

## Travaux de la montée de Banassac sur l'A 75

### Difficultés géotechniques et prise en compte de l'environnement

Note  
technique

**Hubert HÉRAUD**

Chef du groupe Sols roches et risques géotechniques

**Jacques RESTITUITO**

Chef de section Géologie-terrassements - Travaux au rocher

**Jean-Jacques LEBLOND**

Chargé d'affaires

Section Géologie-terrassements - Travaux au rocher

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand

**Philippe HOBE**

Chef de la subdivision EGT 1

Arrondissement Grands travaux de l'autoroute A 75

Direction départementale de l'Équipement de la Lozère

### Introduction

Progressivement, l'autoroute A 75 achève son franchissement du Massif central entre Clermont-Ferrand et Béziers. Dans chacun des départements traversés, le ruban autoroutier s'est intégré dans un relief très fortement marqué et fondé sur une géologie très variée.

En Lozère, la montée vers les plateaux granitiques de la Margeride jusqu'à 1 121 m d'altitude, la descente vers la vallée du Lot à travers quelques niveaux de gneiss et l'ascension dans les étages marno-calcaires des Causses sont, à cet égard, exemplaires. Cette particularité s'est traduite par une succession de chantiers très intéressants dont celui de la montée de Banassac.

Ce nom « montée de Banassac » caractérisait déjà le tracé de l'ancienne RN 9 qui, à partir du village de Banassac situé dans la vallée du Lot, permettait sur plus de 6 km de se hisser sur le Causse, qui marque 350 m plus haut la limite avec le département de l'Aveyron.

L'autoroute A 75 ayant été construite à cet endroit en aménageant sur place la route nationale, le nom est tout naturellement resté.

Le chantier qui a coûté environ 270 millions de francs (terrassements, chaussées, ouvrages d'art)

a duré plus de trois ans et s'est distingué par plusieurs aspects :

- la construction préalable d'un important réseau de voiries complémentaires dans un site très exigu et escarpé : en particulier un itinéraire de substitution important (10 km avec des caractéristiques de route nationale) et plusieurs autres voies de désenclavement des riverains de l'ancienne RN 9 ;
- la mise en dépôt définitive d'une grande quantité de matériaux excédentaires ;
- les efforts particuliers pour préserver au maximum l'environnement initial notamment la ressource en eau de la commune de Banassac, l'existence d'une colonie de chauves-souris (grandes rhinolophes) et le caractère exceptionnel du paysage.

Mais sa particularité essentielle a été sans aucun doute la réalisations de talus de très grande hauteur surplombant sur 1,3 km le tracé taillé dans le flanc d'une falaise très impressionnante par sa morphologie, sa constitution et ses dimensions.

En résumé, la morphologie très marquée du site et les horizons géologiques variés se sont traduits par de multiples problèmes techniques dont les principaux sont présentés ci-après : réalisation d'importants talus rocheux, stabilité de déblais, problèmes hydrogéologiques d'environnement et d'insertion paysagère de l'en-

semble du projet et notamment des talus et des zones de dépôts.

### Contexte du chantier

La RN 9 dans la montée de Banassac était constituée d'une plate-forme routière à trois voies. Les travaux ont eu pour but de réaliser une plate-forme autoroutière à 2 × 3 voies avec piège à cailloux de 5 à 15 m de largeur et des talus de déblai pouvant atteindre près de 80 m de hauteur (fig. 1).

Du nord vers le sud, le projet recoupe des horizons géologiques allant du Lias, essentiellement marneux, au Dogger essentiellement calcaire. Il recoupe plusieurs particularités géotechniques importantes :

- le glissement de Tartaronne (écroulis de Tartaronne) ; environ 1000 000 m<sup>3</sup> de matériaux sont susceptibles d'être réactivés par les travaux ;
- la zone du dièdre, découpée par un système de fractures naturelles est à l'origine d'un ancien glissement de l'ordre de 1000 000 m<sup>3</sup> ;
- les importants déblais calcaires avec des talus de près de 80 m de hauteur, la mise en œuvre de découpage et la prise en compte de contraintes paysagères ;
- le réseau karstique de Roquaïzou, site sensible présentant un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, spéléologique et zoologique.

