



Livret guide

Visite technique sur le système alimentaire de la Montagne Noire - Interactions entre le canal du Midi et les ressources en eau locales

du 14 au 16 novembre 2025

Excursion organisée conjointement par le Comité Français d'Hydrogéologie (CFH) et Voies navigables de France (VNF)

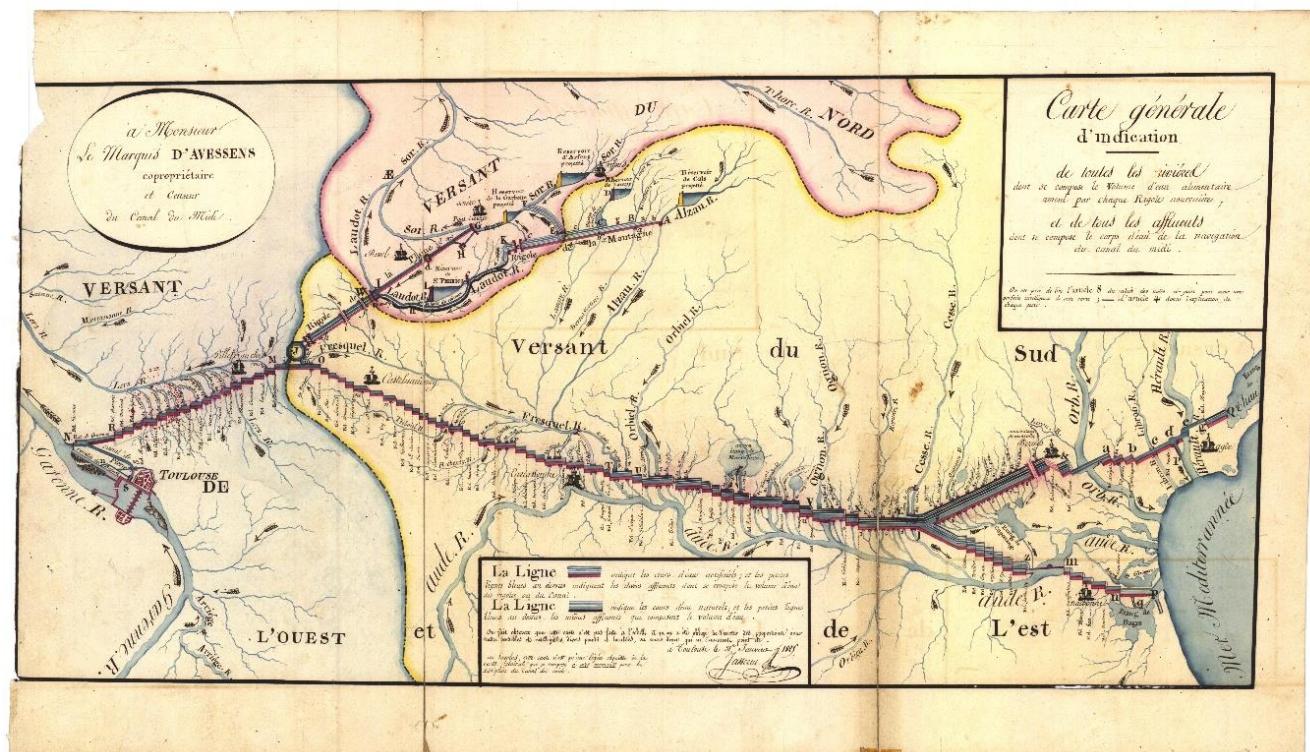


Table des matières

Introduction aux journées techniques.....	3
Programme sommaire.....	4
Remerciements	5
Détail des arrêts prévus	6
Programme détaillé du vendredi 14 novembre 2025	7
Les archives des canaux du Midi	8
Système alimentaire de la Montagne Noire	10
Multi-usages de la ressource en eau sur le Canal du Midi	14
Restauration de la voute arborée du Canal du Midi.....	16
Le système alimentaire IEMN	17
Les enjeux de la ressource en eau du canal des deux mers	18
Programme détaillé du samedi 15 novembre 2025.....	20
Le barrage du Lampy	21
Exploitation et système d'auscultation du barrage du Lampy	28
Sentier Karstique (grotte du Calel)	29
Contexte géographique et hydrogéologique de l'extrême occidentale de la Montagne Noire	34
La prise d'eau d'Alzeau	41
Utilisation de l'eau de la rigole à des fins d'eau potable.....	43
Le Conquet et la voûte de Vauban	54
Programme du dimanche 16 novembre 2025.....	56
Le barrage de Saint-Ferréol, un des plus emblématiques du canal du Midi	57
Contexte général du barrage de St Ferréol	59
Analyse fonctionnelle du barrage de Saint Ferréol et son environnement	60
Inclinomètres en forage	68
L'écluse de Laudot	77
Le seuil de Naourouze, point de partage des eaux entre l'océan Atlantique et la mer Méditerranées	78
Etat mécanique des berges et travaux géomécaniques associés	81
Références bibliographiques	88

Introduction aux journées techniques

Du 14 au 16 novembre 2025, le Comité Français d'Hydrogéologie (CFH) et Voies navigables de France (VNF) s'associent pour coordonner 3 journées scientifiques afin d'échanger sur le canal du Midi et son système d'alimentation en eau de la Montagne Noire.

Long de 240 km, il assure la liaison entre la Garonne à Toulouse et l'étang de Thau à Marseillan en traversant une diversité de paysages : agglomération toulousaine, Montagne Noire, plaines céréalières et viticoles, littoral méditerranéen. Construit par Pierre Paul Riquet sous le règne de Louis XIV entre 1667 et 1684, c'est l'un des plus anciens canaux d'Europe encore en fonctionnement. Son ouverture permettait de réaliser le vieux rêve de joindre, grâce à la Garonne, l'océan Atlantique et la mer Méditerranée en évitant le passage par le détroit de Gibraltar. Prouesse technique et hydraulique reconnue comme tel dès la fin du XVIIe siècle, le canal du Midi sera vite nommé « la merveille de l'Europe ». Il est inscrit depuis 1996 sur la liste du patrimoine mondial. Au XIXe siècle, en prolongeant vers l'ouest le canal du Midi par le canal latéral à la Garonne, la navigation entre l'Atlantique et la Méditerranée a été grandement améliorée. Cet axe de navigation est aujourd'hui nommé canal des deux mers.

Les canaux, créés artificiellement par l'homme, ne sont pas naturellement alimentés en eau. L'eau qui y coule provient de prélèvements dans les milieux naturels (rivières ou cours d'eau à proximité des canaux) ou des barrages-réservoirs qui permettent de stocker de l'eau, connectés aux canaux par des rigoles d'alimentation. Le canal du Midi, dont la prouesse technique est basée sur un système d'alimentation hydraulique ingénieux et complexe, est en interaction avec le bassin versant de l'Aude, et dans une moindre mesure avec le bassin versant de la Garonne. En 350 ans, le canal du Midi est devenu un axe hydraulique indispensable à l'alimentation en eau de tout un territoire, identifié au même titre que les rivières. L'eau servant à l'alimentation du canal du Midi provient de divers prélèvements.

Dans la Montagne Noire où elle est captée dans plusieurs rivières et stockée pour une part dans des barrages-réservoirs (Saint-Ferréol, Lampy). D'autres barrages-réservoirs gérés par des institutions partenaires sont aussi connectés au système d'alimentation du canal du Midi (Galaube et Cammazes en Montagne Noire, Ganguise).

Dans des rivières et fleuves qui croisent ou côtoient le tracé du canal : Aude, Cesse, Hérault. Aujourd'hui, ces prélèvements représentent, en volume, 80% de son alimentation sur une année. L'eau a différents usages tout au long de son cheminement dans le canal du Midi, servant à la fois à la navigation (son usage historique), à l'irrigation agricole, à l'alimentation en eau potable des populations, à l'alimentation des milieux naturels et aussi à la création d'un paysage. L'irrigation agricole est aujourd'hui le principal usage de l'eau sur le canal du Midi, pour environ 50% (jusqu'à 80% sur le canal de la Robine) en période d'étiage.

VNF développe actuellement un important programme d'instrumentation et de supervision, afin d'améliorer la connaissance en temps réel des différents débits et hauteurs d'eau et ainsi assurer la gestion la plus fine possible : prévoir précisément les besoins et adapter au plus juste la répartition de la ressource en eau. Les travaux de mise en place de l'instrumentation et de la supervision de la gestion hydraulique, sur tout le canal des Deux Mers, ont commencé en 2024 sur le canal latéral à la Garonne et seront déployés en continuité sur le canal du Midi. VNF renforce également ses équipes d'experts en gestion hydraulique.

Parmi les thématiques et sujets abordés lors de cette excursion, on citera :

1) La gestion quantitative et protection de la ressource en eau :

- Le système alimentaire de la Montagne Noire : barrages-réservoirs (principalement Lampy, Saint- Ferréol).
- Les barrages-réservoirs interconnectés au système d'alimentation du canal du Midi (Cammazes et Galaube).

2) Les sujets transversaux :

- Opération d'abattage des platanes à la suite de la maladie du chancre coloré et méthodes de replantation
- Etudes du BRGM sur les matériaux de curage
- Problèmes géotechniques rencontrés, érosion des berges

Programme sommaire

Jour 1 : Système alimentaire de la Montagne Noire

- Archives du canal du Midi, siège de Voies navigables de France Sud-Ouest à Toulouse
- Visite du barrage des Cammazes, IEMM (Institution des Eaux de la Montagne Noire). Intervention du SMMAR (Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières du bassin versant de l'Aude et ses affluents)
- Intervention du BRGM : étude des sédiments de dragage en gestion à terre

Jour 2 : Visite du barrage du Lampy et du système alimentaire connexe

- Barrage du Lampy, intervention du CNRS
- Visite des ouvrages du système alimentaire : Prise d'eau d'Alzeau, barrage de la Galaube, rigole d'essai, le Conquet, voûte Vauban.

Jour 3 : Visite du barrage de St Ferréol

- Intervention du bureau d'études ISL, agréé pour les études de sécurité des barrages

Remerciements

L'excursion a été organisée par S. VANNIER, L.BARRERE, P.MARCHET, L.CHERY, C.SUBIAS, Y. SAUVESTRE, H. MATHIEU-SUBIAS, S. BOISARD CASTAN, M.H PROST, A.REVIL

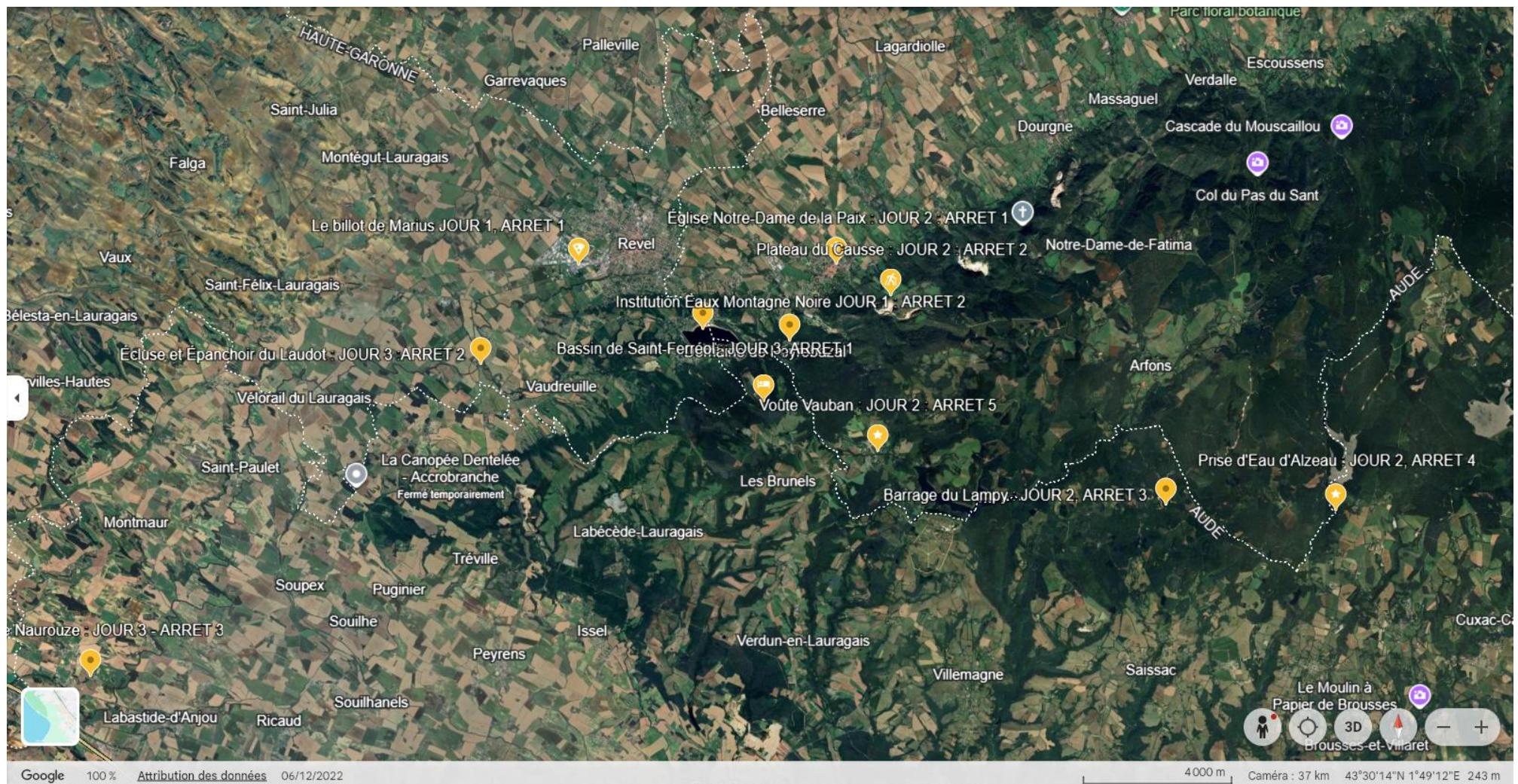
Le livret a été rédigé avec dans l'ordre alphabétique, les contributeurs des auteurs suivants :

Laurence BARRERE	Chargée de gestion infrastructure, VNF
Philippe BATAILLARD	Chimiste du sol, BRGM
Sandrine BOISARD CASTAN	Directrice de l'Institution des Eaux de la Montagne Noire (IEMN)
Julien CHASSAGNOL	Adjoint du chef d'unité en charge de la gestion hydraulique et de l'exploitation, VNF
Laurence CHERY	Retraitee du BRGM
Emile COLLET	Chef de l'unité Eau Environnement, VNF
Laurent DANNEVILLE	Directeur Général Adjoint, Parc des Grands Causses
Camille DYRDA	Chargée de communication, VNF
Rémi LAMBLIN	Ingénieur hydraulique, VNF
Astrid LE VERN	Chef du service communication et relations institutionnelles, VNF
S. VANNIER	Chef de l'unité patrimoine, culture, archives, VNF
Pierre MARCHET,	Retraité, Expert Eaux Souterraines à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne
Hélène MATHIEU-SUBIAS	Directrice technique SMMAR
Marc-Henri PROST	Chef de projet, ISL
André REVIL	Directeur de recherche CNRS, Laboratoire EDYTEM
Amélie SAILLAU	Chargée d'opérations plantation, VNF
Yann SAUVESTRE	Chef de l'Unité Politiques Exploitation Maintenance, VNF
Christophe SUBIAS	Hydrogéologue, Antéa Group

Remerciements :

Les organisateurs tiennent à remercier Monsieur Domitien DETRIE ,Directeur de VNF , pour son accueil au sein de la Direction Territoriale Sud-Ouest, Jean NIQUET, Chef du Service Infrastructures, Eau, Environnement, Exploitation (VNF), Yann SAUVESTRE pour la réalisation de ces journées techniques au sein des sites historiques de VNF ainsi que Christophe BELTRAN, Samuel VANNIER pour l'organisation et la richesse des visites sur les sites emblématiques du canal, sa grande culture et pour la visite des archives du canal du Midi, Didier FIOL, Didier BARTHAS pour les propositions de visites et contacts, , et dans l'ordre des visites, Julien CHASSAGNOL, Remi LAMBLIN, Yann SAUVESTRE pour l'explication du système alimentaire de la Montagne Noire, Amélie SAILLAU, pour la présentation de la restauration de la voute arborée du canal du Midi, Sandrine BOISARD pour la visite sur site du barrage des Cammazes et la présentation du système alimentaire du canal du Midi ainsi qu' Hélène MATHIEU-SUBIAS pour sa présentation des enjeux du SMMAR. Un grand merci à Emilie COLLET pour sa disponibilité et sa présentation sur la gestion à terre des sédiments de dragages du canal et Philippe BATAILLARD, André REVIL pour la présentation des travaux géophysiques du barrage du Lampy, Pierre MARCHET et Christophe SUBIAS pour leur implication dans toute les étapes de l'organisation, Laurent DANNEVILLE pour la présentation de la prise d'eau de la rigole, Marc Henry PROST pour sa connaissance fine de tous les travaux du barrage de St Ferréol, Didier FIOL pour l'accessibilité du site de Saint-Ferréol et HOUZY Thierry, BOUDOU Sylvain pour leur intervention sur l'auscultation du barrage du Lampy et de Saint Ferréol et Astrid Le VERN et Camille DYRDA, du service communication pour leurs précieux conseils et aide, Michel DELANAUX pour son aide remarquable lors de l'accueil des participants.

Détail des arrêts prévus



Programme détaillé du vendredi 14 novembre 2025

Visite des Archives historiques du canal du Midi à Toulouse (DTSO, 2 Port Saint Etienne, 31500 Toulouse).

8h00 : Accueil des participants, présence du Directeur Territorial Sud Ouest : Domitien DETRIE

La visite des archives se fera en deux groupes qui permuteront (2 groupes de 20 personnes maximum)

8h30 – 9h30

1^{er} Groupe : Visite des archives des “canaux du Midi” avec l’intervention de Samuel VANNIER, historien archiviste chez VNF

2^{ème} Groupe : Système alimentaire et historique des barrages en salle Colbert, sujets transversaux

9h30 -10h30

2^{ème} Groupe : Visite des archives des “canaux du Midi” avec l’intervention de Samuel VANNIER, historien archiviste chez VNF

1^{er} Groupe : Système alimentaire et historique des barrages en salle Colbert, sujets transversaux
Consultation des plans de la construction du canal des deux mers, plans des barrages :

11h00 Départ des archives de VNF (Port st Sauveur) ; récupération de toutes les voitures à Labège

12h15 Déjeuner au restaurant « Le Billot de Marius, route de Castelnau-d'Armagnac, à Revel (31)».

14h00 Arrivée aux usines AEP, Sorèze, 81 (3 usines Picotalen 1-2-3)

L’Eau de la Montagne Noire

Les bassins versants des cours d’eau qui alimentent les retenues des Cammazes et de La Galaube sont dépourvus d’agriculture intensive et de toute activité industrielle. Les barrages de l’IEMN (Institution des Eaux de la Montagne Noire) retiennent l’écoulement naturel de l’eau. Le potentiel hydraulique de la Montagne Noire permet d’assurer une eau potable de qualité.

Présentation du contexte géographique et économique

- 1) Usines de l’IEMN : Intervention du SMMAR Les enjeux ressources en eau du canal des deux mers ;
- 2) Départ de l’usine AEP IEMN pour la visite du barrage des Cammazes / durée de la visite 1h30 environ : **Intervention de Sandrine BOISARD, Directrice générale de l’IEMN**

17h00 Arrivée au domaine de Peyrebazal

Installation dans les hébergements

18h30 – 19h30 : Visio en salle

Étude des sédiments de dragage en gestion à terre : intervention de Philippe BATAILLARD, BRGM, Unité Risques Sites et Sols pollués et Mme Emilie COLLET, Unité Eau Environnement, VNF.

20h00 Diner

Les archives des canaux du Midi

Samuel VANNIER, historien archiviste chez VNF

À Toulouse, au 02 port Saint Etienne, se trouve la direction Sud-Ouest de Voies navigables de France qui assure la gestion du réseau fluvial compris de l'étang de Thau jusqu'à Bordeaux. Cette direction détient les fonds d'archives issus de la construction et de l'exploitation du réseau de canaux du sud-ouest de la France. Cette spécificité résulte d'une longue et prestigieuse histoire dans laquelle la gestion des archives occupe une place inhabituelle.

Le réseau fluvial du sud-ouest de la France est constitué d'un ensemble de rivières et de canaux structuré de manière à désenclaver l'économie de cette région. À l'ouest, la Garonne a longtemps assuré la liaison entre Toulouse et Bordeaux. À l'Est, les étangs côtiers de Thau, Palavas, Méjean et Mauguio offraient un débouché vers le Rhône. Afin de mettre en lien ces éléments dont les Languedociens avaient su tirer les avantages, l'un d'entre eux, Pierre Paul Riquet, imagina et fit construire la liaison tant attendue « Océane et Méditerranée ».

Le canal du Languedoc, édifié entre 1666 et 1684, a établi la liaison entre Toulouse et l'étang de Thau. Long de 240 kilomètres, il ouvrit au commerce de larges perspectives. Pourtant, dès la fin du 17^{ème} siècle, négociants et bateliers montrèrent les limites de ce réseau navigable. Sur une robine alimentée par l'Aude, la ville de Narbonne était isolée. Un canal de jonction sera donc construit et la robine réaménagée pour relier efficacement le canal du Languedoc au siège archiépiscopal. Le canal de Jonction et de la Robine de Narbonne fut livré à la navigation en 1787. Il sera prolongé au début du 19^{ème} siècle jusqu'au nouveau port de La Nouvelle, portant à 37 kilomètres sa longueur totale.

À l'ouest, le régime irrégulier de la Garonne entravait les échanges avec Bordeaux. Les pouvoirs publics se penchèrent sur la question et résolurent d'en améliorer les conditions de navigation en aménageant le cours du fleuve. À Toulouse, le redoutable barrage du moulin du Bazacle fut contourné grâce à l'ouverture du canal Saint Pierre en 1776 (1450 mètres). Mais en aval, le programme d'aménagement fut stoppé par une querelle opposant les partisans de la navigation sur le fleuve à ceux de la construction d'un canal latéral à son cours. Cette deuxième solution fut retenue. Les études furent menées de 1828 à 1832. La construction débute en 1838 pour s'achever en 1856. Les 193 kilomètres du nouveau canal permettaient aux bateliers de rallier Moissac, Agen et gagner Castets-en-Dorthe pour naviguer en toute sécurité sur la Garonne jusqu'à Bordeaux. A Montech, un embranchement de 11 kilomètres relie la ligne principale au Tarn et à Montauban.

Jusqu'en 1898, l'exploitation de ce réseau navigable était assurée par plusieurs entités. Le canal du Midi, après avoir été géré par la famille Riquet, fut propriété de la compagnie du canal du Midi de 1810 à 1898. Les canaux de Brienne, Jonction et Robine de Narbonne furent d'abord sous gestion de la Province du Languedoc, puis après la Révolution, fondus dans les biens sous contrôle de la compagnie du canal du Midi. Le canal latéral à la Garonne, construit sous maîtrise d'œuvre État, fut donné en gestion à la compagnie des chemins de fer du Midi qui en assura l'exploitation jusqu'en 1898.

À partir du 1er juillet 1898, les canaux du Midi passèrent sous le contrôle direct de l'État. Le Service des canaux du Midi créé à cette date en pris la gestion. Depuis 1991, Voies navigables de France, en est gestionnaire pour le compte de l'État.

Administration et production d'archives :

L'histoire des « papiers du canal » est marquée par diverses étapes correspondant à l'histoire de l'administration du canal du Languedoc.

Pierre Paul Riquet, en bon gestionnaire, prendra soin de conserver ses titres (l'Édit de construction et les lettres patentes d'octobre 1666, les actes concernant la seigneurie du canal) qui furent conditionnés dans des boîtes de fer blanc achetées spécialement à cet effet. Sa correspondance avec Jean Baptiste Colbert, ainsi que celle de ses principaux collaborateurs furent également conservées. Enfin, une étonnante collection de pièces comptables, justificatifs des dépenses engagées pour la construction du canal, compose une collection de plusieurs dizaines de liasses.

Soucieux de préserver leurs intérêts, les héritiers de Pierre Paul Riquet installèrent une administration rigoureuse organisée en plusieurs départements (Agde, Béziers, Le Somail, Trèbes, Castelnau-d'Orbieu, Nauroze et Toulouse) et chapeautée par une direction fixée à Toulouse. Les documents produits par et pour cette administration constituent aujourd'hui le socle de ce que nous appelons les archives des canaux du Midi.

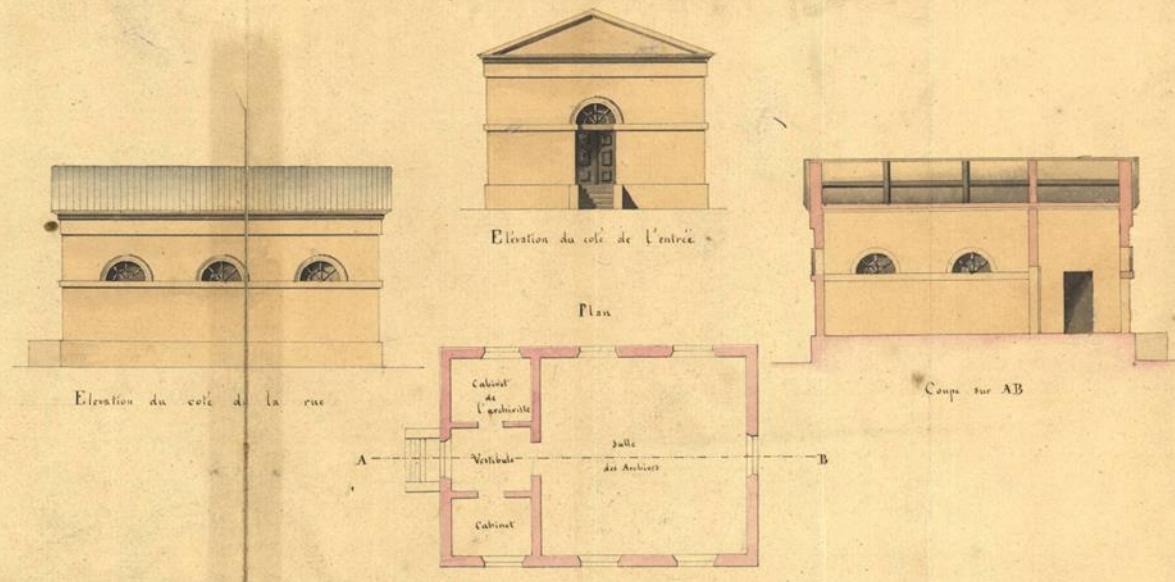
Jusqu'en 1752, ces archives étaient conservées en plusieurs lieux. L'organisation administrative du canal amenait à produire de nombreux documents qu'il a bien fallu arranger. En 1747, un archiviste fut recruté. Monsieur Cérou fut le premier titulaire du poste. Ce premier effort fut suivi par l'installation d'un bâtiment dédié à la conservation des papiers du canal. En 1752, dans un enclos en rive gauche du port Saint Etienne, un petit local fut aménagé avec des choix qui affirme clairement des soucis de conservation : « *les archives y seront surely en lieu sec et à l'abri du feu* ». Organisées selon un cadre de classement défini en 1770, les archives conservées atteignirent vite un important volume. Le bâtiment des archives fut rapidement saturé. Des projets d'agrandissement furent étudiés dès 1769, sans suite. En 1829, après une longue période d'indécision, les administrateurs de la compagnie du canal du Midi obtinrent l'accord de faire construire un nouveau bâtiment. Conçu par Jean-Polycarpe Maguès, ingénieur en chef des ponts et chaussées et directeur du canal du Midi, le nouvel édifice a été construit en 1830. Il possède un plan simple, fonctionnel et une architecture sobre qui lui confère l'aspect d'un petit temple de la mémoire. Les archives y ont été installées en 1832.

Le soin apporté à la construction du bâtiment et à la présentation intérieure traduit l'importance accordée à cette mémoire écrite et iconographique. L'action de la famille Riquet ne fut pas tout à fait étrangère à cette mise en scène. Spoliés au moment de la Révolution, les héritiers Riquet furent rétablis dans leurs titres de propriété à la Restauration. Ils se trouvèrent actionnaires parmi d'autres de la compagnie du canal du Midi. Afin de mettre en valeur leur lien naturel avec le fondateur du canal, ils favorisèrent le projet de construction d'un nouveau bâtiment d'archives et prirent soin d'y placer tout ce qui pouvait rappeler le souvenir de leur ancêtre. Le duc Riquet de Caraman fit suspendre en 1836 dans le hall du bâtiment trois tableaux : les portraits de Louis XIV, de Colbert et de Pierre Paul Riquet.

En vertu de la loi du 27 novembre 1897, le canal du Midi et ses archives devinrent propriété de l'État. Enrichis par les dossiers de la construction et de la gestion du canal latéral à la Garonne regroupés en ce même lieu dès 1902, le fonds des archives des canaux du Midi est alors devenu un outil indispensable à la bonne administration du réseau fluvial. Les dossiers produits au XXe siècle s'y sont agrégés portant le volume total conservé à deux kilomètres linéaires d'archives. Ces ressources sont aujourd'hui quotidiennement interrogées pour les besoins de VNF. Elles sont aussi à disposition des lecteurs qui souhaitent venir les consulter, sur rendez-vous.

Projet d'un bâtiment pour les Archives du Canal du Midi

N° 4



Système alimentaire de la Montagne Noire

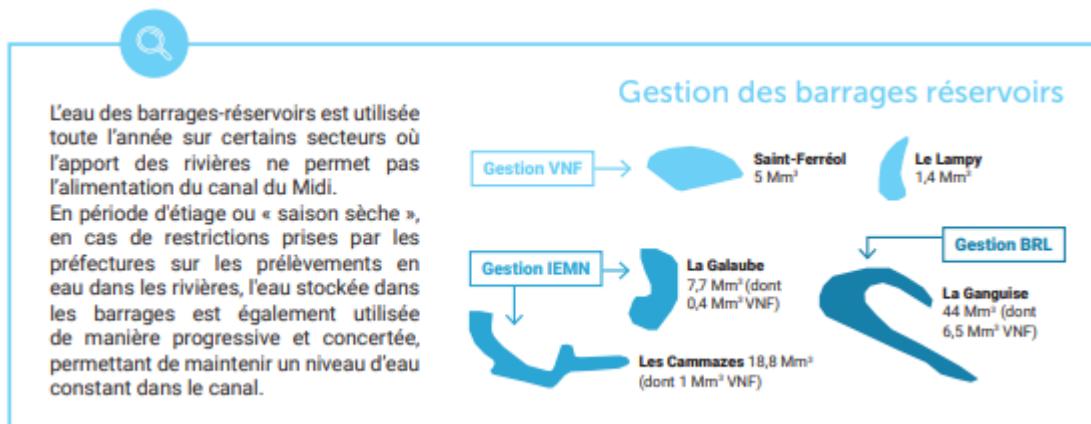
Julien Chassagnol et Rémi Lamblin, VNF

Les canaux, créés artificiellement par l'homme, ne sont pas naturellement alimentés en eau. L'eau qui y coule provient de prélèvements d'eau dans les milieux naturels (rivières ou cours d'eau à proximité des canaux) ou des barrages réservoirs qui permettent de stocker de l'eau, connectés aux canaux par des rigoles d'alimentation.

