

MARETTE, L. et LAUGA, C., SNCF — Département Energie, France
HERMENT, R., Shell Française, France
LE COROLLER, A., Colas S.A., France

L'ETANCHEITE PAR UNE GEOMEMBRANE BITUMINEUSE DU BASSIN DE LA RIBEROLE A 1625 M. D'ALTITUDE

WATERPROOFING BY A BITUMINOUS GEOMEMBRANE OF THE RIBEROLE RESERVOIR AT 1625 M. ALTITUDE

DICHTUNG DES RIBEROLE-SPEICHERBECKENS IN 1625 M HÖHE MIT EINER BITUMINÖSEN GEOMEMBRANE

Le réservoir alimentant la mini-centrale de la Ribérole (Pyrénées Orientales) a été étanché avec un système d'étanchéité comprenant :

- une géomembrane bitumineuse armée Coletanche NTP 2
- un géotextile anti-poinçonnant
- une recharge en tout-venant
- des enrochements en protection antibatillage.

Ce système d'étanchéité est :

- pérenne dans les conditions d'exploitation d'une retenue située à 1 600 m d'altitude, couverte de glace en hiver, subissant des marnages quotidiens de 3 à 4 m, et pouvant recevoir d'éventuelles chutes de blocs,
- circulaire par les engins qui devront assurer le dégravement,
- économique à la pose, compte tenu des conditions d'accès difficile au chantier.

The storage reservoir of the Ribérole hydro-electric mini powerstation (Eastern Pyrenees) has the following waterproofing system :

- a reinforced bituminous geomembrane Coletanche NTP 2
- an anti-punch geotextile
- a blanket of material extracted from the site
- a rockfill in the wave action zone.

This system is :

- very longlasting under the service conditions of a reservoir located at 1 600 m altitude, covered with ice in winter, having a daily drawdown range of 3 to 4 m and possible fall of boulders into the basin,
- capable of supporting the circulation of the vehicles used for taking away the gravels that will accumulate in the basin during service,
- cheap to lay, considering the difficult access conditions of the site.

1. EQUIPEMENT HYDRO-ELECTRIQUE DE LA VALLEE DE LA TET

La Société Hydro-Electrique du Midi (SHEM) filiale à 80 % de la SNCF a obtenu en 1965 la concession d'une centrale hydro-électrique intercalée dans la chaîne des centrales SNCF qui utilisent les eaux de la Têt (Pyrénées Orientales). Plus récemment en 1983 elle a également obtenu l'autorisation d'équiper la chute de la Ribérole, affluent de la Têt.

Les eaux de ce dernier ont été captées et alimentent une mini centrale située à Prats-Balaguer sur la rive droite du Têt à 10 km de Mont-Louis et en amont de la prise d'eau de la centrale de Fontpedrouse (fig. 1). Les lignes qui suivent étudient l'aménagement de cette mini centrale utilisant les eaux de la Ribérole et plus particulièrement l'étanchéité de sa retenue. Celle-ci permet de produire surtout au printemps (tableau 1) le courant électrique aux heures de pointe, les besoins de l'exploitation nécessitant un stockage d'eau.

Notons que la vallée de la Têt de Prades à Mont Louis possède une ligne de chemin de fer électrique à voie métrique dont certains des ouvrages d'art construits par Séjourné à la fin du XIX^{ème} siècle se signalent par leur beauté et leur hardiesse.

2. AMENAGEMENT DU COURS D'EAU DE LA RIBEROLE.

L'aménagement de ce cours d'eau comporte.

2,1. Une prise principale située à la cote 1632 NGF (débit prévu 0,84 m³/s) comprenant :

- les ouvrages de prise (grilles, désablage vanne de tête, ...)
- un dispositif de régulation du débit quel que soit le niveau de l'eau,
- deux prises d'eau auxiliaires sur deux petits ruisseaux voisins, cote 1635 NGF.

2,2. Une conduite métallique ϕ 0,80 m enterrée en forêt et amenant l'eau à la retenue située sur le plateau d'Aumet.

2,3. La retenue d'eau implantée à la cote 1625 NGF, d'un volume utile de 20 000 m³ avec ses accessoires (vidange de fond, déversoir de 8 m³/s et une prise d'eau protégée par une grille).

2,4. Une conduite métallique ϕ 0,75 m amenant l'eau en charge de la retenue à l'usine. Sur son cours une prise fournit de l'eau pour l'arrosage des terrains voisins. Cette conduite forcée est totalement enterrée.

