

A51- UN VIADUC COMPLEXE ET TRANSPARENT POUR FRANCHIR LA BRÈCHE DU FANJARET (1000 M) À MONESTIER-DE-CLERMONT

A51 HIGHWAY – A COMPLICATED SLIM VIADUCT OVER THE 1000 M WIDE FANJARET VALLEY AT MONESTIER-DE- CLERMONT - FRANCE

Jacques MARTIN

SCETAURROUTE / EGIS

Marc GUILLOUD

AREA

PRÉFACE

La section COYNELLE/COL DU FAU constitue le deuxième tronçon de la liaison autoroutière GRENOBLE/COL DU FAU, maillon de l'itinéraire A 51 GRENOBLE/SISTERON. Elle fait suite au premier tronçon GRENOBLE/COYNELLE mis en service en juillet 1999 et sera normalement ouverte à la circulation au printemps 2007. Elle achèvera la section autoroutière de 26 km concédée à la société Les Autoroutes Rhône-Alpes (AREA).

Cette nouvelle réalisation d'A51 s'inscrit dans le savoir faire acquis depuis plus de trente ans, principalement pour relier les grandes agglomérations Rhône-Alpines, qui participera, au-delà de la technique, à l'essor économique, environnemental et sociétal des Alpes du Nord.

Les hypothèses de conception retenues pour ce tronçon s'appuient tant sur la réussite d'intégration paysagère et architecturale reconnue pour les 16 premiers kilomètres en exploitation que sur toutes les techniques adaptées aux réelles conditions du site de cette opération, que nous avons mené en participation avec notre Maître d'œuvre SCETAURROUTE.

Le viaduc de Monestier de Clermont dont la genèse de la conception va être présentée dans les chapitres qui suivent en est un exemple concret.

Marc GUILLOUD
Directeur de la Construction AREA

PREFACE

COYNELLE/COL DU FAU is the second section of the GRENOBLE/COL DU FAU route, which is part of the highway A 51 GRENOBLE/SISTERON. This section follows the first GRENOBLE/COYNELLE section opened in July 1999, and will be opened in spring 2007. The future section will be the last part of the 26 km highway owned by the Rhône-Alpes Highway (AREA) concession company.

This new A51 section has been executed with the know-how develop during 30 years in order to connect the main city of Rhône-Alpes region. This highway will be a technical achievement, but will also participate to the economic, environmental and social development of the northern Alps.

The design criteria considered for this section were based on the successful environmental and architectural integration of the first 16 km in operation, and also on all the civil engineering techniques necessary for the site conditions. This operation has been design and executed together with our Engineer : SCETAURROUTE.

In the following chapters, the Monestier de Clermont viaduct will illustrate these design criteria.

Marc GUILLOUD
AREA Construction Department Manager

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'OPÉRATION A51

La section Coynelle- Col du Fau, a son origine à Coynelle(commune de St Martin de la Cluze) au droit de l'extrémité provisoire de la section en service débouchant sur le carrefour giratoire avec la RN 75, à l'altitude d'environ 640 m NGF, et son extrémité au Col du Fau à l'altitude d'environ 900 m NGF où elle se raccordera par un nouveau carrefour giratoire provisoire également sur la RN 75. La sortie provisoire de Coynelle sera supprimée, un demi-diffuseur sera créé sur le plateau d'Avignonet - Sinard, orienté vers Grenoble.

La section peut se décomposer de la manière suivante :

- Longueur 10.5 km : 6 km de plateforme à 2x2 voies, 2.5 km de plateforme réduite à 2x1 voie (notamment au droit du tunnel et du viaduc), et 2 km à 2x1 voie plus 1 voie spéciale poids lourd dans la rampe après le viaduc en direction du Sud.
- 6 communes traversées : St Martin de la Cluze, Avignonet, Sinard, Monestier de Clermont, St Paul le Monestier, Roissard.
- 3 ouvrages d'art exceptionnels

Le tunnel de Sinard (tube exploité 950 m),
Le viaduc de Monestier de Clermont (860 m),
Les murs de soutènements (46000 m2).

- 11 ouvrages d'art courants rétablissent les communications, aussi bien routières, hydrauliques que biologiques.

Le coût d'objectif de cette infrastructure est de 180 millions de €uros entièrement financé par AREA Maître d'ouvrage et concessionnaire désigné par l'état.

La complexité de l'opération A51 Nord résulte des différentes techniques de réalisation qu'il faut mettre en œuvre pour rendre possible ce projet, où toutes les contraintes liées à l'altitude, à la géologie des sols rencontrés, à la climatologie, à l'hydraulique, à l'environnement, à l'exploitation future de l'autoroute doivent être prise en compte.

Le viaduc de Monestier de Clermont qui permet de franchir la vallée du Fanjaret, ancienne auge glaciaire, s'illustre bien dans cette définition.

En effet le viaduc de Monestier de Clermont est un ouvrage évolutif, il comporte à la mise en service un seul ouvrage (le viaduc Ouest); ultérieurement, dès lors que les niveaux de trafic le nécessiteront, le second ouvrage sera construit et mis en circulation. Pour se faire il faudra achever le tube Est du tunnel de Sinard qui est situé au Nord du projet, et à moins de 50m du viaduc.

Le coût prévisionnel total de cet ouvrage est de 33 millions d'euros HT, (y compris l'ouvrage de rétablissement de la RD110)

1. GENERAL INTRODUCTION OF THE A51 PROJECT

The Coynelle - Col du Fau section starts at Coynelle (St Martin de la Cluze city) at the end of the highway in operation. The start is actually located at the national road RN 75 roundabout (altitude : 640 m). The Col du Fau new highway end will be connected with a new roundabout to the national road RN 75 (altitude : 900 m). The Coynelle junction will be eliminated, and a new interchange will be built on the Avignonet – Sinard plateau.

New A51 highway section main characteristics :

- *Length 10.5 km: 6 km of 2x2 lanes carriageway, 2.5 km of 2x1 lanes carriageway (tunnel and viaduct), 2 km with 2x1 lanes with an additional climbing lane for trucks along the slope located after the viaduct (to the south).*
- *6 cities around: St Martin de la Cluze, Avignonet, Sinard, Monestier de Clermont, St Paul le Monestier and Roissard.*
- *3 major structures*

*The Sinard tunnel (on tube in operation, length : 950 m),
The Monestier de Clermont viaduct (length : 860 m),
Retaining walls (46000 m2).*

- *11 common structures: Restoration of roads interconnections and also hydraulical and biological connections.*

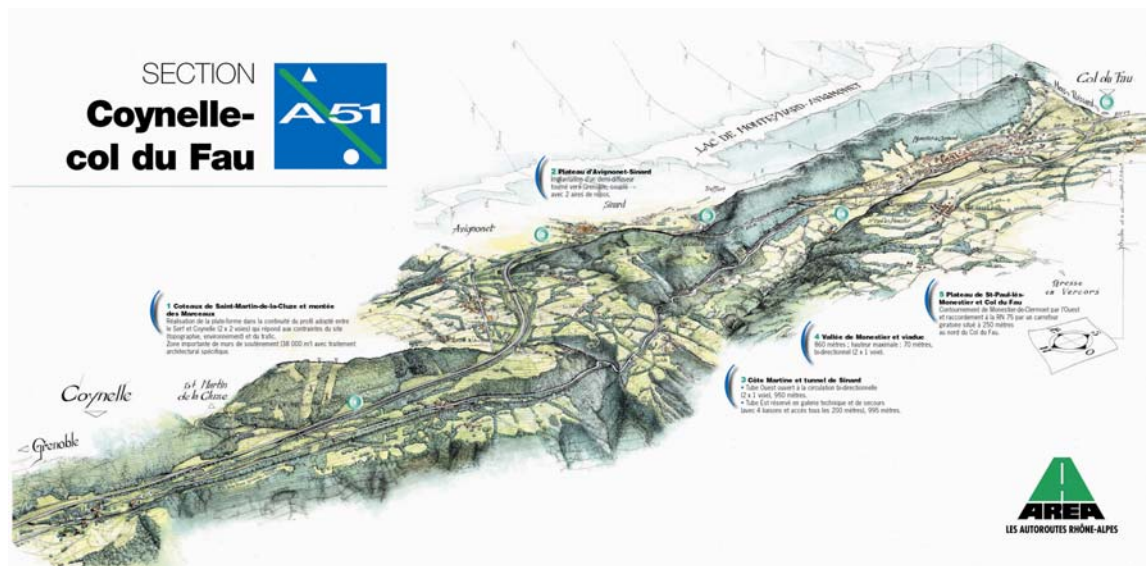
The target cost of this infrastructure is € 180 millions financed by AREA (Employer and Concession Company selected by the French State).

The complexity of the A51 project comes from the variety of civil engineering techniques necessary for the following aspects :

- *Altitude,*
- *Geology,*
- *Climate,*
- *Hydrology,*
- *Environment,*
- *And highway operation requirements.*

The Monestier-de-Clermont viaduct, located over a glacial valley, is a perfect example of these constraints. This structure will be completed by a second viaduct according to the traffic level. This second viaduct will be executed together with the second tube of Sinard Tunnel (East tube) located 50 m near the south abutment of the viaduct.

The estimated viaduct investment is around € 33 millions without taxes (including the RD 110 road overpass).



2. LA VALLÉE DU FANJARET

2.1. Rappel des contraintes du projet

Le franchissement de la vallée du Fanjaret au Nord de Monestier de Clermont dans l'Isère est une brèche d'environ 1000 m de largeur, orienté suivant un axe Nord (Grenoble) -Sud (Col du Fau).

C'est une vallée plate, pratiquement horizontale, presque symétrique et bordée par deux massifs rocheux escarpés, avec des pentes de 30 à 40 degrés. La vallée est empruntée par la Route Nationale 75, de Grenoble à Sisteron, et par la voie ferrée, de Grenoble à Veynes.

Le ruisseau du Fanjaret traverse le plateau dans sa partie Sud et 2 routes départementales empruntent les flancs de la Brèche

L'autoroute A51 se prolonge au Nord de la vallée de Monestier de Clermont par le tunnel de Sinard qui sera constitué, à terme, de deux tubes parallèles séparés d'une vingtaine de mètres. La distance est très faible entre le viaduc et la tête de tunnel et l'ouvrage doit comporter à terme deux tabliers portant chacun une chaussée autoroutière.

Un seul tablier est construit en première phase pour porter une chaussée bidirectionnelle ; le choix de la solution technique doit tenir compte du doublement futur en termes d'interaction et de faisabilité

2. THE FANJARET VALLEY

2.1. Project constraints

The Fanjaret valley (around 1000 m width) is located at the north of Monestier-de-Clermont city in the Isère region. The valley orientation is north (to Grenoble) – south (to Col du Fau).

It's a relatively flat valley, almost horizontal, nearly symmetric, located between to steeply sloping mountains. Into the valley goes the RN75 national road (from Grenoble to Sisteron), a railway track (Grenoble - Veynes line and the Fanjaret stream. Moreover two local road are located on the valley slopes.

At the north of the valley the A51 highway goes through the Sinard tunnel. This tunnel will have two parallel tubes in the final configuration of the highway. The separation between this two tubes will be around 20 m. The distance between the viaduct and the tunnel is very short.

In the final configuration of the highway the Fanjaret viaduct will be made with two separated viaducts, each of same will receive a two lane carriageway.

The first stage considers only one viaduct with a bidirectional carriageway (2x1 lane), but the technical solution must take into consideration the future viaduct.



La vallée du Fanjaret / The Fanjaret Valley

2.2. La connaissance géologique du site

La vallée de Monestier est une vallée glaciaire profonde, dont le toit du substratum n'est pas complètement reconnu et dont la partie centrale est comblée par des argiles varvées et molles d'origine glacio-lacustre, surmontées par des terrasses fluvioglaciales. Le contexte hydrogéologique est compliqué avec la présence de nappes artésiennes dans les moraines tapissant le substratum, avec comme toit les argiles varvées. Leur charge varie dans le temps et peut être très élevée, coté Sud (localement au moins 30m / T.N d'après les mesures effectuées).

Le substratum est, au Nord-Est, constitué de calcaires quartzo-argileux, du Bajocien, et, au Sud-Ouest, des calcaires marneux noirs dit « Terres Noires ». Le pendage des lits et bancs est de 60-65° vers l'Ouest. Une altération marquée de ces formations règne sur des épaisseurs importantes plurimétriques à décimétriques.

Le versant Nord-Est, comprenant la tête Sud du tunnel de Sinard et la culée Nord du viaduc, présente des signes d'instabilité (niches d'arrachement, fauchage des schistes)

Le léger pendage des couches semi-profondes et les nappes artésiennes contenues dans les horizons perméables des moraines de fond et des moraines latérales provoquent le glissement lent (de 1 à 5 mm/an d'après mesures effectuées depuis 1996) des couches supérieures sur une épaisseur de 10 à 20 m au droit du viaduc, avec des indices de glissement dans les zones qu'il franchit entre la RN75 et le Fanjaret, au pied des pentes rocheuses côté Sud.

Si la conjonction des charges hydrauliques et du glissement est démontrée, l'origine de la recharge potentielle des nappes captives n'est pas connue.

