

SIEBRC

Recherche d'une nouvelle ressource dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien

1^{ère} partie : Valorisation des données sismiques existantes

*Rapport final provisoire
Août 2025*

Financeurs de l'étude



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

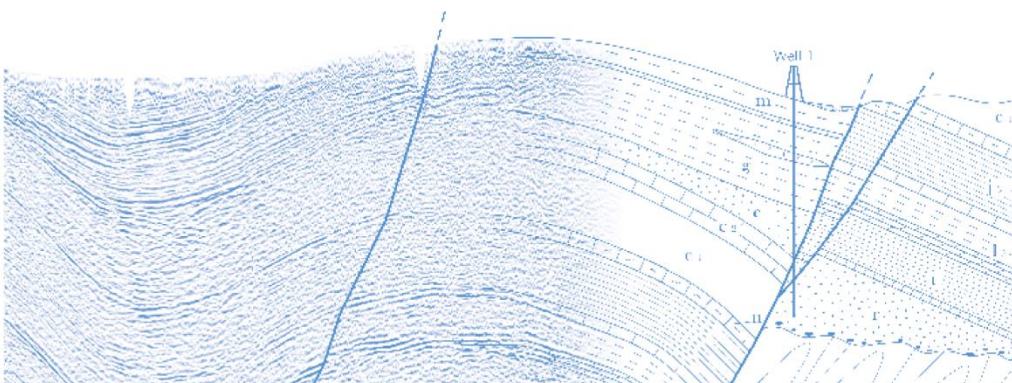


LE DÉPARTEMENT

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

www.cdpconsulting.fr
7, boulevard Chanzy
41000 Blois - France
Tél : +33 (0)2 54 78 89 86
e-mail : contact@cdpconsulting.fr

LA GÉOLOGIE AU SERVICE DE LA GÉOPHYSIQUE



SIEBRC

Recherche d'une nouvelle ressource dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien

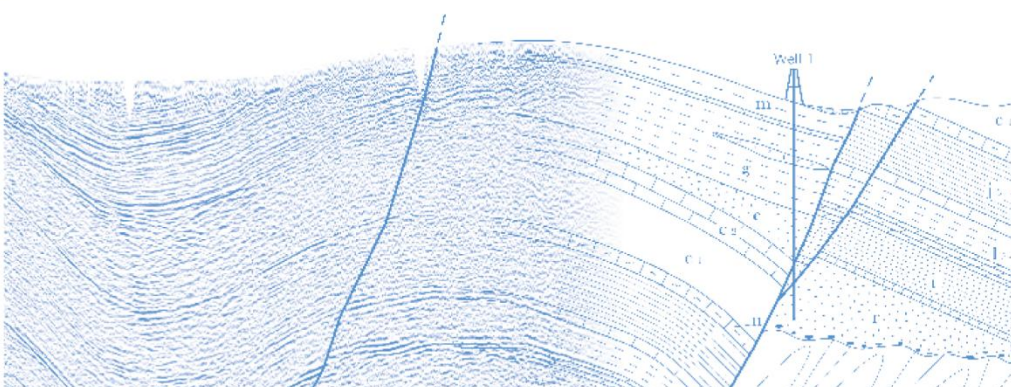
1^{ère} partie : Valorisation des données
sismiques existantes

Rapport final provisoire

Aout 2025

www.cdpconsulting.fr
7, boulevard Chanzy
41000 Blois - France
Tél : +33 (0)2 54 78 89 86
e-mail : contact@cdpconsulting.fr

LA GÉOLOGIE AU SERVICE DE LA GÉOPHYSIQUE



SIEBRC

Recherche d'une nouvelle ressource dans les calcaires du Barrémo-Bédoulien

1^{ère} partie : Valorisation des données
sismiques existantes

Rapport final provisoire

Aout 2025

Ce rapport a pour but de présenter la première partie de ce travail qui sera complété à l'issue d'une sortie géologique sur le terrain fin août ou début septembre et ultérieurement à l'issue des travaux et discussions qui seront menées avec les experts d'ANTEA et CENOTE sur les parties complémentaires de l'étude.

Florian MIQUELIS, Joséphine VICELLI, Ferenc HORVATH

Table des matières

TABLE DES MATIERES.....	3
LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX.....	6
1. INTRODUCTION/CONTEXTE DE L'ETUDE	7
1.1. CONTEXTE ACTUEL DE L'EXPLOITATION D'EAU POTABLE PAR LE SIEBRC	7
1.2. POTENTIALITE DES CALCAIRES DU BARREMO-BEDOULIENS.....	7
1.2.1. Une ressource potentielle importante	7
1.2.2. Exploitation actuelle des calcaires barrémo-bédouliens	8
1.2.3. Des limites sur la connaissance de ce réservoir et besoins exprimés par le SIEBRC	8
1.3. CONTEXTE DE L'ETUDE MENEÉ PAR CDP CONSULTING ET OBJET DU PRESENT RAPPORT.....	9
2. CADRE GEOLOGIQUE.....	11
2.1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	11
2.1.1. Du trias au jurassique supérieur.....	11
2.1.2. Le crétacé inférieur: en bordure de la fosse vocontienne.....	11
2.1.3. Le Crétacé supérieur.....	12
2.1.4. Le tertiaire	12
2.2. PHASES TECTONIQUES ET SYSTEME DE DEFORMATIONS	13
2.3. GEOLOGIE LOCALE.....	15
2.4. CADRE GEOLOGIQUE DES SERIES BARREMO-BEDOULIENNES	15
2.5. SERIES GEOLOGIQUES POSTERIEURES AUX CALCAIRES BARREMO-BEDOULIENS	16
3. PROGRAMME DES TRAVAUX MENES PAR CDP CONSULTING POUR CETTE PARTIE DE L'ETUDE CONCERNANT LA VALORISATION DES DONNEES SISMIQUES EXISTANTES.....	18
3.1. RAPPEL DES OBJECTIFS VISES PAR CETTE ETUDE.....	18
3.2. QUELQUES GENERALITES SUR LES DONNEES DE SISMIQUES REFLEXION.....	18
3.3. PARTICULARITE DES DONNEES SISMIQUES EN FRANCE : MISE A DISPOSITION DES DONNEES BRUTES.....	19
3.4. RESUME DU DEROULE DES TRAVAUX	20
4. PHASE 1 : INVENTAIRE DES DONNEES SISMIQUES DISPONIBLES ET RECUPERATION DES DONNEES A VALORISER.....	22
4.1. HISTORIQUE DES CAMPAGNES SISMIQUES ET STATUT DES DONNEES SISMIQUES.....	22
4.1.1. Campagnes sismiques du permis de recherche d'hydrocarbures de Montélimar [1957-1972]	22
4.1.2. Campagne sismique dite Campagne Sud-Est [1981-1982].....	24
4.1.3. Campagnes sismiques EDF.....	24
4.2. SYNTHÈSE DES DONNEES RECUPERÉES POUR L'ETUDE ET EXPLOITABILITE.....	26
5. RETRAITEMENT SISMIQUE 2D DES LIGNES DE LA CAMPAGNES SUD-EST: PROCESSUS PRESTACK ET STACK	27
5.1. INTRODUCTION.....	27
5.1.1. Logiciels de traitement	27
5.1.2. Définition de la séquence de traitement	27
5.2. PARAMETRES GENERAUX D'ACQUISITION DES LIGNES SISMIQUES.....	28
5.3. PRE-PROCESSING	29
5.3.1. Mise en forme des données.....	29
5.3.2. Récupération de l'amplitude	29
5.3.3. Minimum-phasing vibreur	29

5.4.	ELIMINATION DES BRUITS.....	29
5.4.4.	<i>Généralités</i>	29
5.4.5.	<i>Atténuation du ground-roll</i>	30
5.4.5.1.	Atténuation des bruits linéaires	30
5.4.5.2.	Atténuation des bruits aléatoires	30
5.5.	MODELISATION GEOLOGIQUE ET CALCUL DES CORRECTIONS STATIQUES PRIMAIRES.....	31
5.5.1.	<i>Enjeux des corrections statiques</i>	31
5.5.1.3.	Principe.....	31
5.5.1.4.	Besoins de la zone d'étude.....	32
5.5.2.	<i>Méthodologie générale</i>	33
5.5.3.	<i>Collecte des données disponibles pour l'établissement du modèle de corrections statiques des terrains tertiaires</i>	34
5.5.3.1.	Carottages VT	34
5.5.3.2.	Autres données	34
5.5.3.3.	Etude de terrain pour la modélisation des corrections statiques primaires	37
5.5.4.	<i>Modèle de corrections statiques primaires pour les lignes régionales (24CR104, 24110, 24CR112 et 82SE4A)</i> 41	
5.5.4.1.	Choix du datum plane par rapport aux études précédentes	41
5.5.4.1.	Le modèle géologique de statiques primaires.....	41
5.5.4.2.	Limites du modèle géologique de vitesse.....	42
5.6.	PROCESSUS STACK.....	43
5.6.1.	<i>Analyses de vitesse NMO / fonctions de mute / ajustement du FK</i>	43
5.6.2.	<i>Statiques résiduelles</i>	44
5.6.3.	<i>Stack</i>	44
5.7.	TRAITEMENT SISMIQUE 2D : PROCESSUS PSTM.....	45
5.7.1.	<i>Principe: la migration une étape obligée pour restituer une image structurale correcte</i>	45
5.7.2.	<i>Vitesse de migration</i>	46
5.7.3.	<i>Processus de migration</i>	46
5.8.	QUALITE DES DONNEES SISMIQUES OBTENUES.....	46
6.	VALORISATION DES LIGNES 69M3U DE LA CAMPAGNES EYZAHUT (1969)	47
7.	PHASE PRELIMINAIRE A L'INTERPRETATION SISMIQUE	49
7.1.	CHARGEMENT DES DONNEES POUR L'INTERPRETATION	49
7.1.1.	<i>Chargement des données sismiques</i>	49
7.1.2.	<i>Chargement des données de puits</i>	50
7.1.2.1.	Liste des puits.....	50
7.1.3.	<i>Calage des puits sur la sismique</i>	51
7.1.3.2.	Principe.....	51
8.	INTERPRETATION SISMIQUE	55
8.1.	METHODOLOGIE	55
8.2.	POINTE DES PROFILS SISMIQUES (HORIZONS ET FAILLES)	55
8.3.	CONVERSION EN PROFONDEUR DE L'HORIZON SISMIQUE DU TOIT DES CALCAIRES BARREMO-BEDOULIENS	62
8.4.	COUPES GEOLOGIQUES LE LONG DES PROFILS SISMIQUES-CLES.....	62
8.4.1.	<i>Méthodologie</i>	63
8.4.2.	<i>Emprise/plan</i>	64
9.	SYNTHESE	68

Liste des figures

FIGURE 1: CARTE DES RESSOURCES ACTUELLES DU SIEBRC	7
FIGURE 2: COUPE GEOLOGIQUE NS SIMPLIFIEE TRANSMISE PAR LE SIEBRC.....	9
FIGURE 3: PRINCIPAUX EVENEMENTS TECTONIQUES AYANT CONDUIT A LA FORMATION DU NCFS DEPUIS LE CARBONIFERE JUSQU'A L'ACTUEL. P.A: SYNCLINAL DE PUYGIRON, C.S: SYNCLINAL DE COUIJANET, D.A: ANTICLINE DE DONZERE, A.F: FAILLE D'ALBA, D.F : FAILLE DE DONZERE, Pt. F: FAILLE DU PONTET DE COULOUBRE, LR.F: FAILLE DE LA ROUVIERE M.F: FAILLE DE MARSANNE (THOMASSET ET AL. ; 2024 ; BSGF - EARTH Sci. BULL., VOLUME 195, 2024)	14
FIGURE 4: CARTE DES PROFILS DE SISMIQUE REFLEXION EXISTANTS SUR L'EMPRISE DU SIEBRC.....	25
FIGURE 5: SCHEMA DE PRINCIPE DE LA SEQUENCE DE TRAITEMENT SISMIQUE SIMPLIFIEE POUR L'OBTENTION DU STACK	28
FIGURE 6: SCHEMA DE PRINCIPE DE LA LOW VELOCITY ZONE (LVZ) ET DE SA CONSIDERATION POUR LE CALCUL DES CORRECTIONS STATIQUES	31
FIGURE 7: DETAIL DES COUPES GEOLOGIQUES DE SURFACES ET DES INFORMATIONS DE VITESSES ASSOCIEES A LA CAMPAGNE DE CAROTTAGES VT, ATTENANTES A LA MISSION SISMIQUE SE DE 1981	32
FIGURE 8: EXEMPLE D'UN CAROTTAGE VT DISPONIBLE LE LONG DE LA LIGNE 81SE4A MONTRANT LE CONTRASTE DE VITESSE ENTRE LES FORMATIONS MIOCENES D'AUTICHAMPS ET LES BARRES CALCAIRES SOUS-JACENTES.....	34
FIGURE 9: CARTE DE LOCALISATION DES DIFFERENTES INFORMATIONS DISPONIBLES POUR L'ETABLISSEMENT DU MODELE GEOLOGIQUE DE CORRECTIONS STATIQUES (FORAGES, CAROTTAGES VT, ...)	36
FIGURE 10: MOLASSE MIOCENE DE VALREAS.....	38
FIGURE 11 : FORMATION MARNO-SABLEUSE DU MIOCENE DE LA REGION D'AUTICHAMPS (NORD DE LA 81SE4A).....	38
FIGURE 12: BARRE INFERIEURE DES CALCAIRES DE L'OLIGOCENE AU NORD DE LA 81SE4A FORMANT UNE CORNICHE BIEN VISIBLE	39
FIGURE 13: CALCAIRES BIOCLASTIQUES DU TURONIEN SUPERIEUR FORMANT LE RELIEF IMPORTANT DU SUD DE LA LIGNE 81SE4A DELIMITANT LA PARTIE NORD DU BASSIN DE VALREAS.....	40
FIGURE 14: FORMATION ALBIENNE GRESEUSE AU NIVEAU DU PUY SAINT-MARTIN (81SE4A)	40
FIGURE 15: FORMATION GRESEUSE AZOÏQUE DU CRETACE SUPERIEUR OBSERVABLE AU SUD DE LA BEGUDE MAZENC LE LONG DU PROFIL 81SE4A (ELLE POURRAIT CORRESPONDRE AUX SABLES DE RAYMONDS SITUES PLUS A L'EST).	41
FIGURE 16 : MIGRATION VS. STACK.....	45
FIGURE 17: EXEMPLE DE LA LIGNE 69M3U1 SOUS FORME D'UN TIRAGE PAPIER DU TRAITEMENT D'ORIGINE.	47
FIGURE 18: EXEMPLE DE LA LIGNE 69M3U1 VECTORISEE, EDETEE ET TRANSFORMEE AU FORMAT SEGYY, PUIS REPOSITIONNEE AU DP 0m NGF ET CHARGEE SOUS STATION.....	48
FIGURE 19: ESSAI DE MIGRATION POSTSTACK DES SECTIONS "STACK" ANCIENNES PREALABLEMENT VECTORISEES, EDETEES ET MISES AU FORMAT SEGYY. LES RESULTATS SONT ASSEZ LIMITES ET L'INTERPRETATION SERA FINALEMENT PRIVILEGIEE SUR LES VERSIONS "STACK" MALGRE LA LIMITE DE CETTE VERSION.	48
FIGURE 20: CHARGEMENT DES DONNEES SISMIQUES SUR LA STATION D'INTERPRETATION (LIGNES 81SE3B, 82SE4B, 81SE4A TRAITEES SUR L'EMPRISE ELARGIE DU PERIMETRE ACTUEL DU SIEBRC [EN BLEU] ET LIGNES DE 1969 VECTORISEES, DIGITALISEES , TRANSCRITES AU FORMAT SEGYY ET HARMONISEES AVEC LES CAMPAGNES RECENTES (EN ROUGE)).	49
FIGURE 21: EXEMPLE DE LIGNE COMPOSITE MONTRANT LA BONNE HOMOGENEITE DES LIGNES SISMIQUES CHARGES SUR STATION ENTRE LA LIGNE 81SE4A (A GAUCHE) ET LA LIGNE 69M3U1 (A DROITE).	50
FIGURE 22: PUIIS CHARGES SUR STATION	51
FIGURE 23: EXEMPLE D'UN CAROTTAGE VT REALISE LE LONG DU PROFIL 8SE4A A PROXIMITE DE LA BEGUDE MAZENC ET MONTRANT UNE VITESSE DES MARNES APTIENNES DE 2900M/S SOUS LES NIVEAUX D'ALLUVIONS ET D'ALTERATION. CETTE VITESSE EST ASSEZ HOMOGENE SUR L'ENSEMBLE DES CAROTTAGES VT RENCONTRANT CETTE FORMATION NON RECONNUE PAR LES FORAGES PROFONDS AVEC VITESSES SONIQUES.	52
FIGURE 24 : EXTRAIT DU PROFIL 81SE4A (SUR 1.5s TEMPS DOUBLE) SOUS LA PLAINE DU JABRON ET DU ROUBION (AU NORD DE L'ANTICLINAL DE PUYGIRON) PERMETTANT D'APPRECIER LA SERIE GEOLOGIQUE CARACTERISTIQUE ENTRE LA SURFACE ET LE TOIT DES FORMATIONS CALCAIRES BAJOCIENNES. CETTE SECTION PERMET DE MONTRER LA BONNE SIGNATURE SISMIQUE DU TOIT DES CALCAIRES BARREMO-BEDOULIENS ET DE LEUR CONTACT AVEC LES FORMATIONS DETIRTIQUES SOUS-JACENTES. ELLE PERMET EGALEMENT D'OBSERVER LE SYSTEME DE PROGRADATION VERS LE SUD DE LA PLATEFORME HAUTERIVO-BARREMIENNE QUI REND DIFFICILE TOUTE IDENTIFICATION DE LA BASE DES CALCAIRES BARREMIENS.	54

