

TRAITEMENT ARCHITECTURAL DES TÊTES DE TUNNELS ET DE TRÉMIES OU TRANCHÉES COUVERTES : LES SOLUTIONS BÉTON

ARCHITECTURAL TREATMENT OF TUNNEL PORTALS: CONCRETE SOLUTIONS

Pierre Guillaume DEZEUZE

Architecte urbaniste

Frédéric ZIRK

Architecte urbaniste

Patrick GUIRAUD

CIMbéton

La démarche commentée dans cet article et les exemples d'études qui ont permis de la formaliser n'ont pas la prétention de s'ériger en dogme ou en théorie mais, modestement d'expliquer une des multiples approches qui ont permis, permettent ou permettront la réalisation d'ouvrages répondant aux exigences et contraintes de ce type de programme.

Un exemple nous a particulièrement intéressé : Les têtes de tunnel de Saint Germain sur la A40 élaborées par l'architecte Maurice Novarina.

Quelle démarche suivre ? Pour nous la **contrainte la plus forte est sans aucun doute celle de l'environnement**, le programme étant particulièrement simple (du moins en apparence) à savoir l'ouvrage nécessaire à établir la liaison entre le tunnel ou la tranchée couverte et l'extérieur sur le tracé routier concerné. Bien entendu, d'autres influences peuvent agir telles que des raisons d'ordre symbolique ou bien entendu toutes les contraintes techniques issues du programme et des exigences liées aux règlements de sécurité. **Mais, toutes devant être satisfaites la contrainte environnementale perdure et guide la démarche.**

Les exemples choisis ont tous été étudiés dans le respect de cette hiérarchie des contraintes et les réponses apportées ont fait la part belle à l'emploi des bétons dont les qualités de réponse aux exigences de forme, d'état de surface et de coloration sont parfaitement satisfaisantes. L'emploi d'autres matériaux en complément tel que l'acier ont permis d'obtenir des contrastes ou les matières utilisées concourent à l'équilibre d'ensemble.

The approach presented in this article and the examples of studies illustrating it are intended not as theory to be followed dogmatically but simply as a means of explaining one of the many approaches that have been used in the past, are used now, and may be used even more in future to enable architectural considerations to be applied to tunnel portals.

One example in particular attracted our interest: the portals of the Saint Germain tunnel on the A40 motorway designed by architect Maurice Novarina.

*How is a tunnel portal designed? What are the most important considerations? For us, **the strongest criterion governing the nature of the works is the environment**, for a tunnel portal is particularly simple (in appearance, at least) in that it is 'merely' the structure necessary for establishing the connection between a tunnel and the external environment of the road concerned. Of course other effects such as symbolism or all the technical necessities associated with the works and requirements linked to safety regulations may have to be taken into account, **but once these criteria have been met, the environmental aspect is predominant and guides everything.***

The studies carried out for all the examples presented here have complied with this ranking of priorities, and the solutions developed have all made the greatest use of concrete, which easily adapts to the shapes, textures, and colours required. Complementary use of other materials such as steel has achieved contrasts where all the materials used contribute to the overall balance of the works and their environment.

Les cas présentés diffèrent par leur situation dans l'espace et l'éventuelle proximité d'ouvrages d'art, montrent ainsi **des mises en scène adaptées pour l'utilisateur qui est en même temps un spectateur.**

Le tunnel d'**En Raxat** est fortement encaissé dans les déblais d'accès, celui de **Montjezieu** soumis à de grandes différences de géométrie routière et celui de **Foix** encadré par d'importants ouvrages d'art.

1. LE TUNNEL D'EN RAXAT

Ce tunnel situé sur la déviation de Collioures et Port Vendres dans le département des Pyrénées Orientales



Tête nord (coté Collioures) / Northern portal (Collioures end)

Les deux têtes nord et sud sont situées en fond de déblai pour répondre aux exigences du profil en long routier, apparaissant pour l'utilisateur comme un mur de soutènement venant clore le fond de la tranchée avec en arrière plan le profil naturel boisé.