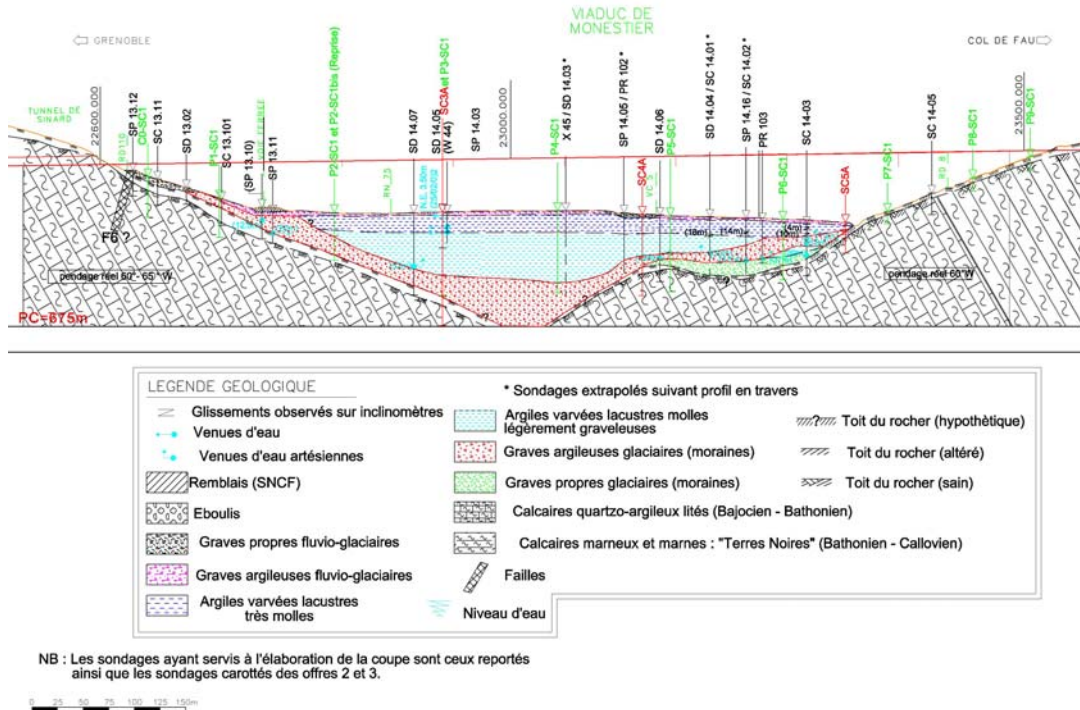
2.2. Valley geology

The Fanjaret valley is a glacial deep valley. In this valley the top substratum has not been completely located. The central part of the valley is filled with soft clay. Artesian water tables are found in the moraines (located over the substratum) covered with clay. The pressure of these Artesian water tables change according to time and can be very high, for example in the south part where the measures show at least 30 m over the ground level.

The north-east substratum part is made of limestone with quartz and clay (Bajocien). The south-west substratum part is made of limestone with marl called « Black lands ».

The north-east slope, where is located the south entrance to the Sinard tunnel and the northern abutment of the viaduct, shows highly visible signs of instability.

The small slope of the ground layers and the Artesian water tables located into the moraine of the bottom and of the side of the valley create a slow land sliding effect (1 to 5 mm / year according to measure started in 1996) of the upper ground layer. This sliding effect goes 10 to 20 m deep near the viaduct. Sliding signs are visible nearby the intersection of the viaduct with the RN 75 road, the Fanjaret stream and at the bottom of the south rocky valley slopes.



2.3. Séisme

L'ouvrage est situé dans une zone fracturée sur l'axe d'un système de failles actives de direction N40 avec comme conséquences majeures :

- une activité sismique importante, avec cinq séismes entre 1962 et 1999 dont la magnitude a été comprise entre 3,8 et 5,5
- une vallée de Monestier de Clermont creusée entre deux massifs rocheux qui s'est trouvée progressivement comblée, dans la partie centrale de la vallée, par des argiles molles sur une profondeur très importante (plus de 80 mètres au centre) et sur une largeur de l'ordre de 300 mètres.

Le site est donc soumis à des actions sismiques récurrentes avec un spectre de réponse spécifique, préalablement établi par le CETE Méditerranée agence de Nice

Les argiles correspondent au remplissage d'un lac temporaire pendant la dernière glaciation de Würm : les moraines repoussées par le glacier du Grésivaudan ont créé un barrage dans la vallée du Fanjaret, qui avait à cette époque une toute autre importance qu'aujourd'hui. La création progressive du lac a provoqué une sédimentation dont les sondages montrent la stratigraphie détaillée, avec une très épaisse couche d'argiles varvées.

Le site est alors classé réglementairement en zone sismique Ib, l'ouvrage étant de catégorie C, l'accélération nominale du séisme à retenir est 2m/s².

2.3. Earthquake

The viaduct is located in an area with fractures included into a large group of active faults (orientation N40). This location has the following major consequences :

- a high seismic activity with 5 earthquakes between 1962 and 1999 (magnitude between 3,8 and 5,5)
- the creation of the Monestier de Clermont valley between two rocky mountains, which has been progressively filled (at the centre) with soft clay (depth over 80 m at the centre – width 300 m).

Therefore the site is a seismic active zone with a specific spectrum (previously fixed by Mediterranean CETE Nice agency)

The clay came from a former lake (last glaciation : Würm). The moraines have been pushed into the Fanjaret valley by the Grésivaudan glacier creating a barrier into the valley. The geotechnical surveys show the different layers of the valley. One of them is made of a very thick clay.

The classification of the site is : seismic area Ib, structure category C, nominal seismic acceleration 2m/s². The eventual liquefaction of some clay area has to be checked.

An earthquake together with a high hydraulical pressure into the enclosed Artesian water tables could cause a sliding event :

L'absence de risque de liquéfaction des argiles est à confirmer pour les argiles varvées, à lits sableux très fins.

La conjonction d'un événement sismique avec une forte charge hydraulique dans les nappes captives reste un facteur de reprise de glissement :

- identifiés dès l'APS, ces risques de glissement avaient conduit à l'époque à repousser le tracé du franchissement vers le Sud, au delà du secteur de La Motte où des glissements actifs affectent les argiles sur des épaisseurs significatives.
- mais l'analyse morphogéologique réalisée et annexée au dossier de concours montrait que le tracé retenu en définitive traversait encore, de part et d'autre de la VC 5, des zones actives. Les mesures effectuées depuis 1996 sur les inclinomètres mis en place avaient mis en évidence un déplacement lent (14 à 16 mm en 5 ans), grossièrement perpendiculaire à l'axe du premier viaduc, qui affectait les argiles superficielles sur une épaisseur de 15 à 18 m. Dans les trois cas, l'argile était très humide ; la présence d'une nappe artésienne dans les matériaux morainiques situés dans et sous les argiles n'était apparemment pas sans lien avec les mouvements observés.

2.4. Les contraintes liées à la climatologie

2.4.1. Neige et gel

Situés à 800 m d'altitude, les ouvrages seront exposés à un gel sévère (classe 2b2 de la norme P18-305). Les chaussées et les superstructures du tablier seront soumises à des projections de sels de déverglaçage.

D'après les relevés météorologiques, le nombre moyen de jours où la température n'a pas dépassé 0°C est de 16,4 jours par an sur les trente dernières années. Le nombre moyen de jours de neige est de 24,8 jours par an sur les douze dernières années.

2.4.2. Vent

Les ouvrages doivent être justifiés sous l'effet du vent turbulent.

A partir des mesures effectuées sur le site par le CSTB d'octobre 2001 à février 2002, les caractéristiques de la turbulence retenues sont ; la vitesse moyenne du vent à 40 m au-dessus du fond de la vallée, évaluée à 24 m/s pour une période de retour de 50 ans.

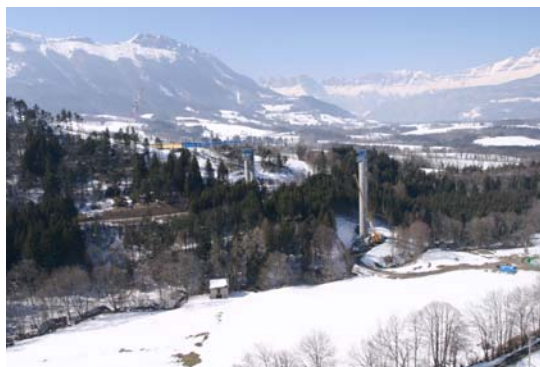
- This risk has been identified during the preliminary studies. Therefore the route has been modified to the south, far from the La Motte area where active sliding of thick layers of clay has been identified,*
- Still the geological analysis (included in the tender documents) showed that the selected route was crossing some active sliding zones (on both sides of the local road VC 5). Inclinometer measures (taken since 1996) show a slow sliding effect (14 up to 16 mm over 5 years), roughly perpendicular to the first viaduct, and involving the first 15 to 18 m of clay. The clay was always very wet. And the presence of an Artesian water table into the moraine (located into and under the clay) seemed to have some link with the sliding effect.*

2.4. Climate constraints

2.4.1. Snow and frost

Due to the altitude (800 m) all the civil works will be submitted to serious frost (category 2b2 P18-305 standard). Both the pavement and the structure will receive de-icing products, during winter maintenance operations.

According to meteorological measures the average negative temperature days is 16,4 days / year (during the last thirty years). The average days with snow is 24,8 days / year (during the last twelve years) .



Winter constraints! / Contraintes hivernales !

2.4.2. Wind

The highway has to be in operation even with stormy wind.

According to measures (made by the CSTB on the site between October 2001 and February 2002), the stormy wind characteristics are : average speed (40 m over the valley bottom) 24 m/s every 50 years.

3. PROCÉDURE DE CONSULTATION

Il s'agit d'un appel d'offres restreint, lancé après appel public à la concurrence, sous la forme d'un concours de conception-réalisation. A l'issue du concours, le contrat est passé avec le lauréat.

Chacun des concurrents ne pouvait présenter qu'une seule offre.

Le choix de cette procédure est dictée par les éléments suivants, qui imposent des contraintes techniques particulières tant en phase de conception que de réalisation et conduisent d'associer dès l'origine les réalisateurs aux concepteurs :

- l'ouvrage d'art à construire franchit à grande hauteur (40 à 70 m) la vallée du Fanjaret dans un site bénéficiant en toile de fond le Vercors. Le traitement architectural du Viaduc, les aménagements paysagers, le modelage des remblais d'accès doivent respecter les objectifs de préservation du site, assignés par l'Etat.
- la localisation en zone de sismicité Ib,
- la présence de zones d'argiles molles en forte épaisseur (plus de 80m).

3.1. Décomposition en phases et en lots

Le marché de conception-réalisation serait passé obligatoirement avec un groupement conjoint, dont le mandataire est solidaire de l'ensemble de ses cotraitants :

- lot principal : Pilotage et Coordination, études des méthodes, réalisation et assurance de la réalisation, assurance de la qualité de tous les travaux non compris dans les autres lots et mandataire du groupement
- lot accessoire n°1 (facultatif) : Charpente métallique (études des méthodes, réalisation, assurance de la qualité)
- lot accessoire n° 2 : Fondations (études des méthodes, réalisation, assurance de la qualité)
- lot accessoire n° 3 : Etudes architecturales et paysagères
- lot accessoire n° 4 : Etudes techniques

En outre, le cadre de détail estimatif proposé aux concurrents distinguait pour chaque lot une phase de conception, et une phase de réalisation.

3. TENDER PROCEDURE

The tender procedure is a design and built public procurement closed tender. At the end of the tender process, the employer selects the most suitable proposal.

Each of the candidate were allowed to submit only one proposal.

The employer has chosen the design and built tender process regarding the technical difficulties. These difficulties has to be considered both during the conceptual phase and the execution period. The main difficulties are the following:

- *Environmental constraints :*

The viaduct cross the Fanjaret valley (with high piers : 40 to 70 m),

At the background are located the Vercors mountains,

Area protection constraints (given by the State) : viaduct architecture, environmental mitigation measures, design of filled access.

- *Seismic constraints : seismic area category Ib,*
- *Geotechnical constraints : thick layers of soft clay (thickness over 80m).*

3.1. Project phases and lots

The design & built consortium have to be jointly liable and the leader has to be severally liable with the partners. The different lots are indicated hereinafter :

- *Main lot: Management, studies of execution methods, execution project and work supervision, quality assurance for the main lot and leadership of the consortium.*
- *Secondary lot n° 1 (optional): Metallic structure (studies of execution methods, execution project and quality assurance)*
- *Secondary lot n° 2: Foundations (studies for execution methods, execution project and quality assurance)*
- *Secondary lot n° 3: Architectural and landscape design*
- *Secondary lot n° 4 : Technical design*

Moreover, two project phases were indicated in the detailed financial estimation (included in the terms of reference) for each lot : conceptual and execution.

3.2. Composition des groupements

Suivant les dispositions de l'avis d'appel public à la concurrence, les groupements devaient réunir :

- une entreprise de génie civil, mandataire de l'équipe de conception-réalisation ;
- une entreprise de charpente métallique, qui pouvait assurer les prestations du lot accessoire n°1 ;
- deux bureaux d'études spécialisé l'un en géotechnique, et l'autre dans le domaine des grands ouvrages d'art, chargés des prestations du lot accessoire n°4. Le second pouvait être intégré ou non à une entreprise de réalisation, mais il devait comprendre au moins un spécialiste environnement ;
- un architecte et un paysagiste, chargés des prestations du lot accessoire n°3.

3.3. Modalités du jugement des offres

Pour le choix du lauréat, la Personne Responsable du Marché prend l'avis d'un jury, chargé d'analyser les propositions et d'émettre un avis motivé. Le jury est assisté par un comité technique, dont le directeur du projet est le rapporteur. Il peut procéder à l'audition des concurrents de son choix.

La composition du jury et du comité technique n'est pas communiquée aux concurrents. Les séances de travail du jury ne sont pas publiques. Les procès-verbaux de ses délibérations et ses avis ne sont pas rendus publics.

Les concurrents non retenus qui ont présenté un dossier complet peuvent recevoir une indemnité variable en fonction du classement de leur offre. Le Maître d'Ouvrage, après avis du jury, décide du montant de ces indemnités.