FIGURE 25: PROFIL COMPOSITE 82SE4B-81SE4A SELECTIONNE SUR L'EMPRISE DE L'ETUDE ET INTERPRETE EN TEMPS	56
FIGURE 26:PROFIL 81SE3B SELECTIONNE SUR L'EMPRISE DE L'ETUDE ET INTERPRETE EN TEMPS.....	57
FIGURE 27: PROFIL 69M3U1 INTERPRETE EN TEMPS	58
FIGURE 28: PROFIL 69M3U3 INTERPRETE EN TEMPS	58
FIGURE 29: PROFIL 69M3U6 INTERPRETE EN TEMPS	59
FIGURE 30: PROFIL 69M3U2 INTERPRETE EN TEMPS	60
FIGURE 31: PROFIL 69M3U4 INTERPRETE EN TEMPS	61
FIGURE 32: PLAN DE POSITION DES COUPES GEOLOGIQUES REALISEES.....	64
FIGURE 33: COUPE GEOLOGIQUE N°1	65
FIGURE 34: COUPE GEOLOGIQUE N°2	66
FIGURE 35:COUPE GEOLOGIQUE N°3.....	67
FIGURE 36: CARTE DE SYNTHESE (DISPONIBLE AU FORMAT A0 EN ANNEXES).....	71

Liste des tableaux

TABLEAU 1: LISTE DES CAMPAGNES ASSOCIEES AU PERMIS MONTELMAR (ANTE-1972)	23
TABLEAU 2: PARAMETRES DES SOURCES.	28
TABLEAU 3: PARAMETRES DES RECEPTEURS.....	28

1. Introduction/Contexte de l'étude

1.1. Contexte actuel de l'exploitation d'eau potable par le SIEBRC

Le Syndicat Intercommunal des Eaux (S.I.E.) du BAS-ROUBION ET DE CITELLE regroupe vingt communes des vallées du Roubion, du Jabron et de la Citelle. Le siège du Syndicat est à Cléon d'Andran dans la Drôme.

Le SIEBRC a prélevé un peu moins de 1.4 million de M3 en 2023 pour 9223 compteurs, essentiellement dans des ressources superficielles avec des impacts forts sur les débits des cours d'eau en période estivale.

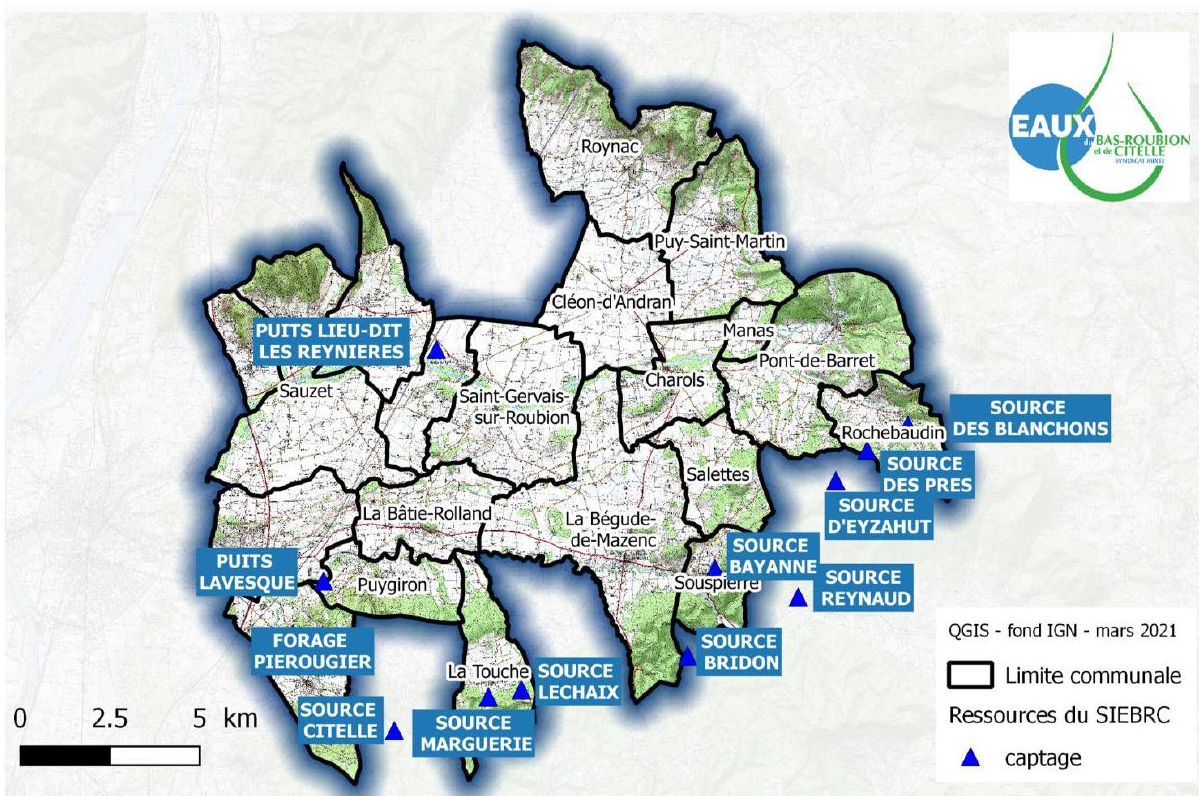


Figure 1: Carte des ressources actuelles du SIEBRC

1.2. Potentialité des calcaires du Barrémo-Bédouliens

1.2.1. Une ressource potentielle importante

Les calcaires du Barrémo-Bédoulien représentent une ressource potentielle importante sous couverture dans la plaine de la Valdaine. 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 sur ce territoire : bassin de Montélimar. La carte géologique du secteur fait apparaître les calcaires en périphérie de la plaine de la Valdaine : Puygiron au Sud , Pont de Barret à l'Est et Marsanne au Nord.

1.2.2. Exploitation actuelle des calcaires barrémo-bédouliens

Le SIEBRC exploite 2 forages dans les calcaires du Barrémo-Bédouliens du sud-ouest du syndicat:

- Forage de La Vesque F2 en 2001: profondeur 90 m , autorisation 40 m³/h , niveau statique entre 63.5 et 75.5 NGF
- Forage de Pierrougier en 2002 : profondeur 238 m , autorisation 50 m³/h

Parrallèlement l'exploration de cette formation a connu 2 échecs :

- Forage de Manas en 1997 : profondeur 171 m , niveau statique 92 m NGF à l'est du syndicat
- Forage de La Touche en 2010 : profondeur 349.50 , au sud du syndicat, un peu à l'est des forages de La Vesque et de Pierrougier.

1.2.3. Des limites sur la connaissance de ce réservoir et besoins exprimés par le SIEBRC

A l'heure actuelle, ce réservoir (calcaires barrémo-bédouliens) reste encore assez mal compris. Des interrogations subsistent et ont fait l'objet de questions mentionnées par le SIEBRC et exprimées ci-dessous :

- géométrie des calcaires sous la plaine ,un seul synclinal ? position de son axe ?
- position des failles ?
- caractéristiques des failles : valeurs des déplacements entre les compartiments ?
- position et profondeur des canyons des affluents en rive gauche ?
- formation , évolution et fonctionnement actuel du karst

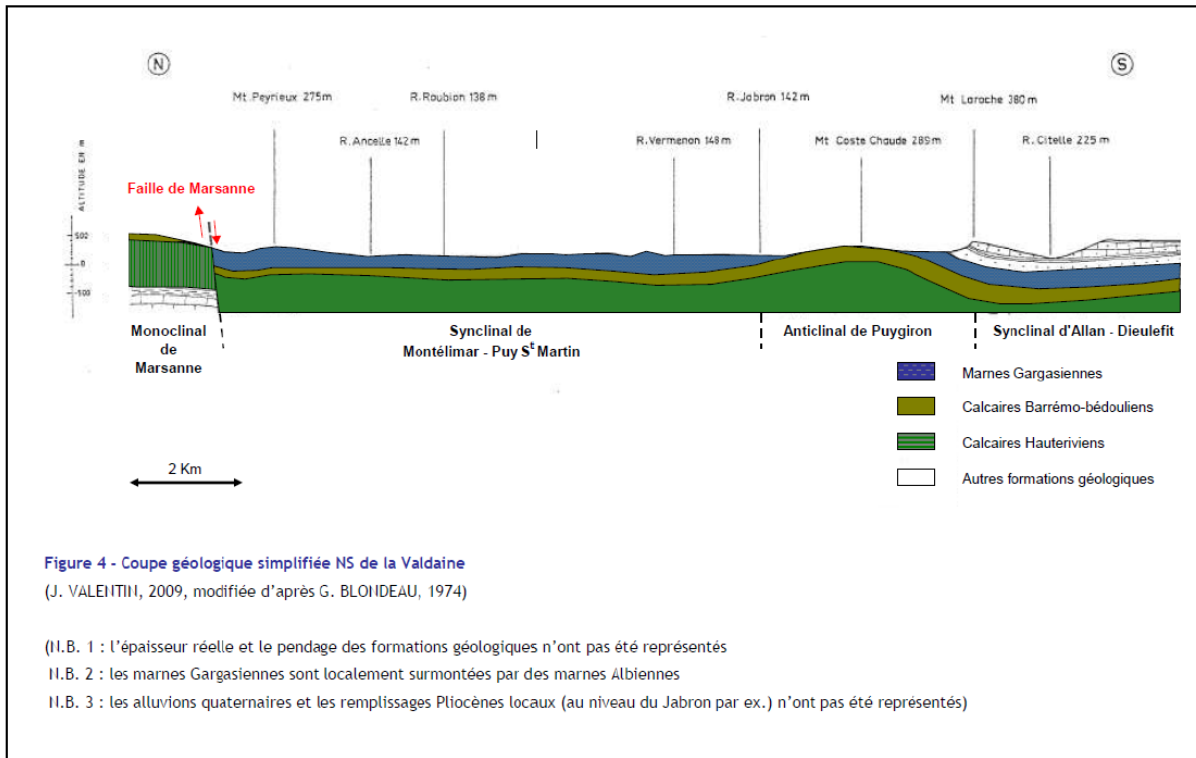


Figure 2: Coupe géologique NS simplifiée transmise par le SIEBRC.

Le SIEBRC en accord avec l'agence de l'eau a souhaité confier une étude visant à répondre aux interrogations géologiques indiquées dans le paragraphe précédent .

L'objectif est d'implanter un forage pouvant être en capacité de produire 200 m³/h avec des rabattements très limités.

Les forages de Manas et de La Touche incite le SIEBRC à orienter les recherches non plus en périphérie de la plaine avec des calcaires peu profonds mais à privilégier une approche prenant en compte la géométrie des calcaires sous la plaine et la karstification influencée par les accidents géologiques : failles et canyon de la période Messinienne.

1.3. Contexte de l'étude menée par CDP Consulting et objet du présent rapport

Le SIEBRC souhaite confier cette étude à un groupement de spécialistes car les compétences exigées sont larges : géophysique , hydrogéologie , karstologie , recherche d'eau , réalisation et suivi d'un forage profond .

Pour répondre à ce projet, un groupement de société spécialisé (CDP Consulting, ANTEA et CENOTE) pour répondre à ces différentes thématiques.

CDP Consulting, bureau d'expertise sur la valorisation des données sismiques intervient en amont de cet étude pour tenter de valoriser l'ensemble des données sismiques existantes disponibles et réaliser un ensemble de coupes géologiques qui auront pour but :

- de restituer au mieux une approche structurale fiable de ces calcaires Barrémo-bédouliens dans le Bassin de Valdaine ;
- de densifier les informations géologiques importantes (failles notables, emplacement des rias messiniennes et profondeurs de ces dernières, etc...) ;
- de mettre en valeur les limites et incertitudes associées à ces données anciennes afin d'évaluer les besoins éventuels en termes de dérisking et d'acquisition nouvelles en prévision d'un futur forage.

Ce rapport a pour but de présenter la première partie de ce travail qui sera complété à l'issue d'une sortie géologique sur le terrain fin août ou début septembre et ultérieurement à l'issue des travaux et discussions qui seront menées avec les experts d'ANTEA et CENOTE sur les parties complémentaires de l'étude.

2. Cadre géologique

2.1. Cadre géologique régional

Dans le bassin Sud-Est, notre étude se concentre autour de la ville de Montélimar en France, à la transition entre les domaines géologiques Vivaro-Cévenol et Vocontien. Ces domaines forment la partie nord du bassin Sud-Est. Ils sont délimités à l'ouest par le Massif Central français et à l'est par les chevauchements du front alpin. L'histoire géologique et tectonique de cette région comprend plusieurs phases majeures de déformation. Elles ont produit un réseau complexe de failles et contrôlé une sédimentation très variée en fonction des avancées et régressions marines.

2.1.1. Du trias au jurassique supérieur

Du Trias supérieur à la fin du Jurassique supérieur, l'évolution du bassin Sud-Est a été façonnée de manière complexe par un rifting tethysien, se déployant sur deux phases tectoniques majeures. Du Trias supérieur (204 Ma) au Jurassique inférieur (175 Ma), la réactivation extensible des failles orientées NE-SW (direction cévenole). L'activité de ces failles a conduit à une sédimentation syntectonique d'évaporites, puis de dolomies. Pendant le Jurassique inférieur (200 Ma), la marge se structure en un ensemble de blocs basculés qui commencent à approfondir le bassin vers l'est. Le pic de cette subsidence tectonique a eu lieu entre le Toarcien et le Bathonien (jurassique inférieur tardif). Le Callovien (165 Ma) marque la transition de la phase syn-rift à la phase post-rift, et la subsidence thermique a ensuite contrôlé la dynamique du bassin. Pendant le Kimméridgien, une plateforme carbonatée (facies Portlandien, 160–150 Ma) se développe dans tout le domaine.