Le parti architectural proposé a consisté à traduire de la façon la plus forte cette impression de l'utilisateur en traitant les têtes de tunnel comme des « barrages » courbes, à l'image des retenues d'eau, les percements nécessaires au passage routier et à la ventilation ayant eux un tracé linéaire.

La surface de ce mur de front était à l'origine une portion de cône de révolution à axe vertical dont le sommet se trouvait sous la terre. Le souci de simplification pour l'exécution nous a amené à remplacer cette surface par une portion de cylindre de révolution à axe incliné, permettant ainsi la préfabrication du mur de front des têtes par plaques ne présentant pas de variation de rayon de courbure. Une ossature en béton armé reçoit ces plaques ainsi que l'ensemble de la poutre formant acrotère et passage de la ventilation.

*The cases presented, which differ by their physical layout—including their proximity to bridges—make tunnel portals a **stage**, and the user a **spectator**.*

*The **En Raxat** tunnel lies at the end of a 'gorge' cut into the rock for access, **Montjezieu** tunnel has to adapt to substantial differences in road geometry, and the **Foix** tunnel lies at the ends of major bridges.*

1. EN RAXAT TUNNEL

En Raxat tunnel is on the Collioures and Port Vendres bypass on the Mediterranean coast, near the Pyrenees.

Both the northern and southern portals lie at the ends of deep, narrow 'gorges' excavated in the rock to meet the road's vertical alignment requirements; to road users they therefore resemble a retaining wall closing off the end of the cutting, with a wooded natural background above.

The architecture of the portals was designed to reflect this user impression as strongly as possible by treating them as curved 'dams' with, in counterpoise, straight-edged openings for the tunnel itself and ventilation outlets.

The surface of this wall of concrete was originally designed as a portion of a vertical cone whose vertex lies underground. Simplification for the purposes of construction resulted in this shape being replaced by a portion of cylinder on an inclined axis; this made it possible to precast the portal walls as a series of panels with no variation in radius of curvature. Underlying reinforced-concrete supports the panels and the beam forming a parapet with ventilation gaps.

L'ensemble assure la transition entre l'extérieur et le front de taille sur une profondeur suffisante pour assurer la sécurité vis-à-vis des chutes de pierre, la transition entre tunnel et structure d'entrée et le recul visuel pour éviter à l'usager un effet d'écrasement.

Les deux têtes sont traitées de façon identique, tant pour répondre à des situations similaires dans l'espace que pour simplifier la mise en œuvre et la préfabrication

The entire structure provides a long enough transition between the exterior environment and the concealed rockface to ensure safety with respect to rockfalls; it provides a transition between the tunnel and the entrance structure; and it generates a visual perspective that prevents road users suffering from the sensation of driving into a solid wall.

The two portals are identical, both to solve similar spatial situations and to simplify precasting and erection.

2. LE TUNNEL DE MONTJEZIEU

L'ouvrage se trouve sur l'autoroute A 75 entre Clermont Ferrand et Millau

2. MONTJEZIEU TUNNEL

Montjezieu Tunnel is on the A75 motorway between Clermont Ferrand and Millau, in central France.



Tête sud / Southern portal

Ce double tunnel (un tube pour chaque ensemble de deux voies unidirectionnelles) présente **deux cas de figure très différents sur ses deux extrémités** pour trois raisons principales :

- Une arrivée en alignement droit relativement horizontale au sud et en courbe, en pente au nord.
- Une entrée à altitude identique des deux têtes au sud et avec une forte dénivellation entre les deux têtes au nord.

*This twin-tube tunnel (one tube for each two-lane carriageway) has **two very different situations at its ends** for three main reasons:*

- *a roadway that is relatively horizontal and straight at the southern end and curved and on an incline at the northern end;*
- *roadways at the same altitude at the southern end and at different levels at the northern end;*

- Un paysage et une morphologie différents aux deux têtes : **au sud**, une arrivée frontale donnant sur des terrasses agricoles anciennes tramant par horizontales successives un paysage au caractère à dominante méditerranéenne, **au nord** un vallon s'ouvrant en diagonale montante formant une conque abritant les deux têtes avec une végétation plus marquée par son orientation au nord.