## Montée de Banassac

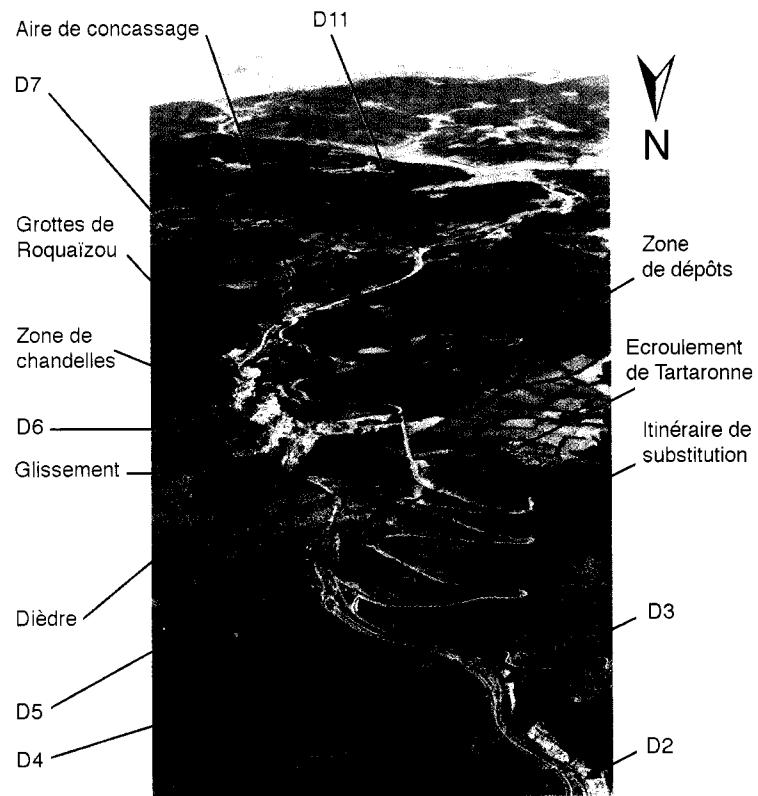


Fig. 1 - Vue générale du tracé de l'A 75 (à gauche) et de l'itinéraire de substitution (lacets à droite) utilisé pendant les travaux.



Fig. 2 - Falaise calcaire naturelle (Bajocien) au droit de la montée de Banassac. Les parties meubles (argile-dolomie sableuse) ont été dégagées par l'érosion ; seules subsistent à l'avant de la falaise de nombreuses « chandelles » calcaires. Ces hétérogénéités se retrouvent à l'arrière de la falaise.