2,5. L'usine : Cette usine est située à la cote 1 200 NGF. Son bâtiment à ossature béton et murs parpaings d'une surface de 100 m² et haut de 15 m comprend :

- Une turbine Pelton à un jet et à axe horizontal (débit 0,8 m³/s, hauteur de chute 432 m, nombre de tours/minute 375) d'une puissance de 3 000 kW.

Tableau 1 : Apports mensuels d'eau de la Ribérole en m³/s - (Etude d'impact d'Août 1981)

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb.	Octobre	Novemb.	Décemb.
Débit	0,1	0,13	0,5	1	2,6	2,4	0,9	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

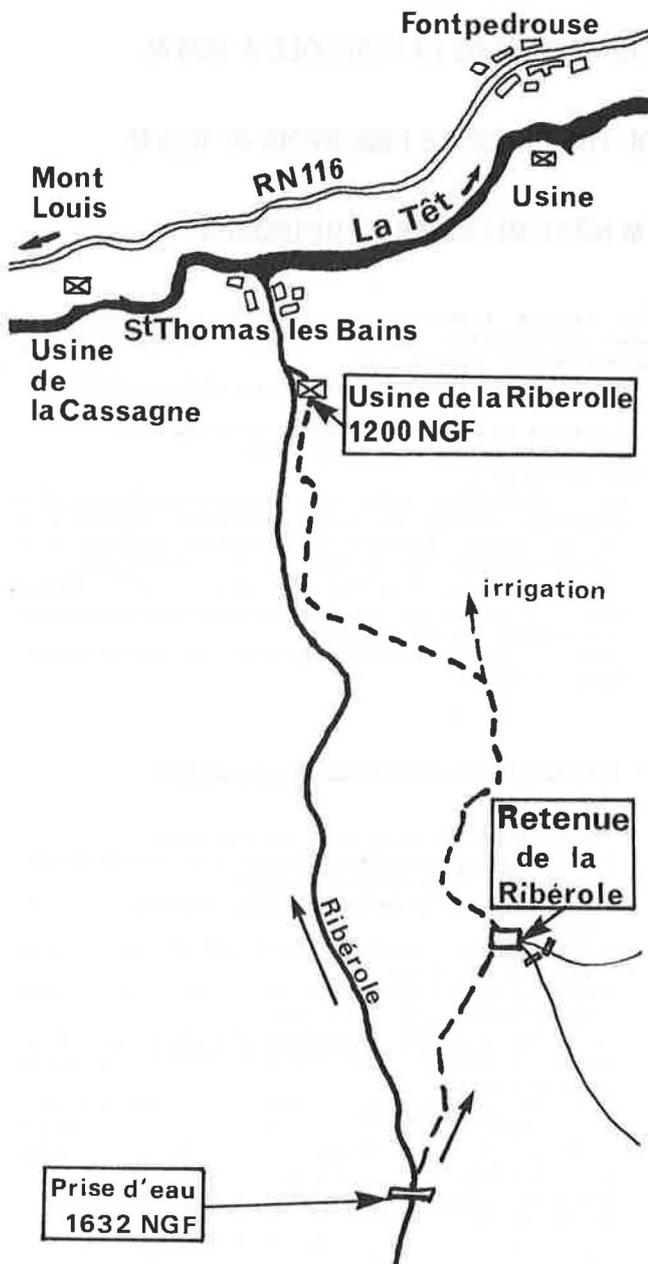


Figure 1 - Site de la retenue de la Ribérole

- Un alternateur Jeumont avec élévateur de 10 à 20 kV un disjoncteur et des services auxiliaires pour la sécurité et le contrôle du groupe.
 Cette centrale est exploitée automatiquement sans intervention humaine, l'entretien étant assuré par le personnel de la centrale voisine de la Cassagne.
 L'eau turbinée est rejetée dans le ruisseau à son confluent avec la Têt.

3. ETUDE DU BASSIN DE RETENUE.

3.1. Caractéristiques :

Ce bassin de retenue accumule l'eau du ruisseau et la restitue à débit constant lors des périodes où il faut produire du courant. Le volume stocké est de 20 000 m³ et la surface en contact avec l'eau, donc devant être étanche, est de 12 000 m² : 8 000 m² en radier et 4 000 m² pour la digue et les talus périphériques.