- different landscapes and landforms at each end: **in the south**, the road arrives at the tunnel frontally, with a view of abandoned agricultural terraces forming a series of horizontal bands in a predominantly Mediterranean landscape above; **in the north**, a gully rises obliquely from the portal, forming a niche into which the portals are inserted, with more marked vegetation because of the northern exposure.



Tête nord et détails de formes sud et nord / Northern portal and details of northern and southern shapes

Pour cet ouvrage, la contrainte dominante est donc toujours l'intégration dans l'environnement avec en plus une notion d'échelle en relation avec l'autoroute qui autorise une approche plus monumentale de l'ensemble formé par les deux doubles têtes de tunnel.

Le parti proposé a consisté à fortement différencier les deux têtes en tenant compte des différences de morphologie du terrain au nord et au sud d'une part (ainsi que des différences d'esprit), de la forte différence de géométrie du profil en travers autoroutier d'autre part.

Au sud, deux massifs symétriques raccordés par un plan incliné forment un ensemble adossé à la montagne, reprennent la géométrie horizontale des murets agricoles existants. Ils se présentent sous la forme de boîtes établissant le raccordement avec le terrain en révélant le relief, cachant la longueur du cadre situé en avant du front de taille et permettant la découpe dissymétrique des deux tubes par une forme en « corne de vache ».

Au nord, un voile courbe incliné vient s'opposer au vallon diagonal tout en s'appuyant sur le tube situé en contrebas, soulignant ainsi la différence de niveau entre les voies sortantes à l'est et les entrantes à l'ouest. La découpe du voile suit le raccordement au terrain.

Le Béton a permis de moduler les formes souhaitées, la principale difficulté étant la maîtrise des coffrages pour respecter les épures des plans d'exécution, l'homogénéité des parements et la volonté de traiter ces surfaces sans peau coffrantes ni relief particulier.

Dans ce but on a réservé sur la face sud un rythme de reliefs négatifs qui raidissent et trament les surfaces frontales. Sur la face nord, un calepinage discret des raccordements de coffrage dans le plan vertical avec un ensemble de « repères » en inox formant un réseau d'horizontales qui permettent la création d'ombres évoluant avec la variation de l'éclairement solaire.

Les traitements de ces deux têtes ont donc répondu à la ligne de conduite amorcée lors du tunnel d'En Raxat qui dans l'approche architecturale et esthétique privilégie l'harmonie de l'ensemble des têtes par rapport à l'environnement sans ignorer les autres contraintes. **Les bétons se sont parfaitement adaptés aux exigences de forme, d'épiderme et ici d'uniformité d'apparence en l'absence d'une volonté de coloration qui ne s'imposait pas dans le contexte et la démarche des architectes.**

For this tunnel, as for the others, the predominant constraint was integrating it into the environment. In addition, it had to respect the scale of the motorway which allows a more monumental approach for the adjacent portals of the twin-tube tunnel.

A strong distinction was made between the two sets of portals by taking account of, on one hand, the difference in landforms at the northern and southern ends (as well as differences in spirit) and, on the other hand, the big difference in the motorway geometry.

At the southern end, two massive symmetrical structures built into a unifying inclined plane form a bastion consolidating the hillside and reflecting the horizontal geometrical pattern of the old stone walls of the terraces above. Simple 'boxes', they unite with the terrain by allowing the relief to show through, conceal the length of the portal-frame structure leading into the rockface, and provide an opportunity to build dissymmetrical tunnel eyes in a 'cow's horn' shape.

At the northern end, one portal is a sloping curved wall standing across the oblique gully and abutting against the second tube at the downhill end, thereby highlighting the difference in level between the lanes exiting the eastern tube and those entering the western tube. The shape of the wall matches the landform.

Using concrete enabled the required shapes to be achieved. The chief difficulty lay in building formwork that matched the shapes in the construction drawings, achieved the required uniformity of surface finishes, and complied with the requirement to obtain surface finishes without formwork lining or specific relief.