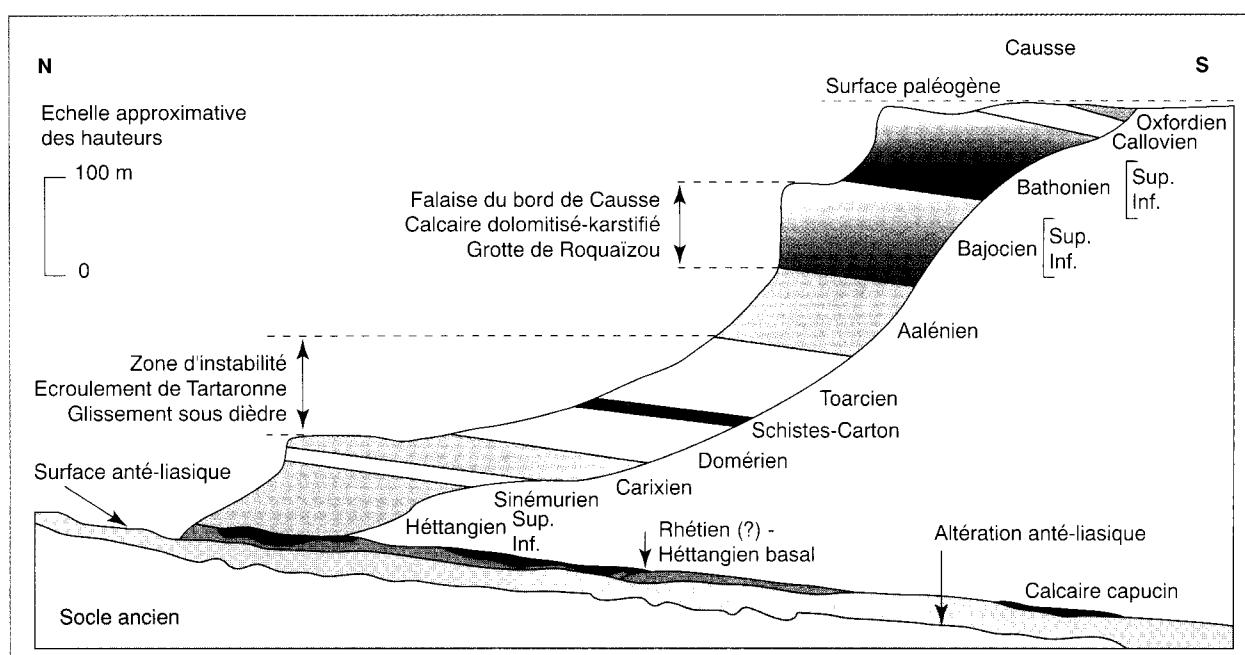


Fig. 3 - Succession géologique des terrains rencontrés.

Le mouvement des terres comporte environ 2 000 000 m<sup>3</sup> de matériaux dont 380 000 m<sup>3</sup> seulement sont réutilisés en remblai ou concassage. La mise en dépôt des matériaux excédentaires, entre 1 500 000 et 1 700 000 m<sup>3</sup> dans un contexte morphologiquement difficile et sensible du point de vue de l'environnement constitue une contrainte supplémentaire importante.

## Commentaires sur les études géotechniques

Les reconnaissances géotechniques ont été réalisées à partir d'investigations classiques comprenant notamment observations géologiques, mesures géophysiques, sondages mécaniques, diagrapiques, essais géotechniques.

Si globalement les différentes méthodes sont complémentaires et bien adaptées au site, il en ressort après travaux quelques points qui auraient mérité une plus grande attention.

**Géologie.** Une étude stratigraphique détaillée aurait certainement permis de mieux cerner les limites des différentes unités géologiques, leurs hétérogénéités éventuelles (dolomitisation des calcaires) et de distinguer les niveaux les plus karstifiés.

Par ailleurs, on retiendra que les affleurements rocheux observables sur le terrain ne représentent en réalité que la morphologie résiduelle du site (fig. 2 et 3). Les parties meubles ont été en grande partie dégagées par l'érosion.

**Sondages carottés.** Ils doivent rester la base des investigations applicables à la reconnaissance d'un massif rocheux. Dans le cas présent, malgré l'existence de falaises rocheuses, et indépendamment des questions financières ou de délai, il aurait été utile de multiplier les carottages. Les hétérogénéités auraient été mieux cernées et les niveaux karstifiés mieux identifiés.

**Taux de carottage.** Une attention particulière doit être portée à toutes les zones où le pourcentage de récupération de carotte n'est pas égal à 100 %. Il s'agit le plus

souvent de zones meubles ou sableuses dont le rôle est déterminant dans la stabilité des talus.

## Dimensionnement du projet

Les pentes de talus de déblais, éléments essentiels de ce projet, ont été au départ définies à partir des résultats de reconnaissances géotechniques. Par la suite, compte tenu de la sensibilité du site, du point de vue de l'environnement, des adaptations paysagères ont dû être envisagées, notamment pour les zones de déblais les plus importantes. La réalisation d'une maquette a notamment permis de visualiser les morphologies recherchées et d'établir certains profils en travers du projet (fig. 4) : arrondis de talus, retour de talus aux extrémités, découpage, position des bermes, piège à cailloux, emplacements des « chandelles » à réaliser. Ces zones en relief avaient pour but de rappeler la morphologie naturelle du site.

