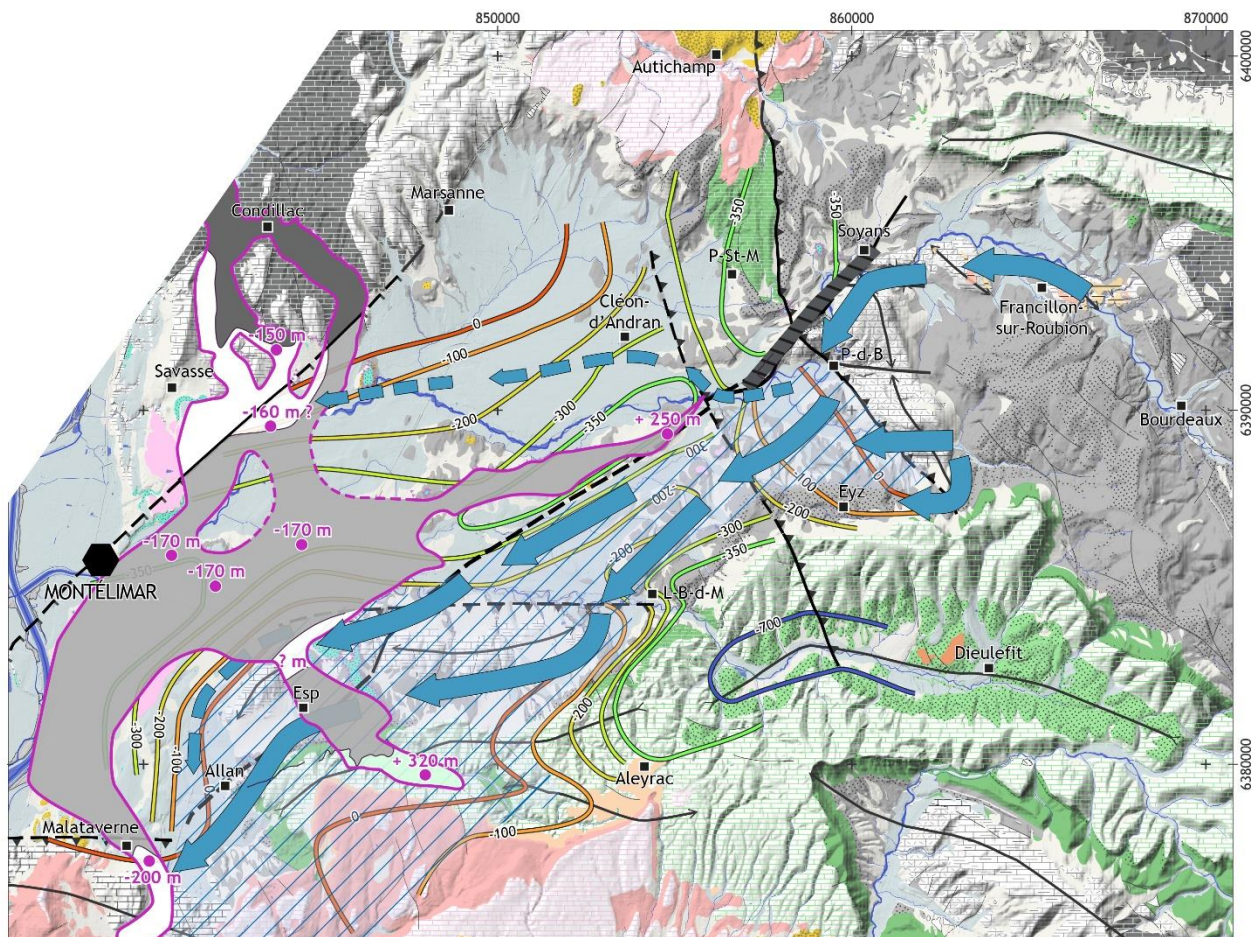




DIAGNOSTIC KARSTOLOGIQUE DES CALCAIRES BARRÉMO-BÉDOULIENS DU BASSIN DE LA VALDAINE, DRÔME (26)



RECHERCHE D'UNE NOUVELLE RESSOURCE D'EAU DANS LES CALCAIRES DU CRETACE INFÉRIEUR SOUS COUVERTURE

Financiers de l'étude :



Décision Attributive de
Subvention
n° 2025 5461 du 26 juin 2025
N° opération : 214.2025.005-OSA



LE DÉPARTEMENT

Pour la demande :
N° 2024-35687
Recherche d'une nouvelle
ressource dans les calcaires
du Barrémo-Bédoulien

CENOTE -R-2026-01

Février/2026

En partenariat avec :



Contacts :

ANTEA GROUP
Amélie BOYER
Hydrogéologue
Port. : 06
amelie.boyer@anteagroup.fr

CENOTE
Hubert Camus
Expert Géologue
Port. : 06 15 27 73 40
hubert.camus@cenote.fr

CDP CONSULTING
Florian MIQUELIS
Directeur Technique
+33(0)6.64.62.89.09
f.miquelis@cdpconsulting.fr



FICHE SIGNALÉTIQUE

Objet :

Rapport de diagnostic karstologique

Destinataire :

Syndicat Intercommunal du Bas Roubion et de Citelle
135B chemin du Bec de Jus
26450 CLEON D'ANDRAN

Document CENOTE :

Titre du document :	Diagnostic karstologique des calcaires barrémo-bédouliens du bassin de la Valdaine, Drôme (26)
Type	Rapport
Numéro	CENOTE-R-2026-01
Version n°	002
Rédaction :	C. Baral et H. Camus pour CENOTE A. Boyer pour ANTEA GROUP
Date de distribution :	Février 2026
Site :	Plaine de la Valdaine, Drôme (26)

SOMMAIRE

1.	PRÉSENTATION	6
1.1.	CIRCONSTANCE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	6
1.2.	CADRE DE L'INTERVENTION	7
1.3.	APPROCHE ET METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC KARSTOLOGIQUE.....	8
2.	RAPPELS GENERAUX SUR LES KARSTS	10
3.	CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU RÉSERVOIR BARRÉMO-BÉDOULIEN	11
3.1.	CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL	11
3.2.	DEPOTS DES CARBONATES DU BARREMO-BEDOULIEN ET DES COUVERTURES MESOZOÏQUES	12
3.3.	ÉVOLUTION POST-DEPOTS DES CARBONATES BARREMO-BEDOULIENS.....	14
4.	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	16
4.1.	INVENTAIRE DES FORMATIONS AQUIFERES DU SECTEUR	16
4.2.	CARACTERISTIQUES DE L'AQUIFERE BARREMO-BEDOULIEN.....	18
4.2.1.	<i>Inventaire des points d'eau.....</i>	18
4.2.2.	<i>Écoulement des eaux souterraines dans les calcaires barrémo-bédouliens</i>	19
4.2.3.	<i>Conditions d'alimentation et de vidange de l'aquifère</i>	23
4.2.4.	<i>Exutoires de la nappe.....</i>	25
4.2.5.	<i>Qualité des eaux souterraines.....</i>	27
5.	DIAGNOSTIC KARSTOLOGIQUE DU RÉSERVOIR BARRÉMO-BÉDOULIEN.....	28
5.1.	PALEOSURFACES A L'ÉCHELLE DE LA PLAINE DE LA VALDAINE ET DU HAUT-ROUBION.....	28
5.1.1.	<i>Surfaces d'aplanissement post-pyrénéen et ante messiniennes.....</i>	28
5.1.2.	<i>Surface d'érosion messinienne (SEM)</i>	29
5.1.3.	<i>Paléosurfaces post messiniennes : surface d'abandon pliocène et terrasses quaternaires.....</i>	30
5.2.	ALTERITES, COUVERTURES KARSTIQUES, FORMATIONS SUPERFICIELLES	31
5.2.1.	<i>Altération profonde de type fantôme de roche.....</i>	31
5.2.2.	<i>Altération de surface : les argiles à chailles</i>	32
5.2.3.	<i>Remplissage sédimentaire de l'incision messino-pliocène.....</i>	33
5.3.	LES FORMES KARSTIQUES DE SURFACE	36
5.3.1.	<i>Aplanissements karstiques dans la vallée du Haut-Roubion.....</i>	36
5.3.2.	<i>Dolines et mégadolines.....</i>	37
5.3.3.	<i>Paléo vallées perchées, canyons et vallons fluviokarstiques.....</i>	38
5.1.	STRUCTURES KARSTIQUES	40
5.1.1.	<i>Structures d'altération profonde.....</i>	40
5.1.2.	<i>Paléokarsts.....</i>	43
5.1.3.	<i>Cavités et réseaux karstiques.....</i>	45
6.	GÉOMÉTRIE DES CALCAIRES BARRÉMO-BÉDOULIEN ET DU RÉSERVOIR KARSTIQUE.....	47
6.1.	ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE DE LA GEOMETRIE DES CALCAIRES BARREMO-BEDOULIENS ET SPATIALISATION DES ELEMENTS DU DIAGNOSTIC KARSTOLOGIQUE	47
6.1.1.	<i>Secteur du Haut-Roubion (Francillon, Pont-de-Barret, Rochebaudin)</i>	49
6.1.1.	<i>Secteur de Puygiron</i>	56
6.2.	APPORTS CONCERNANT LA GEOMETRIE ET L'ORGANISATION DU RESERVOIR KARSTIQUE	59
7.	ANALYSE MORPHODYNAMIQUE ET STRUCTURATION DU RÉSERVOIR KARSTIQUE.....	60

7.1.	TYPES DE KARSTIFICATION ET STRUCTURATION KARSTIQUE ASSOCIEE.....	60
7.2.	PHASES DE STRUCTURATION KARSTIQUE	64
8.	IMPLICATIONS SUR LES CIRCULATIONS DANS LE RÉSERVOIR KARSTIQUE ET LA LOCALISATION DES RÉSERVES	67
8.1.	CHEMINS DE DRAINAGE SOUTERRAIN ACTUEL.....	67
8.2.	LOCALISATION DES ZONES DE RESERVES	68
9.	CONCLUSION ET PRÉCONISATIONS	70
9.1.	CONCLUSION	70
9.2.	PRÉCONISATIONS	71
9.2.1.	<i>Préconisations concernant le ciblage et la reconnaissance géophysique du toit des calcaires pour l'implantation des forages</i>	<i>71</i>
9.2.2.	<i>Préconisations concernant le fonctionnement hydrogéologique.....</i>	<i>72</i>
9.2.3.	<i>Préconisations concernant le potentiel réservoir des calcaires du Turonien.....</i>	<i>72</i>
	BIBLIOGRAPHIE.....	73
	ANNEXE	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Carte de localisation du bassin de la Valdaine.	7
Figure 2 :	Carte géologique simplifiée d'après la carte géologique harmonisée, BRGM) du bassin de la Valdaine situé à l'est de Montélimar.....	11
Figure 3 :	Paléogéographie du bassin du Sud-Est au Barrémien (~ 125 - 121 Ma). En orange, faciès urgoniens (extension maximale) ; en vert, marno-calcaires de talus ; en bleu, marno-calcaires de bassin ; en rouge, lobes turbiditiques de calcarénites avec sens des apports (d'après (Ferry & Grosheny, 2013)).	12
Figure 4 :	Environnements de dépôts des carbonates lors de l'extension maximale de la plateforme carbonatée du Barrémo-Bédoulien (modifié d'après Ferry & Grosheny, 2013) dans le secteur d'étude.	13
Figure 5 :	Sens d'écoulement supposé de la nappe des calcaires à partir des mesures piézométriques sur les points d'eau identifiés.....	22
Figure 6 :	Assec du Roubion à Pont-de-Barret, lors de notre visite en août 2025.	23
Figure 7 :	Résultats de la campagne de jaugeages du 19 et 20 juin 2025 (communication du SIEBRC). Le Roubion perd un débit de 60 L/s à Francillon et un débit de 250 L/s entre Soyans et Pont-de-Barret.	24
Figure 8 :	Carte de synthèse présentant le fonctionnement hydrogéologique supposé de l'aquifère des calcaires du Barrémo-bédoulien.....	26
Figure 9 :	Les calcaires du Barrémo-Bédoulien sur le relief au sud de Puygiron et les calcaires du Turonien sont tronqués horizontalement à 300 et 350 m, cette surface nivelle les structures pyrénéennes (plis, failles). Le plateau en arrière-plan correspond aux dépôts d'âge Priabonien et Oligocène. Dans la vallée de Citelles, les replats en contrebas correspondent à la surface d'abandon pliocène (SAP).	29
Figure 10 :	La surface d'érosion messinienne est visible dans le paysage au nord-est de Montélimar. À cet endroit le canyon se divise en 3 bras (Condillac, Sauzet et autoroute A7). D'après les profils de sismique réflexion la profondeur de l'incision est de l'ordre de 300 m.	30
Figure 11 :	La SEM forme un talweg entre la colline de Piérougier et celle de Notre-Dame-de-Monceau (lieu de la prise de vue). La profondeur du talweg n'est pas connue. En arrière-plan, l'étendue plane de la Montagne de la Série correspond aux formations détritiques pliocène qui scellent la SEM.....	30
Figure 12 :	Le replat à 300 m conserve des dépôts fluviaux pliocènes, il marque la position de la SEM ainsi que de la surface d'abandon pliocène (SAP). Le replat en contrehaut (350 m) correspond à une surface fluviale anté-messinienne.	31
Figure 13 :	Terrasse quaternaire (Fv) qui tronque les dépôts pliocènes observés sur la crête de la colline de la Motte à Charols.	31

Figure 14 : Fantôme de roche sub vertical le long de la D328 dans les gorges de la Rimandoule. La continuité des bancs est conservée de part et d'autre du volume altéré jaunâtre, à gauche. Dans la zone altéré le calcaire est meuble et peut être transpercé par un couteau, il s'agit du « fantôme de roche », à droite..	32
Figure 15 : Argiles à chailles accumulées sur le replat de l'anticlinal de Puygiron, à 300 m d'altitude.	33
Figure 16 : Modèle de dépôts des faciès du Pliocène selon le modèle de <i>Gilbert-Delta</i> dans l'espace inscrit dans la surface d'érosion messinienne (Mocochain et al., 2006).	33
Figure 17 : Les sables de Condillac correspondent aux <i>foresets</i> du prisme sédimentaire pliocène qui colmatent le canyon messinien du Rhône.	34
Figure 18 : Le remplissage messino-pliocène dans le domaine continental est caractérisé par de la base au sommet. A. Bloc erratique, anguleux, allochtone, d'échelle métrique Serre Pointu, Rochefort-en-Valdaine. B. Bloc basculé dans un versant, Pirrugier, Espeluche. C. Formation à blocs émoussés emballés dans une matrice sableuse, piste cyclable de La-Bâtie-Rolland. D. Sable fin, bien trié préservé sur le col au sud de la colline du Pied Bazi (Saudon).	35
Figure 19 : Formation résiduelle d'origine fluviatiles constituées de galet, émoussés ou plus anguleux, parfois arrondis d'échelle centimétrique à décimétrique, accompagnés d'une fraction sableuse fine. Ces formations sont conservées en position de cols dans des paléovallées perchées (col de Gourgéasses, à gauche) ou sur des reliefs (Serre Lotie, Soyans, à droite).	35
Figure 20 : Vue en coupe du front d'altération cryptokarstique sous la surface S400 dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien affleurant dans la vallée du Roubion à Francillon. On note la présence de pinacles et la concavité du front d'altération qui marque le culot d'une cryptodoline.	36
Figure 21 : Méga-dolines des Serres de 100 à 200 m de diamètre pour une profondeur d'environ 50 m, vues sur le MNT 1m (IGN). Ces objets sont des indicateurs d'une surface d'altération cryptokarstique dénudée dans le secteur du Haut-Roubion.	37
Figure 22 : Doline d'effondrement de Serre Blanc sur le relief au sud de Puygiron identifiée sur le MNT 1m (IGN). Cette doline de 50 mètres de diamètre pour environ 10 m de profondeur marque poinçonne le réservoir depuis la surface d'aplanissement à 300 m.	38
Figure 23 : Paléo vallée perchée en position de col à l'est de Pont-de-Barret. À gauche, vue vers l'ouest en direction de Pont-de-Barret. À droite, vue vers l'est de la paléo vallée déconnectée de son amont situé au Serre la Pigne par l'incision d'une vallée.	38
Figure 24 : Canyon du Roubion à Francillon, à gauche et percée cataclinale du Roubion en amont de Pont-de-Barret, à droite. On note les assècs régulier du Roubion dans ce secteur (cliché fin d'été 2025).....	39
Figure 25 : Couloirs de brèches karstique orienté N090° E montrant l'intensification de la bréchification vers le cœur de la structure. Les épontes du couloir sont retouchées par la dissolution et scellées par des cristallisations de calcite d'origine hypogène. Francillon-sur-Roubion, rive droite du Roubion (D538).....	40
Figure 26 : Sous le front d'altération de la S400, des fractures verticales orientée N40° E et N160° E sont karstifiées et colmatées par une formation allochtone hétérogène. Certaines de ces fractures montrent dans leur partie supérieure des structures d'effondrement (à droite). Francillon-sur-Roubion, rive droite du Roubion (D538).	41
Figure 27 : Passage de la faille de Soyans qui borde la Montagne de Ste Euphémie matérialisée par des cloisons sub verticales de brèches cimentées restées en relief par érosion différentielle.....	42
Figure 28 : La cluse de Rochebaudin correspond à une cloison verticale minéralisée soulignant le passage du chevauchement de Rochebaudin orienté NO-SE. Les cloisons minéralisées sont observées à l'amont et l'aval des gorges de la Rimandoule et se poursuivent dans le versant en faisant ressortir la géométrie de la structure anticlinale.	43
Figure 29 : Cavité tapissée par des cristaux de calcite drusique, indicateurs de circulation de fluide hypogènes. Francillon-sur-Roubion, rive droite du Roubion (D538).	44
Figure 30 : Paléokarst sur fracture à cristallisation de calcite drusique, spéléothèmes et remplissage sableux. Rochebaudin, rive gauche de la Rimandoule (D328).....	44

Figure 31 : Paléokarst à remplissage détritique alternant entre des fines et des dépôts grossiers (galets roulés et gélifracsts) qui traduisent une dynamique de sédimentation torrentielle. Carrière au sud de Puygiron en bordure de la D327. 45

Figure 32 : Coupe projetée de la topographie spéléologique des cavités de Baume Claire et Baume Sourde réalisé par le Montélimar Archéo Spéléo Club (M.A.S.C.) en 1974. Les deux cavités se développe sur 893 m pour un dénivelé de 100 m (-56 - + 44m). Une rivière souterraine s’écoule dans la galerie inférieure à une quinzaine de mètres sous le Roubion. 46

Figure 33 : Porche d’entrée de la Baume Claire. On note des morphologies typiques de galerie épinoyées (paragénétisme, coupole de dissolution). Une encoche horizontale marque un paléo-niveau de base à 330 m (altitude du porche d’entrée). 46

Figure 34 : Carte synthétique de la géométrie du toit des calcaires sous-couverture et des structures tectoniques majeures. Construite d’après les observations de terrain et les interprétation des profils de sismique réflexion (CDP Phase 1 (rond), et Thomasset et al., 2024 (carré)). 48

Figure 35 : Carte synthétique des structures géologiques du secteur Haut-Roubion / Est Plaine de la Valdaine et de la position du toit des calcaires modifié d’après CDP Consulting (2025) et Thomasset et al. (2024) . Localisation des traits de coupes géologiques. 50

Figure 36 : Configuration géométrique du forage de Manas. Ce forage est implanté dans le bloc compris entre les failles de Soyans et de Manas, bien que des indices karstiques soient recoupés il se situe dans un compartiment hydrauliquement isolé. 51

Figure 37 : Coupes géologiques A, B et C orientées E-O. Localisation des traits de coupes en Figure 34. ... 54

Figure 38 : Coupe géologique D passant par Soyans, Pont-de-Barret, Charols et la Bégude-de-Mazenc. La coupe D est divisée en deux sections, la première dans le secteur de Pont-de-Barret et la deuxième traverse essentiellement un secteur sous-couverture qui permet de faire le raccordement avec la coupe E. Les observations morphokarstiques sont replacées sur un agrandissement à l’échelle de la section 1. Localisation du trait de coupe en Figure 34. 55

Figure 39 : Coupe géologique E passant par la Bégude-de-Mazenc, les forages de la Touche et de Piérougier et la butte Monceau. Localisation du trait de coupe en Figure 33. 58

Figure 40 : Carte de synthèse morphokarstique du secteur du Haut-Roubion et de l’est de la Plaine de la Valdaine..... 62

Figure 41 : Carte de synthèse morphokarstique du secteur de Puygiron et de la vallée de Citelles. 63

Figure 42 : Grande phases de structuration du réservoir karstique en lien avec les variations du niveau de base (N.B.) : 1- Secteur de Puygiron : altération sous couverture à partir du Priabonien-Oligocène. Secteur du Haut-Roubion : mise en place d’un poljé après le maximum de déformation alpine à la fin du Miocène. 2 - Connexion des systèmes karstiques du Haut-Roubion et de Puygiron suite à l’incision messinienne. 3 - Ennoiement en ria de l’incision messinienne et remontée du niveau de base conduit au blocage du réservoir et la formation d’un karst barré. 4 - Oscillations climato-eustatiques conduisent à l’incision des canyons dans le Roubion et la Rimandoule. Les zones d’infiltration et de transfert héritées sont conservées et entretenues. 66

Figure 43 : Carte interprétative de la géométrie des calcaires barrémo-bédouliens et de la surface de discordance du Messinien utilisée comme support pour construire la carte de l’organisation des chemins de drainage et des réserves dans le réservoir karstique barrémo-bédoulien. 69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Potentiel aquifère des formations géologiques identifiées au droit du territoire du syndicat ... 17

Tableau 2 : Inventaire des sources principales identifiées dans la zone d’étude 18

Tableau 3 : Inventaire des forages traversant les calcaires barrémo-bédouliens 20

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux prélevées dans les forages AEP 27

1. PRÉSENTATION

1.1. Circonstance et objectifs de l'étude

Le SIE du Bas Roubion et de Citelle (SIEBRC) gère les eaux de 20 communes dans la périphérie Est de Montélimar (Figure 1) avec un volume mis en distribution en 2023 de 1,3 millions de m³.

Les ressources pour l'alimentation en eau potable exploitées par le syndicat reposent essentiellement dans des sources et puits prélevant des nappes superficielles avec des impacts forts sur les débits des cours d'eau à l'étiage. La ressource principale : le captage des Reynières est classé captage prioritaire ; il est concerné par des teneurs élevées en pesticides et nitrate.

Deux forages « La Vesque » et « Piérougier » exploitent quant à eux une ressource plus profonde constituée par l'aquifère des calcaires urgoniens du Crétacé inférieur, mais à de faibles débits (débits autorisés : 30 m³/h et 50 m³/h).

Les deux principaux cours d'eau qui drainent le territoire couvert par le syndicat, le Roubion et le Jabron, sont qualifiés en déséquilibre quantitatif avec une demande des services de l'État de réduire la pression de prélèvement sur les bassins versants correspondants.

Le syndicat est donc aujourd'hui en recherche de solutions pour sécuriser et renforcer ses ressources actuelles tout en lui permettant de réduire la pression de prélèvement sur les nappes superficielles drainées par les cours d'eau, en particulier en période d'étiage.

L'objectif final de l'étude est de proposer un schéma de mobilisation des eaux souterraines contenues dans l'aquifère des calcaires urgoniens du Crétacé inférieur. En effet, le SIEBRC et l'agence de l'eau considèrent que cet aquifère, lorsqu'il est sous couverture des formations imperméables du Gargasien (marnes), donc déconnecté des cours d'eau, présente des potentialités intéressantes en termes de débit et qualité. Le SIEBRC souhaite donc :

- connaître la géométrie de cet aquifère ;
- connaître son fonctionnement passé et actuel ;
- réaliser un forage pour sécuriser la desserte en eau de ses abonnés.

Cette ressource permettrait de réduire voire de se substituer à certains prélèvements actuels qui impactent les milieux superficiels et de consolider l'organisation de la desserte en eau du SIE sur ce territoire du bassin de Montélimar.

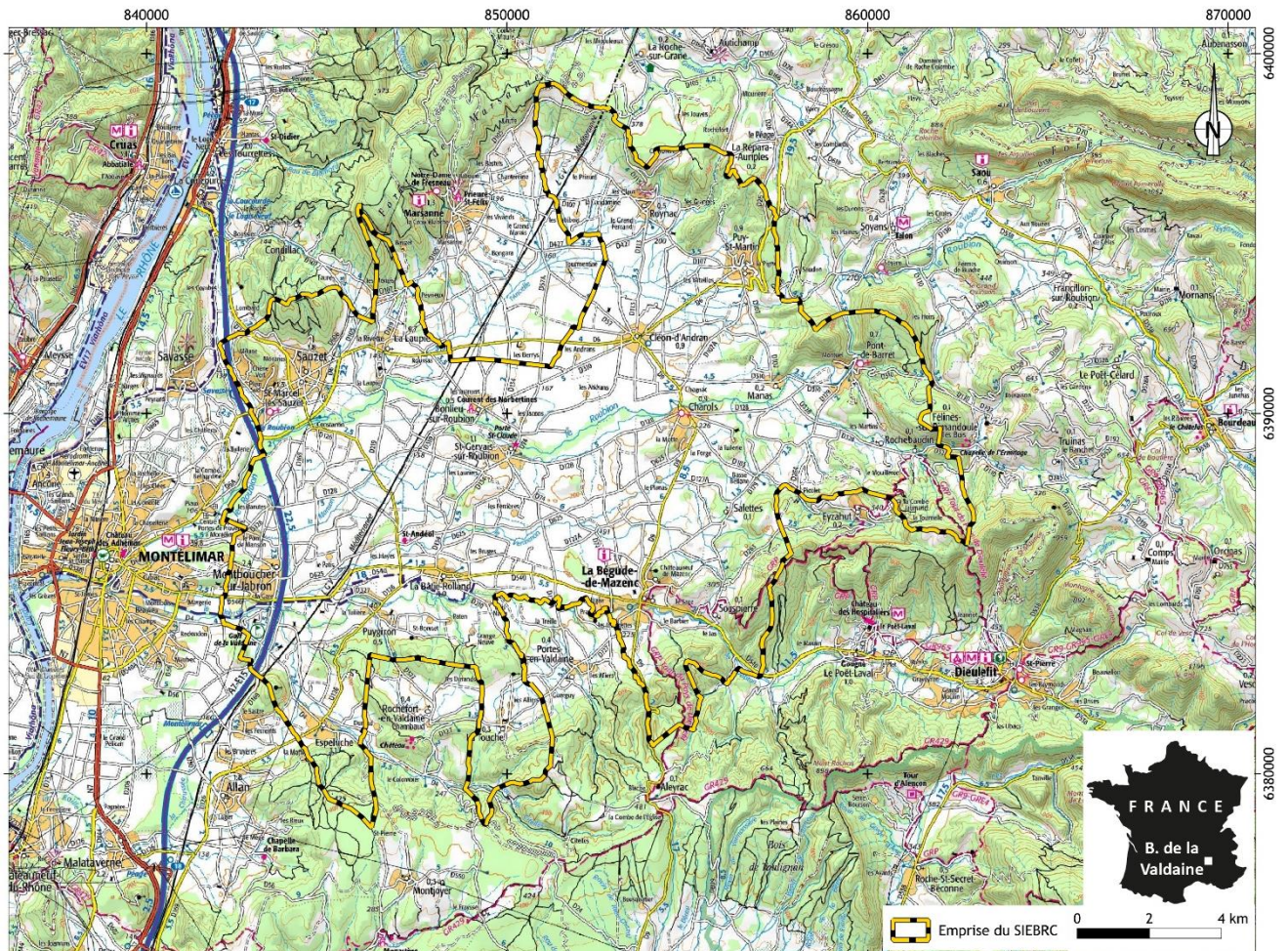


Figure 1 : Carte de localisation du bassin de la Valdaine.

1.2. Cadre de l'intervention

L'étude se déroule en 3 phases :

- **Phase 1** : Collecte des données de géophysiques existantes pour imaginer la géologie de la partie haute des séries sédimentaires.
- **Phase 2** : Reconstitution de la mise en place de la karstification, détermination du fonctionnement actuel du karst et identification des réservoirs noyés.
- **Phase 3** : Synthèse des données des phase 1 et 2 visant à identifier les zones les plus favorables pour implanter un forage de reconnaissance OU à conclure sur la nécessité de réaliser des investigations géophysiques complémentaires pour l'implantation d'un forage.

CDP Consulting, bureau d'expertise sur la valorisation des données sismiques, est intervenu au cours de la première phase pour valoriser l'ensemble des données sismiques existantes disponibles et réaliser un ensemble de coupes géologiques qui ont permis :

- d'apporter une information structurale au niveau du réservoir potentiel des calcaires barrémo-bédouliens.
- De mettre en évidence les traits structuraux principaux de la plaine de Valdaine : la faille de Marsanne au Nord-ouest, la faille de Manas à l'est (toutes deux de direction cévenole) et l'accident du Jabron de direction globale E-W.
- D'estimer la profondeur du toit des calcaires du Barrémien au droit des profils sismiques existants.
- D'apporter des informations relatives à la présence des canyons messiniens.

Les principales conclusions de ce travail ainsi que la carte de synthèse présentant les principaux traits structuraux et la profondeur du toit des calcaires, sont rassemblées en Annexe.

Ce présent rapport restitue le travail de la phase 2 établi par Cenote pour la partie karstologie et Antea pour le volet hydrogéologique.

Pour la partie hydrogéologique, **Antea Group** décrit le fonctionnement actuel de l'aquifère à partir de l'exploitation de l'ensemble des données existantes : données de quantité et de qualité des eaux, bilan hydrogéologique et estimation de la recharge de l'aquifère.

La société **Cenote** est intervenue dans le cadre du volet karstologie pour la réalisation :

- d'un diagnostic karstologique visant à identifier les grandes phases de karstification, le type et le degré de karstification permettant la caractérisation des réservoirs karstiques et du fonctionnement hydrogéologique des séries carbonatées du Barrémo-Bédoulien ;
- d'un modèle conceptuel de la structuration karstique des réservoirs considérant
 - la délimitation des unités géologiques accueillant le ou les réservoirs karstiques en surface et en profondeur sous couverture en concertation avec CDP consulting ;
 - l'extension verticale des réservoirs karstiques par la caractérisation des variations des niveaux de base et des tranches affectées par la karstification au cours des temps géologiques (incision, transgression, extension des zones de recharge) ;
 - les incertitudes concernant les échanges potentiels entre ces unités réservoirs et les unités adjacentes, en termes d'alimentation et de restitution des eaux afin d'approcher au mieux l'importance des réserves karstiques.

Cette démarche de « diagnostic karstologique » et « d'approche réservoir » des systèmes hydrogéologiques karstiques permet d'établir un modèle conceptuel hydrogéologique prenant en compte les spécificités de l'organisation et de la géométrie du réservoir karstique, afin de proposer un ciblage pour des forages de reconnaissance.

Les incertitudes associées seront dégagées afin d'orienter les investigations pour les phases suivantes (tranches optionnelles) et proposer des adaptations si nécessaire, notamment en termes de reconnaissance du toit des calcaires sous couverture.

1.3. Approche et méthodologie du diagnostic karstologique

Le diagnostic karstologique développé par CENOTE repose sur une approche intégrée (géologie, hydrogéologie, géomorphologie) couplée à une approche réservoir. Cette démarche vise à analyser et à déterminer le fonctionnement, la structure et l'évolution des systèmes karstiques, notamment lorsque plusieurs systèmes de drainage se sont succédés au cours de l'évolution géologique.

Le diagnostic karstologique s'appuie sur la typologie morphosédimentaire et hydrodynamique des indices karstiques, notamment fondés sur le levé cartographique des formes et formations karstiques et des mesures de terrain, et pour répondre de façon adaptée à la problématique de la présente étude, à savoir la traduction de ces éléments en termes de structures de drainage karstique et de localisation de la réserve. En pratique, le diagnostic karstologique correspond à trois phases méthodologiques :

- détermination morphokarstique,
- analyse morphodynamique et/ou hydrodynamique,
- reconstitutions chrono-relative des systèmes karstiques successifs et structuration du drainage karstique.

Cette approche se base sur la détermination des indicateurs morphokarstiques et des marqueurs géologiques du karst permettant de reconstituer les conditions de leur genèse, c'est-à-dire d'identifier les grandes phases de karstification et les processus dominant en jeu. Idéalement, il s'agit de mettre en corrélation les différentes formes karstiques observées avec les processus qui leur sont associés et avec les formations corrélatives qui en découlent.