L'étanchéité requise doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- imperméabilité (perméabilité $\ll 10^{-6}$ m/s),
- pérennité dans les conditions d'exploitation à 1600 m d'altitude, c'est-à-dire résistante au gel, au soleil, à la glace, au marnage de l'eau, aux déchirures, coups et chutes de blocs,
- supporter la circulation de camions sur le fond du bassin nécessaire pour assurer le curage,
- économie de pose compte tenu des difficultés d'un chantier en montagne.

3.2. Etude de faisabilité

Cette étude a été effectuée préalablement aux travaux par la Société FTM (FONDATIONS & TRAVAUX MINIERES) dans le but de :

- définir la nature des sols au droit de la digue et du bassin,
- caractériser le substratum rocheux,
- calculer la perméabilité des sols,
- connaître l'aptitude des terres à la construction du corps de la retenue.

Elle a débuté par la réalisation de quatre forages carottés de 10 à 13 m de profondeur dont deux ont été équipés en piezomètres. Après leur perforation des essais d'injection d'eau type "Lefranc" ont été effectués.

L'ensemble de ces mesures a conduit aux résultats suivants :

Géologie : Le sous sol comporte (figure 2):

- des formations superficielles constituées d'éléments rocheux de diamètre variable (sables agglomérés, gravières, cailloux) liés par 30 à 70 % de matière argileuse. Ces granulats proviennent des versants et des dépôts alluvionnaires du ruisseau.
- un substratum rocheux de schistes gris micacés riches en filonnets de quartz et que l'on trouve vers 5 mètres. Les schistes sont inclinés de 50 à 70° par rapport à l'horizontale.

Etat Physique : Les roches présentent une fracturation intense.

Perméabilité importante des terrains : On constate en surface et sur plusieurs mètres des circulations d'eau alimentées par le ruisseau dont le niveau supérieur oscille entre la surface et moins un mètre, puis en profondeur au niveau de la roche des circulations d'eau dans les fractures. Ainsi les sols et les roches sont très perméables (respectivement $K=5 \times 10^{-4}$ et 10^{-3} m/s), la perméabilité augmentant avec la profondeur.

Maniabilité des sols : Ceux-ci sont meubles sur 5 m de profondeur avec un pourcentage réduit d'argile : ils sont donc aisés à ripper ce qui permettra l'utilisation d'un matériel de génie civil traditionnel (pelles, bulldozer).

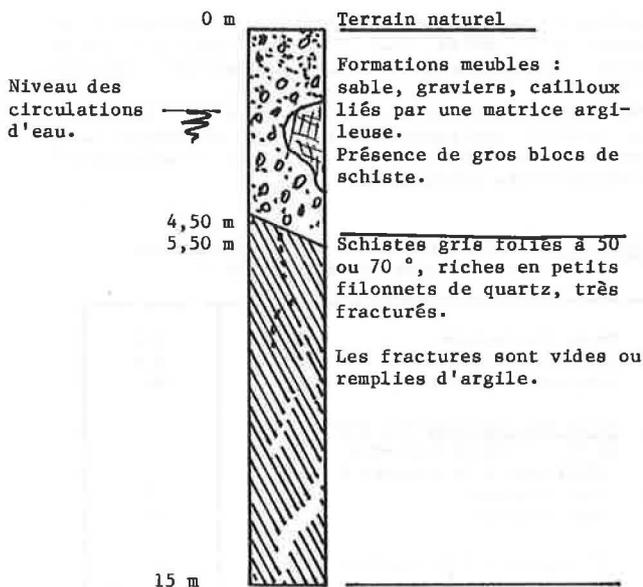


Figure 2 - Coupe du sol au droit de la retenue

3.3. Préconisations :

Ces résultats conduisent aux préconisations suivantes

- les terrassements et la digue (noyau en éléments argileux, perrés en schistes) seront faciles à réaliser,
- en l'absence d'argile d'une qualité suffisante il faudra poser sur les 12 000 m² de la retenue un film étanche.
- un réseau de drains en fond de retenue sera implanté pour capter les circulations d'eau. Ce réseau alimentera un collecteur longitudinal qui traversera la digue et évacuera à l'aval dans une fosse. Les eaux ainsi collectées pouvant atteindre en certaines périodes un débit de 50 l/s seront pompées dans la retenue.

4. CHOIX D'UNE ETANCHEITE :

Différents types d'étanchéité en film existent : l'Entreprise FTM a préconisé une membrane en bitume Shell Mexphalte SM3 appliquée sur place en deux ou trois couches de 3 à 5 kg/m² chacune sur une armature en non-tissé polyester.