## Techniques de réalisation

La réalisation des terrassements de l'ensemble du chantier de Banassac a nécessité l'extraction par minage de la plus grande partie des déblais.

De plus, la technique de pétardage a été mise en œuvre pour éliminer les plus gros blocs, et les principaux talus ont été découpés.

## Minage

Environ 1 450 000 m<sup>3</sup> de matériaux ont été minés. Ils ont nécessité la mise en œuvre de 877 tirs pour une utilisation de 547 t d'explosif, répartis en 79 % de nitrate fioul (D8) et 21 % d'émulsion encartouchée (TX5). Environ 40 000 détonateurs ont été utilisés. Les travaux se sont étalés sur quinze mois avec une moyenne de quatre unités de forage. La production moyenne était de 25 000 m<sup>3</sup> par semaine avec une production hebdomadaire maximale voisine de 60 000 m<sup>3</sup>.

Le plan de tir type avait les caractéristiques suivantes :

- foration : diamètre 89 mm - hauteur 6 m ;
- maille : 3 m × 3,50 m ;
- nombre de rangées : 7 ;
- nombre de lignes : 8 soit 56 trous ;
- charge par trou :
- une cartouche 2,1 kg d'émulsion en pied,
- 3,40 m de nitrate fioul en vrac soit 21,8 kg en colonne,
- bourrage : 2,20 m ;

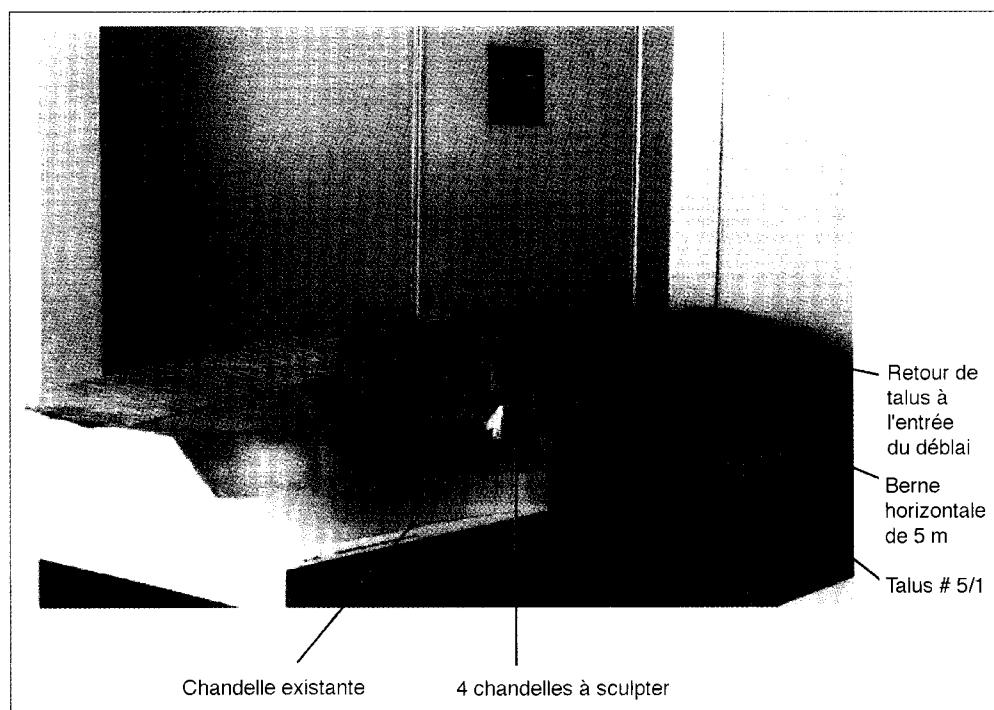


Fig. 4 - Après travail en commun concepteur-paysagiste-géotechnicien, la maquette a été réalisée et a servi à l'établissement de certains profils en travers du projet.