Ce diagnostic karstologique s'intègre dans une « approche réservoir » permettant de prendre en compte les indicateurs de structuration et de fonctionnement karstique déterminants pour :

- évaluer le caractère karstique de la formation aquifère au sein des différents compartiments identifiés et/ou des interconnexions d'ordre karstiques avec les aquifères voisins ;
- comprendre la structure et le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère objet de l'étude en lien avec les eaux de surface : notamment en termes de modalités d'infiltration et en termes de transfert en se focalisant sur les chemins potentiels de drainage ;
- fournir un cadre conceptuel de structure et de fonctionnement hydrogéologique permettant l'acquisition, l'analyse et l'interprétation des données hydrodynamiques et des résultats de traçages par coloration, notamment en cas de capture de bassin d'alimentation ainsi que les indicateurs karstiques influencés par les changements globaux concernant la ressource en eau.

Dans l'optique de cette « approche réservoir », le diagnostic karstologique vise ainsi à recenser les indicateurs significatifs de fonctionnement et de structuration karstique et de qualifier les discontinuités interconnectées et les parties altérées qui définissent le « réservoir karstique ».

Ce réservoir karstique se distingue du réservoir carbonaté sain dans lequel il se développe et/ou de l'unité hydrogéologique s.l. à laquelle il appartient, dans la mesure où :

- il ne constitue qu'une partie, celle qui est karstifiée, de ce réservoir carbonaté ou de cette unité hydrogéologique,
- un même réservoir karstique, pouvant par ailleurs contenir un ou plusieurs systèmes karstiques, peut s'étendre à plusieurs intervalles sédimentaires considérés comme des réservoirs distincts et/ou des unités hydrogéologiques différentes,
- il modifie les propriétés pétrophysiques de ce réservoir et les propriétés hydrodynamiques initiales de l'unité hydrogéologique à laquelle il appartient.

Il s'agit donc de déterminer l'extension des zones karstifiées au sein du réservoir carbonaté et leur influence sur la structure et le fonctionnement de l'unité hydrogéologique correspondante. Le but de la démarche est ainsi de reconstituer la géométrie et les principales étapes de l'évolution du réservoir karstique, c'est-à-dire la chronologie relative des événements successifs qui organisent ou réactivent les circulations souterraines entre la zone de recharge et la zone de restitution des eaux, à différentes étapes de l'évolution géomorphologique et géodynamique du réservoir.

2. RAPPELS GENERAUX SUR LES KARSTS

Le karst se définit en tant qu'aquifère et en tant que paysage, formes de surface et structures karstiques souterraines (grottes, réseaux de galeries et de fissures, zones d'altération karstique en subsurface, discontinuités karstiques au sein du réservoir).

Il se caractérise par l'organisation d'unités de drainage appelées « systèmes karstiques » (Mangin, 1975) entre la zone de recharge et la zone de restitution des eaux.

Ce système karstique se définit par sa structure, son fonctionnement et son évolution, en rapport temporel avec son cadre géologique, géomorphologique et anthropique.

La dynamique de ces systèmes karstiques s'inscrit dans le temps géologique en suivant trois principaux types de genèse décrit comme le « **triptyque de la karstification** » (Quinif, 1999, 2010) :

- la **fantômisation** et les **altérations profondes** associées (brèches), qui sont relatives à un temps géologique long et qui se déroule en deux phases avec :
 - une phase longue d'altération isovolumique par diffusion qui conduit à l'exportation des carbonates en solution tout en **préservant la structure de la roche encaissante** et en **laissant les insolubles en place**,
 - une phase secondaire pouvant être très brève et correspondant à l'**évacuation des produits d'altérations** (ou altérites) et/ou à l'exploitation préférentielle de ces dernières par des circulations de type karstique consécutivement à l'apparition d'un gradient hydraulique significatif,
- la **cryptoaltération**, qui est relative à un temps long qui peut succéder ou se confondre avec le temps de la fantômisation, mais se cantonne dans la **zone de subsurface** :
 - cette altération correspond à différents **processus de dissolution à l'interface d'une couverture** non carbonatée (alluvions, argiles, sables, cendres volcaniques, guano...) dite « **couverture karstique** » et du toit de la roche carbonatée karstifiée,
 - la tranche d'altération est réduite à la subsurface sous le contrôle d'un niveau de base **proche et stable** assurant un gradient hydraulique modéré qui autorise une **dynamique de lessivage**,
- la **corrosion sur roche nue**, qui est relative à un temps moyen avec des implications dans le temps court du fonctionnement actuel du système karstique et des modifications subies par ce système :
 - cela engendre un **processus de dissolution totale des carbonates** par l'eau au contact direct de la roche et la **formation de cavités**,
 - ce processus conduit à l'élaboration des **réseaux spéléologiques** sous l'influence de variations significatives du niveau de base impliquant des gradients hydrauliques ou des gradients de pression, de densité ou de température, pouvant conduire à des circulations en mode **gravifique** ou en mode **hypogène**. En mode **hypogène** la formation des réseaux est conduite par des remontées de fluides qui se localisent souvent autour des principaux accidents tectoniques (Klimchouk, 2007). La formation de ces structures de dissolution est indépendante des conditions de recharges locales et répond davantage à des gradients d'échelle régionale (+ de 10 km).
 - ce processus peut assurer seul les dynamiques de karstogenèse, mais peut aussi, et c'est très fréquemment le cas, intervenir à la suite des processus fantômisation et/ou de cryptoaltération et se combiner avec eux à différents stades de l'évolution karstique des massifs carbonatés.

3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU RÉSERVOIR BARRÉMO-BÉDOULIEN

3.1. Contexte géologique général

Le secteur d'étude se situe dans la Drôme provençale, il correspond à la grande plaine s'étendant à l'est de Montélimar, appelée bassin de la Valdaine et aux reliefs qui l'encadrent. Dans ces reliefs affleurent les séries carbonatées du Crétacé inférieur et du Crétacé supérieur (Figure 2) qui marquent le paysage avec les structures plissées remarquables de la forêt de Saou et de Dieulefit. La plaine s'inscrit dans les marnes noires du Crétacé inférieur par-dessus lesquels reposent en discordance des terrains tertiaires et quaternaires. Ces terrains tertiaires se trouvent aussi en position de plateau, au nord (Autichamp) et au sud (Aleyrac) reposant en discordance sur les séries crétacées (Figure 2). Le contexte structural du secteur est complexe puisque marqué par des déformations d'origine cévenole (F. de Marsanne), pyrénéo-provençale (chevauchement de Puygiron) et alpine (secteur du Haut-Roubion).

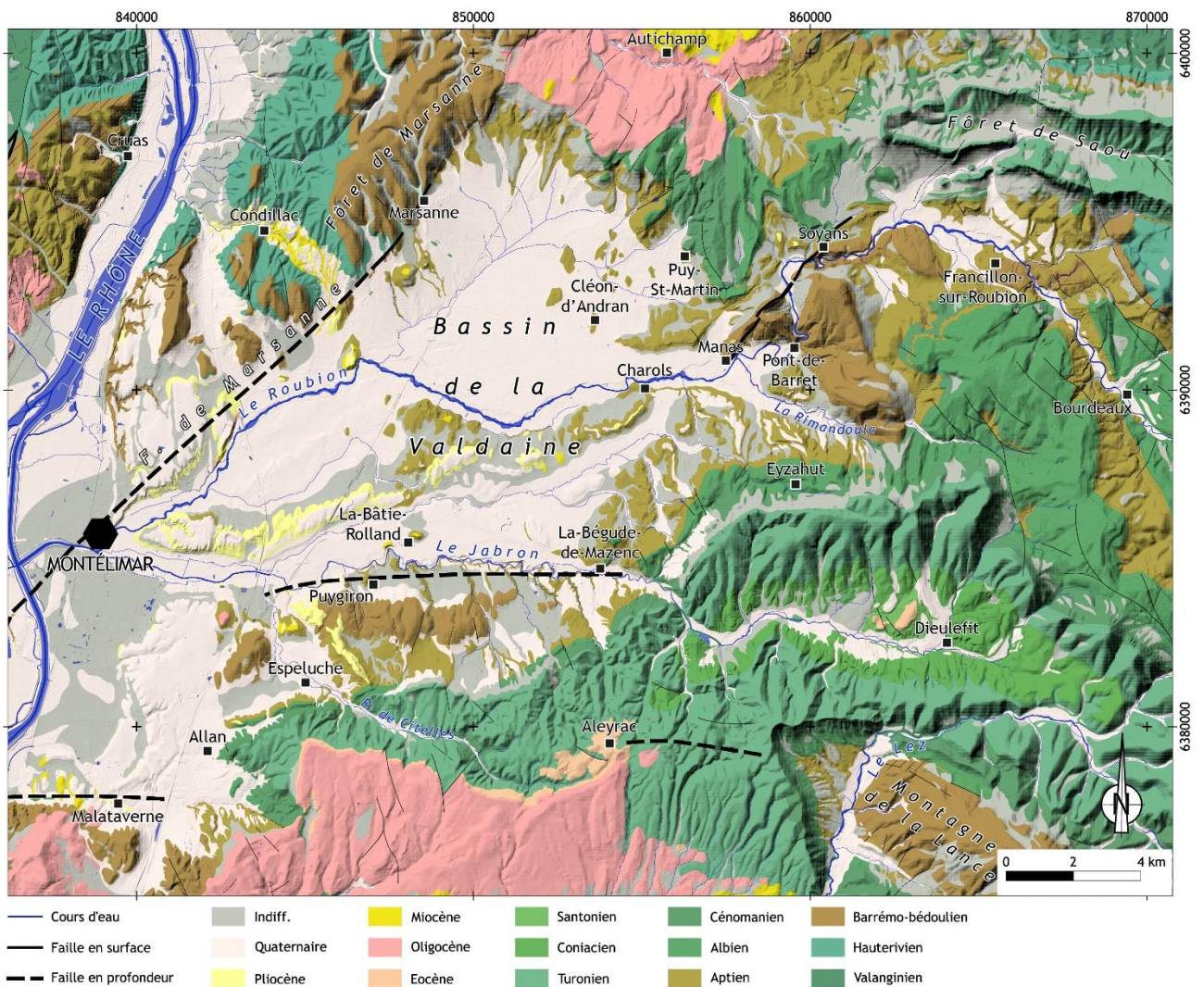


Figure 2 : Carte géologique simplifiée d'après la carte géologique harmonisée, BRGM) du bassin de la Valdaine situé à l'est de Montélimar.

Cette section retrace succinctement les jalons du contexte géologique de la zone d'étude en les replaçant dans le cadre géodynamique régional. Sont présentés ici les événements géologiques jouant un rôle dans la géométrie et le faciès de l'intervalle carbonaté du Barrémo-Bédoulien et/ou dans son altération post-dépôt qui concourent à la formation du réservoir karstique.

3.2. Dépôts des carbonates du Barrémo-Bédoulien et des couvertures mésozoïques

Le bassin de la Valdaine se localise au nord du bassin du Sud-Est, plus précisément dans la « zone vocontienne » (Baudrimont & Dubois, 1977). Le bassin vocontien correspond à un diverticule de la mer subalpine profonde orienté globalement E-O, compris entre la plateforme du Vercors au nord, la plateforme ardéchoise (« Bas-Vivarais ») au sud et l'ensellement rhodanien à l'ouest (Ferry & Flandrin, 1979) (Figure 3). Ce bassin est le seul domaine profond qui persiste au cours du Barrémo-Bédoulien (Aptien inférieur) (Baudrimont & Dubois, 1977). Il est le lieu de dépôts marins profonds dans lesquels s'intercalent des lobes turbiditiques provenant du démantèlement gravitaire des plateformes carbonatées alentours (Figure 3).

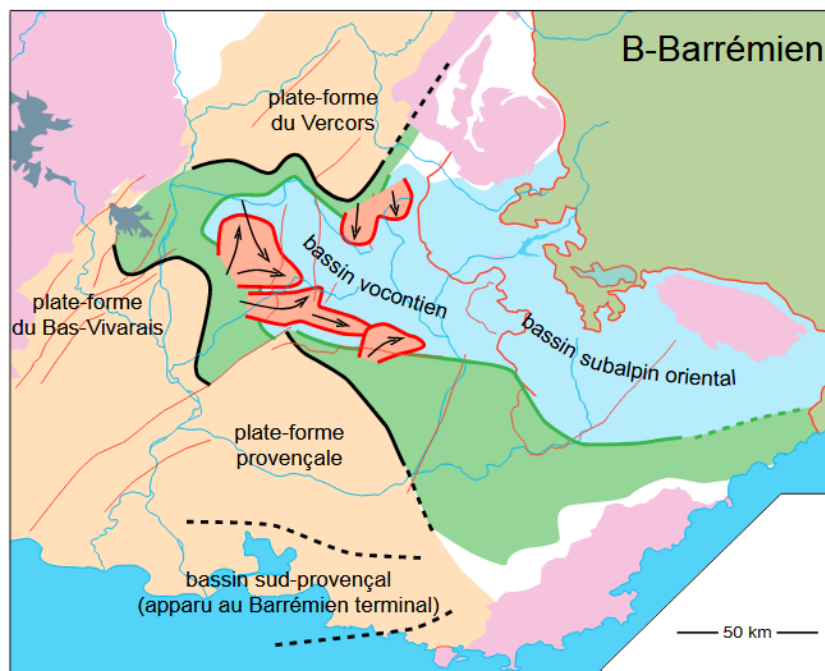


Figure 3 : Paléogéographie du bassin du Sud-Est au Barrémien (~ 125 - 121 Ma). En orange, faciès urgoniens (extension maximale) ; en vert, marno-calcaires de talus ; en bleu, marno-calcaires de bassin ; en rouge, lobes turbiditiques de calcarénites avec sens des apports (d'après (Ferry & Grosheny, 2013)).

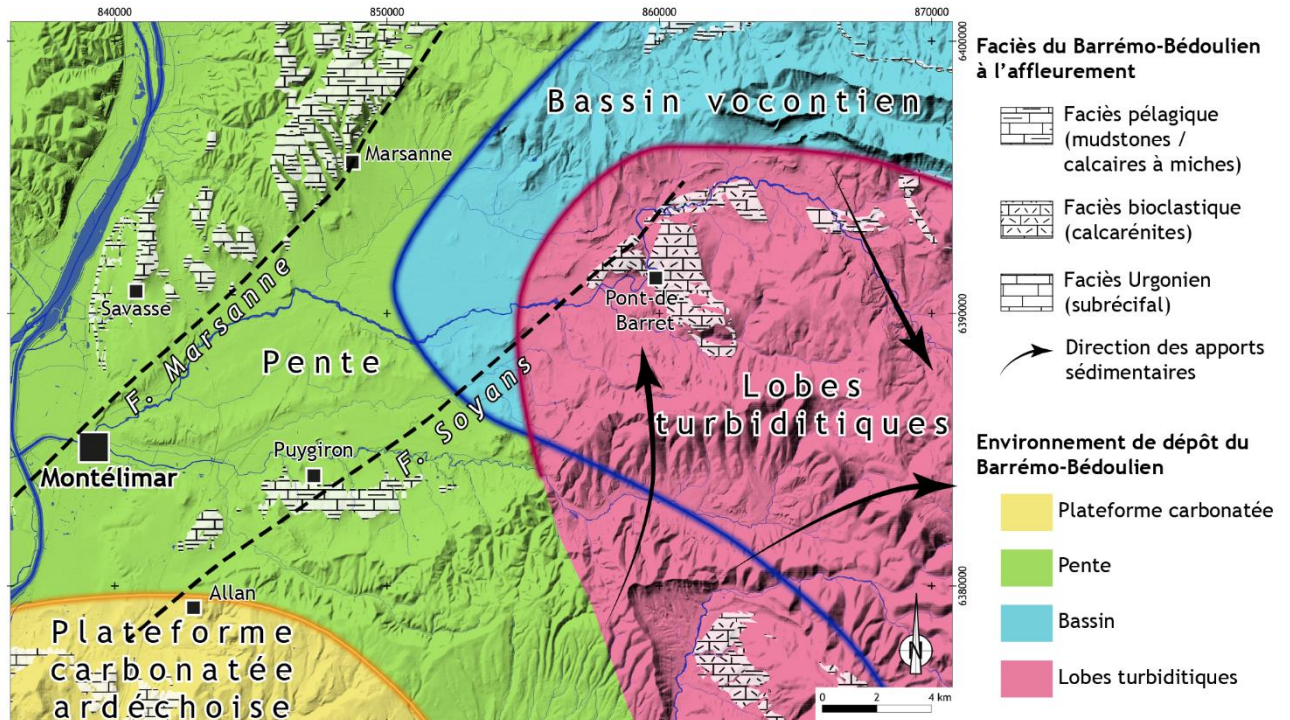
Dans le secteur d'étude la sédimentation est marquée par le passage latéral d'un domaine de plateforme carbonatée (faciès urgonien) à un domaine de bassin profond vers l'est (Figure 4). Les passages latéraux de faciès et les variations d'épaisseur sont en partie guidés par la réactivation des failles de socles NE-SO de Marsanne et de Soyans héritées de la phase de rifting de la Téthys (Jurassique) et même vraisemblablement du paléozoïque (Ferry et al., 2023; Ferry, 2017).

Ainsi la série carbonatée du Barrémo-Bédoulien comprend trois faciès distincts :

- Faciès « pélagique » : calcaire en gros bancs finement grenus, chailles et silex (d'après la carte géol de Montélimar (Lorenchet de Montjamont et al., 1971) mudstones / calcaires à miches
- Faciès « bioclastiques » ou calcaires à débris ou calcarénites (Lorenchet de Montjamont et al., 1971) : packstones à wackestone évoluant parfois en grainstone, présence de silicifications. Il s'agit de corps lenticulaires issus du remaniement gravitaire des plateformes carbonatées alentours qui atterrissent dans le fond du bassin vocontien (lobes turbiditiques) et s'interstratifient avec les vases pélagiques (Ferry, 1978). La profondeur du bassin vocontien à cette période est estimée à environ 1000 m (Ferry, 1978), avec la zone la plus profonde en direction de la mer alpine vers l'est.

- Faciès subrécifal (« Urgonien ») : calcaires massifs très purs à rudistes, polypiers, etc. Ce faciès n'est pas présent dans la zone d'étude.

À l'affleurement les calcaires à faciès pélagique se trouvent dans la forêt de Marsanne au nord et forment le relief au sud de Puygiron (Figure 4). Le faciès bioclastique (calcarénite) forme les montagnes de Ste Euphémie et d'Eson à Pont-de-Barret, ainsi que la Serre de Bresse à Rochebaudin et se retrouve dans la vallée du Roubion jusqu'à Francillon-sur-Roubion. Le faciès urgonien est présent au sud, en dehors de la zone d'étude, au niveau de Viviers et Malataverne.



modifié d'après Ferry & Grosheny, 2013 et Ferry et al., 2023

Figure 4 : Environnements de dépôts des carbonates lors de l'extension maximale de la plateforme carbonatée du Barrémo-Bédoulien (modifié d'après Ferry & Grosheny, 2013) dans le secteur d'étude.

Au cours de l'Aptien-Albien, la série carbonatée du Barrémo-Bédoulien est envoyée et recouverte par les marnes bleues. Ces marnes se déposent malgré l'épisode de bombement de l'Isthme Durancien responsable de mouvements verticaux à cette époque (Baudrimont & Dubois, 1977).

Le bassin vocontien se ferme progressivement au cours du Crétacé supérieur (Cénomaniens-Turonien) au cours d'une succession de transgressions et régressions rapides probablement causées par des phases de compressions / relaxations initiant des structures plicatives E-O (Ferry, 1999). Dans le secteur d'étude, les dépôts gréseux du Coniacien terminent le comblement du bassin vocontien où la sédimentation ne reprendra qu'à l'Oligocène (dépôts continentaux) suite à une longue phase d'émersion (Ferry & Grosheny, 2013).

3.3. Évolution post-dépôts des carbonates barrémo-bédouliens

Suite à leur dépôt les carbonates du Barrémo-Bédoulien sont affectés par plusieurs événements géodynamiques :

- la compression pyrénéenne N-S décolle et plisse la couverture mésozoïque selon des axes E-O. Les failles héritées jouent en décrochement senestre, c'est notamment le cas de la faille de Marsanne (Thomasset et al., 2024). Des mouvements tectoniques précoces d'origine pyrénéenne sont enregistrés dès la période Cénomaniens-Turonien. (Ferry, 1999) Toutefois, le paroxysme de la déformation pyrénéenne est attribué à l'Éocène avec un raccourcissement horizontal total de la couverture mésozoïque estimé à 20 - 25 km dans le bassin de Valréas (Ferry, 1999).
- le rifting du Golfe du Lion provoque une phase d'extension ESE-ONO à l'Oligocène dans le bassin du Sud-Est (Séranne, 1999). Dans la zone d'étude, les failles de socles héritées jouent légèrement en faille normale, le maximum de déplacements étant accommodé par une structure plus au nord (faille d'Alba) (Thomasset et al., 2024). Les bassins de Valréas au sud et de Valence au nord enregistrent des dépôts continentaux du Priabonien et de l'Oligocène. Sur le plateau de Montjoyer, directement au sud de la zone d'étude, des dépôts continentaux notés e7-g1 reposent en discordance sur le Turonien (Aleyrac) (Lorenchet de Montjamont et al., 1971) et son décrit comme des cailloutis à silex abondants, des marnes rouges et des sables, le tout azoïque et sans influence saumâtre.
- la transgression marine au Burdigalien conduit au dépôt de sédiments marins dans un paysage déjà différenciés (complements de vallées) dans le sillon rhodanien (Besson, 2005) et probablement dans la plaine de la Valdaine, comme en témoigne quelques affleurements parcellaires vers St-Gervais-sur-Roubion.
- la compression alpine induit l'inversion des failles préexistantes sous l'influence d'un régime compressif orienté E-O, au cours du Miocène supérieur. Le chevauchement frontal du Vercors et de l'anticlinal de la Lance déforme les sédiments marins miocènes de part et d'autres de la zone d'étude vers Crest au nord (Chenevoy et al., 1977) et dans le bassin de Valréas au sud (Debelmas, 2004). On peut s'attendre à retrouver cette structure dans le secteur est du bassin de la Valdaine.
- la crise de salinité du messinienne (5,6 Ma) correspond à l'assèchement de la mer Méditerranée pendant lequel le niveau de base chute de 1500 m dans le bassin occidental méditerranéen (Clauzon, 1982; Hsü et al., 1973; Lofi, 2002). Cet événement d'érosion extrême provoque l'incision d'un grand canyon dans la vallée du Rhône (Clauzon, 1982). Des récentes études montrent que ce canyon atteint et dépasse le mur des calcaires barrémo-bédoulien à faciès Urgonien au niveau du seuil de Malataverne atteignant vraisemblablement une cote de -200 m NGF (Camus, 2003 ; Do Couto et al., 2024), ce qui représente une incision de l'ordre de 350 m. Cet épisode déchausse les massifs calcaires et est responsable de l'approfondissement des karsts dans le bassin méditerranéen (Audra et al., 2004).

- la remise en eau brutale du bassin méditerranéen au Pliocène conduit à l'envasement en ria de la surface d'érosion messinienne (SEM). Le paléo-canyon du Rhône est inondé au-delà de Lyon (Dromart et al. Suc & Rubino, 2024). La formation de cette « Ria Pliocène » engendre une dynamique de sédimentation deltaïque s'exprimant par la mise en place d'un « Gilbert-delta » dans l'espace inscrit dans la surface d'érosion messinienne (Clauzon, 1996; Clauzon et al., 1990) (Figure 16, gauche). Ce Gilbert-delta a entamé le comblement de la Ria Pliocène encore en eau, vers 4.5 Ma en amont de Lyon et l'a achevé au droit d'Avignon à 2 Ma. Ce comblement bouche les exutoires des systèmes karstiques mis en place au Messinien et autorise la création de grands aquifères karstiques profonds et captifs (Audra et al., 2004).

L'ensemble de ces événements géodynamiques conduit à la déformation, le recouvrement et l'altération des calcaires du Barrémo-Bédoulien et concoure à la structuration du réservoir karstique.

4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

4.1. Inventaire des formations aquifères du secteur

Le bassin de la Valdaine est composé d'un vaste domaine sédimentaire qui regroupe plusieurs unités aquifères. Le potentiel aquifère est défini à partir de la nature lithologique des formations géologiques identifiées à l'affleurement ou en profondeur mais également de leur état de fracturation et/ou de karstification (pour les roches carbonatées). Ce potentiel est présenté dans le tableau en page suivante.

Les formations quaternaires présentent également un intérêt hydrogéologique malgré leur faible épaisseur. Ces formations n'ont pas été ciblées pour la recherche d'eau car la nappe est déjà largement exploitée et elle présente une qualité dégradée par les pesticides et nitrates. Latéralement aux alluvions des basses plaines du Roubion et du Jabron, les terrasses anciennes, perchées, n'ont qu'un très faible intérêt hydrogéologique. Les glacis, éboulis de pentes et colluvions sont peu épais avec des circulations diffuses fortement drainées par la pente.

Les calcaires du Turonien sont peu représentés sur le territoire du syndicat. Il faut noter que cette unité géologique a été exploré sur la commune de le Touche par 3 sondages de reconnaissance de 51 à 150 m de profondeur. Ils se sont avérés secs ou peu productif (1 m³/h).

Les calcaires Barrémo-bédouliens sont fissurés et localement karstifiés. Ils affleurent sur le pourtour du bassin. Leur faciès (porosité) et leur état de fissuration et de karstification (lié à leur histoire géologique) en font un aquifère important et intéressant (en termes de productivité).

Le potentiel aquifère des formations calcaires barrémo-bédouliens sera fonction :

- du degré de fracturation et/ou de karstification :
 - de la zone noyée (présence ou non d'un réseau de fractures ou de drains karstiques bien développés) ;
 - de la zone d'infiltration qui détermine la recharge de l'hydrosystème (présence ou non de drains verticaux qui assurent la connexion avec la zone noyée sous-jacente).
- de la puissance de la zone noyée qui détermine les réserves disponibles du système. Pour rappel, ces calcaires barrémo-bédouliens présentent une épaisseur relativement importante dans les secteurs de l'anticlinal de Puygiron au sud et de Manas/Pont-de-Barret/Soyans à l'est.

Les calcaires du Barrémo-Bédoulien reposent sur les formations marneuses relativement imperméables de l'Hauterivien. Cette limite étanche permet de retenir les eaux infiltrées, produisant ainsi une zone noyée dans la partie inférieure de l'aquifère calcaire.

Au droit de la plaine de la Valdaine, cet aquifère est recouvert par les formations marneuses relativement imperméables de l'Aptien, rendant l'aquifère captif.

Age	Lithologie	Epaisseur	Potentiel aquifère	Type de porosité	Affleurement
Quaternaire	Alluvions fluviatiles et torrentielles ; Colluvions		AQUIFERE	Poreux	Sur la plaine de la Valdaine
Pliocène	Argiles sableuses	>à 240 m	Non aquifère en grand (peu perméable)	/	Sur une ligne Montboucher - Sud de St Gervais - Manas
Turonien	Grès, calcaires spathiques, calcaires crayeux à silex	100 à 200 m	AQUIFERE	Fissures/fractures à karstique	Au sud de la plaine de la Valdaine, formant d'imposants escarpements à Eyzahut et Souspierre.
Cénomanién	Alternance de marno-calcaires et de marnes gréseuses	De l'ordre de 150 m	Non aquifère (peu perméable)	/	Au nord-est de la plaine de la Valdaine au niveau des reliefs au Nord-Est de Puy-Saint-Martin et au sud-est de la plaine, à Souspierre.
Aptien et Albien	Marnes bleues, marnes sableuses à bancs de grès roux. Faciès à dominante gréseuse intercalé par des niveaux marneux sableux	De l'ordre de 300 à 400 m	Non aquifère en grand Les niveaux gréseux sont aquifères mais avec une faible perméabilité	/ Poreux	A la base des reliefs autour de la plaine de la Valdaine et au niveau de la Laupie et de la Bâtie-Rolland pour les bancs durs formant des buttes topographiques.
Barrémien Bédoulien	Calcaires présentant 2 faciès : - Bioclastique, calcaires à débris (Pont-de-Barret) - Pélagique, calcaires à grains fins (massif de Marsanne, plateau de Savasse et au niveau de l'anticlinal de Puygiron)	De l'ordre de 200 m Très variable (18 m à Marsanne, 158 m à Savasse)	AQUIFERE	Fissures/fractures à karstique	En périphérie de la plaine de la Valdaine, avec le massif de Marsanne au nord, le relief de l'anticlinal du Puygiron au sud et les reliefs sur la bordure est dans le secteur de Manas - Pont de Barret - Soyans.
Hauterivién	Alternance de bancs décimétriques de calcaires marneux et de marnes	735 à 1023 m au niveau de Marsanne et de Savasse (sondages pétroliers)	Non aquifère (peu perméable)	/	Au nord-ouest de la plaine de la Valdaine et constituent l'essentiel du massif de Marsanne et une partie du plateau de Savasse.

Tableau 1 : Potentiel aquifère des formations géologiques identifiées au droit du territoire du syndicat

4.2. Caractéristiques de l'aquifère barrémo-bédoulien

4.2.1. Inventaire des points d'eau

➤ Sources

Généralement, les sources qui jaillissent des calcaires barrémo-bédouliens présentent des débits faibles à moyens, liés à des circulations superficielles avec des temps de transit très courts et provenant majoritairement d'infiltrations dans les bassins versants topographiques situés immédiatement à l'amont.

Dans le secteur Manas/Pont-de-Barret/Soyans, les sources présentent un faible débit et sont souvent intermittentes. Il s'agit de sources superficielles, issues de l'épikarst. Il a également été identifié une source d'eau minérale sur la commune de Pont-de-Barret, proche du Roubion, qui était embouteillée jusqu'en 1936. Mais elle présente aussi un faible débit (0,2 l/s) et une origine peu profonde compte-tenu de sa faible température. Aussi, un écoulement d'eau souterraine a été observé au point le plus bas du réseau de la grotte de Baume Claire. Les spéléologues ont mesuré un débit d'étiage d'environ 1.5 L/s.

Dans le secteur de Marsanne, les sources Babouin et d'Ayguebrouille, captées pour l'AEP, émergent au contact des marnes imperméables sous-jacentes. Elles présentent des débits légèrement plus élevés (5 à 10 l/s) témoignant d'un bassin d'alimentation plus étendu.

Les seules émergences présentant des débits importants et une origine karstique profonde sont la source du Meyrol localisée au nord de Montélimar et la source de Fontaine bleue localisée au sud, sur la commune de Châteauneuf-du-Rhône. Il existe très peu d'informations sur ces sources. La seule donnée de débit existante est de 100 l/s mesuré à l'étiage pour la source de Meyrol.

Les principales sources sont présentées dans le tableau suivant et localisées sur la figure 5.

N°	Commune	Sources	N° BSS	Altitude (m NGF)	Débit mesuré	Débit autorisé pour l'AEP
A	Pont-de-Barret	Source « La Souveraine »	BSS002ATKK	≈ 250	0,2 l/s	Captée pour embouteillage
B	Pont-de-Barret	Écoulement souterrain dans réseau Baume-Claire		≈ 240	Débit d'étiage : 1,5 l/s	
C	Marsanne	Source d'Ayguebrouille	BSS002ATHA	≈ 275	Débit d'étiage : 4 l/s	20 m ³ /h 480 m ³ /j
D	Marsanne	Source de Babouin	BSS001ZXHH	≈ 290	3,5 l/s en étiage 10 l/s en moyenne >130 m ³ /h en crue	36 m ³ /h 864 m ³ /j
E	Montboucher-sur-Jabron	Source du Meyrol	BSS002ASXJ	≈ 75	100 l/s en étiage (DIREN Rhône-Alpes, 2001 d'après CNR)	Non captée
F	Châteauneuf-du-Rhône	Source de Fontaine Bleue	BSS002ATYY	≈ 75	-	Non captée

Tableau 2 : Inventaire des sources principales identifiées dans la zone d'étude

➤ Forages

A partir des documents recueillis et des données de la banque du sous-sol (BSS) du BRGM, un recensement des forages traversant les calcaires barrémo-bédouliens a été réalisé (voir tableau 3 et figure 5).

Malgré le potentiel aquifère important des calcaires barrémo-bédoulien, il existe très peu d'ouvrages qui captent cette nappe, du fait de sa profondeur importante au droit de la plaine et de la complexité du milieu (hétérogène et discontinu) qui augmente le risque d'échec.

Dans le secteur Soyans/Pont-de-Barret/Manas, les forages ont révélé de nombreuses cavités karstiques ou fractures ouvertes mais ils sont tous peu voire non productifs.

Dans la zone de l'anticlinal de Puygiron, des indices de karstification existent et la productivité des ouvrages est nettement supérieure à celle du secteur amont. En effet, les forages pour l'AEP (La Vesque et Piérougier) sont exploités à des débits de 30 à 50 m³/h.

Et c'est dans les secteurs de Montélimar et de Malataverne, proche du Rhône, que les forages produisent des débits les plus élevés, de 80 à 120 m³/h, exploités pour l'AEP (Juston et Buisnières).