3.4. Critères de jugement des offres

Les offres ont été jugées d'après les critères suivants, classés par ordre de priorité décroissante dans le règlement du concours :

1. Valeur technique du projet :

- Adéquation aux dispositions du programme, du C.C.T.P. et des pièces techniques générales.
- Conception et conditions de réalisation des fondations.
- Optimisation de la structure.
- Simplicité d'entretien et exploitation sous conditions hivernales.
- Respect des objectifs du programme.

3.2. Consortiums constitution

According to the terms of reference of the public procurement the necessary characteristics of the consortium were the following :

- *Leader : a civil engineering contractor,*
- *Lot 1 : a contractor specialized in metallic structure,*
- *Lot 3 : an architect together with a landscape specialist,*
- *Lot 4: two design companies. One with references in geotechnical design and the other one with references in large bridge design (could be part of a contractor but at least with one environmental expert).*

3.3. Tender evaluation rules

The proposals are evaluated by an evaluation committee. This general committee is assisted by a Technical committee chaired by the Project Manager. The technical committee can decide to interview some candidates. Then the evaluation committee gives the Employer the results of the evaluation for validation.

The committees member list is confidential, and the evaluation sessions are private. The minute of meeting are also confidential.

The candidates with a complete proposal may receive a financial compensation which amount is according to the ranking of the proposal. The Employer, advised by the evaluation committee, decides the amount of the compensations.

3.4. Tender evaluation criteria

The proposals have been evaluated according to the following criteria (classified from the most important to the less important). These criteria were indicated in the terms of reference.

1. Technical proposal evaluation :

- *Suitability with the technical terms of reference.*
- *Conceptual design and execution methods of foundations.*
- *Structure optimization.*
- *Operation and maintenance during winter periods.*
- *Suitability with the functional terms of reference.*

- | | |
|--|--|
| 2. Montant de l'offre.

3. Valeur administrative de l'offre : Respect des dispositions du Règlement du Concours, du C.C.A.P. et du C.C.C.G.

4. Qualité architecturale et insertion paysagère de l'ouvrage.

5. Planification et programmation des études et travaux.

6. Références des sous-traitants désignés.

7. Sécurité et respect de l'environnement, aussi bien en phase travaux qu'en phase exploitation de l'ouvrage. | 2. <i>Financial proposal evaluation</i>

3. <i>Administrative proposal evaluation: According to the tender rules : C.C.A.P. and C.C.C.G.</i>

4. <i>Architecture and landscape</i>

5. <i>planning of design and execution</i>

6. <i>Identified subcontractors references</i>

7. <i>Security, environmental protection (during execution and operation).</i> |
|--|--|

3.5. Calendrier de la consultation

L'avis d'appel public à la concurrence est paru en octobre 2001. La décision d'agrément des candidats par le Maître d'Ouvrage est intervenue en mars 2002. Le règlement du concours a été transmis aux cinq concurrents retenus en avril 2002, avec le dossier de concours. La date de remise des offres, a été repoussée en juin 2002. Quatre offres (sur les 5 retenues), présentées par des groupements conduits par les entreprises mandataires Campenon-Bernard, GTM, Bouygues et Eiffage, ont été finalement reçues. Le groupement conduit par l'entreprise Razel s'est excusé.

L'ouverture des plis a eu lieu à Paris, en juin 2002. Des questions complémentaires destinées à préciser le contenu des offres ont été posées aux concurrents en juillet 2002, pour une réponse en août 2002.

Le rapport du comité technique résumant l'analyse des quatre offres reçues a été adressé aux membres du jury par le Maître d'Ouvrage en décembre 2002. Au terme de cette analyse, et après avis du jury réuni en décembre 2002, les offres des groupements conduits par Campenon Bernard et par Eiffage ont été écartées.

L'examen des offres a montré que des investigations complémentaires étaient indispensables, afin d'éliminer les incertitudes que la géologie très particulière du site laissait subsister quant au respect des coûts et des délais d'exécution annoncés par les concurrents. C'est pourquoi le Maître d'Ouvrage sur proposition du comité technique, en février 2003, a invité les deux concurrents restants à définir les investigations complémentaires nécessaires pour minimiser les risques liés à l'interaction des ouvrages et du sol, tant pendant leur construction que pendant leur exploitation.

Deux marchés négociés pour la réalisation de ces investigations complémentaires ont été signés avec les groupements GTM, et Bouygues.

En outre, un questionnaire préparé par le Maître d'œuvre et présenté au comité technique a été adressé à chacun d'eux par le Maître d'Ouvrage en février 2003, qui fixait également la remise d'offres fiabilisées, après résultats des campagnes géotechniques complémentaires, à mi-juillet 2003.

3.5. Tender process calendar

- *October 2001 : Procurement notice,*
- *March 2002 : Short list (5 candidates selected),*
- *April 2002 : Edition of terms of reference,*
- *June 2002: Dead line for tender submission: (4 proposals were submitted by the following leading companies: Campenon-Bernard, GTM, Bouygues and Eiffage. Razel didn't submit any proposal).*
- *June 2002: Tender opening in Paris.*
- *July 2002 : Clarifications : (answer : august 2002).*
- *December 2002 : Evaluation committee report, with the following results :*
 - *the proposals of Eiffage and Campenon Bernard were not selected,*
 - *additional geotechnical investigations were necessary to clarify some unknown characteristics of the ground, in order to secure the financial evaluation and the execution planning. Therefore, the employer asked the two selected tenderers (in February 2003) to execute complementary investigations. Two direct contracts were signed with both selected tenderers to execute the necessary investigations.*
- *February 2003: Complementary queries (elaborated by the Employer Representative and validated by the Technical Committee) sent to the selected tenderers.*
- *Mid July 2003: deadline for submission of the modified proposals of the two selected tenderers.*
- *September 2003: selection of the winner by the Evaluation Committee (according to the Technical Committee recommendations).*

Au vu des conclusions du Comité Technique, le jury réuni en septembre 2003 a proposé à la personne responsable du marché de retenir l'offre du groupement conduit par GTM. Cette décision a été entérinée par la Commission Consultative des Marchés d' octobre 2003.

- *October 2003: validation of the winner selection by the Central Procurement Committee.*

4. LES SOLUTIONS PROPOSÉES PAR LES GROUPEMENTS / CONSORTIUM PROPOSALS

4.1. Caractéristiques générales

Groupelement	Offre n°1	Offre n°2	Offre n°3	Offre n°4
Franchissement de la RD 10	Ouvrage dissocié	Ouvrage dissocié Culée commune	Franchissement assuré par le viaduc Tronçon de rive élargi de 11,85 à 17,85m	Ouvrage dissocié Culée commune
Longueur du viaduc	846m	860m	897m	860m
Travure du viaduc	7 travées	9 travées	6 travées	8 travées
Portées du viaduc du Nord au Sud	46 + 101 + 2x127 + 260 + 123,75 + 61,25	70 + 5x110 + 100 + 80 + 60	133 + 3x193,50 + 118,50 + 65	84 + 100 + 4x120 + 104 + 92
Schéma statique	Appuis simples sur piles de rives Autres fléaux encastrés sur les piles	Appuis simples	Appuis simples sur pile de rive sud Fléaux encastrés sur deux voiles souples	Appuis simples
Dispositifs parasismiques	Tenon central sur piles, butée sur culées	Butées + amortisseurs	Tenon sur les culées	Butées
Tablier du viaduc	Tablier composite, rendu continu par précontrainte. Travées de 127m : caisson de hauteur variable. Hourdis en béton précontraint B40, âmes en tôle plissée. La travée de 260m comporte un caisson métallique à dalle orthotrope de 122m entre deux fléaux de 138m.	Tablier continu en ossature mixte. Bipoutre mixte à entretoises. Des bracons inclinés reliant le tablier aux appareils d'appui diminuent la flexion longitudinale des poutres.	Tablier composite, rendu continu par précontrainte. Travées composées d'un caisson de 83,5m en ossature mixte d'épaisseur constante entre les fléaux de hauteur variable en béton précontraint B80. Caissons mixtes d'épaisseur variable en travées de rives.	Tablier continu en ossature mixte. Bipoutre mixte à entretoises. Le tablier est sous-bandé au droit des piles par des bracons inclinés afin de diminuer la flexion longitudinale de poutres.
Méthode de construction du tablier	Fléaux coulés en place par encorbellements successifs. Hissage du caisson métallique à partir du sol.	Tronçon de 515m lancé à partir du remblai Sud. Tronçon de 345m lancé à partir d'une estacade provisoire construite dans la première travée au Nord. Bétonnage du hourdis en place, possibilité de gagner 1,5 mois en préfabriquant le hourdis sur des dalles BA.	Fléaux coulés en place par encorbellements. Caisson sud lancé depuis C7. Caisson P2P3, P3P4, P4P5 hissés. Caisson nord hissé sur P2P3, ripé sur le fléau P2 et lancé sur C1.	Tronçon de 449m lancé à partir du remblai sud. Tronçon de 317m lancé à partir du remblai nord. Tronçon intermédiaire de 65m hissé. Bétonnage du hourdis en place.

4.1. General characteristics

Consortium	Proposal n°1	Proposal n°2	Proposal n°3	Proposal n°4
Crossover the RD 110 road	Separated structure	Separated structure Same abutment	Included into the viaduct Enlargement of first span (from 11,85 to 17,85m)	Separated structure Same abutment
Viaduct length	846m	860m	897m	860m
Viaduct spans	7 spans	9 spans	6 spans	8 spans
Viaduct spans from North to south	46 + 101 + 2x127 + 260 + 123,75 + 61,25	70 + 5x110 + 100 + 80 + 60	133 + 3x193,50 + 118,50 + 65	84 + 100 + 4x120 + 104 + 92
Deck / piers connections	Side piers : simply supported Other piers : fully integrated support	Simply supported	South side pier : simply supported Fully integrated cantilevers into two walls	Simply supported
Earthquake mitigation devices	Central tenon on pier, thrust on abutment	thrusts + motion dampers	Tenon on abutment	thrusts
Viaduct deck	Mixed continuous deck (the continuity is made by prestressing). 127m spans: box girder (varying height). Concrete prestressed top slab (concrete: B40) and steel web. 260m span : metallic box girder (122m) between two cantilevered beams (total length 138m).	Mixed continuous deck Two mixed beams with transverse girder. Intermediates supports: separating the deck from the upper part of the piers, and therefore increasing slimness and transparency of the whole structure.	Mixed continuous deck (the continuity is made by prestressing). Intermediate spans : mixed box girder (length 83,5m) (constant thickness) between prestressed concrete (B80) cantilever beams (varying height) Extremity spans : mixed box girder (varying height)	Mixed continuous deck Two mixed beams with transverse girder. Piers with intermediates supports (in order to reduce beam's length)
Deck construction method	Cast in place cantilever beam Execution of the metallic box girder on the ground and then the girder is pulled up to the deck level	Section of 515 m long initiated from the south abutment. Section of 345m long initiated from a temporary deck built on the first north span Cast in place top slab	Cast in place cantilever beam South box girder initiated from C7. Box girder P2P3, P3P4, P4P5 pulled up. North box girder pulled up on P2P3, translated over cantilever P2 and translated up to C1.	Section of 449m long initiated from south abutment Section of 317m long initiated from north abutment. Intermediate section 65 m long pulled up. Cast in place top slab.

4.2. Caractéristiques des fondations

Groupelement	Offre n°1	Offre n°2	Offre n°3	Offre n°4
Versant Est	C ₀ : 2 pieux Ø 1800 de 20m à travers un massif en terre armée. P ₁ : 4 pieux Ø 1800 de 10m forés à la boue	C ₀ : 2 puits marocains Ø 4m et de 6m de profondeur. P ₁ : 2 puits marocains Ø 4m de 12,7m.	C ₁ : semelle superficielle	C ₀ : 1 puits marocain Ø 6m de 10m de profondeur
Rive Est de l'auge	P ₂ : 8 pieux Ø 1800 de 37,5m forés à la boue	P ₂ : 6 pieux Ø 1500 de 28m forés sous tubage provisoire	P ₂ : 8 pieux forés Ø 2000 de 26m	P ₁ : 24 minipieux Ø 400 de 25,5m armés d'un tube d'acier N80, forés au marteau fond de trou.
Argile en forte épaisseur mais faible risque de glissement	P ₃ : 8 pieux Ø 1800 de 66m forés dans l'argile et prolongés par 3 minipieux Ø 350 armés d'un tube d'acier N80, forés au marteau fond de trou dans les moraines et le rocher. P ₄ : 10 pieux Ø 1800 de 72m prolongés par 3 minipieux de 40m.	P ₃ et P ₄ : paroi moulée Ø 20m de 24,5m connectée sur la semelle. La pile se poursuit sur 8m sous le TN pour décharger le sol d'appui. 61 inclusions HEA 300 de 25m battues pour limiter le gonflement de l'argile, puis ses tassements.	P ₃ et P ₄ : 60 pieux PH 400/176 de 73,5 et 57m battus dans l'argile et les moraines. Charges ELS par pieu : 294t (acier HISTAR 460)	P ₂ , P ₃ et P ₄ : 40 pieux PH 400/213 de 58, 78 et 77m battus dans l'argile avec une inclinaison de 7 à 10°. Charges ELS par pieu : 235t (acier E24)
Zone de glissement avéré		P ₅ : 12 pieux Ø 1420 de 46m forés sous tube perdu. Une enceinte en paroi moulée Ø 15,3m isole la fondation de la masse de sol en mouvement sur une épaisseur de 18m. 4 puits de décharge de 50m rabattent partiellement les sous-pressions pendant les travaux.		P ₅ : 24 minipieux Ø 400 de 36m armés d'un tube d'acier N80, forés au marteau fond de trou. Une enceinte Ø 16,6m constituée d'anneaux indépendants en béton isole le fût de pile de la masse de sol en mouvement sur 18m. 3 puits de décharge de 30 à 40m rabattent les sous-pressions pendant les travaux et l'exploitation.
Rive Ouest de l'auge	P ₅ : 12 pieux Ø 1800 de 31,5m forés à la boue.	P ₆ : 8 pieux Ø 1420 de 51m forés sous tube perdu jusqu'au rocher.	P ₅ : 8 pieux forés Ø 2000 de 11m.	P ₆ : 24 minipieux de 27m Ø 400 armés d'un tube d'acier N80, forés au marteau fond de trou. Purge superficielle des matériaux instables.
Versant Ouest	P ₆ : 1 puits Ø 6m de 9m de profondeur. C ₇ : 2 puits Ø 3m de 9m de profondeur	P ₇ et P ₈ : semelles superficielles. C ₉ : 2 puits Ø 4m de 6m de profondeur	P ₆ et C ₇ : semelles superficielles.	P ₇ et C ₈ : 2 puits marocains de section rectangulaire 1,5x6m de profondeur 7,5 et 8,7m.