- charge spécifique d'explosif : 380 g/m<sup>3</sup> ;
- charges unitaires instantanées maximales moyennes de l'ordre de 75 kg à 100 kg.

La principale difficulté rencontrée avec ce schéma de tir a concerné la granularité obtenue après les tirs qui a contribué à diminuer les rendements des ateliers de chargement. La présence de gros blocs a en effet nécessité des pétardages secondaires ainsi que l'emploi à mi-temps d'un brise-roche.

La systématisation de ce type de plan de tir a présenté quelques inconvénients en cours de chantier, notamment :

- des erreurs de réglage de fond de forme qui ont nécessité soit des tirs de reprise avec une surprofondeur importante (localement 1,50 m), soit un remblaiement ;
- des volées mélangeant plusieurs faciès de roche, occasionnant des problèmes de tri notamment pour le concassage, voire des mises en dépôt définitif de matériaux de bonne qualité.

La charge des trous ayant toujours été réglée sur la hauteur du bourrage (2,20 m), il en est résulté des surconsommations d'explosif en raison, d'une part, de l'existence de nombreux vides, karst, ou diaclases et, d'autre part, du diamètre réel de foration souvent supérieur de quelques millimètres au diamètre théorique.

## Découpage

Plus de 36 000 m<sup>2</sup> de talus ont été découpés selon la technique suivante :

- foration en diamètre 89 mm sur une hauteur de 12 m utile ;
- espacement entre trous : 0,90 m ;
- chargement par trou : 11 m de cordeau détonant 70 g/ml ;
- une cartouche de 500 g d'émulsion en pied ;
- dernier mètre en cordeau détonant 12 g ;
- bourrage en gravettes.

Les tirs moyens comportaient une cinquantaine de trous pour une longueur d'environ 45 m reliés par série de dix et amorcés par un détonateur électrique à micro-retard.

Au niveau de la foration, on a noté assez peu de déviations sauf pour les trous ayant rencontré des discontinuités subverticales franches. Par contre, on a pu noter de fréquentes erreurs d'implantation dues à un mauvais positionnement de la machine lié à une mauvaise plate-forme de départ (fig. 5).

On peut estimer que la hauteur de foration de 12 m dans ce type de matériaux (calcaire vacuolaire relativement hétérogène) doit être considérée comme un maximum. Il en résulte un certain nombre de bermes techniques liées à chaque passe de foration qui accentuent la stratification du massif (fig. 6).

## Franchissement des zones de glissement

Deux glissements importants de l'ordre de 1 000 000 m<sup>3</sup> chacun ont été recoupés par le tracé. Ces instabilités sont liées au contexte géologique du site caractérisé par des niveaux calcaires épais et massifs reposant sur des marnes peu stables (cf. fig. 3).

## Le déblai de Tartaronne

Il recoupe latéralement une petite partie de « l'écroulis de Tartaronne » constitué d'une énorme masse de matériaux calcaires provenant de la falaise calcaire située en contre-haut et reposant sur les marnes du Toarcien. Cette masse s'est révélée constituée de panneaux calcaires de grandes dimensions (jusqu'à plusieurs dizaines de mètres cubes, disposés de façon chaotique) instables vis-à-vis de la pente de 1/1 prévue au projet.

Le problème a été traité par purges des matériaux avec adoucissement de la pente de talus en partie supérieure, et mise en place d'un masque rocheux.

L'une des difficultés de ce secteur a été liée au minage en raison des vibrations à basse fréquence se propageant à la faveur du substratum marneux (2,5 à 5 Hz). Les valeurs crête de vibration ont dû être limitées à 2,5 mm/s durant tout le chantier.



Fig. 5 - Talus découpé en cordeau détonant de 70 g. Les erreurs d'implantation de forage sont dues à une mauvaise plate-forme de départ.