Ce procédé présente les avantages intrinsèques suivants :

- résistance à l'eau qui ne détériore pas le liant,
- maintien de la souplesse de la géomembrane sous exposition aux rayons ultra-violetts,
- résistance aux micro-organismes et agents chimiques, capacité à épouser les mouvements du terrain,
- stabilité au froid,
- très grande résistance,
- soudures, pose et réparations faciles,
- absence de plis à la mise en oeuvre facilitant ainsi les opérations de soudures.

De nombreuses références en étanchéité bitume existent : sans aller jusqu'aux rappels de réalisations en Mésopotamie dépassant 30 siècles, et encore visibles à ce jour, les membranes de bitume armées fabriquées sur place ou préfabriquées (près de deux millions de m² en France depuis 10 ans) se sont considérablement développées. En particulier l'exécution de ces membranes au bassin d'eau d'Avoriaz ayant des dimensions similaires pour une même altitude que la retenue de la Ribérole a été un précédent riche d'enseignements.

Toutefois après une étude poussée il a été décidé de substituer à la membrane bitumineuse armée préparée in situ une membrane bitumineuse armée préfabriquée. En effet l'application sur place d'un bitume chaud est tributaire des conditions atmosphériques : or le climat des Pyrénées Orientales est caractérisé par une pluviosité forte en altitude : des forts orages journaliers sont fréquents à la belle saison qui devait être choisie pour ces travaux en montagne.

5. CARACTERISTIQUES DE L'ETANCHEITE RETENUE :

La membrane bitumineuse armée doit naturellement être revêtue par une couche de protection en terre pour être :

- protégée contre les chocs accidentels, chutes de pierres, glaces, ainsi que contre le vieillissement provoqué par le soleil,
- lestée pour résister aux sous-pressions constatées sur place,
- insensible aux turbulences de l'eau et à l'action des animaux fouisseurs,
- circulaire et permettre le passage d'engins et camions pour le curage et l'entretien de la retenue.

5.1. Assise de l'étanchéité

La surface support de l'étanchéité est décappée éventuellement pour enlever la terre végétale, nivelée grossièrement avec adoucissement des dénivelés et réduction des aspérités puis compactée.

5.2. Constitution de l'étanchéité

Celle-ci comporte :

- une membrane bitumineuse armée Colétanche type NTP2 épaisse de 3,9 mm,
- un feutre de Géofelt MT 500 de 5 mm d'épaisseur protégeant cette membrane contre le poinçonnement par les granulats du remblai susjacent,
- une couche de remblai extraite sur place épaisse de 50 cm recouverte sur le parement de la digue et les talus en berge de la retenue d'enrochements schisteux 100/400.

5.3. Membrane bitumineuse armée préfabriquée

Ces membranes Colétanche préfabriquées en usine en bandes larges de 4 m sont très homogènes. Leur constitution est en partant de la face inférieure :

- un film antiperforation pour éviter les remontées de la végétation éventuellement surmonté d'un voile de verre,

- une armature en polyester non-tissé imprégnée et revêtue d'une couche de bitume 100/40 contenant un pourcentage de filler < 0,1 mm n'excédant pas 25 %,
- un sablage,
- un film anti-adhérent.

Le tableau 2 donne les caractéristiques de la géomembrane Colétanche NTP 2 appliquée.

Il résulte de la lecture de ce tableau que le Colétanche NTP 2 présente des qualités parfaitement adaptées au site de la Ribérole :

- résistance à la traction dans tous les sens élevée,
- allongement à la rupture important,
- parfaite étanchéité ($K < 10^{-13}$ m/s),
- adaptation totale aux déformations,
- résistance élevée aux déchirures, poinçonnement et fissuration,
- résistance excellente au vieillissement et fluage sur pente, aux agents naturels (soleil, ozone, froid, végétation),
- application aisée (facilité, fiabilité des soudures)

5.4. Feutre Geofelt

Le feutre Geofelt MT 500 est un géotextile anti-poinçonnant constitué de 400 g/m² de fibres 100 % polypropylène de 50 mm de longueur liées entre elles mécaniquement par aiguilletage et armé d'un support tissé de polypropylène de 100 g/m². Il offre les caractéristiques suivantes :

- caractère anti-poinçonnant : par protection de l'étanchéité sous-jacente contre les aspérités des granulats du remblai et ce jusqu'à des pressions de 1 300 kPa donc supérieures au gonflement des pneus de poids lourds,
- impuissance et résistance aux agents chimiques,
- qualités mécaniques : Le Geofelt MT 500 dans l'essai de traction NFG 07001 présente une résistance à la rupture :
 - . dans le sens de la longueur de 10 kN/m sec et 9,6 kN/m mouillé,
 - . dans le sens travers de 8 kN/m sec et 7 kN/m mouillé.