2.1.2. Le crétacé inférieur: en bordure de la fosse vocontienne

Les dépôts du Crétacé inférieur (145–112 Ma) se caractérisent par des paléoenvironnements variables. Cette variabilité est particulièrement observée dans la partie est du domaine Vivaro-Cévenol où le fossé Vocontien, un diverticule de l'Océan Téthys qui a débuté au Jurassique supérieur, s'est développé pendant cette période du Crétacé inférieur. Cette région a enregistré une importante sédimentation pélagique marneuse pendant le Valanginien (140 Ma). Ensuite, un processus de progradation a fait évoluer la sédimentation des dépôts de calcaires marneux pendant l'Hauterivien (135 Ma) aux facies calcaires Urgoniens pendant le Barremien supérieur (125 Ma). Cependant, cette période semble avoir été affectée par une réactivation tectonique extensive potentielle jusqu'au Barremien. La régression marine s'est poursuivie pendant la période Albo-Aptienne (120–100 Ma), pendant laquelle des marnes sableuses noires puis des sables côtiers ont été déposés sur toute la partie nord du bassin Sud-

Est. Elle est associée à une série d'inconformités jusqu'au Cénomaniens, sensibles aux mouvements verticaux dans la région. Ces mouvements se sont produits après la formation de l'isthme du Durancien, associé à l'ouverture du golfe de Gascogne sur la marge atlantique.

2.1.3. Le Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur (100–85 Ma) est peu représenté dans la région Vivaro-Cévenol. Il est principalement composé de sédiments détritiques congénères issus de l'érosion de reliefs proximaux. Ces reliefs correspondent à des anticlinales orientées E-O (Puygiron et Donzère, dues à un raccourcissement N-S à travers le bassin Sud-Est associé à la phase Pyreno-Provençale. À une échelle locale, des séquences discordantes, comme le Céno-Turonien (95 Ma), ont eu lieu pendant cette phase de compression. Le raccourcissement total du couvert sédimentaire associé à ce régime compressif est estimé à 20–25 km autour de Pierrelatte et du bassin de Valréas. La déformation compressive observée dans la région est principalement associée au paroxysme de la tectonique pyrénéenne au cours de l'Éocène. Cette interprétation est cohérente avec les mesures de raccourcissement effectuées dans la partie provençale du bassin Sud-Est.

2.1.4. Le tertiaire

Après une longue période d'émersion du Coniacien à l'Éocène supérieur (40 Ma), la marge occidentale du bassin Sud-Est a subi une phase extensionnelle ESE-WNW. Pendant cette période, les failles ont contrôlé la formation des bassins oligocènes d'âge inconnu (35–25 Ma). Dans la région de Montélimar, les dépôts oligocènes correspondent à des dépôts fluviaux (conglomérats). Les bordures de la plaine de Roubion et du Jabron voient plutôt la mise en place de formations calcaires lacustres.

Pendant le Miocène supérieur (15 Ma), la tectonique alpine a induit l'inversion de nombreuses failles préexistantes dans le domaine Vocontien, sous un régime compressif global E-O. Le chevauchement frontal du Vercors et l'anticlinal de la Lance déforment les sédiments marins miocènes. Dans la région de Montélimar et plus à l'ouest, il est difficile d'identifier des structures tectoniques alpines claires. Pendant le Miocène supérieur (5–6 Ma), un système de rias a été incisé à travers le bassin Sud-Est en raison de la crise de salinité messinienne. Entre Saulce-sur-Rhône et Pierrelatte, le canyon atteignait environ 300 m de profondeur, mais sa géométrie exacte n'est pas connue. Le canyon a été rapidement comblé de argiles et de sables pendant le Pléistocène inférieur (4 Ma). Cette phase a été suivie par une régression marine pendant laquelle un système de terrasses fluviales a été mis en place le long de la vallée du Rhône entre le Pléistocène supérieur (~3 Ma) et le présent.

2.2. Phases tectoniques et système de déformations

Pendant le Trias, des sédiments continentaux ont été uniformément déposés sur l'ensemble du domaine, mais c'est au cours du Jurassique inférieur (Hettangien), au début de la rifting de l'océan Tethys alpin, que la sédimentation syn-tectonique a débuté dans le bassin.

Le Jurassique moyen et supérieur (Callovien-Tithonien) correspondent à des périodes post-rift pendant lesquelles la sédimentation est contrôlée par la subsidence thermique (bien que des variations localisées de l'épaisseur aient été observées dans le futur domaine Vocontien, qui pourraient être associées à un processus de diapirisme au sein du Trias). Pendant le Crétacé inférieur (Hauterivien-Barremien), la faille de Marsanne se forme et contrôle le paléoenvironnement du bassin. La faille sépare une zone hémipelagique/zone de récif assez épaisse (Urgonien) à l'ouest d'une zone pelagique très fine dans le domaine Vocontien. D'après les profils sismiques, il est difficile d'identifier à cette période si la faille de Marsanne se connecte directement en profondeur à la faille du socle de Donzère.

La période Urgonienne supérieure est marquée par une discontinuité entre les calcaires à faciès récifal de l'Urgonien et les sédiments détritiques aptiens. Ce résultat est en accord avec les âges de dénudation enregistrés sur la marge cristalline cévenole, indiquant une exhumation de la marge il y a environ 130 millions d'années, entraînant une nature terrigène dans la.

Au cours du Crétacé supérieur, l'influence de la tectonique Pyrenéo-Provençale conduit à la formation de plis orientés E-W associés à des failles inversées avec décollement basal enraciné dans le Trias du bassin de Valréas. Dans le domaine Vivaro-Cévenol, les structures associées à des failles normales orientées N040°E, sont réactivées sous forme de failles de décrochement senestres, associées à des plis orientés E-W.

Du Crétacé supérieur à l'Éocène, le schéma structural devient plus complexe et le système de failles agit comme une zone de transfert entre le domaine stable Vivaro-Cévenol et les domaines plus profonds de Vocontien et de Valréas. Cette tectonique transpressionnelle est placée par certains auteurs dans l'Albien mais pourrait s'être poursuivie jusqu'au Turonien. un principal décollement dans la séquence triasique actif depuis la phase de raccourcissement Pyrenéo-Provençale (Roux et Brulhet, 1999 ; Ballas et al., 2012 ; Balansa et al., 2022).

Au cours de l'Oligocène, après une émergence générale de la région à la fin de l'Éocène, à la fin de la compression Pyrenéo-Provençale, une extension générale orientée NW-SE associée à l'ouverture du golfe du Lion et la réactivation de certains accidents sous forme de failles normales.

Au cours du Miocène, les structures pyrénéennes de La Lance et du synclinal de Dieulefit ont été réactivées au Tortonien, pendant lequel la molasse marine est affectée par le raccourcissement NE-SW.

L'apparition de l'incision messinienne peut être caractérisée par une caractéristique de canyon suivie de son remplissage au Pliocène.

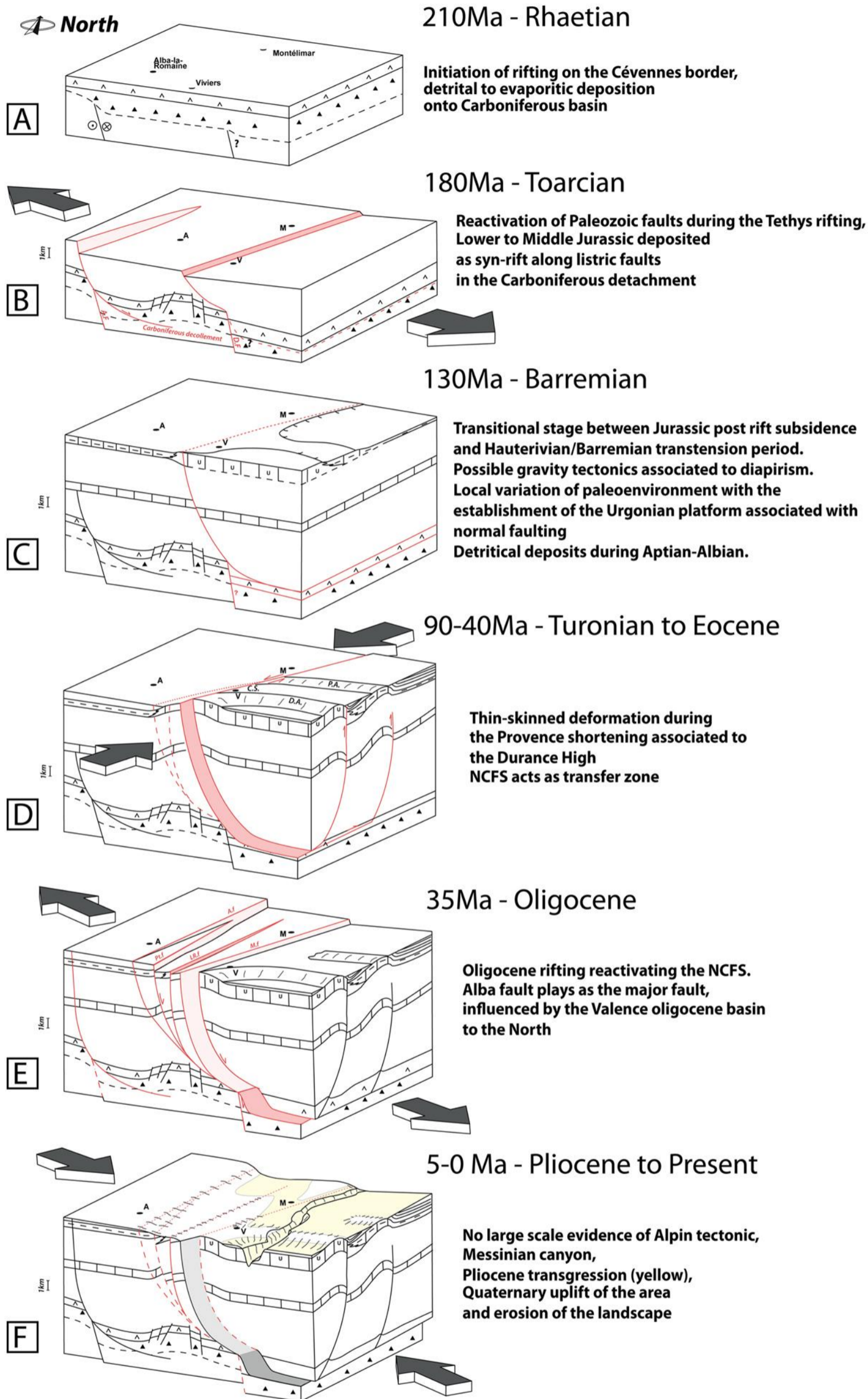


Figure 3: Principaux événements tectoniques ayant conduit à la formation du NCFS depuis le Carbonifère jusqu'à l'actuel. P.A: Synclinal de Puygiron, C.S: Synclinal de Couijanet, D.A: Anticline de Donzère, A.f: faille d'Alba, D.f : faille de Donzère, Pt. f: faille du Pontet de Couloubre, LR.f: Faille de La Rouvière M.f: Faille de Marsanne (Thomasset et al. ; 2024 ; BSGF - Earth Sci. Bull., Volume 195, 2024) .

2.3. Géologie locale

Le secteur d'étude s'étend sur les domaines de la plaine du Roubion et du Jabron (plaine des Andrans au Nord, Valdaine au Sud) et les reliefs qui encadrent cette plaine : au Nord- Ouest l'extrémité sud du massif de la forêt de Marsanne, au Nord-Est l'anticlinal de Pont-de-Barret (montagne d'Eson, 662 m), à l'Est et au Sud-Est le synclinal de Dieulefit (921 m en limite orientale, point culminant de la feuille) et la terminaison périclinale de l'anticlinal de la Lance (mont Rachas, 898 m), au Sud l'anticlinal de Puygiron et le plateau de Montjoyer.

Au plan tectonique c'est une région de transition où s'affrontent deux styles différents de part et d'autre de la faille de Marsanne et de son prolongement vers le Sud-Ouest en direction du château Lafarge :

- au Nord-Ouest, dans le massif crétacé de Marsanne, règne une tectonique cassante de couverture sédimentaire de socle en liaison avec le gigantesque escalier de failles de direction varisque qui effondre la structure vers le Sud-Est à partir de l'accident des Cévennes ; c'est lui qui est responsable de l'affleurement général des couches secondaires de plus en plus récentes vers le Sud-Est;
- au Sud-Est règne au contraire une tectonique plus souple dominée au Sud par les plis à direction est—ouest de la phase pyrénéo-provençale (Éocène) : anticlinal de Viviers, synclinal d'Allan, tandis que seul l'Est et le Sud-Est ont été réellement replissés par l'activité alpine de la phase rhodanienne : anticlinal de Roche-Saint- Secret, synclinal de Dieulefit, anticlinal de Pont-de-Barret;
- au centre, le bassin du Roubion correspond à un palier tectonique à pendage monoclinale vers le Sud-Est

Le Rhône, le Roubion et le Jabron ont alors permis à l'érosion différentielle de dégager dans cette structure l'ensemble des roches tendres du Gargasien au centre (bassin de Montélimar) et de mettre en relief au Nord le massif crétacé de Marsanne et au Sud le crêt des calcaires gréseux du Turonien puis la «cuesta» des calcaires stampiens.

2.4. Cadre géologique des séries barrémo-bédouliennes

Les terrains barrémo-bédouliens qui bordent les plaines du Roubion et du Jabron montrent des faciès très différents et suggèrent une mise en place différente au regard de la plateforme carbonatée barrémo-aptienne.

La mise en place d'une subsidence active sur la marge passive amorcée à la fin du Jurassique entraîne des dépôts très variés depuis la plateforme récifale et ses faciès urgoniens jusqu'au dépôts hémipélagiques et pélagiques de la fosse vocontienne.

Cette variété de dépôt se retrouve dans les différents massifs qui bordent le syndicat :

- au Nord-Ouest (de Viviers à Marsanne) un faciès pélagique,
- à l'Est (anticlinaux de Pont-de-Barret et de la Lance) un faciès bioclastique;

Le faciès urgonien n'existe pas sur la zone d'étude et ne réapparaît que plus au Sud de Viviers et de Malataverne.

Ces formations ont été rencontrées en forage sur la périphérie de la zone et montrent de fortes variations d'épaisseur (de la lacune ou quelques mètres dans les forages de Marsanne au nord de la plaine de Valdaine au sud de la faille de Marsanne jusqu'à plus de 200m au sud du syndicat. Ces variations observées en forages sont cependant à prendre avec précautions, les séries pouvant être fortement plissées (notamment au niveau de l'anticlinal de Puygiron). En conclusion ces calcaires peuvent varier fortement en termes de faciès et d'épaisseur.

Les différentes phases tectoniques et phases d'érosion (notamment l'érosion messinienne) ont pu entraîner la mise en place d'une karstification importante de ces séries.

2.5. Séries géologiques postérieures aux calcaires barrémo-bédouliens

Après un épisode de courants violents parfois souligné par un *hard-ground*, la sédimentation marneuse réapparaît brutalement à l'Aptien supérieur (marnes bleues). Des apports détritiques envahissent partiellement cet étage ainsi que l'Albien. Ils se retrouvent sur l'intégralité de l'emprise du syndicat et affleurent très largement dans les plaines du Roubion et du Jabron.

Les terrains du crétacé supérieur affleurent en périphérie sud et est du syndicat. S'y succèdent :

- Le Cénomaniens est calcaréo-grés-marneux et souvent incomplet ;
- Le Turonien est transgressif et débute par des grès plus ou moins grossiers.
- La sédimentation marine (calcaires, grès et sables) se poursuit jusqu'au Coniacien. L'émersion est provoquée par la phase tectonique anté-santonienne (ou anté-campanienne), majeure, suivie par la phase pyrénéo-provençale, dont les effets respectifs ne peuvent être distingués ici, faute de dépôts.