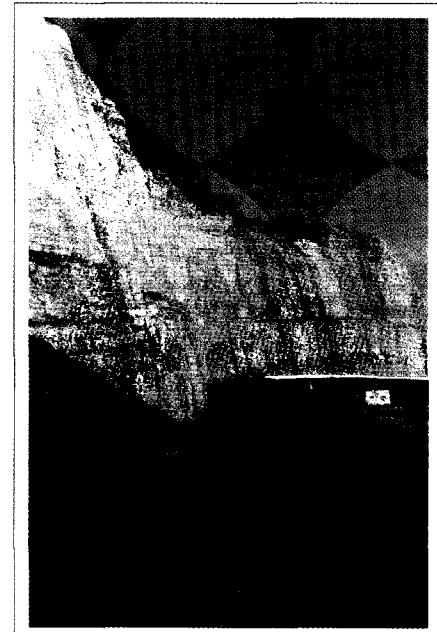


Fig. 6 - Exemple d'un talus de près de 80 m de hauteur découpé. La réalisation de forages par passes de 12 m de hauteur ne fait que renforcer la stratification.

## La zone du Dièdre

Elle correspond, au droit du tracé, au point de départ d'un important écoulement rocheux ancien qui s'est étalé sur tout le versant en contrebas.

La surface de glissement se situe à 42 m de profondeur sous le tracé et les déformations actuelles, estimées à partir d'indices morphologiques de surface, se font à une vitesse moyenne d'environ 1 centimètre par an.

Compte tenu de l'importance des masses en mouvement, toute solution confortative définitive aurait nécessité des moyens considérables. Les techniques suivantes ont été mises en œuvre : allégement de la masse instable en crête, drainage des eaux en crête de talus, mise en place d'un matelas de matériaux 0/31,5 entouré d'un géotextile sous la couche de forme, et mise sous surveillance du site par suivi inclinométrique.

## Protection du réseau karstique de Roquaïzou

La grotte de Roquaïzou, située quelques mètres sous la plate-forme de l'autoroute, a constitué un point sensible du projet en raison de son triple intérêt, hydrogéologique (alimentation en eau du village de Banassac), faunistique (existence d'une colonie de chauves-souris), et touristique (spéléologie). Il s'agit d'un réseau karstique subvertical perpendiculaire au tracé et qui remonte jusqu'à l'arase terrassement (fig. 7).

Les terrassements rocheux de ce secteur, initialement prévus au brise-roche hydraulique, ont finalement été réalisés à l'explosif en mettant en œuvre, pour les dernières passes, des techniques de charges étagées avec amorçage séquentiel. Les charges unitaires maximales mises en œuvre n'ont pas dépassé 1 kg. Les zones de karst mises au jour ont été comblées par des enrochements sur lesquels ont été mis en place une géomembrane imperméable et un matelas de matériaux souples.

Pendant la phase de travaux, on pouvait craindre des pollutions liées à l'entraînement des fines lors d'épisodes pluviométriques, ou en relation avec l'emploi d'explosifs nitratés. Le suivi physico-chimique continu de la qualité des eaux n'a révélé aucune anomalie.

Les chauves-souris initialement présentes dans la grotte ont continué à hiberner sur le site, y compris pendant les travaux.

## Gestion des dépôts

Le projet étant excédentaire de plus de 1 500 000 m<sup>3</sup>, la situation des dépôts et leur distance par rapport aux sites d'extraction était un enjeu économiquement très important.

Il a fallu trouver des zones de dépôts répondant au double objectif de distance de transport minimale et de fonctionnement du chantier en sections totalement indépendantes.

Au total, onze lieux de dépôts ont ainsi été retenus, des aires aménagées d'anciennes carrières comblées, une doline reconstituée, une autre comblée, des pièges à cailloux aménagés avec des matériaux meubles, des parcelles agricoles remodelées (fig. 8).

Chaque site a fait l'objet d'une étude géotechnique et paysagère. Tous les dépôts, revêtus de terre végétale, ont été soit revégétalisés, soit restitués à l'agriculture.