4.2. Foundation characteristics

Consortium	Proposal n°1	Proposal n°2	Proposal n°3	Proposal n°4
East slope of the valley	<i>C₀: 2 piles Ø 1800 length 20m under reinforced earth. P₁: 4 piles Ø 1800 length 10m bored with mud</i>	<i>C₀: 2 Moroccan excavations Ø 4m, depth 6m. P₁: 2 Moroccan excavations Ø 4m depth 12,7m.</i>	<i>C₁: simple foundations</i>	<i>C₀: 1 Moroccan excavations Ø 6m depth 10m</i>
East side of the valley	<i>P₂: 8 piles Ø 1800 length 37,5m bored with mud</i>	<i>P₂: 6 piles Ø 1500 depth 28m bored with temporary tubes</i>	<i>P₂: 8 bored piles Ø 2000 depth 26m</i>	<i>P₁: 24 small diameter piles Ø 400 depth 25,5m reinforced with a steel tube N80, bored with hammer.</i>
Thick clay layers but with small sliding risk	<i>P₃: 8 piles Ø 1800 length 66m bored into clay and followed by 3 small diameter piles Ø 350 reinforced with a steel tube N80, bored with hammer into the rock and the moraine layers. P₄: 10 piles Ø 1800 length 72m follow by 3 small diameter piles length 40m.</i>	<i>P₃ et P₄: diaphragm structural wall Ø 20m depth 24,5m connected to the foundation. The pier goes into the ground 8 m in order to reduce the forces transferred to the ground. 61 HEA 300 length 25m driven into the ground in order to reduce clay expansion and settlements.</i>	<i>P₃ et P₄: 60 piles PH 400/176 length 73,5 or 57m driven into the clay and the moraine layers. Forces ELS per pile : 294t (steel HISTAR 460)</i>	<i>P₂, P₃ et P₄: 40 piles PH 400/213 length 58, 78 or 77m driven into the clay, with an angle from 7 to 10°. Forces ELS per pile : 235t (steel E24)</i>
Sliding area		<i>P₅: 12 piles Ø 1420 length 46m bored with tube. Concrete shell made with diaphragm structural wall Ø 15,3m in order to separate the foundation for a sliding ground layer thickness 18 m depth. 4 wells (depth 50 m) in order to reduce the water table level during work execution.</i>		<i>P₅: 24 small piles Ø 400 depth 36 m with a steel tube N80, bored with hammer. A concrete shell Ø 16,6m made with independent concrete rings separating the piers from a sliding ground layer thickness 18 m depth. 3 wells (depth 30 to 40 m) in order to reduce the water table level during work execution and operation.</i>
West side of the valley	<i>P₅: 12 piles Ø 1800 length 31,5m bored with mud.</i>	<i>P₆: 8 piles Ø 1420 length 51m bored with tube down to the rock layer.</i>	<i>P₅: 8 bored piles Ø 2000 length 11m.</i>	<i>P₆: 24 small piles Ø 400 length 27 m reinforced with a steel tube N80, bored with hammer. Substitution of the upper layer of unsettled ground.</i>
West slope of the valley	<i>P₆: 1 piles Ø 6m depth 9m. C₇: 2 piles Ø 3m depth 9m.</i>	<i>P₇ et P₈: simple foundations. C₉: 2 piles Ø 4m depth 6m.</i>	<i>P₆ et C₇: simple foundations.</i>	<i>P₇ et C₈: 2 Moroccan excavations rectangular section 1,5 x 6m depth between 7,5 and 8,7m.</i>

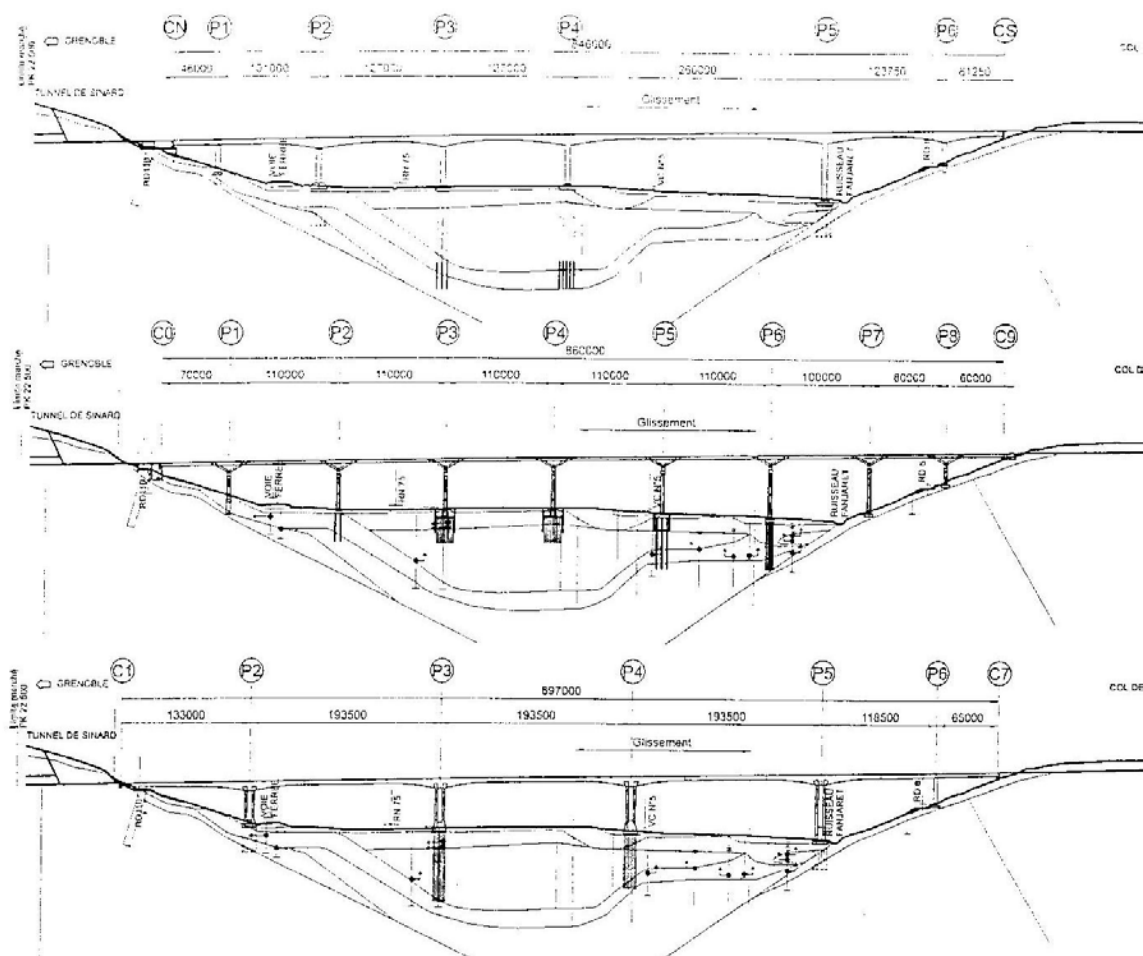
4.3. Caractéristiques techniques des appuis

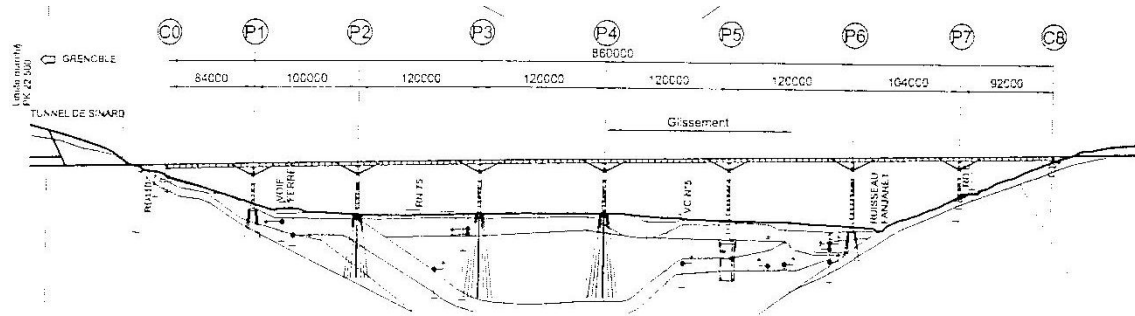
Groupelement	Offre n°1	Offre n°2	Offre n°3	Offre n°4
Piles	Fût unique en caisson de section carrée, en béton armé B35 et B40 pour les piles P ₄ et P ₅ qui encadrent la grande travée.	2 fûts creux reliés en tête par une traverse. Sur les piles hautes les fûts sont réunis à la base en eu seul fût oblong de 10m. Béton B35	P ₂ à P ₅ : piles dédoublées à 2 voiles courbes en BA. P ₆ : fût unique creux de section ovale. Béton B80	Fût en caisson de section rectangulaire variable, surmonté par 2 « cornes » pleines supportant les appareils d'appui.

4.3. Technical characteristics of supports

Consortium	Proposal n°1	Proposal n°2	Proposal n°3	Proposal n°4
Piers	One square shaft, reinforced concrete B35 and B40 for P ₄ and P ₅ piers (on both sides of the longest span)	2 hollow shafts connected at the top with a concrete beam. The highest piers start with only one big oblong shaft of 10m. Concrete B35	P ₂ to P ₅ : 2 separated reinforced concrete walls. P ₆ : single hollow oval shaft Concrete B80	Box girder rectangular shaft (varying cross section).