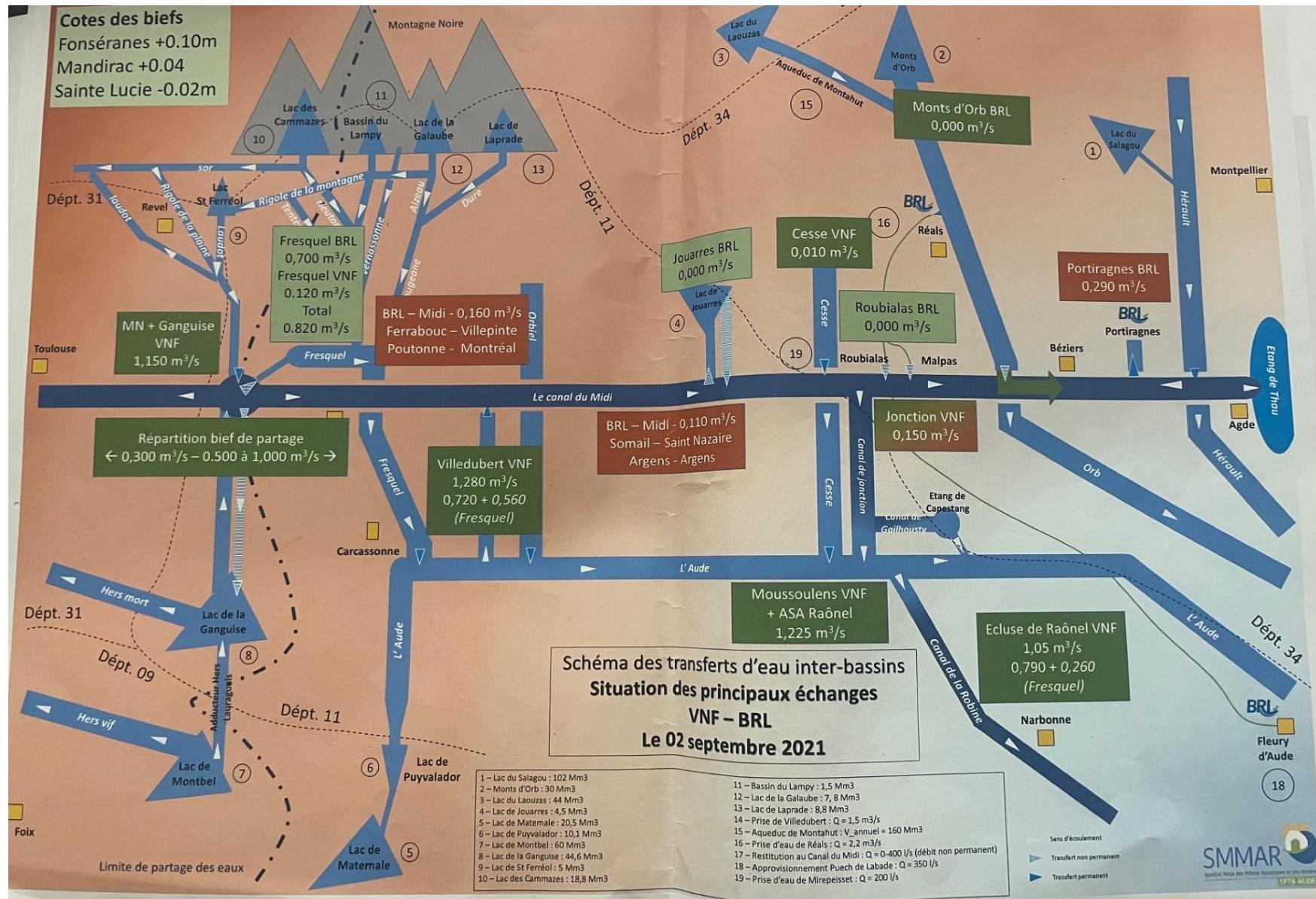
Le canal du Midi, dont la prouesse technique est basée sur un système d'alimentation hydraulique ingénieux et complexe, est en interaction avec le bassin versant de l'Aude, et dans une moindre mesure avec le bassin versant de la Garonne.

En 350 ans, le canal du Midi est devenu un axe hydraulique indispensable à l'alimentation en eau de tout un territoire, identifié au même titre que les rivières. L'eau servant à l'alimentation du canal du Midi provient majoritairement de l'eau des fleuves (l'Aude et son affluent la Cesse en grande majorité, et l'Hérault) à hauteur de 80% sur une année, mais également des barrages-réservoirs (principalement Lampy, SaintFerréol et Ganguise).

D'autres barrages-réservoirs sont aussi interconnectés au système d'alimentation du canal du Midi (Galaube et Cammazes).







Multi-usages de la ressource en eau sur le canal du Midi

Julien Chassagnol et Rémi Lamblin, VNF

L'eau a différents usages tout au long de son cheminement dans le canal du Midi, servant à la fois à l'irrigation agricole, à l'alimentation en eau potable des populations, à l'alimentation des milieux naturels et au transport des bateaux qui naviguent sur le canal. L'irrigation agricole est le principal usage de l'eau sur le canal du Midi, pour environ 50% (jusqu'à 80% sur le canal de la Robine) en période d'étiage

L'alimentation en eau douce au service des milieux naturels

Même si le canal du Midi et ses rigoles d'alimentation sont des constructions artificielles, ils sont devenus, au fil des années, de véritables réservoirs de biodiversité. Ainsi, VNF s'attache à maintenir un débit minimal, notamment dans les rigoles de la Montagne Noire, pour protéger les espèces qui y accomplissent tout ou partie de leur cycle de vie. L'eau du canal du Midi sert également à l'alimentation de milieux sensibles, protégés, comme les lagunes du Parc naturel régional de la Narbonnaise en Méditerranée et de la Réserve naturelle nationale du Bagnas. Des apports réguliers d'eau douce sont nécessaires dans ces zones pour maintenir l'équilibre des écosystèmes

La ressource en eau pour l'alimentation en eau potable des populations

L'eau du canal du Midi peut contribuer à l'alimentation en eau potable des populations des territoires traversés. C'est le cas sur les secteurs de la Redorte/Puichéric (SIVU de la plaine des plots) et du Minervois.



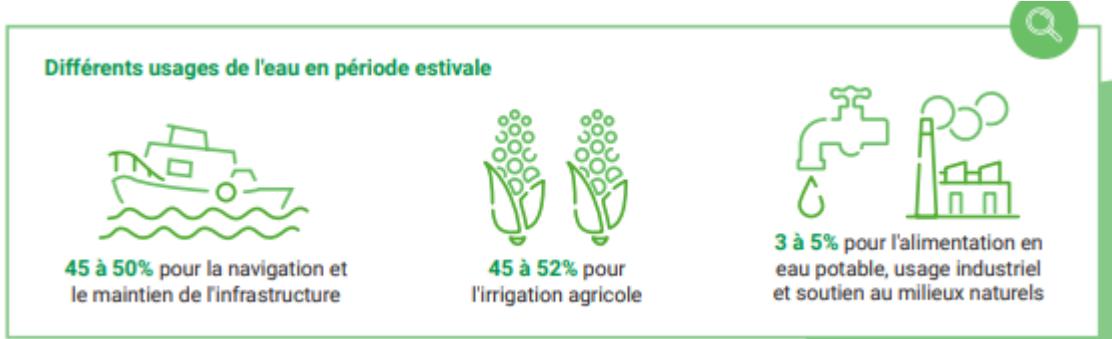
En cas de manque de précipitations et de remplissage insuffisant des réservoirs d'eau potable comme en 2023, VNF peut orienter une partie de l'eau captée dans la Montagne Noire pour l'alimentation du barrage-réservoir des Cammazes, géré par l'Institution des Eaux de la Montagne Noire, afin de sécuriser l'accès à l'eau potable des 220 000 habitants qui en dépendent.

Services à l'économie des territoires : agriculture, commerce et tourisme

Le canal du Midi, construit par Pierre-Paul Riquet pour permettre le transport de marchandises et de personnes entre la mer Méditerranée et l'océan Atlantique, représente un atout pour les territoires qu'il traverse. Pourvoyeur de richesses dès sa création, il demeure un véritable levier économique. Sa renommée internationale en fait un fleuron du tourisme français, et attire chaque année plusieurs centaines de milliers de visiteurs. La navigation de plaisance sur le canal du Midi représente 30% du tourisme fluvial en France et génère environ 30 millions d'euros de retombées économiques chaque année. De plus, les retombées économiques liées à l'eau du canal du Midi portent sur le volet agricole : l'eau permet d'irriguer des secteurs qui ne pourraient pas l'être sans les apports du canal. Les cultures

sont de natures très diverses : céréales, vignes, maraîchage... et bénéficient de l'eau du canal sur l'ensemble de l'année. La part d'eau qui transite par le canal du Midi consommée au service de l'agriculture représente environ 50% des volumes en période d'étiage.

D'autres services sont également rendus pour l'industrie ou pour des activités économiques et de loisirs.



L'attractivité des territoires

L'eau du canal du Midi fait partie intégrante de son image et contribue à l'attrait de cet ouvrage de plus de 350 ans, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1996. Depuis 2021, la marque canal du Midi, portée par les membres de l'Entente pour le canal du Midi, œuvre à mieux valoriser ce patrimoine d'exception.

À la fois support ludique et esthétique, le canal du Midi et ses abords permettent le développement d'activités sportives comme le vélo ou la randonnée, le canoë ou l'aviron, et attirent les habitants comme les touristes. Les sites patrimoniaux et les espaces de loisirs (guinguettes, gîtes et autres activités touristiques) sont également des vecteurs de développement touristique et de loisirs pour une meilleure qualité de vie des populations.

Restauration de la voute arborée du Canal du Midi

Amélie Saillau, VNF

Le canal du Midi fait partie de ces ouvrages qui ont traversés les siècles sans perdre leur pouvoir d'émerveillement. Classé au patrimoine mondial de l'UNESCO, il relie Toulouse à la Méditerranée, ondulant entre platanes majestueux, villages, écluses et paysages d'exception. Véritable symbole de notre patrimoine commun, il incarne à la fois le génie humain, l'équilibre entre nature et ouvrage, et l'identité du Sud de la France.

Le premier foyer de chancre coloré sur le canal du Midi a été identifié en 2006 dans le département de l'Aude. Depuis, le champignon s'est propagé de manière rapide, dans un premier temps dans les départements de l'Aude et de l'Hérault, et plus récemment dans le département de la Haute-Garonne.

Le chancre coloré du platane est une maladie provoquée par un champignon microscopique ("Ceratocystis platani") qui s'attaque exclusivement aux platanes. Il pénètre l'arbre sain et bloque les canaux de sève, qui s'assèchent progressivement et l'arbre meurt. Il n'existe aucun traitement préventif ou curatif à ce jour.

Malgré les mesures de prophylaxie mises en place pour ralentir la propagation du chancre coloré du platane, la maladie gagne du terrain et on compte désormais 32 900 platanes abattus sur les 42 000 dénombrés le long du canal du Midi avant l'apparition de la maladie.

Depuis 2012, Voies Navigables de France met en œuvre un programme de restauration des plantations et des berges du canal du Midi. Chaque hiver, entre décembre et mars, des campagnes de replantation et de restauration des berges sont organisées, mobilisant les équipes de VNF et de 30 à 40 entreprises externes. Ce projet colossal tout le long du canal du Midi est scindé en 5 volets :

- Les abattages de platanes chancrés et zones de prophylaxie,
- La préservation de la biodiversité,
- La restauration des berges au droit des platanes abattus,
- La plantation de jeunes arbres,
- La conduite des jeunes arbres pour recréer la voûte arborée du canal du Midi.

C'est un projet passionnant sur le long terme, ancré dans le passé, le présent et le futur.



Restauration des paysages du canal du Midi, essence jalonnante : le chêne chevelu et essence intercalaires en cohérences avec les territoires

Le système alimentaire IEMN

Sandrine Boisard, IEMN

Historique

L'IEMN est une entente interdépartementale, née de la volonté commune des départements de l'Aude, de la Haute-Garonne et du Tarn, de créer un système destiné à améliorer les conditions de vie dans le Lauragais. Cette collectivité est le fruit de plus de soixante-dix années d'histoire fondées sur une logique de coopération au service de l'intérêt général.

Construction des barrages IEMN et usages de l'eau

A ses débuts, les missions de l'Institution comprenaient uniquement l'étude et l'exécution d'un programme d'aménagements hydrauliques dans la Montagne Noire pour alimenter en eau tout ou partie des territoires voisins. Puis, pour répondre à l'alimentation des populations en eau potable et au besoin d'irrigation des terres agricoles du Lauragais, le barrage des Cammazes sur le Sor a été construit sur les communes de Sorèze et des Cammazes (Tarn) et de Saissac (Aude) entre 1953 et 1956 suite à cinq années de travaux préparatoires. Le barrage a été mis en eau le 9 avril 1956 et déclaré d'utilité publique par le décret du 9 avril 1959.

Afin de participer à l'alimentation du canal du Midi, dès le XVIII^e siècle, un barrage sur l'Alzeau avait été prévu pour s'intégrer dans le système hydraulique de la Montagne Noire. S'il a été évoqué entre-temps à diverses reprises, ce n'est que vers 1985, lorsque l'Institution a été confrontée à un grave problème de pénurie, que ce projet alors redevenu d'actualité, a été mis en étude pour être réalisé en 2000, après avoir été autorisé par décret du 24 juin 1998.

Depuis, grâce à sa gestion sécuritaire de la ressource, l'IEMN garantit une eau potable de qualité et en quantité suffisante à plus 220 000 habitants répartis sur les départements de l'Aude, de la Haute-Garonne et du Tarn.

Aussi, la ressource en eau du barrage des Cammazes permet de répondre au besoin en eau d'irrigation des terres agricoles et d'assurer le soutien d'étiage pour les rivières Sor et Alzeau.

Interaction IEMN/VNF

L'alimentation du Canal du Midi donne lieu à un partenariat entre les Voies Navigables de France (VNF) et l'Institution des Eaux de la Montagne Noire. VNF dispose, pour garantir l'alimentation du Canal du Midi et assurer ses fonctions, d'un volume d'eau réservé initialement dans le barrage des Cammazes. Depuis la construction de l'Adducteur Hers Lauragais, ce droit est transféré dans le barrage de la Ganguise. VNF dispose également d'un volume d'eau réservé dans le barrage de La Galaube. Le transfert des eaux se fait grâce à la Rigole de la Montagne.

Exploitation, Travaux et Système d'auscultation : explication sur site

Les enjeux de la ressource en eau du canal des deux mers

Hélène MATHIEU-SUBIAS, SMMAR

Sur le territoire du Lauragais, les transferts hydrauliques, ouvrages de stockages et réseaux de distribution artificielle ont largement pris le pas sur la géographie physique et l'organisation naturelle des bassins versants. La figure suivante schématise les ouvrages structurants de ce système artificiel : prises d'eau, ouvrages de stockage et de transfert, et principaux échanges d'eau.

Sur ce réseau artificiel s'écoulant en parallèle au réseau hydrographique naturel, l'appui de multiples usages s'est historiquement construit :

- Du XVIIe siècle à 1959, la navigation (alimentation du canal du Midi)
- De 1959 à 1971, la navigation et l'eau potable
- De 1971 à 1980, la navigation, l'eau potable et l'élaboration de projets d'irrigation
- De 1980 à 2005, la création de 121 hm³ de nouveaux stocks dédiés à ces usages.
- Depuis 1992, la navigation, l'eau potable, l'irrigation et les réalimentations à vocation environnementales.

Les références au maintien d'un débit pour le milieu apparaissent en 1959 avec les volumes dits de salubrité pour le barrage des Cammazes avec un volume réservé de 0,800 hm³/an et placé en dernière priorité derrière l'eau potable et l'irrigation.

Au-delà de la question des débits réservés réglementaires à l'aval immédiat des ouvrages de prélèvement et de stockage (obligations individuelles des gestionnaires), l'intégration des objectifs environnementaux dans la réalimentation artificielle de l'axe Fresquel et de ses affluents est un enjeu phare du territoire au regard de l'objectif nécessairement collectif de bon état écologique des milieux aquatiques.

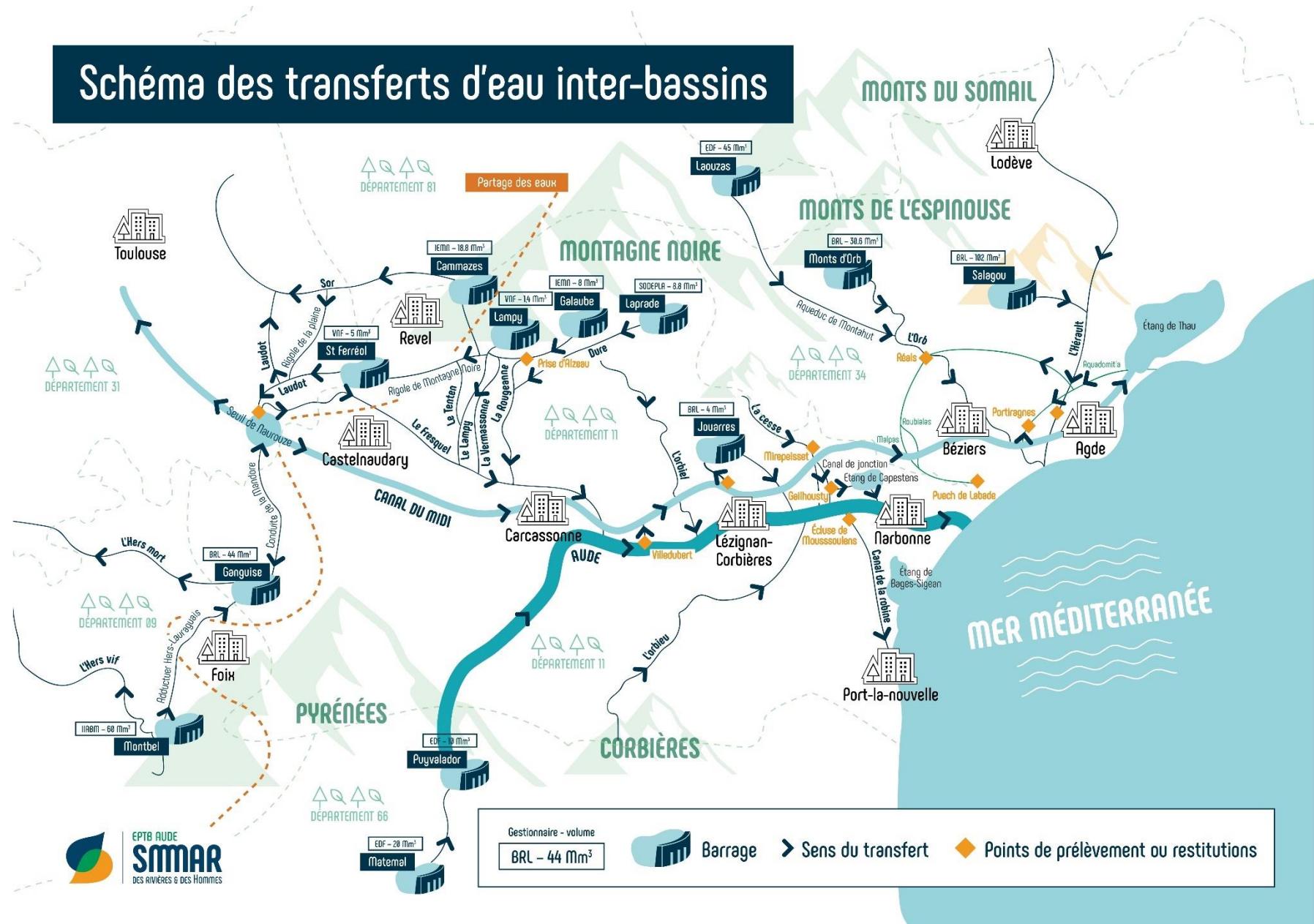
La constitution des stocks du secteur du Lauragais a débuté au 17e siècle de 1980 à 2005, et s'est concentrée pour l'essentiel de 1980 à 2005. Sur cette période sont en effet créés 60 hm³ de stock sur la ressource atlantique de l'Hers vif (hors bassin Fresquel), 17 hm³ sur la montagne noire versant méditerranéen et un grand ouvrage de redistribution la Ganguise 44,6 hm³, appuyé pour son remplissage sur les deux versants via des ouvrages de transferts (rigoles alimentaires et canal pour la montagne noire et son symétrique Pyrénéen l'adducteur Hers Lauragais). Au terme de ce programme, c'est donc un ensemble de 7 réservoirs cumulant 148 hm³ et connectés entre eux qui dominent le système de répartition hydraulique du Lauragais.

Le réseau artificiel de la Montagne Noire et du Lauragais se situe aux limites de 3 périmètres de SAGE :

- Deux périmètres de SAGE rattachés au district Adour-Garonne : le SAGE Agout (qui partage particulièrement avec celui du Fresquel l'influence hydraulique des ressources stockées des Cammazes et de Saint Ferréol) et le SAGE Hers-Mort-Girou
- Le périmètre du SAGE Fresquel rattaché au district Rhône-Méditerranée.

L'hydrologie de ces trois périmètres, dont deux sont traversés par le Canal du Midi, est donc directement influencée par le fonctionnement de ce système hydraulique.

Schéma des transferts d'eau inter-bassins



Programme détaillé du samedi 15 novembre 2025

Barrage du Lampy

8h00-9h00 Présentation des travaux d'André Revil (Université Savoie Mont-Blanc EDYTEM CNRS)

9h00 Déplacement en covoiturage vers l'église de Sorèze

9h30 Rendez-vous église de Sorèze

9h30- 11h00 Visite du sentier karstique de Sorèze : intervention du président SRSASR Spéléologie/archéologie, Frédéric Verp

11h30-12h30 : Visite du Lampy

13h00 Pique-nique prévu par le CFH à, inclus dans les frais d'inscription

13h45 Contexte hydrogéologique du secteur du seuil de Naurouze

La montagne Noire riche en eau, de l'autre les Pyrénées également riches en eau comparativement à la molasse. Gestion quantitative de l'eau (pour les Pyrénées, avec le barrage de Montbel et l'adducteur vers le lac de la Ganguise et l'Hers Mort : adducteur Hers-Lauragais).

Intervention de Pierre Marchet (retraité de l'agence de l'eau Adour-Garonne) et Christophe Subias (ANTEA Group)

15h00 Excursion avec Samuel VANNIER : Prise d'eau d'Alzeau, site du Conquet, site des Cammazes

Intervention de Laurent DANNEVILLE, Hydrogéologue agréé : présentation de la prise d'eau de la rigole pour la commune de SAISSAC (description de la prise, bassin d'alimentation concerné, périmètres de protection, dispositifs de surveillance, plan d'alerte...)

19h30 Retour au lieu d'hébergement, domaine de Peyrebazal

20h00 Diner au centre d'hébergement

Le barrage du Lampy

Laurence BARRERE et Samuel VANNIER VNF

Construction du barrage, contexte historique (document d'archives) : barrage du Lampy neuf

Le barrage de Lampy est situé entre les villes de Toulouse et Carcassonne, sur la commune de Saissac (Aude). À 643 mètres d'altitude, il appartient au système de la Montagne Noire destiné à alimenter le canal du Midi en eau tout au long de l'année.

C'est un barrage réservoir gravitaire, construit en maçonnerie avec des pierres de granite jointes au mortier de chaux. Il mesure 16 mètres de hauteur au-dessus de sa fondation. Sa longueur est de 137 m en crête et de 68 mètres à sa base. Sa largeur est de 5,5 m au sommet. Si la capacité maximale du réservoir est de 1 672 000 m³, sa capacité utile est de 1 300 000 m³. La superficie du plan d'eau est de 23 hectares quand le réservoir est plein.

Cette réserve a été conçue pour compenser le volume d'eau pris dans le canal du Midi pour alimenter le canal de Jonction, au Nord de Narbonne. La décision de construire cette jonction, prise en 1776, était subordonnée à la création d'une réserve d'eau supplémentaire placée en Montagne Noire, sur son versant méditerranéen. Garipuy, directeur des travaux de la Province du Languedoc, assura l'étude du projet. Il choisit le site du vallon de Leignes, sur la rivière du Lampy, en amont d'une retenue plus ancienne jouxtant la rigole de la montagne et nommée Lampy-vieux (aujourd'hui asséchée). La construction commença en 1777 et fut achevée en 1782. A la mise en eau, on constata que le mur du barrage souffrait de plusieurs infiltrations. Grâce à l'utilisation d'importantes quantités de chaux, on réussit à juguler ce problème. Le canal de Jonction et Robine de Narbone fut ouvert à la navigation en 1787.

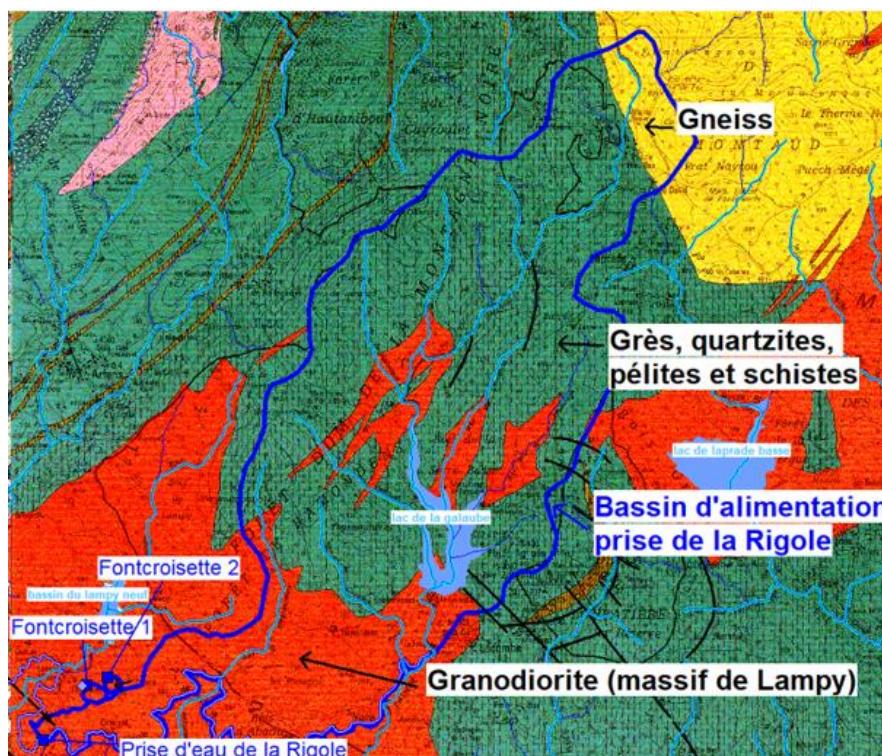
Le choix de l'emplacement du barrage a été longuement étudié. En cas de besoin, l'eau larguée au niveau du barrage pouvait soit descendre par la vallée du Lampy, puis celle du Fresquel pour être à nouveau captée et introduite dans le canal du Midi en aval de Carcassonne. Ou alors, elle pouvait être introduite dans la rigole de la Montagne et conduite vers le réservoir de Saint-Ferréol et vers Naouze, seuil de partage des eaux du canal du Midi. Cette dernière solution est aujourd'hui la pratique la plus courante.

Autour du Lampy, classé en zone naturelle protégée (Z.N.I.E.F.F.), la nature est admirable et les activités sont multiples, notamment la pêche, la baignade ou encore la randonnée, qui offre parfois à voir des espèces rares comme la grenouille agile ou la gentiane pneumonanthe. Le poisson y fut longtemps très abondant, notamment le vairon, la truite et le goujon. Mais deux variétés de perches contribuèrent à désorganiser l'équilibre du réservoir. Le bassin est bordé à l'ouest par une tourbière malheureusement détruite en grande partie à la suite de la création d'un parking. Les tourbières constituent un élément rare et irremplaçable de notre patrimoine qui résultent des formations géologiques successives : Elles sont non seulement de vraies éponges qui absorbent l'eau et la restituent en cas de sécheresse mais aussi des zones permettant grâce à la palynologie (étude des pollens) de reconstituer l'histoire de la végétation pendant l'ère quaternaire (à partir de -1,65 millions d'années av. JC).



Contexte géologique du bassin versant du Lampy

Le barrage réservoir du Lampy se trouve dans les granodiorites du massif du Lampy. La nature de ces formations conduit à considérer le bassin versant comme imperméable. Le temps de concentration du bassin (temps mis par une goutte d'eau tombée en tête du bassin versant pour arriver à l'exutoire) est estimé à 2 heures.



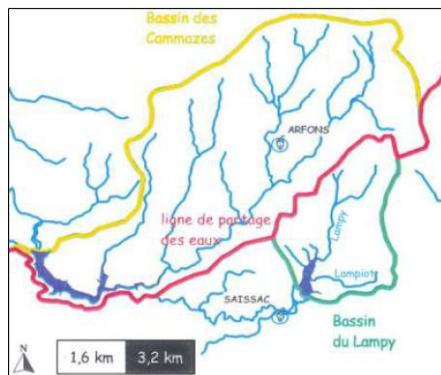
Le bassin versant de la retenue du Lampy se trouve dans la partie méridionale du Massif Central sur le versant sud de la Montagne Noire caractérisé par un socle de terrains primaires cristallins et cristallophylliens façonnés par l'orogénèse hercynienne.

Les terrains de couverture y sont de faible épaisseur de l'ordre de quelques mètres. Ils sont essentiellement constitués :

- de sables et galets avec lentilles limono-argileuses en fond de vallée,
- de terre argileuse mêlée de blocs et cailloutis sur les versants.

Le substratum est essentiellement composé de granodiorite (granodiorite du Lampy) et, dans une moindre mesure, de micaschistes en tête du versant Est du bassin :

- la granodiorite est une roche compacte essentiellement composée de micas mêlés de cristaux de feldspath et de bande de quartz,
- les micaschistes constituent une roche lamellaire fracturée et altérée en surface (2 à 3 m) mais rapidement compacte.



Rivière	Le Lampy et son affluent le Lampiot
Superficie	7,2 km ²
Longueur	4,8 km
Altitude maximale	850 m NGF
Altitude minimale	647 m NGF
Pente moyenne	4,2 %
Géologie majoritaire	Granodiorite
Terrain de couverture	Forêts mixtes (chênes, hêtres et résineux)

CHEMINS D'ÉCOULEMENT D'EAUX SOUTERRAINES A L'AIDE DE SIGNAUX COMBINÉS DE POTENTIEL SPONTANÉ, DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE ET DE POLARISATION PROVOQUÉE

GHORBANI A¹, REVIL A.², ZHAO X.³, MOUYEAUX A.⁴, BARRERE L⁵, RICHARD J.¹², PEYRAS L.⁴, VAUDELET P.¹

¹ Naga Geophysics, Chambéry, France ² EDYTEM, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, Le Bourget-du-Lac, France.