4.2.2. Écoulement des eaux souterraines dans les calcaires barrémo-bédouliens

➤ Sens d'écoulement

D'une manière générale, les structures géologiques susceptibles de drainer les écoulements d'eau souterraine sont :

- Les flancs ou retombées des plis anticlinaux ;
- Les gouttières synclinales ;
- Les plans de failles (non colmatées).

Les structures géologiques présentes sur le bassin de la Valdaine (failles majeures et structurantes comme celle de Soyans et de Manas) et identifiées par les reconnaissances géophysiques (voir rapport de phase 1) compartimentent le bassin de la Valdaine en plusieurs unités géologiques. Ce compartimentage va jouer un rôle essentiel dans la circulation des eaux souterraines, depuis les zones de recharge amont jusqu'au niveau de base aval (le Rhône). Ce cloisonnement géologique et structural joue probablement un rôle important dans les écoulements karstiques au sein des calcaires du Barrémo-Bédoulien.

Sur les documents consultés, des données piézométriques sont fournies sur les points d'eau inventoriés. Elles sont reportées sur la figure 5.

Malgré des dates de mesures différentes, ces données de niveau d'eau permettent d'identifier un sens d'écoulement supposé de la nappe des calcaires barrémo-bédouliens selon la direction NNE-SSO.

Sur la partie amont, dans le secteur Manas/Pont-de-Barret/Soyans, une anomalie hydraulique est identifiée avec des niveaux piézométriques élevées dans le secteur de Soyans (autour de 230 m NGF) et un niveau d'eau mesuré sur le forage de Manas beaucoup plus bas (92,5 m NGF). Ce décalage piézométrique serait lié à la faille de Manas. En effet, le forage de Manas se trouve dans le compartiment soulevé entre deux failles (fig 36, p51) ;. La continuité de la nappe dans ce secteur pourrait être assurée par des écoulements sub-verticaux sur le plan de faille.

N°	Commune	Ouvrage	Code BSS	Usage / Débit d'exploitation	Prof. (m/sol)	Prof. des calcaires (m/sol)	Niveau statique
1	SOYANS	Forage F1 - Colombiers	BSS002ATLC	Surveillance (ADES)	75	0-69	de 206,47 m NGF (10/2023) à 222 m NGF (11/2014)
2	MANAS	Forage de Manas		Reconnaissance	171	0-171	133,80 m/TN, 92 m NGF (08/99)
3	PONT-DE-BARRET	Forage Piolet ou de la Ferme de Briesse			175	0-175	sec
4	FELINES	Forage Planel ou des Buis					203 m NGF
5	PONT-DE-BARRET	Forage Rivasi amont			100	0-100	sec
6	PONT-DE-BARRET	Forage Rivasi aval			300	0-300	sec
7	SOYANS	Forage S2Ter			100	0-85	228 m NGF
8	PONT-DE-BARRET	Forage Sabran			150	0-150	sec
9	ESPELUCHE	Forage de Pierougier	BSS002AUGA BSS002AUFU	AEP 50 m ³ /h	235	0-238	91,96 m/tubage (03/2007) ≈ 65 m NGF
10	MONTBOUCHER SUR JABRON	Forage de la Vesque	BSS002AUFK	AEP 30 m ³ /h	100	82-100	de 75,50 m NGF à 63,50 m NGF (période de 2001 à 2009)
11	MONTBOUCHER SUR JABRON	Forage La Berguière		Arrosage jardins 4 à 5 m ³ /h		66-97	80,67 m NGF (12/2019)
12	TOUCHE	Quartier de Bois Naiza	BSS004CJFG	Surveillance	350	28-350	/
13	PUYGIRON	PZ1 - Les grandes carrières		Surveillance (carrière)	151	0-151	130,98 m NGF (11/2018)
14	PUYGIRON	PZ2 - Les grandes carrières		Surveillance (carrière)	90	16,7-90	90,45 m NGF (09/2015)
15	PUYGIRON	PZ3 - Les grandes carrières	BSS004CHZT	Surveillance (carrière)	156		/
16	PUYGIRON	PZ4 - Les grandes carrières		Surveillance (carrière)	110	0-110	101,24 m NGF
17	SAVASSE	Forage de Juston	BSS002ASDR	AEP 120 m ³ /h	97	36-97	69,5 m NGF (06/2009)
18	MONTELMAR	Forage du Garage Renault			50	40-50	69,4 m NGF (06/2009)
19	MONTELMAR	DSA1 - Sondage pétrolier	BSS002ASEZ	Recherche hydrocarbures	2084	0-158	/
20	MALATAVERNE	Forage des Buissières	BSS002ATYV	AEP 80 m ³ /h	160	0-150	62 m NGF (08/1993)
21	MALATAVERNE	Forage de Colombier	BSS003DWW K	Domestique 10 m ³ /h	172	33-172	56,5 m NGF (04/2017)
22	MALATAVERNE	Forage de Bel air	BSS002ATZF	Domestique 1 m ³ /h	186	5-186	60 m NGF (06/2009)

Tableau 3 : Inventaire des forages traversant les calcaires barrémo-bédouliens

Il faut souligner l'absence de niveau d'eau mesuré sur les forages réalisés sur le massif de la Montagne de Briesse qui pourrait s'expliquer par une profondeur d'investigation trop faible pour atteindre la zone noyée des calcaires.

Sur la partie aval, les niveaux piézométriques sont proches du niveau du Rhône (de 70 m NGF au nord à 59 m NGF au sud de Montélimar, à l'étiage) qui correspond alors au niveau de base de l'aquifère des calcaires barrémo-bédouliens.

➤ **Vitesses d'écoulement et caractéristiques hydrodynamiques**

A partir des résultats de traçages hydrogéologiques, des informations sur les vitesses d'écoulement peuvent être obtenues localement.

Dans le secteur de l'anticlinal de Puygiron, plusieurs traçages ont été réalisés en 2004/2005 dans le cadre de la protection du forage AEP de la Vesque. Les résultats de ces traçages ont permis de démontrer un axe de circulation des eaux souterraines depuis la carrière Estropy qui exploite les calcaires barrémo-bédouliens, aux forages de la Vesque et de la Berguière.

Les vitesses apparentes obtenues par ce traçage ont été :

- 50 m/h entre la carrière et le forage de la Berguière, typique d'une circulation de type karstique,
- 13 m/h entre la carrière et le forage de La Vesque, indiquant un écoulement dans un milieu fracturé peu ou pas karstifié.

Aussi, au nord de Montélimar, un traçage a été réalisé en 1999, pour identifier l'origine des eaux du forage de Juston. L'injection de traceur a été effectuée sur la bordure calcaire à l'Est. La vitesse apparente obtenue est de 1,7 m/h, indiquant une circulation lente du traceur, probablement par le biais d'un réseau de fractures.

D'après le bureau d'études Horizons, le forage capterait deux types de circulation d'eau dans les calcaires :

- une circulation peu profonde empruntant la fracturation de surface ;
- une circulation profonde par le biais de drains karstiques, alimentés par des apports d'eau plus éloignés.

Par ailleurs, des essais de pompage réalisés sur les forages AEP permettent d'avoir des données sur les caractéristiques hydrodynamiques locales des calcaires. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

Ouvrage	Description de l'essai	Valeurs de transmissivité
Forage de Piérougier	Débit de pompage : 58 m ³ /h Durée : 60h Rabatement : ≈21,5 m	2,94.10 ⁻⁴ m ² /s
Forage Juston (n° 17)	?	4.10 ⁻³ à 1.10 ⁻¹ m ² /s
Forage des Buissières	Débit de pompage : 13 m ³ /h Durée : 13 jrs Rabatement : 0,4 m	2,7.10 ⁻³ m ² /s

Ces transmissivités illustrent l'hétérogénéité de l'aquifère. Elles sont assez faibles dans les secteurs où il est plutôt de type fissuré (Forage Piérougier) et moyennes à fortes sur les forages ayant recoupé des calcaires plus karstifiés.

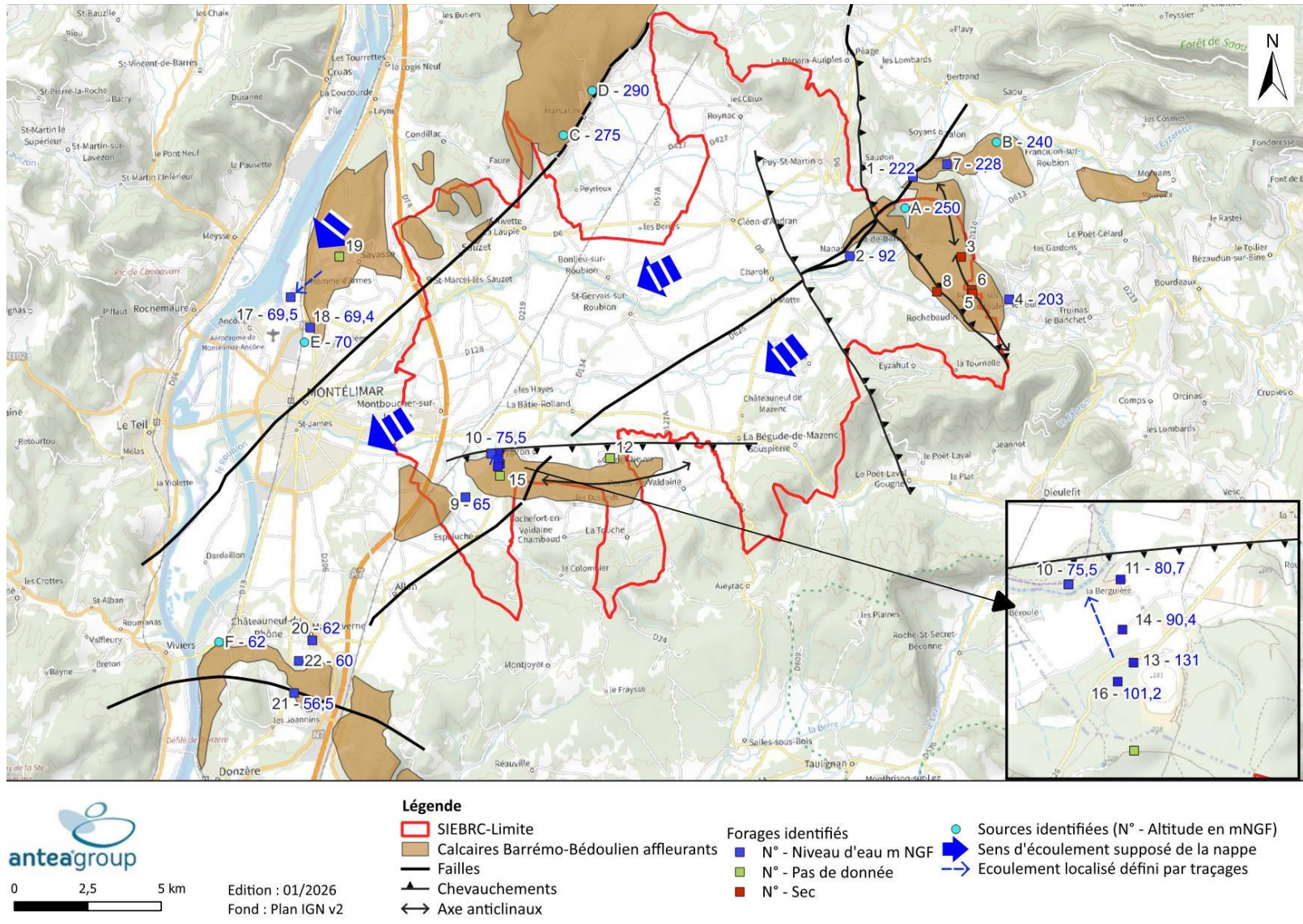


Figure 5 : Sens d'écoulement supposé de la nappe des calcaires à partir des mesures piézométriques sur les points d'eau identifiés (schéma structural CENOTE 2025, dans ce rapport)

4.2.3. Conditions d'alimentation et de vidange de l'aquifère

➤ Recharge de l'aquifère

La nappe des calcaires est alimentée par trois types de recharge :

- La pluie efficace ;
- Les pertes des ruisseaux ;
- Le drainage des alluvions des principaux cours d'eau.

○ La pluie efficace ;

La recharge principale de l'aquifère des calcaires se fait par l'infiltration diffuse des eaux de précipitation sur trois zones d'affleurement :

- forêt de Marsanne (environ 30 km²),
- massif de Pont de Barret (environ 16 km²)
- anticlinal de Puygiron (environ 8 km²).

Avec une lame d'eau infiltrée moyenne d'environ 200 mm, cela correspondrait à une recharge de l'ordre de 10 Mm³ par an (BRLi & Hydrofisis, 2025).

○ Les pertes du Roubion et du Jabron

La plaine de la Valdaine est principalement drainée par les cours d'eau du Roubion et du Jabron (Figure 2). Ces cours d'eau sont caractérisés par des crues importantes et des étiages sévères avec des assècs observés de manière récurrente.

Dans sa partie amont, le Roubion présente plusieurs zones de pertes, parfois totales, dans les tronçons où il traverse les calcaires Barrémo-Bédoulien entre Francillon-sur-Roubion et Pont de Barret.



Figure 6 : Assèc du Roubion à Pont-de-Barret, lors de notre visite en août 2025.

- La nappe alluviale

Plusieurs études ont montré l'existence d'un phénomène de drainance de la nappe des alluvions du Rhône vers les calcaires barrémo-bédouliens sous-jacents. En effet, les courbes piézométriques de la nappe alluviale montrent deux dépressions au sud de Montélimar et au niveau de Viviers, qui indiquent un drainage des eaux de la nappe alluviale par les calcaires.

A l'inverse, au nord de Montélimar, au niveau du forage de Juston, les calcaires sont en charge et alimenteraient la nappe des alluvions.

Cependant, il s'avère compliqué d'estimer les volumes d'eau transités entre ces deux aquifères.

4.2.4. Exutoires de la nappe

Il existe plusieurs exutoires naturels de l'aquifère du Barrémo-Bédoulien (BRLi & Hydrofis, 2025) :

- les sources permanentes de débordements à Marsanne, qui présentent des débits très faibles par rapport aux capacités de recharge de l'aquifère, de l'ordre de 2 à 10 L/s,
- la source Meyrol à Montélimar qui atteint un débit d'étiage estimé à 100 L/s,
- des retours masqués aux alluvions du Rhône, à titre d'hypothèse.

Les exutoires de la nappe correspondent aussi aux pompages réalisés dans cet aquifère. Sur la zone étudiée, ils sont restreints et principalement destinés à la production d'eau potable.

A partir des données de la BNPE de 2020 à 2022, les volumes moyens annuels prélevés dans la nappe à partir des forages AEP sont présentés dans le tableau suivant :

Ouvrage	Forage de la Vesque	Forage du Pierougier	Forage de Juston	Forage des Buissières
Volume prélevé moyen (m³/an)	49 100	150 630	356 550	198 600

Ainsi, il peut être estimé un volume total prélevé dans la nappe des calcaires de 754 880 m³/an.

Dans l'ensemble le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère des calcaires Barrémo-bédoulien reste peu étudié et mal compris. En particulier concernant la localisation des exutoires et les modalités de circulation de l'eau souterraine dans le secteur sous couverture de la plaine de la Valdaine.

La figure suivante présente une carte de synthèse comprenant les principales informations permettant de décrire le fonctionnement actuel de l'aquifère des calcaires du Barrémo-bédoulien.

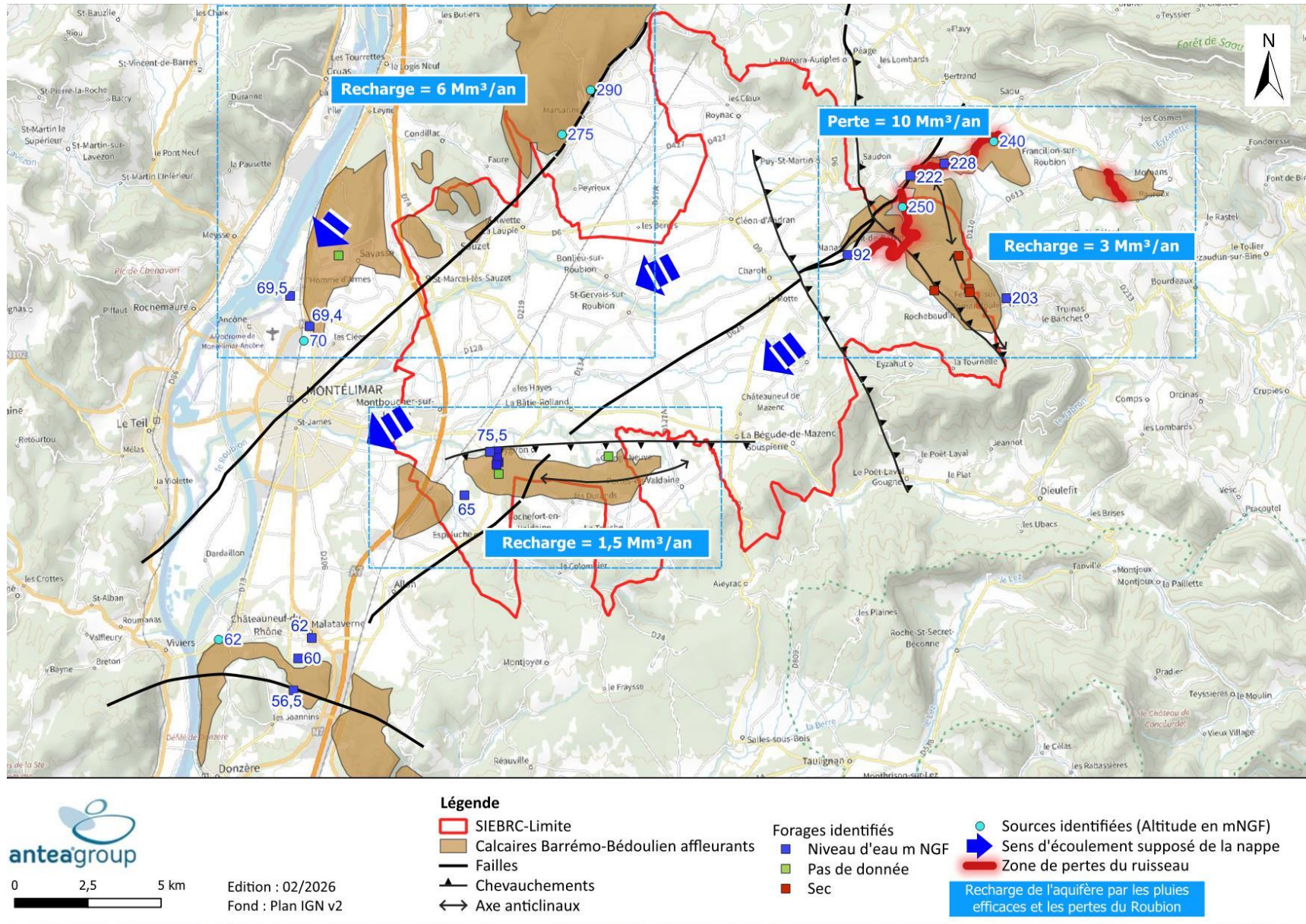


Figure 8 : Carte de synthèse présentant le fonctionnement hydrogéologique supposé de l'aquifère des calcaires du Barrême-bédoulien (schéma structural CENOTE 2025, dans ce rapport)

4.2.5. Qualité des eaux souterraines

L'analyse des caractéristiques chimiques des eaux de 4 forages AEP captant la nappe des calcaires barrémo-bédouliens permet d'apporter des informations sur l'origine des eaux captées.

Les données de qualité ont été récupérées sur le portail d'ADES et les valeurs moyennées des paramètres principaux sont présentées dans le tableau suivant.

Paramètre	Unité	Forage LAVESQUE	Forage de PIEROUGIER	Forage de JUSTON	Forage des BUISSIÈRES
Période de mesures		1988/2024	2009/2025	1994/2024	1998/2024
Conductivité à 25 °C	µS/cm	567	756	524	626
Oxygène dissous	mg/l	7,1	3,2	6,0	8,2
Calcium	mg/l	110	115	88	126
Magnésium	mg/l	5,6	29,6	9,7	3,8
Sodium	mg/l	2,8	6,6	8,8	4,6
Potassium	mg/l	0,7	1,6	1,5	0,5
Sulfates	mg/l	30,7	45,6	35,8	20,2
Chlorures	mg/l	6,0	7,3	16,7	8,9
Hydrogéo-carbonate	mg/l	300	461	260	366
Nitrates	mg/l	10,8	0,7	10,3	6,7
Nitrites	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
Fluorures	mg/l	0,11	0,49	0,16	0,08
Ammonium	mg/l	0,0	0,015	0,0	0,0

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux prélevées dans les forages AEP

Les eaux du forage de Piérougier présentent une conductivité plus élevée. Les concentrations plus importantes en magnésium, sulfates et hydrogénocarbonates ainsi que la faible oxygénation de l'eau indiquent une **origine profonde des eaux avec un long temps de séjour**. Par ailleurs, la très faible teneur en nitrates révèle l'absence d'alimentation par les eaux de surface ou par des circulations peu profondes des eaux souterraines. D'après les comptes rendus des travaux réalisés sur ce forage (GEOPLUS 2002 et IDEES EAUX 2007), les arrivées d'eau importantes sont localisées entre 155 et 180 m de profondeur.

Sur les forages de Lavesque et de Juston, les teneurs élevées en nitrates et en chlorures démontrent que les **eaux captées sont contaminées par des activités anthropiques**. La nappe captée entre 77 et 87 m/TN pour Lavesque et entre 58 et 97 m/TN pour Juston, seraient donc alimentées par des eaux souterraines peu profondes et/ou des eaux de surface infiltrées sur des affleurements calcaires proches. Il faut souligner que des teneurs en magnésium et en potassium légèrement plus élevées **sur le forage de Juston qui montre un temps de séjour des eaux captées plus long dans l'aquifère**.

Les eaux du forage des Buissières présentent un **faciès chimique intermédiaire**. Elles sont plus minéralisées que celles des forages de Lavesque et de Juston, avec un faciès carbonaté plus marqué. Les concentrations en nitrates et en oxygène dissous indiquent l'existence **d'une relation avec des eaux plus superficielles** mais avec un impact moindre des activités anthropiques.

5. DIAGNOSTIC KARSTOLOGIQUE DU RÉSERVOIR BARRÉMO-BÉDOULIEN

5.1. Paléosurfaces à l'échelle de la plaine de la Valdaine et du Haut-Roubion

À l'échelle régionale, on observe des étendues aplanies qui forment des paléosurfaces perchées. Ces reliefs plans marquent des troncatures du réservoir carbonaté sous l'effet d'un paléo-niveau de base stabilisé pendant une période de temps importante. Ces paléosurfaces tronquent le réservoir par ablation des couvertures sus-jacentes et d'une partie des structures géologiques en position de relief (anticlinaux pyrénéen). L'analyse des recoupements et de la géométrie des paléosurfaces, ainsi que la caractérisation des formations qui les recouvrent permet de les positionner dans la chronologie de l'évolution du massif. Ces paléosurfaces renseignent sur :

- la position du niveau de base au cours du temps,
- l'organisation amont-aval des paléo-systèmes de drainages et leur fonctionnement.

Dans cette étude, on s'attachera à reconnaître la surface d'érosion messinienne et les paléosurfaces qui encadrent cet événement majeur, c'est-à-dire :

- les **paléosurfaces anté-messinienne**s, qui témoignent des conditions « initiales » d'altération et d'organisation du réservoir karstique,
- la **surface d'érosion messinienne**, qui marque le plus bas de niveau de base affectant le réservoir karstique,
- les **paléosurfaces post-messinienne**s :
 - la surface d'abandon pliocène qui marque la fin de l'aggradation du prisme pliocène et donc le dernier plus haut niveau de base,
 - les hautes-terrasses quaternaires, qui enregistrent l'initiation de l'incision du réseau hydrographique quaternaire.

Ceci dans le but de :

- reconstituer l'évolution du réservoir karstique contenus dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien,
- évaluer l'impact des variations du niveau de base sur l'organisation et le fonctionnement actuel du réservoir karstique.

5.1.1. Surfaces d'aplanissement post-pyrénéen et ante messiniennes

Les paléosurfaces post-pyrénéen et ante messinienne sont des aplanissements qui tronquent les structures géologiques (plis, failles) et affectent les calcaires du Barrémo-Bédoulien. Ces paléosurfaces sont associées à une intense altération de surface marqué par un front d'altération, des cryptodolines et des résidus d'altération en surface (argile à chailles).

Le relief au sud de Puygiron montre une surface plane à 300 m d'altitude tronque le réservoir barrémo-bédoulien en nivelant les structures pyrénéennes. Cette surface se poursuit vers l'ouest et forme le sommet de la colline de Notre-Dame-de-Monceau. Plus au sud, dans la vallée de Citelles les calcaires fortement pentés du Turonien sont aussi tronqués horizontalement à une altitude de 350 m environ. En rive gauche du ruisseau de Citelles, cette surface à 350 m correspond à la base des dépôts du Priabonien (Figure 9).

Cette disposition géométrique semble indiquer que l'aplanissement précède le dépôt des termes du Priabonien et / ou résulte de l'altération de cette couverture. Si tel est le cas cet aplanissement nivelle les structures plicatives du pyrénéen mais peut être déformé par les mouvements verticaux alpins plus récent. Cette surface témoignerait de l'extension d'un bassin d'alimentation des réservoirs du Crétacé supérieur et du Barrémo-Bédoulien, dans des conditions de drainage endoréique, dès le Priabonien - Oligocène (~35 - 23 Ma).



Figure 9 : Les calcaires du Barrémo-Bédoulien sur le relief au sud de Puygiron et les calcaires du Turonien sont tronqués horizontalement à 300 et 350 m, cette surface nivelle les structures pyrénéennes (plis, failles). Le plateau en arrière-plan correspond aux dépôts d'âge Priabonien et Oligocène. Dans la vallée de Citelles, les replats en contrebas correspondent à la surface d'abandon pliocène (SAP).

5.1.2. Surface d'érosion messinienne (SEM)

L'événement d'érosion extrême du messinien provoque l'incision d'un imposant canyon dans la vallée du Rhône, imagé sous la surface actuelle grâce aux profils de sismique réflexion (CDP Consulting, 2025; Do Couto et al., 2024; Thomasset et al., 2024).

Sur le terrain, les témoins de cet épisode érosif sont plus discrets et deviennent de plus en plus rares en s'enfonçant dans les amonts du paysage messinien. La reconstitution de cette surface est réalisée de manière indirecte par la cartographie de son recouvrement par les termes du Pliocène.

D'après l'interprétation des profils de sismique réflexion, l'incision messinienne ne semble pas atteindre le toit du réservoir calcaire du Barrémo-Bédoulien dans la plaine de la Valdaine, même en périphérie est de Montélimar (CDP Consulting, 2025). En effet, dans le secteur compris entre la Laupie, la Bâtie-Rolland et Charols les termes du Pliocène reposent en discordance sur les marnes noires de l'Aptien-albien.

Sur le terrain, on observe que la surface d'érosion messinienne recoupe les calcaires du Barrémo-Bédoulien :

- au nord-est de la zone d'étude : le canyon principal du Rhône se divise en 3 bras situés d'ouest en est, sous l'autoroute A7, sous Sauzet et sous Condillac (Figure 10). D'après les profils de sismiques réflexion, ces canyons seraient profonds d'environ 300 m sous la surface actuelle (CDP Consulting, 2025),
- au sud-est de la zone d'étude, dans le secteur de Piérougier : un talweg de la paléo-Citelles, affluent du Rhône, passe entre la colline de Piérougier et celle de Notre-Dame-de-Monceau (Figure 11). La profondeur de ce talweg n'est pas connue. On note que cette incision est visible sur la carte d'anomalie gravimétrique négative réalisée dans la littérature récente (Thomasset et al., 2024).

- dans le secteur de Pont-de-Barret, sur le relief directement au NE de Manas : un replat recouvert par des dépôts continentaux pliocènes d'après la carte géologique (Lorenchet de Montjamont et al., 1971) tronque le réservoir à une altitude de 300 m (Figure 12). Ce replat correspond à la superposition de la surface d'érosion messinienne et de la surface d'abandon pliocène (SAP), c'est le secteur amont du prisme sédimentaire pliocène.

La présence de Pliocène continental sur la surface d'érosion messinienne dans la plaine de la Valdaine montre que la vallée du Roubion étaient perchée pendant le messinien et que la majorité du drainage se produisait sous terre, dans le karst, comme c'est le cas dans la vallée de l'Hérault (Audra et al., 2004).

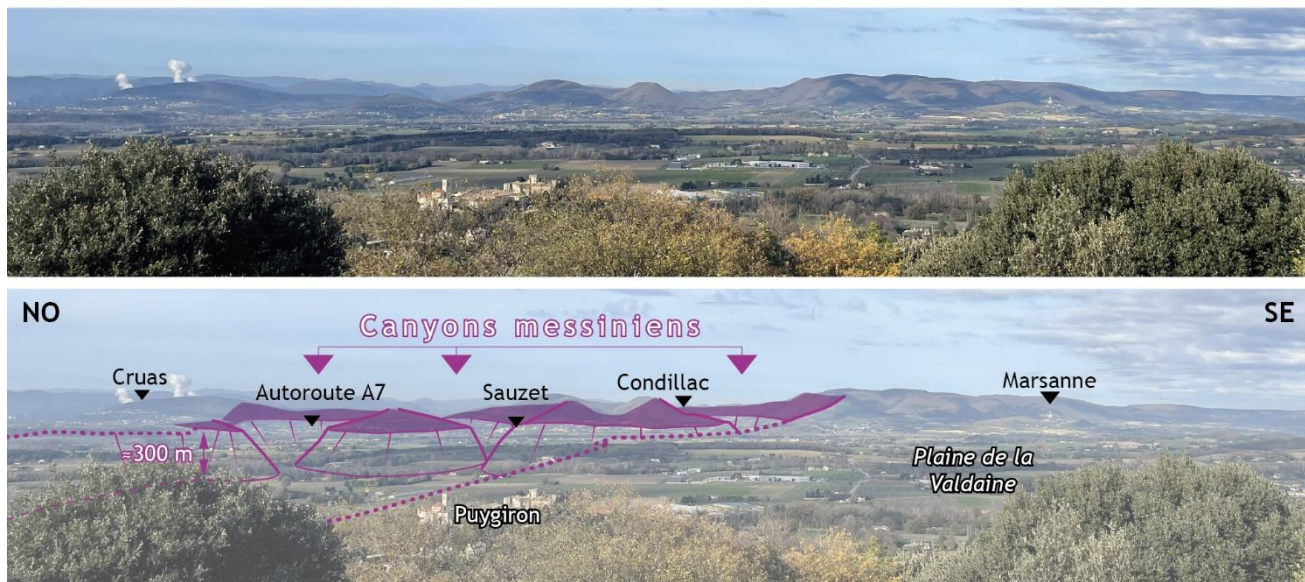


Figure 10 : La surface d'érosion messinienne est visible dans le paysage au nord-est de Montélimar. À cet endroit le canyon se divise en 3 bras (Condillac, Sauzet et autoroute A7). D'après les profils de sismique réflexion la profondeur de l'incision est de l'ordre de 300 m.



Figure 11 : La SEM forme un talweg entre la colline de Piérougier et celle de Notre-Dame-de-Monceau (lieu de la prise de vue). La profondeur du talweg n'est pas connue. En arrière-plan, l'étendue plane de la Montagne de la Série correspond aux formations détritiques pliocène qui scellent la SEM.

5.1.3. Paléosurfaces post messiniennes : surface d'abandon pliocène et terrasses quaternaires

Surface d'abandon pliocène (SAP)

Le colmatage du réseau hydrographique messinien se termine avec la formation d'une surface topographique dites « surface d'abandon pliocène » (SAP). Cette surface marque la fin de l'aggradation du prisme continental avant l'incision du réseau hydrographique quaternaire. Sur le terrain, cette surface correspond :

- à des replats topographiques perchés où peuvent être préservés des galets fluviaux (Figure 12).
- ou à minima, au toit des formations continentales pliocènes (Figure 11 et Figure 9).

La géométrie de cette surface d'abandon à l'échelle régionale n'est pas plane mais suit une logique de profil en long de rivière (amont-aval). Dans les secteurs amont la surface d'abandon pliocène peut se surimposer à la surface d'érosion messinienne (Figure 9 et Figure 12).



Figure 12 : Le replat à 300 m conserve des dépôts fluviatiles pliocènes, il marque la position de la SEM ainsi que de de la surface d'abandon pliocène (SAP). Le replat en contrehaut (350 m) correspond à une surface fluviatile anté-messinienne.

Terrasses quaternaires (Fv)

À partir de cette surface d'abandon pliocène s'incise le réseau hydrographique quaternaire avec le tracé qu'on lui connaît aujourd'hui. Cette incision est marquée dans le paysage par la mise en place de terrasses qui tronquent et remanient le paysage et les dépôts du Pliocène (Figure 13).



Figure 13 : Terrasse quaternaire (Fv) qui tronque les dépôts pliocènes observés sur la crête de la colline de la Motte à Charols.