4.4. Elévations / Elevations





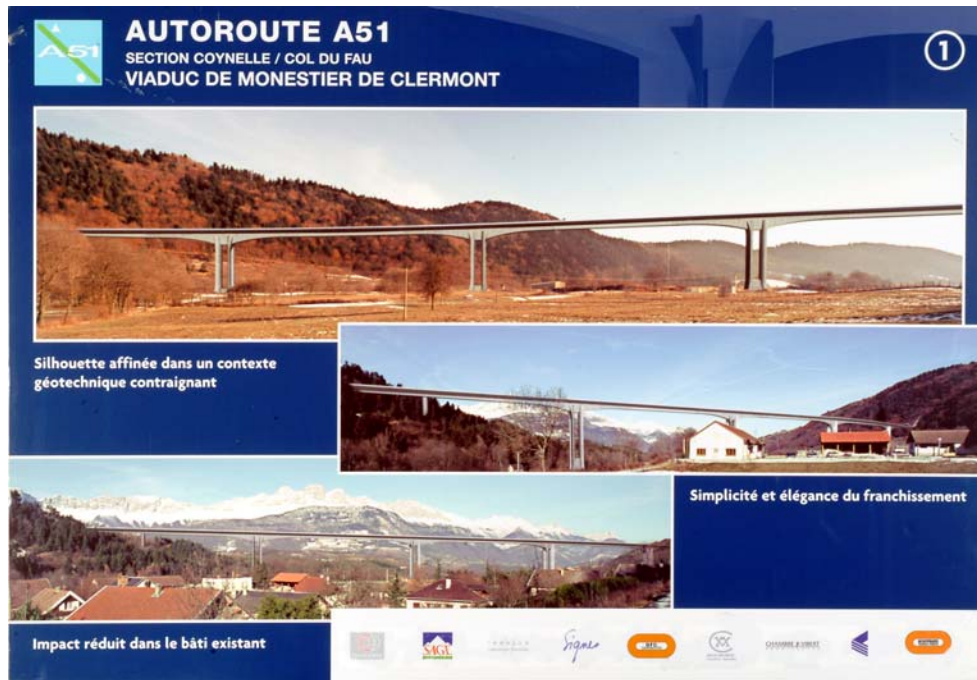
4.5. Photomontages / Digital Photos



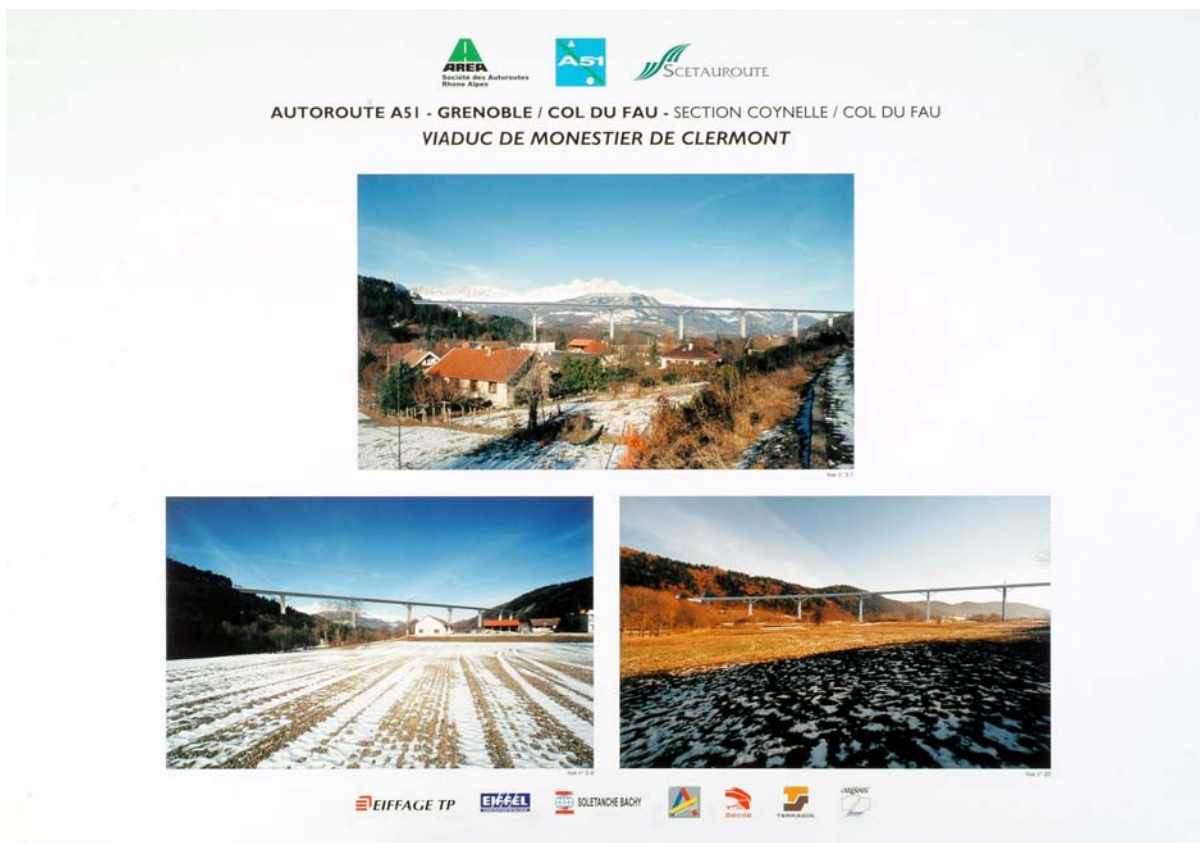
Solution 1 : Groupement CAMPENON-BERNARD / Consortium CAMPENON-BERNARD



Solution 2 : Groupement GTM / Consortium GTM



Solution 3 : Groupement BOUYGUES / Consortium BOUYGUES



Solution 4 : Groupement EIFFAGE / Consortium EIFFAGE

5. ANALYSES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DETAILLEES

5.1. Rappel

Sur les quatre groupements qui ont répondu à cet appel d'offres « conception - réalisation » deux grands types d'ouvrages ont émergés des propositions :

- Portées longues (190 à 260m) entre appuis limités en nombre et implantés hors emprise du glissement, avec fondations profondes.
- Portées limitées à 110-120m entre appuis plus nombreux et implantés dans l'emprise du glissement, avec fondations profondes protégées par une enceinte.

Les questions principales soulevées par l'analyse critique des données géotechniques fournies et les réponses apportées par les groupements sont :

- Maîtrise et contrôle de l'artésianisme, décharge ou non de cette nappe captive pour réalisation des fondations profondes par puits ? influence de cette décharge sur le comportement du dépôt (ralentissement de la progression du glissement, tassements engendrés ?)
- Degré de surconsolidation du dépôt argileux suivant la profondeur et possibilité de fondations semi-profondes après décharge de la nappe.
- Evolution et limite de l'emprise potentielle du glissement et impact sur les fondations.
- Choix de l'implantation des fondations hors de l'emprise du glissement ou dans le glissement avec protection par une jupe.
- Techniques de réalisation des fondations profondes par battage de profilés métalliques sans décharge de la nappe captive ou tubage à l'avancement laissé en place. avec décharge de cette nappe.
- Profondeur des fondations implantée dans l'axe du remplissage fluviolacustre, soumise à aléa fort du fait d'un approfondissement rapide du rocher vers le centre du projet et l'axe de la vallée.

Les critères de choix du ou des groupements pour l'étude d'APOA ont une forte composante liée à la prise en compte du contexte géotechnique dans son ensemble et à la réduction des aléas par le choix de solutions avancées.

Comme abordé dans le paragraphe précédent, pour concourir jusqu'à l'APOA, deux groupements ont été retenus pour affiner les 2 types solutions et apporter au Maître d'Ouvrage les éléments tangibles et les réponses finales pour justifier son choix.

5. GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL ANALYSIS

5.1. Introduction

Two main type of technical solutions has been proposed by the consortiums during the tender process :

- Large spans (190 to 260m) with few supports located out of the sliding area, with deep foundations.
- Smaller spans (110 to 120m) with more supports located into the sliding area, with deep foundations protected by a shell.

The mains constraints found during the geotechnical are the following :

- Control of Artesian water table: Reduction of the water table level, with wells, in order to execute deep foundations? What will be the effect of this reduction: settlements or reduction of the sliding effect?
- Bearing capacity of the clay layers according to their depth and possibility to execute half-deep foundation after reduction of the water table level.
- Evolution and limits of the sliding area and consequence on the foundations.
- Location of foundations out of the sliding area or into it with a shell protection.
- Execution techniques for deep foundations with driven into metallic elements without any reduction of the water table level, or bored piles with tube but with reduction of the water table level.
- Depth of the foundations located on the middle of the valley, considering that the depth of the good rock layer may vary a lot.

The selection criteria of the consortiums for the second stage of the tender process (execution of more detailed studies) mainly include the geological analysis and the corresponding reduction of unforeseen risks by the proposal of suitable technical solutions.

Two consortiums were selected to detailed their proposal, and to give to the Employer a reliable justification of their final proposal.

Les campagnes de reconnaissances complémentaires proposées ont été réalisées par les 2 groupements encore en lice, notamment au droit des appuis de leur projet, groupement «GTM» et groupement « Bouygues ».

5.2. La reconnaissance des argiles par le Groupement « GTM »

Le groupement « GTM », avec l'appui du BE géotechnique Mécasol, a réalisé pour la reconnaissance des appuis dans l'argile des sondages carottés, pressiométriques, CPT+u, destructifs, essais de pompage, puits, Cross-Hole avec indication de leur profondeur :

5.2.1. Les résultats principaux au droit des piles P3 et P4

Pour ces 2 piles, qui sont implantées en amont du glissement, le groupement a proposé une solution de fondation semi-profonde qui intéresse les couches « superficielles » d'argiles varvées, sur une épaisseur de 30 à 35 mètres environ.

La solution retenue pour ces deux piles consiste à enlever un volume important d'argiles varvées dans une enceinte en paroi moulée et à lui substituer un volume vide. Les charges sont alors reportées en fond de l'enceinte (environ 6000 tonnes) et doivent être équivalentes au poids des terres enlevées pour limiter les tassements des argiles molles.

En effet, pour la pile P3, la résistance de pointe totale q_T au piézocône est très faible passant de 0.25 MPa à 2 m de profondeur à 0.8 MPa à 18 m, puis de 1 MPa à 18.5 m à 2 MPa à 40 m et 3 MPa à 58 m.

Au de-là la présence de sable et blocs renforce q_T à des valeurs importantes, supérieures à 10 MPa.

La valeur du rapport de frottement, $R_f\%$, varie de 4 à 2 de 2 m à 18 m, puis est de l'ordre de 2, classant ce sol, dans un diagramme (F, Q) :

- de 2 à 18 m, comme une argile limoneuse, localement surconsolidée.
- de 18 à 58 m, comme une argile limoneuse normalement consolidée.

Le rapport de surconsolidation des argiles pour P3 est borné à des valeurs comprises entre 0.9 et 1.20, après l'analyse des résultats d'essais oedométriques.

Ces résultats sont aussi en partie transposables pour la pile P4.

L'interprétation des données pénétrométriques et oedométriques vis à vis du degré de surconsolidation a fait l'objet de débat entre les différents intervenants avec un enjeu important pour le choix des paramètres de calcul des tassements à long terme des piles P3 et P4.

A complementary exploration campaign has been executed by the each of the remaining candidates. These campaigns mainly studied the ground conditions at the piers location for each of the two projects.

5.2. « GTM » Consortium : clay exploration

The « GTM » consortium, together with the geotechnical designer Mécasol, considered the following explorations into the clay area :

- *Drillings with core extraction,*
- *Pressure measurements,*
- *CPT+u*
- *Pumping tests,*
- *Destructive tests,*
- *Wells,*
- *Cross-Hole with depth measurement*

5.2.1. P3 and P4 piers : main results

These two piles are located before the sliding area, therefore the consortium proposed a half-deep foundation. This foundation interferes with the highest levels of clay (along 30 to 35 m deep).

The solution considered for the two piers is to take away a large amount of clay into a diaphragm wall. Then 6000 tons are transferred to the ground. These 6000 tons should be equivalent to the weight of the amount of clay taken away, in order to reduce the eventual settlements of the soft clay layers.

Actually, for pier, the overall point bearing capacity q_T (measured with a piézocône) is very low . The measurements are the following :

Depth	q_T
2 m	0.25 MPa
18 m	0.8 MPa
18.5 m	1 MPa
40 m	2 MPa
58 m	3 MPa
Over 58 m	Over 10 MPa (*)

() : sand and blocks increase a lot the measures*

The rubbing parameter ($R_f\%$) is between 4 and 2 (depth between 2 and 18 m), and then around 2. Therefore the ground classification into a (F,Q) diagram is :

- *Between 2 and 18 m: alluvial clay (locally over strengthened).*
- *Between 18 to 58 m: alluvial clay (locally normally strengthened).*

According to the oedometric test the clay over strengthness parameter is between 0.9 and 1.20.

Les argiles sont bien déclarées comme non liquéfiables sous l'action sismique retenue, et ce malgré leur consistance molle ; elles peuvent être, par contre, le siège de déplacements associés à l'action sismique qu'un calcul prend en compte.



Argiles de P3 / P3 clay

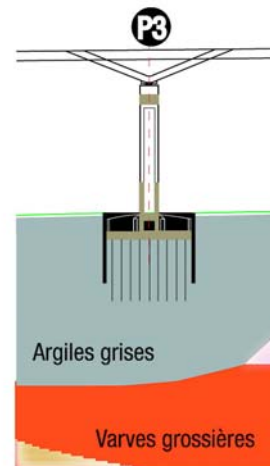


Renforcement des argiles par inclusion d'HEA 300
Clay reinforcement with steel : HEA 300

This results can be mostly used also for pier P4.

The analysis of the penetrometric and oedometric results, and their link with the over strengheness level, has been made by several experts. For the result of this analysis was very important to select the design parameter necessary to estimate the long term settlements for piers P3 and P4.

The clays was classified as not liquefiable during a seismic event. Nevertheless, clay displacement can be due to seismic event. This eventual seismic displacements has been considered during the design.



Vues d'ensemble de la plate-forme P3-P4, avec P3 en cours de terrassements
View of P3-P4, with P3 during excavation

5.2.2. Les résultats principaux au droit des piles P5 et P6

Ces piles implantées dans et en bord du glissement sont fondées sur pieux dans les moraines sous-jacentes. Pour annuler leur risque de cisaillement, le groupement réalise une jupe circulaire de 15.30 m de diamètre, en paroi moulée, enveloppant les pieux de fondation entre le T.N. et la profondeur du glissement qui est précisée à l'appui des données inclinométriques et de l'interprétation des résultats pénétrométriques.

Le tubage des pieux, gainés sur toute leur hauteur, sera mis en œuvre par louvoiment.

Une excavation du terrain argileux est effectuée, entre la jupe en paroi moulée et les pieux tubés et la semelle, calée sous le T.N.

Pour permettre et faciliter le forage et le bétonnage des pieux, la décharge de la nappe captive dans les moraines grossières sous-jacentes est nécessaire.

L'essai de pompage réalisé, confirme la possibilité de décharge de la nappe captive, par puits sachant que la charge mesurée à l'époque des essais n'était que de 5m au-dessus du terrain naturel.

Une forte anisotropie de perméabilité conduit à une implantation optimale des puits de décharge pour une bonne efficacité spatiale.

Ces puits permettront de faire chuter la charge d'eau dans les moraines à la cote du T.N., avec comme conséquence l'accroissement de la contrainte effective moyenne et un tassement supplémentaire de consolidation primaire, et secondaire avec frottement négatif sur les pieux, mais une amélioration locale de la résistance au cisaillement. Par ce procédé, le groupement écrête les surpressions interstitielles dans les argiles.

L'eau qui débitera des puits de décharge, sera recueillie et évacuée par gravité au Fanjaret.

En corollaire ces puits de décharge serviront également à réduire fortement l'occurrence de glissement dans la zone de P5/P6, mais pour l'instant sans maîtrise totale du phénomène.

Vis à vis du glissement, la réduction voire l'annulation de l'artésianisme au niveau actuel pendant la reconnaissance, est une condition nécessaire pour garantir un déplacement faible lors de l'action sismique.

5.2.2. P5 and P6 piers : main results

The pier located over and on the sides of the sliding area are executed with piles foundation. These piles reach the moraine located underground. To avoid any shearing risk the consortium has designed a circular diaphragm concrete shell (diameter 15.30 m) around the piles. This shell is designed for the top of the ground to the sliding depth. This sliding depth is calculated with the site sliding measures and with the results of the penetrometric tests.

Then the clay located between the concrete shell and the piles is executed down to the execution level of piles.