³ College of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China ⁴ INRAE, UMR RECOVER, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence, France ⁵ Voies Navigables de France, Béthune, France

RESUME

Dans cette étude, trois méthodes géoélectriques - le potentiel spontané, la polarisation provoquée et la résistivité électrique-ont été utilisées avec succès pour imager l'écoulement des eaux souterraines près d'un barrage. Un modèle préliminaire d'écoulement a été développé à partir des données de polarisation provoquée sur la perméabilité et la teneur en eau. Ce modèle a ensuite été mis à jour avec les données de potentiel spontané et la conductivité électrique issue de la tomographie de résistivité. Une anomalie positive du potentiel spontané a été observée, liée à la remontée des eaux.

INTRODUCTION

Les méthodes géoélectriques, telles que la méthode du potentiel spontané (PS), la méthode de résistivité électrique (ERT) et la méthode de polarisation provoquée (PP), ont chacune contribué de manière indépendante à l'identification des fuites et à la caractérisation des schémas d'écoulement dans les barrages et les digues. Les anomalies de PS peuvent être interprétées à l'aide de techniques d'inversion géophysique, lesquelles ont été développées dans le cadre des méthodes de champ potentiel en hydro-géophysique. Récemment, les anomalies de PP, interprétées à travers des modèles pétrophysiques, ont été utilisées pour générer des images du contenu en eau, de la capacité d'échange cationique (CEC), de la surface spécifique des matériaux poreux et de la perméabilité du sous-sol (Revil et al., 2020). Étant donné que la polarisation provoquée est sensible à la perméabilité et que le PS répond à la vitesse de Darcy, la combinaison de ces deux méthodes permet d'obtenir une compréhension plus approfondie de l'écoulement des eaux souterraines. Cette étude présente une méthodologie pour l'intégration de ces approches, avec un accent particulier sur la détection et la quantification de l'écoulement des eaux souterraines en aval d'un barrage situé sur un substratum granitique.

SITE D'ÉTUDES

Le barrage de Lampy est situé dans le sud de la France, entre les villes de Toulouse et Carcassonne (Figure 1a). Il fait partie du système de développement hydraulique de la Montagne Noire destiné à alimenter le Canal du Midi en eau tout au long de l'année. Le barrage de Lampy est un barrage réservoir gravitaire (en maçonnerie). Il est composé de pierres de granit, liées avec du mortier de chaux. Le barrage mesure environ 18 mètres de hauteur au-dessus de sa fondation. Sa longueur est d'environ 140 m et sa largeur est de 5,5 m au sommet. La fondation est constituée de granit sain sur les rives, mais le granit est beaucoup plus altéré au fond de la vallée, avec la présence de sables granitiques, résultant de la désagrégation du substratum granitique. Une petite source (potentiellement une fuite) est apparue au niveau du contrefort n°8 en 2022.

L'étude géophysique a consisté en 7 profils ERT/PP avec 48 électrodes espacées de 2 m. De plus, une étude de potentiel spontané a été réalisée dans la même zone, comprenant 336 points de mesures (Figure 1b).

MÉTHODES

Les tomogrammes de la teneur en eau et de la capacité d'échange cationique (CEC) peuvent être obtenus à partir des données inversées de résistivité électrique et de polarisation provoquée (par exemple, Revil 2013), ainsi que le tomogramme de la perméabilité du sous-sol (Soueid Ahmed et al., 2020).

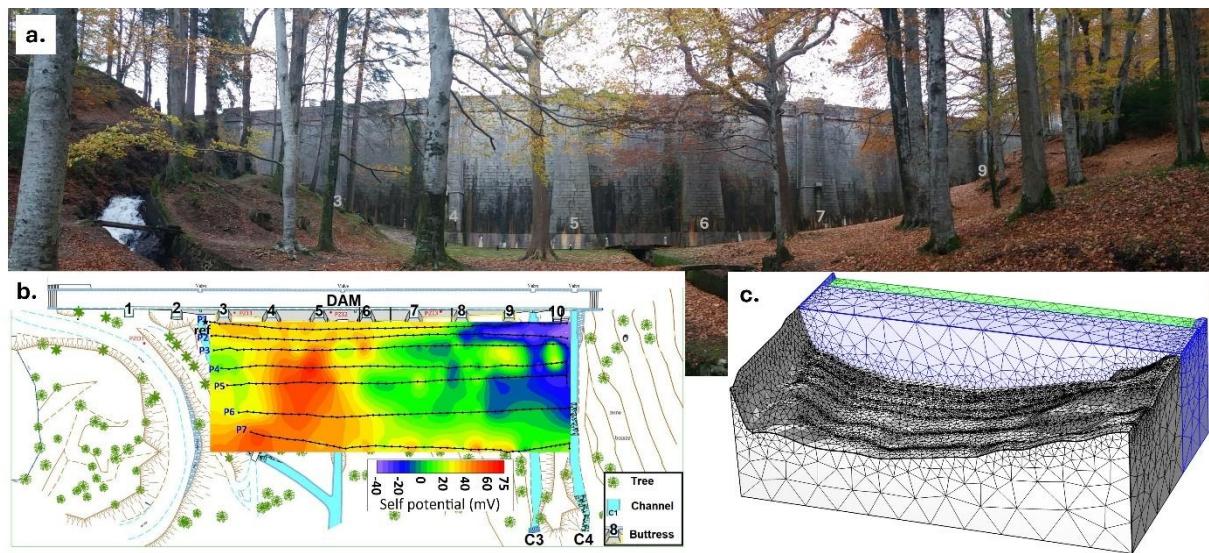


Fig. 1 – a. Le barrage de Lampy. L'image montre quelques-uns des dix contreforts. **b.** La carte du potentiel spontané comprend les points de mesure du potentiel spontané et les profils ERT/PP. **c.** Géométrie 3D et maillage d'éléments finis utilisés pour les modélisations électriques et de Darcy.

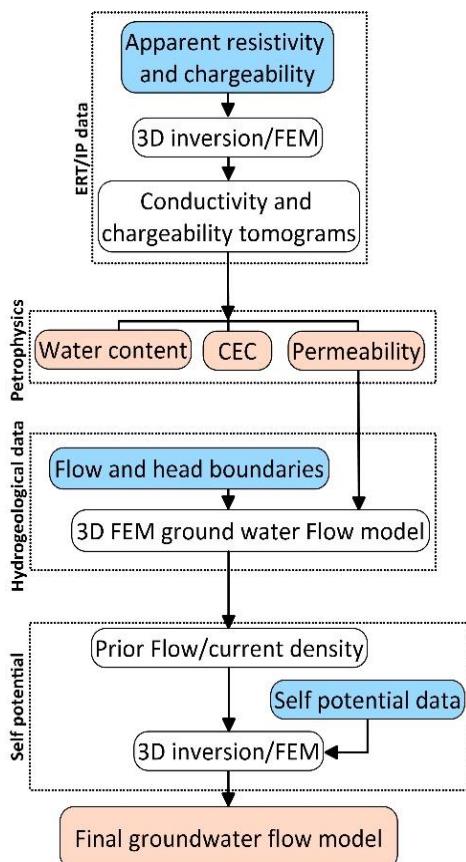


Fig. 2 – Organigramme utilisé pour déterminer l'écoulement en utilisant une combinaison de méthodes électriques.

Dans un premier temps, un modèle 3D simplifié de la zone du barrage est construit pour résoudre le modèle direct des données de résistivité et de polarisation provoquée (Figure 1c). Ensuite, ces données sont inversées avec le code d'inversion ECT-3D (Soueid Ahmed et al., 2020). Dans une troisième étape, les tomogrammes de la teneur en eau, de la CEC et de la perméabilité sont calculés. Le modèle 3D est ensuite utilisé pour résoudre l'équation de Darcy, où la perméabilité et la teneur en eau sont appliquées conjointement avec les conditions aux limites hydrauliques afin d'obtenir la distribution de la vitesse de Darcy.

L'idée principale de cette approche est qu'un modèle initial de la vitesse de Darcy (et de la densité de courant) peut être déduit de la distribution de perméabilité obtenue à partir des données de polarisation provoquée. Ce modèle d'écoulement initial puis converti en une distribution de densité de courant source a priori. Cette densité de courant initiale est mise à jour à l'aide des données de potentiel spontané, produisant ainsi une distribution de densité de courant source a posteriori, qui est ensuite utilisée pour mettre à jour le modèle d'écoulement des eaux souterraines. L'inversion des données de potentiel spontané suit la méthode de Gauss-Newton, comme suggéré par Jardani et al. (2008). Le diagramme de flux présenté dans cet article intègre la conductivité électrique, la chargeabilité normalisée, le potentiel spontané et les conditions aux limites pour modéliser l'écoulement des eaux souterraines.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

En appliquant le modèle pétrophysique, les tomogrammes de conductivité et de chargeabilité normalisée sont interprétés en termes de tomogrammes de contenu en eau, CEC et de perméabilité (Figures 3a, 3c). L'altération du granite a produit de la kaolinite et la CEC de la kaolinite se situe généralement dans la plage de 3 à 15 meq/100 g, ce qui est cohérent avec la limite supérieure trouvée dans le tomogramme de Figure 3b. Les valeurs de perméabilité varient entre 10^{-8} m^2 pour le conduit à haute perméabilité et 10^{-18} m^2 pour ce qui doit être appelé un aquitard. La zone caractérisée par des valeurs de perméabilité élevées et des contenus en eau élevés sous forme de conduit est cohérente avec une zone où le sol est caractérisé par un degré élevé d'humidité (Zone A dans la Figure 3e). La zone juste au-dessus de la structure horizontale à faible perméabilité est connue pour canaliser l'écoulement de l'eau souterraine superficielle dans un aquifère perché vers la source. Il est important de noter que les conditions aux limites incluent une condition de pression à la limite inférieure, une condition atmosphérique à la surface du sol, et une absence d'écoulement sur les côtés. L'objectif n'étant pas de modéliser les fuites ni l'écoulement dans l'aquifère non confiné situé au-dessus de l'aquitard. La zone de remontée de l'eau souterraine est en accord avec la zone de sol humide sur la carte de potentiel spontané.

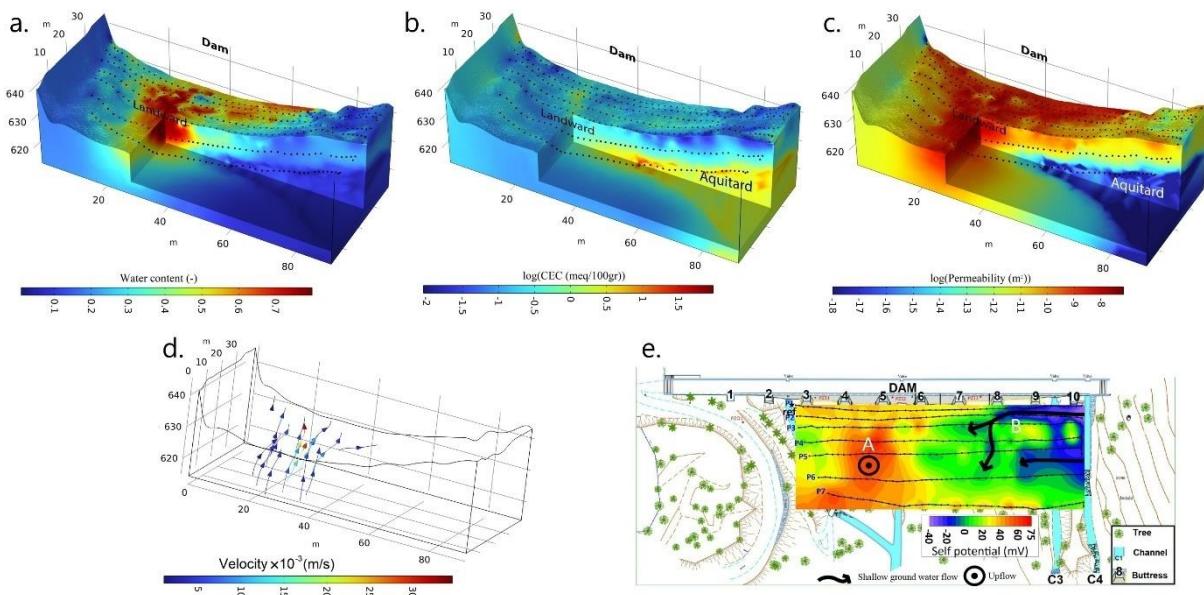


Fig. 3 – a., b. et c. Tomogrammes de la teneur en eau, de la CEC et de la perméabilité obtenus en combinant les tomogrammes de conductivité et de chargeabilité normalisée. **d.** Directions d'écoulement. **e.** Carte de potentiel spontané reconstruite à partir du modèle mis à jour de l'écoulement.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce travail combinant les données géoélectriques de polarisation provoquée et de potentiel spontané établit un lien plus clair entre les données géophysiques et hydrogéologiques afin d'obtenir une image 3D de l'écoulement des eaux souterraines. Les recherches futures se concentreront sur l'intégration des données hydrogéologiques pour une meilleure évaluation des limites de cette méthode, une analyse approfondie des incertitudes et l'extension de cette approche. L'ensemble de cette étude est publié dans le Revil et al., 2024.

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être réalisé grâce aux résultats du projet ALCOTRA RITA financé par la Union Européenne. Nous remercions VNF pour l'accès au site.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- JARDANI A., REVIL A., BOLÈVE A., DUPONT J.P., 2008** – Three-dimensional inversion of self-potential data used to constrain the pattern of groundwater flow in geothermal fields, *Journal of Geophysical Research*, 113, B09204.
- REVIL A., GHORBANI A., ZHAO X., MOUYEAUX A. , BARRÈRE L., RICHARD J., PEYRAS L., VAUDELET P., 2024** – Groundwater flow paths using combined self-potential, electrical resistivity, and induced polarization signals, *Geophysical Journal International*, 239(2), 798–820.
- REVIL A., SOUEID A., COPEREY A., RAVANEL L., SHARMA R., PANWAR N., 2020** – Induced polarization as a tool to characterize shallow landslides, *Journal of Hydrology*, 589, 125369.
- REVIL A., 2013** – On charge accumulation in heterogeneous porous rocks under the influence of an external electric field, *Geophysics*, 78 , D271–291.
- SOUeid AHMED A., REVIL A., ABDULSAMAD F., STECK B., VERGNIAULT C., GUIHARD V., 2020** – Induced polarization as a tool to non-intrusively characterize embankment hydraulic properties, *Eng. Geol.*, 271, 105604.

Exploitation et système d'auscultation du barrage du Lampy

Laurence BARRERE VNF

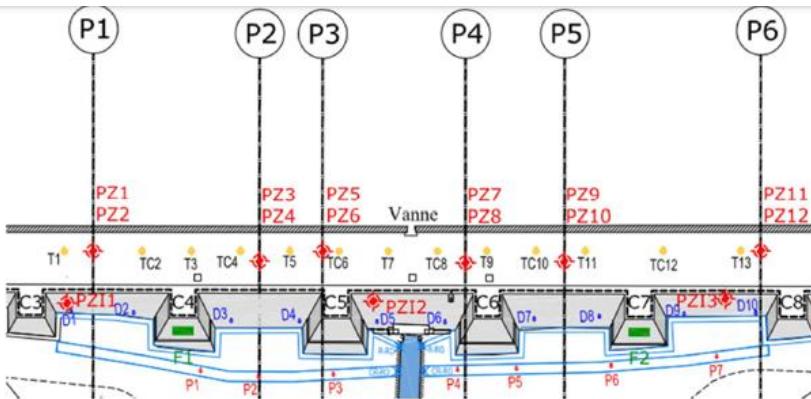


Figure 1-1: Implantation du dispositif de mesure de la piézométrie, des fissuromètres et des dispositifs de collecte des eaux de drainage

Exploitation, système d'auscultation, travaux :

Service	Dispositif	Emplacement
Piezomètres	17 piezomètres 15 CP1 2 PZ ² ouverts	Au contact maçonnerie/fondation 3 piezomètres réalisés en 1991 (Type Geopiez) 3 piezomètres réalisés en 2008 (Type CL1 de Télémac) 3 piezomètres réalisés en 2016 (Type EPI de Geolstrumentation) Realisées en 1991, dans le Terrain Naturel (TN) aval rive droite et rive gauche Dans le corps de la maçonnerie
Drainage	10 drains 7 puits de décompression 4 collecteurs	Sur le parement aval du barrage, en pied réalisés en 2015-2016 En pied aval de l'ouvrage, du contrefort C4 au contrefort C8 réalisés en 2015-2016 Collecteurs RD et RG de la cuvette de collecte des drains et de la tranchée drainante en pied aval depuis 2015-2016.
Tirants	2 fissurandaires RTF30	A mi-hauteur au droit des contreforts C4 et C7 depuis 2007
Fissures	6 tirants télémesurés	Repartis le long de la crête de l'ouvrage installés en 2015-2016

1: CP1 (Cellule de Pression installée à 10cm d'épaisseur)
2: PZ (Piezomètre)

Fréquence de l'auscultation :

Mesures piézométriques, fuite, fissuromètre : suivi hebdomadaire

Mesures des fissuromètres toutes les 6h, récupérées via un pc portable

Mesures des tensions des tirants effectués à fréquence hebdomadaire, tirants télémesurés sont mis en tension permettant d'exercer une traction de service de 1189

Historique de l'ouvrage, les 3 interventions significatives :

- Injection de la fondation en 1992-1993 (réduction des pressions mesurés au contact barrage/fondation)
- Rejointoilement de la partie basse du parement amont en 2023-2024 (réduction de la piézométrie dans la maçonnerie de l'ouvrage avec plus ou moins de succès,
- Les travaux de la mise en révision spéciale en 2015-2016 (rejointoilement du parement amont, injection de la maçonnerie en partie basse, installation de tirants) qui ont eu, peu d'impact sur les suintements observés en parement aval et sur la piézométrie. Plusieurs cellules piézométriques ont été remplacées pendant ces travaux.

Sentier Karstique (grotte du Calel)

Frédéric Verp, Société de Recherche Spéléo et Archeo du Sorèzois et du Revélois (SRSASR)

Le complexe souterrain Jean Antoine CLOS situé près de la ville de Sorèze développe plus de 7000 m de galeries souterraines.

Plusieurs grandes cavités dont la grotte du Calel, la résurgence de la Fendeille, le gouffre de Polyphème sont drainées par une rivière souterraine entrecoupée de plusieurs siphons. En surface, tout un modèle caractéristique des plateaux calcaires est présent : gouffres, grottes, perte de ruisseau, sources, dépressions, lapiazs.

Sous terre les spéléologues locaux ont découvert des vestiges archéologiques dans la grotte du Calel mais aussi sur le plateau, et ainsi apporté les preuves matérielles que le site présente également un grand intérêt archéologique. Il s'agit d'un ensemble minier et métallurgique homogène datant du Moyen-Age et caractérisé par l'exploitation de fer au Xe et XIe siècles. Le site, mis en valeur par les fouilles et prospections récentes entre 1989 et 1995, concerne des zones regroupant le versant de la Fendeille, le plateau du Causse, le complexe souterrain Jean Antoine Clos et la vallée de l'Orival. On y trouve des fours de réduction de mineraux, des charbonnières, et des chemins d'exploitation...

Ce site archéologique est unique en France par son importance, sa rareté et par le nombre de vestiges découverts et relevés. Les observations effectuées sur plusieurs années nous laissent à penser que les mineurs médiévaux ont d'abord prospecté et exploité le ravin de la Fendeille à partir de la rive droite de l'Orival.

Sur la surface du Causse, des dizaines d'excavations souvent groupées en chapelets selon deux à trois lignes directrices. À proximité des « trous » se trouvent les témoignages de l'évacuation des déblais : des monticules en relief parfois imposants. Des centaines de m³ de sédiments ont été exploitées. En creusant ces « dolines », les médiévaux ont souvent rencontré des cavités, et c'est tout naturellement qu'elles ont été pénétrées, prospectées et exploitées.

Dans les cavités, les mineurs ont laissé des témoignages de leur exploitation : escaliers, traces de ponts en bois, nombreux coups de pics sur les parois, drainages de galeries, traces de foyer et d'espaces de repos. Les témoignages les plus émouvants sont certainement les dessins et graffitis dessinés par des enfants de 6 à 8 ans.

Les grottes recèlent d'autres témoignages : la présence de l'homme préhistorique et des ossements d'animaux datant de la dernière glaciation ours, rennes, chamois, lion des cavernes, élans, aurochs, chevaux... sont souvent présents.

Sur le plateau de Sorèze, un sentier karstique permet de visualiser et de comprendre un paysage karstique sous tous ses aspects. Il évoque en particulier l'archéologie et l'exploitation des grottes comme mines et carrières par les hommes depuis le Moyen Âge. Ce sentier a été inauguré le 26 septembre 2015.

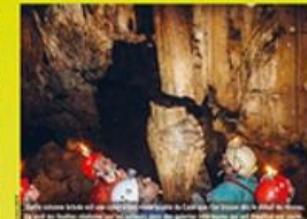
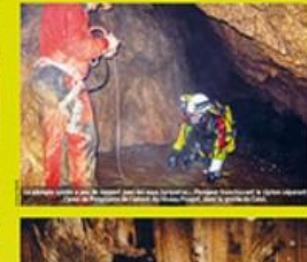
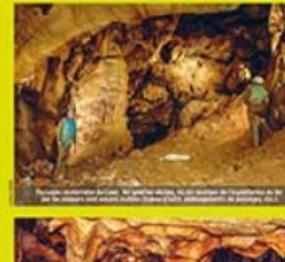
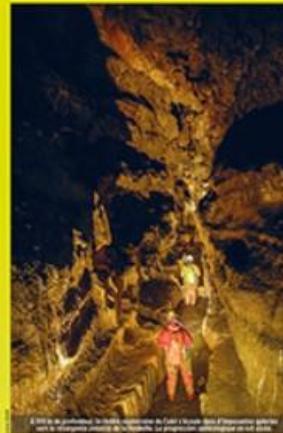
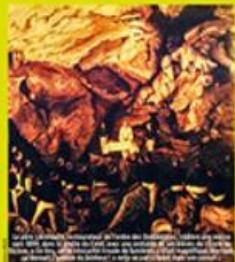
Le site est notamment classé et inscrit au titre des Monuments Historiques et il est classé au titre des sites paysagers. Il appartient également au réseau Natura 2000, réseau d'espaces naturels pour la préservation de la diversité biologique et la valorisation du patrimoine naturel des territoires.

Des panneaux didactiques ainsi qu'une table d'orientation avec table de pique-nique ont été installés sur le plateau pour le plaisir de tous... Le point de vue du roc de la Fendeille qui domine la plaine de plus de 300 mètres est particulièrement admirable surtout par temps clair.

Bienvenue sur le sentier de découverte karstique du Causse de Sorèze



Historique de l'exploration des grottes du Causse de Sorèze



L'Homme et la Caverne

Les relations de l'homme avec cette montagne ne datent pas d'hier ! À la fin du néolithique, vers 2 500 avant J.-C., nos ancêtres ont utilisé les grottes comme refuge, sanctuaire ou lieu de sépulture.

Plus tard, au début du Moyen Âge, les hommes sont venus ramasser le minerai de fer qui était visible à la surface des fractures dans le calcaire.

Le premier qui s'intéresse sérieusement au Causse est un docteur de Sorèze, Jean-Antoine Clos, peu après la Révolution. Il le fait avec les connaissances scientifiques de l'époque. Il observe qu'une rivière disparait sous terre, au fond d'un grand entonnoir et repère ce qu'il croit être des scories en surface (en fait des nodules de fer) et pense qu'il s'agit d'un ancien volcan éteint !

Au cours du XIX^e siècle, les sociétés savantes défilent au Calel et s'aventurent dans les entrailles de la grotte. Le riche imaginaire romantique émaille

leurs récits d'images fortes, mais la science avance aussi...

Les débuts d'une nouvelle science :

la spéléologie

C'est avec la naissance de la spéléologie, à la fin du XIX^e siècle, que la connaissance progresse enfin.

Le "père" de la spéléologie française s'appelle Édouard-Alfred Martel. L'explorateur de Padirac envoie d'abord ses disciples et visite trois fois la grotte du Calel... Il n'est plus question de volcanisme, mais bel et bien d'érosion karstique, par dissolution du calcaire par l'eau des précipitations.

Jusqu'à nos jours, l'attention des spéléologues, locaux ou gloires nationales (Norbert Casteret) n'a pas cessé... En 1922 le père Pouget, un disciple de Martel, crée le premier club spéléo local... qui après moult vicissitudes devient l'actuelle SRSASR (Société de Recherches Spéléo-Archéologiques du Sorrois et du Rivois).



Le réseau Jean-Antoine Clos : 9 kilomètres de galeries !

Parmi les quelque 360 grottes découvertes dans la Montagne Noire (une quarantaine sur le plateau du Causse de Sorèze), la grotte de référence est la grotte du Calel. Sa présence a, durant de nombreux siècles, exercé une forte dynamique d'activité spéléologique certainement propulsée aussi par le centre d'éruption qui constitue à l'époque l'École Royale Militaire de Sorèze.

Cet engouement ne faiblit pas avec un secteur associatif spéléologique qui existe depuis 1922. De nouvelles découvertes ont lieu chaque année !

Aujourd'hui, le réseau totalise trois entrées, et développe 9 kilomètres de galeries souterraines, puits, rivière... pour une profondeur de 132 mètres. C'est un important complexe hydrologique souterrain qui est connu depuis l'enfoncement de la rivière de surface quand elle arrive sur le calcaire, jusqu'à sa sortie, 175 mètres plus bas, à la résurgence de la Fendelle.

Une progression variée

Les paysages souterrains du Calel sont variés, du passage étroit où l'on progresse en rampant, à de

grandes galeries très hautes... sans oublier la plongée souterraine, car pas mal de jonctions ont été faites dans des galeries noyées par l'eau, ce que l'on appelle un siphon. D'ailleurs, malgré de nombreuses tentatives, celui qui sépare le fond du Calel et l'amont de la résurgence de la Fendelle n'a pas encore été parcouru par l'homme, le passage est trop étroit !

Appréhender le réseau souterrain

En suivant notre sentier karstique, vous allez vous promener au-dessus du réseau souterrain, caché sous 130 m de calcaire. La carte à gauche vous permet même de mieux appréhender le parcours complexe de la rivière souterraine, qui coule littéralement sous vos pieds.

Envie de découvrir la spéléologie ?

Cette discipline ne s'improvise pas. Rejoignez un club près de chez vous pour suivre une initiation. Le plus souvent, on vous prête le matériel individuel pour les premières sorties.

Pour trouver le club le plus proche, rendez-vous sur le site Internet de la Fédération Française de Spéléologie : www.fespel.org

La Société de Recherches Spéléo-Archéologiques du Sorrois et du Rivois est le club local depuis 1922.

L'association est très dynamique. Notre site Internet : www.srsasr.fr

Pour tout contact, e-mail : srsasr@free.fr ou la mairie de Sorèze.



Sentiers karstiques en Midi-Pyrénées

Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées - www.sentiers.midipy.net



Le sentier karstique du Causse de Sorèze est créé par le Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées et la Société de Recherches Spéléo-Archéologiques du Sorrois et du Rivois, avec l'aide des partenaires :



Le Causse, un écosystème exceptionnel à découvrir... et protéger



Une histoire géologique qui commence il y a 600 millions d'années

Savez-vous que vous vous promenez sur une roche calcaire vieille de 600 millions d'années, une des plus anciennes de la Terre ? Ce calcaire a été formé au fond de la mer, par la lente accumulation de débris organiques, commencé au Précambrien, il y a 600 millions d'années ! Déposé en couches, il a subi un tas d'événements qui vont le comprimer, le chauffer, jusqu'à le transformer quasiment en marbre. Il y a 50 millions d'années, du fait de la formation des Pyrénées, poussé vers le haut, il émerge avec la Montagne Noire. Un choc violent (et très lent) qui n'est pas terminé, car les Pyrénées continuent de monter. Dans cet épisode géologique, le calcaire est bousculé, tritiqué, des failles le fissurent et le traversent. Regardez avec attention les roches : on y distingue de petites lignes parallèles : ce sont les anciennes couches de dépôt du calcaire au fond de la mer, aujourd'hui redressées à la verticale !

La "fabrication" du causse

Tout est en place pour que ce morceau de calcaire devienne un causse (on dit aussi un karst). Par les fissures, l'eau rentre dans le massif. Le calcaire est attaqué par l'acidité de

l'eau de pluie chargée de gaz carbonique. Elle emprunte telle faille puis telle autre, et agrandit les passages en créant les galeries et les puits, jusqu'à la sortie au point bas du massif. Elle se trouve dans le ravin de la Fendeille, à 350 m d'altitude, soit 192 m plus bas que le sommet du Causse.

Hé oui, sous terre aussi, les eaux cherchent toujours le chemin le plus direct vers la mer. Notons que l'eau traversant un causse n'est pas filtrée. Enfin, c'est aussi par ce système de failles tectoniques profondes que sont remontées les eaux acides chargées d'oxyde de fer, venues de la croûte terrestre, apportant le minerai de fer convoité des mineurs du Moyen Âge.

Un site naturel à protéger...

Par sa richesse naturelle et historique, l'ensemble du Causse est protégé par des classements, on l'espère définitivement : Monument Historique, Site Paysager, Zone d'Intérêt Ecologique pour la Faune et la Flore, Zone Natura 2000, le tout dans le Parc Naturel Régional du Haut Languedoc...



Ce karst emblématique forme un écosystème exceptionnel et sensible

Parce que l'eau disparait très vite dans les innombrables fissures de la roche, la surface du Causse est un écosystème très particulier... N'y survivent que les plantes adaptées à la sécheresse estivale. La vie utilise aussi les formes caractéristiques du karst pour s'implanter là où c'est possible, comme les fonds des failles ou des dolines, colmatés par des pierres et de l'argile. Cette argile, étanche, conserve un peu mieux l'humidité, et c'est ce qui permet par exemple à un érable champêtre, une espèce qui a besoin d'eau, de se développer dans une doline, avec des fougères, ou à des fleurs comme les arums de fleur au fond d'une faille !

De la vie sous terre
Contre toute attente, la vie existe aussi sous terre, dans l'obscurité absolue des cavités ! Une vie adaptée, marquée par la dépigmentation, la perte des systèmes oculaires, des antennes très développées...

Mais c'est l'animal emblématique des spéléologues, la chauve-souris, qui frappe les esprits. Les chauves-souris utilisent les grottes pour dormir (le jour), pour mettre bas (un petit par femelle et par an) et pour hiberner, et sortent chasser des quantités d'insectes, participant ainsi à l'équilibre des espèces. Quand elles sont sous terre, elles ont surtout besoin qu'on les laisse tranquilles... Ce sont des troglophiles, mais il y a aussi de nombreuses espèces troglobiotes, c'est-à-dire infédiées totalement au milieu souterrain. Comme le petit crustacé blanc appelé Niphargus, ou des myriapodes, des collemboles, etc. Elles se nourrissent des nutriments apportés par la rivière, et sur le quano des chauves-souris. Ce système est très fragile ; le karst ne filtre aucune pollution. Nous devons tous respecter cette vie souterraine et la protéger.