The concrete face at the southern end has a regular grid pattern of negative relief which 'stiffens' and 'modularizes' the frontal planes. At the northern end, the discretely cast formwork joints are complemented by a series of protruding stainless-steel 'studs' forming a network of horizontals whose shadows move and change as the sun slides through its arc.

The treatment of both portals was thus a response to the line of thought first expressed with the En Raxat tunnel for which the architectural and aesthetic design aims at achieving overall harmony of the portals and their environment, without overlooking other constraints. **Concrete is particularly well suited for meeting requirements of shape, surface finish, and uniformity of appearance, even in the absence of colour treatment which, in this case, was not needed to meet contextual or architectural requirements.**

3. LE TUNNEL DE FOIX

Ce tunnel se trouve sur la RN 20 entre l'accès à l'autoroute de l'Ariège (ASF) et l'Andorre, dans la portion servant de contournement de la ville de Foix. Le profil autoroutier est à quatre voies avec dans un premier temps un seul tunnel bidirectionnel, ce qui a entraîné une forte différence entre les têtes nord et sud, (celle du sud comprenant les deux orifices en prévision du doublement à un horizon non déterminé à ce jour et celle du nord pour le seul orifice en service à ce jour, l'autre étant plus à l'est dans le respect du projet routier)

Le programme de ce tunnel de plus de deux kilomètres de long comprend donc **une unité d'extraction des fumées située sur la tête nord**

Le parti architectural s'est là aussi appuyé sur la différence morphologique des deux sites, la géométrie de l'approche routière et des le concours une volonté de différenciation symbolique entre l'entrée en « montagne » et un retour vers la plaine. Nous avons exprimé cette volonté par les deux expressions : première entame de la montagne et dernier barrage avant la plaine.

La tête nord a évolué pour mettre le plus à l'abri la station d'extraction, rendant les cheminées pratiquement invisibles pour l'utilisateur venant du nord tout en gardant la forme de coin « rentrant » dans le relief. La tête proprement dite est construite de façon classique, en avant de la structure précédant le tube avec ses accès internes et latéraux à la station de désenfumage à proximité immédiate des voiries de service..

Le traitement général de la tête de tunnel correspond à une forte expression de porte rentrante dans la montagne. Le calepinage général inclut un module d'expression de pierre avec bossages, rythmant l'ensemble des deux parois et une visière en béton lisse à redans successifs pour accuser le caractère de coin rentrant . . Dans ce cas précis le maître d'ouvrage a préféré un revêtement en modules de pierre plutôt qu'un travail basé sur un emploi de peaux coffrantes avec un esprit de planches.



Tête nord - détails

3. FOIX TUNNEL

The Foix tunnel is on the RN20 national highway leading to Andorra, on the section bypassing the town of Foix. Although the motorway is dual two-lane, the tunnel is single two-way in its first phase. Because of this phasing and the motorway alignment, there is a big difference between the northern and southern portals: the southern portal comprises a second eye in readiness for tunnel duplication at an as-yet undetermined date, but there is a single northern portal for the moment, the second one being planned some distance further east, on the future road alignment.

*The tunnel is more than two kilometres long, and the design called for a **fume extraction plant at the northern portal**.*

Here too, the architectural design stressed the different landforms at the two portals and the geometry of the road approaches. Right from the competition stage, the design set out to achieve symbolic differentiation between entering the mountains and returning to the plain. This differentiation was expressed by structures representing a first glimpse of a mountain summit and the last obstacle before flatter terrain.

The northern portal evolved from the original design to integrate the fume extraction station as much as possible, making the stacks practically invisible for users coming from the North, while retaining the wedge shape 'penetrating' the relief. The portal proper is built conventionally, ahead of the structure preceding the tube and integrating longitudinal and lateral ventilation ducts to the extraction station located very close to the roadway.

The general impression obtained with the tunnel portal is that of a door into the mountainside. The face resembles square embossed stonework laid out in courses on both side walls. A smooth concrete 'visor' with a stepped underside emphasizes the features of the re-entrant wedge. In this particular case, the project owner preferred the appearance of stone to the look of wooden planks that could also have been achieved with formwork lining.