## Prise en compte de l'environnement

D'une manière générale sur le chantier de la montée de Banassac, la prise en compte des contraintes d'environnement a été un souci constant du maître d'œuvre-maître d'ouvrage. Elle s'est traduite notamment par la création d'une équipe pluridisciplinaire comprenant maître d'œuvre-géotechnicien-paysagiste dont la collaboration permanente s'est traduite par un résultat tout à fait satisfaisant.

On ne s'est pas contenté de rajouter une petite touche de paysage aux travaux de terrassement ; on a pensé et raisonné paysage, environnement, géotechnique et aspects financiers depuis la phase étude jusqu'aux travaux de terrassement.

Les points suivants ont notamment fait l'objet d'une attention particulière :

- mise en évidence et accentuation des particularités géologiques (glissements, failles, etc.) ;
- protection des zones karstiques pendant et après travaux ;
- aménagements paysagers de toutes les zones de dépôts par végétalisation ou restitution de terres à l'agriculture ;
- traitement paysager de tous les talus de déblai ou remblai.

Les talus de déblais ont été retournés aux extrémités, des bermes intermédiaires ont été réalisés pour rompre une trop grande monotonie et la partie supérieure de talus a été arrondie.

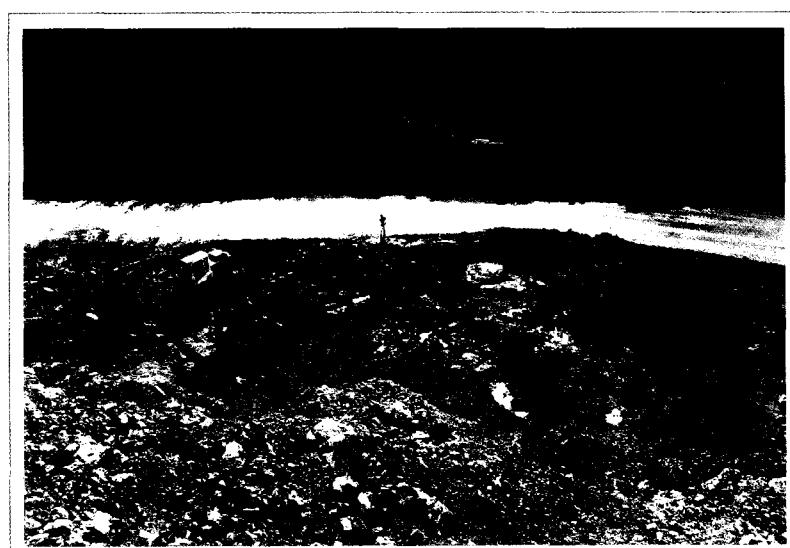
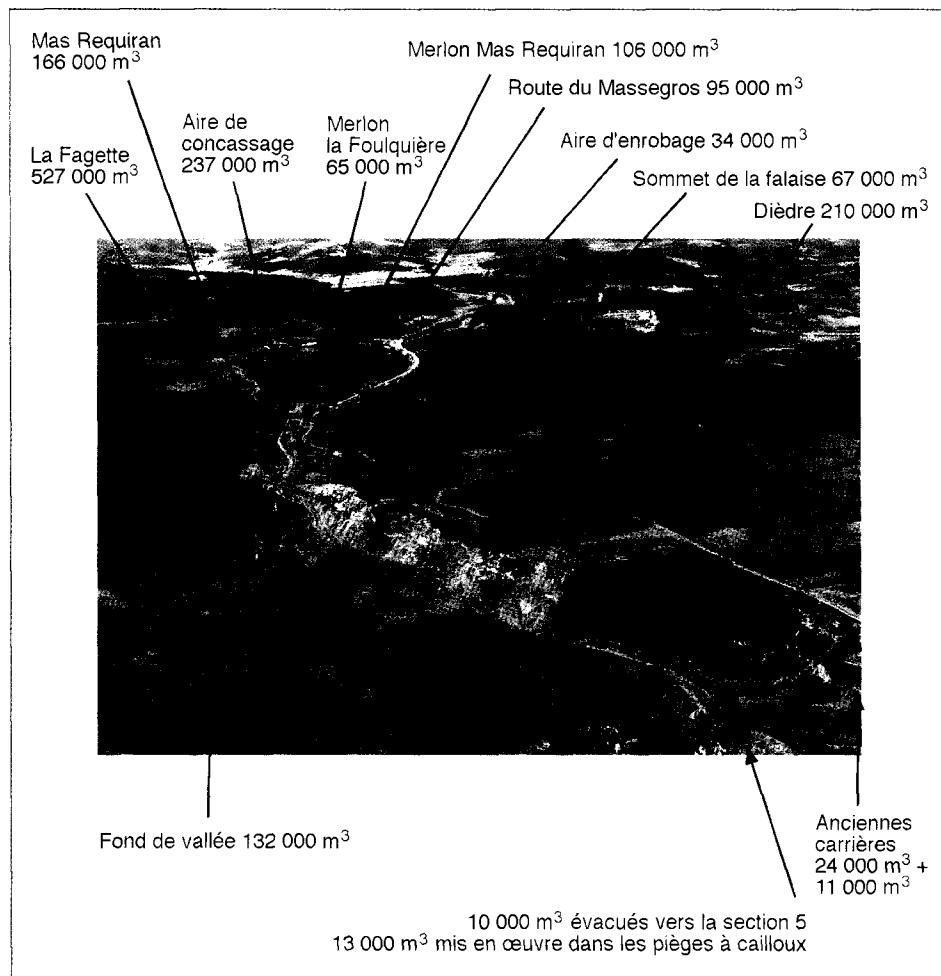