Ramenez tous vos déchets avec vous !



Sentiers karstiques en Midi-Pyrénées

Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées - www.sentiers.midipy.net



Un site minier exceptionnel d'extraction du fer daté du Moyen Âge



Des mines de fer exploitées en surface...



Vous voici sur le site de la Grande Mine, une faille naturelle remplie d'oxyde de fer ! Les mineurs du XI^e et XII^e siècles l'ont complètement vidée pour se procurer cette matière première vitale à une époque où le fer était difficile à se procurer. Les seuls vestiges visibles de l'exploitation sont les talus que l'on peut repérer par endroits sur les côtés de la faille. Ils correspondent aux anciennes haldes, c'est-à-dire une accumulation de matières stériles, l'argile et le calcaire, sans intérêt.

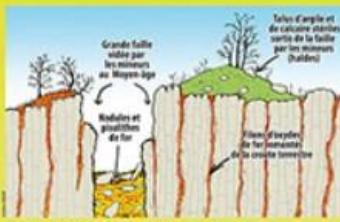
Des oxydes de fer à la surface ?

Sur la photo ci-dessus, on remarque les creux occasionnés par les failles tectoniques qui ont sectionné verticalement le calcaire. Ces failles ont été remplies aux temps géologiques par des oxydes de fer remontés des profondeurs de la croûte terrestre (voir schéma à droite).

On peut trouver quatre types de minéralisations : les filons, les nodule, les pisolithes et les encroûtements ferrugineux. En cherchant un peu vous pourrez trouver au sol de petits nodules de fer. Sur les parois on peut observer aussi des taches de "rouille", ce sont les



Crédit de fer encastré dans une faille



Les spéléologues ne sont pas les premiers à visiter les grottes du causse. Dès le XI^e siècle, des hommes ont dépassé leur crainte de l'obscurité pour accéder au réseau profond. Leur motivation était utilitaire : ramasser et utiliser le minerai de fer présent naturellement en surface et dans les anfractuosités du calcaire. Une intense activité minière a eu lieu sur une période allant des années 1050 à 1150.

Des vestiges archéologiques étonnans

Plusieurs kilomètres de conduits souterrains ont fait l'objet d'importants travaux : des aménagements internes (encoches dans les parois pour fixer des échafaudages, escaliers, ponts, encoches et barres en bois pour permettre la descente de verticales, canal d'écoulement d'eau, tunnel de jonction). Des déplacements impressionnantes de plusieurs centaines de mètres cubes d'argile, des échafaudages en bois (empreintes de

poteaux de plus de 15 cm de diamètre transportés à 100 m de profondeur) ont été découverts.

Les graffitis, des messages millénaires des mineurs

Les mineurs ont voulu marquer leur passage en traçant des signes sur les parois (croix, triangles barrés, rouelles, etc.), gravures et dessins au charbon.

Plus émouvants sont les traces des enfants de 6 à 9 ans seulement. Traces de pieds nus dans l'argile, traces d'extraction dans des boyaux inaccessibles pour les adultes, anthropomorphes au graphisme infantile caractéristique des enfants attestent leur présence.

Par la cohérence et la variété des vestiges archéologiques, par l'originalité des multiples traces exceptionnelles découvertes, le plateau de Sorèze et son réseau souterrain sont un site archéologique majeur et unique dans son genre.



Sentiers karstiques en Midi-Pyrénées

Comité de Spéléologie Régional Midi-Pyrénées - www.sentiers.midiipy.net



Contexte géographique et hydrogéologique de l'extrême occidentale de la Montagne Noire

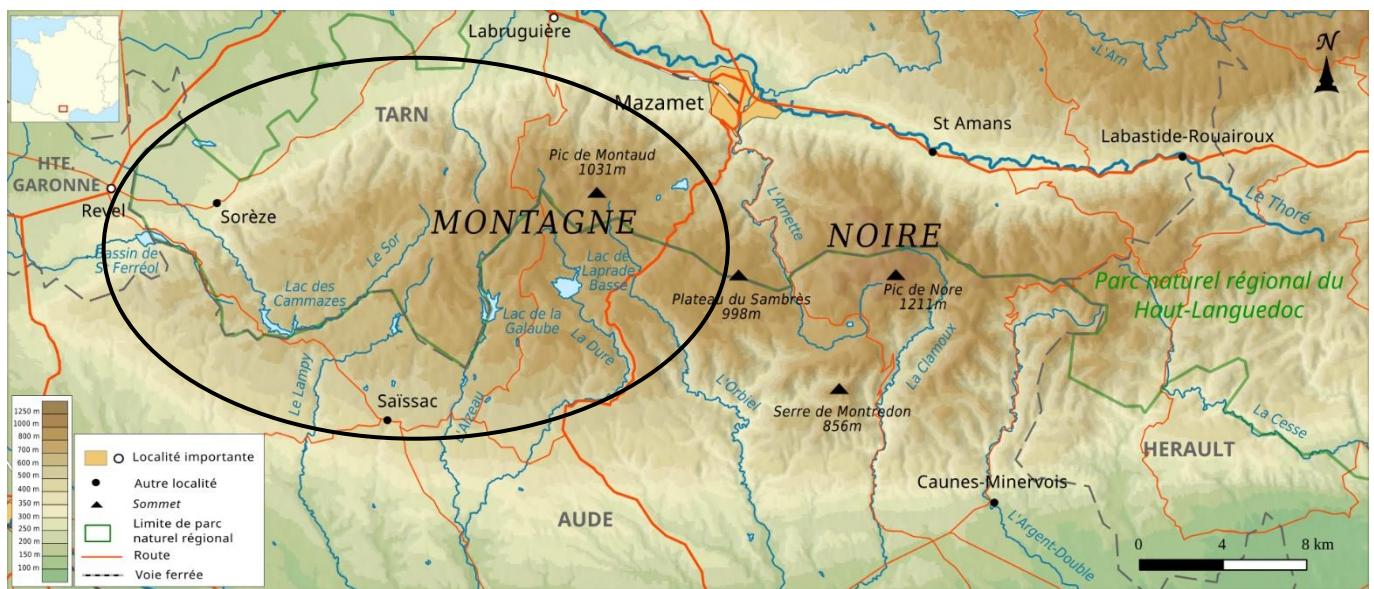
Christophe SUBIAS et Pierre MARCHET, CFH

Laurence BARRERE, VNF

Situation administrative

La carte suivante présente la situation géographique et administrative des journées techniques, situées entre :

- le département de l'Aude au sud, représenté par la commune de Saïssac (900 habitants),
- le département de la Haute-Garonne à l'ouest avec la ville de Revel (9 700 habitants),
- le département du Tarn au nord avec la commune de Sorèze (3 000 habitants).



Situation géographique

On cartographie 4 grands domaines géographiques, qui définissent les 4 grandes unités paysagères :

- l'extrême occidentale de la **Montagne Noire audoise et tarnaise**, région de moyenne montagne et de collines culminant à 1 031 m au Pic de Montaud et s'abaissant vers l'ouest à des altitudes d'environ 300 m à **Labécède-Lauragais** ;
- la **plaine de Revel** ou appelée aussi **dépression de Revel**, vaste plaine agricole avec un habitat isolé ou regroupé en village. Cette plaine reste en grande partie agricole, le remembrement en a recomposé la trame effaçant le maillage des haies. La Plaine de Revel est recouverte principalement d'alluvions du quaternaire, essentiellement argilo-siliceuses.
- **Les zones de piémonts constituée d'un relief en cuestas**, qui couvre principalement les versants audois notamment les communes de Montolieu, Ventenac-Cabardès, Moussoulens et Aragon. Cette zone était historiquement plantée de vignes (appellation le Cabardès) mais remplacée progressivement par des oliveraies et des céréales.

- **La plaine molassique plus bas, appelé aussi le Lauragais**, associé à la richesse de la production agricole (Pays de Cocagne lié à la culture du pastel, et «grenier à blé du Languedoc», qui renvoie à la spécialisation et à l'exportation céréalière depuis le XVIIe siècle, grâce au canal du Midi). Cette zone dite « des mille collines », taillée dans les molasses, s'incline doucement d'est en ouest, les altitudes allant de 500 m (Laurac) à 250 m (Lanta).



Plaine de Revel



Paysage vallonné et forestier de la Montagne Noire



Relief de cuesta (Montolieu)



Les collines du Lauragais

Contexte climatique

Le climat du secteur est à la fois sous influence atlantique et méditerranéenne mais avec de nettes différences entre les zones de plaine (Lauragais) et les zones de montagnes (Montagne Noire).

Seule la présence d'un vent régulier et parfois violent confère à ces territoires un point climatologique commun. Généralement, qu'elles proviennent de l'Atlantique (vents dominants) ou de la Méditerranée, **les masses nuageuses sont arrêtées par les sommets de la Montagne Noire** : sur les versants Est si c'est un flux d'Ouest et sur les versants Sud-Est (au-dessus de Sorèze, Les Cammazes) s'il s'agit d'un flux méditerranéen.

Versant audois, le climat local est de type méditerranéen avec une influence océanique qui attribue à ce territoire une situation atypique au regard du reste du département. La pluviométrie est faible surtout dans la plaine avec de possibles épisodes pluvieux intenses et de courtes durées. Inversement le cumul des précipitations de la Montagne Noire est plus important. Les températures moyennes sont relativement douces, les vents très fréquents peuvent être violents.

Versant tarnais, le climat est de type océanique à composante méditerranéenne-montagnarde. Si l'influence océanique domine en raison d'un bassin versant orienté à l'ouest, la proximité de la mer méditerranéenne (environ

à 100 km à vol d'oiseau) confère une longue période de sécheresse durant l'été et surtout des évènements pluvieux parfois violents.

Les pluies moyennes annuelles dans la plaine (Revel, Castres) sont en moyenne autour de 850 mm par an (Données Météo France). Les précipitations sont beaucoup plus abondantes sur la Montagne Noire. Au-dessus de 500 m d'altitude, les sommets reçoivent en moyenne plus de 1 000 mm dans la partie occidentale et supérieur à 1 400 mm dans la partie orientale, secteur dans lequel les averses méditerranéennes participent au total des précipitations. Sur le versant Nord de la Montagne Noire, les isohyètes « perdent de l'altitude » d'ouest en est. Il en va de même sur le piedmont pour lequel la pluviosité a tendance à diminuer de Mazamet à Revel.

Contexte hydrologique

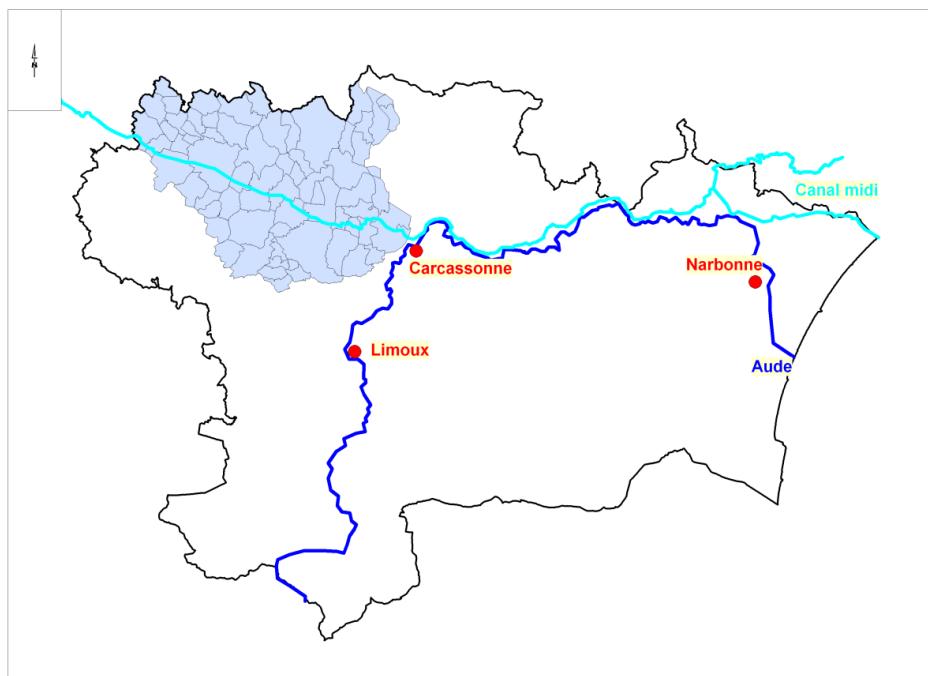
Le secteur est à la séparation des eaux entre :

- Le bassin méditerranéen au sud, drainé par la rivière du Fresquel, affluent du fleuve Aude.
- Le bassin atlantique au nord, drainé vers le Sor, affluent de l'Agout (BV du Tarn).

Le Fresquel est un cours d'eau long de 65 Km débute dans le Lauragais à proximité immédiate des limites des bassins versants Adour Garonne et Rhône Méditerranée. Principal affluent en rive gauche de l'Aude, son régime est influencé par les prélèvements effectués dans son bassin versant d'alimentation (Montagne Noire) pour l'alimentation du canal du Midi.

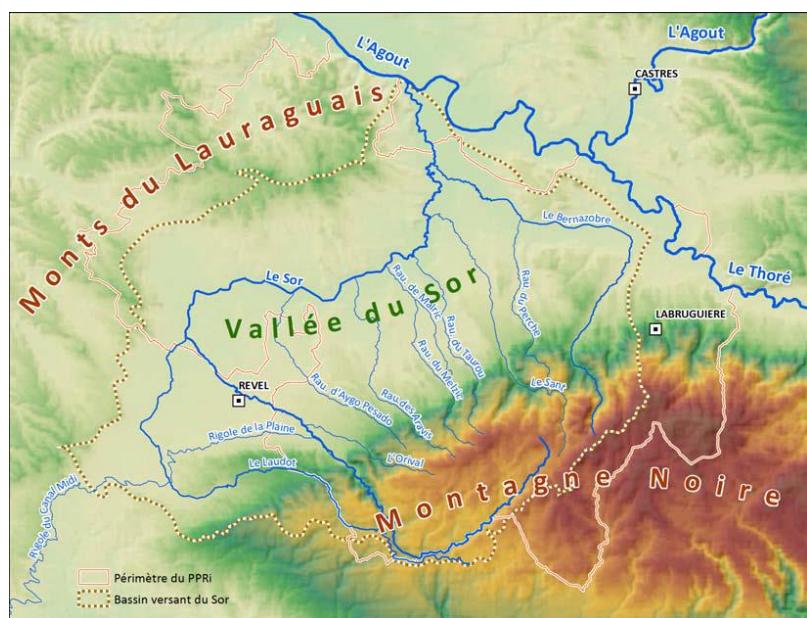
Suite aux 3 années successives de sécheresses de la fin des années 80, un mécanisme de compensation des prélèvements agricoles a été développé sur le bassin versant du Fresquel. Tout ou partie des prélèvements exercés sur les cours d'eau pour l'irrigation sont compensés par des réalimentations depuis les secteurs amont.

Le Fresquel a des débits compris entre 40 l/s en étiage (QMNA5) et 38 m³/s (crue décennale).



Le Sor a une superficie de **450 km²**. Il prend sa source à 750 m d'altitude sur la commune d'Arfons et s'écoule jusqu'à l'Agout dans lequel il se jette, 60 km plus en aval. Il emprunte d'abord une orientation plein Sud jusqu'à la retenue des Cammazes, puis une orientation Sud-Est / Nord-Ouest jusqu'à rejoindre son affluent principal **Le Laudot**, à Garrevaques.

Le Sor présente une dissymétrie bien marquée entre la Montagne noire, aux gorges entaillées et aux fortes pentes, et la plaine en aval de Durfort où il reçoit la majorité de ses affluents. En amont, son cours n'est pas très abondant mais, avant la construction du barrage des Cammazes qui a permis de le réguler, il connaissait de brusques variations conduisant à une crue dévastatrice tous les 30 à 50 ans et à des crues de moindre intensité tous les 5 à 20 ans. Son débit put atteindre 130 m³/s (crue décennale).



Contexte géologique

L'extrême Ouest de la Montagne Noire est formée de terrains précambriens et paléozoïques métamorphiques, constituées de granite, gneiss, micaschistes et, localement, de calcaires primaires.

Cette extrémité est située entre deux entités géologiques bien distinctes :

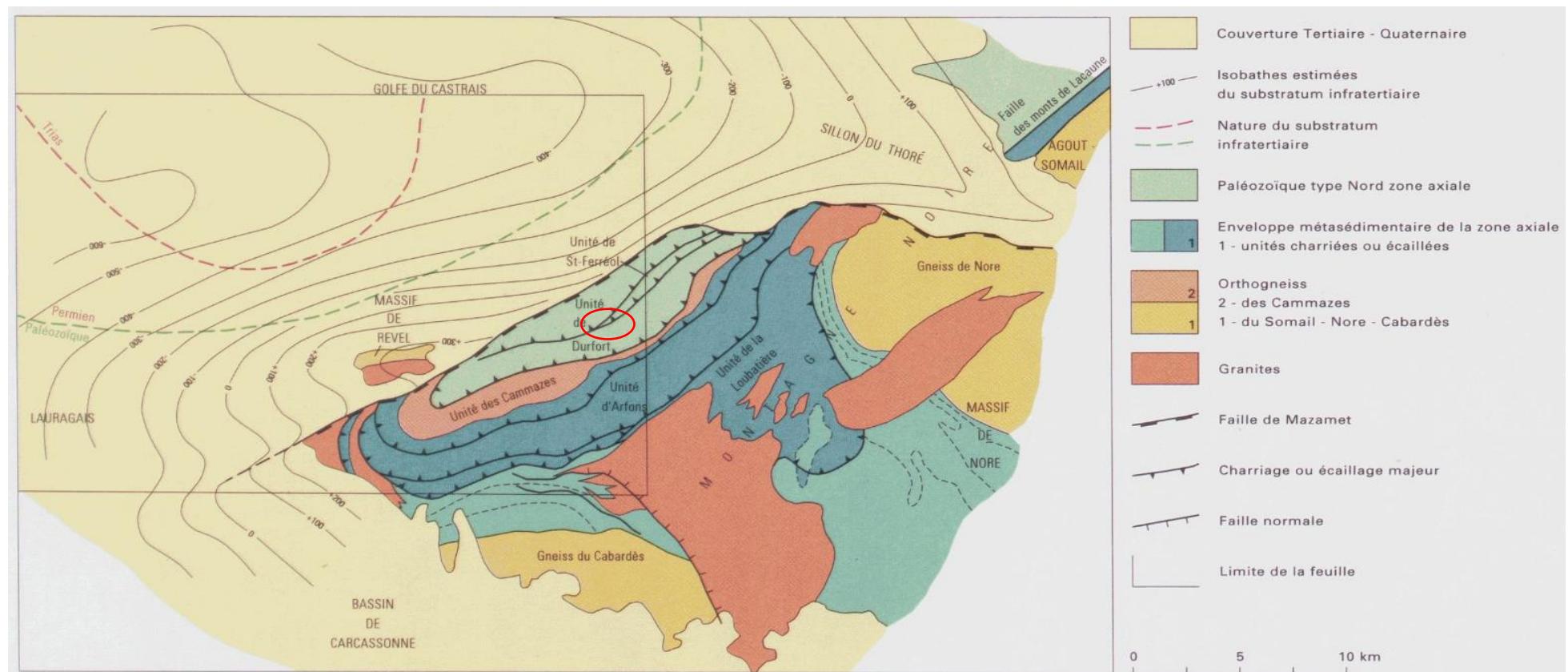
- la dépression de Revel occupée par des terrains sédimentaires d'âge Eocène et Quaternaire,
 - le bassin de Carcassonne/Castelnau-d'Àuby par des terrains sédimentaires d'âge Eocène et Quaternaire.

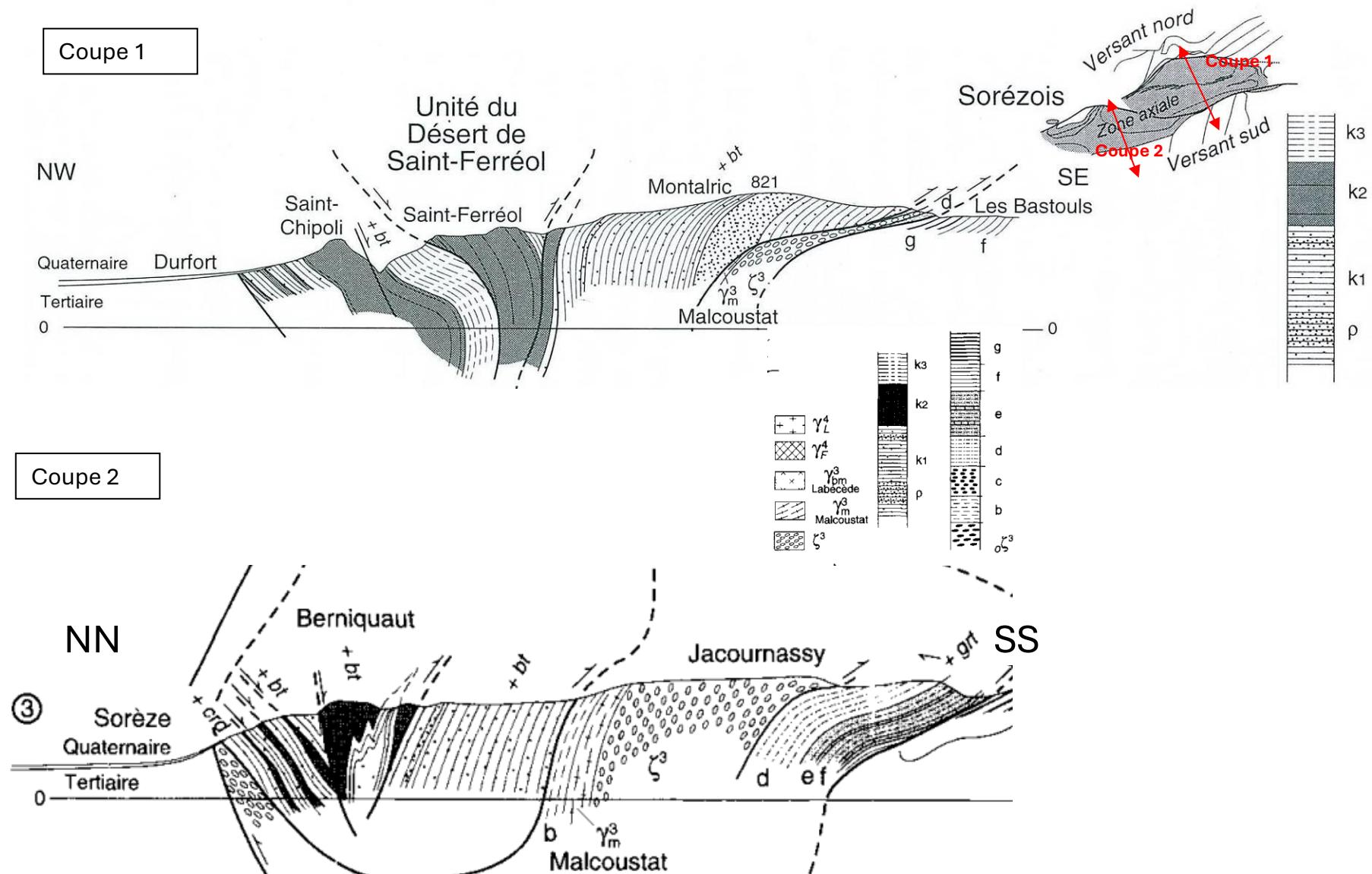
Les unités paléozoïques de la Montagne Noire sont composées de terrains très anciens (d'âge Primaire), fortement plissés et tectonisés. Cet ensemble fortement redressé vient chevaucher vers le N.W. les dépôts tertiaires précédemment cités.

La zone Nord de cet ensemble paléozoïque est caractérisée par une structuration en écailles chevauchantes et subdivisée en deux unités principales : l'unité de Dufort et l'unité du désert de Saint-Ferréol (voir coupe géologique).

Ces unités sont formées de terrains gréso-pélitiques du Cambrien moyen et de terrains carbonatés du Cambrien inférieur. Des intercalations de séries métamorphiques et conglomeratiques sont aussi observées.

Carte géologique simplifiée du secteur





Coupe géologique du secteur des carrières de Sorèze – extrait notice géologique de la feuille de Revel modifiée

Contexte hydrogéologique

D'un point de vue hydrogéologique, les différentes formations précédemment citées constituent localement des aquifères plus ou moins importants. On peut mentionner :

Les aquifères de socle de la zone axiale de la Montagne Noire : représentée par des gneiss et des granitoïdes de Brousse, du Lampy et des Martys. Le versant méridional de cette structure comprend des formations micaschisteuses. De nombreuses sources alimentent les communes (Lacombe, Saissac, Cuxac Cabardès...).

Les aquifères karstiques de la Montagne Noire : Au sein des formations paléozoïques, on trouve également des bandes calcaires d'âge Cambrien, avec quelques sources importantes : Las Nobios et Co d'En Sens (sur la commune de Verdun Lauragais) qui alimentent Castelnaudary aux débits respectifs de 30 et 60 m³/h, les sources de La Loubatière (sur la commune de Lacombe) qui alimentent le Syndicat Sud-Oriental des Eaux de la Montagne Noire, avec un débit total de 30 m³/h.

A noter également que sur le versant nord, les communes de Sorèze et de Saint-Amancet étaient alimentées par deux sources émergeant des calcaires Cambrien. Ces sources ont été abandonnées par ces communes au profit de ressources plus stables quantitativement (le débit des sources karstiques pouvait baisser drastiquement en été) et qualitativement (variations importantes de turbidité). Ces ressources étaient également très vulnérables aux pollutions de surface (systèmes binaires).

Aquifère des graviers d'Issel : Cet aquifère constitue un aquifère multicouche de bonne productivité, limité au mur par les argiles vitroliennes et au toit par les argiles de Saint-Papoul et la molasse du Bartonien. Cet aquifère est exploité par le forage de l'Ave Maria (30 m³/h) qui alimente Saint-Papoul. Deux forages (Sainte-Marie et Soubiran) captent les graviers d'Issel entre 240 et 280 m de profondeur, exploités au débit de 100 m³/h, ils alimentent Castelnaudary. Si l'eau extraite des forages est bactériologiquement potable, des concentrations élevées en fer et manganèse nécessitent un traitement spécial avant la distribution.

Aquifère des grès d'Issel : Cette formation, épaisse d'une centaine de mètres, renfermant principalement des grès, a été reconnue par de nombreux forages lors des reconnaissances minières entreprises par la COGEMA dans les secteurs de Tréville, Peyrens et Issel. Quelques forages ont rencontré plusieurs niveaux faiblement aquifères. Cette formation s'enfouit sous la molasse en s'approfondissant vers le Sud-Ouest ; ainsi, le forage des Cheminières (site de la Légion à Castelnaudary) aurait recoupé cet aquifère artésien à 420 m de profondeur.

Alluvions du Fresquel et de ses affluents (Sou, Lampy, Tenten, Rougeanne et Vernassonne) :

Une coupe type des alluvions donne un mètre de limon brun remaniant des galets en surface, deux à trois mètres de sables argileux et deux mètres de graviers et galets. Ce matériau renferme de petits aquifères tributaires des rivières, qui ne sont plus exploités pour l'eau potable.

Aquifères des calcaires de l'Eocène (Thanétien, Illerdien, Cuisien) :

Les calcaires lacustres de Montolieu ou de Ventenac, les calcaires à alvéolines ou à nummulites, peuvent être localement fissurés. Ils sont le siège de nappes, souvent captives, à faibles potentialités. Elles donnent naissance à de petites sources à faibles débits (sources de Bondouire qui alimentent Alzonne et Raissac/lampy).

La prise d'eau d'Alzeau

Samuel VANNIER, historien archiviste chez VNF

La prise d'Alzeau est le point le plus en amont de tout le système conçu par Pierre-Paul Riquet pour alimenter le canal du Midi. Situés sur la commune d'Arfons (Tarn), à 652 mètres d'altitude, les ouvrages de prise d'eau sont d'une grande simplicité : une chaussée sur la rivière Alzeau fait obstacle à l'écoulement naturel de l'eau qui est ainsi dirigée vers l'entrée de la rigole de la Montagne. La tête de cette rigole est équipée de vannes régulatrices placées au centre d'un massif maçonné. L'importance du prélèvement est fonction des besoins en alimentation du canal. Une échancreure dans la chaussée assure le passage du volume réservé de la rivière. Les ouvrages actuellement en place datent d'un réaménagement de 1838. Une maison, placée à proximité des ouvrages de prise d'eau, assurait le logement du garde chargé des manœuvres des vannes et de la surveillance du site. Un agent du service de la navigation y était encore présent dans les années 1980. Aujourd'hui, l'automatisation des systèmes d'ouverture des vannes rend ce logement inutile aux besoins de VNF.

La rigole de la Montagne qui commence en ce lieu est un petit canal de 3 mètres de largeur environ, creusé à flanc de versant. Un cinquième de son tracé a dû être creusé dans la roche en place (granit essentiellement). En descendant ainsi jusqu'au lieu-dit du Conquet, elle croise plusieurs cours d'eau dont elle capte une part des volumes d'eau : la Bernassonne, le Lampy et le Rieutord sont les plus importants d'entre eux.



A proximité des ouvrages de prise d'eau d'Alzeau, un monument commémoratif a été érigé en 1838 à l'initiative du Duc Riquet de Caraman, héritier du concepteur du canal. Il rappelle les grandes étapes de la construction de cette œuvre monumentale.



la prise d'Alzeau en 1839



En amont de la prise d'Alzeau, proche le hameau de la **Galaube**, la rivière a été équipée d'un barrage poids qui a été mis en eau en 2000. La réserve créée (8 000 000 m³) est sous gestion de l'Institution des Eaux de la Montagne Noire.

On trouve également proche du hameau de la Galaube le départ des **vestiges de la rigole d'essai**. Ce fossé, ouvert entre juillet et octobre 1665, permit à Pierre-Paul Riquet de faire la preuve que les eaux captées dans l'Alzeau pouvaient être conduites dans la rivière du Sor puis, à nouveau détournées en amont de Revel, amenées à Naourouze. Cette démonstration réussie fut sanctionnée par la signature de l'Édit de construction du canal par Louis XIV en octobre 1666.