5.2. Altérites, couvertures karstiques, formations superficielles

Nous décrivons ici les dépôts et les altérites qui constituent des formations superficielles, dans la mesure où ils participent à la karstification et au fonctionnement du système karstique. Ces formations observées à l'affleurement sont :

- des altérations profondes par fantômisiation,
- des altérations de surface,
- les remplissages de l'incision messino-pliocène.

5.2.1. Altération profonde de type fantôme de roche

Des volumes de roches meubles qui semblent constituer des remplissages de cavité sont observés dans les gorges de la Rimandoule à Rochebaudin (Figure 14, à gauche). Toutefois, on observe la continuité des bancs calcaires de part et d'autre et à travers le volume altéré ainsi que l'aspect diffus de ses contours. La roche altérée est suffisamment meuble pour être coupée au couteau (Figure 14, à droite). Ces occurrences de roches altérées en position de remplissage apparent correspondent à des altération profondes de type « fantôme de roche » (Quinif, 1999, 2010).

Pour rappel, le processus de karstification par « fantômisation » est caractérisé par une première phase d'altération par diffusion des carbonates en profondeur, dans des conditions noyées et sous l'influence d'un très faible gradient hydraulique. L'altération se propage depuis un réseau de fractures préexistant et progresse dans la masse calcaire à la faveur des discontinuités et de l'énergie chimique disponible dans le réservoir. Le moteur chimique de cette altération peut être d'origine supergène (altération d'une couverture en surface « per descensum »), ou hypogène (circulation de fluide profond, « per ascensum ») ou d'une combinaison des deux. Dans le secteur de Rochebaudin, l'origine hypogène est à privilégier.



Figure 14 : Fantôme de roche sub vertical le long de la D328 dans les gorges de la Rimandoule. La continuité des bancs est conservée de part et d'autre du volume altéré jaunâtre, à gauche. Dans la zone altérée le calcaire est meuble et peut être transpercé par un couteau, il s'agit du « fantôme de roche », à droite.

Cette altération produit un maillage d'altération avec une géométrie en 3D dans le réservoir calcaire. Ce volume altéré est interconnecté et présente des propriétés réservoirs totalement différentes de celles de l'encaissant calcaire (augmentation de la porosité et de la perméabilité). Sous l'effet d'un gradient hydraulique suffisant ces résidus d'altération (fantôme de roche ou altérite) sont évacués révélant ainsi le maillage 3D sous la forme de conduit ou de lapiaz ou en formant des brèches de dissolution-effondrement. Ces dernières sont couramment observées dans les structures en couloir. Une fois évacuées ces structures karstiques peuvent être colmatées par des sédiments allochtones transportés dans le système de drainage souterrain.

5.2.2. Altération de surface : les argiles à chailles

Les argiles à chailles sont présentes sur la surface d'aplanissement du relief au sud de Puységirion située à 300 m d'altitude. Ces argiles sont le produit d'une altération intense d'une série sédimentaire contenant des éléments silicatés. Cet intervalle peut correspondre aux calcaires à chailles présents notamment dans la série barrémo-bédoulienne.

Ces formations d'altération sont reconnaissables par leur couleur rouge-ocre due à l'oxydation du fer qui affecte aussi les chailles (Figure 15). Ces argiles influencent le drainage à la surface du plateau en ayant tendance à concentrer les eaux en surface avant leur infiltration. Elles peuvent être remaniées par ruissellement ou colluvionnement vers les points bas de la topographie.



Figure 15 : Argiles à chailles accumulées sur le replat de l'anticlinal de Puygiron, à 300 m d'altitude.

5.2.3. Remplissage sédimentaire de l'incision messino-pliocène

Le remplissage de l'incision messino-pliocène correspond à une séquence de dépôts complexe dont la géométrie et les caractéristiques sédimentologiques varient spatialement en relation directe avec l'organisation amont-aval du paléo-réseau hydrographique, c'est-à-dire en fonction du paléo paysage messinien.

Ce paléo paysage est marqué par des rias auxquelles se raccordent des systèmes fluviaux continentaux drainant les zones de reliefs amont.

Les rias sont comblées par la mise en place d'un « Gilbert-delta », c'est notamment le cas dans le canyon du Rhône (Figure 16, à gauche). Ce type de prisme sédimentaire se subdivise en trois parties présentant des caractéristiques géométriques et sédimentologiques bien distinctes (Figure 16, droite) :

- partie sommitale (*topset*) : constituée de dépôts à pendage faible et à faciès fluviaux (conglomérat, sables). La proximité de cette partie avec le niveau de la mer peut conduire à des enregistrements sédimentaires littoraux.
- front du deltas (*foreset*) : partie inclinée sous-marine avec des dépôts obliques progradant qui sont constitués de sables et de gravelles. Ces dépôts correspondent aux sables de Condillac visibles à l'affleurement le long de la D107 (Figure 17).
- partie basale (*bottomset*) : dépôts marins distaux à la base du cône constitués de sédiments fins à faible pendage.

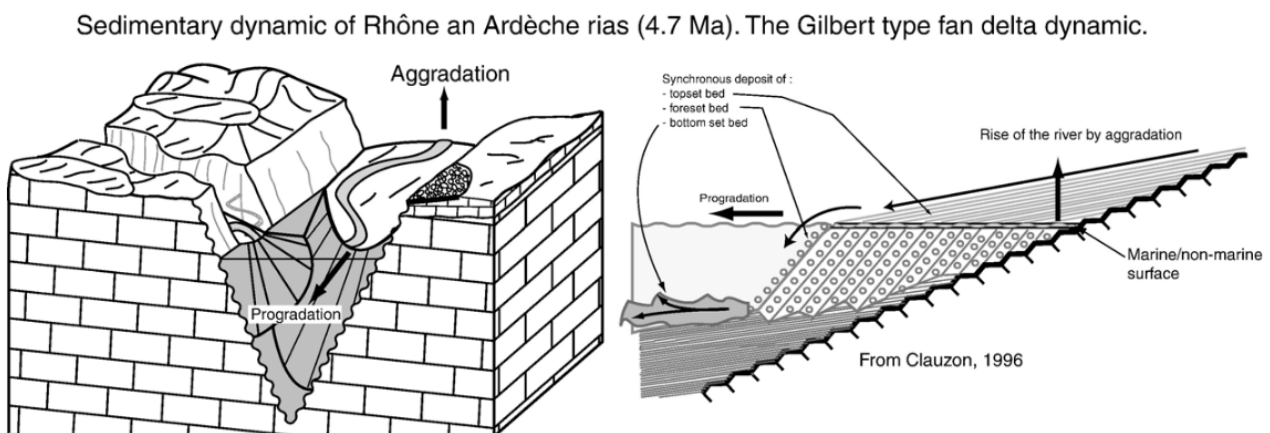


Figure 16 : Modèle de dépôts des faciès du Pliocène selon le modèle de *Gilbert-Delta* dans l'espace inscrit dans la surface d'érosion messinienne (Mocochain et al., 2006).



Figure 17 : Les sables de Condillac correspondent aux *foresets* du prisme sédimentaire pliocène qui colmatent le canyon messinien du Rhône.

En amont, dans les systèmes fluviaux continentaux, le remplissage de l'incision messino-pliocène est caractérisé par la séquence de dépôts suivante :

- à la base des talwegs et dans les secteurs amonts (têtes de vallées) : des blocs erratiques allochtones d'échelle métrique, anguleux (Figure 18, A et B). Ces blocs sont tombés ou parfois juste basculés dans l'incision lors de la phase de remplissage. Ce faciès est observé au sommet et sur le versant ouest de la colline de Pierougier (Espeluche) et sur la crête de Serre Pointu (Rochefort-en-Valdaine).
- dans l'axe des talwegs : des blocs allochtones d'échelle décimétrique à métrique, émoussés et emballés dans une matrice sableuse fine (Figure 18, C). Ce faciès correspond à des dépôts torrentiels qui remanient et transportent sur de courtes distances (1 - 5 km) les éléments très grossiers situés en amont des talwegs. Cette formation est visible sur la piste cyclable de la Bâtie-Rolland, sur la colline de la Motte et au col de la Grosse Pierre à Charols.
- au sommet : des sables fins, bien triés, souvent jaunâtres (Figure 18, D). Ces sables sont observés sur le col au sud de la colline du Pied Bazi (Saudon) et sur le col de la Grosse Pierre à Charols.

Des formations résiduelles d'origine fluviales sont trouvées en position de relief sur des replats ou perchés dans des cols. Elles correspondent à des galets mal-classés, émoussés, parfois arrondis d'échelle centimétrique à décimétrique, accompagnés d'une fraction sableuse fine bien triée plutôt jaune (Figure 19). Certaines de ces occurrences sont à rapporter au Pliocène (p2) d'après la carte géologique (Lorenchet de Montjamont et al., 1971), d'autres peuvent être plus anciennes d'après leur disposition géométrique, notamment au niveau du col des Gourjeasses à l'est de Pont-de-Barret. Ces formations résiduelles témoignent du passage d'une paléo vallée.



Figure 18 : Le remplissage messino-pliocène dans le domaine continental est caractérisé par de la base au sommet. A. Bloc erratique, anguleux, allochtone, d'échelle métrique Serre Pointu, Rochefort-en-Valdaine. B. Bloc basculé dans un versant, Pirrugier, Espeluche. C. Formation à blocs émoussés emballés dans une matrice sableuse, piste cyclable de La-Bâtie-Rolland. D. Sable fin, bien trié préservé sur le col au sud de la colline du Pied Bazi (Saudon).



Figure 19 : Formation résiduelle d'origine fluviales constituées de galet, émoussés ou plus anguleux, parfois arrondis d'échelle centimétrique à décimétrique, accompagnés d'une fraction sableuse fine. Ces formations sont conservées en position de cols dans des paléovallées perchées (col de Gourgeasses, à gauche) ou sur des reliefs (Serre Lotie, Soyans, à droite).

5.3. Les formes karstiques de surface

5.3.1. Aplanissements karstiques dans la vallée du Haut-Roubion

Les reliefs karstiques sont caractérisés par la morphogenèse de surfaces planes calées sur le niveau de base généralement entourées de relief en buttes ou par des bordures de corrosion, c'est-à-dire des limites escarpées. Ces surfaces sont généralement planes et horizontales à l'échelle locale, d'où leur désignation par une cote altimétrique.

Surfaces S400 et S430

Une surface formée par un niveau topographique à 400 m d'altitude est identifiée dans la zone d'affleurement des calcaires du Barrémo-Bédoulien à Francillon-sur-Roubion. Cette surface est caractérisée par un front d'altération cryptokarstique (Figure 20) avec des mégadolines de plusieurs centaines de mètres de diamètres. Cette morphologie de *karst à cockpit* est liée au démantèlement du cryptokarst par l'incision du Roubion et de ces affluents.

La surface S400 est imbriquée dans une surface à 430 m d'altitude qui forme le sommet de la colline au sud-est de Francillon et dont des lambeaux persistent au toit des buttes sommitales (Bois Sec, hameau le Devès). Plus à l'ouest, sur le versant est du relief du Grand Quinson, des épaulements à 400 et 430 m montrent l'extension de ces surfaces aplanies.

Ces aplanissements sont interprétés comme des planchers de paléo-poljés. Les poljés sont des formes caractéristiques des paysages karstiques drainées en surface et caractérisées par un plancher rocheux plus ou moins horizontal calé sur le niveau de base local. La formation des poljés indique des phases de stabilité des niveaux de base suffisamment prolongée pour entretenir la dissolution basale et l'extension latérale au niveau des planchers. Ils constituent des structures de concentration des eaux en surface où l'infiltration préférentielle dans le réservoir se fait dans les zones de bordures ou via des pertes ponctuelles connectées à un réseau karstique.

Aujourd'hui complètement démantelés par le réseau hydrographique ces poljés 'fossiles' et leur cryptokarst conservent leur fonction d'infiltration vers le réservoir profond.

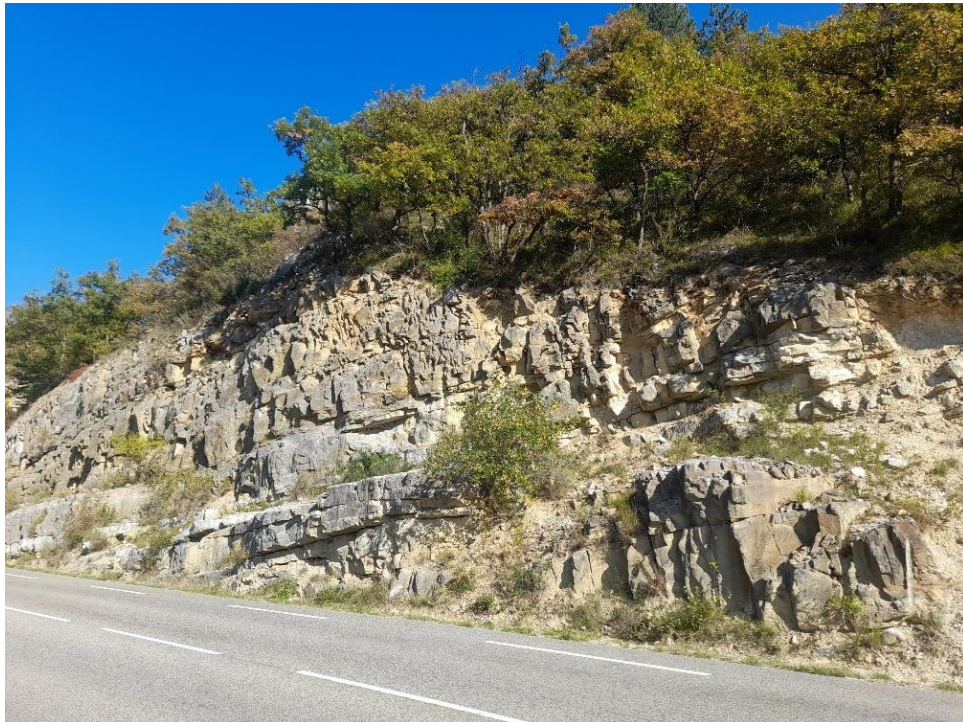


Figure 20 : Vue en coupe du front d'altération cryptokarstique sous la surface S400 dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien affleurant dans la vallée du Roubion à Francillon. On note la présence de pinacles et la concavité du front d'altération qui marque le culot d'une cryptodoline.

Surface S350

Des replats topographiques sur calcaires compris entre 340 et 360 m sont observés dans la zone d’affleurement du Barrémo-Bédoulien sur le cours du Roubion entre le Grand Quinson et Soyans. Ces replats tronquent la structure géologique et forment les bordures du canyon du Roubion. Étant donné l’absence de témoins d’altération cryptokarstique, cette surface plane peut être interprétée comme une surface fluviokarstique qui marque la position d’un niveau de base haut et stabilisé qui permet la dissolution basale sans favoriser l’altération verticale.

Cette surface est observée dans un secteur affecté par la tectonique alpine dont elle semble niveler les structures. Cette surface appartient à l’histoire récente du massif (post-miocène). L’altitude de ces replats correspond à l’altitude des formations pliocènes conservés en position de reliefs au lieu-dit Serre Lotie et en position de col au sud du Pied Bazi. Ainsi, cette surface peut correspondre à l’expression du haut niveau de base au pliocène, c’est-à-dire à la surface d’abandon du Pliocène.

5.3.2. Dolines et mégadolines

Mégadolines à Francillon-sur-Roubion

Les méga-dolines du lieu-dit les Serres à Francillon-sur-Roubion correspondent à des cryptodolines exhumées qui s’étendent sur la surface aplanie à 400 m. Ces mégadolines sont en partie démantelées et éventrées par des vallons incisés et le canyon du Roubion, mais on leur devine un diamètre de 100 à 200 m pour environ 50 m de profondeur. Ces cryptodolines constituent des points d’infiltration préférentielles assurant la connexion entre la surface et le réservoir profond via les discontinuités karstiques verticales de type couloirs d’altération.

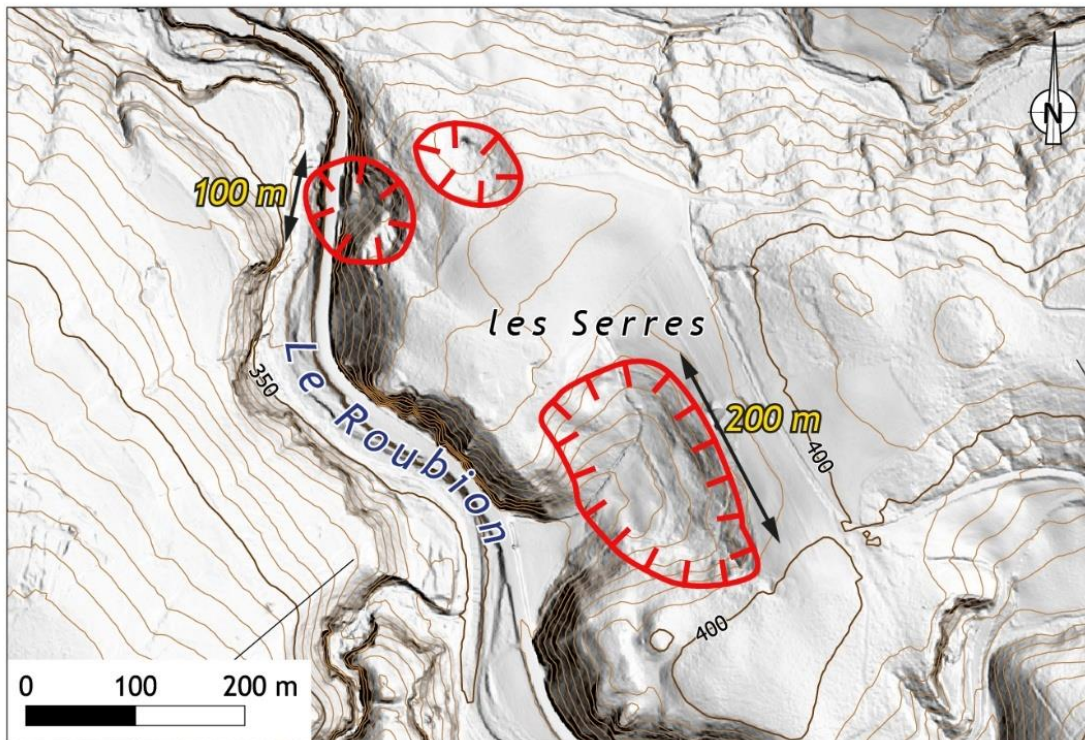


Figure 21 : Méga-dolines des Serres de 100 à 200 m de diamètre pour une profondeur d’environ 50 m, vues sur le MNT 1m (IGN). Ces objets sont des indicateurs d’une surface d’altération cryptokarstique dénudée dans le secteur du Haut-Roubion.

Dolines d’effondrements à Puygiron

Les dolines d’effondrement (ou de tassement-effondrement) impliquent la formation d’un vide souterrain et sa mise en contact plus ou moins directe avec la surface. Elles sont associées au débouffrage des zones d’altération profonde et constituent des points d’absorption et/ou d’échange surface/endokarst.

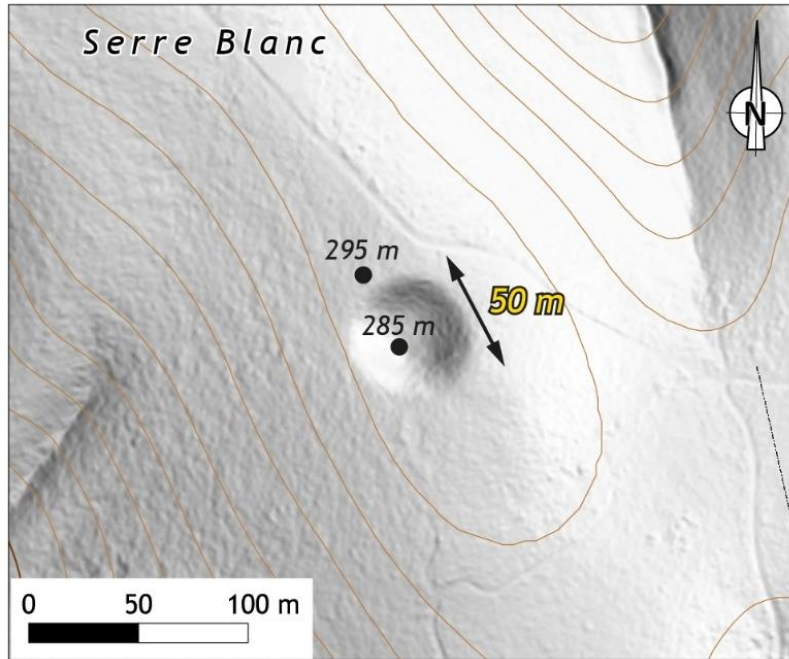


Figure 22 : Doline d’effondrement de Serre Blanc sur le relief au sud de Puygiron identifiée sur le MNT 1m (IGN). Cette doline de 50 mètres de diamètre pour environ 10 m de profondeur marque poinçonne le réservoir depuis la surface d’aplanissement à 300 m.

5.3.3. Paléo vallées perchées, canyons et vallons fluviokarstiques

Paléo vallées perchées en position de cols

Plusieurs vallées abandonnées sont identifiées sur les reliefs de barrémo-bédoulien dans le secteur de Pont-de-Barret. Ces paléo vallées se trouvent en position de cols et sont déconnectées de leur amont vers l’est par le tracé du réseau hydrographique actuel (Figure 23, à droite). Il s’agit des cols dit des « Gourjeasses » utilisé par la D310 à l’est de Pont-de-Barret (Figure 23, à gauche) et du col de Mure au sud-est de Rochebaudin. Dans ces cols imprimés sur roche dure, les points les plus bas culminent à 430 et 450 m, respectivement. Dans l’échancrure du col de Gourjeasses des éléments allochtones d’origine fluviale (grès, conglomérat, chailles) sont préservés (Figure 19, à gauche).

De la même manière, le col situé entre la colline du Pied Bazi et la Montagne de Ste Euphémie préserve des dépôts fluviaux pliocène, témoignant du passage d’une paléo vallée messinienne à l’ouest de la vallée actuelle du Roubion. Ce col creusé sur roche meuble (marnes de l’Aptien) est perché à une altitude de 330 m.

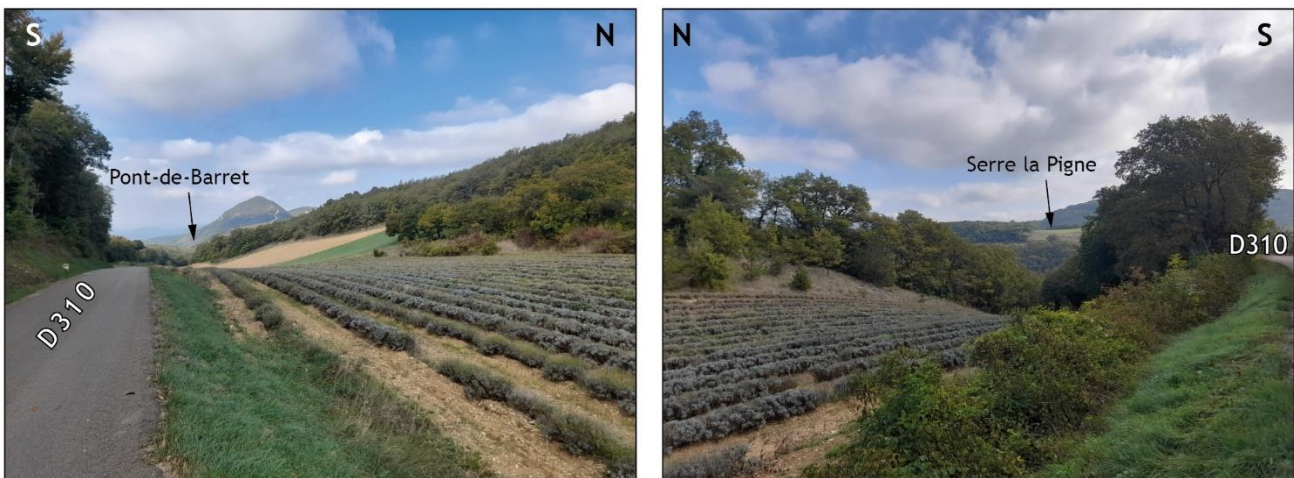


Figure 23 : Paléo vallée perchée en position de col à l’est de Pont-de-Barret. À gauche, vue vers l’ouest en direction de Pont-de-Barret. À droite, vue vers l’est de la paléo vallée déconnectée de son amont situé au Serre la Pigne par l’incision d’une vallée.

Canyons et percée cataclinale du Roubion

Dans son cours amont, le Roubion recoupe à plusieurs reprises les calcaires du Barrémo-Bédoulien. Chacun de ces recoupements s'exprime par des canyons incisés de plusieurs dizaines de mètres à Francillon et Soyans, à plusieurs centaines de mètres en amont de Pont-de-Barret (Figure 24). Ces incisions en canyon expriment l'abaissement du niveau de base et l'enfoncement du réseau hydrographique depuis une surface relativement plane pour les cas de Soyans et Francillon.

En revanche, l'incision du Roubion en amont de Pont-de-Barret traverse une zone de relief important en s'inscrivant dans le pendage général de la structure géologique (pendage d'environ 20° vers le sud) jusqu'à Pont de Barret, répondant ainsi à la définition d'une percée cataclinale. On a vu par l'identification de paléo vallées perchées que le cours du Roubion actuel est différent de celui pendant le Messinien. Ainsi, cette percée cataclinale entre la Montagne de Ste-Euphémie et la Montagne d'Eson montre une évolution récente du réseau hydrographique dans l'histoire du massif. Cette percée exploite probablement des discontinuités karstiques formant une zone d'infiltration dans les calcaires au contact structural avec les marnes liées au passage de la faille de Soyans. Cette zone de recharge héritée de la période messinienne est encore active aujourd'hui sur l'ensemble du tronçon du Roubion où affleure les calcaires, comme en témoignent les assècs récurrents en période estivale (Figure 24).



Figure 24 : Canyon du Roubion à Francillon, à gauche et percée cataclinale du Roubion en amont de Pont-de-Barret, à droite. On note les assècs réguliers du Roubion dans ce secteur (cliché fin d'été 2025).

Cluse de la Rimandoule

La Rimandoule incise d'est en ouest le relief calcaire barrémo-bédoulien sur une profondeur d'environ 300 m. Le tracé présente des méandres de grandes longueurs d'onde et faible amplitude et recoupe perpendiculairement la structure anticlinale, répondant à la définition d'une 'cluse'. Cette morphologie implique une surimposition du réseau hydrographique sur la structure, qui s'est initié soit avant la mise en place de la structure, soit après, soit l'incision a perduré depuis l'initiation du plissement jusqu'à l'actuel.

Vallons secs fluviokarstiques

Deux types de vallons secs sont identifiés :

- *Vallons secs arborescents* : la surface de la montagne de la Briesse est marquée par un réseau de vallons secs arborescents avec des ramifications qui se raccordent à la vallée du Roubion au pied des reliefs calcaires. Ces réseaux arborescents signent un réseau hydrographique qui s'est établi sur une couverture, aujourd'hui disparue. Le versant ouest de la montagne de la Briesse correspond à une surface fluviatile perchée et déconnectée de son amont à l'est, dans les reliefs apto-albiens.
- *Vallons secs rectilignes* : le relief au sud de Puygiron est parcouru de vallons secs à fond plat, rectilignes, orientés préférentiellement N-S et qui se prolongent de part et d'autre du plateau en laissant pour certains, seulement quelques dizaines de mètres entre les têtes de vallons. Ces vallons sont organisés en réseau dont le motif géométrique est contrôlé par la fracturation exploitée par

l'altération karstique. Ces vallons suivent le maillage en treillis de couloirs d'altération profonde. Ils ont la particularité d'être franchement incisé dans la surface du plateau.

Ces vallons karstiques constituent des points d'absorption et comportent des écoulements souterrains, ce qui se traduit par un fonctionnement temporaire ou bien par une absence totale d'écoulement superficiel.

5.1. Structures karstiques

5.1.1. Structures d'altération profonde

Les structures d'altération profonde comprennent :

- les structures karstiques profondes liées au processus de fantômisiation et à une bréchification associée, assistée ou non par la cryptoaltération et/ou par les remontées de fluides hypogènes,
- les accidents tectoniques associés à des circulations de fluides ayant causé la minéralisation et l'étanchéification totale ou partielle de la structure.

Couloirs d'altération profonde

Les couloirs d'altération profonde sont des structures verticales qui s'enfoncent profondément dans le réservoir, jusqu'à sa base. La mise en place de ces couloirs est favorisée par la fracturation préexistante.

Dans le secteur de Francillon, ces structures s'expriment par des couloirs de brèches karstiques orientés N090°E affectant la partie supérieure de la série carbonatée. On observe une intensification de la bréchification en direction du cœur de la structure avec des éléments :

- pivotés les uns par rapports aux autres mais qui restent en contact,
- et d'autres qui ont perdu leur cohésion et ressemblance à la structure initiale suite à un mouvement trop important et éventuellement un effondrement (Figure 25).

Les épontes de ces structures en couloirs sont retouchées par de la dissolution et scellées par des cristallisations de calcite drusique. Ces calcites sont striées témoignant de l'antériorité de la structure d'altération en lien avec des circulations de fluides hypogènes par rapport au mouvement tectonique responsable des stries (alpin ?).

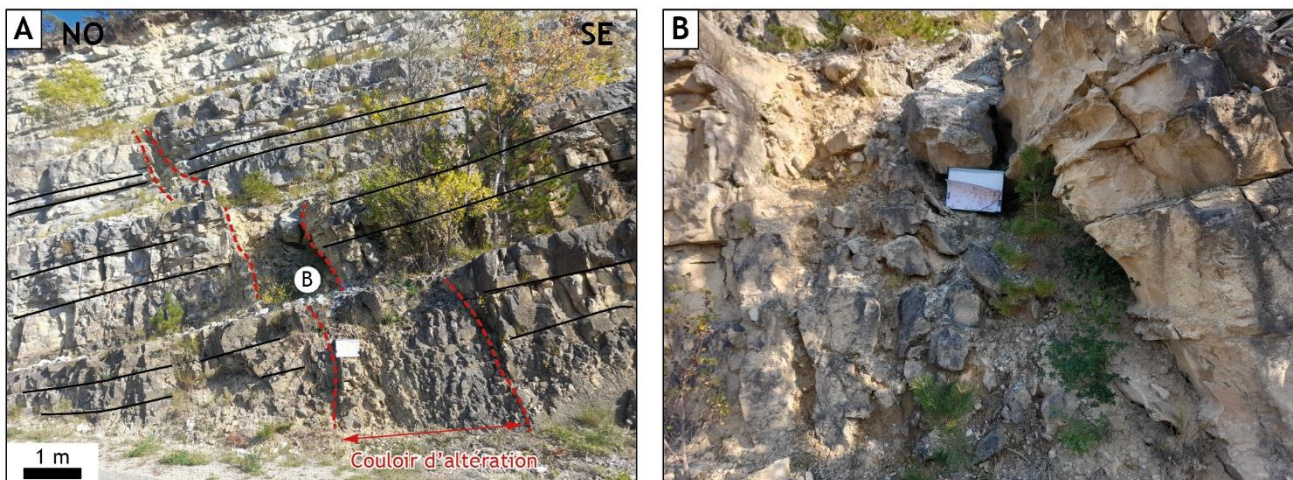


Figure 25 : Couloirs de brèches karstique orienté N090°E montrant l'intensification de la bréchification vers le cœur de la structure. Les épontes du couloir sont retouchées par la dissolution et scellées par des cristallisations de calcite d'origine hypogène. Francillon-sur-Roubion, rive droite du Roubion (D538).

Plus à l'est, sous le front de cryptoaltération de la S400 (cf. 5.3.1), d'autres structures verticales sont karstifiées. Elles sont calées sur des fractures orientées N040°E et N160°E avec un espacement d'environ 10 m. Elles sont comblées par un remplissage hétérogène à matrice fine carbonatée, blanchâtre à jaune vraisemblablement d'origine gravitaire (Figure 26). Certaines de ces structures verticales, plus larges, montrent dans leur partie supérieure une structure d'effondrement.



Figure 26 : Sous le front d'altération de la S400, des fractures verticales orientée N40° E et N160° E sont karstifiées et colmatées par une formation allochtone hétérogène. Certaines de ces fractures montrent dans leur partie supérieure des structures d'effondrement (à droite). Francillon-sur-Roubion, rive droite du Roubion (D538).

Dans le relief au sud de Puygiron, le traitement cartographique et les observations de terrain montrent un maillage de couloirs d'altération d'échelle décamétrique sur lequel s'imprime les vallons fluviokarstiques. Ces couloirs d'altération sont orientés préférentiellement N-S et N-S / E-O dans la partie est du relief. Les couloirs méridiens sont espacés d'environ 300 m. Plus au sud dans les calcaires du Turonien, le même maillage de couloirs d'altération est observé avec une prédominance de couloirs N-S et vers l'est, un maillage de couloirs en treillis N-S et E-O. L'organisation similaire dans ces deux réservoirs pourtant distincts suggèrent que les couloirs d'altération se forment au cours d'une même phase de structuration où les deux réservoirs sont soumis aux mêmes conditions d'altération. Cette phase de structuration est possiblement en lien avec la mise en place de la surface anté-messinienne marquée par les aplanissements à 300 et 350 m, dont l'âge peut correspondre à la période du Priabonien-Oligocène (35 - 23 Ma) (cf. 5.1.1).