L'allongement à la rupture est égal à 50 % dans le sens production ou dans le sens travers, permettant de répartir les charges localisées, continues ou momentanées élevées.

- compressibilité : du fait de son épaisseur de la résistance et des possibilités d'allongement du support, ce feutre absorbe les chocs et répartit les contraintes ponctuelles ou étalées; il forme donc écran aux ondes de chocs en les brisant et en évitant la déchirure de l'étanchéité,
- manipulation aisée : il est livré en bobines de 50 m de long par 2 m de large pesant 48 kg seulement : mise en oeuvre facile par déroulement, économique à l'achat, au transport et à la pose.

5.5. Remblai protecteur

Compte tenu des qualités intrinsèques du Colétanche NTP2 et du Geofelt MT 500 le remblai n'a pas à présenter de qualités particulières. Il utilisera les terres tout-venant 0-50 mm trouvées sur place et sera recouvert le long de la digue et sur les talus d'enrochements en roches schisteuses extraites sur place 100/400 mm.

Un essai de poinçonnement a été mené sur place en déversant le tout-venant sur le Colétanche protégé par le Geofelt et en réalisant une rampe d'une

épaisseur croissant de 0,05 à 0,50 m supportant la charge d'un camion (vue 2). Cet essai n'a montré aucun poinçonnement de la géomembrane dès que l'épaisseur du remblai atteint 0,10 m. Pour prendre un coefficient de sécurité l'épaisseur de remblai appliquée sera de 0,5 m. Ce remblai sera compacté en pleine épaisseur avant l'application éventuelle des enrochements.

Tableau 2 - Caractéristiques de la Géomembrane Bitumineuse COLETANCHE NTP 2

Masse surfacique	(kg/m ²)	4,5
Epaisseur	(mm)	3,9
Longueur des rouleaux	(m)	80
<u>Essai de traction NFG 07001</u>		
20 °C - Vitesse 1,6 mm/s		
- Résistance à la rupture k N/m		
Sens longueur		20
Sens largeur		15
- Allongement à la rupture en %		
Sens longueur		35 à 45
Sens largeur		35 à 45
<u>Coefficient de perméabilité K</u>		
Pressions (kPa)		K (m/s)
50		8,5 10 ⁻¹⁴
100		7,4 10 ⁻¹⁴
250		2,7 10 ⁻¹⁴
500		1,3 10 ⁻¹⁴
750		9,8 10 ⁻¹⁵