In order to execute more easily the pile execution (drilling and cast in place concrete) the level of the water table level (located in the under ground moraines) has to be reduced.

The pumping test executed confirmed the feasibility of the water table level reduction by drilling wells. Actually the measured water table level was 5 m over ground level.

The isotropic characteristics of the ground (regarding permeability) allowed to locate the wells with a good spatial efficiency.

These wells were able to reduce the water table level to the ground level with the following consequences :

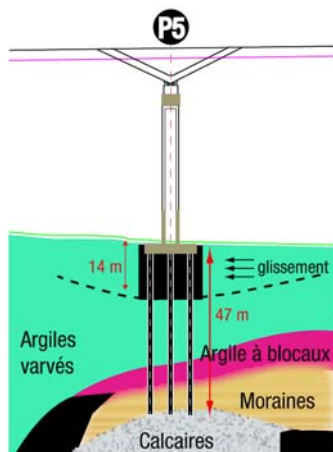
- *Increase of the average stress,*
- *Additional settlement for primary stage and with a negative skin friction during the secondary stage,*
- *Increase of local shearing resistance.*

The water extracted from the wells was poured in the Fanjaret using gravity.

Another effect of the wells was to reduce a lot the sliding risk in the area around P5/P6. But at the moment of the studies this effect was not wholly understood.

The reduction of the artesian effect was very important to minimized the eventual sliding movements during seismic events.





5.3. La reconnaissance des argiles par le Groupement « Bouygues »

Elle a fait l'objet d'un programme complet établi avec le concours du BE géotechnique SAGE, par appuis, avec instrumentation vis à vis de la distribution de pressions interstitielles par cellules de pression interstitielle (CPI) et des déplacements horizontaux par inclinométrie. Toutefois, le MO a passé commande d'une reconnaissance plus réduite pour répondre au mieux aux questions soulevées de faisabilité et d'incidence sur les avoisinants au stade de l'APOA.

Cette reconnaissance s'est concentrée principalement, dans la limite du temps de reconnaissance dont disposait le groupement, sur les conditions de conception - dimensionnement et de réalisation des appuis des piles P3 et P4 par pieux métalliques battus, avec un essai de battage sur chaque site engageant la faisabilité de la solution proposée.

Le choix des techniques de réalisation des piles P3 et P4 intègrent la présence de nappes artésiennes, qui peuvent être le siège de pressions très fortes, interdisant la réalisation de pieux forés, de barrettes ou de micropieux sans décharge de la nappe captive, décharge à laquelle s'est refusée le groupement.

La reconnaissance a fait l'objet respectivement pour P3 et P4 :

- d'un forage carotté de 100.80m et 79.50m de profondeur,
- d'un forage pressiométrique de 90m et 70 m
- de 4 pénétromètres statiques de 52 à 65.50 m et de 44 à 48m de profondeur, avec quelques mesures de dissipation de la pression interstitielle.
- d'essai de battage de pieu métallique HP 400 (176 kg/m) jusqu'à 85.25 m en P3



5.3. « Bouygues » Consortium : : clay exploration

A complete campaign of exploration was scheduled by the consortium for each pile, with the collaboration of the geotechnical design company SAGE (pressure sensors and sliding sensors). Nevertheless, the employer asked the consortium to execute a more reduced exploration campaign, in order to answer to the main questions raised by the technical proposal.

The exploration was mainly focused on the design and execution of the foundation of piers P3 and P4 : PH 400/176 length 73,5 or 57m driven into the clay and the moraine layers. Therefore a driving into test was executed in order to prove that the solution can be executed.

The selected foundation solution for piers P3 and P4 considered that the high Artesian water table pressure made very difficult to execute bored piles or small piles without a previous reduction of the water table level. The consortium refused to consider any reduction system for the water table level.

The exploration made for P3 and P4 included:

- Drillings with core extraction (depth 100.80m to 79.50m),
- Drilling with pressure measures (depth 90m to 70 m),
- 4 static penetrometric (depth 52 to 65.50 m and 44 to 48 m) with some measurements of interstitial pressure variation,
- Driving into test for metallic pile : HP 400 (176 kg/m) up to 85.25 m on P3
- Driving into test for 2 metallic piles: HP 400 (176 and 213 kg/m) up to 46.75 and 48.00m on P4.

- d'essai de battage de 2 pieux métalliques HP 400 (176 et 213 kg/m) jusqu'à 46.75 et 48.00m m en P4.

Elle est donc très complète et toutes les données sont interprétées en regard des essais pressiométriques, pénétrométriques, montrant la possibilité de réalisation des pieux et d'assurer la reprise des charges verticales pour les profondeurs de refus après surbattage de l'ordre de 5000 kN. Un essai de chargement statique permettrait de préciser la capacité portante définitive et le frottement latéral au stade du projet d'exécution.

A noter pour P3 :

- le toit irrégulier de la moraine
- l'absence de remontée d'eau le long du fût.
- la dissipation de la surpression interstitielle en une journée avec une augmentation du frottement latéral

A noter pour P4 :

- le toit du rocher rencontré à 48 m de profondeur, permettant une assise correcte de cette fondation profonde
- une absence d'artésianisme, à confirmer toutefois, et de remontée d'eau le long du fût.
- la dissipation de 70 à 80% de la surpression interstitielle en 2 heures avec une augmentation significative du frottement latéral.

Par rapport aux interrogations émises par le MO et le CE, les réponses sont :

- les pieux battus sont faisables, compte tenu de la présence des argiles molles
- il n'y pas d'écoulement le long du fût mais un renforcement à terme du frottement latéral
- les pieux ne seront soumis aux frottements négatifs que si la décharge est hydraulique est significative.

5.4. L'aléa d'un glissement d'ensemble

Les conditions sont actuellement réunies pour définir une potentialité de glissement dans la vallée du Fanjaret au droit du projet :

- Présence d'argiles litées de consistance molle
- Présence d'une nappe captive avec forte charge locale dans ou sous les argiles
- Pente naturelle faible mais significative.

L'observation actuelle par les indices de surface et les résultats inclinométriques est un glissement d'axe Sud- Est/Nord-Ouest traversant le tracé de l'ouvrage sur une largeur de 185m et à une profondeur de 20 m.

All the data collected showed that it was possible to execute the driving into metallic piles with the necessary bearing capacity in order to receive the piles of the viaduct. A static loading test could help to better determine the load capacity and the negative skin friction during execution.

To note for P3 :

- *The irregular depth of the moraine layer,*
- *No water at shaft level.*
- *Reduction of the interstitial overpressure in one day, with increase of negative skin friction*

To note for P4 :

- *The depth of the rock layer was 48 m. This depth allow a good execution of the deep foundation.*
- *No artesian water table (to be confirmed) and no water at the shaft level.*
- *Reduction of the interstitial overpressure (70 to 80% in 2 hours) with increase of negative skin friction.*

Regarding the Employers queries, the answers were :

- *The driving into piles can be executed in soft clay,*
- *No water along the shaft but increase of negative skin friction,*
- *The piles will support negative skin friction only if the decrease of water table level is significant.*

5.4. Global sliding risk

The local conditions show a possibility of sliding into the Fanjaret valley at the project location :

- *soft clay layers,*
- *artesian water table with local high pressure into or under clay layers,*
- *natural significant slope*

The recent measures on the site surface and the results of sliding sensors show a North – South sliding movement crossing the viaduct along 185 m and with a depth of 20 m. The depth of the sliding ground is compatible with the site geometry and with the theory of a mainly plan down slope side sliding movement., together with the artesian water table pressure enclosed into the lateral moraines.

La profondeur de cette surface reste en accord avec la géométrie du site et avec l'analyse de stabilité d'un glissement quasi- plan vers l'aval avec la charge mesurée de la nappe captive sous- jacente dans les moraines latérales.

Les mouvements sont un déplacement d'ensemble d'une masse de sol sur une zone de cisaillement d'épaisseur métrique.

Ces mouvements sont, sur la période d'observation de ces 5 dernières années, lents (1 à 5 mm/ an), sans doute en correspondance avec un facteur de sécurité légèrement supérieur à 1.2, avec temporairement sous l'action déstabilisatrice d'une montée rapide de la charge d'eau une valeur plus faible de ce facteur mais qui reste supérieure à 1, réactivant le glissement à faible vitesse.

Du point de vue de la mécanique des sols, l'occurrence d'un glissement plus profond n'apparaît pas probable, avec les mêmes données géotechniques et géométriques.

L'extension des zones en glissement est appréciée en l'absence de données de mesure de déplacements par les désordres visibles en surface et la morphologie du site. Cette extension probable est, d'après la transcription de ces données dans les rapports, notes et plans fournis, sur plus de 240m sur le tracé de l'ouvrage et sa limite supérieure amont vient tangenter le tracé sur une longueur de 300m.

La régression d'un glissement actif jusqu'à venir entrer en interaction avec les fondations de l'ouvrage est-elle possible ?

Plusieurs scénarii sont alors possibles pour examiner ce point.

Les nappes actuellement identifiées ont des niveaux assez aléatoires non connus dans le temps et ce sont elles qui génèrent la réactivation du glissement d'ensemble.

Le scénario de base, le plus probable, est de considérer, en l'absence d'intervention sur les nappes et de variation significative de leurs niveaux par rapport à ceux de la période de mesure, la poursuite du glissement lent (100 à 500mm au bout de 100 ans, la durée de vie de l'ouvrage) sans extension significative au-delà de ce qui est reconnu. En effet dans cette situation les niches d'arrachement ont des hauteurs inframétriques à métriques ne déstabilisant que localement la limite actuelle du glissement sans régression notable.

Les fondations situées à l'intérieur de la zone de glissement actuel doivent être conçues pour satisfaire à ce déplacement horizontal et vertical associé et les autres ne sont pas à protéger dans ce cas.

Un autre scénario à envisager en concomitance avec l'observation de l'évolution récente climatologique voire sismique, est une charge d'eau dans les nappes captives plus importante et au sein des argiles que celle ' observée ' pendant la durée de mesures inclinométriques.

These movements have been measure during the last 5 years, and are around 1 up to mm/ year. With a security factor slightly over 1.2. This security factor may be locally reduced due to artesian water table pressure, causing a slow sliding movement. Nevertheless the security factor is still over 1.

According to soil mechanic theory the event of a large sliding movement is unlikely. Nevertheless, the identified artesian water table levels are unlikely predictable during a long period, still these levels can produce a global sliding movement.

The limits of the sliding areas can be seen according to visible surface countryside distortion and site morphology.

The likely limits are over 240 m near the viaduct location, and nearby the upper limit the sliding area is tangential to the future highway along 300m.

But could a sliding event affect the viaduct foundations. Several scenarios have been studied.

Main scenario (most likely) :

- *hypothesis : no interference with the Artesian water table and no significant variation of their levels compared with the measured levels*
- *result: slow sliding movement (100 up to 500mm during 100 years, viaduct duration period) without any significant increase of the sliding speed.*
- *design: the foundations located into the sliding area must be designed in order to bear the horizontal and vertical sliding movements. The other foundation don't have any specific protection.*

An other scenario :

- *hypothesis : according to the recent climate and seismic changes : an increase of enclosed artesian water table pressure compared with the measured levels,*
- *results : increase of sliding speed and of sliding area limits (more foundations can be involved),*
- *design: all the foundations should be protected today along a depth between 15 and 20 m.*

Other scenarios :

- *hypothesis :*

Là, le glissement peut s'accélérer, les déplacements s'amplifier et l'extension régresser et atteindre la zone d'influence des fondations de l'ouvrage. Dans cette hypothèse, il faudrait dès maintenant envisager la protection de tous les appuis concernés à une profondeur de l'ordre de 15 à 20m.

D'autres scénarios de reprise de glissement, plus en aval et activant le glissement dans la zone de l'ouvrage, seraient plutôt à envisager à très long terme, en l'état de nos connaissances du contexte géologique.

Pour s'affranchir au mieux en l'état des connaissances de la réactivation du glissement, il est préconisé de maîtriser d'abord le niveau de cette nappe avec son écrêtage pour conserver un facteur de sécurité d'au moins 1.2, c'est à dire qu'il faut impérativement non seulement conserver la situation initiale mais l'améliorer et surtout la contrôler.

Pour cela la connaissance des conditions hydrogéologiques et la surveillance est indispensable au moyen

- de piézomètres avec mesures de pression par capteur électrique avec enregistrement en continu dans la moraine latérale.
- de cellules de pression interstitielle implantées dans les argiles litées, avec enregistrement en continu

Le suivi des mouvements du sol de fondation est nécessaire,

- à l'emplacement de chaque appui concerné, implanté sur ou dans les argiles litées
- en amont et en aval du tracé,

avec mesure après chaque montée en charge de l'eau mesurée.

Enfin il apparaît nécessaire de tester dès que possible la décharge par puits de la nappe en l'écrétant uniquement au niveau du sol et pouvoir apprécier très vite la possibilité de maîtriser le phénomène d'alimentation.

- *results : start of sliding movement down slope and then start of sliding movement near the viaduct (to be considered on a long term period regarding our knowledge of the geology)*
- *design :*
 - *in order to avoid any start of sliding movement the artesian water table level should be controlled in order to preserve the security factor over 1.2. That is to say that the initial level should be controlled and even improved.*
 - *therefore the knowledge and survey of the hydro geological conditions is a must. For that purpose we can use :*
 - *Piezometric sensor with continuous pressure measurements by electrical sensors into the lateral moraines,*
 - *Interstitial pressure sensors located into the different layers of clay with continuous measurements.*
 - *This movement survey is necessary at each pier (located into sliding area), up slope the viaduct and down slope the viaduct.*
 - *Measurement should be made after each increase of the artesian water table level.*
 - *test of the possibility to reduce the water table level with the wells at the ground level, in order to check quickly if it's possible to control the water flow.*



*Vue aérienne depuis le Nord vers le Sud de la vallée du Fanjaret
Aerial picture taken from the North and looking to the South of the Fanjaret valley*

6. LE PROJET D'EXECUTION

Le Maître d'Ouvrage a retenu finalement après jury les propositions techniques du groupement «GTM» avec les conditions de suivi et surveillance du glissement et de la piézométrie qui viennent d'être énoncées pour établir l'APOA puis le projet d'exécution.