Utilisation de l'eau de la rigole à des fins d'eau potable

Laurent DANNEVILLE, hydrogéologue agréé pour le département de l'Aude

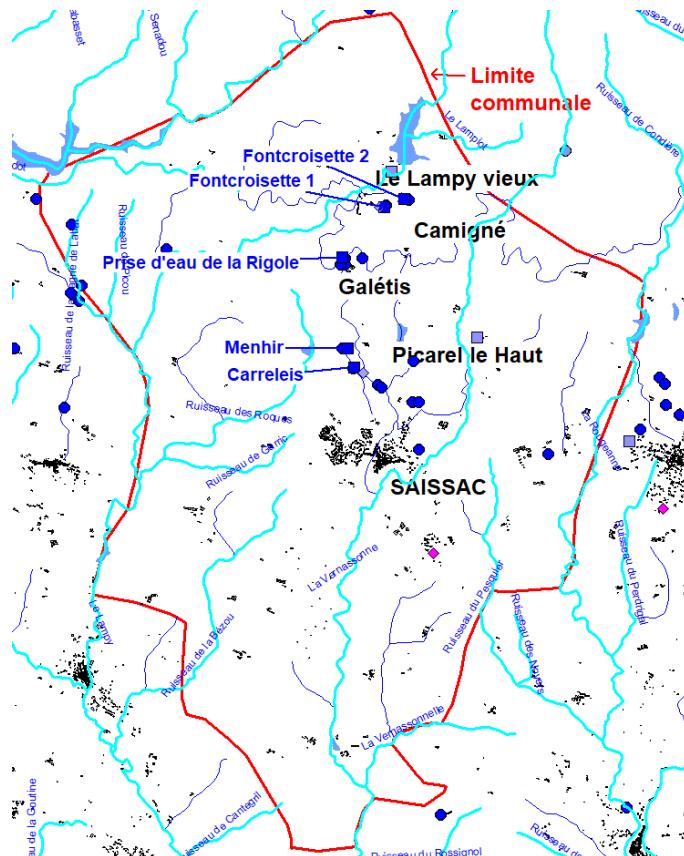
La desserte en eau destinée à la consommation humaine de la commune de SAISSAC est actuellement assurée par plusieurs ressources souterraines : captages de Fontcroisette 1 et 2, Menhir, Carréléis et par une ressource superficielle utilisée durant la période estivale : la prise d'eau de la Rigole.

Les eaux captées des captages de Fontcroisette 1 et 2 ainsi que les eaux de la Rigole sont traitées au niveau de la station de GALETIS puis acheminées vers le réservoir de PRAT MOULIS d'une capacité de 300 m3. Ces eaux alimentent par la suite une partie du village de SAISSAC, différents écarts, et l'autre station de traitement de LACROIX qui est elle-même alimentée par les eaux captées du MENHIR et de CARRELEIS.

A partir de cette station de traitement les eaux sont acheminées dans différents réservoirs qui vont permettre une alimentation des autres parties du village et des écarts. La commune possède en 2021 596 abonnés.

Dans le cas d'une contamination ponctuelle d'une des ressources ou d'un dépassement des normes de qualité, la commune de SAISSAC peut utiliser ses autres ressources qui sont distinctes et abandonner la ressource contaminée en attendant un retour à la normale. La prise de la Rigole pourrait également être utilisée à d'autres périodes de l'année si besoin.

Le but de cette présentation est d'évoquer la protection des ouvrages atypiques superficiels (canaux).

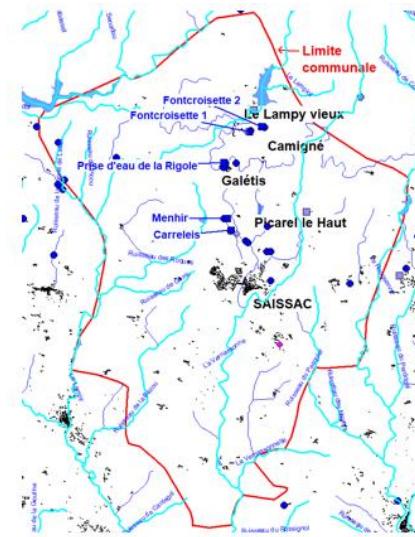


Utilisation de l'eau de la Rigole de la Montagne Noire à des fins d'eau potable : exemple de la commune de SAISSAC (AUDE)

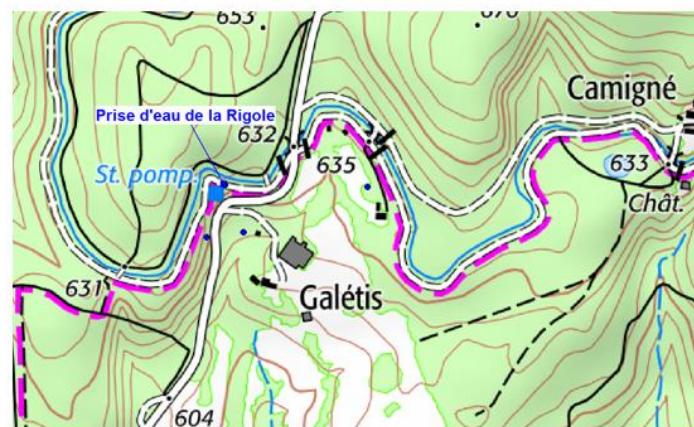
(Laurent DANNEVILLE)

La desserte en eau de la commune de SAISSAC est actuellement assurée par plusieurs ressources

- souterraines : captages de Fontcroisette 1 et 2, Menhir, Carréléis
- et par une ressource superficielle utilisée durant la période estivale : la prise d'eau de la Rigole.



Cette prise est située à proximité du hameau de GALETIS, au-dessus de la station de traitement AEP et directement dans la rigole



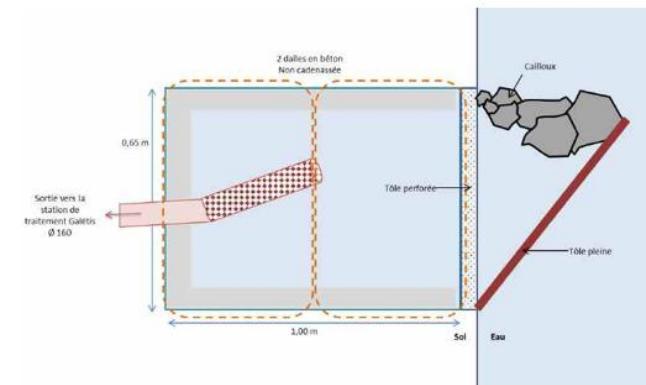
Description de l'ouvrage de captation :

La prise est située en rive gauche de la rigole de la Montagne Noire. Elle est composée d'une tôle pleine et de blocs permettant d'amener les eaux vers un bac de prise composé d'une crêpine et d'un tuyau d'adduction de diamètre 160 mm.

Le bac de prise est protégé en surface par deux dalles en béton.



Rigole de la Montagne Noire et prise située au premier plan



Tôle pleine et blocs permettant la prise d'eau vers le bac de prise



Bac de prise



Aspect quantitatif:

Selon la convention actée avec VNF (Convention de fourniture d'eau brute signée entre VNF et le Syndicat Sud Oriental de Eaux de la Montagne Noire le 21/04/1989), **220 000 m³/an peuvent être prélevés pour un débit instantané maximum de 7 l/s en continu.**

Le débit qui transite dans la rigole durant la période estivale varie entre 8 000 et 10 000 m³/j, soit entre 333 et 417 m³/h ou encore entre 92 et 115 l/s. Les fuites dans la rigole peuvent être estimées à 10 % (selon VNF).

Le débit prélevé maximum de 7 l/s correspond donc à environ 6.7 % du débit transitant dans la rigole.

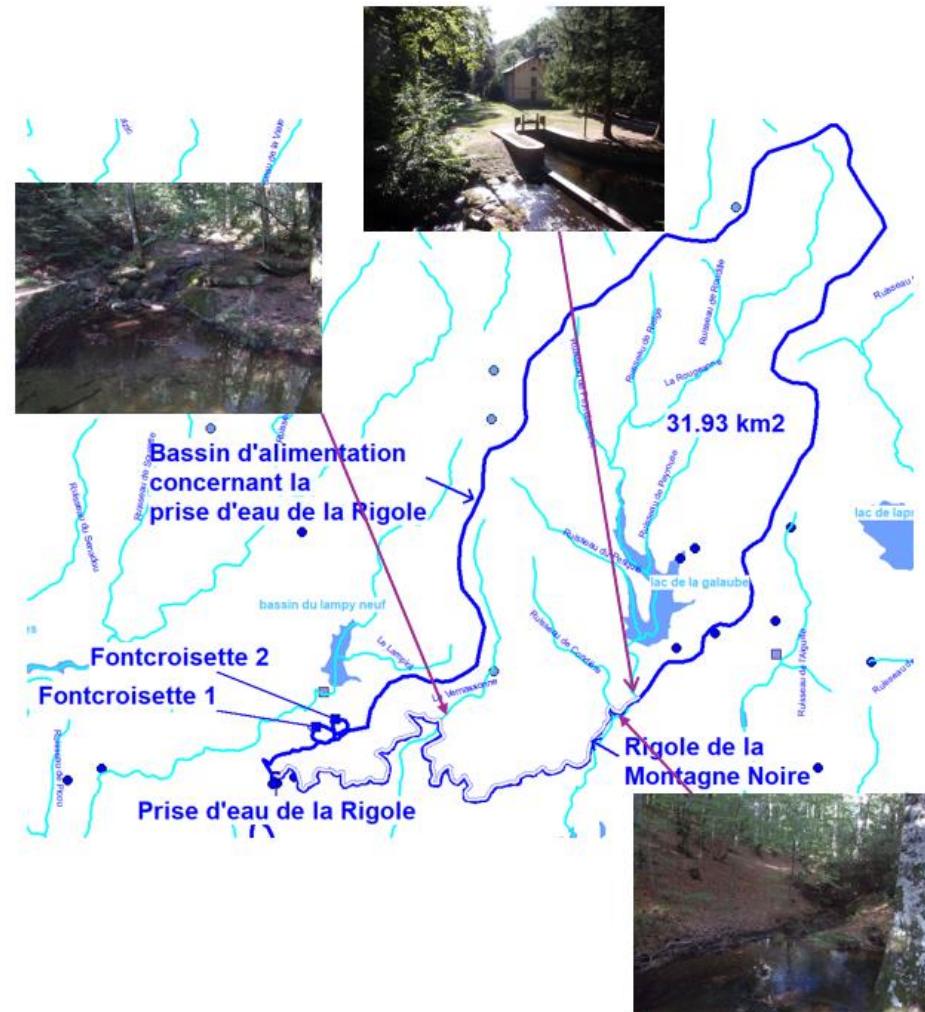


L'eau captée à ce niveau provient d'un bassin d'alimentation d'environ 31.93 km². Cette eau est acheminée via la rigole de la Montagne Noire qui capte l'eau du **barrage de la Galaube** au niveau de la prise d'Alzeau

L'eau parcourt environ 10.5 km avant d'être captée au niveau de la prise d'eau de la Rigole. Entre temps, la rigole est réalimentée par deux cours principaux que sont le **ruisseau de Coudière et la Vernassonne**



Rigole de la Montagne Noire et son chemin de halage





La ressource captée concerne donc les eaux du lac de la Galaube et deux principaux cours d'eau en aval qui sont alimentés par les eaux pluviales mais également par de nombreux aquifères présents sur le bassin dont les plus capacitifs sont contenus dans les formations des terrains d'altération des granites, des gneiss, et des grès.

En période d'étiage, l'alimentation par les cours d'eau est plus faible et c'est en grande partie les eaux du barrage de la Galaube qui alimente la rigole de la Montagne Noire.

Ce barrage terminé en 2001 possède une superficie de 65 hectares et un volume utile de 7.7 millions de m³. Il est géré par l'Institution des Eaux de la Montagne Noire (IEMN).

Pour information, le débit transitant dans la rigole peut-être au maximum de 120 000 m³/j, soit 1.38 m³/s. Le débit réservé du barrage de la Galaube est de 70 l/s (pour l'Alzeau).

Plusieurs prises existent sur le lac afin de prélever des eaux de bonne qualité physico-chimiques. Des analyses sont effectuées par rapport à la température, l'oxygénation, le fer et le manganèse.

Des vidanges sont effectuées régulièrement au niveau du lac pour garder le volume utile.

Sur une année moyenne, les apports naturels (20 Mm³) correspondent à 2.5 fois le volume du barrage (7.7 Mm³). On peut donc dire que le barrage est censé se remplir 2.5 fois/an (données IEMN). Le temps de séjour moyen est d'environ 4.8 mois.

Les objectifs principaux sont d'alimenter le canal du midi et le barrage des Cammazes qui permet l'alimentation en eau potable des communes aux alentours de REVEL.



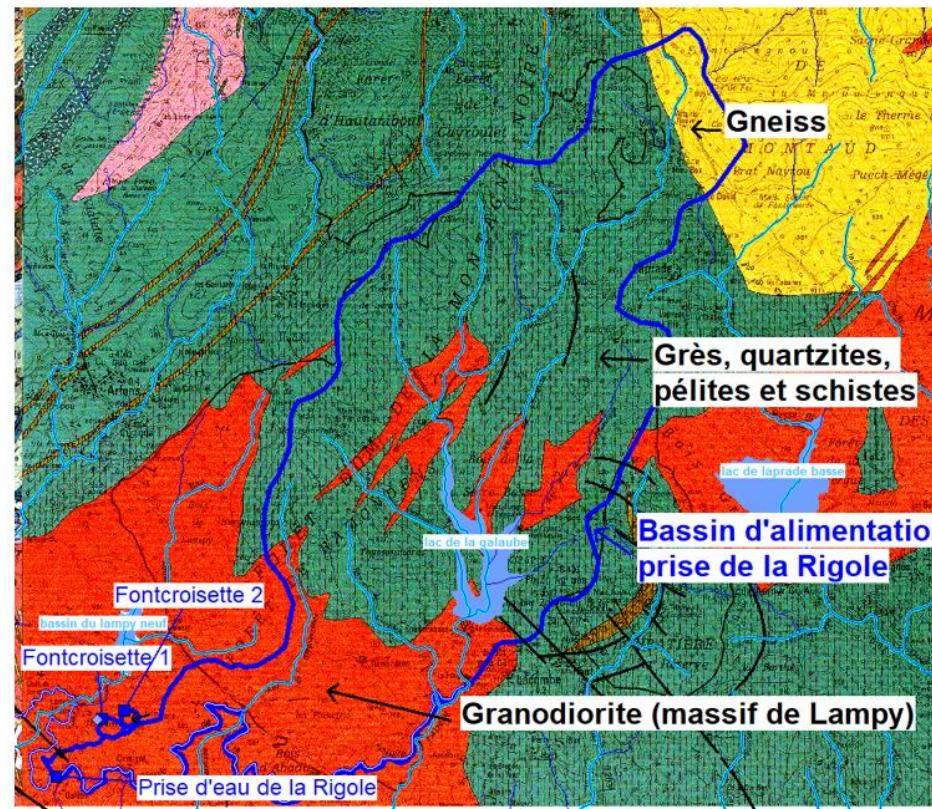


L'eau captée au niveau de la prise provient d'un bassin d'alimentation très vaste composé de différentes formations géologiques

La partie centrale du bassin intégrant le lac de la Galaube concerne des grès, quartzites, pélites et schistes du paléozoïque et plus précisément le groupe de Saint-Pons-Cabardes.

La partie sommitale est concernée par des gneiss du massif du Somain-Nore.

La zone aval du bassin est concernée par le granodiorite du massif de Lampy.



Vulnérabilité de l'aquifère

S'agissant d'une prise de surface au niveau d'un canal (la rigole de la Montagne Noire), **la vulnérabilité par défaut est forte vis-à-vis d'une pollution potentielle.**

Pour la prise, on peut considérer 3 secteurs :

- **Premier secteur** : de la prise de la Rigole à la prise d'Alzeau (environ 10.5 km) avec les deux cours d'eau : la Vernassonne et Coudière ;
- **Deuxième secteur** : de la prise d'Alzeau au droit du barrage (990 m de distance) ;
- **Troisième secteur** : bassin en amont du plan d'eau de la Galaube et plan d'eau de la Galaube

Pour le troisième secteur, l'anthropisation du bassin même s'il elle est faible peut apporter des éléments polluants au plan d'eau de la Galaube. Mais le plan d'eau de la Galaube permet une dilution et une auto-épuration importante (volume de 7.7 millions de m³).

Il y a peu de risque de contamination d'autant que le temps de séjour moyen des eaux dans le plan d'eau est d'environ 4.8 mois. **La vulnérabilité peut donc être considérée comme faible.**

En revanche, les conditions d'oxydoréductions au fond du barrage qui sont réduites, implique la présence de quelques métaux (Fer, manganèse notamment) mais ces paramètres sont gérés par l'IEMN.

Dans le deuxième secteur, les rejets directs dans la rivière la Rougianne (alimentée par le plan d'eau de la Galaube) peuvent avoir des conséquences directes au niveau de la prise d'eau (on recense un village, celui de la Galaube avec sa station d'épuration).

Il faut donc consacrer les efforts de protection (pollutions diffuses et accidentelles) dans ce secteur.

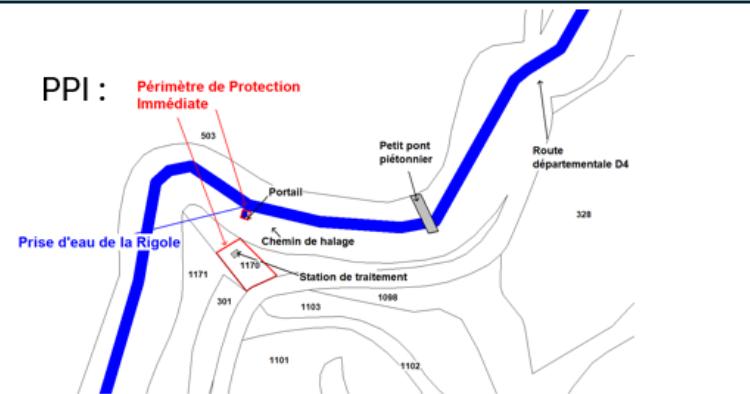
Dans le premier secteur : La réglementation qui s'exerce au niveau du chemin de halage et de la rigole avec l'interdiction du passage de poids lourds ou de véhicules permet de limiter cette vulnérabilité.

Les deux cours d'eau qui réalimentent la rigole de la Montagne Noire sont situés dans des bassins exclusivement forestiers ➔ c'est donc l'exploitation forestière qu'il faut gérer



Les périmètres de protection :

PPI : Périmètre de Protection Immédiate

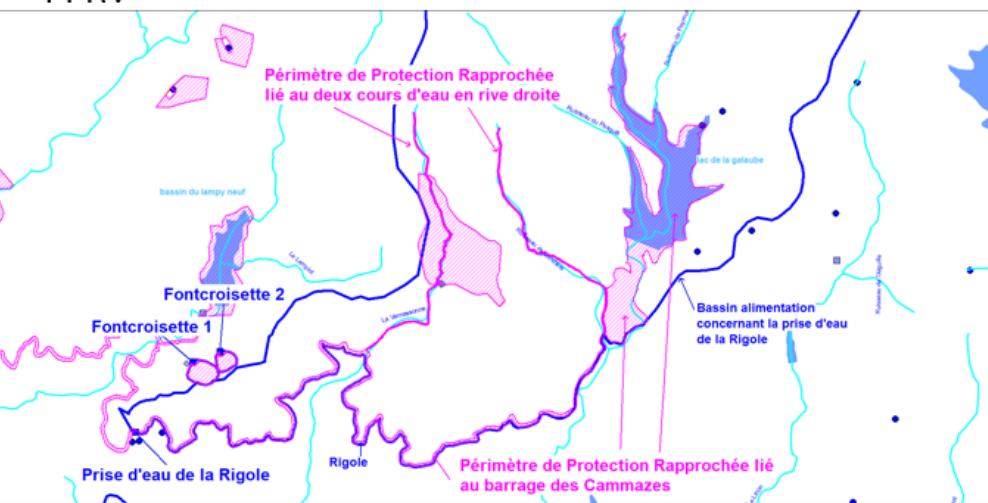


Un panneau indiquant l'interdiction de passage, de baignade et de navigation peut être placé sur une corde en amont de la prise d'eau si nécessaire et en accord avec VNF

Panneau en amont déjà en place :



PPR :

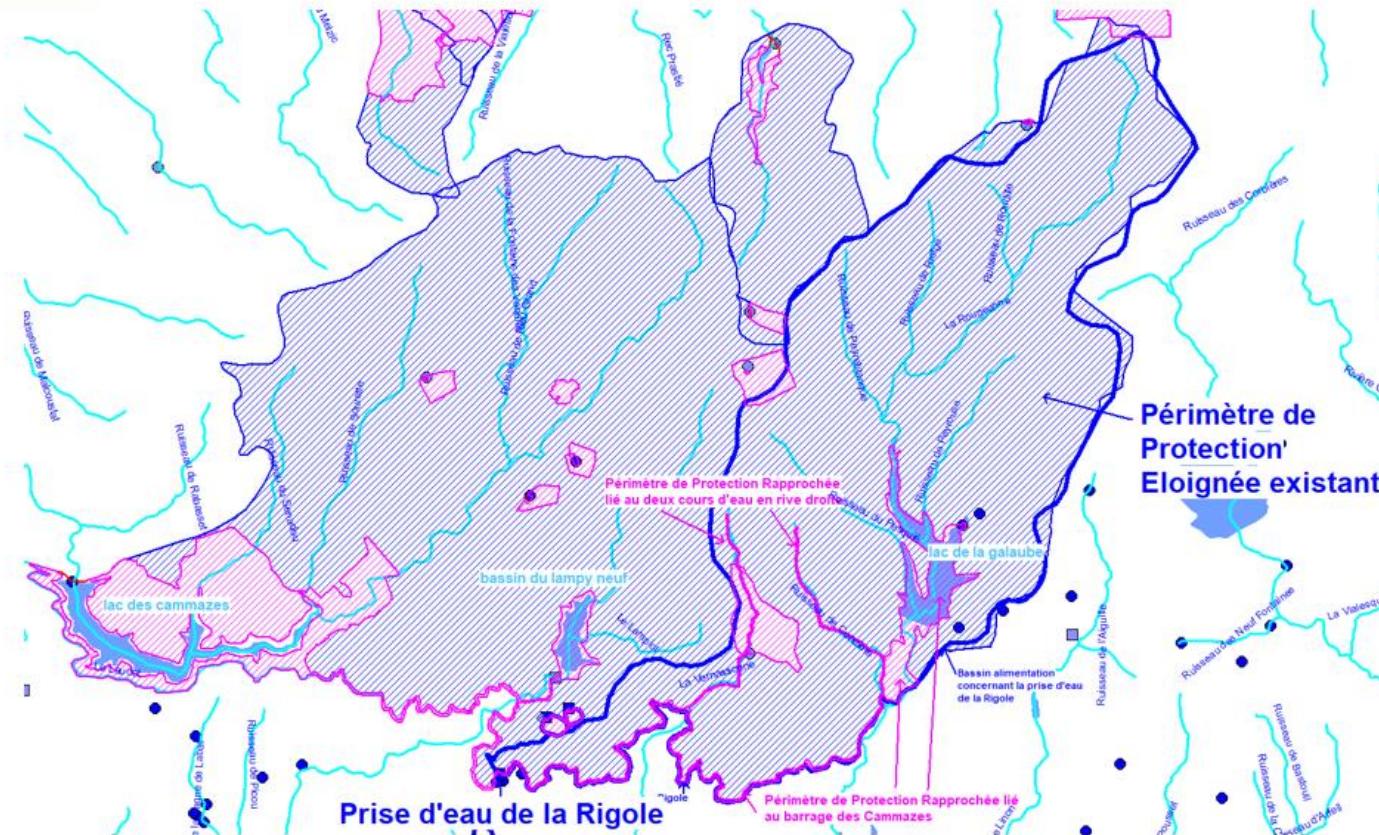


La protection de la ressource de la Rigole est déjà en partie réalisée avec l'arrêté préfectoral et les périmètres de protection en place pour la ressource du barrage des Cammazes.

Etant donné la réalimentation de la rigole par le cours d'eau de Vernassonne et le cours d'eau de Coudière, tous deux proches de la prise, il est rajouté un PPR lié à ces deux cours d'eau. Ce PPR aura une largeur de 5 mètres de part et d'autre des cours d'eau afin de protéger et conserver la ripisylve existante et éviter une perturbation des eaux en cas d'aménagements ou travaux forestiers



PPE:





Plan d'alerte et d'intervention



Télégestion sur la vanne de la prise de l'Alzeau



Prise sur l'Alzeau



Vanne existante sur la rigole de la Montagne Noire en aval de la confluence avec le Vernassonne

Un dispositif d'alerte doit être mis en place en ce qui concerne les deux routes principales (D4 et D408). Dans le cas d'une pollution non maîtrisée, la prise d'eau sera arrêtée.

La vanne sur la prise de l'Alzeau étant télégérée avec une vidéo servant à contrôler cette vanne, **la présence d'une pollution en amont pourra être détectée et la vanne pourra être fermée rapidement.**

D'autre part en cas de pollution au niveau de l'un des cours d'eau principaux (Coudière et Vernassonne), il est possible de dévier les eaux vers le cours du Vernassonne grâce aux vannes existantes sur la Rigole et sur le Vernassonne, mais ces vannes sont manuelles.

L'établissement d'un document permettant de connaître facilement et précisément les vitesses de propagation des pollutions accidentelles en distinguant les matières solubles, de celles non solubles apparaît à ce niveau judicieux. Pour cela, **des opérations de multi traçages** pourraient être envisagées en basses eaux dès la prise de l'Alzeau en collaboration avec VNF et l'IEMN. Ces opérations pourraient également affiner la gestion de la prise d'eau sur le barrage des Cammazes.

Le Conquet et la voûte de Vauban

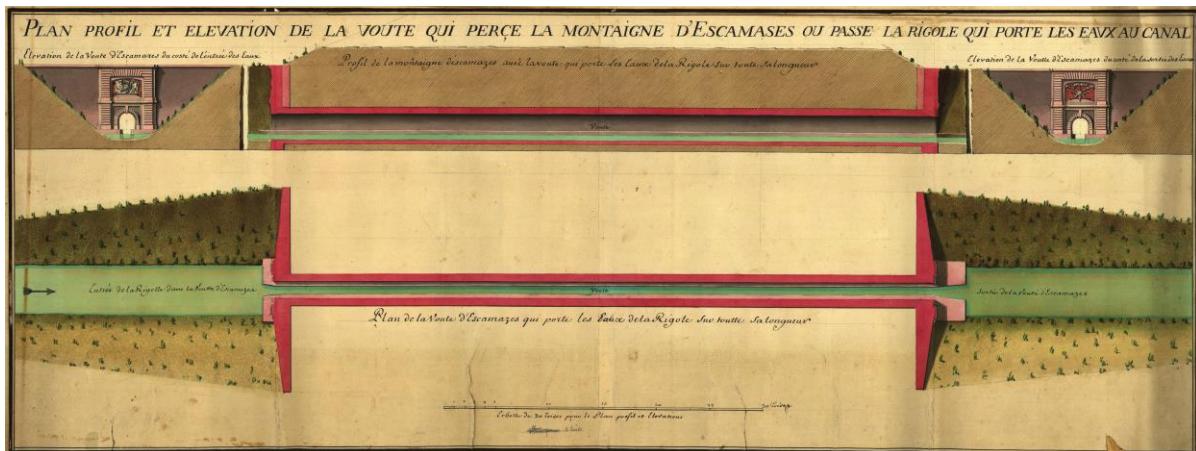
Samuel VANNIER, historien archiviste chez VNF

Le site du Conquet se situe sur la rigole de la Montagne, à 17 kilomètres en aval de la prise d'Alzeau. En ce point, la rigole franchit la ligne de partage des eaux Atlantique/Méditerranée. Pour forcer la nature, un passage en tranchée de 150 mètres de long et 8 mètres de profondeur a dû être aménagé. A l'époque de Pierre-Paul Riquet, la sortie de la tranchée marquait la fin de la rigole de la Montagne. L'eau dévalait dans la rivière du Sor, en contrebas. Une chaussée sur le Sor au lieu-dit Pont-Crouzet, à deux kilomètres de Revel, permettait d'introduire l'eau dans la rigole de la Plaine. Courant sur 38 kilomètres, la rigole de la plaine achemine ensuite jusqu'à Naurouze cette eau nécessaire au fonctionnement du canal.

Le système primitif a été amélioré après l'inspection confiée par le roi à Vauban en 1686. Afin d'assurer le parfait remplissage du réservoir de Saint Ferréol placé sur la rivière Laudot, la rigole de la Montagne a été prolongée de 7 kilomètres pour gagner, depuis le Conquet, le site des Cammazes. Ce village est placé sur une ligne de crête entre les vallées du Sor et du Laudot. La section de rigole entre le Conquet et Les Cammazes possède une pente plus forte. Pour réguler la vitesse de l'eau, un système de ressauts a été mis en place. Le substrat rocheux ("une espèce de schiste à petit feuillet") étant moins stable, le fond de la rigole a été dallé.

Afin de verser les eaux arrivant du Conquet dans la vallée du Laudot, un passage sous voûte a dû être réalisé.

La percée des Cammazes est l'un des ouvrages les plus marquants de la rigole de la Montagne. Les travaux ont été réalisés entre 1686 et 1688. C'est une voûte de 122 mètres de longueur et de 3 mètres de largeur aménagée à travers la ligne de crête séparant les vallées du Sor et du Laudot, à 589 mètres d'altitude. La voûte est maçonnée ainsi que les deux têtes amont et aval. Celles-ci ont été traitées dans un style architectural classique qui accentue le caractère monumental de l'ouvrage d'art. Les tympans étaient à l'origine ornés de sculptures à la gloire du roi qui furent détruites à la Révolution française. Le site a été réaménagé dans les années 1840 avec un système de plantations conçu pour magnifier l'ouvrage.



A la sortie de la voûte, la rigole de la Montagne possède une dernière section rectiligne qui s'achève 400 mètres après, sur le point nommé « le saut des Cammazes ». L'eau est ici versée aux sources du Laudot. C'est en suivant cette rivière qu'elle gagnera le réservoir de Saint Ferréol, à environ 4 kilomètres en aval.



Voûte de Vauban

Programme du dimanche 16 novembre 2025

Le barrage de Saint-Ferréol

8h30 - 10h30 Visite du barrage de Saint Ferréol avec le Centre de la Montagne Noire
Intervention de Samuel VANNIER et Laurence BARRERE, VNF, Intervention de Marc Henri PROST, bureau d'études ISL : stabilité du barrage de St Ferréol : explication des travaux d'étanchement et mise en place des inclinomètres.

10h45 Visite de l'écluse du Laudot

11h15 Départ pour le seuil de Naouze

12h00 Déjeuner au niveau du seuil de Naouze

16h00 Retour des participants à Toulouse

Le barrage de Saint-Ferréol, un des plus emblématiques du canal du Midi

Samuel VANNIER VNF

Le lac de Saint-Ferréol est l'un des sites incontournables du canal du Midi. Situé à 350 mètres d'altitude dans un paysage arboré, ce plan d'eau de 67 hectares est le cadre parfait pour les touristes en recherche de verdure. Pourtant, son existence est loin d'être liée à un usage de villégiature. Ce lac est une réserve d'eau destiné à l'alimentation du seuil de partage du canal du Midi, à 35 kilomètres de là.