Fig. 7 - Réseau karstique de Roquaïzou au droit de la plate-forme autoroutière. Sur les trois fissures parallèles, deux sont visibles à droite, la troisième à gauche est en cours de remblaiement par des enrochements.

**Fig. 8 - Répartition des principales zones de dépôts.**



Les talus de déblais réalisés dans le Bajocien supérieur, prévus avec une pente à  $45^\circ$ , ont été adoucis à  $38^\circ$  afin d'éviter la mise en place de grillage de protection. Enfin, on a cherché à sculpter plusieurs chandelles destinées à rappeler la morphologie naturelle du site environnant.

## Conclusion

Les importants travaux du tronçon « montée de Banassac » de l'A 75 comportaient des volumes très importants de matériaux rocheux et des hauteurs exceptionnelles de déblais dans un environnement sensible. Ils ont pu être menés à bien dans de bonnes conditions, grâce à la constitution d'une équipe pluridisciplinaire ayant fait preuve d'une grande adaptabilité et de beaucoup de réalisme pendant les travaux (cf. fig. 8). Un tel projet ne peut être conduit par un seul partenaire.

Le suivi continu de la part de cette équipe a permis d'optimiser en permanence tous les dispositifs confortatifs et de retenir les meilleures adaptations paysagères.

Pour ce qui concerne les études, on retiendra que la morphologie observable au droit d'une falaise n'est que la morphologie résiduelle et n'est pas nécessairement extrapolable à l'intérieur du massif.

Sur un site rocheux où le poste minage représente une partie importante, il est nécessaire d'adapter en permanence les plans de tirs, et d'avoir une maîtrise parfaite de la géométrie des forages dans l'espace, que ce soit pour l'abattage ou le découpage.

La gestion des zones de dépôts sur un site largement excédentaire doit être considérée très à l'amont, dès les études préliminaires, si l'on veut optimiser les distances de transport en tenant compte et en exploitant au maximum les pentes du terrain naturel.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DURVILLE J.-L., HÉRAUD M. (1995), Description des roches et des massifs rocheux, in *Techniques de l'Ingénieur*, chapitre C 352, 12 pages.

SETRA-LCPC (1998), *Le déroctage à l'explosif dans les travaux routiers*, Guide technique, avril, 69 pages.

CASTEL J., HOBE P., RENAC L. (1997), Achèvement de l'A 75 en Lozère. La montée de Banassac, couronnement de dix ans de chantier, *Revue générale des Routes et Aérodromes*, 754, septembre, 5 pages.