuille de polyéthylène, puis recouvert de terre végétale.

Car personne ne pouvait imaginer, un seul instant, couper le cône en deux, ni la grande salle de cinéma pour le rigidifier. Pour éviter les déformations, les ingénieurs ont donc préconisé une dalle dépourvue de joint en contre bas. Sachant qu'un décalage, même minime, d'un petit centimètre, entre les extrémités du chantier - environ 80 mètres - induirait des efforts énormes, qu'il faut toujours retrouver quelque part.

On voit par là que ce chantier très technique a exigé beaucoup d'études avant que ne se prennent les décisions. Les bétons n'ont pas échappé à

la règle. En particulier, celui destiné aux parements, le B 35, celui que les visiteurs voient, un béton architectural mis au point par un spécialiste, Jean-Pierre Aury, plasticien, dans son laboratoire parisien, pour la meilleure composition (à base de basalte tiré d'une carrière près de Pontgibaud), la couleur (un noir intense parsemé de petits points rouges, pour rappeler la lave) et la consistance souhaitées par l'architecte, attentif à tous les aspects.

Béton qui a été testé longuement en laboratoire pour connaître sa résistance au gel, afin que les murs extérieurs supportent les conditions climatiques,



Cette image montre les piliers du cône et l'emplacement

poutres, en raison de la complexité des formes. Et il y en a beaucoup : 25 000 mètres cubes - ainsi que 1 500 tonnes d'acier -, soit l'équivalent de 60 ponts autoroutiers moyens, autant qu'il en a été construit sur l'A 75, entre Clermont et Bourges, ou encore le tiers des piles du viaduc de Millau.

Un voile de béton armé et coloré a été projeté également dans le cratère, accompagné d'un treillis et de tirants d'ancrage en vue de stabiliser la pouzzolane, déposée là, il y a des milliers d'années, à la suite d'épanchements volcaniques. Derrière l'écran de la grande salle de cinéma, 30 centimètres de pouzzolane ont été déposés, entre le mur et la roche, avec une granulométrie assez faible (entre 4 et 18 mm), capable de se comporter

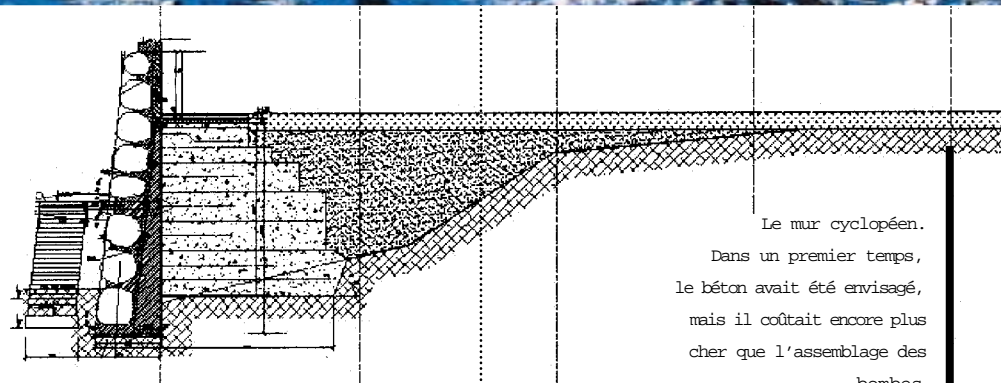


Comme ici à l'intérieur du cratère, quelques flots de basalte ont même été empaquetés et cloutés. On peut remarquer la faille

Le belvédère à l'intérieur du cratère.



Le mur cyclopéen descend doucement vers la Caldeira et marque l'entrée du site. Un mur gigantesque dépassant les 100 mètres de long



Le mur cyclopéen. Dans un premier temps, le béton avait été envisagé, mais il coûtait encore plus cher que l'assemblage des bombes volcaniques, prélevées sur les parois du puy de Lemptegy, juste en face de Vulcania, sélectionnées, une par une par Hans Hollein, et de blocs de basaltes retirés au cours des terrassements. Le tout relié par une attache inoxydable, testée en laboratoire, à un mur en terre armée, composé de pouzzolane, lui-même enveloppé

Jusqu'aux charges explosives, dont il a fallu réduire l'intensité, pour conserver quand même quelques îlots de basalte, qui serviraient ensuite pour la scénographie. Certains d'entre eux ont même été empaquetés et cloutés. Un autre, qui avait bougé sous l'action des tirs de mine, près du *Jardin volcanique*, a pu être stabilisé puis intégré aux structures. *"Nous devons préserver au maximum le site et laisser des parois de basalte intactes pour le public, glisse René Costes, en plaisantant. Mais, à chaque fois, nous devons*

vulcania, naissance d'un volcan



Le renouvellement de l'air est assuré par ces grilles, situées ici au niveau du mur cyclopéen.

recourir à des astuces pour que l'énorme machinerie fonctionne normalement".

Tout prend, ici, des proportions invraisemblables. Au-dessus de toutes les salles, par exemple, des locaux immenses, d'une hauteur moyenne de 6 mètres, abritent la technique, les ordinateurs, les différents systèmes pour simuler les tremblements de terre, les jets de fumée, les effets de lumière... Sans que le visiteur ne s'en aperçoive, comme dans un théâtre. Car Vulcania compte autant d'espaces techniques que scénographiques. *"Pour moi, ajoute René Costes, ce projet, plus qu'ailleurs, a reposé autant sur les architectes que sur les ingénieurs, sans doute, parce que les caractéristiques de l'édifice se rapprochent davantage d'un ouvrage d'art que d'un bâtiment".*



Un voile de béton armé et coloré a été projeté dans le cratère (à gauche sur la photo), accompagné d'un treillis et de tirants d'ancrage en vue de stabiliser la pouzzolane,