En 1662, Pierre-Paul Riquet, fermier des gabelles du Haut-Languedoc, dévoile à Colbert son projet de construire un canal établissant la liaison entre les fleuves Aude et Garonne, réalisant ainsi le vieux rêve du Canal des deux Mers. Pour réussir dans cette entreprise, il compte utiliser les ressources en eaux de la Montagne Noire où s'écoulent plusieurs rivières d'importance. Son idée est simple : intercepter une part des volumes d'eau nécessaires au remplissage et à l'entretien du canal en construisant une rigole qui croise le lit de ces rivières. Cette rigole doit acheminer l'eau prélevée jusqu'au seuil de Nauroze, le point le plus haut du canal du Midi. Et comme durant l'année le débit des rivières fluctue, Riquet veut construire plusieurs barrages pour faire des « magasins d'eau » où seront stockées des réserves pour pallier les faibles débits des périodes d'étiage.

Après discussion avec les experts qui l'entourent, Riquet convient d'édifier un seul et grand barrage sur la rivière du Laudot, en un lieu propice à cette construction : le vallon de Saint Ferréol. La première pierre est posée avec toutes les solennités requises le 18 avril 1667. La structure retenue sera celle d'un barrage poids : 3 murailles placées en travers de la rivière interrompront son cours. Entre chaque muraille, un puissant remblai de terre soigneusement damé constituera le corps du barrage. En son cœur, deux galeries seront aménagées : la première, placée au plus bas du barrage, servira à l'écoulement des eaux prélevées à un point bas du réservoir ; la seconde permettra l'accès aux dispositifs de prélèvement, soit cinq gros robinets en bronze.

Le chantier mobilise quotidiennement des centaines de personnes. Déjà, en 1672, le barrage est partiellement mis en eau. Les travaux se poursuivent jusqu'en 1680. En 13 ans, le plus grand barrage d'Europe sort de terre. Le réservoir contient à cette date près de 4 millions de mètres cube d'eau. C'est déjà une belle prouesse technique. En 1686, Vauban est commis par le roi pour inspecter les ouvrages du canal. Il préconise la surélévation du barrage afin de renforcer les réserves en eau. Les travaux sont réalisés de 1687 à 1692. La rehausse est de 4,87 mètres et la contenance théorique du réservoir portée à 6,3 millions de mètres cube. A la fin de cette phase de travaux, la digue de Saint-Ferréol (c'est à dire le mur central) atteint la hauteur de 35 mètres et la longueur de 786 mètres. La largeur du barrage est de 149 mètres à sa base.

En plus des vannes de fond et d'un déversoir de surface qui stabilise à 30 mètres la hauteur du plan d'eau, un double point de prélèvement sera installé par la suite : les vannes de la Badorque permettant des prélèvements à 20 et 24 mètres de hauteur. En Occitan, le mot "badorque" désigne une cabane. A l'origine, une cabane protégeait les commandes des vannes.

Ce réservoir est stratégique dans le fonctionnement du canal. Jusqu'en 1782, date de la mise en eau du réservoir du Lampy, Saint Ferréol est la seule réserve sur laquelle le gestionnaire du canal puisse compter. Sa proximité relative avec le seuil de Nauroze lui donne l'avantage de lui apporter assez

rapidement le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du canal. Notez qu'il faut quand même un délai d'environ 14 heures pour qu'un volume lâché de Saint-Ferréol soit rendu à Nauouze.

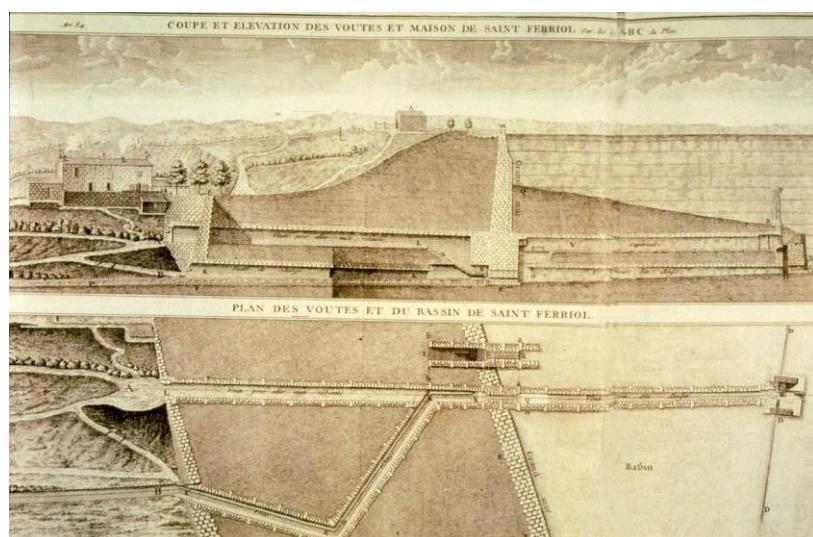
Le site est vite un haut lieu de visite. Le barrage et le plan d'eau sont l'une des merveilles de l'Europe que toute personne bien née doit avoir vu. Dès la fin du XVII^e siècle, le directeur du canal du Midi est mobilisé pour y accueillir les plus hautes personnalités. Les visites du site sont, pour les plus chanceux, agrémentées d'une visite de la chambre des robinets. Il faut alors emprunter une galerie souterraine pour atteindre le cœur du barrage et son système de vidange. Frissons assurés !

A partir du milieu du XVIII^e siècle, l'aménagement des plantations autour du bassin créé un cadre plus sauvage qui fait croire à l'origine naturel du site. L'aménagement d'un parc d'agrément en contrebas du barrage conforte cette impression, renforcée par l'aménagement de cascades à partir des exutoires du barrage. Un jet d'eau imposant, inauguré en 1855, ajoute encore au pittoresque du lieu.

Ce cadre romantique saura séduire des générations de voyageurs. Pour les recevoir, un premier hôtel est édifié vers 1890. Toujours plus nombreux, venant en voiture à cheval puis en automobiles, les visiteurs vont progressivement conduire les communes riveraines à créer les structures d'accueil manquantes : amélioration du réseau routier, aménagement de parking, création d'une base de loisir. De nombreux restaurants sont ouverts pour nourrir les excursionnistes. Un petit musée y est ouvert en 1988, remplacé en 2008 par l'actuel établissement Le Réservoir.

Sans ce barrage-réservoir, le canal du Midi n'aurait pu exister. Malgré un volume de stockage relativement faible comparé aux grands barrages construits depuis, il s'agit d'un réservoir d'eau majeur de la Montagne Noire avec des usages multiples : alimentation en eau du canal du Midi, eau potable, irrigation, navigation via le canal du Midi, et base de loisirs de la commune (Lac de Saint Ferréol).

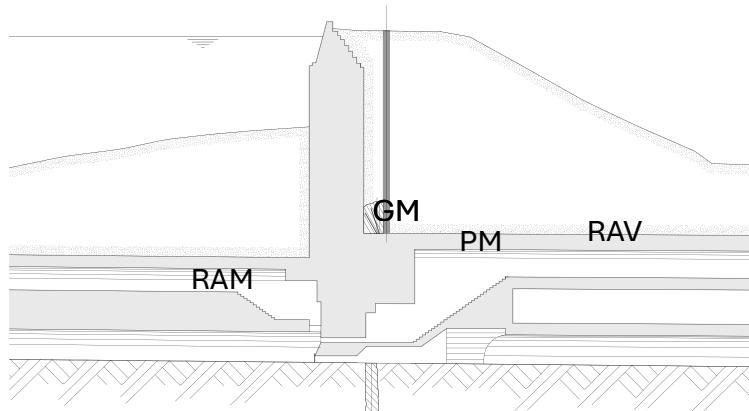
Les sécheresses de plus en plus fréquentes et sévères, avec notamment les épisodes de sécheresse de 2023, ont conduit VNF à étudier plusieurs scénarios pour limiter l'impact du changement climatique sur la ressource en eau. La cote d'exploitation de la réserve du plan d'eau a été récemment relevée permettant d'atteindre la cote d'exploitation du barrage à 348.2m NGF (niveau général de la France) et de passer d'un volume de stockage de 4,968 Mm³ aujourd'hui à 5,6 Mm³ (+ 600 000 m³).



Contexte général du barrage de St Ferréol

Laurence BARRERE VNF, Marc Henry PROST, ISL

Le barrage de Saint-Ferréol, destiné à l'alimentation en eau du canal du Midi, a été construit entre 1667 et 1675. Il barre la vallée du Laudot sur une largeur de 786 m. La hauteur maximale du remblai est 32 m sur le terrain naturel, et 35 m sur les fondations. La largeur en crête est de 13 m.



Coupe-type (au niveau de l'ouvrage de restitution inférieur)

GM Grand Mur

RAM Remblai amont

RAV Remblai aval

PM Paroi moulée

IN Injections

Le barrage de Saint Ferréol est une digue en terre dont l'étanchéité est assurée par un mur amont en maçonnerie, dénommé grand mur dans la suite. Ce mur est épaulé à l'aval par une recharge en remblai dont la crête est calée au même niveau que celle du grand mur. Sa hauteur maximale est égale à 35 m et son épaisseur est de 6 m environ, en partie courante. Cette épaisseur se réduit progressivement à 1 m dans les 7 mètres supérieurs.

C'est une conception d'ouvrage atypique par rapport à l'état de l'art actuel.

Le retour d'expérience sur l'ouvrage est mitigé et de nombreux désordres en lien avec l'érosion interne ont été observés au fil du temps (fontis, glissements du talus aval, infiltrations dans les galeries) essentiellement car le grand mur n'a jamais été suffisamment étanche.

Plusieurs campagnes de travaux et modifications de l'ouvrage ont eu lieu et ont façonné le barrage tel qu'il est visible actuellement (déplacement des vannes, rehausse et prolongement vers l'aval, plantation d'arbres sur le talus aval pour tenter d'abaisser la piézométrie...).

La dernière campagne majeure de travaux structurels a eu lieu en 2004, avec la réalisation d'une paroi moulée dans le barrage pour restaurer la fonction d'étanchéité (et quelques travaux connexes de vantellerie notamment).

Analyse fonctionnelle du barrage de Saint Ferréol et son environnement

Laurence BARRERE VNF, Marc Henry PROST, ISL

Description générale de l'environnement

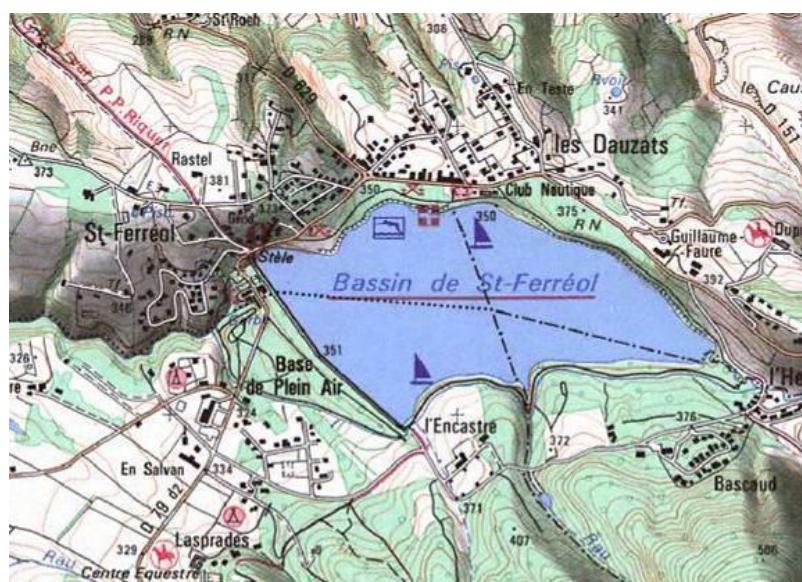
Le barrage de St Ferréol est le plus ancien des barrages français. Les ouvrages furent exécutés sous la direction même de Riquet, probablement de 1667 à 1675. Il fait partie de la concession de Voies Navigables de France (VNF). Il a été conçu pour alimenter le canal du Midi.

Le barrage de Saint Ferréol est une digue en terre dont l'étanchéité était initialement assurée par un mur central en maçonnerie, dénommé Grand Mur. Le défaut avéré d'étanchéité du Grand Mur a conduit VNF à engager des travaux visant à améliorer l'étanchéité de l'ouvrage en 2005. Une paroi moulée a ainsi été mise en oeuvre en arrière du Grand Mur au sein du remblai qui épouse le mur à l'aval. La crête de cette recharge en remblai est calée au même niveau que celle du Grand Mur (hors parapet maçonnable).

L'ouvrage barre la vallée du Laudot sur une largeur de 786 m. La vallée comporte une partie encaissée, le Goulet du Laudot ; la hauteur maximale du barrage sur le thalweg est égale à 32 m sur le terrain naturel et 35 m sur sa fondation.

Sous la cote de retenue normale (347,20 m NGF), il permet de constituer une retenue de 58 ha correspondant à un volume de 5,1 millions de m³. Il contrôle un bassin versant de 10,7 km².

Pour le passage des crues, le barrage est équipé d'un évacuateur à surface libre implanté en rive droite. L'ouvrage possède également une vanne de fond et deux vannes supérieures dites de Labadorque. Les illustrations suivantes présentent la localisation du barrage et de sa retenue, quelques photographies de l'ouvrage et sa structure au droit du goulet du Laudot.



Caractéristiques hydrologiques et hydrauliques :

CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES	
Températures extrêmes en année normale	-26 à +30 °C
Cours d'eau intercepté	Le Laudot
Aire du bassin versant naturel	10,7 km ²
Précipitations annuelles moyennes	Revel : 820 mm Saissac : 1320 mm Arfons : 1309 mm Cammazes : 1144 mm
Débit moyen annuel de la rivière	0,68 m ³ /s
Ouvrages d'évacuation des crues	Evacuateur de surface vanné en RD 2 pertuis vannés (1,05 x 1 m) Débit maximal susceptible d'être évacué sous la retenue maximale exceptionnelle : 9 m ³ /s
Ouvrage de prise	Vannes supérieure et inférieure de Labadorque en RD 2 pertuis vannés (0,9 x 0,6 m) Débit maximal sous la retenue maximale exceptionnelle : 11 m ³ /s
Ouvrage de vidange	Vidange de fond dans la galerie d'Enfer Conduite et vannes Ø 800 mm Débit maximal susceptible d'être évacué : 5 m ³ /s (2 m ³ /s pour le débit capable du canal)

Cadre géologique régional

Le barrage réservoir de Saint-Ferréol est situé sur la bordure Sud du massif de Revel. Ce massif est localisé dans une région située sur l'extrême occidentale de la Montagne Noire constituée de terrains essentiellement paléozoïques et la bordure orientale du Bassin aquitain constituée de terrains cénozoïques.

Le début de l'histoire géologique de la région est anté-hercynien et voit les dépôts sédimentaires et la mise en place des différentes roches magmatiques, volcaniques et plutoniques.

Les orthogneiss oeillés du groupe Somail-Nore qui affleurent sur la bordure Nord du massif de Revel constituent des témoins de cette période.

L'orogénèse hercynienne polyphasée qui crée des structures majeures de la Montagne Noire s'accompagne de métamorphisme et de plusieurs stades de mise en place de granitoïdes. La mise en place du granite de Labécède-Lauragais qui affleure sur la bordure Sud du massif de Revel se fait durant cette période.

Au cours du Mésozoïque, la région reste vraisemblablement émergée, aucun dépôt datant de cette période n'ayant été identifié dans le secteur.

Le Cénozoïque voit le dépôt de formations continentales, antérieures, contemporaines (Eocène supérieur) et postérieures à l'orogénèse pyrénéenne qui est responsable de l'exhaussement de la Montagne Noire et du massif de Revel.



Cadre géologique régional (extrait carte géologique de la France 1 : 1 000 000-1996)

Les terrains paléozoïques :

Dans le massif de Revel, les terrains paléozoïques apparaissent en boutonnière sous les terrains tertiaires, il s'agit de terrains cristallins se repartissant comme suit :

- La moitié nord du massif est constituée par des orthogneiss oeillés ($O\xi^3$) de composition granitique à granodiorite. Ces gneiss sont analogues à ceux du massif de la Nore
- La moitié sud du massif est constitué par le granite de Labécède ($\gamma^3 m$). Son faciès principal est un granite à deux micas très blancs, à grain moyen à fin (0.5 à 1.5 mm), à texture grenue dans lequel s'individualisent parfois des phénocristaux (2 à 3 mm) de quartz et feldspaths. Un cortège filonien composé de pegmatites et d'aplites recoupe couramment ce granite.
- La granodiorite de Saint-Férréol ($\gamma^4 F$) forme un sill hectométrique pincé dans la zone de cisaillement qui sépare les deux formations précédentes.

Les terrains cénozoïques :

En discordance sur les terrains cristallins paléozoïques, la couverture tertiaire débute par des formations continentales fluviatiles et d'altérites de l'Eocène de types « argiles à graviers ». Ces formations sont assez variables latéralement en faciès et en puissance. Autour du massif de Revel, deux cycles sédimentaires peuvent être reconnus :

- Les formations argilo-sableuses grisâtres ou blanchâtres du cycle inférieur (e4) apparaissent en placages avec une puissance limitée au sud du massif. Ces placages reposent sur un socle altéré à non altéré,
- Les formations du cycle supérieur (e4-5 P) débutent par des formations grossières (galets de quartz associés à des argilites rouges) qui passent à des marnes rouges, violettes à rosées puis à des

marnes blanches localement vertes. En dehors du flanc nord du massif, où elles reposent directement sur le socle non altéré, elles sont en concordance avec les formations du cycle inférieur.

En concordance avec les « argiles à graviers », l'ensemble des calcaires lacustres de Saint-Ferréol (e5-6F) se développe à l'est du massif de Revel (20 à 30 m d'épaisseur) et se réduit rapidement pour disparaître à sa périphérie.

Dans la partie est du massif, les calcaires sont surmontés en discordance par l'intermédiaire d'une surface karstifiée par les formations argileuses brun-rouges du complexe « brèche Mortadelle » (e6Br).

Cette formation assez hétérogène de teinte brun-rougeâtre, rose ou verdâtre, affleure sur la retombée nord du massif de Revel mais surtout dans une zone étroite alignée sur le tracé de la faille de Mazamet.

À partir de l'Eocène supérieur (bartonien) des séries dites « molassiques » se développent vers l'Est et le Nord (e6I, e6-7S, e7F).

Les dépôts quaternaires sont surtout développés dans la dépression de Revel située immédiatement au Nord du massif de Revel (Dépôts de glacy (Py) et alluvions wurmiennes du Sor et du Laudot (Fy) et alluvions modernes et tourbes (Fz)).

Géologie du barrage

Le barrage de Saint-Ferréol est constitué d'une digue en terre de 147 m de large à sa base, retenue par deux murs de pied en maçonnerie à chaque extrémité et étanchée par un mur central maçonné d'une hauteur maximale de 33 m sur 781 m de long (Annexe 1 ; planche 3).

La digue est édifiée sur deux type de fondation :

- En rive droite et sur une distance d'eau moins 300 m, le mur central repose sur le **granite de Labécède** ainsi que l'intégralité des deux murs de pied (amont et aval),
- En rive gauche et sur une distance d'eau moins 400 m, le mur central repose sur les **formations de l'Eocène de types « argiles à graviers »**. A son extrémité Sud Est, il pourrait être adossé partiellement au calcaire de St Ferréol.

Le contact avec la maçonnerie du mur central et le granite est observable au NO de la digue, uniquement coté bassin sur 40 m de long.

Le granite est de manière générale non altéré et chloritisé dans sa masse. La foliation est subverticale est bien marquée ($265^\circ/85^\circ$, $260^\circ/88^\circ$, $80^\circ/85^\circ$). Deux générations de filons se côtoient, de nombreux petits filons (épaisseur inférieure au cm) à fréquence métrique ($60^\circ/80^\circ$, $250^\circ/85^\circ$) recoupés par des filons plus rares d'épaisseurs pluricentimétriques contenant parfois de la tourmaline ($265^\circ/65^\circ$). Les filons de quartz sont rares.

Le contact entre la maçonnerie du mur central et les formations de l'éocène est observable au SE de la digue, uniquement coté bassin sur 120 m de long. Il s'agit d'une formation argilo sableuse de couleur rouge à ocre contenant quelques galets décimétriques peu arrondis (dominante quartz) s'intercalent dans la formation. Autour de ces intercalations la matrice argilo-sableuse prend une couleur grisâtre.

Conclusion :

Le barrage de Saint-Ferréol se situe au cœur d'un anticlinal d'âge pyrénéen déversé vers le Nord qui fait émerger des terrains hercyniens de leur couverture éocène. La sismicité du site est faible (zone sismique 0). Localement l'intensité macrosismique maximale observée a été de 5 à la suite d'un séisme ancien (1750) et de 4 à la suite d'un séisme plus récent (1996)

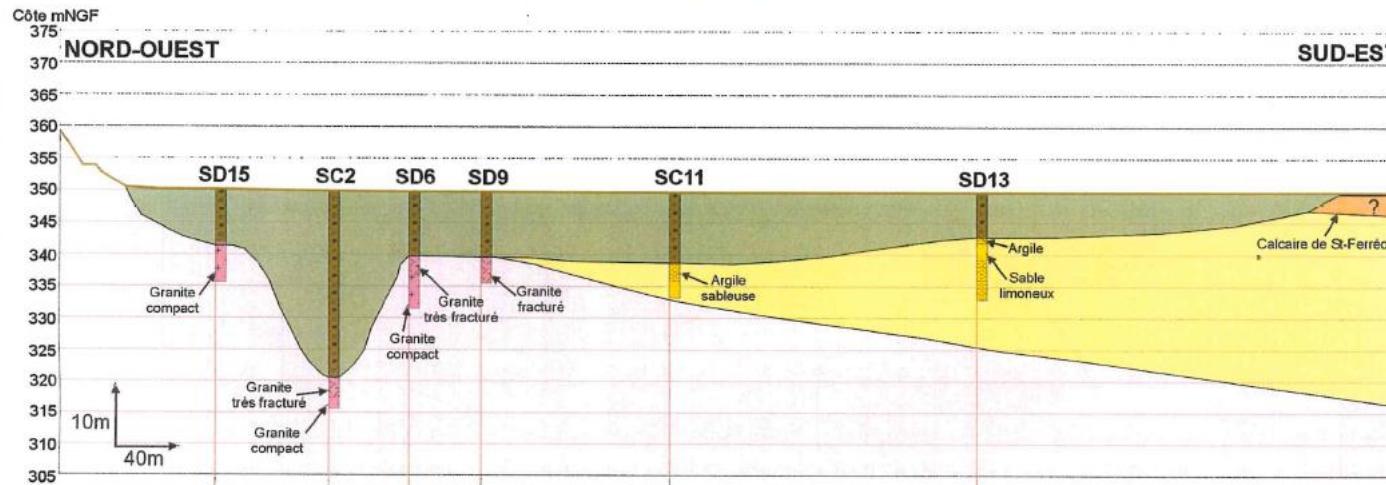
La digue est édifiée sur deux types de fondation ;

- Au NO, la digue et ses deux murs de pied reposent sur le granite de Labécède. Au niveau du site, ce granite à deux micas est relativement sain, parfois altéré. La foliation (plan moyen N258°/84° SE) y est bien marquée et constante. Le dispositif filonien du granite est plutôt subvertical (45 à 90°). Il est constitué de filon pegmatiques (direction N240 à N280) et de deux générations postérieures de filons de quartz en relation avec des phases de décrochements tardihercyniennes (N100-110 et N150-160). Les familles majeures de diaclases sont plutôt subverticales (50 ° à 85°) et se répartissent selon des directions comprises entre N130 et N180.
- Au SE la digue repose sur les formations de l'éocène de types « argiles à graviers » au niveau du site, ces formations détritiques sont généralement argilo-sableuse

Géologie du site du barrage de Saint-Ferréol

(Carte des affleurements proches de l'ouvrage et coupe longitudinale de la digue)

Annexe 1 - Planche 3



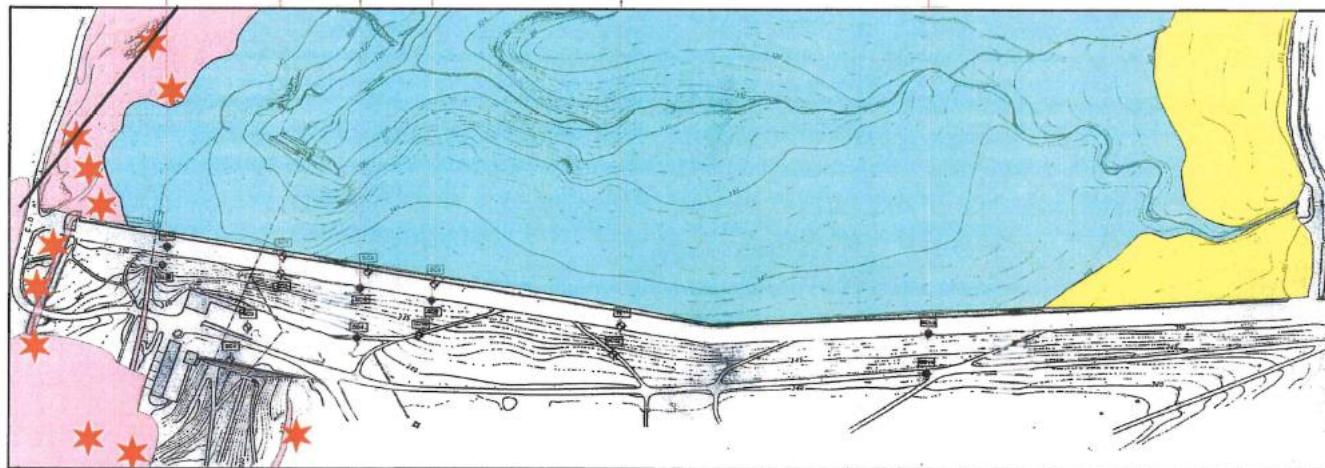
Légende :

- Plan d'eau le 24.02.2003
- Remblai de la digue
- Calcaire de Saint Ferréol
- "Argiles à Graviers"
- Granite

Site de mesure des éléments structuraux du Granite de Labécède

Zone de cisaillement tardi-hercynien (N100-110) matérialisé par un filon de quartz plurimétrique

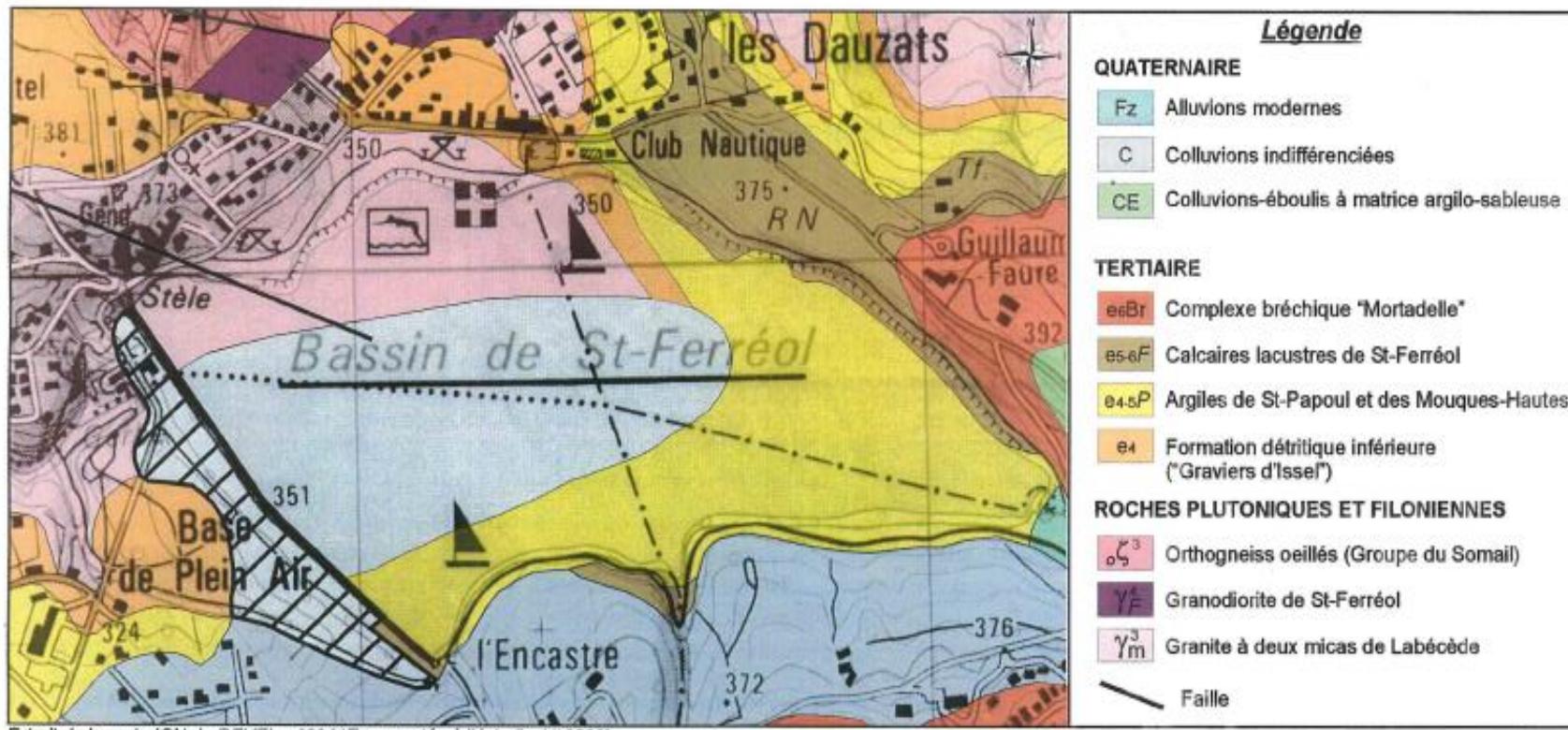
Carte des affleurements
Echelle : 1/4000



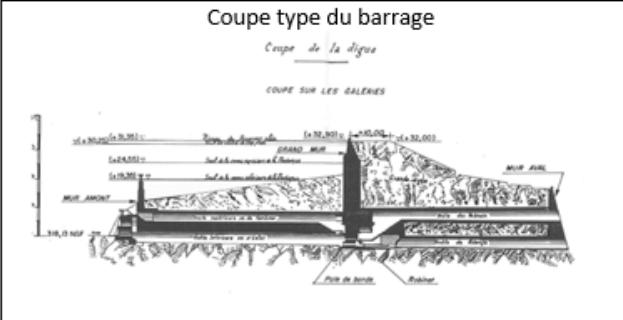
Géologie du site du barrage de Saint-Ferréol

(Carte du bassin et de ses alentours au 1 / 10 000°)

Annexe 1 - Planche 2



Monographie du barrage de Saint Ferréol (système d'auscultation)