Après une longue période d'émersion et d'érosion, les lacs oligocènes ont recouvert le secteur étudié. A Aleyrac les dépôts de cette période sont nettement discordants sur le Turonien plissé. La mer miocène a également recouvert la partie centrale de la feuille, mais entre le bassin de Valréas et celui de Crest les témoins des dépôts miocènes respectés par l'érosion sont très rares.

A la fin du Miocène, une importante phase d'érosion creuse la première vallée du Rhône nettement à l'Est du Rhône actuel. La mer pliocène envahit cette profonde vallée et ses affluents et y dépose ses vases et ses sables. Le bras de mer se faufile entre les collines de Notre-Dame de Montchamp et de Roucoule (comme aujourd'hui l'autoroute) ; il devait s'étaler assez largement autour de Montboucher, puis remontait le couloir de Saint-Marcel-lès-Sauzet et, au maximum de la transgression, celui de Condillac. C'est la dernière incursion marine. Une nouvelle phase de comblement termine le Pliocène.

3. Programme des travaux menés par CDP Consulting pour cette partie de l'étude concernant la valorisation des données sismiques existantes

3.1. Rappel des objectifs visés par cette étude

La première partie de cette étude réalisée pour le SIEBRC est assurée par CDP Consulting. Elle consiste à valoriser les profils sismiques anciens afin d'enrichir la connaissance structurale du Bassin de Valdaine et d'apporter des informations qui permettront de mieux contraindre les travaux futurs (karstologie, implantation forage). Cette étude aura pour but de livrer des coupes géologiques représentatives à proximité des lignes sismiques, d'apporter des informations géologiques ponctuelles notables (ria messinienne, failles). Elle aura également la nécessité de livrer un regard sur les limites et incertitudes associées à l'utilisation de ces données anciennes et de proposer le cas échéant des acquisitions complémentaires afin de dérisquer au mieux ces résultats.

3.2. Quelques généralités sur les données de sismiques réflexion

La sismique réflexion est une méthode géophysique non invasive utilisée pour étudier la structure du sous-sol terrestre. Elle repose sur l'enregistrement des ondes sismiques réfléchies par les différentes couches géologiques. Concrètement, une source d'énergie (comme un camion vibreur (plaque vibrante) ou une petite charge explosive) génère des ondes qui se propagent dans le sol. Lorsqu'elles rencontrent des interfaces entre couches de propriétés physiques différentes (densité, vitesse des ondes), une partie de ces ondes est réfléchi vers la surface, où elles sont captées par un réseau de capteurs appelés géophones.

Cependant, il est important de noter que la qualité de ces données dépend fortement des **paramètres d'acquisition** : espacement entre les capteurs, fréquence des ondes, densité de points de mesure, etc. Ces paramètres doivent être adaptés aux objectifs visés (imagerie de structures profondes, détection de petites discontinuités, caractérisation fine de réservoirs, etc.). Leur mise en œuvre a d'ailleurs fortement évolué au cours du temps, grâce aux progrès technologiques et aux besoins croissants en résolution et en fiabilité.

Ces données enregistrées sur le terrain sont ensuite récupérées au format de **données brutes**. Pour être exploitées, ces données brutes doivent alors faire l'objet d'un **traitement sismique** pour produire des images du sous-sol, comparables à une échographie en médecine. Ce

traitement sismique n'est pas univoque et nécessite un travail important mené de concert entre les géophysiciens et les géologues en fonction de la nature des objectifs à imager.

Une fois le traitement sismique finalisé, les géologues peuvent entreprendre une phase d'**interprétation sismique**. Cette phase permet notamment d'identifier la géométrie des couches, la présence de failles, et parfois même la nature des roches, avec une grande précision..

En revanche, ces images sont initialement exprimées selon une **échelle verticale en temps double** (le temps que met l'onde pour descendre jusqu'à une couche et revenir en surface). Pour exploiter ces données en profondeur réelle, il est nécessaire de réaliser une **conversion temps/profondeur**, qui repose sur la connaissance des vitesses de propagation des ondes dans les différentes couches du sous-sol. Cette étape fait partie intégrante du processus d'interprétation sismique.

Enfin, l'interprétations sismique n'étant pas univoque, il est important que l'interpréteur associe à ces résultats les limites de son interprétation en fonction des données qu'il a à disposition (qualité des données sismiques pour imager l'objectif, complexité géologique, absence de forage pour les calibrations des données sismiques, etc...).

3.3. Particularité des données sismiques en France : mise à disposition des données brutes

Contrairement à de nombreux pays, la France dispose au travers de son code minier, d'un système favorable concernant la mise à disposition des données sismiques tirées au cours du temps. En effet, les données sismiques brutes tombent dans le domaine public au bout de dix ans et peuvent être déstockées auprès du BEPH.

Une fois récupérées, elles peuvent faire l'objet d'un nouveau traitement sismique dont les progrès techniques sont toujours plus importants.

Il est à noter que :

- ce dispositif ne concerne malheureusement que les données sismiques acquises dans le cadre de l'exploration pétrolière (d'autres acquisitions acquises pour d'autres thématiques n'ont pas fait l'objet d'un archivage systématique et peuvent ne pas être recouvrées) ;
- d'un point de vue pratique et par retour d'expérience, ces données sont récupérables principalement lorsque ces données ont été enregistrées ou transcrites sur des supports numériques (ce qui n'est généralement pas le cas pour les données antérieures à 1970 ;

- ce dispositif ne concerne que les données sismiques brutes, les données traitées restant généralement propriétaire de l'opérateur, sauf si les données sismiques brutes ne sont pas recouvrables.

3.4. Résumé du déroulé des travaux

Pour réaliser ce travail, CDP Consulting a procédé à plusieurs étapes :

1^{ère} étape : inventaire des données sismique et récupération des données sismiques brutes

Cette première étape vise à faire inventaire des données sismiques existantes sur la zone d'étude, d'évaluer la disponibilité de ces données et de synthétiser à pouvoir apporter une information pertinent par rapport aux objectifs visés (c'est-à-dire les calcaires du Barrémo-Bédoulien).

Sur la base des résultats de cet inventaire, CDP Consulting a procédé à la récupération des données sismiques brutes afin de valoriser les données sismiques pouvant apporter des informations intéressantes à l'échelle du syndicat.

Ainsi, plusieurs lignes ont pu être récupérées et valorisées de différentes manières en fonction de la nature des données récupérées. Ces lignes, issues de l'exploration pétrolières sont de crus différents et ont été acquises respectivement en 1969 (campagne Montelimar) et 1981/1982 (Campagne Sud-Est). Les autres données existantes n'ont pu être récupérées, ou bien parce que ces données sismiques sont trop récentes (données EDF) ou bien parce que ces données étaient trop anciennes non recouvrables ou pas pertinentes dans le cadre de ce travail.

2^{ème} étape : Traitement des données sismiques

Les données de la campagne 1981 et 1982 ont été récupérées sous forme de données brutes et ont pu faire l'objet d'un traitement sismique moderne jusqu'au stade la migration profondeur avant addition, en permettant notamment d'améliorer de façon importante le traitement sismique d'origine de cette campagne.

Les lignes de 1969 n'ayant quant à elle pu être récupérées sous forme de tirages papier du traitement d'origine (données sismiques brutes non récupérables à ce stade), ont fait l'objet d'une mise au format SEG Y (données numériques permettant d'être chargées dans un logiciel d'interprétation). Ces données ont fait l'objet d'un processus de post-traitement afin d'en améliorer la définition et de les harmoniser avec les lignes de 1981/1982.

3^{ème} étape : Interprétation des données sismiques

Les données sismiques retraitées ont ensuite été chargées sur station d'interprétation afin d'être interprétées. Les principaux repères géologiques ont été identifiés et cartographiés, notamment le toit des calcaires barrémo-bédouliens. Les principales failles ont également été identifiées et tracées le long des lignes sismiques et parfois cartographiées lorsque une faille pouvaient être identifiées sur plusieurs lignes sismiques de façon contiguë.

Une étape de conversion profondeur assez basique (en l'absence de forage le long des lignes), dont les limites seront discutées dans le rapport, a permis de restituer une profondeur approximative de ces calcaires le long des lignes sismiques.

Le trop faible densité de profils sismiques ne permettant pas la réalisation de cartographie structurale, les informations concernant l'interprétation sismique sont restituées sous forme de coupe structurales le long des profils sismiques.

Enfin, une carte de synthèse des informations importantes issues de l'interprétation sismique a également été produite.

Ce travail est également accompagné d'un travail concernant les incertitudes associées à ces résultats au regard de la nature des données sismiques disponibles (lignes sismiques anciennes visant des objectifs profonds, différents de ceux du SIEBRC).

4. Phase 1 : Inventaire des données sismiques disponibles et récupération des données à valoriser

La zone couvrant l'emprise actuelle du SIEBRC a fait l'objet de campagnes de sismiques réflexion par le passé pour différentes thématiques.

4.1. Historique des campagnes sismiques et statut des données sismiques

4.1.1. Campagnes sismiques du permis de recherche d'hydrocarbures de Montélimar [1957-1972]

Les premières campagnes sismiques s'inscrivent au sein de campagnes exploratoires en vue de la recherche d'hydrocarbures. Plus précisément, la zone d'étude s'inscrivait au sein du permis de recherche dit permis de Montélimar qui s'étendait de Crest à Avignon, accordé à la S. N. P. A. entre 1957 et 1972.

D'importantes études géophysiques ont été réalisées, ainsi que plusieurs sondages, en particulier celui de Marsanne, D Ma 1 (3 - 1), profond de 5015 m. Les recherches se sont révélées infructueuses. A noter que les anticlinaux de Pont-de-Barret et de Puygiron n'ont pas été forés.

Plusieurs campagnes sismiques de cette période recoupent la zone d'intérêt et sont listées dans le tableau suivant. Elles ont été acquises par trois sociétés d'acquisitions différents (Rogers, CGG et CFPS).

Les données sismiques brutes de ces lignes n'ont pas pu être recouvrées (données non archivées dans les services du BEPH ou données non transcrites au format numérique qui nécessiterait un investissement important pour la transcription).

Seules une image des traitement d'origine des profils de la campagnes M3U d'Eyzahut a pu être recouvrées dans la version stack. A défaut de pouvoir faire l'objet d'un traitement sismique, elles restent intéressantes à intégrer dans l'étude. Il s'agit de campagnes sismiques primitives et assez pauvre au regard de campagnes sismiques modernes (couverture simple) mais montrent des informations intéressantes. Elles ont donc fait l'objet par la suite d'une digitalisation, d'une mise au format SEGY et d'un post-traitement.

Tableau 1: Liste des campagnes associées au permis Montelimar (ante-1972)

DIMAH_NUMB	ETUDE	LINE_NAME	longueur	CONTRACTEUR
18-0160	PUYGIRON	PU1A	7.2	ROGERS
		PU1B	4.5	
		PU1C	2.7	
		PU2A	7.8	
		PU2B	9.1	
		PU3	4.7	
		PU4	4.4	
		PU5A	13.5	
		PU7	14.1	
		PU8	13.6	
		PU9	13.4	
PU10	11.9			
18-0181	DROME	28	2.8	CGG
		15	2.7	
		21	2.7	
		13	1.6	
		14	1.6	
18-0184	SOYANS	DSO1	6.7	ROGERS
		DSO4	12.1	
		DSO11	5.5	
		DSO12	4.2	
		PU8	12.0	
		PU10	11.9	
18-0188	GRAS	MA1	3.4	CGG
18-0197	DIEULEFIT	M1M2A	11.7	CGG
18-0223		PU	12.2	CFPS
18-0277	EYZAHUT	M3U1	13.0	CGG
		M3U2	16.2	
		M3U3	14.0	
		M3U4	11.7	
		M3U6	5.2	
18-0172	SAVASSE	PU15	5.0	ROGERS
		PU17	9.6	

4.1.2. Campagne sismique dite Campagne Sud-Est [1981-1982]

Au début des années 1980 et afin de relancer l'exploration pétrolière dans le bassin du Sud-Est, l'état accompagné de l'IFP, décide de diriger un grand programme de reconnaissance du bassin du Sud-Est à travers un programme ambitieux. De très longues lignes sont acquises afin de recouper le bassin. Il s'agit de profils à investigation profonde permettant d'imager les couches sédimentaires jusqu'à 12 km de profondeur.

A défaut ces lignes ne disposent pas d'offset court et ne permettent pas d'imager la proche surface (environ 100-200m). Elles restent pour autant des lignes de grande qualité.

Trois profils de cette campagne recoupe la zone d'étude. Deux profils de direction N-S dans la continuité l'un de l'autre 81SE4A - 82SE4B. Un profil E-W reconnaissant l'est du Syndicat depuis La Batie-Rolland et se prolongeant en direction de Dieulefit le long du Synclinal d'Allan (81SE3B).

Les données sismiques brutes de ces lignes ont pu être récupérées auprès du BEPH.

4.1.3. Campagnes sismiques EDF

Suite au séisme du Teil (11 novembre 1919) et dans le cadre de l'étude sismotectonique associée aux CNPE de Tricastin et Cruas, EDF, accompagné par CDP Consulting, a procédé à un important programme de reconnaissance de sismiques réflexion sur la transition Ardèche-Drôme au niveau du Rhône.

Ces données sismiques ne sont pas encore tombées dans le domaine public et ne peuvent être acquises que sous forme d'un accord avec EDF, aux conditions tarifaires et d'utilisation qui lui sont propres.

Faute d'accord écrit bien formalisé entre le SIEBRC et EDF, ces lignes ne sont pas valorisables pour l'instant. Une partie de ces travaux ont fait l'objet de communications (RST) et de publications (SGF).