Les couloirs d'altération sont interconnectés et forment un maillage organisé d'une grande ampleur spatiale assurant à la fois une fonction transmissive et capacitive du réservoir karstique. En effet, l'altération par fantômisiation change les propriétés de la roche atteinte, notamment en augmentant sa porosité et en octroyant un effet capacitif décuplé, alors que la bréchification induit des zones de transmissivité accrues en relation plus ou moins directe avec un début de remaniement ou de tassement de l'altérite. En surface, les couloirs d'altération sont donc des zones préférentielles d'infiltration des eaux dans la zone de recharge et des points de restitution lorsqu'ils sont recoupés par les incisions.

Failles barrières

On désigne comme « *failles barrières* » les discontinuités pouvant jouer un rôle de barrage lithostructural au sein du réservoir karstique. Il s'agit le plus souvent d'accidents tectoniques qui ont connu une ou plusieurs phases de circulations de fluides ayant abouti à l'étanchéification des brèches qui les constituent.

Le cas le plus classique implique une imperméabilisation de la cataclasite constitutive du cœur de faille liée directement à son fonctionnement. Mais dans le cas des réservoirs affectés par des fluides hypogènes ou par

des phases d'altération profonde, des circulations secondaires peuvent conduire à une réactivation de ces discontinuités selon des processus complexes de dissolution-précipitation de la calcite ou d'autres types de minéralisations (Fe, Pb-Zn, Ba, Ni etc.).

Dans les reliefs de calcaires barrémo-bédouliens entre Pont-de-Barret et Rochebaudin, les failles barrières sont associées à :

- la faille de Soyans - Manas orientée NE-SO (N040E),
- le chevauchement de Rochebaudin orienté NO-SE (N160E) qui limite le massif de la montagne de Briesse de la plaine de la Valdaine.

Ces failles barrières s'expriment dans le paysage par des cloisons sub verticales de brèches cimentées restées en relief par érosion différentielle (Figure 27).



Figure 27 : Passage de la faille de Soyans qui borde la Montagne de Ste Euphémie matérialisée par des cloisons sub verticales de brèches cimentées restées en relief par érosion différentielle.

Les brèches minéralisées par de la calcite de faille sont observées depuis la base du relief au NE de Manas jusqu'au sommet de la montagne de Ste Euphémie et se poursuivent sur le versant nord jusqu'au lieu-dit les Charrans puis se retrouvent au niveau du château de Soyans. Cette ligne de crête orientée NE-SO est bien marquée dans le paysage et signe le passage de la zone d'endommagement minéralisée de la faille de Soyans qui est par endroit d'une largeur hectométrique. Cette faille met en contact les calcaires du Barrémo-Bédoulien avec les marnes de l'Aptien - Albien. Cette juxtaposition réservoir / imperméable en fait une faille barrière classique. Toutefois, en périphérie de la zone d'endommagement de faille, à Soyans et dans le forage de Manas, des cavités ouvertes sont observées avec des indices de circulation hypogènes, témoignant que cette structure peut aussi guider les circulations de fluide le long du plan de faille et jouer un rôle important dans l'organisation des circulations souterraines.

Dans la cluse de la Rimandoule les cloisons sub verticales suivent une direction NO-SE. Elles sont intimement liées à la géométrie de la structure anticlinale d'origine alpine et semblent révéler des bancs minéralisés dans les flancs sub verticaux du pli (Figure 28). Si ces cloisons ont un rôle de barrage lithostructural, elles pourraient localiser les venues d'eaux ou les zones de pertes de la Rimandoule. À ce stade, ce paramètre reste à vérifier.

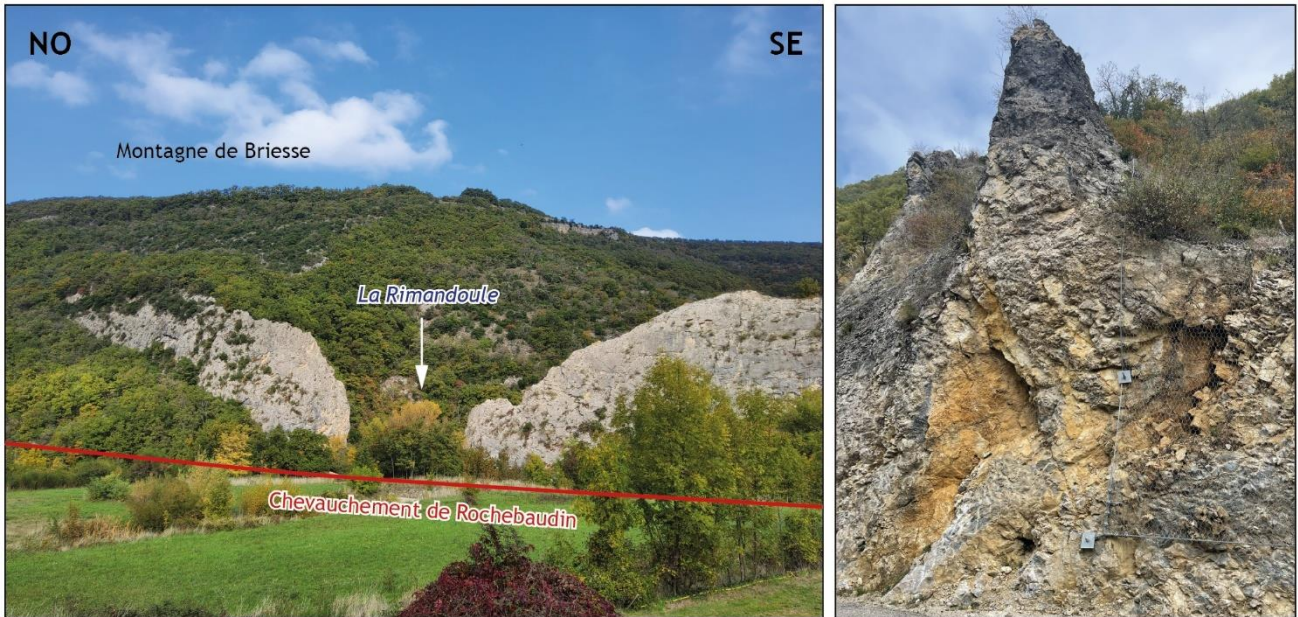


Figure 28 : La cluse de Rochebaudin correspond à une cloison verticale minéralisée soulignant le passage du chevauchement de Rochebaudin orienté NO-SE. Les cloisons minéralisées sont observées à l’amont et l’aval des gorges de la Rimandoule et se poursuivent dans le versant en faisant ressortir la géométrie de la structure anticlinale.

5.1.2. Paléokarsts

Paléokarsts à indices de circulation hypogène

Des indices, associés à des structures en couloirs ou à des conduits indiquent des remontées de fluides profonds dans un réseau de fractures et de vides suffisamment ouverts pour permettre la croissance de cristallisation de calcite drusique (Figure 29). Ces structures karstiques traversent la totalité du réservoir barrémo-bédoulien et les imperméables, le plus souvent à proximité d’accidents majeurs et à l’apex des structures anticlinales.

Ces indices sont reconnus dans le secteur du Haut-Roubion en lien avec la faille majeure de Soyans d’orientation cévenole et avec les structures associées à la tectonique alpine (chevauchement et axes anticlinaux NO-SE et N-S). Ils sont aussi observés dans le secteur de Puygiron en lien avec les structures E-O d’origine pyrénéenne. Ces occurrences d’indices hypogènes répartis dans des contextes structuraux différents traduisent un entretien et / ou une réactivation à chaque événement tectonique des circulations profondes et des connexions entre le réservoir barrémo-bédoulien avec un ou plusieurs réservoirs sous-jacents.

Ces indices hypogènes signalent donc des structures drainantes se formant dans le réservoir sous-couverture. Par contre, les minéralisations associées peuvent aussi engendrer une cimentation des zones affectées notamment dans les zones d’endommagement des failles et ainsi concourir au cloisonnement du réservoir comme dans le cas de la faille de Soyans (cf. 5.1.1).



Figure 29 : Cavité tapissée par des cristaux de calcite drusique, indicateurs de circulation de fluide hypogènes. Francillon-sur-Roubion, rive droite du Roubion (D538).

Paléokarsts colmatés par des sables fins

Dans la cluse de la Rimandoule, plusieurs paléokarsts et paléo-conduits sont colmatés par des sables fins bien triés, plutôt jaunâtres. Parfois ces sables scellent des calcites drusiques d'origine hypogène et des spéléothèmes mis en place dans des cavités situées au-dessus du niveau de base. Ceci montre que ces sables s'installent dans des vides déjà formés avec une histoire potentiellement longue et polyphasée. Les sables fins peuvent correspondre au produit du remaniement des résidus d'altération par fantômisiation des calcaires barrémo-bédouliens et ainsi traduire le débouillage du fantôme de roche et le remaniement dans le réservoir karstique.

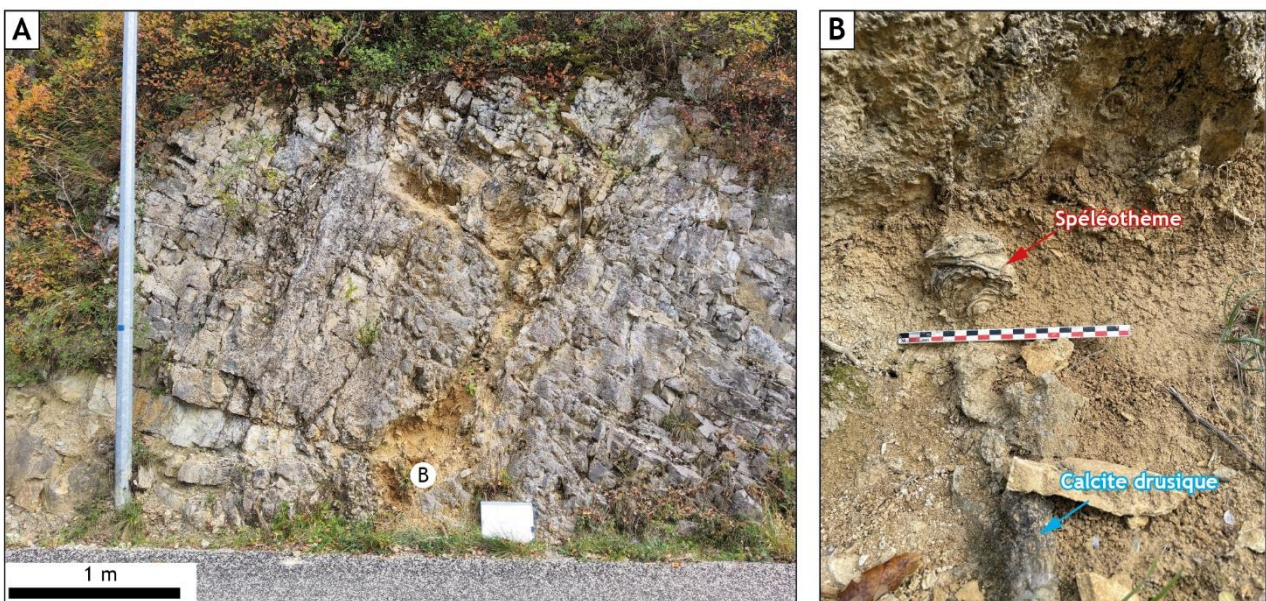


Figure 30 : Paléokarst sur fracture à cristallisation de calcite drusique, spéléothèmes et remplissage sableux. Rochebaudin, rive gauche de la Rimandoule (D328).

Paléokarsts à remplissages détritiques grossier

Certains paléokarsts enregistrent des transits sédimentaires, sous-entendu des transports de sédiments qui ne correspondent pas à des altérites de l'encaissant in situ (fantômes de roches). C'est le cas des paléokarsts dans le relief au sud de Puygiron. Ces remplissages forment des corps sédimentaires distincts qui alternent entre des silts orangés et des éléments plus grossiers constitués de galets alloctones arrondis et mélangés à des gélifracfs autochtones (Figure 31). Ces dépôts sont laminés et traduisent une dynamique de sédimentation torrentielle indiquant que le réseau karstique est suffisamment développé pour assurer des transits sédimentaires depuis un amont vers un aval.

Ces paléokarsts sont aussi associés à des indices hypogènes qui montrent la réutilisation de structures karstiques communes à différents stades de l'évolution du réservoir.

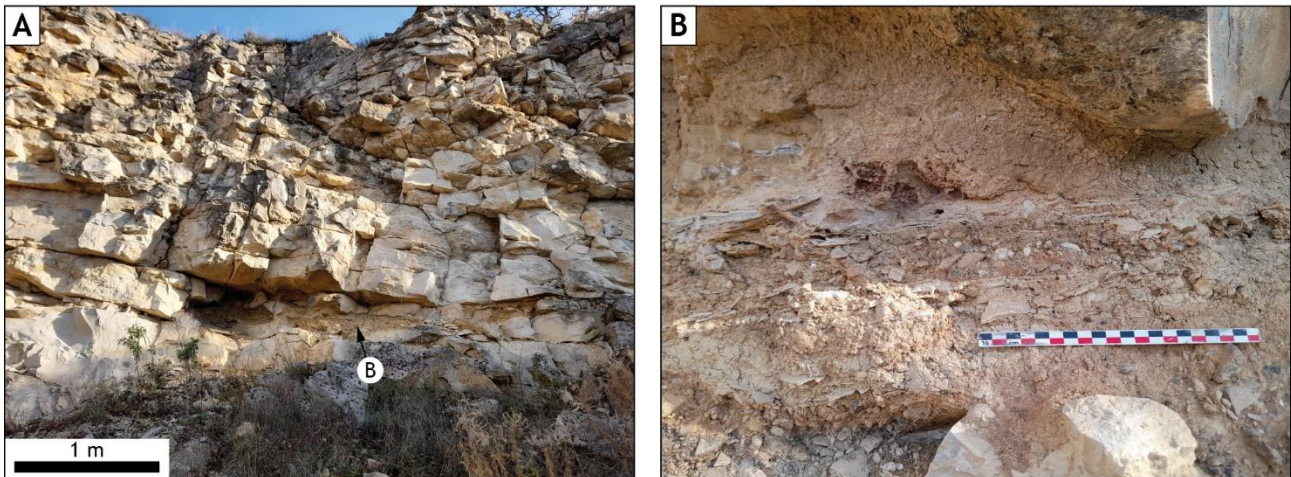


Figure 31 : Paléokarst à remplissage détritique alternant entre des fines et des dépôts grossiers (galets roulés et gélifracfs) qui traduisent une dynamique de sédimentation torrentielle. Carrière au sud de Puygiron en bordure de la D327.

5.1.3. Cavités et réseaux karstiques

Baume Sourde et Baume Claire, Francillon-sur-Roubion

Deux cavités sont référencées sur la carte topographique IGN en rive gauche du Roubion dans le relief du Grand Quinson. L'entrée de la Baume Sourde s'ouvre quelques mètres au-dessus du Roubion (300 m) et est condamnée pour la protection d'une importante population de chiroptères. L'entrée de la Baume Claire située 30 m en contrehaut est quant à elle accessible.

Les cavités de Baume Sourde et Baume Claire sont connectées et forment un réseau qui se développe sur 893 m pour un dénivelé de 100 m (-56 m + 44 m) d'après la nouvelle topographie du spéléo-club d'Aubenas réalisée en 2022. L'extrême amont de la galerie inférieure donne accès à une rivière souterraine qui constitue le point le plus bas du réseau, soit une altitude de 2 m NGF (Figure 32). Les spéléologues constatent que l'eau y est particulièrement chaude et que le débit d'étiage (environ 1.5 L/s) est relativement élevé par rapport à la superficie du bassin versant du Grand Quinson (2 km²).

L'entrée de la Baume Claire est un porche de 4 m de haut pour une dizaine de mètres de large qui s'ouvre dans des calcaires à pendage 30° NE (Figure 33). La salle d'entrée a une géométrie de conduit, avec des morphologies pariétales indiquant des circulations d'eau (coups de gouges, coupoles de dissolution). Une encoche horizontale est visible de part et d'autre de la galerie et témoigne d'un niveau d'eau stable dans la galerie (Figure 33, à droite). Des plans inclinés qui recourent le pendage marquent l'ennoiement et la vidange de la galerie.

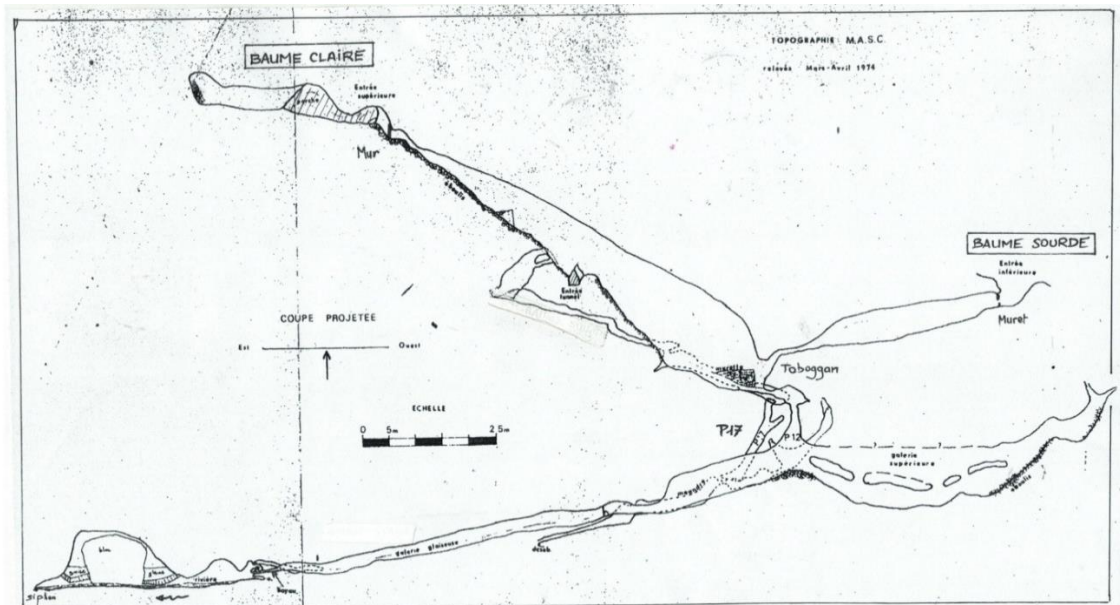


Figure 32 : Coupe projetée de la topographie spéléologique des cavités de Baume Claire et Baume Sourde réalisé par le Montélimar Archéo Spéolo Club (M.A.S.C.) en 1974. Les deux cavités se développent sur 893 m pour un dénivelé de 100 m (-56 - + 44m). Une rivière souterraine s'écoule dans la galerie inférieure à une quinzaine de mètres sous le Roubion.

L'ensemble de ces observations concourent à considérer ces galeries comme des conduits épinoyés connectés à un réseau karstique dont le fonctionnement est associé à un paléo-niveau de base à 330 m d'altitude. La température haute de l'eau dans la rivière souterraine ainsi que le débit maintenu même à l'étiage suggère que l'eau :

- provient d'une zone bien en amont (hors affleurement du Grand Quinson),
- et a circulé en profondeur après son infiltration.

Ainsi cette rivière souterraine atteste que :

- les galeries de Baume Claire et Baume Sourde font parties d'un réseau de drainage karstique,
- le réservoir karstique s'étend même dans les parties sous couverture aptienne.
- des zones de recharges en amont dont la zone de perte du Roubion à Francillon sont connectées au réservoir dans le massif du Grand Quinson

On en déduit que lorsque la galerie supérieure de Baume Claire était en fonctionnement, en lien avec un niveau de base à 330 m pouvant correspondre à la surface S350 (cf. 5.3.1), le Grand Quinson était une zone de restitution des eaux en partie (ou totalement ?) infiltrées dans le cryptokarst de Francillon-sur-Roubion. L'instrumentation de la rivière souterraine (température, conductivité, niveau d'eau) permettrait de mieux qualifier le fonctionnement hydrogéologique de ce système karstique.

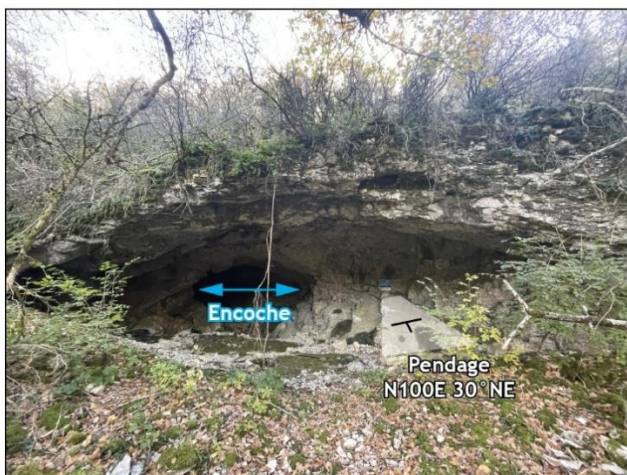


Figure 33 : Porche d'entrée de la Baume Claire. On note des morphologies typiques de galerie épinoyées (paragénétisme, couple de dissolution). Une encoche horizontale marque un paléo-niveau de base à 330 m (altitude du porche d'entrée).

6. GÉOMÉTRIE DES CALCAIRES BARRÉMO-BÉDOULIEN ET DU RÉSERVOIR KARSTIQUE

6.1. Étude complémentaire de la géométrie des calcaires barrémo-bédouliens et spatialisation des éléments du diagnostic karstologique

Lors de la première phase de ce projet, une étude structurale a été réalisée par CDP Consulting sur la base du retraitement et de l'interprétation des profils de sismique réflexion anciens. Cette étude couvre principalement le secteur est et sud de la plaine de la Valdaine où le réservoir est sous couverture.

Pour compléter la caractérisation géométrique des calcaires barrémo-bédouliens dans le secteur concerné par le diagnostic karstologique nous proposons d'utiliser en complément :

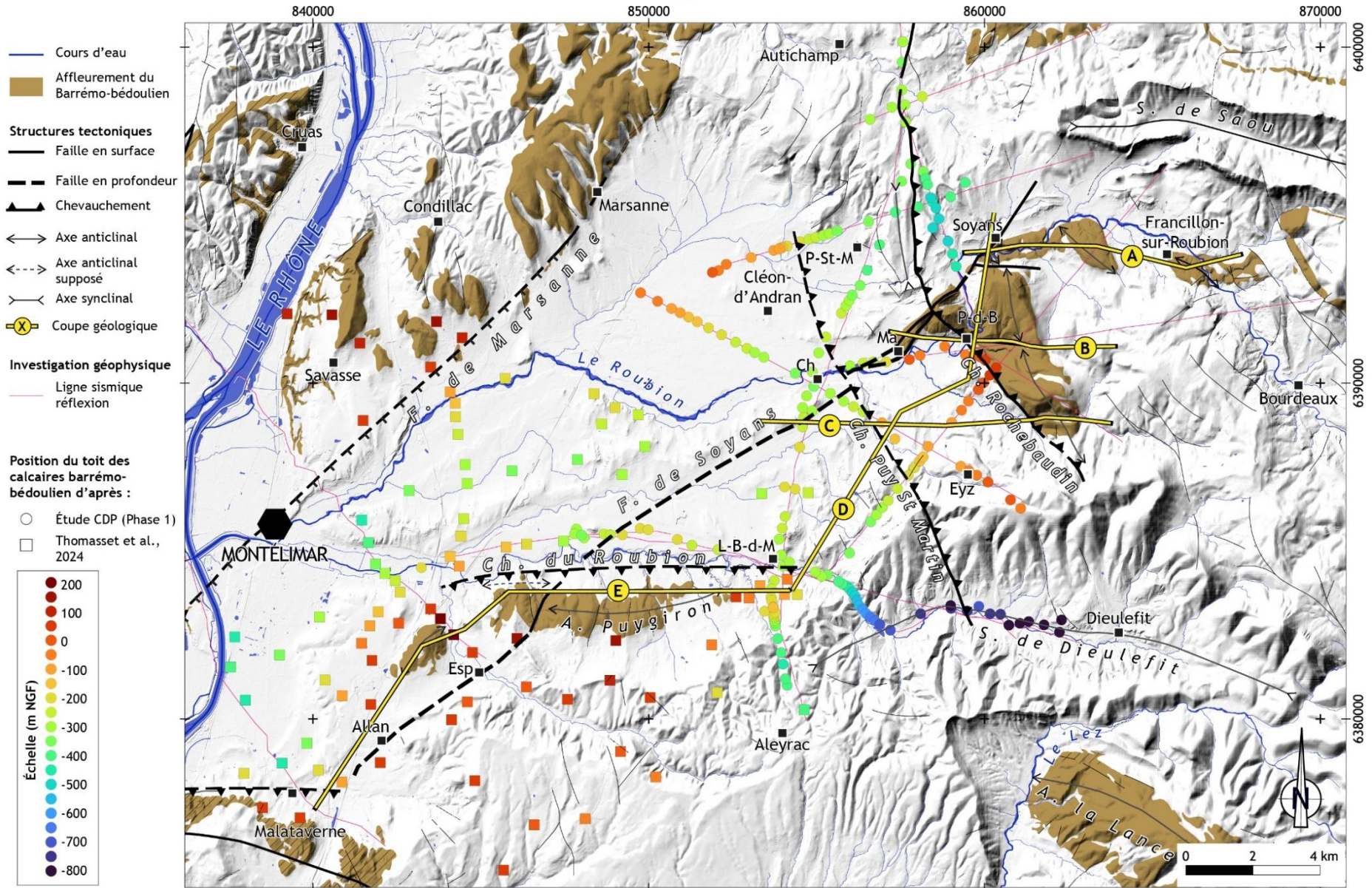
- les cartes géologiques 1/50 000 du BRGM (Lorenchet de Montjamont, 1970; Lorenchet de Montjamont et al., 1971),
- les coupes géologiques des forages du SIEBRC,
- la carte du toit du barrémien réalisées à partir de l'interprétation de certains profils sismiques EDF et publiées dans la littérature récente (Thomasset, 2024; Thomasset et al., 2024). Cette carte couvre le secteur ouest et sud de la plaine de la Valdaine (Savasse, Montélimar, Aleyrac, Malataverne),
- les relevés de terrain et la cartographie banc-à-banc réalisés en parallèle de l'analyse karstologique.

L'intégration de l'ensemble de ces données permet de produire un schéma structural géologiquement cohérent à l'échelle régionale et de construire des coupes géologiques équilibrées passant par les secteurs d'intérêts pour l'analyse morphodynamique et la structuration du réservoir karstique (zones de recharge, de transfert et de restitution des eaux ; actuelles et passées) (Figure 34).

Au total 5 coupes géologiques sont réalisées (Figure 34), dont :

- 4 dans le secteur du Haut-Roubion avec :
 - 3 coupes E-O, recoupant perpendiculairement les reliefs calcaires en suivant le cours du Roubion (coupe A), en passant par la paléovallée perchée puis Pont-de-Barret et le replat de Manas à 300 m (coupe B) et en suivant le cours de la Rimandoule jusqu'à Charols (coupe C). Ces 3 coupes caractérisent la zone de recharge du réservoir.
 - 1 coupe N-S et NE-SO qui suit le cours du Roubion depuis Soyans jusqu'à Pont-de-Barret puis passe par Charols pour rejoindre la Bégude-de-Mazenc (coupe D). Cette coupe permet de caractériser la géométrie du réservoir dans la zone de perte du Roubion en amont de Pont-de-Barret, de faire le lien entre les 3 coupes E-O et de caractériser la géométrie du réservoir sous couverture jusqu'à la coupe du secteur de Puygiron.
- 1 coupe E-O et NE-SO dans l'axe de l'anticlinal de Puygiron entre La-Bégude-de-Mazenc et la butte Monceau qui recoupe le paléocanyon messinien du Rhône à Malataverne (coupe E). Cette coupe illustre la nature du réservoir dans le secteur aval du système de drainage ainsi que la géométrie de son recouplement par l'incision messinienne. C'est une prolongation de la coupe D.

Ces coupes sont habillées avec les observations morphokarstiques précédemment décrites dans le diagnostic karstologique. La mise en contexte géologique et géométrique du diagnostic karstologique est nécessaire pour spatialiser dans l'espace en 3 dimensions l'interconnexion du réservoir karstique à l'échelle du bassin ainsi que pour conduire l'analyse morphodynamique et la reconstitution des étapes de structuration karstique à venir.



*P-St-M : Puy-St-Martin ; P-d-B : Pont-de-Barret ; Ma : Manas ; Ch : Charols ; Eyz : Eyzahut ; L-B-d-M : La-Bégude-de-Mazenc ; Esp : Espeluche

Figure 34 : Carte synthétique de la géométrie du toit des calcaires sous-couverture et des structures tectoniques majeures. Construite d'après les observations de terrain et les interprétations des profils de sismique réflexion (CDP Phase 1 (rond), et Thomasset et al., 2024 (carré)).

6.1.1. Secteur du Haut-Roubion (Francillon, Pont-de-Barret, Rochebaudin)

Le secteur du Haut-Roubion et l'extrémité est de la plaine de la Valdaine sont des zones structurellement complexes où coexistent des failles d'orientation cévenole (NE-SO) très anciennes et des structures alpines plus récentes. Les structures strictement associées à l'orogénèse pyrénéo-provençale sont difficilement discriminable ici.

Trois accidents majeurs sont identifiés dans ce secteur à l'affleurement et sur les profils de sismiques réflexion (Figure 35) :

- la **faille de Soyans** : orientée NE-SO, il s'agit d'une structure héritée du rifting de la Téthys et même vraisemblablement du Paléozoïque, connue dans la littérature pour guider les variations de faciès et d'épaisseur des termes du Barrémien (Ferry et al., 2023; Ferry, 2017). Cette faille est réactivée en décrochement pendant le pyrénéen et l'orogénèse alpine. Le secteur de Manas correspond à une zone de relais située entre deux chevauchements alpins et lié à un mouvement décrochant. Sur le terrain cette zone de relais se traduit par une bréchification intense associée à des minéralisations de calcite (cf. 5.1.1). La faille de Manas décrite par CDP Consulting correspond à une branche secondaire de la faille de Soyans qui elle s'étend de Soyans à Allan au SO.
- le **chevauchement de Rochebaudin** : orienté N140°E, il borde l'ouest de la montagne de la Briesse, recoupe la faille de Soyans dans la montagne de Ste Euphémie et limite les affleurements d'Albien qui chevauchent le Crétacé supérieur à l'est de Puy-St-Martin en prenant une direction N-S. Plus au nord, cette structure semble se raccorder au front de chevauchement alpin qui borde l'est du bassin de Crest. Il est responsable de la formation de l'anticlinal sur rampe de la montagne de la Briesse, bien visible dans la cluse de la Rimandoule.
- le **chevauchement de Puy-St-Martin** : orienté N150°E, il est reconnu en sismique au droit du Poët-Laval et observé en surface vers le nord dans les calcaires du Turonien, notamment au niveau du col du Châtelard. Il se prolonge dans la plaine de la Valdaine en passant entre Cléon-d'Andran et Puy-St-Martin, il recoupe la faille de Soyans vers Charols.

La **faille de Gourjeasses** orientée N090°E est interprétée comme une faille décrochante et conjuguée du chevauchement de Rochebaudin.

La **faille de Bessones**, elle aussi orientée N090°E se raccorde à la faille de Soyans. D'après les mesures de stries sur des plans de failles N090°E dans les calcaires en bordure du Roubion, elle a une cinématique décrochante avec une composante normale.

Ce schéma structural est cohérent avec les mesures d'orientation de fractures, de plan de failles et de pendages des bancs réalisés sur le terrain ainsi qu'avec l'imagerie géophysique. Il permet de définir des blocs structuraux et d'ainsi compléter l'interprétation du toit des calcaires sous couverture le long des profils.

De cette analyse on retiendra que :

- la faille de Soyans est une faille de socle qui rejoue à chaque épisode tectonique. Elle compartimente le réservoir barrémo-bédoulien a minima dans le tronçon Soyans - Manas par juxtaposition avec les marnes de l'Aptien-Albien et du fait de la minéralisation de sa zone d'endommagement. L'effet barrière de cette structure dans son tracé sous couverture entre Charols et Allan est probable.
- la faille de Soyans et les deux chevauchements délimitent un bloc structural où le toit des calcaires barrémo bédouliens pente doucement vers l'ouest et est relativement peu profond. Dans le secteur de Pont-de-Barret il serait à une cote d'environ -25 m NGF (soit 275 m sous la surface) et 2 km à l'ouest d'Eyzahut à environ -175 m NGF (soit 475 m sous la surface).
- le toit des calcaires s'approfondit franchement dans le compartiment NO de la faille de Soyans vers Puy-St-Martin et en direction du synclinal de Dieulefit au sud d'Eyzahut.
- dans le compartiment compris entre la faille de Soyans, le chevauchement de Puy-St-Martin et La-Bégude-de-Mazenc le toit des calcaires se situe à environ -250 m NGF et forme une structure relativement tabulaire.