<p>Coupe type du barrage</p> 	<p>@Damien Lachas</p>  <p>Vue du parement amont et évacuateur de crues</p>	<p>@Damien Lachas</p>  <p>Parement amont du barrage</p>																															
<p>Vue en plan du barrage de Saint Ferréol</p> 	<p>Données techniques</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Hauteur sur fondation</td><td>35 m</td></tr> <tr> <td>Longueur en crête</td><td>786 m</td></tr> <tr> <td>Volume du barrage (R+B)</td><td>4,8 hm³</td></tr> <tr> <td>Volume de la retenue à RN</td><td>5,1 hm³</td></tr> <tr> <td>Surface de la retenue à RN</td><td>0,58 km²</td></tr> <tr> <td>Surface du bassin versant</td><td>10,7 km²</td></tr> <tr> <td>Qmax évacuateur à PHE</td><td>22 m³/s</td></tr> <tr> <td>Type d'évacuateur de crue</td><td>Vanné et rigole</td></tr> <tr> <td>PHE = RN + 2,65 m</td><td></td></tr> <tr> <td>Qmax vidange de fond à RN</td><td>2 m³/s</td></tr> <tr> <td>Cote de la RN</td><td>347,2 m NGF</td></tr> <tr> <td>Cote de la crête du barrage</td><td>350,5 m NGF RG / 350,85 m NGF RD</td></tr> </tbody> </table> <p>Comportement du barrage</p>	Hauteur sur fondation	35 m	Longueur en crête	786 m	Volume du barrage (R+B)	4,8 hm ³	Volume de la retenue à RN	5,1 hm ³	Surface de la retenue à RN	0,58 km ²	Surface du bassin versant	10,7 km ²	Qmax évacuateur à PHE	22 m ³ /s	Type d'évacuateur de crue	Vanné et rigole	PHE = RN + 2,65 m		Qmax vidange de fond à RN	2 m ³ /s	Cote de la RN	347,2 m NGF	Cote de la crête du barrage	350,5 m NGF RG / 350,85 m NGF RD	<p>@Damien Lachas</p>  <p>Vidange lac Saint Ferréol 2016</p>							
Hauteur sur fondation	35 m																																
Longueur en crête	786 m																																
Volume du barrage (R+B)	4,8 hm ³																																
Volume de la retenue à RN	5,1 hm ³																																
Surface de la retenue à RN	0,58 km ²																																
Surface du bassin versant	10,7 km ²																																
Qmax évacuateur à PHE	22 m ³ /s																																
Type d'évacuateur de crue	Vanné et rigole																																
PHE = RN + 2,65 m																																	
Qmax vidange de fond à RN	2 m ³ /s																																
Cote de la RN	347,2 m NGF																																
Cote de la crête du barrage	350,5 m NGF RG / 350,85 m NGF RD																																
<p>Nom du barrage</p> <p>Saint Ferréol</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Nom de la retenue</td><td>Lac de Saint Ferréol</td><td>Hauteur d'eau</td><td>Mesure fréquence journalière</td></tr> <tr> <td>Rivière</td><td>Laudot</td><td>Plézo, fuite, fissuromètre</td><td>Mesure fréquence hebdomadaire</td></tr> <tr> <td>Maître d'Ouvrage</td><td>Voies Navigables de France (gestionnaire)</td><td>Reportage photographique</td><td>(3 mois)</td></tr> <tr> <td>Ville proche/Département</td><td>Revel / Haute Garonne</td><td>Auscultation topographique 6 mois</td><td>(6 mois)</td></tr> <tr> <td>But principal (autre)</td><td>Alimentation en eau</td><td>Historique</td><td></td></tr> <tr> <td>Type de barrage</td><td>Poids en maçonnerie + Terre Position étanchéité : parement amont, noyau, type béton</td><td>Période de construction</td><td>1666-1675 Riquet</td></tr> <tr> <td>Fondation, type et nature</td><td>R/S gneiss hétérogène en RD, sablo argileux en RG</td><td>Autres travaux dates</td><td>1686 rehausse par Vauban</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Type de travaux supplémentaires</td><td>2005 : Paroi moulée dans axe du barrage</td></tr> </tbody> </table>	Nom de la retenue	Lac de Saint Ferréol	Hauteur d'eau	Mesure fréquence journalière	Rivière	Laudot	Plézo, fuite, fissuromètre	Mesure fréquence hebdomadaire	Maître d'Ouvrage	Voies Navigables de France (gestionnaire)	Reportage photographique	(3 mois)	Ville proche/Département	Revel / Haute Garonne	Auscultation topographique 6 mois	(6 mois)	But principal (autre)	Alimentation en eau	Historique		Type de barrage	Poids en maçonnerie + Terre Position étanchéité : parement amont, noyau, type béton	Période de construction	1666-1675 Riquet	Fondation, type et nature	R/S gneiss hétérogène en RD, sablo argileux en RG	Autres travaux dates	1686 rehausse par Vauban			Type de travaux supplémentaires	2005 : Paroi moulée dans axe du barrage	<p>Situation</p> 
Nom de la retenue	Lac de Saint Ferréol	Hauteur d'eau	Mesure fréquence journalière																														
Rivière	Laudot	Plézo, fuite, fissuromètre	Mesure fréquence hebdomadaire																														
Maître d'Ouvrage	Voies Navigables de France (gestionnaire)	Reportage photographique	(3 mois)																														
Ville proche/Département	Revel / Haute Garonne	Auscultation topographique 6 mois	(6 mois)																														
But principal (autre)	Alimentation en eau	Historique																															
Type de barrage	Poids en maçonnerie + Terre Position étanchéité : parement amont, noyau, type béton	Période de construction	1666-1675 Riquet																														
Fondation, type et nature	R/S gneiss hétérogène en RD, sablo argileux en RG	Autres travaux dates	1686 rehausse par Vauban																														
		Type de travaux supplémentaires	2005 : Paroi moulée dans axe du barrage																														

Travaux d'étanchéité du barrage de Saint Ferréol

Marc Henry PROST, ISL

Objectifs et principes des travaux

L'objectif principal des travaux était de stopper les écoulements à travers le barrage, de manière à :

- limiter le risque d'érosion interne du remblai aval,
- abaisser le niveau piézométrique actuel préjudiciable à la stabilité au glissement du talus aval,
- limiter les gradients s'appliquant sur la galerie pouvant mener à la formation d'un renard à travers le revêtement.

La paroi

La paroi au coulis auto-durcissable est implanté dans l'axe de la digue et s'encastre dans la fondation.

L'axe de la paroi a été positionné de façon à :

- être suffisamment éloigné du mur pour éviter pendant l'excavation à la benne des « raclages » de l'arrière du mur risquant de le déstabiliser et de provoquer des mouvements locaux,
- ne pas en être trop éloigné pour éviter la déstabilisation éventuelle d'un volume important de remblai entre le mur et la paroi.

Dans ces conditions, la paroi moulée a été implantée au milieu de la crête du barrage, soit environ 6,5 m à l'aval du parapet en tête.

La paroi moulée est construite sur toute la longueur du barrage, soit au total 755 m. Ses limites inférieures sont fixées comme suit :

- en rive droite sur le goulet du Laudot, où le barrage est fondé au rocher, la paroi moulée s'arrête au toit du rocher. La liaison de la paroi avec la fondation est réalisée par raclage répété du contact avec la fondation,
- en rive gauche, où le barrage est fondé sur des terrains meubles, la paroi moulée est encastrée de 2,0 m en moyenne dans la fondation. Si, lors de l'exécution, une zone de faiblesse correspondant à un horizon moins compact apparaissait, l'ancrage de la paroi moulée pourrait être localement approfondi.

La distinction faite ci-dessus entre les rives droite et gauche peut s'avérer arbitraire car des matériaux de fondation plus ou moins durs (grès) ont été reconnus localement en rive gauche. Dans tous les cas, la capacité de la benne à pénétrer plus ou moins la fondation a déterminé la limite inférieure de la paroi moulée et le traitement du contact entre la paroi moulée et la fondation.

La hauteur maximale de la paroi moulée est égale à 35 m au droit de la galerie de vidange et la superficie totale de la paroi moulée est d'environ 10 000 m².

Compte tenu de la hauteur variable de la paroi, celle-ci a été réalisée en deux épaisseurs, 0,60 et 0,80 m.

Injections

Des travaux d'injection de liaison ont également été réalisés :

- au contact de la paroi moulée et de la fondation rocheuse en rive droite,
- au contact de la paroi moulée et des maçonneries des galeries (Labadorque et galerie des Robinets).

Les injections de liaison au niveau de la fondation rocheuse ont été réalisées à partir de forages primaires et secondaires espacés tous les 6 m (espacement final égal à 3 m) à 0,75 m à l'amont de la paroi moulée.

Les injections de liaison au niveau de la galerie des robinets ont été réalisées à partir d'une double rangée de forages primaires et secondaires espacés tous les 1,5 m à 0,75 m à l'amont de la paroi moulée. Au droit de la galerie des vannes de Labadorque, les injections ont été réalisées à partir d'une unique rangée de forages primaires et secondaires.



Réalisation de la paroi moulée

Le remblai provisoire de crête a été réalisé en 30/80 sur une largeur totale de 9 m environ (s'arrêtant à 1 m du parapet amont du grand mur) et une épaisseur d'environ 40 cm. Le matériau a été mis en œuvre sur un géotextile.



Pour éviter les risques d'éboulement sous les murettes-guide, le matériau a été chargé en fines de chaque côté des murettes (sur une largeur d'environ 80 cm).



Le principe d'exécution était le suivant :

- pour la paroi de 60 cm d'épaisseur (sur 693,8 ml) : passes de 3,60 m et merlon de 2 m,
- pour la paroi de 80 cm d'épaisseur (sur 63,2 ml) : passes de 2,70 m et merlon de 1,10 m.

Les murettes-guide (hauteur 60 cm, largeur 30 cm), qui sont ancrées de 20 cm dans le remblai existant, ont ensuite été coulées dans le remblai provisoire.



L'outillage d'excavation est du type KS 3000 équipé SAKSO light. Ce système consiste en un automate enregistrant les mesures transmises par câbles électriques depuis la grue et la benne : profondeur, rotation, inclinaison dans les deux directions (rive à rive et amont-aval).

Il permet ainsi de connaître précisément les éventuelles déviations par rapport aux positions théoriques et de vérifier la continuité des panneaux, sachant que la tolérance affichée au PAQ de l'entreprise est de $\pm 0,5\%$ (soit 20 cm à une profondeur de 40 m).

Alors qu'à l'origine, l'entreprise prévoyait que l'outillage serait installé à l'aval du plan de la paroi, elle a finalement opté pour une méthode d'exécution où l'outillage travaille à cheval sur l'axe de la paroi. Les déblais sont déchargés dans des camions venant entre l'outillage et le parapet amont du grand mur.

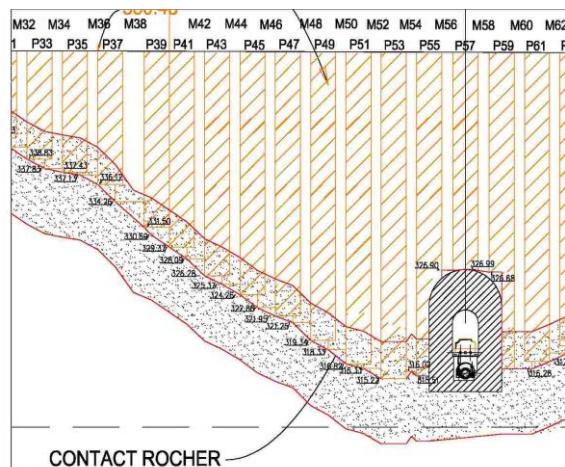
Deux bennes ont été utilisées (une pour chaque largeur de tranchée).

Particularités d'exécution

Une des particularités du chantier est liée aux fenêtres créées à la base de la paroi moulée compte tenu de la raideur de la pente naturelle du vallon du Laudot.

Sur ces pentes, la résistance du rocher est élevée dès qu'il est rencontré, se traduisant par un faible encastrement de la paroi dans le rocher, le grattage réalisé par la benne étant insuffisant pour assurer une pénétration importante (ce n'est qu'en rive qu'un ancrage de 2 ml a pu être fait dans les argiles compactes de la fondation).

En conséquence, des fenêtres résiduelles de remblai existent sous certains panneaux de paroi, comme illustré par l'extrait de plan suivant.





Bilan des injections - remblais

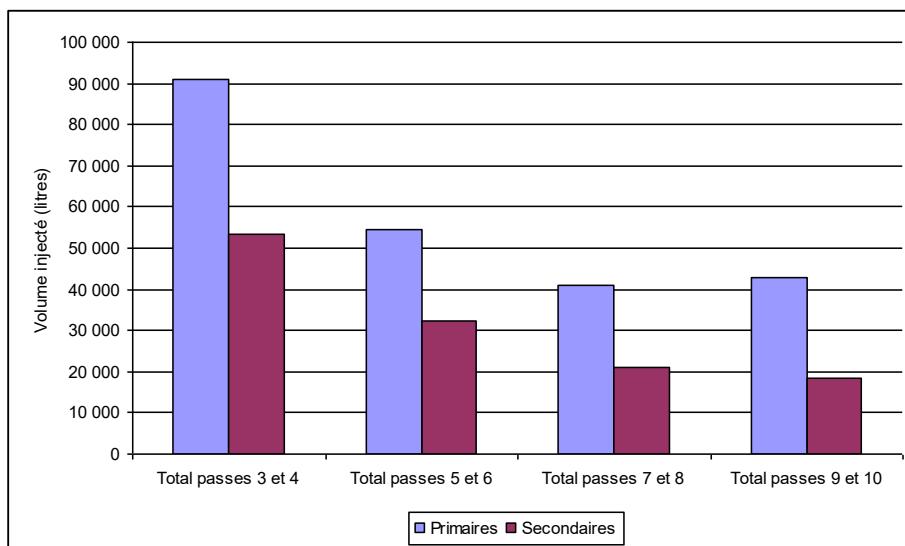
Au total, 92 forages d'injection ont été réalisés (dont 9 pour le plot d'essai).

En dehors du plot d'essai, les 83 forages (41 primaires et 42 secondaires) ont absorbé 354 750 litres de coulis (représentant 87,6 tonnes de ciment), soit légèrement plus de 1 m³ de coulis (ou 264 kg de ciment) par ml de forage.

Le tableau suivant donne les absorptions selon les passes.

Absorption (l/ml)	Primaires	Secondaires
Passes 3 et 4	2 221	1 270
Passes 5 et 6	1 330	774
Passes 7 et 8	1 001	505
Passes 9 et 10	1 041	438

Le graphique suivant est une illustration du tableau précédent.



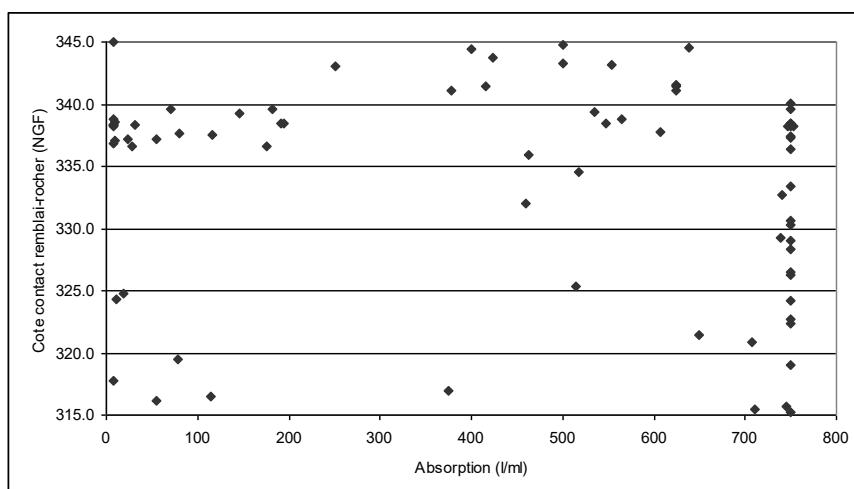
Le tableau suivant indique la répartition des critères d'arrêt de l'injection.

Critère d'arrêt	Primaires	Secondaires
Pression	165 (52,5%)	248 (78%)
Volume	149 (47,5%)	70 (22%)

Ces valeurs appellent les commentaires suivants :

- les plus fortes absorptions sont observées à proximité du contact avec le rocher,
- l'absorption est logiquement plus faible pour les secondaires que pour les primaires, les arrêts sur critère de pression étant également plus importants.

Pour compléter l'analyse, une tentative a été faite pour voir si une corrélation se dégageait entre volume injecté et profondeur de la zone injectée (de façon à mettre éventuellement en évidence une plus grande importance des « vides » dans le vallon du Laudot où les gradients hydrauliques sont les plus élevés).



Le graphique suivant donne l'absorption dans les passes 3 et 4 en fonction de la cote du rocher.

On remarque que, pour le voile concernant les ailes de la digues (zones où le contact rocher-remblai est à une cote supérieure à 335 NGF), les absorptions sont très variables alors que, dans le vallon du Laudot (cotes du contact rocher-remblai inférieures à 335 NGF), les absorptions sont fortes en majorité, avec de nombreuses valeurs à 750 kg/ml (correspondant au critère d'arrêt sur volume, 1 500 l/manchette).

Effectivement, selon le profil en long du voile, les absorptions moyennes (en kg de ciment par ml de forage) obtenues sur les deux passes inférieures 3 et 4 se répartissent de la façon suivante :

- rive droite : 385 kg/ml
- vallon du Laudot : 616 kg/ml
- rive gauche : 295 kg/ml

Interrogée sur les valeurs obtenues, l'entreprise a mobilisé deux de ses experts dans le cadre du contrôle externe. Ceux-ci ont fait ressortir que le volume moyen injecté est de 708 l/manchette (une valeur légèrement supérieure à celle figurant dans le présent rapport, ce qui s'explique par le fait que le voile n'était réalisé qu'au 2/3 lors du contrôle externe) représentait 18,9% du volume théorique de remblai traité (en considérant une maille moyenne de 3x2.5 m), conforme à ce que l'entreprise obtient pour un voile monolinéaire dans des terrains comparables.

Par ailleurs, le grand nombre d'arrêt volume est expliqué par :

- un traitement ne se limitant pas à la zone basse entre la paroi et le mur du barrage, le coulis passant par toutes les zones de circulation et se propageant dans des volumes importants de remblai,
- des circulations inévitables de coulis vers l'aval du barrage au travers des fenêtres qui subsistent au contact paroi-rocher (liées à la forte pente naturelle des versants du Laudot alors que, compte tenu des possibilités de la benne, le bas des panneaux est proche de l'horizontale).

Bilan des injections - rocher

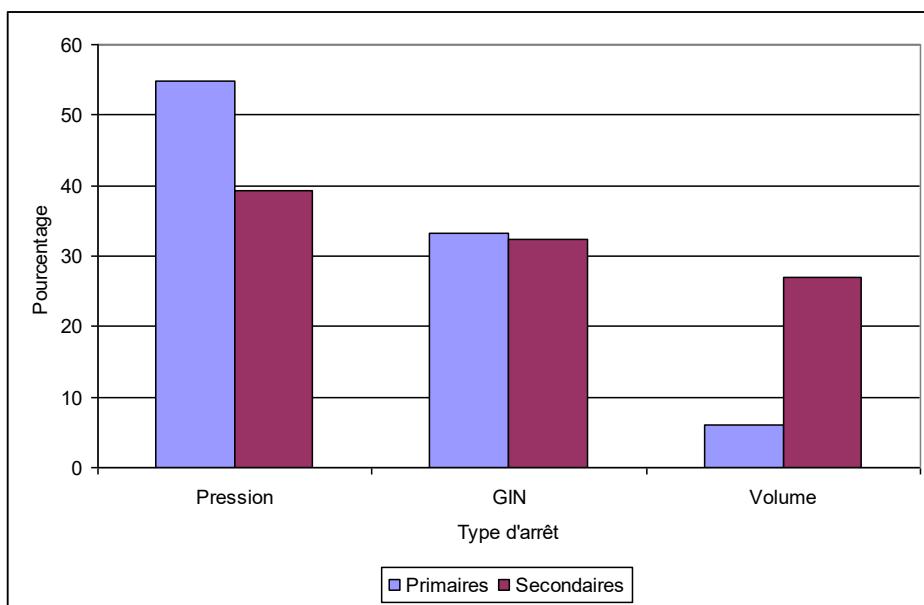
Parmi les 92 forages d'injection traversant les remblais, 78 ont été poursuivis sur 7 m pour injecter le rocher en 2 passes (ceux dont l'extrémité atteint le toit des galeries n'ont bien entendu pas été repris).

En dehors du plot d'essai, les 78 forages (40 primaires et 38 secondaires) ont absorbé 95 680 litres de coulis (représentant 71,2 tonnes de ciment), soit légèrement plus de 175 litres de coulis (ou 130 kg de ciment) par ml de forage.

Le tableau suivant donne les absorptions selon les passes.

Absorption (l/ml)	Primaires	Secondaires
Passe 1 (basse)	79.5	109
Passe 2 (haute)	76	86

Les volumes absorbés par ml sont donc sensiblement les mêmes pour les primaires et les tertiaires, et pour les deux passes. Le graphique suivant indique les motifs d'arrêt des injections.



On ne remarque pas d'évolution significative entre primaires et secondaires, les arrêts volumes étant paradoxalement plus importants pour les secondaires.

Injections à partir des galeries

Le coulis utilisé dans les remblais a une composition très voisine du coulis de paroi sans adjuvant retardateur de prise (soit 247 kg de ciment par m³ de coulis).

Pour le rocher (spécifications imposant un coulis stable à haute densité, une résistance élevée et un coulis fluidifié – d'où adjonction d'un super-plastifiant), la composition du coulis apparaît dans le tableau suivant.

	Remblais	Rocher
eau	900 litres	744 litres
ciment	250 kg type CHF CEM III B 42.5	744 kg type CHF CEM III B 42.5
bentonite	30 kg type CV15	10 à 20 kg type CV15
adjuvant		0,5 à 2 litres Bentocryl 86

Inclinomètres en forage

Marc Henry PROST, ISL

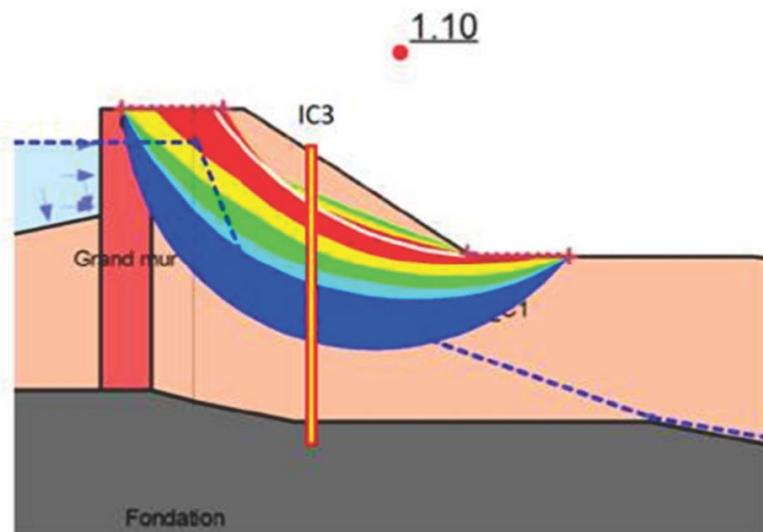
Contexte

Lors de la révision périodique de l'étude de dangers de l'ouvrage (2024), une vérification de la conformité à l'arrêté ministériel dit Arrêté Technique Barrage (ATB) a été menée.

Il en ressort que malgré la baisse significative de la piézométrie engendrée par les travaux de 2004, la stabilité du talus aval, dans sa partie la plus raide et haute, reste en retrait des standards de sûreté poursuivis pour les barrages.

Compte tenu du retour d'expérience conséquent sur l'ouvrage, avec un fonctionnement à retenue haute et une piézométrie très élevée, une disposition de suivi a été retenue pour identifier de manière précoce d'éventuels déplacements au niveau de ce talus et limiter le risque par une gestion adaptée du plan d'eau.

Un dispositif de surveillance constitué de 3 inclinomètres en forage a donc été prescrit.



Ces inclinomètres sont disposés pour pouvoir intercepter les lignes de glissement de talus les plus probables (zone en rouge).

Le chantier

Les inclinomètres ont été réalisés au carottier. Compte tenu de la présence de végétation, d'une pente de talus raide et de la profondeur des forages nécessaires, les travaux ont nécessité la mise en place d'un matériel spécifique.

Ainsi un atelier de forage a été monté sur une pelle araignée stationnée en tête de talus.

Les implantations ont du prendre en considération la végétation en place et seul un élagage minimaliste a dû être réalisé pour permettre le chantier.



Vues de l'atelier de forage en station

Les forages ont été poursuivis sur environ 35 m jusqu'à pénétrer au sein du substratum afin de disposer d'une référence fixe pour l'interprétation des déplacements.

Ils ont ensuite été équipés de tubes inclinométriques scellés, comportant des rainures selon deux axes pour permettre la mesure au moyen d'une sonde inclinométrique.

TELEMAC

Tube inclinométrique - GEO-LOK
Tube Inclinométrique



ASSEMBLAGE ET DÉASSEMBLAGE FACILE
COMPATIBLE AVEC TOUTES LES SONDES
RAINURES USINÉES

TELEMAC

Sonde inclinométrique numérique - PROFIL
Inclinomètre



FACILE À UTILISER
COMPATIBLE AVEC TROIS DIMENSIONS DE TUBAGE
ÉCRAN TACTILE HAUTE RÉSOLUTION

Les premières mesures réalisées ne montrent pas de déplacement significatif.

L'écluse de Laudot

Samuel VANNIER VNF

L'eau déstockée du réservoir de Saint-Ferréol s'écoule dans la vallée naturelle du Laudot durant 7 kilomètres. Au lieu-dit des Thomasses, la rivière croise la rigole de la plaine. À ce point, la quantité d'eau lâchée du barrage est introduite dans la rigole. Un ouvrage complexe permet de maîtriser la quantité d'eau que l'on veut envoyer vers le canal du Midi. En période normale, la majeure partie du débit de la rivière est captée par la rigole et envoyée vers Naourouze. À cet effet, une double vanne barre la rigole de la plaine et permet d'en régler le débit en fonction des besoins d'alimentation du canal du Midi. En période de crue, un ouvrage accolé à la vanne régulatrice, constitué d'un déversoir et d'un épanchoir est activé pour ne pas introduire trop d'eau dans la rigole de la plaine. Dans un premier temps, le déversoir, réglé sur un seuil fixe, restitue à la rivière en aval du point de croisement l'eau en surplus. Si le débit s'accroît, pour éviter le débordement de la vanne régulatrice, un double épanchoir (passage de fond) est ouvert. L'écoulement est ainsi dirigé vers la rivière en aval, assurant la protection de la rigole en aval de la vanne régulatrice.

À l'origine, l'écran métallique qui constitue la vanne régulatrice était analogue à une porte d'écluse. C'est pourquoi l'ouvrage est quelquefois désigné sous le nom de demi-écluse du Laudot. La manœuvre des vannes nécessitant une présence humaine constante, un logement pour le garde épanchoir équipe le site.



Le seuil de Naouze, point de partage des eaux entre l'océan Atlantique et la mer Méditerranées

Samuel VANNIER VNF

Situé à la frontière des départements de la Haute-Garonne et de l'Aude, le seuil de Naouze, dit «point de partage des eaux», est le site clé du canal du Midi, tant au niveau historique, technique, qu'architectural.

C'est sur ce site que se situe le cadre d'une histoire pittoresque par laquelle Pierre-Paul Riquet aurait «découvert» la solution pour alimenter le canal. En effet, en voyant couler l'eau d'une source nommée "La fontaine de la Grave", Riquet aurait compris qu'à ce point précis l'eau se partageait pour aller dans deux directions. Les eaux qui en jaillissaient se séparaient d'elles-mêmes et coulaient en deux sens opposés : d'un côté vers l'océan Atlantique et de l'autre, vers la mer Méditerranée.

Il entrevit alors que si l'on parvenait à réunir et à amener sur ce point une quantité d'eau suffisante pour alimenter un canal supérieur, on pourrait ensuite descendre des deux côtés opposés, jusqu'aux fleuves dont les cours divergents portaient les eaux vers les deux mers.

Ainsi, les eaux de la Montagne Noire amenées jusqu'à Naouze par la rigole de la plaine, se jettent dans le [brief de Partage](#), culminant à 189,43 m au-dessus du niveau de la mer.

Le seuil de Naouze est le point le plus haut du canal et la ligne de partage des eaux entre le versant méditerranéen et le versant Toulousain. C'est ici que Pierre Paul-Riquet fait aboutir la rigole de la plaine d'où proviennent les eaux de la montagne Noire.

LE BASSIN DE NAUROUZE

Au seuil de Naouze se trouvent aujourd'hui les vestiges d'un ancien grand bassin. Il est la marque de l'ambition de Pierre Paul Riquet qui souhaitait monumentaliser son œuvre et rendre grâce en ce lieu au roi de France. Creusé et construit de 1669 à 1673, c'était à l'origine, un vaste plan d'eau de huit hectares prévus comme bassin de régulation destiné à recevoir les eaux de la rigole de la plaine. Le cartographe Jean-Baptiste Nolin en 1697 écrit ceci : " Ce bassin a 400m de long sur 300m de large, revêtu de pierre de taille, il est sans contredit le plus beau du monde, il a en tout 3 mètres d'eaux que la Rigole lui fournit ».

Riquet y avait imaginé un projet grandiose : la construction d'une ville autour du bassin, au milieu duquel trônerait une fontaine monumentale représentant Louis XIV dans un char tiré par des chevaux marins.

Le seuil de Naouze, point de départ du canal devait être en effet un port important dans le Lauragais avec une ville nouvelle construite autour. Le grand bassin octogonal aurait accueilli un grand port destiné à faire de ce lieu un grand nœud commercial. Mais ce projet ne vit jamais le jour en raison des difficultés de navigation que sa traversée présentait pour les bateliers : l'ensablement rapide du bassin à cause des alluvions apportées par la rigole de la plaine en limitait la profondeur ; les bourrasques de vents parfois violentes (vent d'Autan) rendaient la manœuvre des barques très difficiles. Le projet de port fut rapidement abandonné au bénéfice de celui de Castelnau-d'Armagnac.

Lors de son inspection, en 1686, Vauban préconisa d'ouvrir une liaison mettant en relation directe l'écluse de l'Océan avec celle de la Méditerranée (noms actuels). Réalisée en 1687-1688, ce nouveau tracé du canal rendit inutile le passage dans le bassin. Celui-ci se combla assez rapidement, offrant une vaste pièce de terre facile à cultiver. Les plans du XVIII^e siècle nous montrent une plantation d'arbres en étoile.

Aujourd'hui, on peut admirer au milieu du bassin, une allée aménagée en 1809 et majestueusement bordée de platanes plusieurs fois centenaires.

Une rigole maintenue sur le pourtour du bassin pour le passage de l'eau arrivant par la rigole de la Plaine jusqu'au canal nous permet de mesurer son ampleur et de lire sa forme hexagonale.

Le site de Naurouze

Le site, quoique privé du programme monumental imaginé par Riquet, deviendra un lieu de production grâce à la construction d'un moulin en 1670-1672. Situé à l'extrémité aval de la Rigole de la plaine, il en utilisait les eaux comme source d'énergie. Attaché à la propriété du canal, il sera transformé en minoterie en 1832 et fonctionnera jusqu'en 1985.