Northern portal – details



Tête nord – Vue générale / Northern portal – General view

L'ensemble des joints en creux horizontaux sert de repère au dimensionnement des trois éléments formant le volume d'ensemble : les piédroits en creux, la casquette abritant l'entrée et l'acrotère couronnant le volume et cachant l'extraction.

The horizontal recessed joints serve as a guide to the scale of the three units forming the overall volume: the retreating sidewalls, the visor over the entrance, and the parapet surmounting the structure and concealing the extraction plant.

La tête sud formée dès la première phase des deux entrées et sorties futures, s'appuie sur une entaille en gradins du flanc montagneux ou les deux boîtes suivent la pente créée.

The southern portal consists of two separate entrances and exits—even if the second bore does not yet exist—and is based on a benched cutface on the mountain side and two portal 'boxes' inclined at the same slope.





Têtes sud et ouvrages d'accès / Southern portals and approach bridge

L'ensemble est coordonné avec l'entrée dans Foix, le mur de soutènement qui longe l'ancienne RN 20, sert de premier plan à l'entrée du tunnel et est traité en béton clair en harmonie avec la teinte des têtes.

L'ensemble des murs a fait l'objet de calepinages horizontaux correspondant à l'esprit du système de paroi souple employé sur l'échangeur proche.

L'adaptation à une mise en scène tenant compte de la volonté de signifier une porte pour quitter la haute vallée de l'Ariège conjugée à la prise en compte de l'environnement constitue le fil conducteur de l'étude.

The works are co-ordinated with the road leading into Foix. The retaining wall along the former RN20 highway serves as a supporting rampart for the tunnel entrance and is built using light-coloured concrete consistent with the colour of the portals.

All the walls use horizontal markings matching the spirit of the wall system used for the nearby interchange.

The guiding principle in the design was creation of a 'stage set' representing a 'door' out of the Upper Ariège Valley and taking full account of environmental considerations.

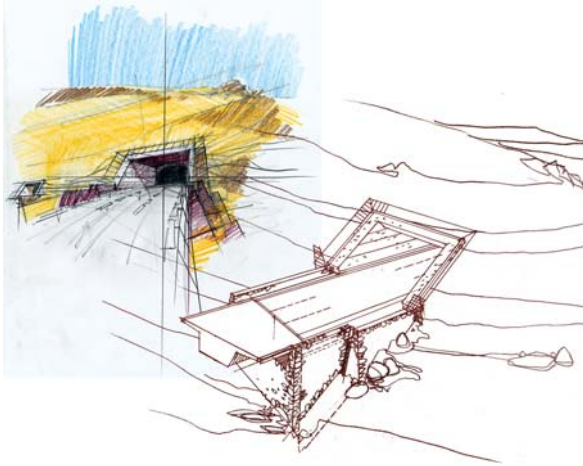
4. AUTRES TUNNELS EN PROJET

D'autres études en cours dans des sites différents suivent la même démarche ou la volonté de traduire l'équilibre entre l'environnement et l'objet architectural prend des formes différentes suivant la nature et la force des contraintes

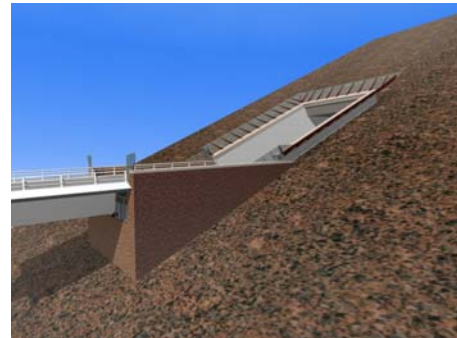
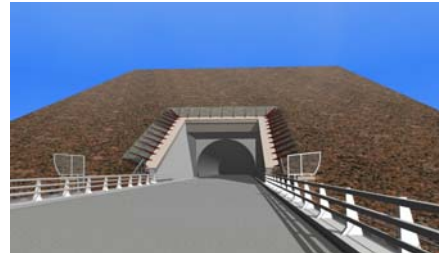
4. OTHER PROPOSED TUNNELS

More studies are currently under way for different tunnel sites, implementing the same approach in which the desire to strike a balance between the environment and the architectural object produces different shapes consistent with the type and importance of the constraints involved.