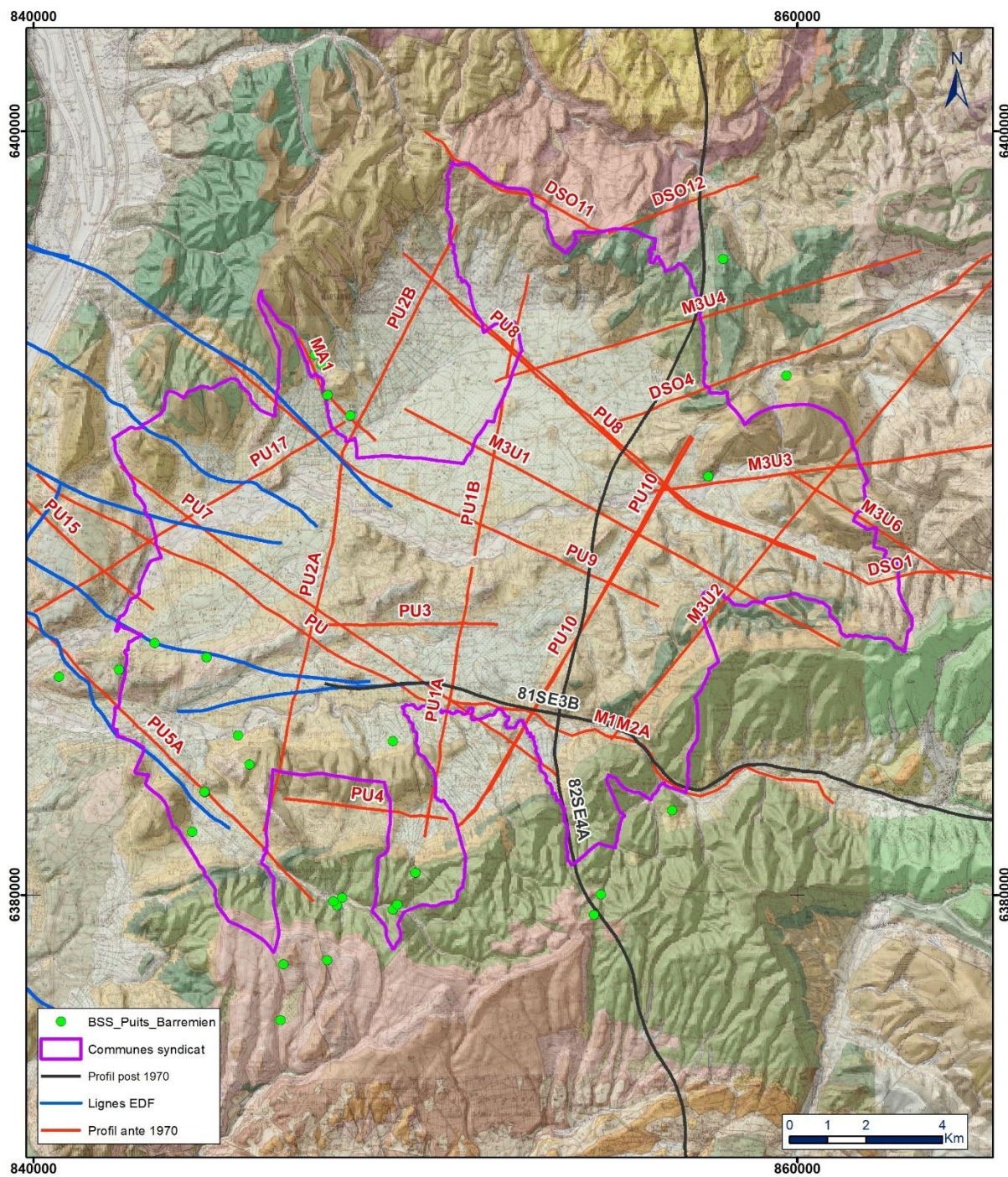


Figure 4: Carte des profils de sismique réflexion existants sur l'emprise du SIEBRC

4.2. Synthèse des données récupérées pour l'étude et exploitabilité

Pour résumer, CDP Consulting a pu se procurer pour cette étude:

- les données sismiques brutes de 3 lignes de la campagnes Sud-Est de 1981/1982 :
 - 81SE3B
 - 81SE4A/82SE4B
- Un tirage scanné du traitement d'origine (version stack) des profils anciens de la campagne d'Eyzahut 69M3U de 1969.

Les lignes de 1981/1982 ont donc pu faire l'objet d'un retraitement sismique moderne dans les règles de l'art qui sera détaillé dans le chapitre suivant.

En revanche, les données de 1969 ne peuvent faire l'objet d'un retraitement sismique, les données sismiques brutes n'étant pas disponible. Ceci étant, elles restent intéressantes à intégrer dans l'étude. Elles ont fait l'objet par la suite d'une digitalisation, d'une mise au format SEG Y et d'un post-traitement.

5. Retraitement sismique 2D des lignes de la campagne Sud-Est: processus prestack et stack

5.1. Introduction

5.1.1. Logiciels de traitement

Le traitement sismique a été réalisé sur les logiciels Geocluster et Geovation2 développés par CGG. La section suivante présente les grandes phases du traitement et les choix opérés lors du pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

5.1.2. Définition de la séquence de traitement

La séquence de traitement a été établie par CDP Consulting et adaptée en cours de traitement aux caractéristiques des données.

La séquence de traitement peut se décomposer en plusieurs phases :

- des processus pré-stack :
 - Géométrisation/Mise en forme des données/Création de SPS.
 - Correction de la divergence sphérique et égalisation des traces.
 - Edition des traces.
 - Déconvolution minimum phase et surface consistante.
 - Filtrage/Élimination du bruit.
 - Modélisation, calcul et application des corrections statiques primaires dérivées d'un modèle géologique de vitesses fournies par CDP consulting.

- Des processus stack avec en alternance :
 - Corrections des vitesses dynamiques NMO avec un pas de plus en plus fin,
 - Mutes interne et externe,
 - Statiques résiduelles haute fréquence basées sur l'optimisation du stack (de type MOCAS),
 - Retour à un débruitage ciblé harmonisé sur les vitesses de stack (FK variable).

- Des migrations :
 - Temps post-stack
 - Temps pré-stack
 - Profondeur pré-stack

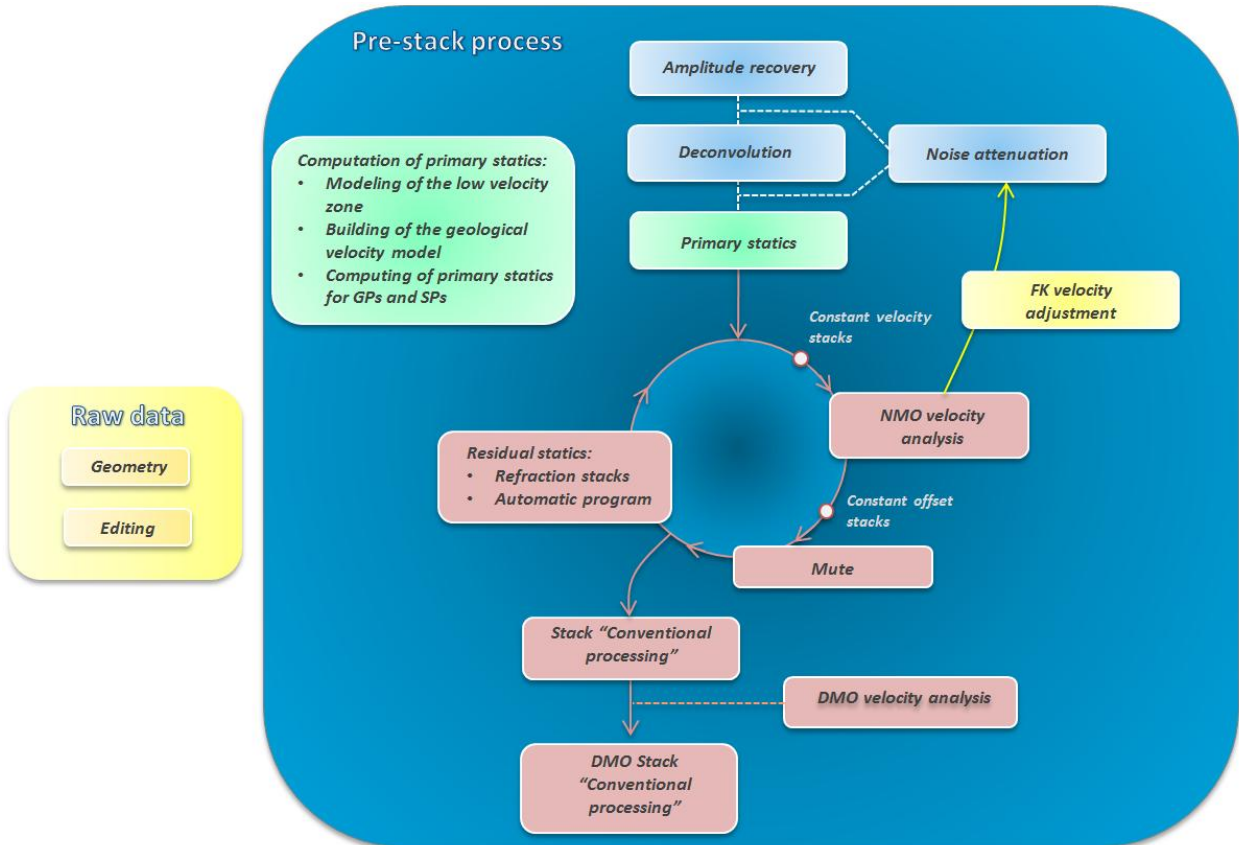


Figure 5: Schéma de principe de la séquence de traitement sismique simplifiée pour l'obtention du stack

5.2. Paramètres généraux d'acquisition des lignes sismiques

Les paramètres d'acquisition des profils sismiques sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 2: Paramètres des sources.

Types	Ligne	Source	Nombre de sweeps, durée	Fréquences du sweep	Distance entre tirs
Ligne 81SE4A, 81SE3B et 82SE4B (FSH/IFP/CGG)		5 Vibroseis Mertz 20	1 sweep par lieu, 8 lieux par tir, 20s	12-62Hz	80m

Tableau 3: Paramètres des récepteurs.

Types	Ligne	Récepteur	Type	Nombre d'unités par point	Distance entre récepteurs
Ligne 81SE4A, 81SE3B et 82SE4B (FSH/IFP/CGG)		SM4U	Geophone		40m

5.3. Pre-processing

5.3.1. Mise en forme des données

Les données sont d'abord chargées sur la station de traitement (systèmes Geocluster et Geovation 2) puis converties en format interne, avec récupération des informations des « trace headers ». Pour la ligne 81SE4a, la corrélation des traces est opérée (le data entrée est déjà corrélé pour les autres lignes). Puis l'opération de géométrisation est effectuée, depuis les fichiers SPS de positionnement terrain (points de vibration, récepteurs et relations). Une CDP line est définie ; elle suit le milieu de l'empreinte d'illumination des CMP, mais en restant la plus proche possible du dispositif d'acquisition pour maximiser l'imagerie des courts offsets, tout en adoptant une trajectoire lissée.

5.3.2. Récupération de l'amplitude

Une correction basée sur la divergence sphérique a été utilisée pour compenser la perte d'énergie. La correction a été réalisée en multipliant les amplitudes par $(T/250)^{1.5}$ avec T correspondant au temps d'échantillonnage en millisecondes.

5.3.3. Minimum-phasing vibreur

Il est considéré que le signal du vibreur est l'autocorrélation du sweep. Après corrélation, le signal enregistré est zéro-phase. Il est nécessaire de le transformer en minimum-phase, notamment pour satisfaire l'hypothèse d'entrée de la déconvolution, qui s'applique à un signal minimum-phase. Un opérateur calculé à partir de l'autocorrélation du sweep est appliqué sur le data.

5.4. Elimination des bruits

5.4.4. Généralités

La séquence utilisée est globalement celle des projets menés par CDP Consulting dans la zone d'étude, avec des paramètres re-testés et adaptés. Elle donne de bons résultats même si les paramètres d'acquisition des lignes de cette campagne sont en général très peu bruités. Le rapport signal/bruit a tendance à diminuer fortement lorsque l'acquisition s'opère avec les terrains barrémo-bédouliens en surface.

5.4.5. Atténuation du ground-roll

Le ground-roll consiste en la propagation d'ondes de surface, qui sont enregistrées par les géophones. Elles sont le résultat d'interférences entre ondes P et S qui transitent sur (ou à proximité de) la surface. Arrivant directement de la source, elles apparaissent linéaires sur les offsets proches. En traversant la proche surface, les ondes rencontrent des problématiques d'hétérogénéité du milieu, de dispersion, de différences de couplage ; elles s'illustrent par leur caractère dispersif, une vitesse basse et une amplitude forte.

Ce bruit est géré par un filtrage F-K. Cette ligne, enregistrée sur des bretelles de récepteurs (opérant un filtrage terrain directement à l'enregistrement), dispose en effet d'un bon rapport signal/bruit et ne présente pas de difficulté particulière de traitement.

5.4.5.1. Atténuation des bruits linéaires

La donnée est polluée par du bruit linéaire, de vitesse apparente variable (parfois rapide). Un filtrage dans le domaine F-K est opéré, avec une vitesse de coupure variable, choisie suffisamment éloignée de la vitesses NMO pour ne pas affecter les réflexions correspondant aux événements primaires. Il est réalisé dans le domaine tir.

5.4.5.2. Atténuation des bruits aléatoires

Une atténuation des bruits par bandes de fréquence est appliquée. Le principe est de décomposer la donnée en plusieurs bandes de fréquence. L'amplitude des échantillons est comparée à la médiane de l'amplitude RMS de la trace, calculée dans une fenêtre temporelle glissante et sur une fenêtre spatiale de plusieurs traces. Lorsque cette amplitude dépasse un certain seuil, facteur de cette amplitude RMS médiane, elle est réduite à ce seuil. Le seuil peut être défini sur chaque bande de fréquence et à chaque temps.

Ce process est appliqué en deux passes (domaines tir et récepteur).

5.5. Modélisation géologique et calcul des corrections statiques primaires

5.5.1. Enjeux des corrections statiques

5.5.1.3. Principe

Les corrections statiques représentent l'un des principaux enjeux du traitement sismique terrestre puisqu'elles conditionneront :

- la qualité de l'imagerie en profondeur,
- les formes structurales réelles (grande longueur d'onde),
- les enjeux techniques du traitement sismique pour la zone d'étude.

Pour optimiser la qualité du stack et garantir les formes de la sismique, les corrections statiques constituent l'une des étapes majeures du traitement sismique terrestre.

Des corrections statiques bien calculées facilitent le pointé des vitesses NMO, permettent d'optimiser la qualité du stack et d'assurer de bonnes conversions temps/profondeur des horizons sismiques lors de l'interprétation.

La méthodologie développée par CDP Consulting pour le calcul des corrections statiques est une méthodologie couplant géologie et géophysique visant à établir un modèle géologique de vitesses de la « low velocity zone » (LVZ) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

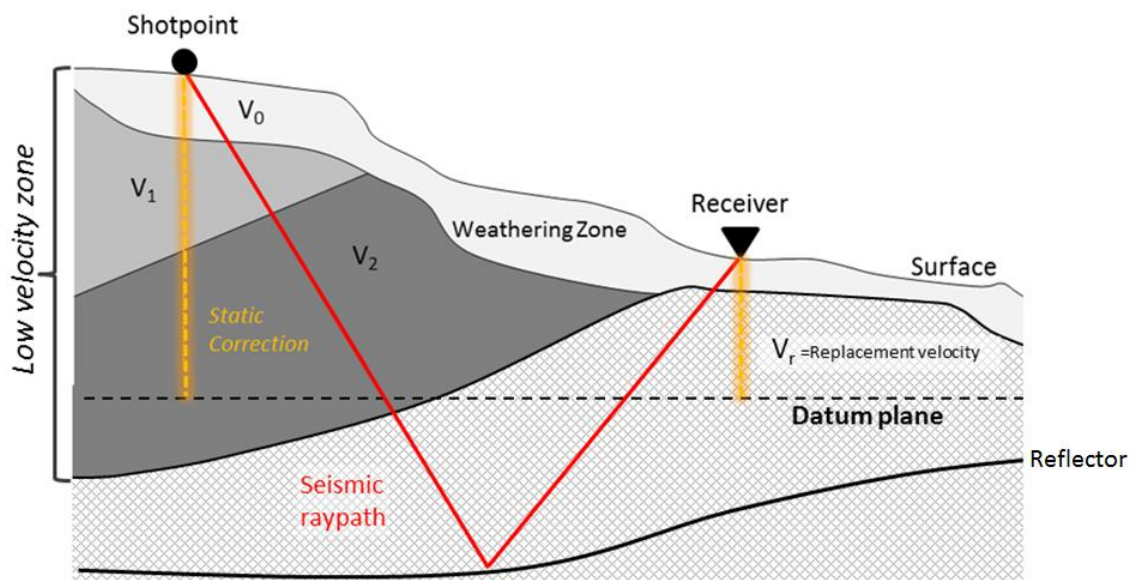


Figure 6: Schéma de principe de la low velocity zone (LVZ) et de sa considération pour le calcul des corrections statiques

Cette méthode repose sur un principe très différent de celle communément proposée par les contracteurs de géophysique afin notamment de maîtriser les formes structurales de grande longueur d'onde. En ce sens, cette méthodologie repose d'abord sur une calibration de la grande longueur d'onde à travers l'élaboration d'un modèle géologique de vitesses des terrains de surface servant de base au calcul des corrections statiques primaires.

Cette phase s'ensuit d'une phase de validation du modèle par des critères géophysiques. Enfin, une phase de calcul des statiques résiduelles "haute fréquence" permet d'optimiser le stack.