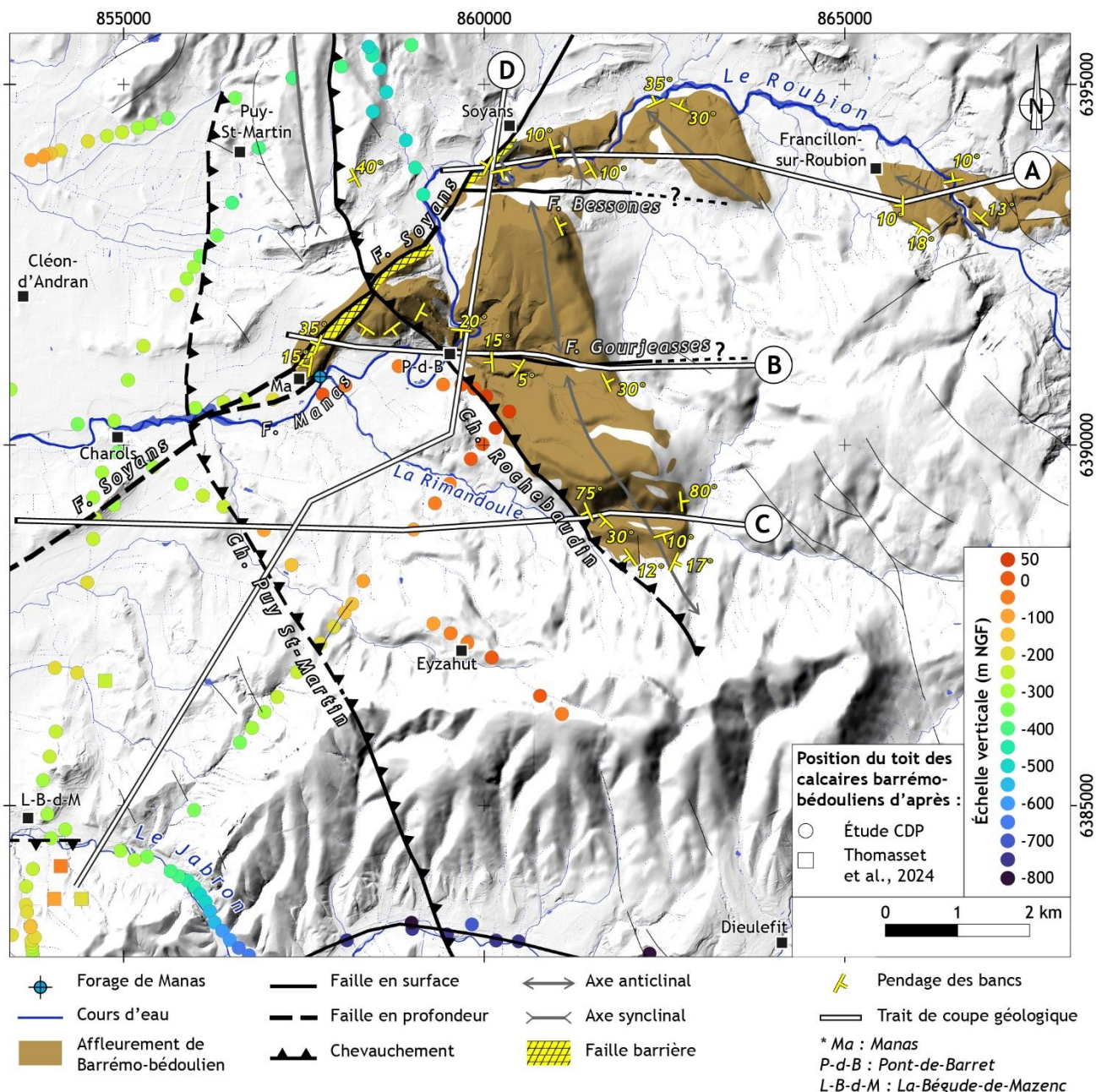


Figure 35 : Carte synthétique des structures géologiques du secteur Haut-Roubion / Est Plaine de la Valdaine et de la position du toit des calcaires modifié d'après CDP Consulting (2025) et Thomasset et al. (2024) . Localisation des traits de coupes géologiques.

Ces coupes géologiques sont situées dans un secteur où l'épaisseur des calcaires Barrémo-bédoulien n'est pas reconnue en forage et où on s'attend à avoir des variations d'épaisseurs considérables liées à l'environnement de dépôts de la série carbonatée. En effet, ici les calcaires du Barrémo-Bédoulien correspondent au faciès bioclastique associés à des corps sédimentaires lenticulaires (lobes turbiditiques) (cf. 3.2, Figure 4). D'après la littérature, les variations d'épaisseur sont en partie guidées par la réactivation des failles de socles orientées NE-SO, donc ici la faille de Soyans (Ferry et al., 2023; Ferry, 2017). Ainsi, les épaisseurs sur les coupes géologiques sont estimées à partir des indications qualitatives et quantitatives de la littérature et des observations de terrain mais restent malgré tout soumises à d'importantes incertitudes.

Le toit des calcaires barrémo-bédouliens dans les sections sous couverture est tracé d'après les profils de sismique réflexion. Il est important de garder à l'esprit que bien qu'issus de l'imagerie géophysique ces profondeurs sont issues de calculs réalisés à partir de modèles de vitesses qui comportent des incertitudes.

Coupe A : Soyans -Grand Quinson- Francillon-sur-Roubion

La coupe A intersecte la faille de Soyans et les plis où affleurent les calcaires du Barrémo-Bédoulien dans le cours du Roubion (Figure 37).

Plusieurs anticlinaux de faible amplitude en forme de dôme se succèdent d'est en ouest. Les axes de plis orientés ENE-OSO à Francillon-sur-Roubion tendent à se paralléliser avec l'accident de la faille de Soyans vers l'ouest. Ces structures anticlinales accueillent des circulations de fluides hypogènes probablement associés au fonctionnement de la faille de Soyans. Les surfaces de cryptoaltération (S400 et S430) qui marquent le plancher des paléo-poljés emboîtés s'installent au toit de l'anticlinal de Francillon-sur-Roubion et retouche la surface structurale qui forme le versant est du Grand Quinson. Ces aplanissements sont des marqueurs d'un paléo-niveau de base stabilisé vers 400 m d'altitude.

Le réseau de Baume Sourde et Baume Claire est projeté sur la coupe, on note que :

- la position du niveau d'eau dans l'entrée de la Baume Claire marqué par une encoche horizontale (cf. 5.1.3) correspond à l'altitude de l'aplanissement de la SAP.
- ce réseau témoigne de l'organisation d'un paléo-système de drainage entre une zone de recharge à Francillon-sur-Roubion et une zone de restitution sur le flanc ouest du Grand Quinson fonctionnant avant l'incision du canyon du Roubion.
- la rivière souterraine donne une indication du niveau piézométrique actuel situé à environ 240 m NGF soit 40 - 50 m sous le cours du Roubion.

À l'ouest, la faille de Soyans juxtapose l'imperméable de l'Albien-Aptien avec la totalité du réservoir du Barrémo-Bédoulien, ce qui en fait une barrière pour les circulations vers l'ouest et force les écoulements à bifurquer vers le sud. Les nombreux conduits karstiques colmatés (ou non) attestent du caractère drainant de la zone d'endommagement le long du plan de faille.

Coupe B : Replats de Manas - Pont-de-Barret - paléo vallée perchée - Serre la Pigne

La coupe B recoupe les failles de Soyans et de Manas, ainsi que le chevauchement de Rochebaudin, puis intersecte à deux reprises la faille de Gourjeasses subparallèle au trait de coupe (Figure 37). L'épaisseur des calcaires du Barrémo-Bédoulien varie latéralement et atteint un maximum au droit de Pont-de-Barret.

Le relief calcaire au nord de Manas correspond à un bloc perché et coincé entre les failles de Soyans et de Manas par un mouvement décrochant. Ce bloc est bréchifié et cimenté par des minéralisations de calcite (cf. 5.1.1). Cette structure constitue une barrière hydraulique en juxtaposant le réservoir avec les imperméables de l'Aptien-Albien et de l'Hauterivien. Le bloc pris entre ces deux failles est hydrauliquement isolé du bloc est et empêche la recharge du bloc abaissé à l'ouest. Le forage de Manas, situé une centaine de mètres au sud du trait de coupes est implanté dans le bloc compris entre les deux failles de Soyans et de Manas (Figure 36). Bien que de nombreux indices karstiques soient recoupés, ce forage est situé dans le compartiment hydrauliquement déconnecté des apports provenant des pertes du Roubion. Ce forage atteste du rôle de barrage lithostructural de la faille de Manas mais aussi de la capacité des zones d'endommagements de ces structures à autoriser et entretenir les circulations de fluides dans la direction du plan de faille.

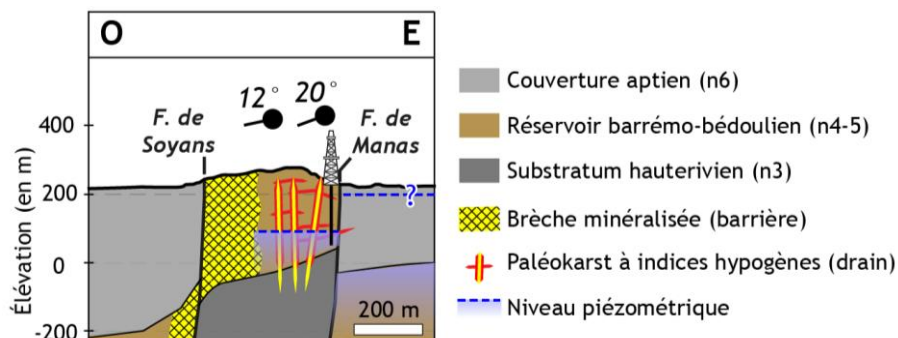


Figure 36 : Configuration géométrique du forage de Manas. Ce forage est implanté dans le bloc compris entre les failles de Soyans et de Manas, bien que des indices karstiques soient recoupés il se situe dans un compartiment hydrauliquement isolé.

À l'est de Pont-de-Barret, le réservoir calcaire forme un anticlinal sur rampe qui chevauche vers l'ouest les marnes de l'Aptien-Albien, conduisant à un doublement de la série barrémo-bédoulienne à Pont-de-Barret. Vers l'ouest, le réservoir s'enfonce sous les marnes de l'Aptien-Albien dans une structure synclinale et son épaisseur diminue.

En surface, on remarque que le Serre la Pigne constitue l'amont de la paléo vallée perchée du col de Gourjeasses. La paléosurface qui passe par ces deux points suit une forme de profil en long de rivière qui vient se raccorder à l'ouest au replat à 350 m de Manas ; elle est interprétée comme anté-messinienne. Cette surface est perchée par rapport à la surface d'abandon pliocène (SAP) marquée par le replat à 300 m recouvert par des dépôts résiduels de Pliocène continental. Cette disposition géométrique indique que :

- avant le Messinien, un réseau hydrographique circulait sur la montagne de Briesse depuis une zone amont dans les reliefs d'Aptien-Albien à l'est, vers la plaine de la Valdaine à l'ouest.
- pendant le Pliocène, le niveau de base s'est stabilisé à 300 m d'altitude dans la plaine de la Valdaine au contact avec les reliefs calcaires qui limitent le secteur du Haut-Roubion.
- pendant le Quaternaire, la paléo vallée de Gourjeasses est déconnectée de son amont par une vallée périphérique qui découvre le flanc est de la Montagne d'Eson.

Le niveau piézométrique dans ce secteur n'est pas mesuré, mais d'après l'analyse de la coupe D, il devrait se situer vers 220-200 m NGF ce qui induit un aquifère captif dans les calcaires sous couverture.

Coupe C : Charols - Rochebaudin - cluse de la Rimandoule

La coupe C intersecte la faille de Soyans et le chevauchement de Puy-St-Martin masqués par la couverture quaternaire ainsi que le chevauchement de Rochebaudin qui borde l'est de la Montagne de Briesse. Pour illustrer la structure de la montagne de Briesse et les terrains traversés par la Rimandoule, deux profils topographiques parallèles sont dessinés sur la même coupe (Figure 37) :

- au premier plan le profil topographique passant dans la cluse de la Rimandoule (trait noir),
- au second plan le profil topographique passant par l'escarpement de crête de la Serre de Briesse (trait gris et couleurs estompées).

Cette coupe intersecte la même structure anticlinale que la coupe B. L'extrémité sud de cet anticlinal sur rampe montre une géométrie 'coffrée' avec des flancs très raides et une partie centrale relativement plane. Vers l'est les calcaires s'approfondissent sous le synclinal à cœur aptien-albien. Vers l'ouest, les calcaires plongent avec une pente faible jusqu'à atteindre -100 m NGF puis s'approfondissent encore par le jeu du chevauchement de Puy-St-Martin et de la faille de Soyans. On note l'amincissement de l'intervalle calcaire vers l'ouest lié au passage latéral de faciès depuis le faciès bioclastique au faciès pélagique (Figure 4).

Les indices de circulation hypogène sont observés dans le bloc supérieur du chevauchement de Rochebaudin principalement sur le flanc ouest de l'anticlinal. Dans la cluse de la Rimandoule, on observe :

- dans le flanc est : des bancs minéralisés qui restent en relief par érosion différentielle,
- dans la partie centrale de l'anticlinal : des calcaires intensément fracturés et des fantômes de roches en place,
- dans le flanc ouest : des paléokarsts à indices de circulations hypogènes et à spéléothèmes, des conduits paléokarstiques qui remanient le fantôme de roche.

Ces observations montrent que les circulations de fluides hypogènes provenant du chevauchement de Rochebaudin développent des conduits à proximité de la zone de faille, c'est-à-dire préférentiellement sur le flanc ouest. Ces fluides hypogènes sont aussi le moteur de l'altération chimique par diffusion des calcaires (fantôme de roche).

La butte du col de la Grosse Pierre montre la position de la surface d'érosion messinienne sur les marnes de l'Aptien et scellée par les dépôts du Pliocène. On note que l'incision messinienne est en inversion de relief et que le remplissage pliocène qui la scelle signe l'amont d'un réseau hydrographique (cf. 5.2.3). Cet exemple illustre l'absence de canyon du Roubion au Messinien.

Les dépôts du Pliocène sont tronqués par une terrasse quaternaire.

Le niveau piézométrique est inconnu sous la Rimandoule et dans la plaine de la Valdaine. On suspecte des pertes importantes de la Rimandoule, particulièrement dans le flanc ouest de l'anticlinal, à vérifier.

Coupe D : Soyans - Pont-de-Barret - Charols - La-Bégude-de-Mazenc

La coupe D intersecte l'ensemble des accidents majeurs identifiés et fait le lien entre toutes les autres coupes (Figure 38).

Pour illustrer la structure de la montagne d'Eson et les terrains traversés par le Roubion, deux profils topographiques parallèles sont dessinés sur la même coupe (Figure 38) :

- au premier plan (trait noir) le profil topographique passant au niveau du Roubion à Pont-de-Barret,
- au second plan (trait gris et couleurs estompées) le profil topographique passant par l'escarpement du château de Soyans et par la bordure est de la Montagne d'Eson.

La faille de Soyans juxtapose l'imperméable de l'Aptien-Albien avec le réservoir barrémien ce qui barre les circulations hydrauliques vers l'ouest et empêche l'alimentation du compartiment abaissé.

À Pont-de-Barret, le chevauchement de Rochebaudin met en contact la partie supérieure du réservoir barrémo-bédoulien avec l'imperméable de l'Aptien-Albien tout en préservant une connexion avec la partie sous-couverture du réservoir. En surface, aucune source karstique n'est identifiée le long de cet accident, on en déduit que cette structure autorise les circulations entre les compartiments.

Entre le chevauchement de Rochebaudin et celui de Puy-St-Martin, le toit des calcaires pend doucement vers le sud-ouest. Entre le chevauchement de Puy-St-Martin et La-Bégude-de-Mazenc, les calcaires se situent à une cote de -250 m NGF et suivent une structure relativement tabulaire.

La surface d'abandon pliocène (SAP) identifiée au nord et au sud de la Montagne d'Eson est perchée par rapport au cours du Roubion. Pour rappel, la percée cataclinale du Roubion qui permet de traverser la Montagne d'Eson est une évolution récente du système de drainage. Avant son incision, l'eau s'infiltrait au contact marnes - calcaires pour traverser le relief marqué par la montagne d'Eson et la Montagne de Ste-Euphémie et rejoindre la plaine de la Valdaine.

Le niveau piézométrique est à 230 m NGF dans les calcaires barrémo-bédouliens à Soyans. D'un point de vue géométrique le compartiment réservoir au nord de la faille de Bessonnes est hydrauliquement connecté au compartiment de Pont-de-Barret, donc le niveau piézométrique à Pont-de-Barret devrait être à une cote de 220 - 200 m NGF et passer en aquifère captif dans le réservoir sous couverture.

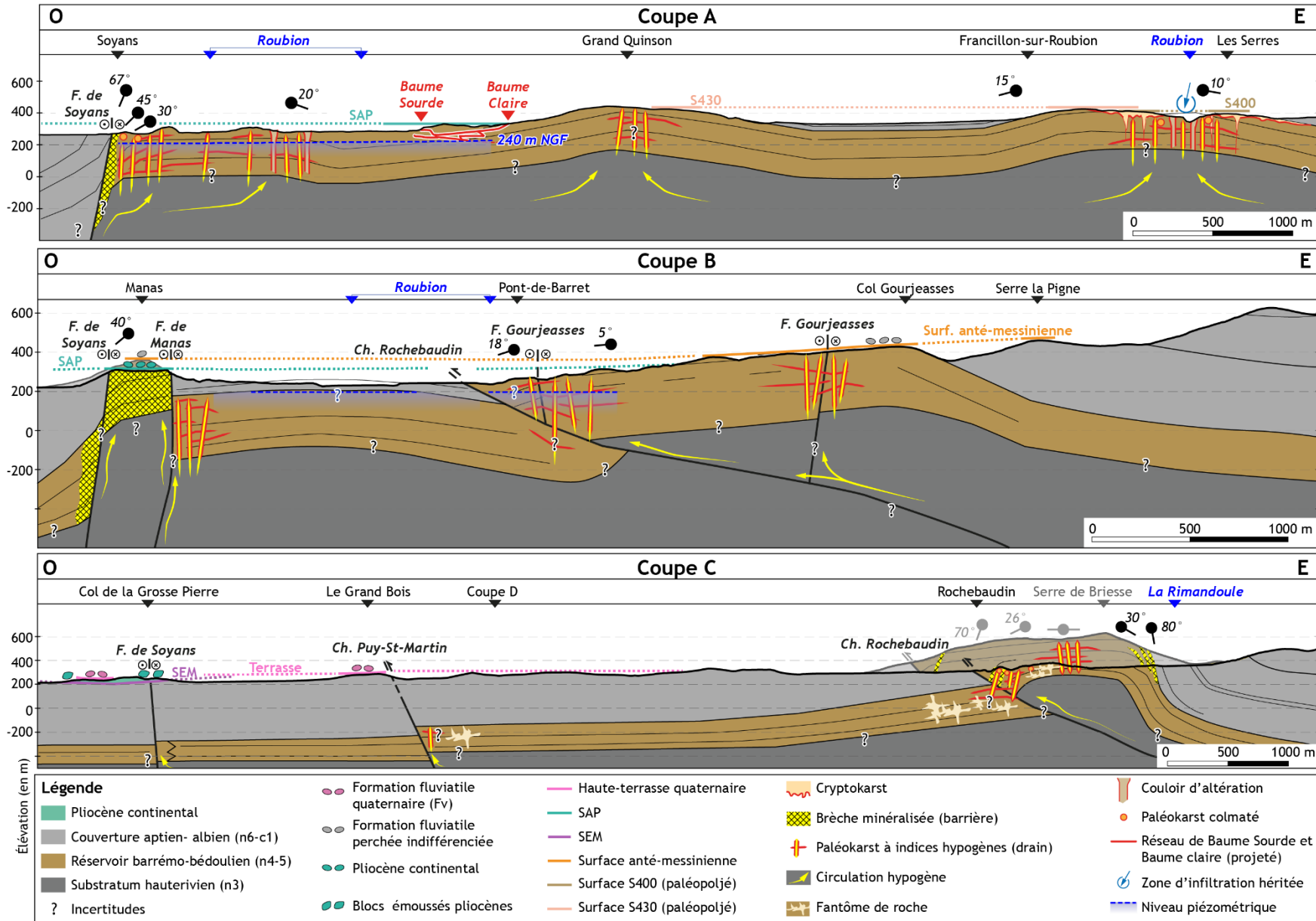


Figure 37 : Coupes géologiques A, B et C orientées E-O. Localisation des traits de coupes en Figure 35.

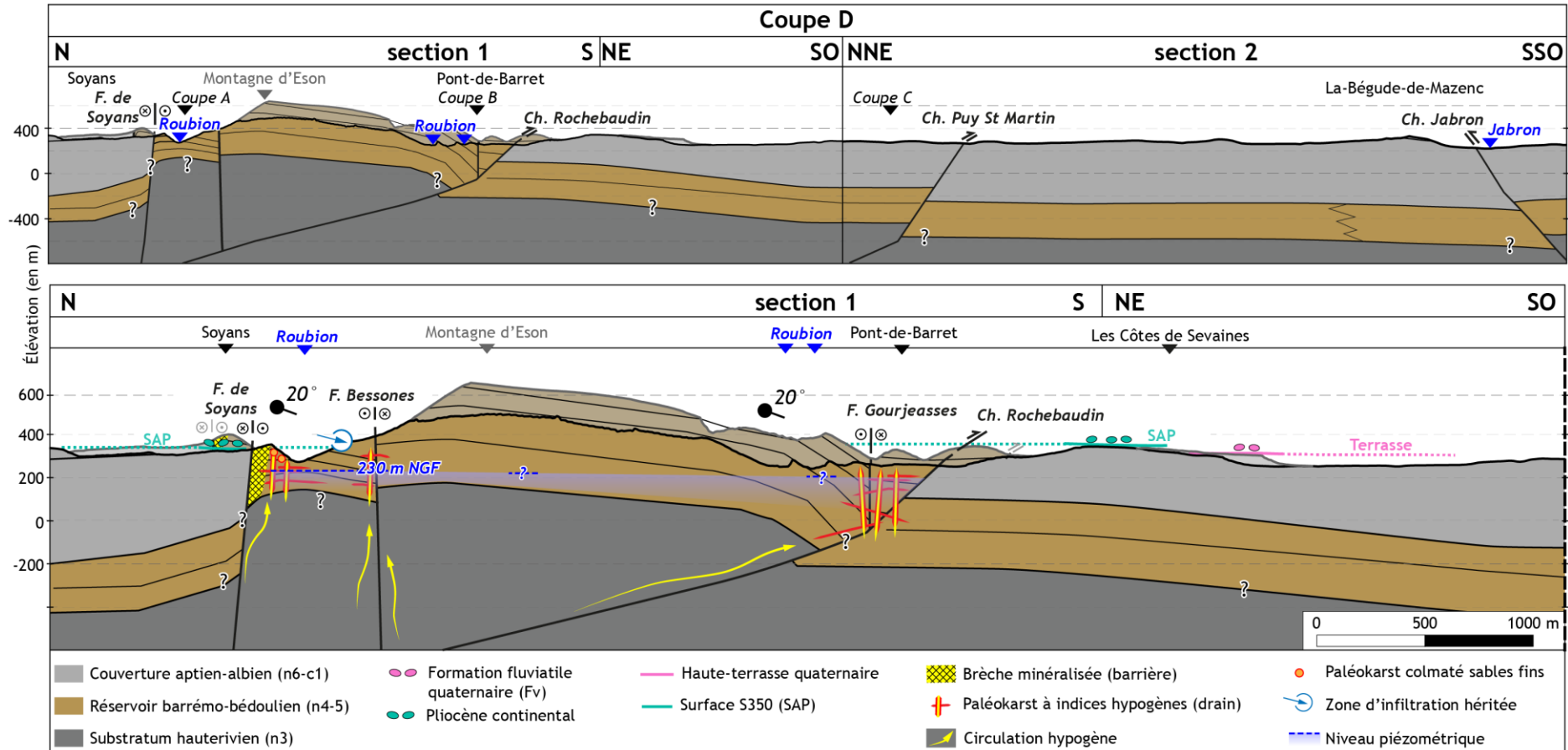


Figure 38 : Coupe géologique D passant par Soyans, Pont-de-Barret, Charols et la Bégude-de-Mazenc. La coupe D est divisée en deux sections, la première dans le secteur de Pont-de-Barret et la deuxième traverse essentiellement un secteur sous-couverture qui permet de faire le raccordement avec la coupe E. Les observations morphokarstiques sont replacées sur un agrandissement à l'échelle de la section 1. Localisation du trait de coupe en Figure 35.

6.1.1. Secteur de Puygiron

Le secteur de Puygiron correspond au relief de calcaires barrémo-bédouliens bordant le sud de la plaine de la Valdaine. Il est affecté principalement par le chevauchement du Roubion observé en sismique (CDP Consulting, 2025) et l'anticlinal de Puygiron orientés E-O qui sont des structures pyrénéennes. D'après la littérature, ce secteur serait aussi affecté par la faille de socle de Soyans d'orientation cévenole qui se poursuit jusqu'à Allan en passant par Espeluche.

Coupe E : La-Bégude-de-Mazenc - forages de la Touche et Piérougier -Notre-Dame-de-Monceau - Malataverne

La coupe E suit l'axe de l'anticlinal de Puygiron parallèlement au Roubion puis bifurque vers le sud-ouest au niveau des carrières de Puygiron pour rejoindre Malataverne (Figure 34). Cette coupe passe par les forages 'la Touche' et 'Piérougier' du SIEBRC. Cette coupe est présentée dans son ensemble en respectant l'échelle est subdivisée en 2 sections une E-O et une NE-SO pour visualiser les éléments du diagnostic karstologique (Figure 39). Pour illustrer la morphologie de la topographie du relief au sud de Puygiron et les terrains traversés par les forages sur la section 1, deux profils topographiques parallèles sont dessinés sur une même coupe :

- au premier plan (trait noir) le profil topographique passant au nord par le forage de la Touche,
- au second plan (trait gris et couleurs estompées) le profil topographique passant au sud par le sommet du relief au sud de Puygiron.

La base du forage de la Touche atteint quasiment la base du réservoir barrémo-bédoulien, ce qui nous indique une épaisseur minimale de 350 m.

La terminaison de l'anticlinal de Puygiron est marquée par une flexure importante et très localisée qui permet aux calcaires barrémo-bédouliens situés à -400 m d'atteindre la surface topographique sur une courte distance.

Le long de la section 1, l'axe de l'anticlinal de Puygiron est légèrement perturbé par plusieurs structures N-S qui segmentent le réservoir. Au droit de Puygiron, les relevés structuraux suggèrent le passage d'une faille orientée N020E qui décale l'axe de l'anticlinal vers le nord dans le compartiment ouest. À titre d'hypothèse nous attribuons cette structure au faisceau de faille de Soyans.

Vers le sud-ouest (section 2) la géométrie des calcaires est contrainte uniquement par la carte du toit du Barrémien publiée dans la littérature (Thomasset et al., 2024). La géométrie dans le détail de cette structure est à approfondir mais l'élément principal à retenir est l'intersection du toit des calcaires par le canyon messinien du Rhône à Malataverne à environ -200 m NGF. Ce point bas correspond au point le plus bas connu où le réservoir calcaire est recoupé par la surface d'érosion messinienne, il s'agit d'un exutoire potentiel du système karstique pendant le Messinien.

Les calcaires du Barrémo-Bédoulien sont affectés sur toute leur épaisseur par des couloirs d'altération qui s'espacent d'environ 300 m. Les paléokarsts à indices de circulation hypogène sont observés sur le terrain particulièrement dans la partie ouest de l'anticlinal de Puygiron mais sont susceptibles d'exister dans l'ensemble de la structure, de par la proximité avec le chevauchement du Jabron.

Le réservoir est tronqué par une surface plane à 300 m sur laquelle repose des argiles à chailles témoignant d'une intense altération cryptokarstique antérieure à l'épisode d'érosion messinien.

La surface d'érosion messinienne est reconnue dans le secteur de Piérougier, elle est scellée par les formations continentales à blocs du Pliocène. Le flanc ouest de la butte de Piérougier est un versant d'un paléo-talweg (paléo-reculée ?) dans lequel des blocs allochtones de plusieurs m³ ont basculé. La profondeur de l'incision de ce talweg du ruisseau de Citelles reste inconnue à ce stade. On sait par ailleurs que ce talweg est associé à une anomalie gravimétrique négative qui recoupe orthogonalement le relief calcaire qui lui signe une anomalie gravimétrique positive (Thomasset et al., 2024).

Le niveau piézométrique mesuré dans le forage de la Touche à 75 m NGF correspond au niveau d'écoulement du Jabron et du Roubion à Montélimar, suggérant qu'à cet endroit le réservoir du Barrémo-Bédoulien est connecté à la nappe alluviale de la plaine de la Valdaine qui se raccorde au canal de dérivation du Rhône. En



revanche, dans le forage de Piérougier situé sur le flanc sud de l'anticlinal de Puygiron, le niveau piézométrique est mesuré à 64 m NGF et correspond davantage au niveau piézométrique mesuré dans les forages à Malataverne et au niveau d'écoulement du Rhône à Viviers pourtant situé plusieurs kilomètres en aval. Ceci indique une importante connectivité du réservoir karstique entre Piérougier et Malataverne qui témoigne de l'héritage du Messinien sur l'organisation du système de drainage karstique. Cette hypothèse est soutenue par les comportements piézométriques similaires entre les forages de Malataverne et celui de Piérougier (Geoplus, 2002).

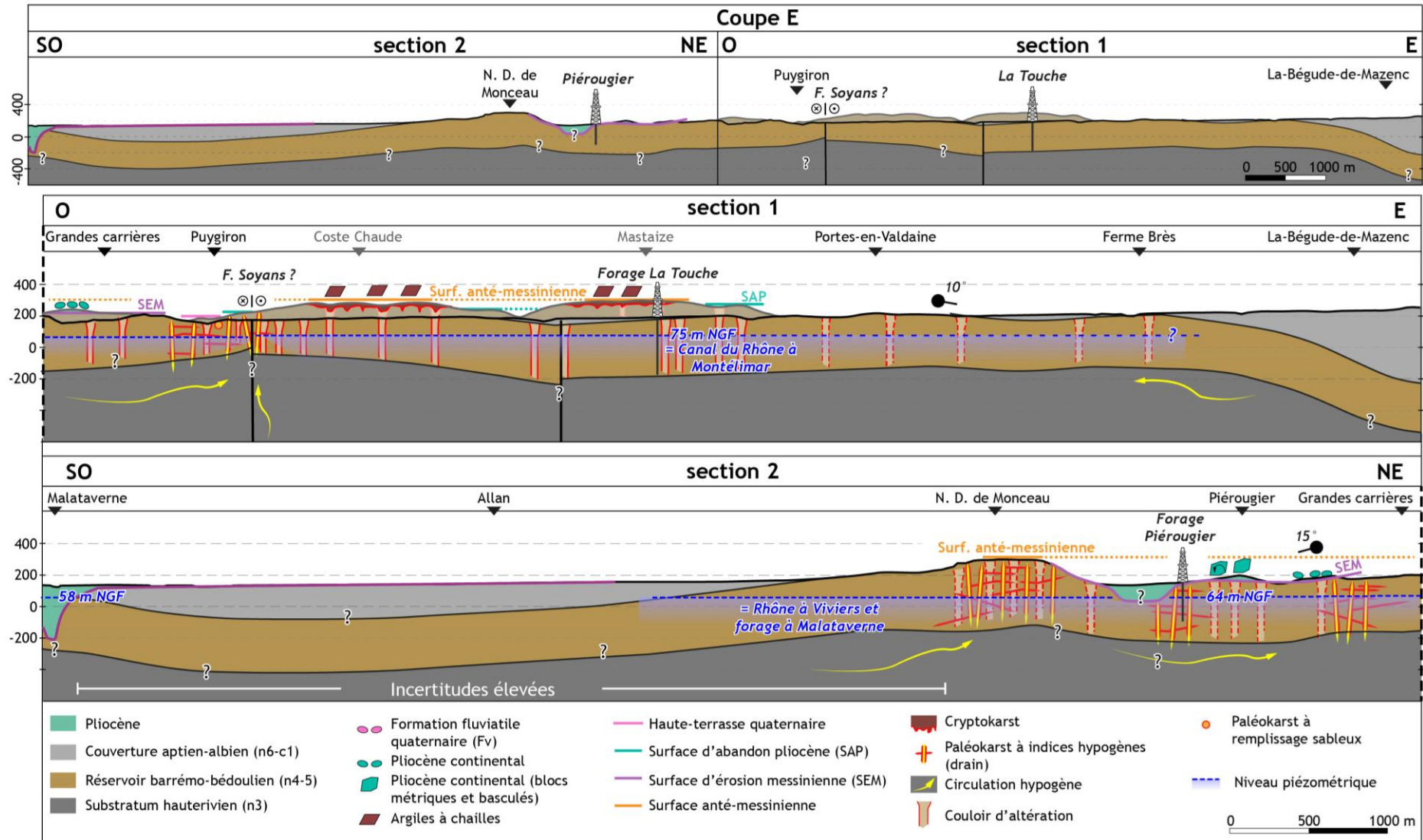


Figure 39 : Coupe géologique E passant par la Bégude-de-Mazenc, les forages de la Touche et de Piérougier et la butte Monceau. Localisation du trait de coupe en Figure 34.