Tunnels du Cap la Houssaye sur la route des Tamarins dans l'île de la Réunion



Cap la Houssaye tunnels on the 'Route des Tamarins' road on Reunion Island



Tunnel de Saint Bât sur le contournement de Saint Beat dans le Département de la Haute Garonne

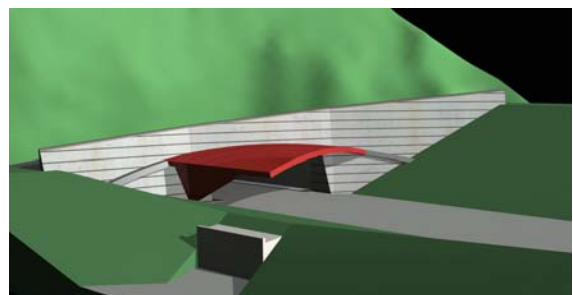
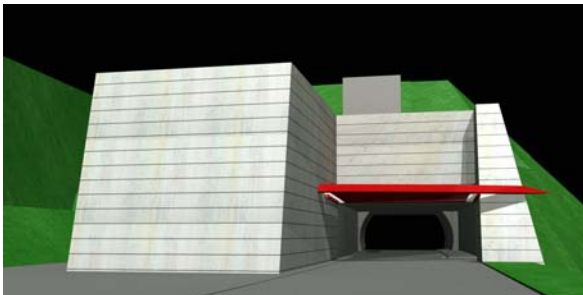
Tunnel long entraînant la nécessité d'une **unité d'extraction en tête nord** dans un paysage en partie industriel en fort contraste avec son arrière plan de montagne et la trouée de la Garonne.

La tête sud au contraire est inscrite dans une ouverture de la vallée avec un fort recul perspectif pour l'utilisateur.

Saint Bât Tunnel on the Saint Bât bypass in the Pyrenees

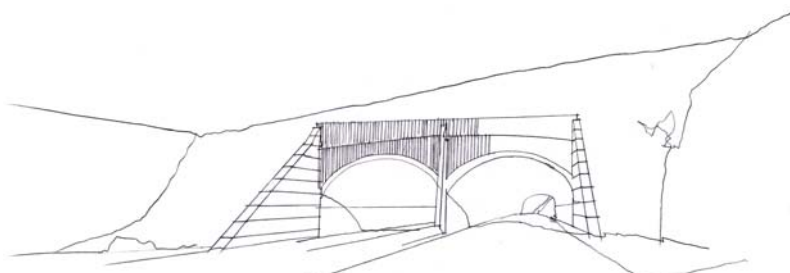
The long tunnel requires an **extraction plant at the northern portal** which lies in a partly industrial environment contrasting strongly with the backdrop of the mountains and the vista of the Garonne Valley.

The southern portal, on the other hand, lies in a widening of the valley giving the road user a strong perspective view.



Tranchée couverte de Saint Paul sur la route des Tamarins dans l'île de la Réunion pour la Région Réunion

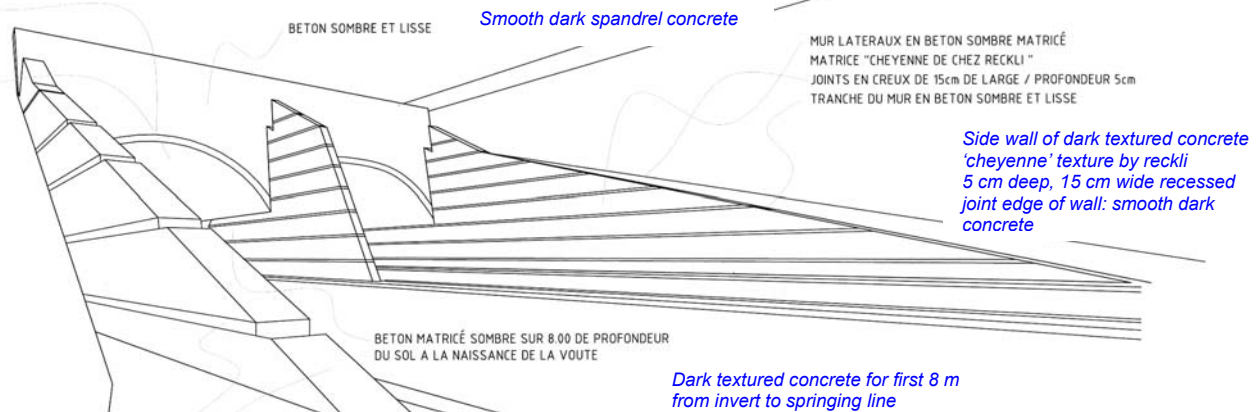
Saint Paul cut-and-cover tunnel on the 'route des Tamarins' road, Reunion Island.