5.5.1.4. Besoins de la zone d'étude

La complexité géologique de la zone d'étude a amené les géologues et géophysiciens de l'époque à procéder à une campagne d'acquisition de carottages VT complétée par une série de coupes géologiques fines réalisées le long des transects (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Ces informations primordiales serviront de base au calcul des corrections statiques mais également au contrôle du traitement sismique.

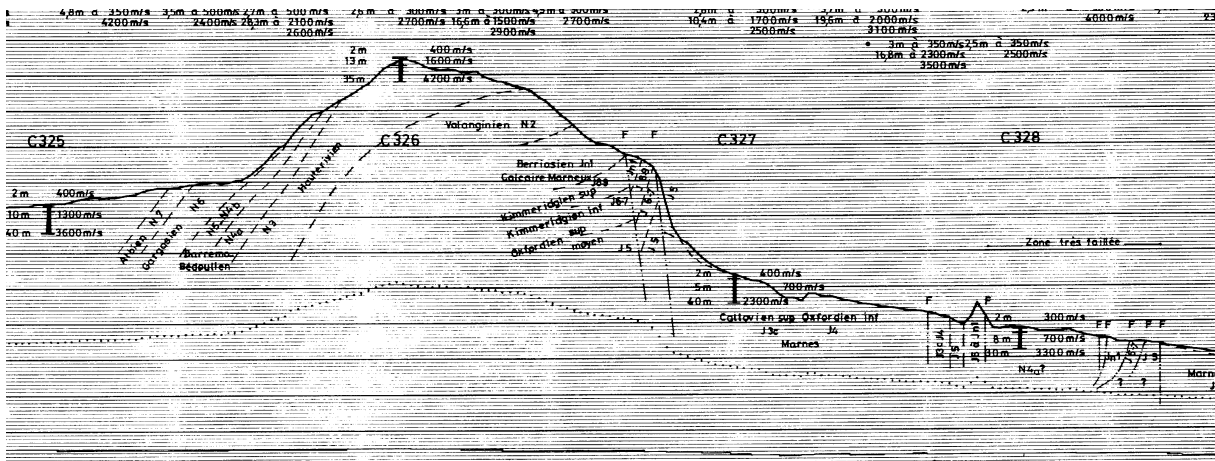


Figure 7: Détail des coupes géologiques de surfaces et des informations de vitesses associées à la campagne de carottages VT, attenantes à la mission sismique SE de 1981

Le modèle devra prendre en compte l'épaisseur des alluvions et la présence de la nappe alluviale ainsi que les vitesses rapides des terrains crétacés et jurassiques affleurants.

L'absence de relevé de surface et de upholes existants sur la rive droite du Rhône impliquera une reconnaissance sur le terrain par CDP Consulting afin de contraindre au mieux le modèle de statiques :

- en estimant les vitesses de formations de surface, notamment à travers la compétence des formations crétacées ;
- en estimant l'épaisseur des terrains lents (colluvions, terre arable...) ;

- en relevant certaines contraintes telles que les pendages ou la présence de failles notables pouvant amener à contraindre le modèle statiques primaire.

5.5.2. Méthodologie générale

Les corrections statiques primaires sont calculées par CDP Consulting à partir d'un modèle géologique de vitesses des terrains de subsurface qui sert de base à la calibration de la grande longueur d'onde de la sismique, avec une marge d'erreur de [-5, +5 ms temps simple], pouvant être corrigée par le calcul des statiques résiduelles hautes fréquences.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour le calcul des corrections statiques primaires et leur validation :

- Une phase d'établissement du modèle géologique de vitesses servant de support au calcul des corrections statiques primaires composée elle-même de plusieurs phases :
 - Collecte et analyse des données géologiques et géophysiques existantes (carte géologique, carottages VT, etc...),
 - Définition de la low velocity zone, (*c'est-à-dire l'ensemble des terrains de surface présentant des contrastes de vitesses importants à considérer dans le calcul des corrections statiques*),
 - Définition du modèle géologique de vitesses de la low velocity zone servant de support au calcul des corrections statiques primaires,
 - Identification des points clés pour le calage de grande longueur d'onde des corrections statiques,
 - Construction des grilles du modèle représentant les principales interfaces du modèle,
- Une phase de calcul des statiques primaires au niveau des points de tirs et des géophones, sur la base du modèle établi précédemment, qui permet de pouvoir débiter le traitement sismique et obtenir un premier stack,
- Une phase de validation du modèle de corrections statiques primaires par méthode géophysique et de calcul de statiques résiduelles :
 - l'utilisation de stack « réfraction » en direct et en inverse permet de calculer si nécessaire des statiques additionnelles « réfraction » entre deux points de calage.
 - la corrélation entre les stacks « traces proches » et les stacks « traces lointaines » permet également de calculer entre deux points de calage des anomalies de statiques plus petites que la longueur de l'offset.
 - la phase de validation des statiques réside dans le calcul des statiques résiduelles par l'application d'un programme automatique de corrections statiques « haute fréquence » basées sur l'optimisation du stack. Ces corrections statiques résiduelles sont calculées en cours de traitement après l'application des statiques primaires après chaque analyse de vitesse NMO

(Normal Move Out). Elles permettent d'affiner, d'ajuster et de valider les statiques primaires calculées par le modèle en optimisant le stack.

5.5.3. Collecte des données disponibles pour l'établissement du modèle de corrections statiques des terrains tertiaires

5.5.3.1. Carottages VT

La seule campagne de carottage VT disponibles sur la zone d'étude correspond aux carottages réalisés lors de la campagne de 1981 (campagne 81SE). Ces carottages se situent à l'est de la zone d'étude et renseignent notamment sur les vitesses des terrains rencontrés sur la ligne 81SE4A (Erreur ! Source du renvoi introuvable., Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

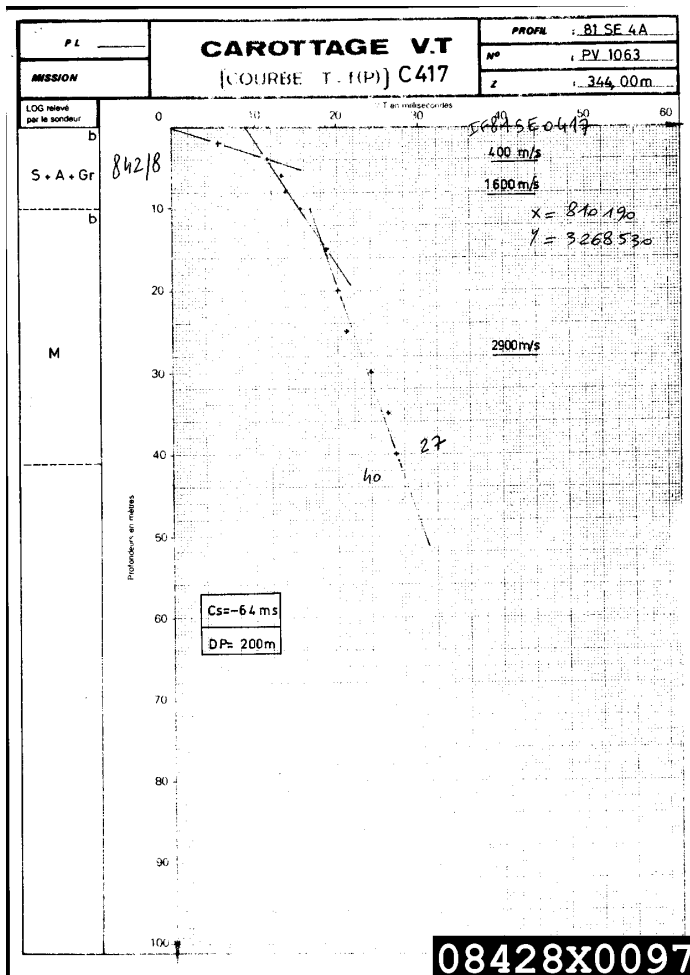


Figure 8: Exemple d'un carottage VT disponible le long de la ligne 81SE4A montrant le contraste de vitesse entre les formations miocènes d'Autichamps et les barres calcaires sous-jacentes.

5.5.3.2. Autres données

Les données géologiques ont été récupérées et synthétisées (notice de carte géologique, carte géologique...). Les forages disponibles sur la zone (forages pétroliers, forages AEP, niveau piézométrique) ont également été récupérés et analysés (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

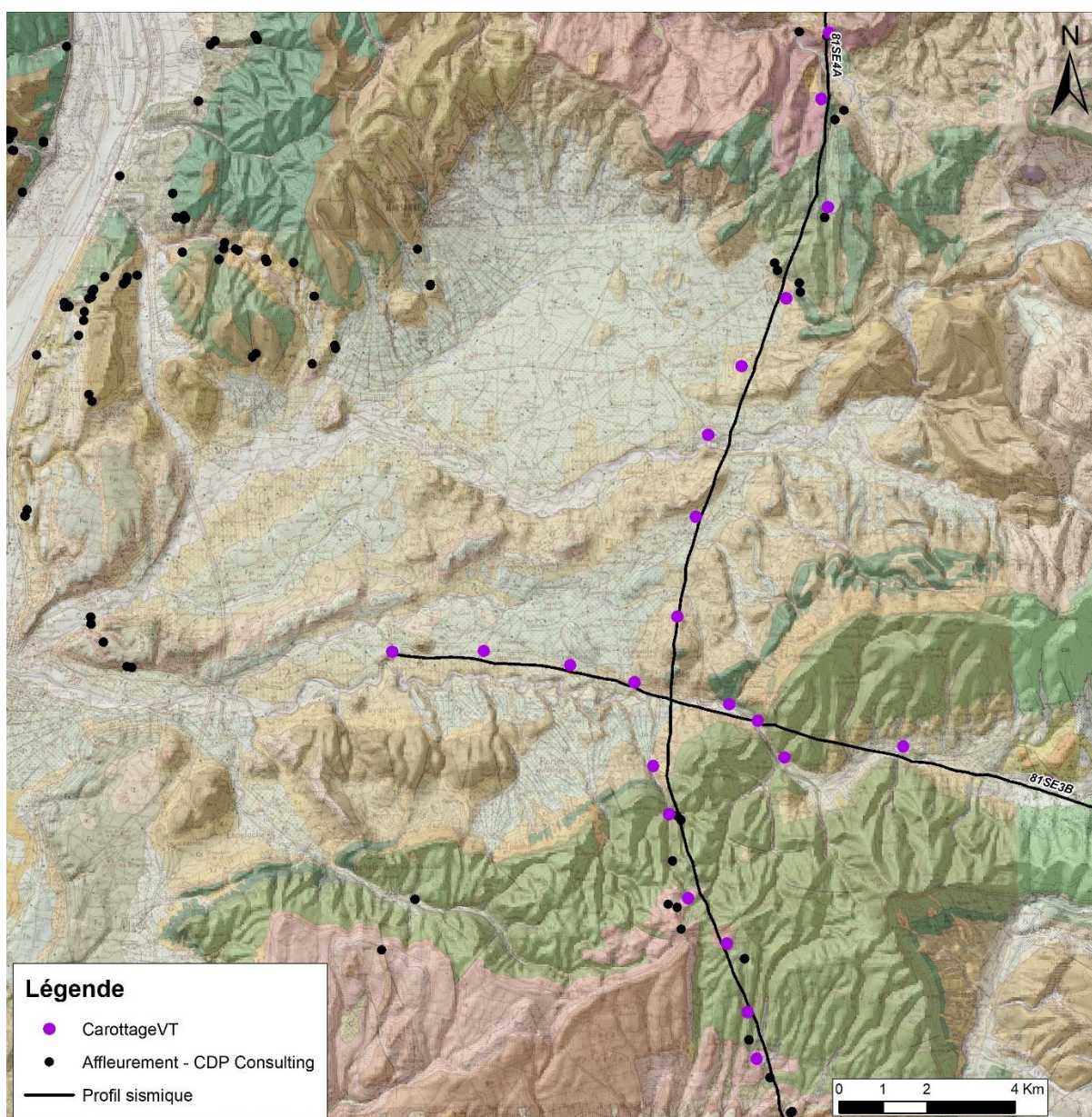


Figure 9: Carte de localisation des différentes informations disponibles pour l'établissement du modèle géologique de corrections statiques (forages, carottages VT, ...)

5.5.3.3. Etude de terrain pour la modélisation des corrections statiques primaires

En l'absence de données de vitesses précises en surface et afin de mieux appréhender l'architecture des dépôts au sein de la zone d'étude, CDP Consulting a réalisé au cours de ces dernières années différentes campagnes de levés sismiques pour créer un database de terrain (pendage, faille, nature des terrains affleurants) de la zone autour de Montélimar. Cette database a été consultée pour la réalisation des coupes géologiques de surface le long des profils sismiques et de relever précisément :

- la nature et l'épaisseur des formations,
- les pendages des formations, nécessaire lors de la construction du modèle géologique et permettant d'avoir quelques critères d'orientation des couches dans les zones complexes (où la qualité du stack n'est pas optimale),
- la présence des accidents structuraux, servant de guide pendant le traitement et l'interprétation sismique.

Le secteur d'étude se trouve en zone drômoise, où les principaux terrains rencontrés appartiennent à un ensemble de formations diverses composées majoritairement :

- de terrains du Crétacé moyen (albo-cénomaniens clastiques) et supérieur (Turonien calcaire et formation senoniennes clastiques) :
- des terrains de l'Oligocène pouvant présenter des faciès calcaires formant corniches et pouvant présenter localement des séries très rapides
- les terrains miocènes du Bassin de Valréas au sud de la zone d'étude et du Bassin d'Autichamps au nord est de l'étude



Figure 10: Molasse miocène de Valréas



Figure 11 : formation marno-sableuse du miocène de la région d'Autichamps (nord de la 81SE4A)

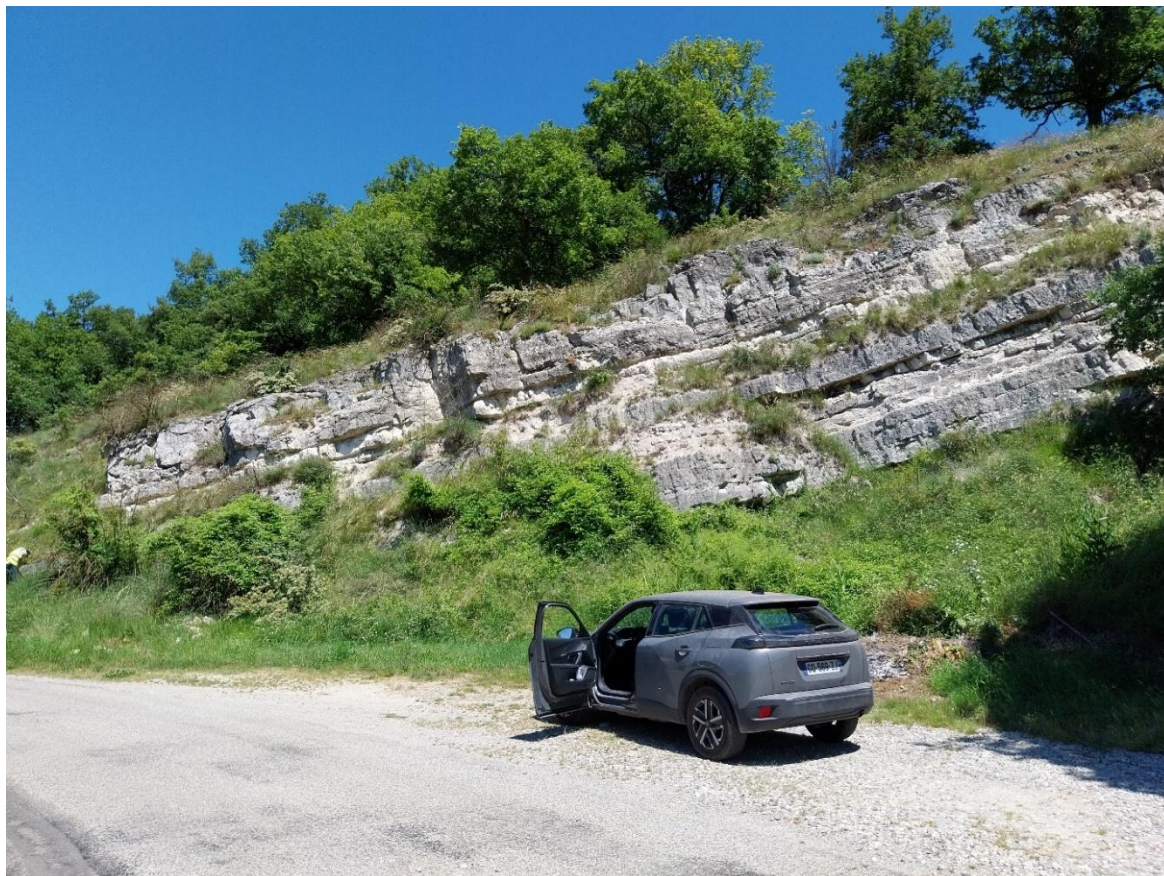


Figure 12: barre inférieure des calcaires de l'Oligocène au nord de la 81SE4A formant une corniche bien visible