Vue 1 - Essai de poinçonnement

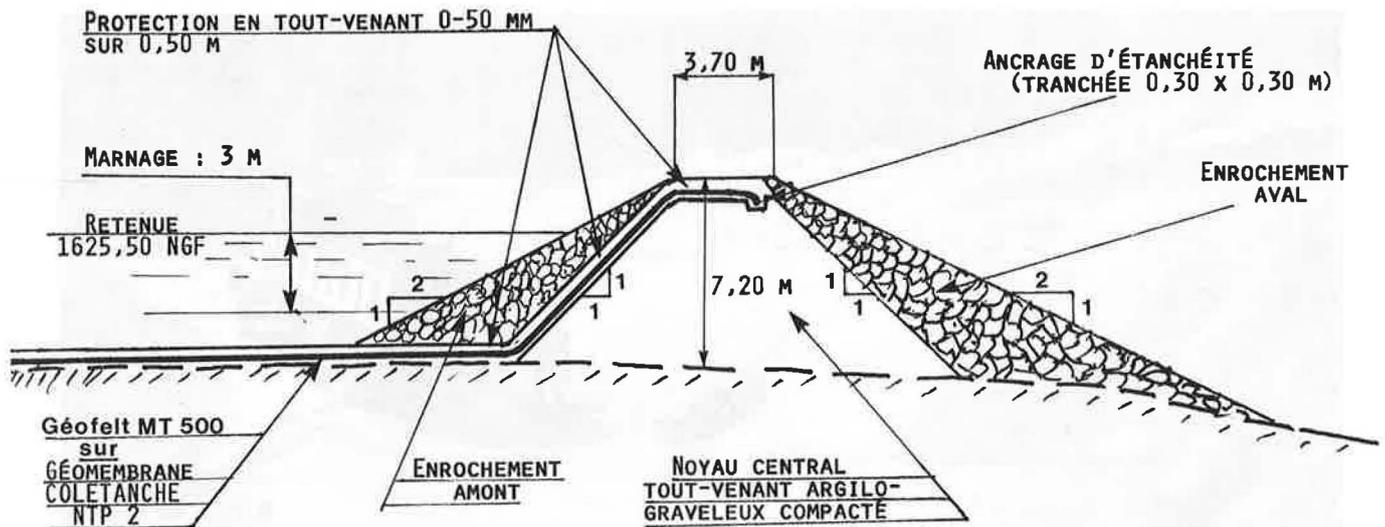


Figure 2 - Coupe transversale de la digue du bassin de la Ribérole

6. DEROULEMENT DES TRAVAUX :

6,1. Les principaux travaux de terrassement et de réalisation de la digue ont été en grande partie exécutés pendant la belle saison de 1983. Ils n'ont demandé qu'un matériel très courant (camions à trois essieux de charge utile 15 000 kg, pelles à chenille, chargeurs, bulldozer et compacteurs à rouleau simple).

Le corps de la digue (fig 2) a été construit en tout-venant argileux par passes successives compactées. Il est protégé côté aval par un enrochement de pente 2/1 et côté amont par la membrane recouverte de son remblai de protection et de ses enrochements.

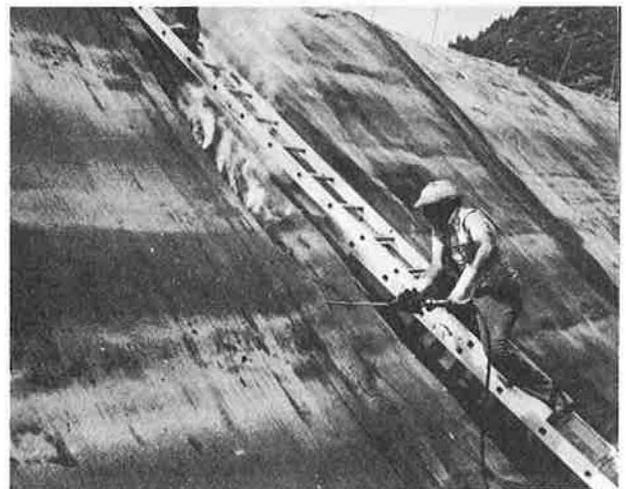
Les travaux de mise en oeuvre de l'étanchéité et de finition ont été réalisés dans un très court délai (quelques semaines de l'été 1984).

6,2. Le Colétanche NTP 2 livré de l'usine en rouleaux de 4 m de large et 80 m de long (poids 1 500 kg) est facile à appliquer : les rouleaux sont déroulés par une pelle hydraulique équipée d'un dévidoir, d'où une cadence élevée. Les joints sont réalisés par recouvrement des nappes sur 0,20 m minimum et soudés par réchauffage du bitume au chalumeau (vue 2).

6,3. Le feutre Géofelt très léger se déroulait aisément sur 2 m de large en longueur de 50 m avec également un recouvrement de 0,20 m sur la bande adjacente.

6,4. L'application du remblai tout-venant ne présentait aucune difficulté : il devait être déversé en avant des roues du camion (Vue 3).

Le tout-venant était mis en oeuvre en pleine épaisseur sur 50 cm et compacté avant la mise en oeuvre éventuelle sur les pentes des enrochements.



Vue 2 - Soudage de deux lés de géomembrane sur la digue



Vue 3 - Application du géotextile anti-poinçonnant sur la géomembrane et apport du remblai.

La vue 4 montre le bassin avant la mise en eau, qui a été réalisée en 1985 sans incident.



Vue 4 - Bassin de la Ribérole avant la mise en eau

7. CONCLUSION :

L'étanchéité mise en oeuvre à la retenue de la mini-centrale de la Ribérole, et composée d'une géomembrane bitumineuse protégée par un géotextile et un remblai, a permis de répondre efficacement aux critères imposés. Il est intéressant d'insister sur le fait que les travaux de pose de cette étanchéité ont été réalisés économiquement, dans un délai très court et ce sur un site en altitude, certes très enchanteur et touristique, mais très pluvieux et d'accès difficile.

Cette réalisation, qui entre dans les nombreuses références des membranes Colétanche de bitume armé préfabriquées est, du fait des difficultés particulières rencontrées, parmi les plus originales et intéressantes.