Les études de détails, suite aux reconnaissances complémentaires d'APOA ont permis de caler les éléments géométriques du projet de fondations dans les argiles, les paramètres géomécaniques de dimensionnement comme par exemple les caractéristiques de cisaillement :

- $\varphi' = 24^\circ$
- $c' = 5 \text{ kPa}$ de 0 à 18m, argile légèrement surconsolidée, et
- $c' = 0$ de 18 à 55 m, argile normalement consolidée

et les modules de déformation avec des valeurs en fourchette dans un rapport de 1 à 2.5.

La cote du glissement a été aussi recalée au droit des piles P5 et P6 pour préciser la longueur des parois moulées constituant la jupe de protection des fondations sur pieux.

Pendant les travaux préliminaires, le rabattement par puits s'est avéré efficace ; la nappe n'est plus artésienne autour de P6 et le niveau d'eau reste en concordance avec le forage de décharge le plus bas, en aval de la plate- forme de travail.

Toutefois des déplacements du sol ont été enregistrés suite à ces travaux de drainage, nécessitant un renforcement des mesures piézométriques et inclinométriques pendant les phases de travaux.

7. CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE RETENU

6. EXECUTION DESIGN

At the end the Employer selected (according to committee recommendations) the technical solutions of the « GTM » consortium, together with the continuous sliding and piezometric survey proposal hereinbefore mentioned. The consortium was allowed to start the corresponding execution design.

The detailed studies, according to the additional exploration, allowed the designer to establish the geometry of the foundation project into the clay area, the geotechnical parameters used for the design such as shearing parameters :

- $\varphi' = 24^\circ$
- $c' = 5 \text{ kPa}$ from 0 to 18m, clay (slightly over strengthened), and
- $c' = 0 \text{ kPa}$ from 18 to 55 m, clay (normally strengthened)

and bucking modules with ratio between 1 to 2.5.

The depth of the sliding ground has been verified around piers P5 and P6, in order to calculate the diaphragm walls height around the piles.

During the preliminary works the reduction of water table level was a success : near P6 the water table is no longer artesian.

However some ground movements has been detected after draining works. Then the designer decides to increase piezometric and sliding measurements during the execution period.

7. SELECTED STRUCTURE CHARACTERISTICS



Photomontage du viaduc / Digital picture of the viaduct

7.1. Géométrie

Dans le tunnel de Sinard et sur le viaduc, les deux chaussées de l'autoroute ont des définitions géométriques indépendantes. La distance qui les sépare varie de 10 à 40m et leurs profils en long ne sont pas parallèles. Au-dessus de la vallée, l'axe du tracé en plan, la ligne rouge du profil en long et l'axe de rotation du dévers de chaque chaussée sont confondus ; ils se trouvent à 50cm du bord intérieur de la chaussée. Chacun des tracés en plan assure un alignement droit, au Sud, et un arc de cercle, au Nord, raccordés par une clothoïde. Cette géométrie imposée par les contraintes géotechniques et topographiques interdit de mettre en place les tabliers par poussoir ou par lançage à partir d'une seule extrémité. En revanche, le dévers (2,5%) et la pente longitudinale (1,5%) restent constants sur toute la longueur de la première chaussée.

Le profil en travers

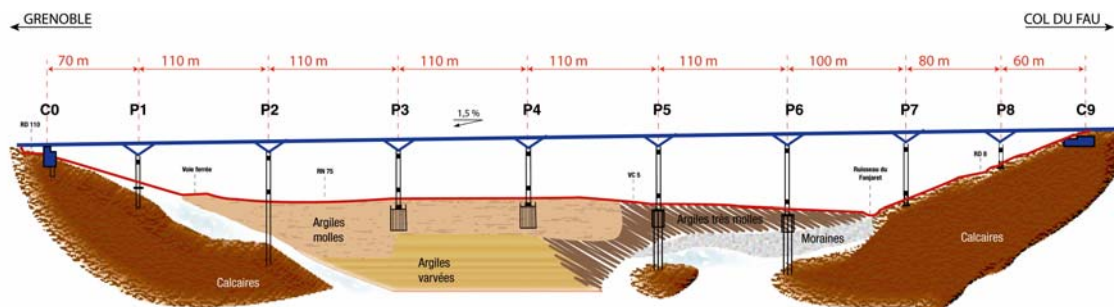
Large de 10,40m, la chaussée du premier viaduc sera d'abord exploitée à double sens, avec un TPC de 1,40m de large, deux voies de 3,50m et deux bandes dérasées de droite de 1,00m. En phase définitive, elle sera exploitée à sens unique, de Grenoble vers Sisteron, avec une BAU de 2,50m, deux voies de 3,50m et une bande dérasée gauche de 0,90m.

7.1. Geometry

Into the Sinard tunnel and into the viaduct, each carriageway has independent geometrical parameters. The distance between them varies from 10 to 40 m, and their longitudinal section are not parallel. Over the valley their geometrical characteristics are the same, such as : horizontal alignment axis, vertical alignment and superelevation rotation axis (they are located at 50 cm inner side of the carriageway). Each of the horizontal alignments are made of straight section (south part), a circular arc (north part) connected with a clothoid. The specific geometry (result of geotechnical and topographical constraints) prevent the contractors from using a pushed deck or a deck build from using one side. On the other hand, the superelevation (2,5%) and the longitudinal slope (1,5%) stay the them over the whole length of the first carriageway.

Cross section

Width 10,40m, during the first operational stage this road will be operated both ways, with a central reservation 1,40m wide, two lanes of 3,50m and two right reservations of 1,00m. In the final stage this will be a one-way carriageway, from Grenoble to Sisteron, with an emergency lane of 2,50m, two lanes of 3,50m and a left reservation of 0,90m.



Coupe longitudinale avec géologie / Longitudinal section together with the geology

- Longueur : 860 m, largeur utile : 10, 40 m, surface brute : 10 215 m², utilisation bidirectionnelle à l'ouverture de la section Coynelle / Col du Fau.
- 9 travées (70 + 5 x 110 + 100 + 80 + 60),
- 10 appuis dont 8 piles intermédiaires variant de 25 à 55 m de hauteur.
- Length: 860 m, useful width: 10, 40 m, area: 10 215 m², two way carriageway for the opening of the Coynelle / Col du Fau section.
- 9 spans (70 + 5 x 110 + 100 + 80 + 60),
- 10 supports with 8 intermediate piers between 25 to 55 m high.

7.2. Fondations

Conception de P5-P6

Le principe retenu est de les isoler de la couche d'argile en mouvement. Pour cela, une enceinte de confinement circulaire en parois moulées d'une vingtaine de mètres de diamètre est réalisée concentriquement à l'emplacement de la future fondation. Cette enceinte a une profondeur d'une quinzaine de mètres, profondeur déterminée par l'analyse de l'instrumentation inclinométrique ayant permis d'appréhender la profondeur du plan de glissement des argiles.

Une fois cette enceinte périphérique en paroi moulée de 16,90 m de diamètre achevée, des pieux forés-tubés sont réalisés à l'intérieur de celle-ci et fondés aux calcaires. Ces pieux vont par la suite recevoir en tête une semelle servant de fondation à la pile. Les pieux sont tubés à cause de l'artésianisme ; il fallait que les pieux restent intacts et ceci, quelle que soit la pression de la nappe

- P5 : 12 pieux Ø 1400 en béton gainé de 50 m de profondeur fondés sur les marnes calcaires
- P6 : 11 pieux Ø 1400 en béton gainé de 45 m de profondeur fondés sur les marnes calcaires

Les pieux étant réalisés, la partie centrale de l'enceinte est vidée de ces argiles. Les pieux ne sont donc plus en contact avec la partie des argiles en glissement. Ils sont ensuite recépés et la semelle est réalisée. Au final, la semelle et l'enceinte de protection sont toutes les deux indépendantes, elles sont séparées d'un vide de 1 m sur P6 et 1,5 m sur P5.



Fondation de la pile P5 une fois terminée / Final foundation of P5

L'enceinte va donc pouvoir se déplacer avec la couche de sol alors que la semelle va rester fixe. Si l'enceinte venait en contact de la semelle (dans environ 3 siècles d'après les estimations de glissement), une nouvelle pourrait-être constituée à l'extérieur de celle-ci.

7.2. Foundations

Conception de P5-P6

The conceptual design is to isolate the foundation from the sliding clay layers. In order to achieve that concept, a circular concrete diaphragm shell has been executed around the future foundation. This shell is 15 m deep. This depth has been calculated according to the analysis of the sliding sensors.

After the execution of the concrete shell (Ø : 16,90 m) bored piers with tubes were executed inside the shell down to the limestone layer. Then these piles are covered with a concrete slab to support the pile. The piles are made with tube due to artesian water table. Actually, the piles had to remain intact whatever the artesian pressure :

- *P5 : 12 concrete piles Ø 1400 depth 50 m down to limestone marl layer*
- *P6 : 11 concrete piles Ø 1400 depth 45 m down to limestone marl layer*

After the piles execution the foundation central clay part is taken away. Then piles are not connected with the sliding clay layer. In a second stage piles heads are cut and the concrete slab is executed. At the end, the concrete slab and the shell are independent, and are separated with an empty space of 1,5 m wide for P5 and 1 m wide for P6.

The shell can move together with the sliding clay layer, but the foundation will remain fixed. When the shell will touch the concrete slab (after around 3 centuries according to the sliding estimation) another shell can be executed the first concrete shell.

Lors des travaux, des puits de décharge par pompages ont été mis en place pour diminuer les pressions dans la nappe, ils vont être conservés actifs durant la phase d'exploitation afin de tenter de limiter les déplacements de la couche.



La conception des fondations des piles P3 et P4 est « très simple » : Une quantité de sol égale aux efforts verticaux exercés (env. 6000t) par l'appui de l'ouvrage concerné est enlevée. La fondation peut donc être qualifiée de "flottante" car, en théorie, elle n'exerce aucun effort supplémentaire sur le sol. La réalisation se décompose en plusieurs phases.

- Dans un premier temps, une paroi moulée circulaire d'environ 20 m de diamètre et 20 m de profondeur est construite. Une dizaine de mètres de sol est retirée à l'intérieur de cette paroi moulée ; c'est donc le poids de ce sol qui va être compensé par les charges du viaduc. Des inclusions métalliques réalisées avec des profilés type HEA300 sont mises en place en fond de fouille pour empêcher tout soulèvement de sol lors des travaux de creusement.
- Ensuite un gros béton d'étanchéité est coulé en fond de fouille sur un drain en graviers. La "boîte" ainsi terminée est donc étanche, la superstructure de la fondation peut être réalisée.

Des calculs de tassements ont été effectués avec des méthodes de type éléments finis afin de prévoir les mouvements de l'ensemble pendant toutes les phases de construction, que ce soit lors de l'excavation ou lors de la mise en charge du tablier. Les différentes mesures effectuées lors de la phase chantier ont montré que les tassements étaient bien inférieurs à ceux initialement prévus, ce qui va dans le sens de la sécurité. A terme, la fondation doit théoriquement tasser d'environ 4 à 5 centimètres, valeur relativement faible sachant que le tablier a été conçu pour des tassements de l'ordre du décimètre.

C0 – C9 – P1 : pour chacun des appuis, 2 puits marocains de 4,00 m de diamètre, longueur 6,00 m sous les culées et 14,00 m sous P1.

P2 : 6 pieux de 1 500 m de diamètre de 50 m de profondeur ancrés dans les marnes calcaires.

P7 – P8 : semelles superficielles de 7 x 11,50 x 2,50 fondées sur les marnes calcaires.

During the execution period several well have been bored in order to decrease the water table pressure. These well will be used during the operation period, in order to try to minimize the movements of the clay layer.

The conceptual design of foundations P3 and P4 is « very simple » : a total amount of ground (equal to the future vertical charges around 6000t for each pier) is taken away. This type of foundation would be called "floating" considering the fact that no additional vertical charge is transferred to the ground. The execution is divided into several stages :

- *First stage: a circular diaphragm wall ($\varnothing$ around 20 m, depth 20 m) is executed. Around 10 m of soil is taken away (the weight equivalent to the viaduct vertical charges). Metallic profiles (HEA 300) are driven into the ground in order to prevent any vertical upward movement of the ground during the execution of the excavation works.*
- *Second stage: a thick waterproof concrete is cast in place at the bottom of the excavation over a gravel drain. The executed "box" is then waterproof, and the rest of the pier can be executed.*



P3 pier foundation / Fondation de la pile P3

Settlement calculations have been made (with finite element) in order to estimate the deck movements during all construction phases, both during excavation or during charging of the deck. All measures taken during the execution have shown that the settlements were very much below the expected values. The final settlement of the foundation should be around 4 to 5 cm. This final value is quite low considering that the deck has been designed for settlements around 10 cm.

C0 – C9 – P1 : for each pier, 2 Moroccan excavation $\varnothing$ 4,00 m, length 6,00 m under the abutments and 14,00 m under P1.

P2 : 6 piles $\varnothing$ 1.5 m, depth 50 m down to limestone marls.

P7 – P8 : simple foundations 7,00 x 11,50 x 2,50 over limestone marls.