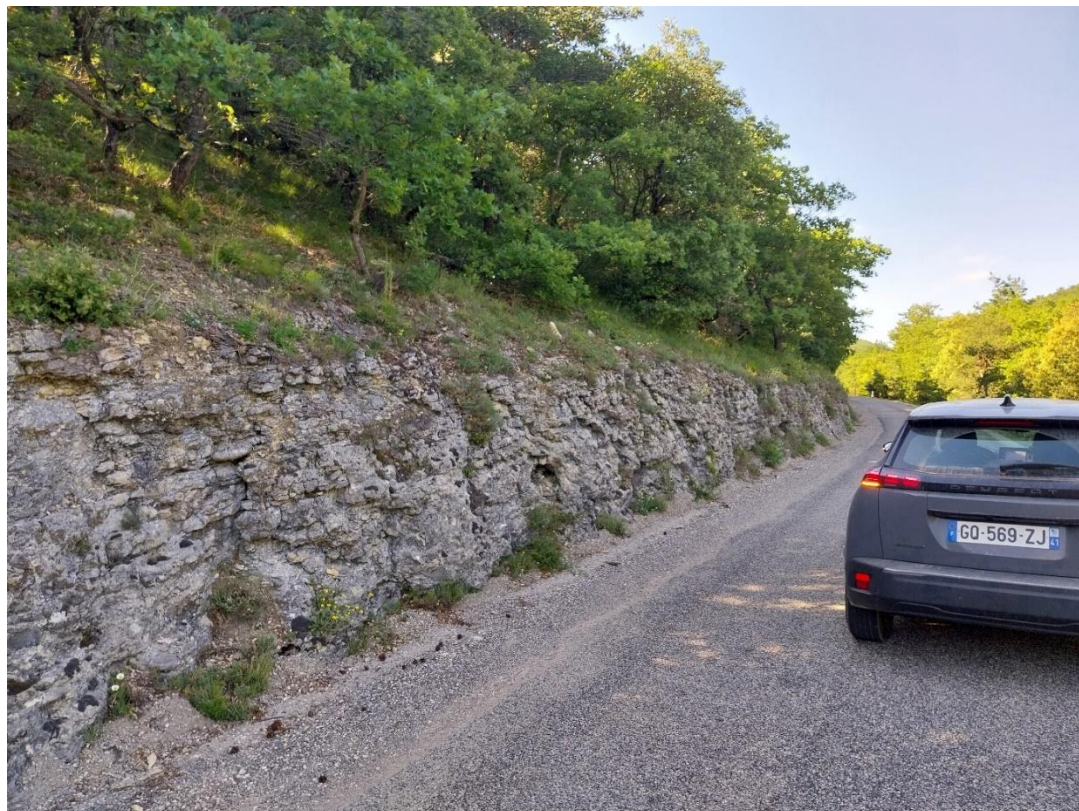


Figure 13: Calcaires bioclastiques du Turonien supérieur formant le relief important du sud de la ligne 81SE4A délimitant la partie nord du bassin de Valréas



Figure 14: formation albienne gréseuse au niveau du Puy Saint-Martin (81SE4A)

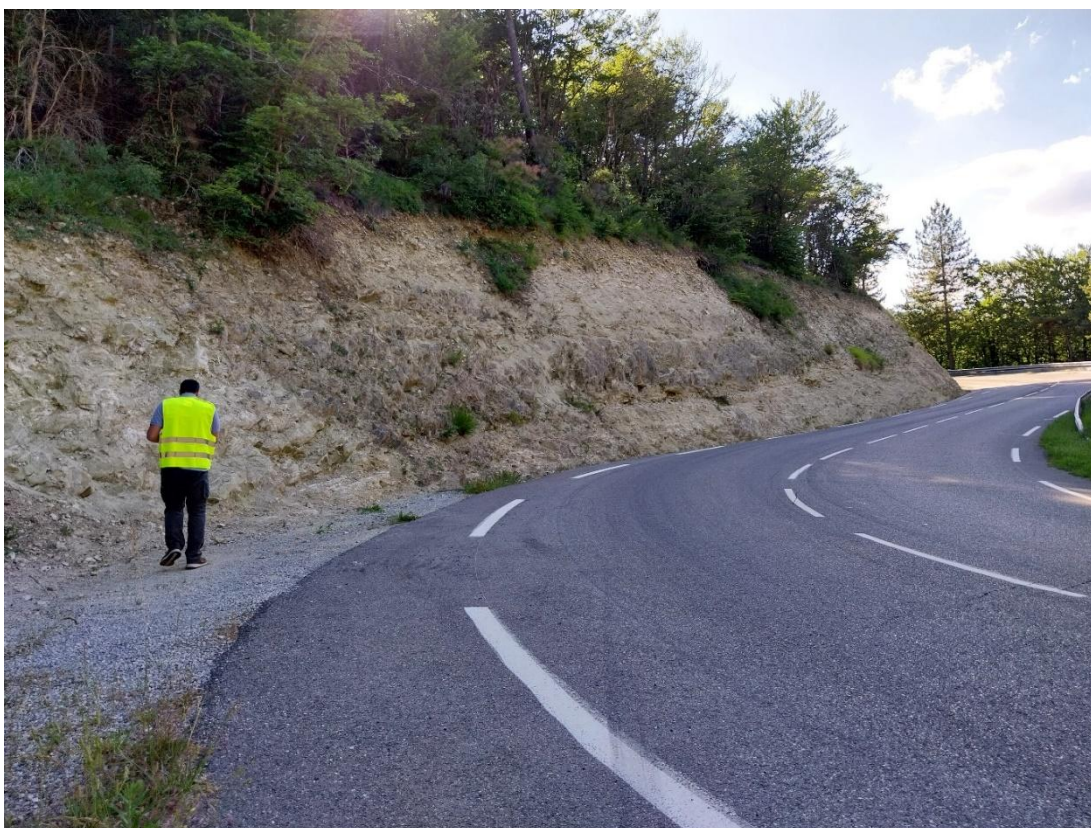


Figure 15: Formation gréseuse azoïque du crétacé supérieur observable au sud de la Bégude Mazenc le long du profil 81SE4A (elle pourrait correspondre aux sables de Raymonds situés plus à l'Est).

5.5.4. Modèle de corrections statiques primaires pour les lignes régionales (24CR104, 24110, 24CR112 et 82SE4A)

5.5.4.1. Choix du datum plane par rapport aux études précédentes

Dans la méthodologie générale adoptée par CDP Consulting, le datum plane est généralement placé sous le niveau le plus bas des rivières dans l'emprise de la zone d'étude.

En raison de l'étendue de la nouvelle zone d'étude, il a été décidé de considérer de nouveau un datum à la cote 0m NGF.

5.5.4.1. Le modèle géologique de statiques primaires

En l'absence de données de vitesses précises en surface, CDP Consulting a établi une coupe théorique des terrains de surface en essayant d'attribuer une vitesse de tranche des formations représentatives en fonction de la géologie rencontrée en surface et les vitesses reconnues pour ces mêmes formations dans les puits d'investigation profondes disponibles dans le secteur d'étude.

Le modèle intègre donc un modèle multicouche défini entre les terrains de surface et un datum plane situé à 0 m au-dessus du niveau de la mer et ainsi situé sous le niveau le plus bas du Rhône dans le secteur et ne présentant plus de risque de présence de terrains dénoyés potentiellement lent. Ce modèle multicouche intègre outre les principales interfaces géologiques une première couche d'épaisseur constante de 20 m et de vitesse variable. Les vitesses de ces premières couches ont été estimées à partir de la géologie de surface, du travail de terrain, des carottages VT (situés en dehors de la zone d'étude) et de l'expérience de CDP Consulting dans des systèmes géologiques analogues.

Ainsi pour l'ensemble des lignes retraitées dans l'étude, a été défini un modèle géologique de vitesse des terrains de surface utilisé pour les corrections statiques est un modèle à 6 couches, défini comme suit et tronqué au datum plane situé à 0m NGF :

- une couche d'épaisseur constante des 20 premiers mètres,
- Pliocène à 1800m/s,
- Miocène à 2000m,
- Oligocène à 2500m,
- Crétacé sup à 3200m/s,
- Crétacé inférieur supra-Urgonien à 2800 m/s,
- Barrémo-bédoulien à 4400 m/s,
- Hauterivien 3700 m/s,
- Valanginien à 2800 m/s,
- Tithonique à 4500 m/s.

D'une manière générale, les résultats obtenus sont satisfaisants en termes de corrections statiques et permettent d'avoir un rendu homogène à l'échelle de l'étude pour les lignes régionales. Les données ont systématiquement été contrôlées par l'édition de stack réfraction en direct et en inverse et validées par la qualité du stack et de l'amplitude des statiques résiduelles calculées.

L'ensemble des informations de terrain, les coupes reportées sur les profils altimétriques de chaque ligne sont accessibles en annexes.

5.5.4.2. Limites du modèle géologique de vitesse

Absence de données de vitesse et conditions d'affleurement localement défavorable

Ce travail repose sur très peu d'informations de vitesses provenant des carottages existant sur la zone au sens large. Peu de carottages VT sont disponibles, et ne rencontrent malheureusement l'ensemble des formations concernées par les nouveaux profils. On déplorera notamment l'absence de vitesses pour les formations altérées du Crétacé parfois très épaisses ou encore l'absence de

vitesse dans les formations oligocènes, pouvant semble-t-il présenter des vitesses relativement rapides.

Les vitesses restent donc approximatives, ce qui peut être en partie problématique dans les zones de fort relief. En effet, les affleurements donnent des informations de surface, mais ne permettent pas de caractériser les formations géologiques (lithologie, compaction, ...) de la surface jusqu'au DP (0m).

Cependant les données géologiques de surface récoltées durant la mission ont permis de contraindre le modèle et d'apporter également des informations précieuses le long des profils 2D lors du contrôle du traitement sismique et de la compréhension structurale générale de la ligne.

Les vitesses des formations sableuses pliocènes dénoyées restent également assez incertaines et l'acquisition de carottage VT dans ces formations reste nécessaire.

5.6. Processus Stack

L'optimisation du processus de stack a été menée en parallèle et en interaction avec le travail de débruitage.

Chacune de ces révisions a été accompagnée d'une ou plusieurs passes de pointé de corrections statiques résiduelles.

5.6.1. Analyses de vitesse NMO / fonctions de mute / ajustement du FK

Comme pour les traitements des campagnes précédentes, un travail itératif a été mené, en générant :

- Des stacks à vitesses constantes, de 1500 à 6000 m/s (incrément 100 m/s)
- Un pointé de lois de vitesses sur semblance, CDP et mini-stacks
- Un pointé automatique haute densité

Les différentes méthodes ont été testées et combinées sur les différentes lignes, et le meilleur résultat a été retenu.

L'amélioration des lois de la vitesse le long de la section a permis un ajustement de la loi de FK variable définie relativement aux vitesses de stack.

Les fonctions de mute, de vitesses et de FK ont nécessité de nombreux allers-retours en fonction des résultats obtenus et de l'ajustement de l'un ou l'autre des paramètres.

5.6.2. Statiques résiduelles

Les statiques résiduelles ont été calculées suite à chaque passe de vitesses NMO et selon la fonction de mute externe utilisée.

5.6.3. Stack

Un stack final a ainsi été obtenu. Cette version a été chargée sur station afin de vérifier la bonne homogénéité du traitement au niveau des croisements entre lignes (notamment en termes de statiques, de vitesses et de phase).

5.7. Traitement sismique 2D : processus PSTM

Un traitement PSTM a été mené sur l'ensemble des lignes (migration profondeur avant addition) et correspond au processus de migration en temps le plus abouti actuellement en sismique terrestre

5.7.1. Principe: la migration une étape obligée pour restituer une image structurale correcte

La première étape du traitement correspond au processus « stack ». Elle correspond généralement au traitement d'origine des traitements sismiques anciens.

Aujourd'hui le processus de migration est plus facile à réaliser grâce aux capacités de calcul qui ont fortement augmenter.

◆ 1. Le stack (ou sommation) : l'image "brute".

Le stack, c'est une étape intermédiaire du traitement sismique. Il sert à améliorer le rapport signal/bruit. Il consiste à :

- Corriger les temps de trajet (normal moveout, ou NMO) des ondes réfléchies pour les ramener à une géométrie équivalente à un tir vertical.
- Ensuite, on somme toutes les traces corrigées pour une position commune (point de milieu commun, CMP).

👉 Résultat : une section empilée (stackée) qui montre les réflexions principales, mais avec des événements qui peuvent être mal positionnés spatialement (surtout si les couches sont inclinées ou complexes).

◆ 2. La migration : l'image "corrigée"

La migration est une étape plus avancée. Elle repositionne les réflecteurs là où ils sont réellement dans le sous-sol. En gros :

On "remonte" les réflexions là où elles ont réellement eu lieu, en prenant en compte la géométrie des ondes (lois de la physique des ondes, comme Snell-Descartes).

Cela corrige les effets de pente, de diffractions, et redresse les structures. Elle sera optimale en 2D quand les directions sont perpendiculaires aux structures rencontrées.

👉 Résultat : une image plus fidèle du sous-sol, avec des réflecteurs repositionnés correctement, et souvent une meilleure lisibilité des structures (plis, failles, dômes, etc.).

Figure 16 : migration vs. stack

Deux facteurs principaux conditionnent la qualité de la migration à savoir les vitesses de migration et le paramètre d'aperture.

5.7.2. Vitesse de migration

Les derniers travaux menés par CDP Consulting dans des zones structurales complexes ont mené au développement d'une nouvelle approche de migration PSTM. Celle-ci se base sur un point affiné des vitesses PSTM en générant une série de migration PSTM à vitesses constantes avec un pas de 100m/s. Ces migrations sont ensuite stackées et servent de support à un pointé interactif.

5.7.3. Processus de migration

La migration pré-stack a été opérée en utilisant un algorithme de migration temps de Kirchhoff optimisé. Après tests, les paramètres retenus sont un dip limit de 20° à t0 et 40° à partir de 500ms (interpolation linéaire), et une ouverture de 3000m.

5.8. Qualité des données sismiques obtenues

Les données ont été exportées au format SEG Y et les coordonnées ont été projetées dans le système géodésique Lambert 93.

Ces données ont été chargées sur station et analysées avant l'interprétation .

Le traitement sismique a permis d'obtenir des images de très grande qualité qui permettent d'imager très clairement l'ensemble des séries jusqu'au substratum paléozoïque. Les données issues de l'acquisition étaient de grande qualité et ont en partie permis l'obtention de tels résultats.