À proximité du bassin et du bief de partage, se trouvent de nombreux ouvrages et bâtiments, dont un épanchoir, un moulin et une maison dite «de l'ingénieur». C'est dans cette grande bâtie que s'acheva la guerre entre la France et l'Espagne, sous Napoléon Ier. Le Maréchal Soult, commandant de l'armée impériale, et le Duc de Wellington, à la tête de la coalition Anglo-portugaise, signèrent dans cette maison l'armistice, en avril 1814.

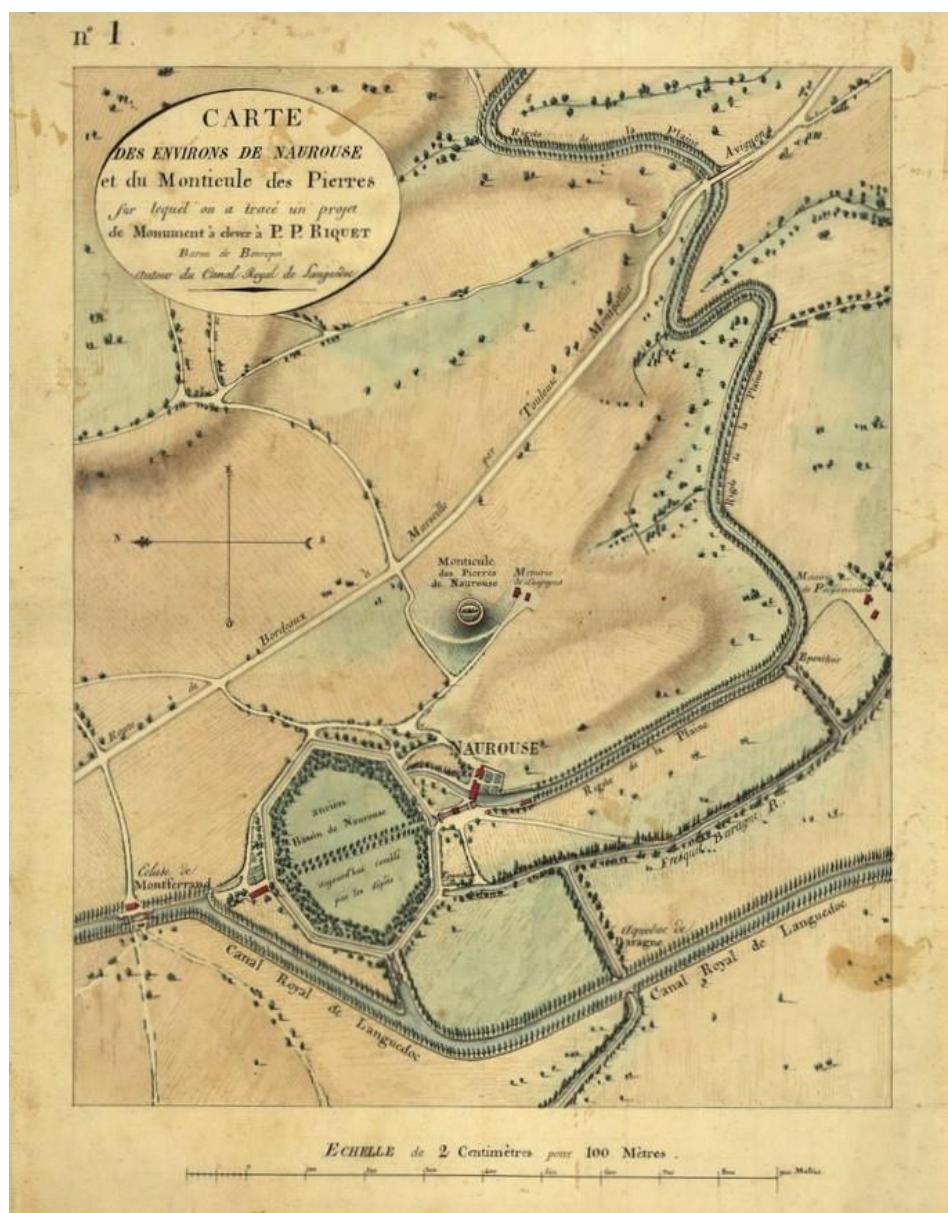
Un obélisque à la mémoire de Pierre-Paul Riquet et de son œuvre

Un obélisque construit entre 1825 et 1827 témoigne de l'hommage des descendants de Pierre-Paul Riquet au grand homme. L'obélisque mesure 20 mètres de haut, et a été bâti sur les "pierres de Naurouze" (sources de légendes depuis la nuit des temps).

Ce monument commémoratif a été érigé à l'initiative des familles héritières de Pierre Paul Riquet. Lors de la création de la Compagnie du canal du Midi, en 1810, la propriété du canal avait été transférée de l'État à 500 actionnaires. En 1824, après un long travail de reconquête de leurs droits légitimes, les différentes branches de cette famille ont réussi à reprendre une part prépondérante dans la gestion des affaires du canal dont ils avaient été écartés à la Révolution française.

L'obélisque possède une dédicace : " A Pierre-Paul Riquet, baron de Bonrepos, auteur du canal des Deux Mers en Languedoc ".

Le piédestal est orné d'inscriptions et bas-reliefs allégoriques. Ses bas-reliefs représentent côté nord les armes et médaillon de Pierre Paul Riquet, soutenus par Minerve, déesse de la sagesse, et par Mercure, dieu du commerce. Côté sud une nymphe, symbolisant la Montagne Noire, verse l'eau d'une urne, alimentant la Rigole de la Plaine. Cette eau se divise ensuite en deux symbolisant le partage des eaux du canal du Midi, le Dieu Neptune veillant sur le versant océanique et la déesse Vénus sur le versant méditerranéen.



Etat mécanique des berges et travaux géomécaniques associés

Laurence BARRERE VNF

Voies navigables de France Sud-Ouest supervise un vaste réseau de voies navigables couvrant plus de 600 kilomètres, englobant le canal des deux Mers qui relie le canal du Midi au canal latéral à la Garonne, ainsi que la Garonne et l'Hérault. Cette infrastructure s'étend de l'Atlantique à la Méditerranée, dont la navigation est ouverte la plus grande partie de l'année et accessible aux bateaux de plaisance et de tourisme fluvial. Le canal des deux Mers, en particulier le célèbre canal du Midi, est à la fois une voie navigable et une œuvre d'art, proposant une expérience culturelle et historique distinctive.

Le réseau géré par VNF Sud-Ouest est réparti sur 2 régions (Occitanie Pyrénées Méditerranée et Nouvelle Aquitaine), 7 départements (Gironde, Lot-et-Garonne, Tarn-et-Garonne, Haute-Garonne, Tarn, Aude et Hérault) départements et 207 communes.

Les digues de canaux, les barrages de navigation et les écluses peuvent être assimilés à des ouvrages de retenue au même titre que les barrages réservoirs au sens du décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

L'exécution de la Visite Technique Approfondie des digues est réalisée conformément aux articles R 214-123 , R 214-126 du code de l'environnement et l'arrêté du 8 août 2022 par deux bureau d'études. Conformément à la réglementation, les ouvrages hydrauliques classés (ou susceptibles de l'être), doivent faire l'objet de Visites Techniques Approfondies (VTA) réalisées par un personnel compétent notamment en hydraulique, en géotechnique et en génie civil.

La Direction Territoriale Sud-Ouest (DTSO) a émis un appel d'offres comportant deux lots distincts afin de procéder à la réalisation des visites techniques approfondies (VTA) suivantes :

- Portant sur le canal du Midi, d'une longueur de bief estimée à 175 Km, comprenant 48 km de digues classées répertoriées sur la rive droite et 19 km sur la rive gauche.
- Concernant le Canal Latéral à la Garonne, présentant une longueur de bief estimée à 177 km, avec 70 km de digues classées identifiées sur la rive droite et 53 km sur la rive gauche.

VNF possède des consignes d'exploitation, d'entretien et de surveillance sur tout son linéaire (canal du Midi et latéral à la Garonne) en période d'exploitation et de crues pour chacun de ces biefs. Un bief étant une portion de canal entre deux écluses.

Tout désordre (affouillement, glissement, érosion, renard hydraulique, fuite, terriers, etc) constaté par le BE d'études agréé ou en interne permet de mettre en place un suivi (observation du désordre, suivi photographique pour évaluer l'évolution du désordre) et peuvent faire l'objet de travaux en fonction d'une note de criticité évalué par une étude d'un bureau d'étude agréé.

Pour évaluer l'état mécanique des digues il est nécessaire de comprendre les causes et les mécanismes à l'origine des pathologies de la digue.

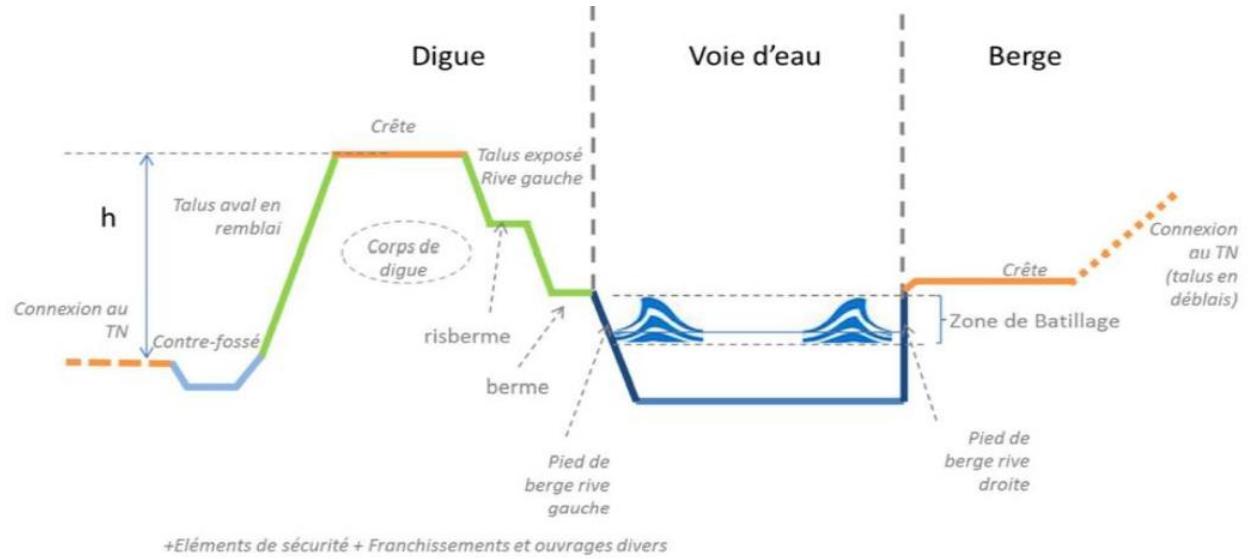
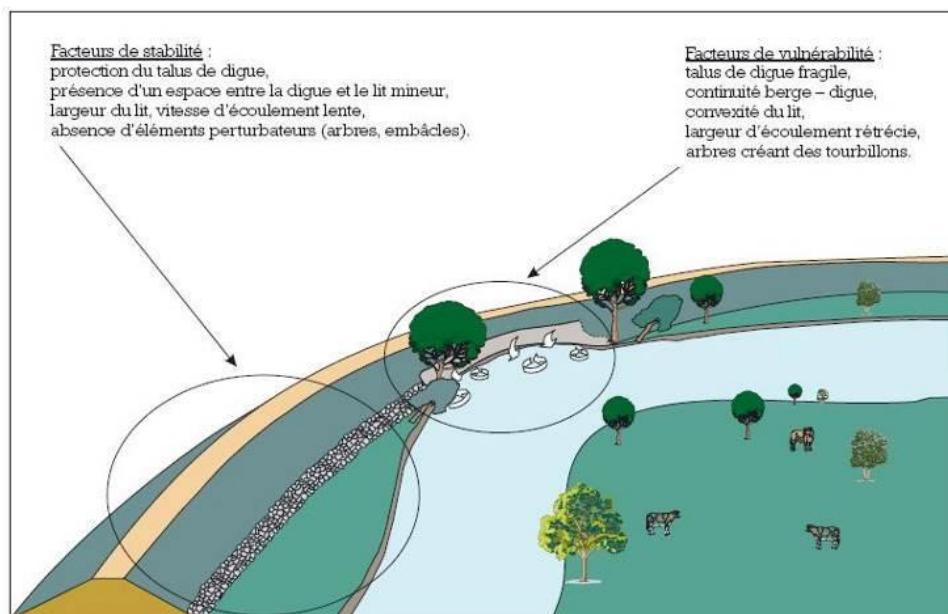


Schéma de la décomposition des linéaires selon la méthodologie Visite Technique du Linéaire

L'évaluation de l'état mécanique des digues est avec la criticité et la classe de l'ouvrage, un des paramètres qui permettra de hiérarchiser l'urgence d'intervention et de justifier la programmation des opérations de renforcement envisagées dans le cadre du plan de fiabilisation.

Les pathologies des digues identifiées lors du diagnostic visuel peuvent être attribuées à des mécanismes de dégradations. Trois types d'entre eux peuvent être mis en évidence sur les digues de canaux, classées ici en fonction de leur probabilité d'occurrence :

- L'érosion de berge (faible probabilité d'occurrence) dues aux sollicitations d'eau telles que les courants (courant naturels, navigations ou son exhaussement),
- Le glissement de talus de digue
- L'érosion interne (forte probabilité d'occurrence)

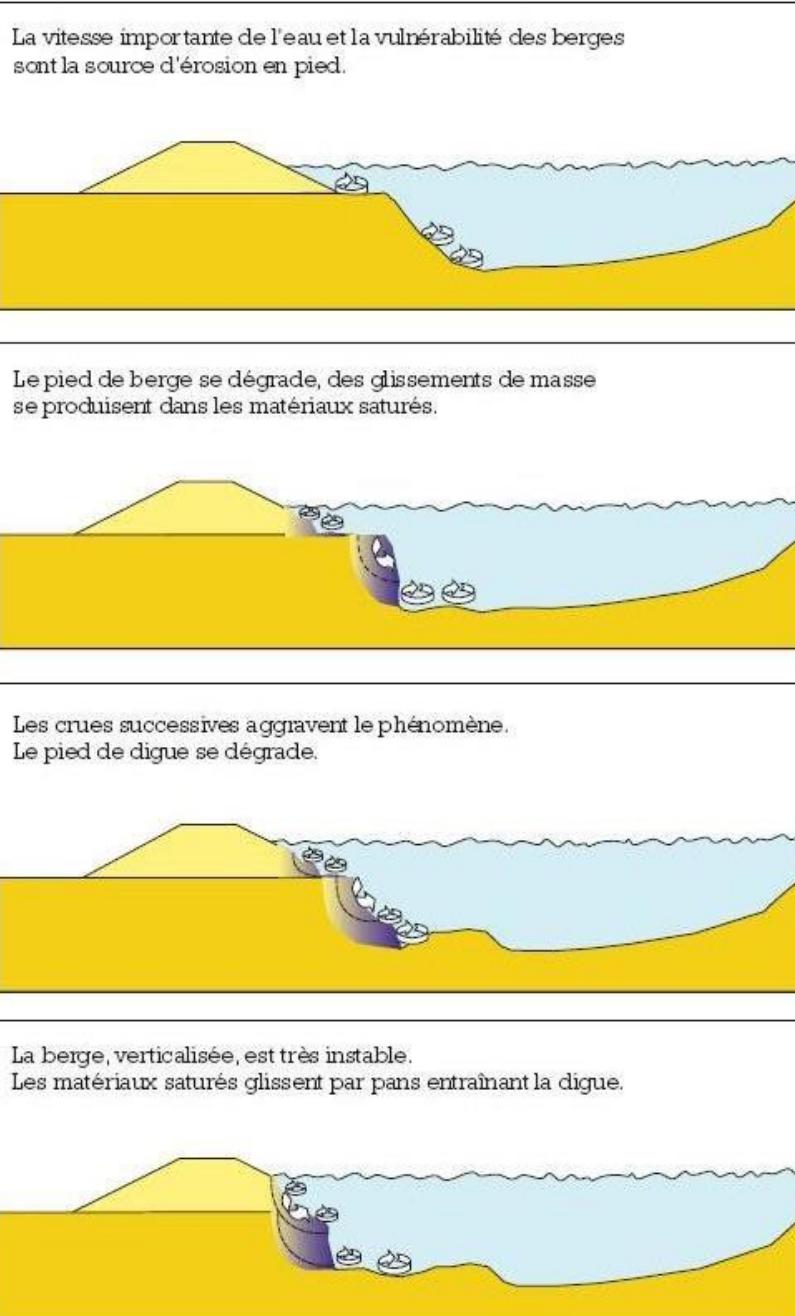


Exemple d'érosion de berge

Glissement de talus de digues :

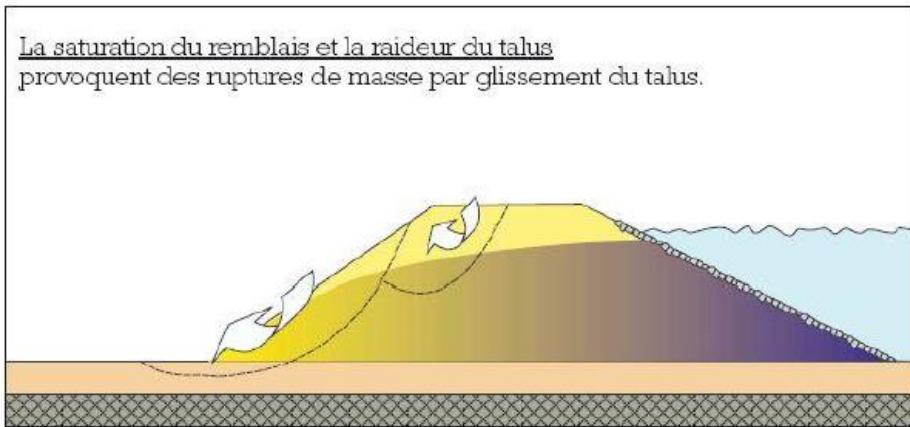
De par leur morphologie, les digues en remblais ont une bonne stabilité générale dans tous les cas de charge et les ruptures suite à une instabilité d'ensemble de la digue sont rares [Cemagref, 2001].

Cependant, ce **risque d'instabilité générale** sous une charge hydraulique importante (montée d'eau) *peut exister surtout si le profil de la digue est étroit et la pente du talus forte (3H/2V), la piézométrie est élevée dans la digue* (absence de drainage), les **caractéristiques mécaniques des matériaux du remblai sont médiocres** ou s'il existe **une couche compressible** (argiles, tourbes, etc.) sous-consolidée au niveau de la fondation.



Mécanisme d'érosion de berge

Pour les digues de voies navigables, le risque d'instabilité générale est le plus important sur le talus amont lors d'un abaissement rapide du niveau d'eau (décrue, chômage) où l'eau, qui a saturé le corps de digue et modifié les caractéristiques mécaniques du massif, peut engendrer des sous-pressions au niveau du parement amont. ***Lors des périodes de chômage il est important de vider lentement les biefs pour s'abstenir de ces phénomènes et laisser se dissiper les pressions interstitielles. Avant une remise en eau du bief il est nécessaire de vérifier si des glissements ont eu lieu pendant la phase de chômage. En effet, ces glissements locaux peuvent constituer des points faibles où la largeur de la digue se voit diminuer et initier des phénomènes d'érosion internes.***



Mécanisme d'instabilité de talus

La détermination des mécanismes de dégradation pour chaque pathologie a été purement qualitative, en s'appuyant sur l'expérience des personnels mobilisés et sur la base des connaissances scientifiques et des règles de l'art existantes, sans notion de modélisation numérique ou approche quantitative. L'instabilité de talus est un processus lent mais ***dans le cas d'une digue peu large*** une rupture par glissement généralisé peut nuire au fonctionnement de la digue et du canal (rupture de la digue, vidange du bief, réparation d'urgence, impact sur l'exploitation).

L'érosion interne est l'entraînement vers l'aval des particules constitutives du remblai ou de la fondation sous l'action d'un écoulement provenant de la retenue ou de la nappe [CFGB, 1997]. Elle ne se développe que sous l'action conjuguée de l'arrachement et du transport des particules.

Elle peut être causée par des phénomènes d'arrachement d'ordres mécanique, physico-chimique ou thermique.

Les mécanismes à l'origine de l'érosion interne sont [ICOLD, 2007] : l'érosion de contact (à l'interface entre deux couches de sol), l'érosion de conduite (dans une fissure par exemple), l'érosion régressive (entraînement de matériau qui se déclenche à l'exutoire d'un écoulement d'eau et qui s'auto-entretient jusqu'à déboucher à l'amont) la suffusion (entraînement sélectif, par l'eau en mouvement, des petites particules les plus instables dans les espaces poreux inter-particulaires d'un sol).

Le **renard hydraulique** est la conséquence d'une érosion régressive et se manifeste par un conduit de part et d'autre de l'ouvrage pouvant aboutir à une rupture.

Ce type d'érosion est favorisé par des défauts d'étanchéité, des zones d'hétérogénéité, des terriers d'animaux, des ouvrages traversant comme les conduites de prises d'eau, les câbles enterrés ou ouvrages d'évacuation dans le corps de digue, les traverses sous-fluviales ou raccordements à des ouvrages maçonnés de type pont canal.

L'érosion interne est **un processus difficilement observable** puisqu'il se passe dans le corps de digue. **Il peut apparaître soudainement. Seules les fuites observées sur le talus aval constituent le meilleur moyen de détecter ce phénomène** lors des visites de terrain (débroussaillage nécessaire pour une bonne visibilité des fuites).

Cet aléa de rupture est considéré comme le plus probable

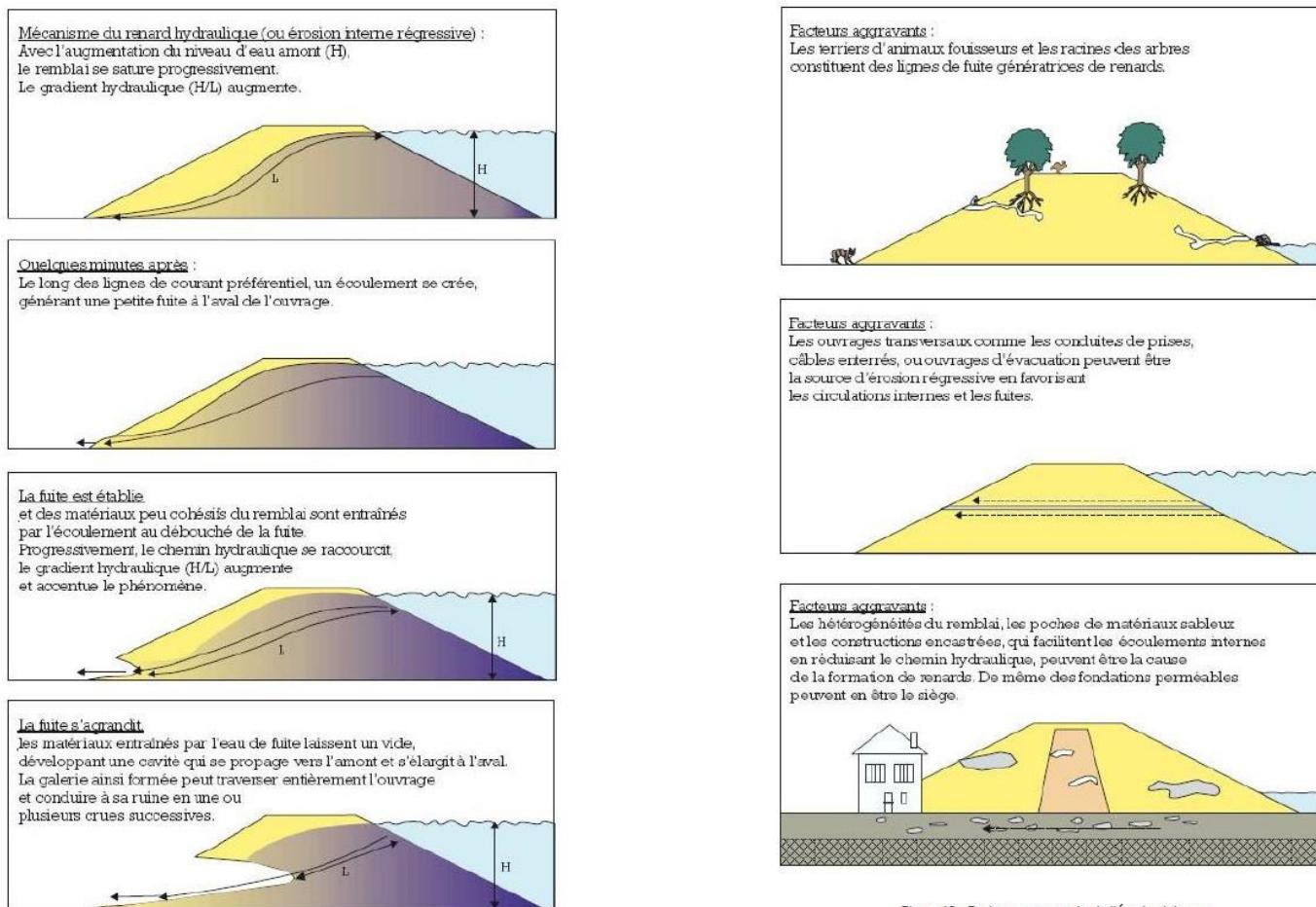


Figure 18 : Facteurs aggravants de l'érosion interne

Certaines résurgences font l'objet de travaux en fonction de chaque étude de cas soit :

- par des comblements par courrois d'argile lors des périodes de chômage depuis le canal par le service dragage en interne.
- par la mise en place d'un trench mix
- par la mise en place de palplanche (hors canal du Midi classé Patrimoine Mondial de l'UNESCO)
- par confortement de berges (paroi moulée).

Cette méthode de « Soil mixing » est une technique qui consiste à mélanger le sol en place avec un liant hydraulique. Généralement, ce liant peut être un coulis de ciment standard ou n'importe quel

autre liant hydraulique (chaux par exemple), qui est mélangé au préalable avec de l'eau, ou en injectant directement le liant sec.

L'opération est réalisée à l'aide d'un matériel de type trancheuse, équipée d'un guide rigide, qui contient les conduites d'amenée du liant et supporte une chaîne rotative qui permet de déstructurer le sol et le mélanger avec le liant. La machine travaille en reculant en continu le long de la tranchée afin de réaliser et de garantir à un rythme défini l'homogénéité souhaitée.

Afin de contenir l'écran frais lors du malaxage du sol en place avec le liant hydraulique et l'eau, et d'éviter ainsi les débordements de matériau traité, une pré-tranchée d'environ 1 m de largeur sera réalisée au préalable dans l'axe de l'écran étanche. En profondeur, la largeur et la profondeur de l'écran étanche seront ensuite fonction de la technique de réalisation.

La machine est ensuite positionnée avec sa lame horizontale le long de la pré-tranchée. La lame, composée d'une chaîne rotative équipée de dents, va ensuite pouvoir déstructurer le sol. Le coulis peut commencer à être injecté lorsque le guide de la machine est vertical. Ce mode opératoire est utilisé aussi bien en voie sèche qu'en voie humide. Le schéma ci-dessous permet de synthétiser les différentes étapes :

- Etape 1 : Réalisation de la pré-tranchée avec une pelle mécanique ;
- Etape 2 : Positionnement de la lame de la trancheuse horizontale le long de la pré-tranchée ;
- Etape 3 : Déstructuration du sol ;
- Etape 4 : Injection du coulis (lame verticale) ;
- Etape 5 : Formation du coulis le long de la paroi étanche ;
- Etape 6 : Arasement de l'excès de mélange pour obtenir un aspect fini propre.

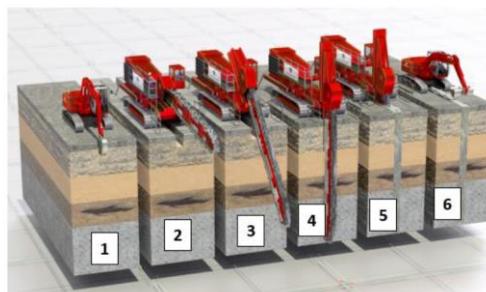


Schéma montrant l mode opératoire de la méthode par trancheuse (source : SOLETANCHE BACHY)



Chantier Digue Encassan

Certaines résurgences ont pu faire l'objet de travaux d'urgence tel que la fuite de Saint Paulet (rigole de la plaine (bouillonnement aqueduc sous canal)). L'identification de la fuite dans la rigole a été réalisée grâce à la mise en place d'un batardeau et observation sur le terrain.



Résurgence au niveau de la sortie d'un aqueduc de la rigole



Mise en place d'un batardeau



Comblement par bétonnage

Le comblement a été réalisé par petites phases successives de bétonnage par passes de 2m3 soit 4 m3 au total dans la cavité localisé sous le mur puis confortement du mur par du béton projeté.

Références bibliographiques

FROIDOUR Louis de, *Lettre à Monsieur Barrillon Damoncourt, contenant la relation et la description des travaux qui se font en Languedoc*, pour la communication des deux mers, Imprimé chez Dominique Camusat, Toulouse, 1672, (101 p.)

LALANDE Jérôme de, *Des canaux de navigation et spécialement du Canal du Languedoc*, Paris, Vve Desaint, 1778, édition fac-similé, Toulouse – Grenoble, APAMP–Euromapping, 1996, (586 p.)

RIQUET DE BONREPOS (les descendants de), *Histoire du Canal du Languedoc rédigé sur les pièces authentiques conservées à la Bibliothèque impériale et aux Archives du Canal*, Paris, Crapelet, 1805.

CARAMAN Georges de, *Guide du voyageur sur le Canal du Midi et ses embranchements*, Imprimerie Douladoure, Toulouse, 1836, (178 p., 2 cartes), réédité en 1853 et en 1994 par l'Association pour la promotion du patrimoine en Midi-Pyrénées.

CUCUROU Philippe., *Le Canal du Midi, système alimentaire de la Montagne Noire*, Éditions Association pour la promotion du patrimoine en Midi-Pyrénées (A.P.A.M.P.), Toulouse, 1993, (36p.)

ADGE Michel, *Les premiers états du barrage de Saint Ferréol*, dans Les cahiers de l'histoire de Revel n°7, Société d'histoire de Revel-Saint Ferréol, 2001. (www.lauragais-patrimoine.fr)

COTTE Michel, *Le canal du Midi, merveille de l'Europe*, Éditions Belin-Herscher, Paris, 2003.

BORDES Jean-Louis, *Les barrages-réservoirs en France du milieu du XVIIIe siècle au début du XXe siècle*, Editions des Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2005, (443 p.)

COLLECTIF, *Aux sources du canal du Midi, son système d'alimentation*, Éditions Région Midi-Pyrénées, Castanet, 2010, (128 p.), réédition augmentée paru en 2018

ISL Ingénierie, *Examen Technique Complet du barrage et revue de sureté du barrage du Lampy, 15F-133-RM2B*, 2016, (92 p)

ISL Ingénierie, *Dossier à soumettre au comité technique Permanent des Barrages, I, Dossier Principal*, 2013, (60 p), TRACTEBEL ENGIE, *Rapport d'exploitation et de surveillance P009318RP31A*, (179 p).