6.2. Apports concernant la géométrie et l'organisation du réservoir karstique

La compilation des résultats de l'analyse géophysique de la phase 1 avec les données de la littérature et les données structurales acquises en surface permet de construire un schéma structural cohérent à l'échelle de la plaine de la Valdaine. Ce schéma offre un cadre structural à l'interprétation de la géométrie du toit des calcaires sous couverture et nous permet de spatialiser les configurations géométriques du réservoir barrémo-bédoulien plus ou moins favorables au développement du réservoir karstique.

La faille de Soyans traverse la totalité de la zone d'étude, depuis la zone sud du synclinal de Saou jusqu'à Allan. Cet accident joue un rôle structurant majeur dans l'organisation du réservoir karstique car elle :

- contrôle les variations latérales de faciès dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien et donc les propriétés pétrophysiques initiales du réservoir, avec à l'ouest des calcaires marneux (faciès pélagique) et à l'est des calcaires bioclastiques (plus poreux et perméables),
- juxtapose les compartiments réservoirs avec les intervalles imperméables par abaissement du bloc ouest, particulièrement entre Soyans et Manas,
- autorise les remontées de fluides hypogènes qui minéralisent le cœur de la zone de faille et karstifient en périphérie,
- offre des discontinuités utiles à la circulation d'eau dans la direction du plan de faille.

Ainsi, cette structure restreint la zone prospective à son compartiment est, qui contient l'ensemble des éléments favorables au développement d'un système karstique avec :

- une zone de recharge dans le Haut-Roubion dont le fonctionnement existe et est entretenu depuis plusieurs millions d'années ainsi que vraisemblablement dans la Rimandoule,
- celle-ci est connectée au réservoir sous couverture dans la plaine de la Valdaine directement à la sortie des reliefs dans un bloc relativement peu abaissé dont la géométrie guide les circulations vers l'anticlinal de Puygiron au sud,
- et vers une zone de restitution masquée située soit dans le talweg du ruisseau de Citelles soit dans le canyon messinien du Rhône à Malataverne.

Le secteur situé à l'ouest de la faille de Soyans est considéré comme moins favorable pour le développement d'un réservoir karstique et donc moins prospectif pour la recherche d'une ressource en eau puisque :

- la structure correspond à un monoclinale faiblement penté vers le sud-est qui ne facilite pas la connexion avec la zone de recharge du Roubion ou alors nécessite que l'eau transite à une profondeur importante,
- les calcaires sont peu épais et se présentent sous un faciès plus marneux avec des caractéristiques réservoirs moins favorables
- les calcaires se situent sous une épaisse couverture marneuse et sont a priori peu accidentée ce qui ne favorise pas leur altération par des processus hypogènes
- le toit des calcaires peut être recoupé par le canyon messinien du Rhône de manière très locale au niveau de Sauzet, mais cette configuration nécessite d'être confirmée.

7. ANALYSE MORPHODYNAMIQUE ET STRUCTURATION DU RÉSERVOIR KARSTIQUE

Les cartes morphokarstiques (Figure 40 et Figure 41) font la synthèse des éléments issus des déterminations structurales, morphosédimentaires et de la typologie des éléments géologiques et géomorphologiques considérés comme des indicateurs de phases de karstification qui affectent les calcaires du Barrémo-Bédoulien.

Cette synthèse cartographique permet d'illustrer l'analyse morphodynamique de la structuration karstique du réservoir barrémo-bédoulien, c'est-à-dire l'enchaînement des phases d'altération karstique qui concourent et aboutissent à l'organisation actuelle des structures karstiques assurant la recharge dans la zone d'infiltration et les circulations dans la zone de transfert.

7.1. Types de karstification et structuration karstique associée

Le diagnostic karstologique des reliefs bordant la plaine de la Valdaine et du Haut-Roubion a permis d'identifier plusieurs types de karstification jouant un rôle dominant dans la structuration du réservoir karstique barrémo-bédoulien. Il s'agit de :

- la karstification par remontées de fluides de type hypogène qui provoque la minéralisation des zones de failles et de certaines discontinuités karstiques ainsi que la formation de structures perméables par l'élargissement des fractures. Ces indicateurs de phases de circulation hypogène se localisent à proximité des principaux accidents et dans les zones d'extrados des plis où les circulations tirent parti de la fracturation associée. Ils soulignent aussi des couloirs de brèches issus de l'altération profonde ou encore des conduits et des cavités. Cette phase de circulation de fluides est sans doute relativement ponctuelle dans le temps, même s'il est possible qu'elle s'opère de façon récurrente ou en plusieurs occurrences sans rapport les unes avec les autres. Cette ou ces phases ponctuelles de fonctionnement hypogène impliquent un niveau de base haut dans le secteur qui se corrèle soit avec une phase d'activité tectonique, soit avec une ou plusieurs phases majeures de remontée de niveau de base (transgressions ?), ou à l'action conjointe de ces deux phénomènes. Par définition, ce type de karstification affecte le réservoir sur toute son épaisseur et peut se produire sous une couverture même épaisse. À terme, les structures de drainage ou de cloisonnement engendrées contrôlent les circulations hydrogéologiques postérieures, donc la structuration karstique dans la zone saturée.
- la karstification par fantômisiation particulièrement développée dans le réservoir barrémo-bédoulien du secteur de l'anticlinal de Puygiron et de la même manière dans le réservoir du Turonien de la vallée de Citelles mais qui se retrouve aussi dans le secteur de Rochebaudin et dans une moindre mesure à Francillon-sur-Roubion. Ce processus d'altération par diffusion se produit dans la zone noyée, sous l'effet d'un gradient hydraulique très faible et stable sur un temps long (plusieurs Ma). Dans un second temps, lors de l'instauration d'un gradient hydraulique suffisant pour évacuer les résidus d'altération (altérite) les structures en couloirs évoluent en couloirs de brèches de dissolution-effondrement. Ce type d'altération profonde forme des masses altérées stratiformes ou des couloirs verticaux qui peuvent affecter le réservoir sur toute son épaisseur. L'extension verticale de cette altération profonde reste incertaine mais l'association quasi systématique avec des indices de circulation hypogènes suggère que toute l'épaisseur du réservoir est concernée. Les structures en couloirs forment un maillage interconnecté qui constituent des discontinuités majeures au sein du réservoir qui concourent à l'organisation du drainage karstique à toutes les époques de l'évolution géologique et géomorphologique.
- la cryptoaltération est peu puissante dans le réservoir barrémo-bédoulien mais peut être un processus dominant dans la structuration du réservoir du Turonien dans le synclinal de Saou et de Dieulefit ou encore dans la vallée de Citelles. Ce processus affecte le réservoir barrémo-bédoulien sur le relief au sud de Puygiron et à Francillon-sur-Roubion. Dans le relief au sud de Puygiron la partie supérieure

du cryptokarst est tronquée, seules les structures d'altération profonde sont observées. La couverture d'argile à chailles entretient le fonctionnement du cryptokarst en redirigeant les circulations latéralement vers les zones d'infiltration dans les discontinuités qui se propagent au sein du réservoir, comme les couloirs d'altération profonde. À Francillon-sur-Roubion, la cryptoaltération se produit à l'apex d'un anticlinal sous une faible couverture de marnes de l'Aptien-Albien ou sous une couverture altéritique issues de la dissolution basale des calcaires barrémo-bédoulien liée à la mise en place d'un poljé. Ce cryptokarst s'exprime par des cryptodolines et des conduits de subsurfaces appelés karst d'interface (Pellegrin, 1997). L'ensemble peut entretenir une petite nappe plus ou moins temporaire drainée par infiltration verticale à la faveur de discontinuités qui se propagent au sein du réservoir (couloirs d'altération profonde, fractures, pertes karstiques).

- la karstification plus classique de type gravifique qui exploite significativement les discontinuités karstiques précitées et permet de les interconnecter dans des conditions de niveaux de base bas. Elles constituent l'aval drainage de systèmes karstiques suffisamment développés et organisés pour assurer le creusement de réseaux de galeries, comme celui de Baume Sourde et Baume Claire par exemple. Ce type de structuration s'inscrit dans une évolution relativement rapide et récente de l'histoire du secteur d'étude.

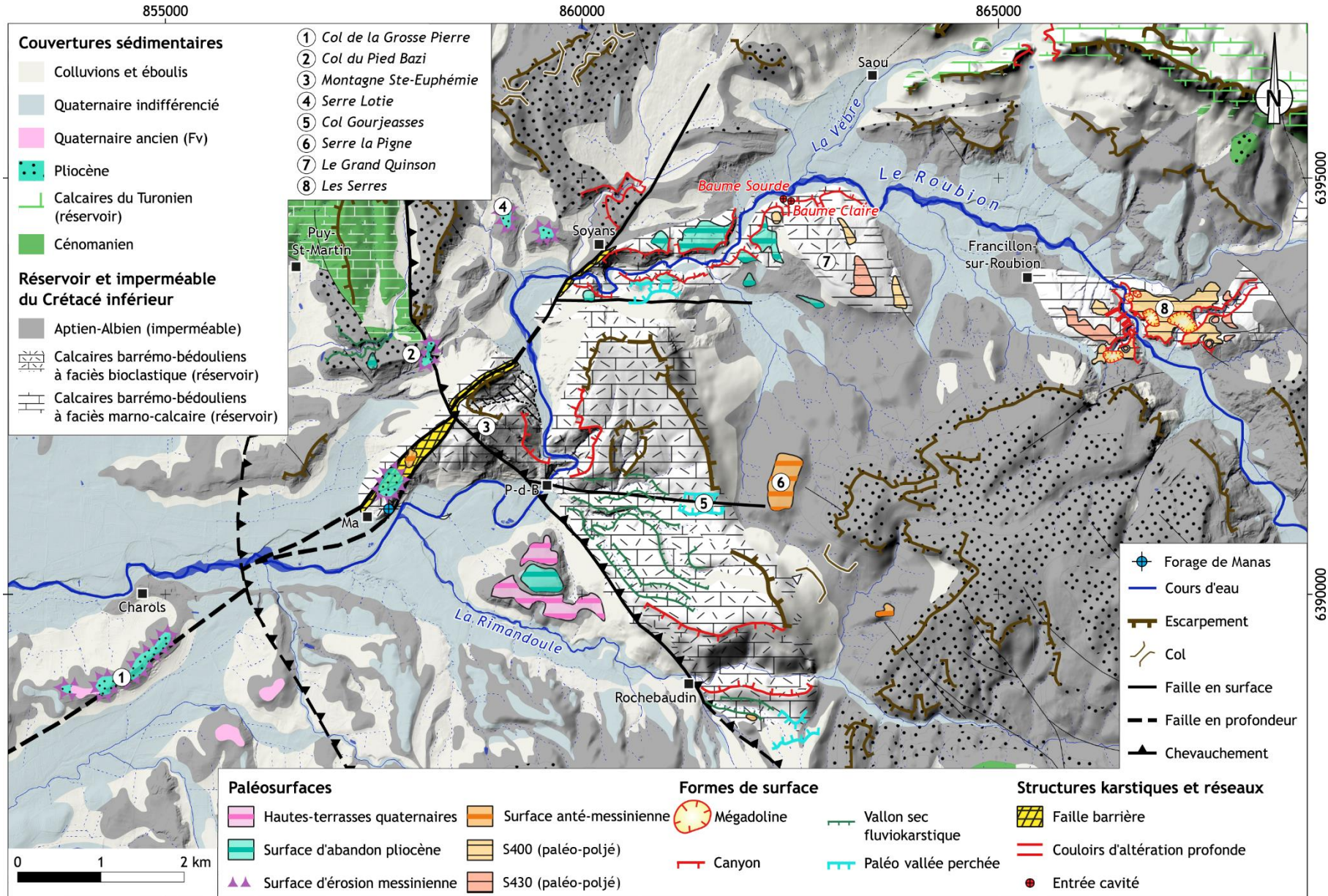


Figure 40 : Carte de synthèse morphokarstique du secteur du Haut-Roubion et de l'est de la Plaine de la Valdaine.

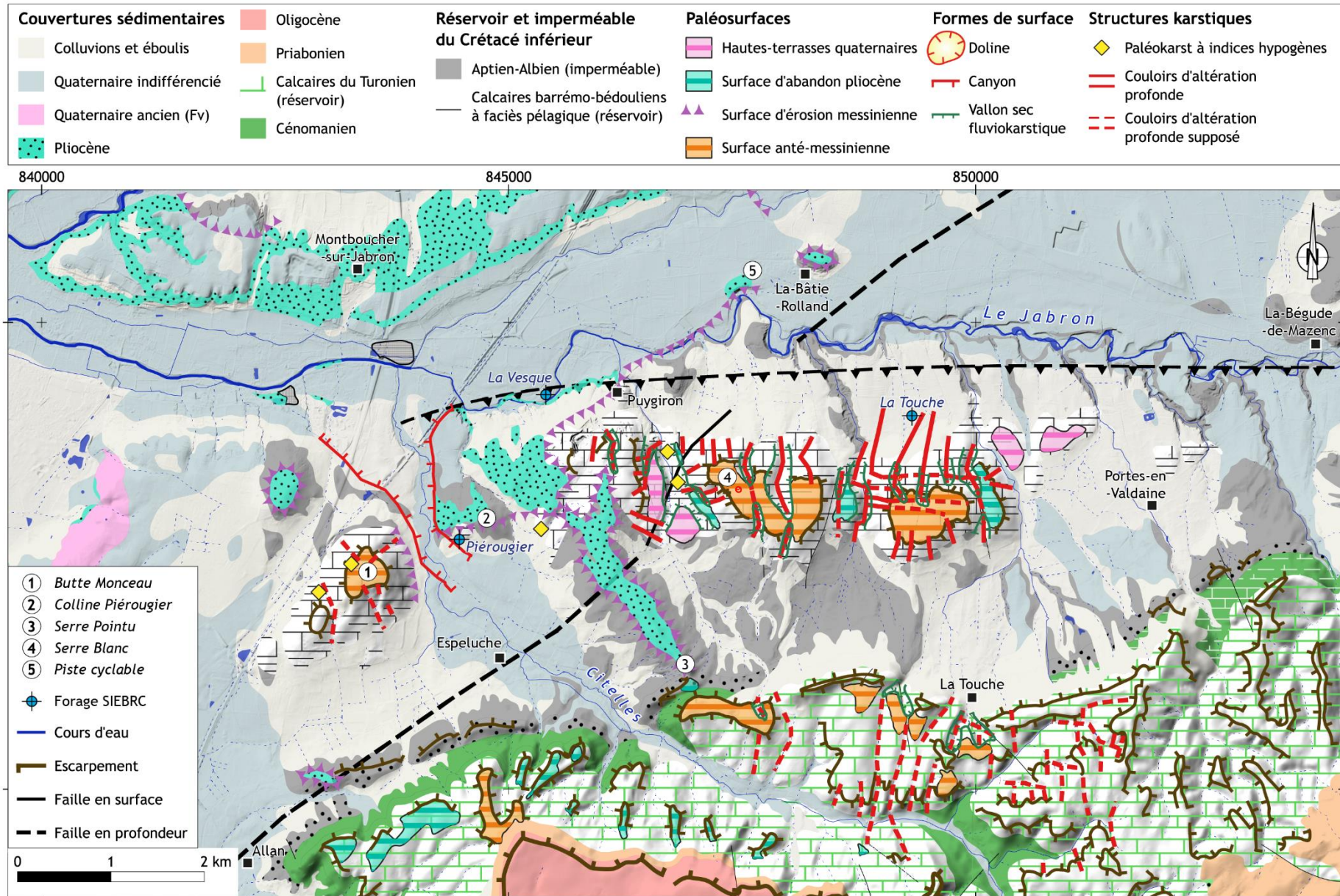


Figure 41 : Carte de synthèse morphokarstique du secteur de Puygiron et de la vallée de Citelles.

7.2. Phases de structuration karstique

Ces différents types de karstification, notamment du fait des processus dominants qui les commandent, correspondent à des phases de karstification qui s'expriment de façon différentielle en fonction de la variation du niveau de base au cours de l'évolution géodynamique du secteur d'étude (Figure 42) :

- la cryptoaltération et l'altération profonde des calcaires du Barrémo-Bédoulien et du Turonien dans le secteur de Puygiron - Citelles se produit sous une couverture de Crétacé supérieur et/ou Tertiaire dans des conditions de niveau de base haut et stable pendant une longue période (plusieurs Ma). Cette phase d'altération affecte l'anticlinal pyrénéen de Puygiron mis à niveau avec les calcaires du Turonien aussi pris dans une structure plicative pyrénéenne et conduit à la formation d'un maillage de couloirs d'altération orientés N-S et E-O. Cette première phase d'altération se produit vraisemblablement au cours du Priabonien et de l'Oligocène (35-23 Ma) et affecte uniquement le réservoir du barrémo-bédoulien dans le sud de la plaine de la Valdaine.
- Dans le secteur du Haut-Roubion il faudra attendre la fin des mouvements néogènes liés à l'orogénèse alpine (~10 Ma) pour mettre en place une grande dépression fermée de type poljé dans le secteur du Haut-Roubion. Ce poljé repose sur les marnes de l'Aptien-Albien et tronque le toit des calcaires du Barrémo-Bédoulien mis à l'affleurement par des structures plicatives. Il favorise la concentration des eaux en surface en lien avec un niveau de base relativement haut marqué par le fond du poljé. Ce niveau de base haut reste stable pendant une période suffisamment longue pour favoriser la dissolution basale et la progression latérale de la dissolution au toit des calcaires. L'absence de gradient hydraulique empêche la formation de réseau de drainage verticaux.
- Au cours de la crise de salinité messinienne (5,6 Ma), le niveau marin très bas force l'approfondissement des discontinuités karstiques et modifie le paysage en incisant de profonds canyons (~300 m) à l'extrémité ouest de la zone d'étude. Cette incision recoupe le toit des calcaires barrémo-bédoulien à Piérougier, au niveau de Malataverne ainsi que de manière très localisée et spéculative à Sauzet. L'incision ne se propage pas dans la plaine de la Valdaine dans l'axe d'un paléo-Roubion suggérant que l'ensemble du réseau de drainage passe en souterrain dans le karst, comme dans la vallée de l'Hérault (Audra et al., 2004; Camus, 2003). En effet, ce recoupement des calcaires barrémo-bédoulien introduit de nouveaux exutoires et soumet le réservoir karstique à un important gradient hydraulique. C'est particulièrement le cas dans le secteur de Puygiron où les structures d'altérations profonde préexistantes sont décolmatées selon une dynamique régressive depuis l'aval vers l'amont dans le réservoir barrémo-bédoulien et dans le réservoir du Turonien de la vallée de Citelles. D'un point de vue plus général, le gradient hydraulique vers le sud-ouest de la zone d'étude permet de raccorder le système de drainage du Haut-Roubion avec celui de Puygiron qui fonctionnait jusque-là de manière indépendante. Cette connexion se fait par réutilisation / réactivation des discontinuités karstiques d'origines hypogènes le long des accidents tectoniques majeurs (faille de Soyans, chevauchement de Rochebaudin, chevauchement de Puy-St-Martin chevauchement du Jabron). Ainsi, le karst du Haut-Roubion devient une zone de recharge du réservoir barrémo-bédoulien qui collecte l'ensemble des eaux circulant sur les marnes de l'Aptien-Albien dans le Haut-Roubion et les eaux évacuées du réservoir du Turonien de la forêt de Saou pour les restituer soit dans une reculée installée dans le cours de la paléo-Citelles à Piérougier, soit dans le fond du canyon à Malataverne.
- La remontée du niveau de base au Pliocène conduit à l'ennoiement en ria de l'incision messinienne à l'ouest de la zone d'étude. La sédimentation deltaïque dans cette ria comble l'incision et bouche les exutoires des systèmes karstiques mis en place précédemment. Dans la plaine de la Valdaine et le Haut-Roubion se déposent les termes continentaux du cortège sédimentaire du Pliocène qui marquent l'amont du réseau hydrographique. Au maximum d'aggradation, le niveau de base atteint la cote de 300 m au niveau de Pont-De-Barret au pied des reliefs calcaires du Barrémo-Bédoulien. La connexion entre le poljé de Francillon-sur-Roubion et le Grand Quinson est entretenue par le réseau

de Baume Claire qui se raccorde à la surface d'abandon pliocène au niveau de Soyans. Cette surface d'abandon marque la position d'un niveau de base haut stabilisé à cette altitude. L'infiltration dans le réservoir se fait dans la zone de bordure au contact avec les reliefs calcaires de la Montagne d'Eson. Ainsi, une partie du drainage passe en surface par le col du Pied Bazi et une partie s'infiltré à l'est de la faille barrière de Soyans dans la Montagne d'Eson, au niveau du passage actuel du Roubion. L'eau infiltrée dans le réservoir karstique à Soyans entretient les circulations vers le sud-ouest en direction du paléo-canyon et alimente un karst barré. Le système karstique à l'exutoire se réadapte pour répondre à cette modification du niveau de base.

- La dernière phase de structuration karstique est initiée par les oscillations climato-eustatiques du Quaternaire avec l'incision des canyons du Roubion et de la Rimandoule mais aussi les incisions du Jabron drainant le synclinal de Dieulefit vers l'ouest. La percée cataclinale du Roubion à Pont-de-Barret conduit à l'abandon de la vallée du col du Pied Bazi. Les vallées périphériques s'installent sur les flancs des anticlinaux dans le secteur du Haut-Roubion et révèle des surfaces structurales au contact calcaires / marnes. Dans la plaine de la Valdaine, cette incision s'inscrit dans les dépôts du Pliocène et les remanie. Les zones d'infiltration héritées persistent et entretiennent la connexion avec le réservoir karstique profond sous couverture dans la plaine de la Valdaine. L'incision quaternaire érode une partie du cortège sédimentaire deltaïque du Pliocène dans le paléo-canyon du Rhône, et permet de remplacer des argiles marines du Pliocène avec des dépôts continentaux fluviatiles du Pliocène. Ce remplacement de dépôts plutôt imperméable par des formations alluviales au contact des calcaires barrémo-bédouliens dans la zone de restitution peut favoriser et contrôler la position et la dynamique de transfert des eaux souterraines vers la nappe alluviale du Rhône.

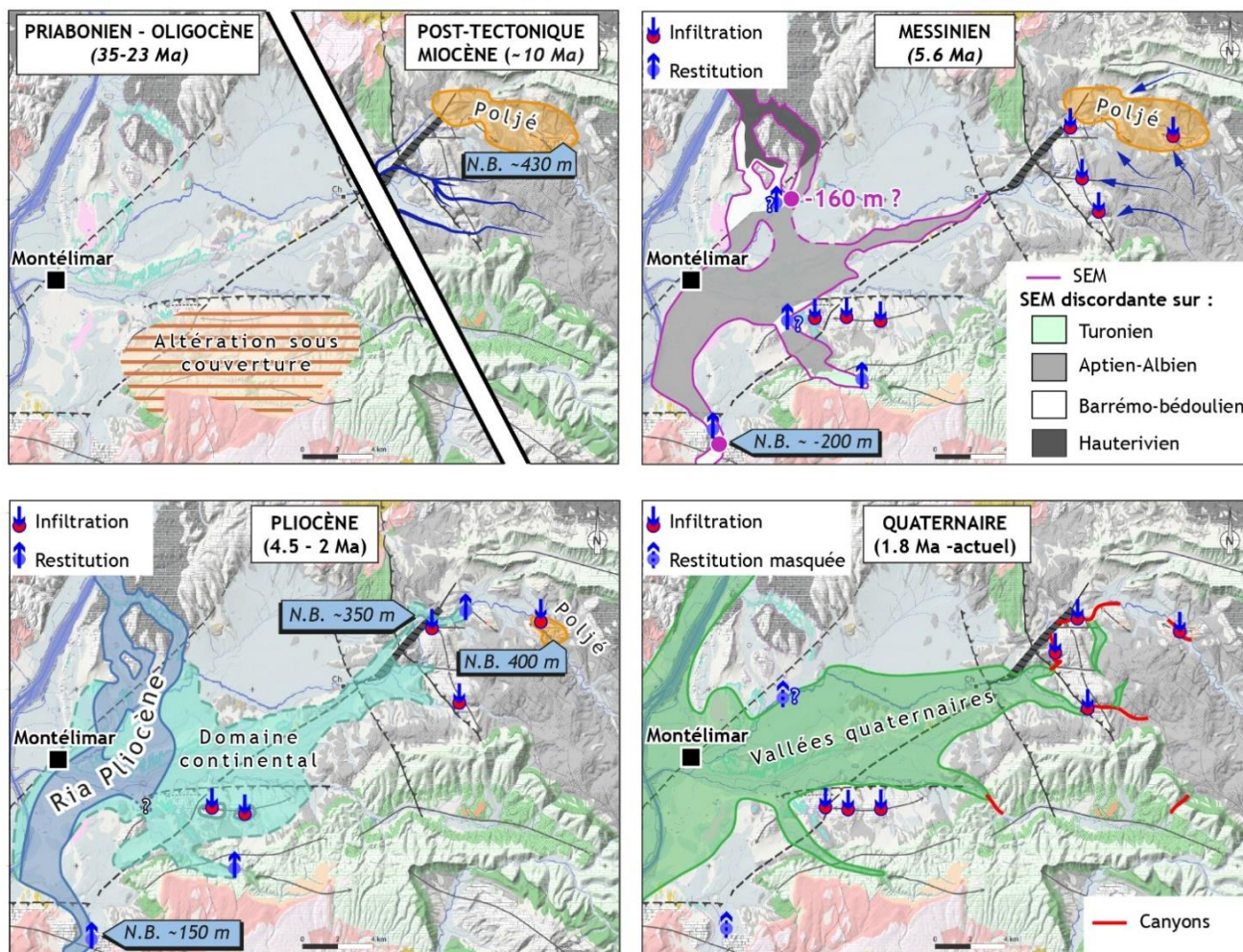


Figure 42 : Grande phases de structuration du réservoir karstique en lien avec les variations du niveau de base (N.B.) : 1- Secteur de Puygiron : altération sous couverture à partir du Priabonien-Oligocène. Secteur du Haut-Roubion : mise en place d'un poljé après le maximum de déformation alpine à la fin du Miocène. 2 - Connexion des systèmes karstiques du Haut-Roubion et de Puygiron suite à l'incision messinienne. 3 - Ennoïement en ria de l'incision messinienne et remontée du niveau de base conduit au blocage du réservoir et la formation d'un karst barré. 4 - Oscillations climato-eustatiques conduisent à l'incision des canyons dans le Roubion et la Rimandoule. Les zones d'infiltration et de transfert héritées sont conservées et entretenues.

8. IMPLICATIONS SUR LES CIRCULATIONS DANS LE RÉSERVOIR KARSTIQUE ET LA LOCALISATION DES RÉSERVES

Grâce à l'analyse morphokarstique des éléments caractéristiques reconnus sur le terrain et aux implications des données structurales et piézométriques, il est possible de proposer un modèle de la structuration karstique des chemins de drainage et de spatialisation des réserves en eau dans le réservoir karstique du Barrémo-Bédoulien.

8.1. Chemins de drainage souterrain actuel

Les chemins de drainage constituent des cheminements les plus pertinents assuré par le réseau de discontinuités karstiques qui assurent le flux d'eau en transit depuis un amont vers un aval. La carte des modalités d'infiltration et des chemins de drainage permet d'illustrer et d'analyser la spatialisation et le sens de drainage entre des blocs tectoniques à l'échelle de la plaine de la Valdaine et du Haut-Roubion (Figure 43).

Les chemins de drainage potentiels sont représentés par des flèches dont le graphisme représente :

- les flèches simples et pleines représentent un axe de drainage principal dont le sens d'écoulement / gradient hydraulique est avéré et permanent,
- les flèches plus fines et pointillées suggèrent des chemins de drainage secondaires probables mais qui nécessitent de plus amples informations pour être confirmés ou infirmés.

Dans le secteur d'étude, l'organisation et le fonctionnement du réservoir karstique barrémo-bédoulien sont contrôlés par :

- le cadre structural imposés par les accidents tectoniques pouvant agir comme des barrières aux écoulements par juxtaposition des réservoirs avec des imperméables ou par minéralisation du cœur de faille, comme la faille de Soyans sur le tronçon Soyans-Manas,
- la géométrie du toit du calcaire sous couverture qui va contrôler les chemins empruntés par les circulations souterraines en fonction des conditions hydrodynamique ; pour rappel, dans la partie sous couverture l'eau souterraine chemine par les points les plus hauts en direction de l'exutoire,
- les structures d'altération profonde localisées en périphéries des failles majeures ou le long des axes anticlinaux ; ces discontinuités impactent les capacités du réservoir en favorisant la perméabilité en grand de type karstique ou en constituant des zones plus capacitatives (augmentation de la porosité) capable de stocker et de restituer plus lentement l'eau souterraine,
- la position des zones de recharge et les modalités d'infiltration dans le réservoir ; ici il est rechargé principalement par les zones de pertes concentrées dans le Haut-Roubion et dans la Rimandoule ainsi que par une infiltration diffuse dans les reliefs de calcaires entourant la plaine de la Valdaine,
- la position des exutoires hérité de la période de plus bas niveau de base, c'est-à-dire le point le plus bas d'intersection entre le réservoir barrémo-bédoulien et l'incision messinienne, aujourd'hui masqué par les dépôts pliocène et/ou quaternaire.

On remarque que l'ensemble de ces éléments structurants cohabitent dans un large couloir NE-SO, situé au sud-est de la zone d'étude limité au nord-est par la faille de Soyans et au sud-est par le synclinal de Dieulefit. Il est probable qu'une certaine proportion des circulations souterraines infiltrées dans le Roubion traversent la faille de Soyans à son intersection avec le chevauchement de Puy-St-Martin en direction d'un exutoire potentiel à l'ouest au niveau de Sauzet. Toutefois, ce chemin reste secondaire et hypothétique de par le caractère incertain de l'intersection des calcaires barrémo-bédouliens par l'incision messinienne au niveau de Sauzet et donc de l'existence d'un exutoire à cet endroit.

8.2. Localisation des zones de réserves

Par zones de réserves on entend les volumes réservoirs qui se trouvent dans une configuration géométrique permettant de contenir une zone saturée en permanence que l'on peut appeler « karst noyé », sous-entendu « noyé sous le niveau de base ». Le karst contient d'autres zones saturées en permanence ou de manière temporaires dans les secteurs amonts. Les réserves sont rechargées par des flux d'eau transitant entre les zones d'infiltration et d'exutoire.

D'après données piézométriques disponibles et les coupes géologiques réalisées suite à l'interprétation des profils de sismique réflexion et à la cartographie de terrain, les compartiments situés dans la zone noyée en permanence se situent (Figure 43) :

- en position de nappe libre,
 - entre Francillon-sur-Roubion et Soyans,
 - sous la Montagne d'Eson, dans la partie basale du réservoir,
 - dans l'axe de l'anticlinal de Puygiron,
- en position de nappe captive,
 - dans la partie sud-est de la Plaine de la Valdaine, limité à l'ouest par la faille de Soyans selon un axe NE-SO passant par Manas, Charols et la Bâtie-Rolland,
 - dans la terminaison est du pli de Puygiron et dans le flanc sud sous couverture, entre Portes-en-Valdaine et Espeluche.

Le compartiment situé au nord-est de la faille de Soyans dans la plaine de la Valdaine n'est pas considéré comme une zone de réserve, car :

- l'alimentation par les infiltrations du Roubion est moins efficace que dans le compartiment sud-est de par le rôle de barrière de la faille de Soyans aux écoulements vers l'ouest, notamment sur le tronçon Soyans-Manas,
- le développement d'un réseau karstique améliorant considérablement la connectivité du réservoir est moins probable que dans le compartiment sud à cause de :
 - l'incertitude concernant le recoupement des calcaires par le canyon messinien à Sauzet,
 - l'épaisse couverture de marnes de l'Aptien-Albien et a priori l'absence d'accidents tectoniques majeurs qui immunise les calcaires barrémo-bédouliens d'une altération profonde et pervasive
 - et de manière générale, le manque de données concernant la géométrie du toit du calcaire sous-couverture et le manque d'affleurement permettant de statuer sur l'état d'altération des calcaires dans l'angle nord de la plaine de la Valdaine (Marsanne-Roynac).