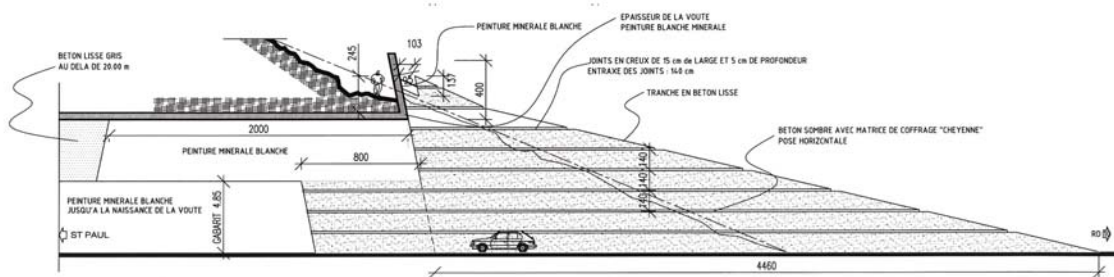
Perspective tranchée couverte tête sud / Perspective of southern tunnel portal

EPAISSEUR DE LA VOUTE EN PEINTURE MINERALE BLANCHE
JOINT EN CREUX DE 5cm ENTRE LA VOUTE ET LE BETON SOMBRE
INTERIEURE DE LA VOUTE EN PEINTURE MINERALE BLANCHE SUR 20.00 m A L'INTERIEURE

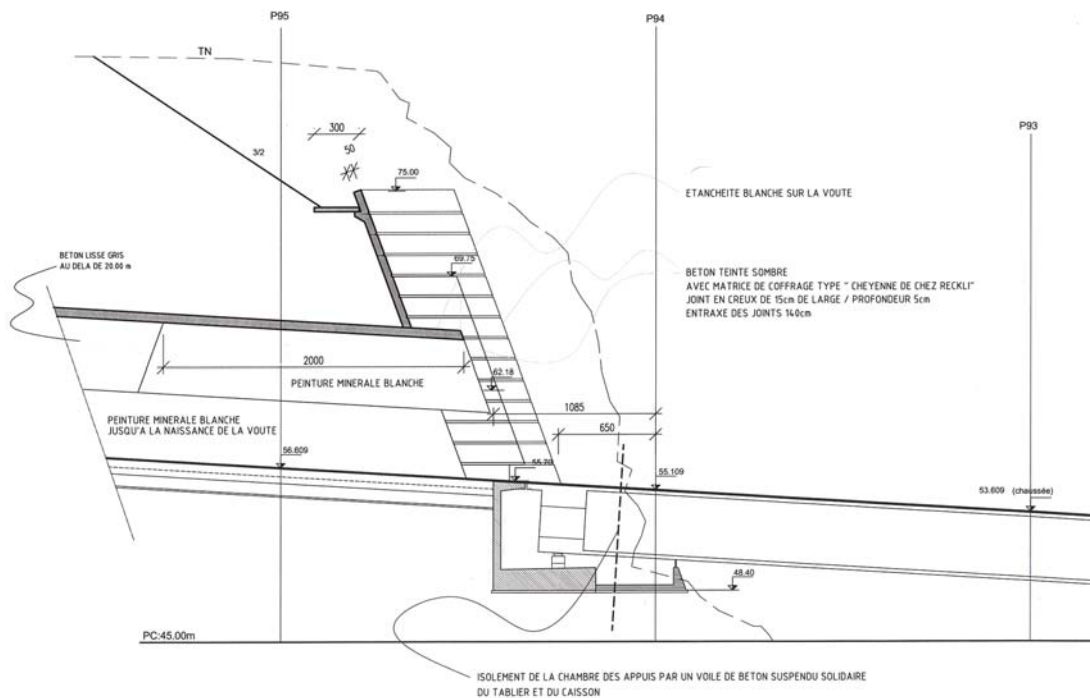
White mineral paint on thickness of tunnel roof 5cm recessed joint between roof and dark concrete spandrel; white mineral paint over the first 20 m inside the tunnel eye