7.3. Intégration paysagère

Sur ce point précis, un travail très rigoureux a été entrepris par le Groupement lauréat du concours afin d'intégrer au mieux le viaduc dans la vallée. C'est le cabinet d'architecture STRATES en collaboration avec les paysagistes de PAYSAGE PLUS qui ont eu la charge d'harmoniser visuellement l'ouvrage au site, en respectant le cahier des charges de l'opération A51.

En effet l'opération A51 a fait l'objet d'une étude d'intégration paysagère très en amont dès la conception en intégrant dans les équipes de maîtrise d'œuvre de SCETAUROUTE le cabinet d'architecture conseil du Maître d'Ouvrage JOURDA Architectes et le paysagiste ADP (JC Dubois). Les architectes se sont à la fois inspirés des formes naturelles se trouvant sur place mais aussi des ouvrages plus ou moins récents existants. Par exemple les murs de soutènement de la tête Sud du tunnel ont été particulièrement soignés et « travaillés », ils reprennent la forme des plans de rupture des roches calcaires fracturés présentes dans la vallée, et notamment en l'extrapolant, la tête Sud du tunnel ferroviaire de la Motte 2.

7.3. Landscape integration

Regarding that specific aspect, a very precise work has been made by the winner of the procurement process in order to integrate the viaduct into the valley landscape. The architectural design office STRATES together with the landscape design office PAYSAGE PLUS were in charge to match the visual impact of the viaduct and the valley landscape, but following the rules set by the terms of reference of the highway A51.

Actually for this highway the landscape integration has been studied in the very first stage of the design process, by integrating into the design teams of Scetauroute the Employer architectural assessment company (JOURDA Architects) together with a landscape design company ADP (JC Dubois). The architects used both the country side shapes and the most recently built viaducts. For example the walls of the south entrance of the Sinard tunnel has been carefully designed and shaped. They used the natural shape and fracture structure of the limestone, as it can be seen on an existing tunnel (south entrance of the la Motte 2 railway tunnel).



Travail architectural sur les murs en tête Sud du tunnel côté viaduc
Architectural design for South entrance of the Sinard tunnel nearby the viaduct

Dans cet esprit, tous les éléments en béton des murs en Terre Armée de la section autoroutière ont été réalisés avec une matrice reprenant le faciès fracturé des calcaires locaux. Cet aspect permet d'absorber les effets de réflexion de la luminosité et participe à l'harmonie d'ensemble.

En ce qui concerne la forme du viaduc, l'ensemble de l'équipe de conception, que ce soit les bureaux d'études ou les architectes, a opté pour une structure avec des travées régulières. Du point de vue mécanique, cela permet d'augmenter le nombre d'appuis et donc de diminuer les efforts sur les sols.

All the concrete elements of the reinforced earth walls has been made with a special pattern in order to copy the natural shape of the local limestone. This pattern minimize the light reflection effect and also participate to the call integration into the country side.

Regarding the viaduct shape, the whole design team (engineers and architects) selected a structure with regular spans. From a structural point of view, this allows to increase the number of piers and then reduce the charges transferred to the ground.

Du point de vue architectural, cela permet de reprendre les formes des viaducs ferroviaires du début du siècle qui parsèment les vallées avoisinantes. D'autres propositions avaient été faites par des groupements concurrents, avec des ouvrages à travure non régulières qui enjambaient la zone des argiles profondes, mais non seulement cela coupait, en quelque sorte, le rythme du paysage, mais également cela conduisait à des structures épaisses et lourdes. Pour limiter cet effet de "barreaudage" de la vallée par le viaduc, les architectes ont imaginé des solutions allégeant visuellement l'ensemble.

From a architectural point of view, this allows to re-use the very common railway viaduct shape, which can be seen in most the surroundings other consortiums proposed structures with non regular spans going over the deep clay areas. Nevertheless, these structures interfered quite a lot with the landscape, and the corresponding shape were heavy. In order to reduce the « cutting » effect of the valley by the viaduct, the architects proposed some solution to make the structure lighter.



Un gros travail sur la forme des piles a été fait, il ne fallait pas qu'elles soient trop volumineuses. Les piles sont donc constituées de deux pilettes creuses de formes particulières, elles reposent sur une embase raidisseur et sont reliées en leur tête par un chevêtre elliptique. Les fûts de pile sont réalisés par levées de 3,50 m.

A lot of work has been done regarding the piers shape, for they should not be to big. Therefore, these piers are made of two hollow shafts connected at the bottom with a concrete wall and at the top with a elliptic concrete beam. The shaft are executed 3,50 per 3,50 m.

Chaque pilette est de forme semi-circulaire sur l'extérieur et semi-elliptique (anse de panier à 5centres) sur l'intérieur. Cette forme spéciale permet d'augmenter l'espace "jour" entre deux pilettes ce qui rend la pile plus "légère". Il y a donc volonté de création d'une fente lumineuse la plus importante possible dans chaque pile.



En plus du travail sur les piles, les architectes ont énormément travaillé sur le tablier. Toujours avec l'idée de rendre l'ensemble plus léger (tant visuellement qu'en masse), ils ont imaginé la mise en place de bracons sur chaque pile. Ceci permet de surélever le tablier par rapport au haut de la pile créant ainsi une impression aérienne de l'ensemble de l'ouvrage. La mise en place du bracon permet également de diminuer la hauteur moyenne des piles ce qui allège légèrement la structure, mais surtout cela permet de réduire mécaniquement les travées de 30mètres, conduisant ainsi à limiter la hauteur des poutres métalliques à 3,00m et d'affiner grandement l'épaisseur visuelle de l'ouvrage, tout en diminuant sa descente de charges

The specific shaft shape create a very large enlightened gap
 La forme particulière des pilettes crée une fente lumineuse très importante



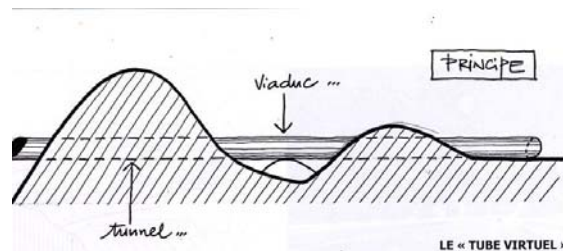
Bracon positionné entre le tablier et la pile
Metallic support located between the deck
and one pier

Pour ce qui est de la forme des superstructures équipant le tablier, les architectes de l'ouvrage se sont référés au cahier des charges du concours qui imposait le concept général de cette opération cher à Françoise-Hélène JOURDA (architecte conseil du Maître d'ouvrage pour A51): L'autoroute doit être un "tube virtuel" circulant d'une vallée à l'autre. Cette idée de tube impose la réalisation de garde corps incurvés et des corniches-caniveaux dans la continuité.

Each shaft has an external semi-circular shape and a inner semi-elliptic shape, which allows to increase the enlightened gap. Therefore, this creates a lighter pier.

Together with a deep analysis of the piers, the architect have worked a lot on the deck concept. In order to make the deck lighter and to reduce the visual impact, they designed metallic supports over each pier. These support separate the deck for the head of each pier, which make the deck lighter. Else more, the metallic support reduce the overall height of piers, and reduce the mechanical spans length of 30 m, which minimize the height of beam and the visual impact of the structure. Last but not the least, even the charges transferred to the foundation were reduced.

Regarding the equipment of the deck, the viaduct architect used a concept (included in the terms of reference by Françoise-Hélène JOURDA Employer architectural advisor for A51): the highway should be un "virtual tube" crossing from a valley to another valley. This « tube » concept involved the execution of curved pedestrian parapet and drainage channel cornice.



Concept de "tube virtuel" voyageant dans le paysage
Virtual tube concept going into the countryside

7.4. Sismicité d'exécution

Le site se trouvant dans le massif alpin, il est sujet à des risques de type sismique. La commune de Monestier est classée dans la zone sismique IB. Le viaduc est de classe C, arrêté préfectoral, il doit pouvoir donc supporter une accélération nominale de 2 m/s².

Pour vérifier la résistance structurelle de l'ensemble, des calculs précis ont été menés. Le but de la manipulation était de calculer les déplacements du tablier et les efforts générés sous chaque appui. De plus, par la nature différente des sols, les calculs ont dû être faits avec deux spectres d'accélération différents. Un pour le flanc de la vallée composé essentiellement de roches dures et un pour la vallée elle-même remplie d'argiles moles. Les calculs de dynamique avec des logiciels complexes ont duré environs 6 mois.

7.4. Seismic design

The viaduct area is located into the Alps mountains, and therefore is submitted to seismic constraints. The Monestier two is classified into the IB seismic area. And the viaduct is category C, therefore it must bear a nominal seismic acceleration of 2m/s².

In order to check the structure, a lot of complex calculations have been made. Engineers had to calculate the deck movements and the corresponding stress transferred to each pier. Else more, considering the different soil layers, these calculation had to be done with two different acceleration spectrum (the side of the valley are many made of rock, and the centre is mainly soft clay). These complex calculation took around 6 months, with very sophisticated software.

Les conclusions ont été relativement décevantes car les séismes (définis selon la carte régionale des risques) n'ont a priori que peu d'effets sur le viaduc. Le ferrailage final des piles est celui minimal donné par la réglementation sismique. Il y a donc eu énormément de calculs complexes réalisés pour conclure que ce sont les dispositions minimales réglementaires qui sont déterminantes !!

7.5. Tablier

La structure recherchée est la plus légère possible, pour ne pas surcharger les fondations et la moins opaque possible pour réduire le barrage visuel à sa plus simple expression. Ainsi l'ouvrage retenu est une structure mixte constituée d'une ossature métallique à 2 poutres de hauteur constante de 3,00 m à laquelle sont associés des bracons métalliques appuyés en tête de chaque pile et encastrés sous les poutres métalliques.



L'ossature métallique est lancée de chacune des 2 extrémités de l'ouvrage. La partie courbe au Nord (Rayon 1320m) d'environ 350 m de long sera assemblée par soudage sur une estacade provisoire entre C0, P1 et lancée en 9 phases.



At the end, conclusions were quite disappointing. Actually, the seismic constraints of the viaduct area have very few effect on the structure, and the piers reinforcement was only given by the minimum included into the standards. So, a lot of very complex calculations have been made in order to reach the conclusion that minimal standard recommendation applied!!

7.5. Deck

The structure we were looking for had to be as light as possible, in order to transfer small charges to the foundations and to minimize the visual impact of the structure. Therefore the selected structure is a mixed deck made of a metallic structure (2 beam with constant height 3,00 m) together with metallic supports connected to the upper part of the piers and fully integrated into the metallic beams.

The metallic structure is built from each side of the viaduct. The curved north section (radius 1320m) around 350 m long will be welded over a temporary deck between C0 and P1, and will be executed in 9 phases.



La partie rectiligne au Sud d'environ 510 m de long sera également assemblée par soudage et lancée en 5 phases depuis la plate-forme autoroutière.

Après mise en place des poutres à leur emplacement définitif, les bracons viennent descendre les charges en tête de chaque pile et la dalle en béton de roulement est réalisée en assurant la liaison avec les poutres par goujonnage et sa continuité par clavage.



The straight south section around 510 m long will be welded and executed in 5 phases from the highway formation level.

After the beams execution, the metallic support are placed into their final position, and the concrete slab is executed and bolted to the beams.



Principaux intervenants

Maîtrise d'ouvrage : AREA - Société des autoroutes Rhône-Alpes.

Direction du Projet, Maîtrise d'Œuvre Générale et AMO : SCETAURROUTE/EGIS.

Entreprises :

Groupe GTM GCS : mandataire et Maître d'Œuvre Particulier.

Co-traitants : Baudin -Châteauneuf (charpente métallique), Ingérop (études techniques générales de l'ouvrage), GTM Construction (études des appuis), Mecasol (études géotechniques), Strates (architecte) et Paysages Plus (paysagiste).

Main actors

Employer: AREA - Rhône-Alpes Highway Company.

Project Director, Employer Representative and Employer Assistant: SCETAURROUTE/EGIS.

Contractors :

Consortium GTM GCS : Leader and Engineer . Partners : Baudin -Châteauneuf (metallic structure), Ingérop (designer), GTM Construction (piers and foundation design). Mecasol (geotechnical design), Strates (architect) and Paysages Plus (landscape architect).

Principales quantités

Longueur : 860 m.

Portées : 9 travées :

1 x 70 m,
5 x 110 m,
1 x 100 m,
1 x 80 m,
1 x 60 m.

Hauteur des piles sous bracons : entre 20 et 53 m.

Tablier mixte, ossature métallique + hourdis béton armé.

Terrassement : 35 000 m³.

Béton : 20 000 m³.

Acier pour béton : 2 600 tonnes.

Charpentes métalliques : 4 000 tonnes.

Travaux de fondations

mi 2004 - printemps 2005

Mise en place de la charpente et bracons

fin 2004 - printemps 2006

Réalisation du tablier

mi 2006

Chaussée et équipements

mi 2006

Crédit photos :

AREA

SCETAUROUTE

GTM

Christophe HURET

PIXELLIUM Photos Aériennes

J.CHAMBARD

Main quantities

Length: 860 m.

Spans: 9 spans :

1 x 70 m,
5 x 110 m,
1 x 100 m,
1 x 80 m,
1 x 60 m.

Piers height: Between 20 and 53 m.

Deck mixed, metallic structure + reinforcement concrete top slab.

Earthworks: 35 000 m³.

Concrete: 20 000 m³.

Concrete reinforcement: 2 600 tonnes.

Metallic structure: 4 000 tonnes.

Foundation works

mid 2004 - spring 2005

Metallic structure and metallic supports erection

end 2004 - spring 2006

Deck execution

mi 2006

Pavement and equipments

mi 2006

Photos :

AREA

SCETAUROUTE

GTM

Christophe HURET

PIXELLIUM Aerial Photos

J.CHAMBARD