Le volume des zones de réserves est difficile à estimer puisqu'il existe une grande incertitude quant à l'épaisseur des calcaires du Barrémo-Bédoulien. Néanmoins, en se basant sur les connaissances issues de la littérature, les données de forage et les observations de terrain, on peut établir les éléments suivants :

- ils atteignent un maximum d'épaisseur dans les reliefs encadrant Pont-de-Barret, avec environ 400 m de série à faciès bioclastique qui peuvent être surépaissies par le jeu des failles inverses,
- ils sont très peu épais au nord de la Plaine de la Valdaine, secteur de Marsanne, environ 50 m traversés en forage,
- ils ont une épaisseur minimale de l'ordre de 350 m dans l'anticlinal de Puygiron, d'après le forage de la Touche avec un faciès de calcaire de pente plutôt argileux.

En conséquence, les zones de réserves les plus intéressantes d'un point de vue prospectif se situent :

- dans le compartiment limité par la faille de Manas-Soyans, le chevauchement de Rochebaudin et celui de Puy-St-Martin, situé à la sortie des gorges du Roubion et de la Rimandoule,
- dans la terminaison est de l'anticlinal de Puygiron, au sud du chevauchement du Jabron, entre la-Bégude-de-Mazenc et Portes-en-Valdaine,
- dans le flanc sud de l'anticlinal de Puygiron entre Portes-en-Valdaine et Espeluche.

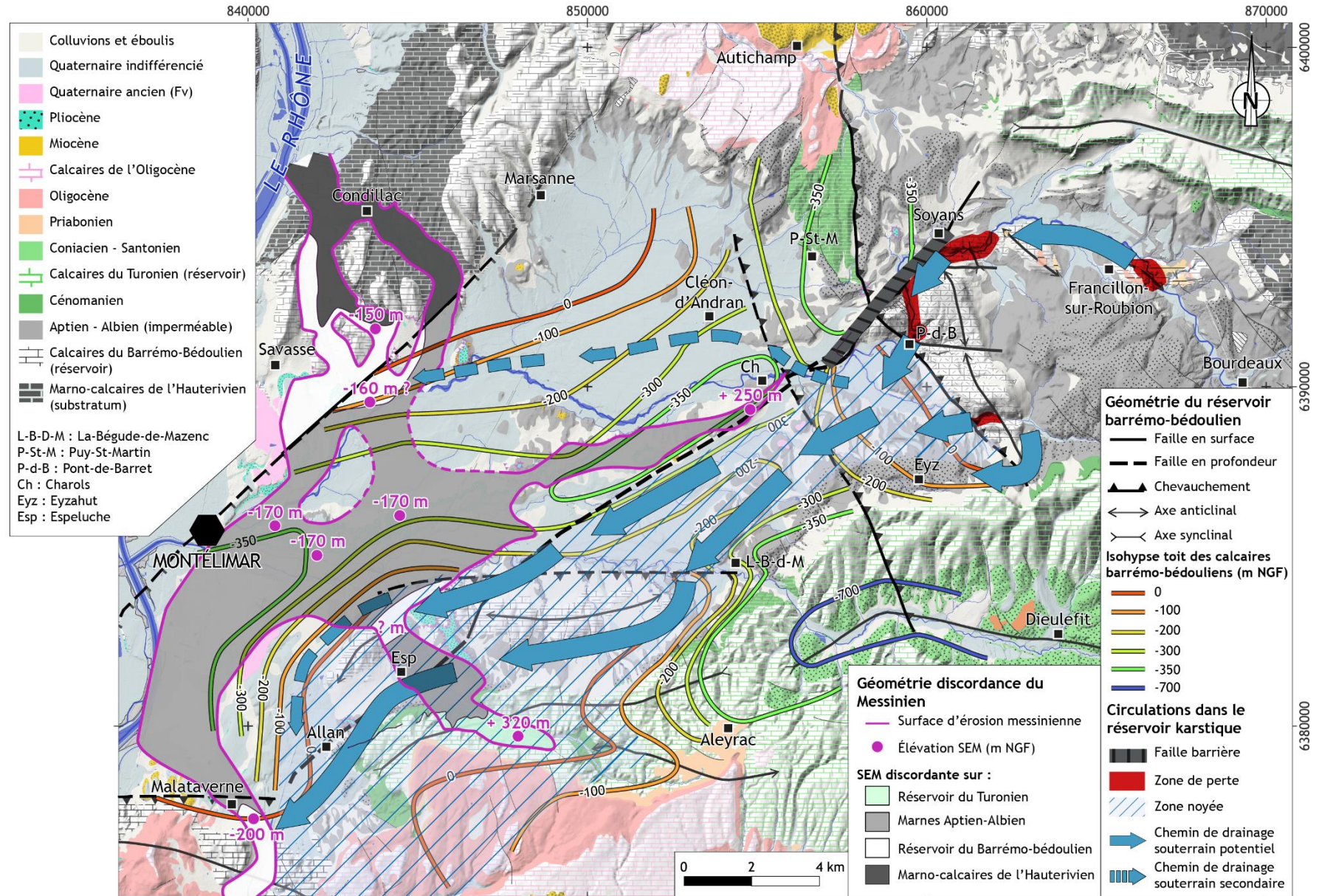


Figure 43 : Carte interprétative de la géométrie des calcaires barrême-bédouliens et de la surface de discordance du Messinien utilisée comme support pour construire la carte de l'organisation des chemins de drainage et des réserves dans le réservoir karstique barrême-bédoulien.

9. CONCLUSION ET PRÉCONISATIONS

9.1. Conclusion

Pour résumer, les principaux résultats de cette étude concernent :

- la détermination et la typologie morphokarstique des indicateurs géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques reconnus sur le terrain d'étude, sanctionnées par une cartographie morphokarstique, notamment des secteurs du Haut-Roubion et de l'anticlinal de Puygiron (Figure 40 et Figure 41),
- l'analyse géométrique du réservoir karstique basée sur la compilation des interprétations des profils sismiques (CDP Consulting), des données de la littérature et des mesures de terrain, qui permet d'élaborer un schéma structural géologiquement cohérent à l'échelle régionale (Figure 34) et de construire des coupes géologiques équilibrées passant par les secteurs d'intérêts (Figure 37, Figure 38, Figure 39),
- l'analyse morphodynamique de la structuration du réservoir karstique barrémo-bédoulien, c'est-à-dire la corrélation entre les formes, les processus de karstifications et les formations qui en découlent (Figure 42),
- l'analyse de la mise en place des chemins de drainage souterrains et de la position des réserves accessibles (Figure 43).

On retiendra que :

- les calcaires du Barrémo-Bédoulien sont affectés par plusieurs processus de karstification (fantômisation, cryptokarstification, corrosion sur roche nue) alimentés par des circulations hypogènes et épigènes, qui conduisent à la formation d'un réservoir karstique distinct du réservoir carbonaté initial (géométrie, organisation, propriétés pétrophysiques), mis en place lors de phases de karstification successives.
- ce réservoir karstique est notamment caractérisé par :
 - un cryptokarst plus ou moins évolué en fonction du secteur, avec à Francillon-sur-Roubion une surface cryptokarstique peu développée qui s'installe à l'apex d'un anticlinal, et à Puygiron un cryptokarst tronqué dont seules les structures d'altération profondes persistent,
 - des structures d'altération profondes types « fantôme de roche » évoluant par endroit en couloirs de brèches karstiques,
 - des structures perméables élargies par les circulations de fluides hypogènes en périphérie des grands accidents tectoniques,
 - des failles barrières dont le rôle de barrage lithostructural est causé par la minéralisation du cœur de faille et ou par leur rejet vertical qui juxtapose des intervalles réservoirs avec des imperméables.
- l'altération karstique des calcaires barrémo-bédouliens est initiée de manière différentielle entre le nord-est et le sud de la zone d'étude avec :
 - une karstification sous couverture initiée au Priabonien - Oligocène (35 - 23 Ma) au toit des calcaires du Barrémo-Bédoulien et du Turonien dans l'anticlinal de Puygiron et la vallée de Citelles,
 - la mise en place d'une grande dépression fermée de type poljé à la fin des mouvements néogènes liés à l'orogénèse alpine (~10 Ma) dans le secteur du Haut-Roubion.
- réponse karstique à l'oscillation messino-pliocène :
 - le réseau hydrographique messinien du paléo-Roubion est scellé par les dépôts pliocène continentaux et se situe en position perchée par rapport à l'incision du canyon du Rhône

- colmatée par les dépôts marins de la ria Pliocène. Cette configuration implique que pendant l'épisode messinien l'essentiel des circulations d'eau se font en souterrain dans le karst,
- dans le détail on reconnaît une incision significative en talweg (ou en reculée ?) qui recoupe les calcaires du Barrémo-Bédoulien dans l'anticlinal de Puygiron entre Piérougier et Notre-Dame-de-Monceau et qui se prolongent a minima jusqu'au contact avec les calcaires du Turonien dans la vallée de Citelles,
 - la propagation de l'impact de l'abaissement du niveau de base atteint le Haut-Roubion et permet d'interconnecter les deux systèmes karstiques de Francillon et de Puygiron à travers la plaine de la Valdaine, en utilisant les discontinuités préexistantes, notamment les structures d'origine hypogène le long des plans de failles majeures et en évacuant les fantômes de roches.
 - le colmatage de l'incision messinienne au Pliocène bouche les exutoires des systèmes karstiques et réorganise la zone de restitution des eaux. Par ailleurs, ce colmatage constitue un imperméable qui met le réservoir en position de karst barré, notamment dans le secteur de Puygiron. Les zones d'infiltration héritées persistent et entretiennent les connexions entre l'amont dans le secteur du Haut-Roubion et un aval en direction du seuil de Malataverne. Cette situation est entretenue pendant les oscillations climato-eustatiques quaternaires et probablement toujours valable à l'heure actuelle.
- les réserves accessibles se situent préférentiellement au SE de la faille de Soyans où :
 - les calcaires du Barrémo-Bédoulien sont les plus épais et correspondent aux faciès de calcaires marneux et aux calcaires bioclastiques,
 - le toit des calcaires dans la plaine de la Valdaine est le moins profond,
 - les discontinuités karstiques sont interconnectées.
 - les chemins de drainage souterrains :
 - sont contrôlés par le cadre structural imposés par les principaux accidents tectoniques, la géométrie du toit du calcaire sous couverture, les structures d'altération profonde, la position des zones de recharges et d'exutoires héritées du Messinien,
 - s'organisent principalement dans le compartiment SE de la faille de Soyans, entre un amont dans les zones de pertes du Roubion et un contexte aval dans le paléo talweg de Citelles puis dans le paléo canyon du Rhône dans le seuil de Malataverne.

Bien que de vastes zones d'accessibilité à la réserve sont globalement identifiées, ces résultats permettent de repérer différents verrous ou lacunes de connaissances susceptibles de guider les préconisations de compléments d'étude ou d'actions à mener dans le cadre des tranches optionnelles de cette étude, visant à proposer des cibles pour l'implantation de forages de reconnaissances dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien sous couverture.

9.2. Préconisations

9.2.1. Préconisations concernant le ciblage et la reconnaissance géophysique du toit des calcaires pour l'implantation des forages

CDP Consulting préconise l'acquisition complémentaire de données sismiques pour préciser la profondeur du toit des calcaires et ou la cartographie des failles avant l'implantation d'un nouveau forage. Or, les données de sismiques réflexion permettent d'imager des secteurs de grandes envergures (>1 km) mais ne semblent pas être adaptées à la connaissance locale nécessaire pour l'implantation d'un forage.

Le ciblage des forages de Manas et de la Touche basées sur l'interprétation de profils de tomographie électriques (ERT) seule n'ont pas permis d'aboutir à des résultats satisfaisants.

Suite à cette deuxième phase de l'étude et dans le but de cibler l'implantation des forages de reconnaissances, nous préconisons :

- dans un premier temps, de cibler des zones d'intérêts restreintes à partir des résultats structuraux, karstologiques et hydrogéologiques (ex : ouest de la colline de Piérougier ou plaine au sud de Pont-de-Barret),
- puis, affiner la géométrie du toit des calcaires par une acquisition de sismique passive H/V couplée à une acquisition de tomographie électrique (ERT) pour valider la présence d'eau souterraine. Pour réduire les incertitudes lors de la phase d'interprétation des anomalies électriques il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de la géométrie du sous-sol locale, d'où l'importance de coupler ce type d'imagerie avec une analyse structurale pouvant être conforter par une acquisition de sismique passive.

9.2.2. Préconisations concernant le fonctionnement hydrogéologique

Le diagnostic karstologique et l'analyse de la structuration karstique a mis en évidence un schéma conceptuel d'organisation des structures de drainage karstique en relation avec le cadre structural des calcaires du Barrémo-Bédoulien dans la plaine de la Valdaine et le Haut-Roubion. La compréhension des implications sur le fonctionnement hydrodynamique du système karstique passe par le croisement de ces résultats avec ceux obtenus par Antea sur l'aspect hydrogéologie. Dans cette optique, il convient d'approfondir les problématiques soulevées par l'étude hydrogéologique en termes de piézométrie et de fonctionnement hydrodynamique.

À ce travail d'intégration peuvent s'ajouter plusieurs actions supplémentaires d'acquisitions de données, comme :

- instrumenter la rivière souterraine de Baume Sourde et Baume Claire (pression, T°C, conductivité) sachant qu'elle s'écoule significativement sous le lit actif du Roubion,
- évaluer les pertes de la Rimandoule par des jaugeages débitométriques et/ou chimiques.

Ces données complémentaires permettraient d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydrogéologique du réservoir karstique, notamment concernant les modalités et la dynamique des zones de recharge en précisant les débits de pertes concentrées.

9.2.3. Préconisations concernant le potentiel réservoir des calcaires du Turonien

L'intervention de CENOTE portait sur le diagnostic karstologique des calcaires du Barrémo-Bédoulien, dont les résultats ont montré le rôle potentiel dans leur alimentation des calcaires du Turonien (synclinal de Saou et vallée de Citelles), ainsi qu'une évolution morphokarstique commune et ancienne dans la vallée de Citelles et le secteur d'Aleyrac.

Nous préconisons de réaliser un diagnostic karstologique des calcaires du Turonien pour évaluer :

- leur contribution et modalités de connexions hydrauliques avec le réservoir karstique barrémo-bédoulien,
- la nature, la géométrie et l'organisation du réservoir karstique,
- leur propre potentiel réservoir et d'approcher l'importance des réserves karstiques associées.

À ce stade, les secteurs propices au développement d'un réservoir karstique dans les calcaires du Turonien en connexion avec la plaine de la Valdaine sont identifiés dans la vallée de Citelles et le plateau d'Aleyrac, ainsi que dans le synclinal de la forêt de Saou. Dans le cas du synclinal de Dieulefit il ne semble pas y avoir de connexion directe avec les calcaires barrémo-bédouliens mais le réservoir du Turonien constitue tout de même une réserve intéressante.

BIBLIOGRAPHIE

Audra P, Mocochain L, Camus H, Gilli É, Clauzon G, & Bigot J-Y. 2004. The effect of the Messinian Deep Stage on karst development around the Mediterranean Sea. Examples from Southern France. *Geodinamica Acta* **17** : 389-400 DOI: 10.3166/ga.17.389-400

Baudrimont AF & Dubois P. 1977. Un bassin mésogéen du domaine péri-alpin : le sud-est de la France. *Bull. Centres Rech. Explor. -Prod. Elf-Aquitaine* **1** : 261-308

Besson D. 2005. Architecture du bassin rhodano-provençal miocène (Alpes, SE France): relations entre déformation, physiographie et sédimentation dans un bassin molassique d'avant-pays, Thèse d'Etat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 450 p.

BRGM. 1998. Plaine de la Valdaine (Drôme) Bilan des connaissances sur l'aquifère des caclaires profonds du Barrémo-Bédoulien. BRGM-RR-40369. BRGM. 27 p.

BRLi & Hydrofis. 2025. Etude pour l'élaboration du Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE) du Roubion. Phase 1 : Etat des lieux. A01492. Hydrofis. 150 p.

Camus H. 2003. Vallée et réseaux karstiques de la bordure carbonatée sud cévenole - Relations avec la surrection, le volcanisme et les paléoclimats, Doctorat, Bordeaux: Université Michel de Montaigne - Bordeaux III, 762 p.

CDP Consulting. 2025. Recherche d'une nouvelle ressource dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien - 1ère partie : Valorisation des données sismiques existantes. Rapport final. CDP Consulting. 88 p.

Chenevoy M, Elmi S, Lorenchet de Montjamont M, Combiér J, & Michel R. 1977. Notice explicative de la feuille de Crest n°842. BRGM. 43 p.

Clauzon G. 1982. Le canyon messinien du Rhône: une preuve décisive du "dessicated deep-basin model" [Hsü, Ciata et Ryan, 1973]. *Bulletin de la Société géologique de France* **7** : 597-610

Clauzon G, Suc J-P, Aguilar J-P, Ambert P, Cravatte J, Drivaliari A, Domenech R, Dubar M, Leroy S, Martinelli J, Michaux J, Roiron P, Rubino J-L, Savoye B, & Vernet J-L. 1990. Pliocene geodynamic and climatic evolution in the French Mediterranean Region. *Paleontologia I Evolucio, Memoria Especial* **2** : 132-186

Clauzon G. 1996. Limites de séquences et évolution géodynamique/Sequence boundaries and geodynamic evolution. *Géomorphologie relief processus environnement* **2** : 3-21 DOI: 10.3406/morfo.1996.867

Debelmas J. 2004. Notice explicative de la feuille de Valréas n°890. Paris: BRGM. 77 p.

Do Couto D, Cushing EM, Mocochain L, Rubino J-L, Miquelis F, Hanot F, Froment B, Gélis C, Camus H, Bagayoko N, & Bellier O. 2024. Messinian canyons morphology of the Rhône and Ardèche rivers (south-east France): new insights from seismic profiles. *BSGF - Earth Sciences Bulletin* **195** : 19 DOI: 10.1051/bsgf/2024015

Dromart G, Suc J-P, Popescu S-M, & Rubino J-L, Suc J-P & Rubino J-L eds. 2024. The Pliocene succession of Lyon Metropolis (SE France): an overfill of a Messinian incised-valley. Suc J-P and Rubino J-L-eds. *BSGF - Earth Sciences Bulletin* **195** : 6 DOI: 10.1051/bsgf/2024006

Ferry S. 1978. Les « Calcaires à débris » barrémo-apitiens de la Drôme vocontienne (France SE) : des cônes d'épandage bioclastique en eau profonde. *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon* **4** : 273-303

Ferry S. 1999. Apport des forages ANDRA de Marcoule à la connaissance de la marge crétacée rhodanienne. presented at the Actes des Journées scientifiques CNRS-ANDRA. Available from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefndmkaj/https://hal.science/hal-02445564/document

Ferry S & Flandrin J. 1979. Mégabrèches de resédimentation, lacunes mécaniques et pseudo - “hardgrounds” sur la marge vocontienne au Barrémien et à l’Aptien inférieur (Sud-Est de la France). *Géologie Alpine* **55** : 75-92

Ferry S & Grosheny D. 2013. Excursion dans le du bassin subalpin (20-23 septembre 2013). Turbidites et brèches carbonatées (Jurassique et Crétacé du bassin subalpin). *Excursion du Groupe Français du Crétacé* : 107 DOI: hal-00908177v1

Ferry S, Grosheny D, & Amédéo F. 2023. Sedimentary record of the “Austrian” tectonic pulse around the Aptian-Albian boundary in SE France, and abroad. *Comptes Rendus. Géoscience* **354** : 67-87 DOI: 10.5802/crgeos.121

Ferry S, Granier B ed. 2017. Summary on Mesozoic carbonate deposits of the Vocontian Trough (Subalpine Chains, SE France). In: Some key Lower Cretaceous sites in Drôme (SE France), Madrid pp.9-42

Geoplus. 2002. Recherche d’une ressource en eau potable Forage de reconnaissance de piérougier travaux, qualité, débit exploitable. 00B41.013/3. Geoplus. 40 p.

Hsü KJ, Cita MB, & Ryan WBF. 1973. The origin of the Mediterranean evaporites. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project* **13** : 1203-1231

Klimchouk AB. 2007. Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective . Carlsbad: National Cave and Karst Research Inst. 106p.

Lofi J. 2002. La crise de salinité messinienne : conséquences directes et différées sur l’évolution sédimentaire de la marge du Golfe du Lion, Thèse d’Etat, Lille: Université des sciences et technologies de Lille, 311 p.

Lorenchet de Montjamont M. 1970. Notice explicative de la feuille de Dieulefit n° 867. Nancy: BRGM. 12 p.

Lorenchet de Montjamont M, Bornand M, Mandier P, Monjuvent G, & Combiér J. 1971. Notice explicative de la feuille de Montélimar n° 866. BRGM. 35 p.

Mangin A. 1975. Contribution à l’étude hydrodynamique des aquifères karstiques, Doctorat, Dijon: Université de Dijon, 267 p.

Mocochain L, Clauzon G, Bigot J-Y, & Brunet P. 2006. Geodynamic evolution of the peri-Mediterranean karst during the Messinian and the Pliocene: evidence from the Ardèche and Rhône Valley systems canyons, Southern France. *Sedimentary Geology* **188-189** : 219-233 DOI: 10.1016/j.sedgeo.2006.03.006

Pellegrin J-C. 1997. Un exemple de cryptokarst en région tempérée : le karst de Casteljaloux (Lot-et-Garonne). Géomorphologie - hydrochimie, Thèse de doctorat, Bordeaux: Bordeaux III

Quinif Y. 1999. Fantômisation, cryptoaltération et altération sur roche nue, le triptyque de la karstification. presented at the Colloque européen Karst 99 European Conference. pp.159-164

Quinif Y. 2010. Fantômes de roche et fantômisation: essai sur un nouveau paradigme en karstogénèse. *Karstologia Mémoires* **18** : 190

Séranne M. 1999. The Gulf of Lion continental margin (NW Mediterranean) revisited by IBS: an overview. *Geological Society, London, Special Publications* **156** : 15-36 DOI: 10.1144/GSL.SP.1999.156.01.03

Thomasset C. 2024. Cadre structural et cinématique de la terminaison Nord-Est du faisceau de faille des Cévennes (NCFS) et analyse paléosismologique des failles de Marsanne et de Grangette, Thèse de doctorat, Montpellier: Université de Montpellier, 221 p.

Thomasset C, Ritz J-F, Pouliquen S, Manchuel K, & Le-Roux-Mallouf R. 2024. Geometry and tectonic history of the Northeastern Cévennes Fault System (Southeast Basin, France) : new insights from deep seismic reflection profiles. *BSGF - Earth Sciences Bulletin* **195** : 17 DOI: 10.1051/bsgf/2024016



ANNEXE

Extraits du rapport de phase 1 établi par CDP CONSULTING :
Valorisation des données sismiques existantes
Rapport final - Décembre 2025

9. Synthèse

Afin de restituer une vision plus globale de la structuration des calcaires barrémo-bédouliens, une carte de synthèse a été produite (Figure 36). Celle-ci a pour but de reporter en carte :

- Les profondeurs estimées du toit des calcaires le long des profils sismiques (obtenues par une conversion temps/profondeur simple à 2850m/s entre le datum plane et l'horizon sismique correspondant au toit des calcaires) ;
- Les cotes des toits et bases de ces calcaires rencontrés en forage sur les puits disponibles ;
- Les principaux traits structuraux dont il a été permis de proposer un tracé en carte (d'autres failles importantes pour lesquelles les directions ne sont pas définies, n'ont pu être reportées sur la carte, principalement à l'est d'un axe entre Pont-de-Barret et Souspierre) ;
- Les principales informations dont nous disposons concernant les rias messiniennes.

Il résulte de ce travail de synthèse un ensemble d'informations assez intéressantes.

Le territoire du SIEBRC peut être décomposé en différents secteurs bien individualisés par un ensemble d'accidents structuraux importants. Ils offrent à la fois une signature géographique distincte mais également un système de dépôts des calcaires barrémo-bédouliens distincts et contrôlés par ces mêmes accidents en association avec le système sédimentaire associé à la fosse vocontienne.

Secteur sud : anticlinaux d'Aleyrac et de Puygiron

On distingue ainsi au sud du syndicat un premier ensemble limité au nord par la rivière actuelle du Jabron. Cette rivière semble s'écouler dans la plaine de Valdaine au niveau de l'émergence d'un accident E-W majeur à vergence sud. Cet accident que nous avons dénommé accident du Jabron, correspond à une faille ayant joué en distension au crétacé inférieur (Valanginien-Barrémien) et a été ensuite reprise en compression au cours des phases pyrénéennes. Sont associés à ces rejeux pyrénéens, deux structures anticlinales importantes d'axe est-ouest :

- La première de ces structures correspond à l'anticlinal que nous avons dénommé anticlinal d'Aleyrac et qui forme un anticlinal très important contrôlant en partie l'imposant relief qui délimite la plaine de Valdaine et le bassin de Valreas au sud.
- La deuxième de ces structures correspond à un petit anticlinal (l'anticlinal de Puygiron) qui résulte d'un jeu transpressif probable au niveau de l'émergence de l'accident du Jabron. Ce pli est-ouest semble s'approfondir en allant vers l'est et se trouve découpé par un ensemble d'accidents N160.

Ce secteur a été reconnu par différents forages, parfois productifs (La Vesque et Pierrougier), parfois non productifs (La Touche).

Secteur central : la plaine de Valdaine

Le secteur central compose la plus grande partie du SIEBRC et constitue la plaine de Valdaine. Elle est délimitée par l'accident du Jabron au sud, l'accident de Marsanne au nord et la faille de Manas à l'est (reconnue sur 2 profils sismiques et à l'affleurement).

Il est difficile d'apprécier dans ce secteur la puissance des calcaires barrémo-bédouliens, faute de forage. Les forages de Marsanne au nord et ceux situés au niveau de l'anticlinal de Puygiron au sud du secteur, semblent laisser entrevoir un épaissement des séries en allant vers le sud-est.

D'un point de vue structural, ce secteur semble correspondre à un vaste monoclinal avec un plongement des séries vers le sud et vers l'est et ne semble affecté que par des failles mineures et des déformations souples de couverture (petits plis locaux). Les profondeurs oscillent entre 50 m sous le niveau de la mer et environ -300 m au sud et à l'est.

A proximité de la faille de Marsanne, le Gargasien semble avoir largement érodé les niveaux calcaires du Barrémien inférieur, peut-être en relation avec des forts courants guidés par la structuration aux abords de la faille de Marsanne.

Le secteur situé entre Roynac et la Roche-sur-Grane semble se complexifier davantage. Sous couvert des dépôts oligocènes et en l'absence de forages et de lignes sismiques exploitables, la compréhension structurale de ce secteur au niveau des calcaires barrémo-bédouliens est rendue très difficile.

Secteur nord : nord de la faille de Marsanne

Le secteur nord correspond au système situé au nord de la faille de Marsanne, une faille de direction cévenole à vergence vers le sud-est. Dans cette zone, les formations du Barrémo-Bédoulien affleurent localement, ou sont absentes lorsque l'Hauterivien affleure.

Secteur est : anticlinal de Pont de Barret ; synclinal d'Allan...

Le secteur est pourrait être défini par le secteur situé à l'est d'une ligne imaginaire Manas, Salettes et Souspierre. Ce secteur est d'une grande complexité. En premier lieu, la faille normale de Manas de direction N40 (direction cévenole) délimite le secteur ouest de la plaine de Valdaine. Cette faille présente un rejet d'environ 200 m vers le nord-ouest et semble s'enraciner, au moins localement, sur un accident majeur (parallèle à la faille de Marsanne) de direction cévenole et effondrant les séries vers le sud-est. Ces failles cévenoles s'associent à des accidents de direction N160 et ouvrent vers un nouveau domaine à l'est avec la mise en place de plis locaux à proximité de l'émergence de ces failles (anticlinal de Pont-de Barret, synclinal d'Allan, etc...). Les calcaires bioclastiques affleurant à Pont-de-Barret plongent rapidement vers l'est.

Secteur ouest de la plaine de Valdaine : la présence de Ria messinienne

La présence de ria messinienne est avérée dans le secteur ouest du syndicat. Les points de présence attestés sur les lignes sismiques existantes ou en forages permettent de préciser un niveau de base global de ces incisions (aux alentours de -150/-170 m NGF). Aucune paléovallée n'a pu être reconnue sous le Roubion mais les paramètres des lignes sismiques à disposition ne permettent pas d'imager un canyon très étroit. Le doute reste permis.

Les rias situées à l'est du syndicat semblent plutôt emprunter un axe d'écoulement N-S au sud de Sauzet.

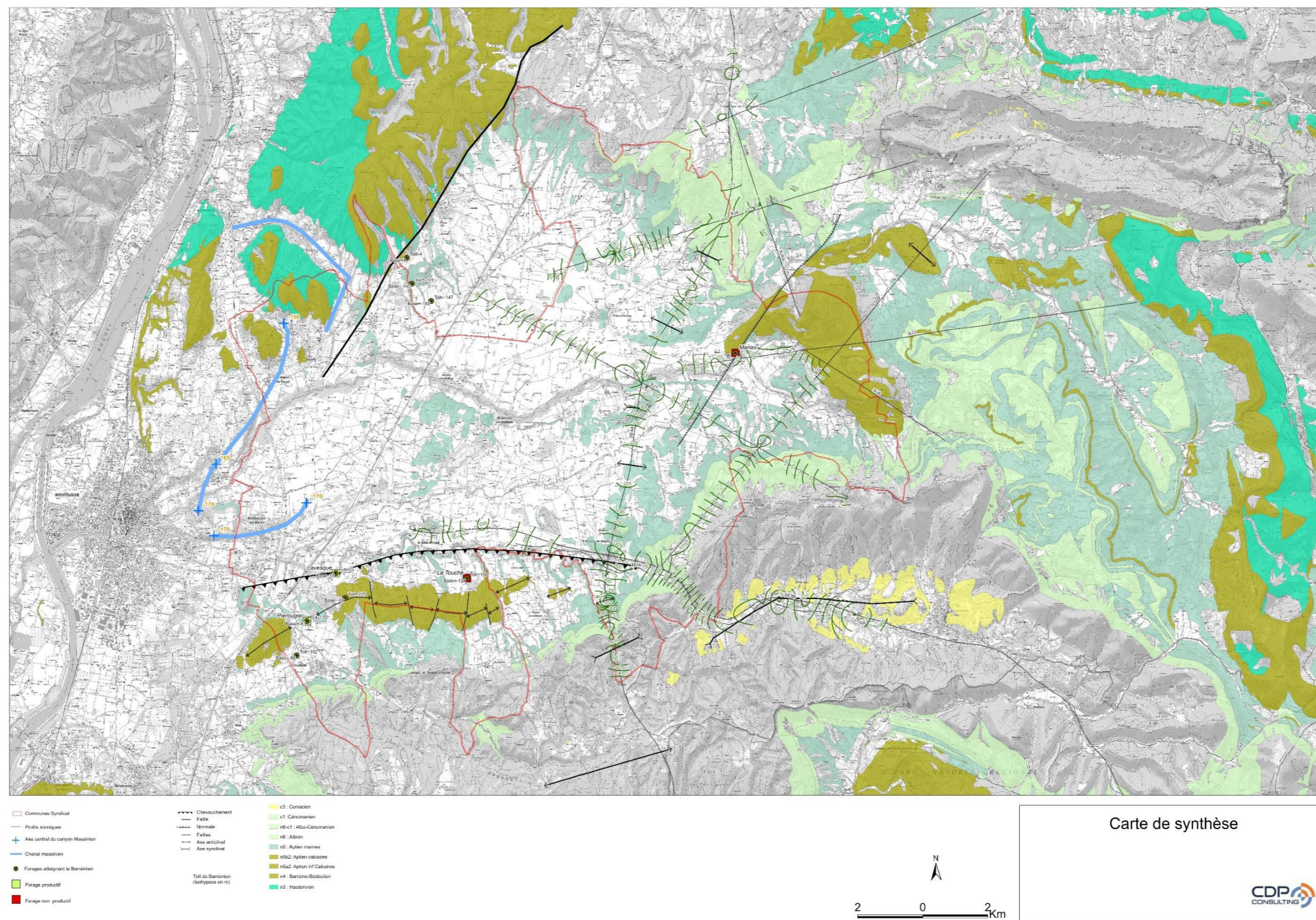


Figure 36: Carte de synthèse (disponible au format A0 en annexes)



Sarl au capital de 7 500 euros.
Siège social : 1 chemin de Valdegour, 30 900 NIMES
N° SIREN 482 648 748 ; N° SIRET 482 648 748 00010 ;
N° TVA IC : FR 964 826 487 480 0010