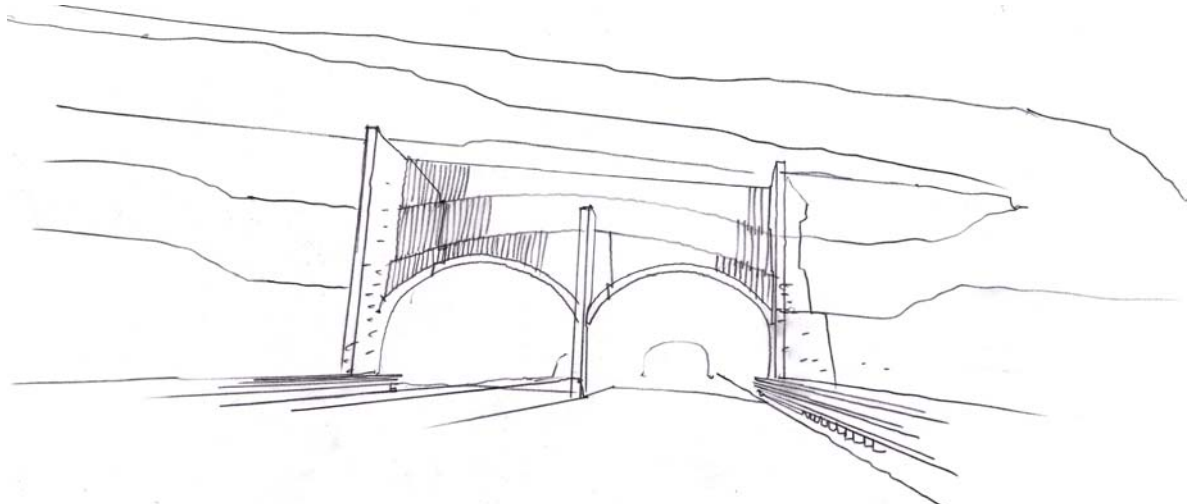
Perspective tête sud / Perspective of southern portal



Coupe longitudinale sur tête sud / Longitudinal cross-section of southern portal



Coupe longitudinale sur tête nord / Longitudinal cross-section of northern portal



Perspective tranchée couverte tête nord / Perspective of northern portal



Exemples d'essais en usine à La Réunion



Examples of factory tests on Reunion Island

5. CONCLUSION

Dans tous les cas le béton se révèle un matériau souple pour traduire l'adaptation aux formes et efforts demandés dans les zones de raccordement des tubes, de l'installation des centrales d'aspiration contiguës et de configuration de terrain parfois difficiles. La préfabrication de modules de revêtement ou l'emploi de procédés de murs alliés à des éléments secondaires illustre la possibilité de mixité de matériaux et là encore la souplesse d'emploi des bétons, facilitant la tâche de l'architecte.

5. CONCLUSION

In all cases concrete proves to be an adaptable material capable of taking on the shapes and forces involved in the areas where tunnels connect to the surrounding ground, where exhaust plants have to be installed, and where the terrain may be difficult. Precasting of facing elements, whether or not combined with cast-in-situ walls, illustrates the possibilities available for combining different materials and making the most of the ease of use of concrete, thereby facilitating the work of the architect.