L'absence d'offset proche et l'écart entre traces ne permet malheureusement pas d'imager la proche surface. Les premières réflexions visibles se situent au-delà de 100ms temps double sous la surface, soit environ 150-200m sous la surface en fonction de la vitesse des terrains affleurants.

Pour ces mêmes raisons, certaines zones d'émergence des failles en surface se trouvent parfois limitées en termes d'imagerie.

6. Valorisation des lignes 69M3U de la campagne Eyzahut (1969)

Ces lignes ont été récupérées sous formes de sections stack du traitement d'origine (Figure 17). A défaut de pouvoir faire l'objet d'un traitement sismique, elles restent intéressantes à intégrer dans l'étude. Il s'agit de campagnes sismiques primitives et assez pauvre au regard de campagnes sismiques modernes (couverture simple) mais montrent des informations intéressantes. Elles ont donc fait l'objet par la suite d'une digitalisation, d'une mise au format SEG-Y et d'un post-traitement (Figure 18) pour homogénéiser les croisements avec les lignes de la campagne Sud-Est (phase, amplitude, ...). Les coordonnées d'origines étant perdues, elles ont été reconstruites à partir de plan de position ancien et puis converties au système Lambert 93.

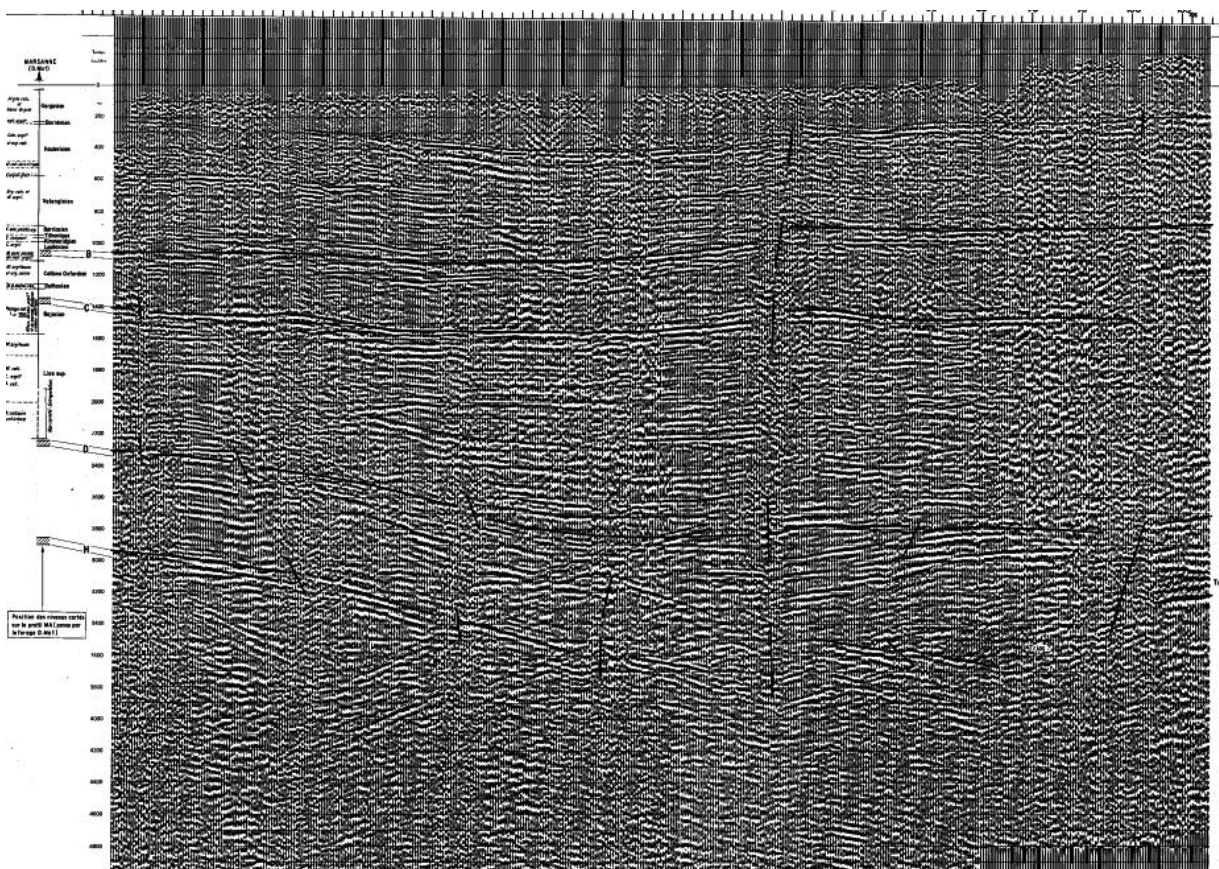


Figure 17: Exemple de la ligne 69M3U1 sous forme d'un tirage papier du traitement d'origine.

Un essai de migration temps post stack de type Kirschhoff a été tenté (Figure 19) mais les résultats obtenus sont limités (couverture et offset trop faibles).

Elles restent cependant intéressantes puisqu'elles permettent d'imager convenablement le contact entre les formations détritiques du Gargasien et les calcaires sous-jacents barrémo-bédouliens. Elles permettent en outre de révéler certains accidents structuraux au rejet marqué.

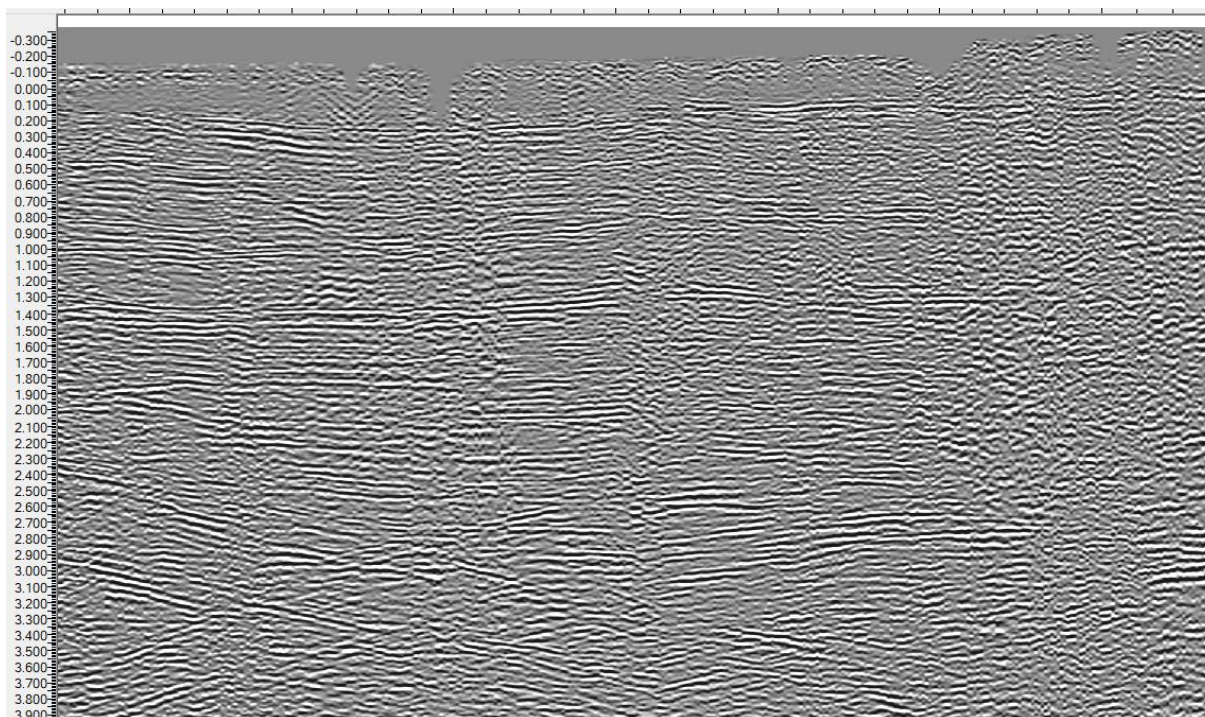


Figure 18: Exemple de la ligne 69M3U1 vectorisée, éditée et transformée au format SEGY, puis repositionnée au DP 0m NGF et chargée sous station.

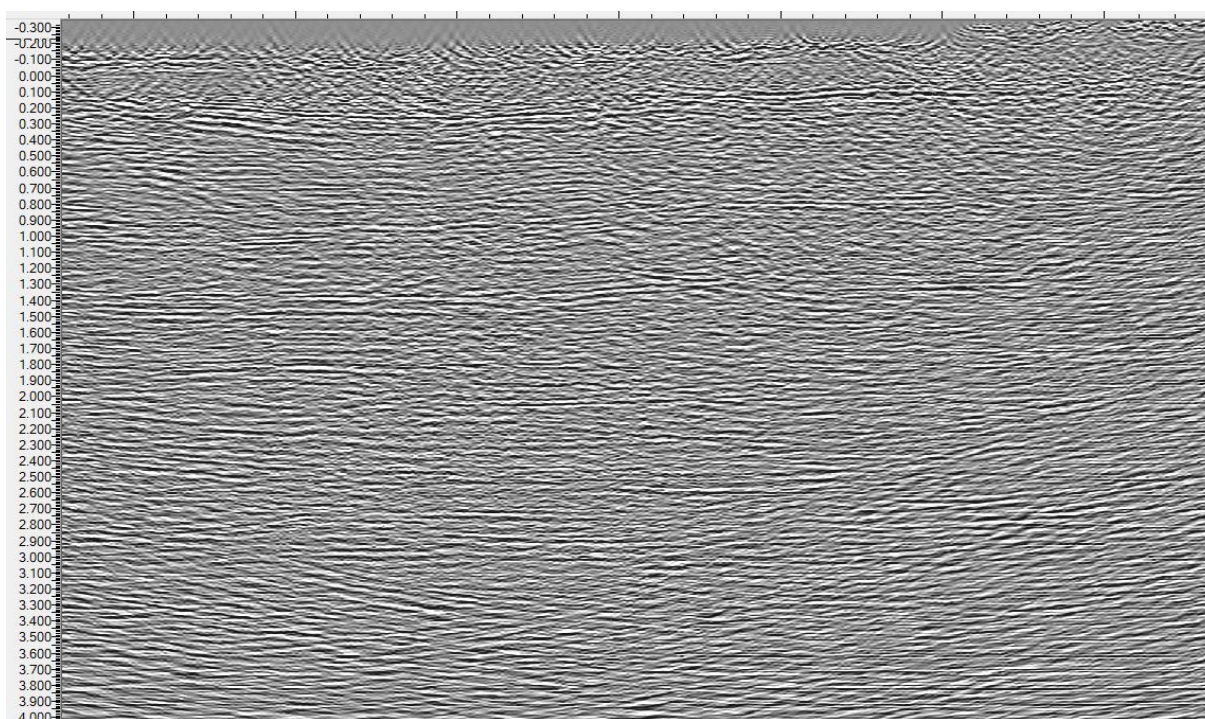


Figure 19: Essai de migration poststack des sections "stack" anciennes préalablement vectorisées, éditées et mises au format SEGY. Les résultats sont assez limités et l'interprétation sera finalement privilégiée sur les versions "stack" malgré la limite de cette version.

7. Phase préliminaire à l'interprétation sismique

7.1. Chargement des données pour l'interprétation

Le projet d'interprétation a été réalisé sur la station d'interprétation IHS *Kingdom*® 2023 avec les modules suivants (2D/3D interprétation, VuPAK et SynPAK).

7.1.1. Chargement des données sismiques

La première étape consiste à charger la version la plus avancée du traitement à savoir la version PSTM pour l'ensemble des lignes traitées de la campagne Sud-Est et les lignes digitalisées et harmonisées de la campagne. Celle-ci servira de support à l'interprétation sismique.

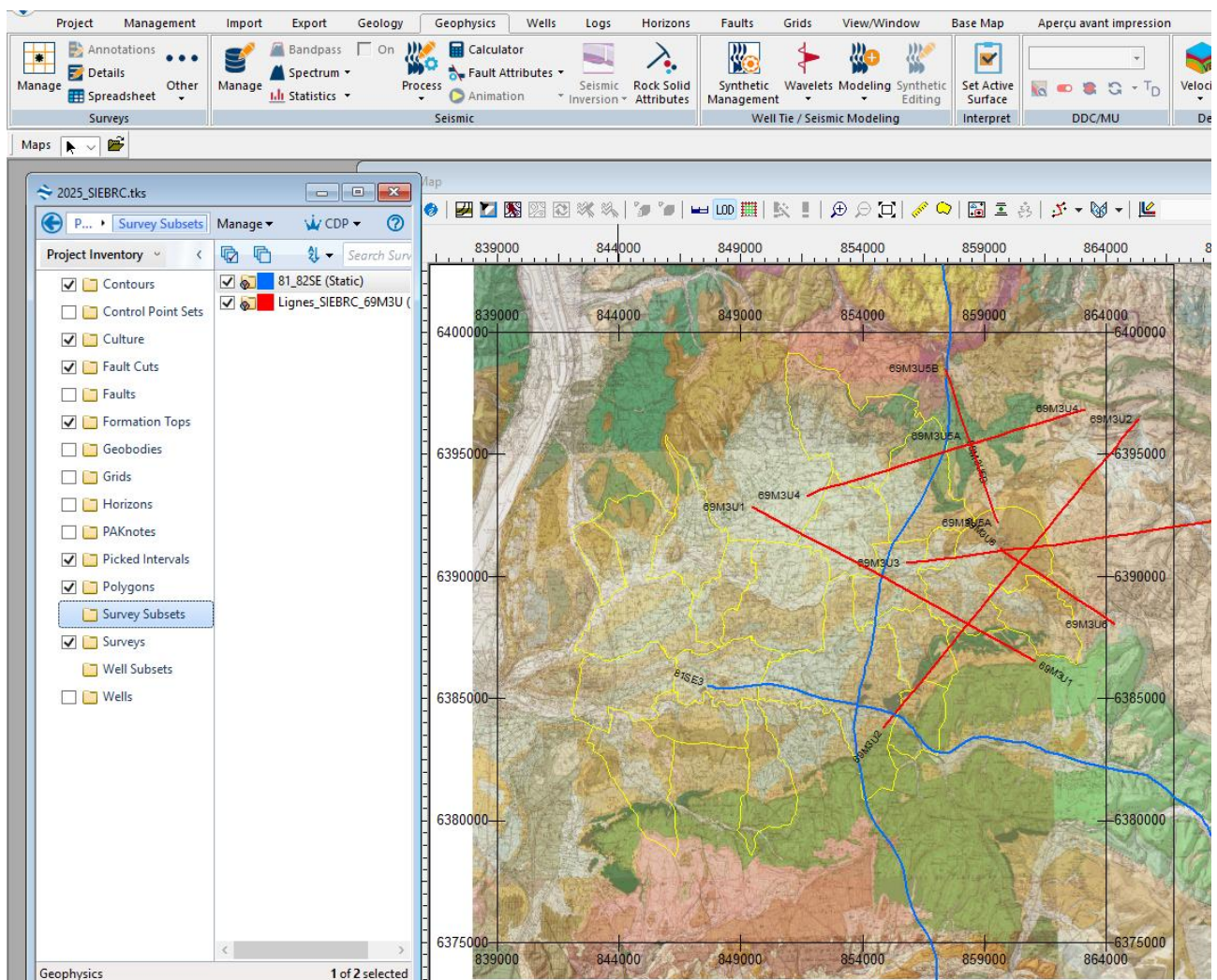


Figure 20: Chargement des données sismiques sur la station d'interprétation (lignes 81SE3B, 82SE4B, 81SE4A traitées sur l'emprise élargie du périmètre actuel du SIEBRC [en bleu] et lignes de 1969 vectorisées, digitalisées, transcrites au format SEG Y et harmonisées avec les campagnes récentes (en rouge)).

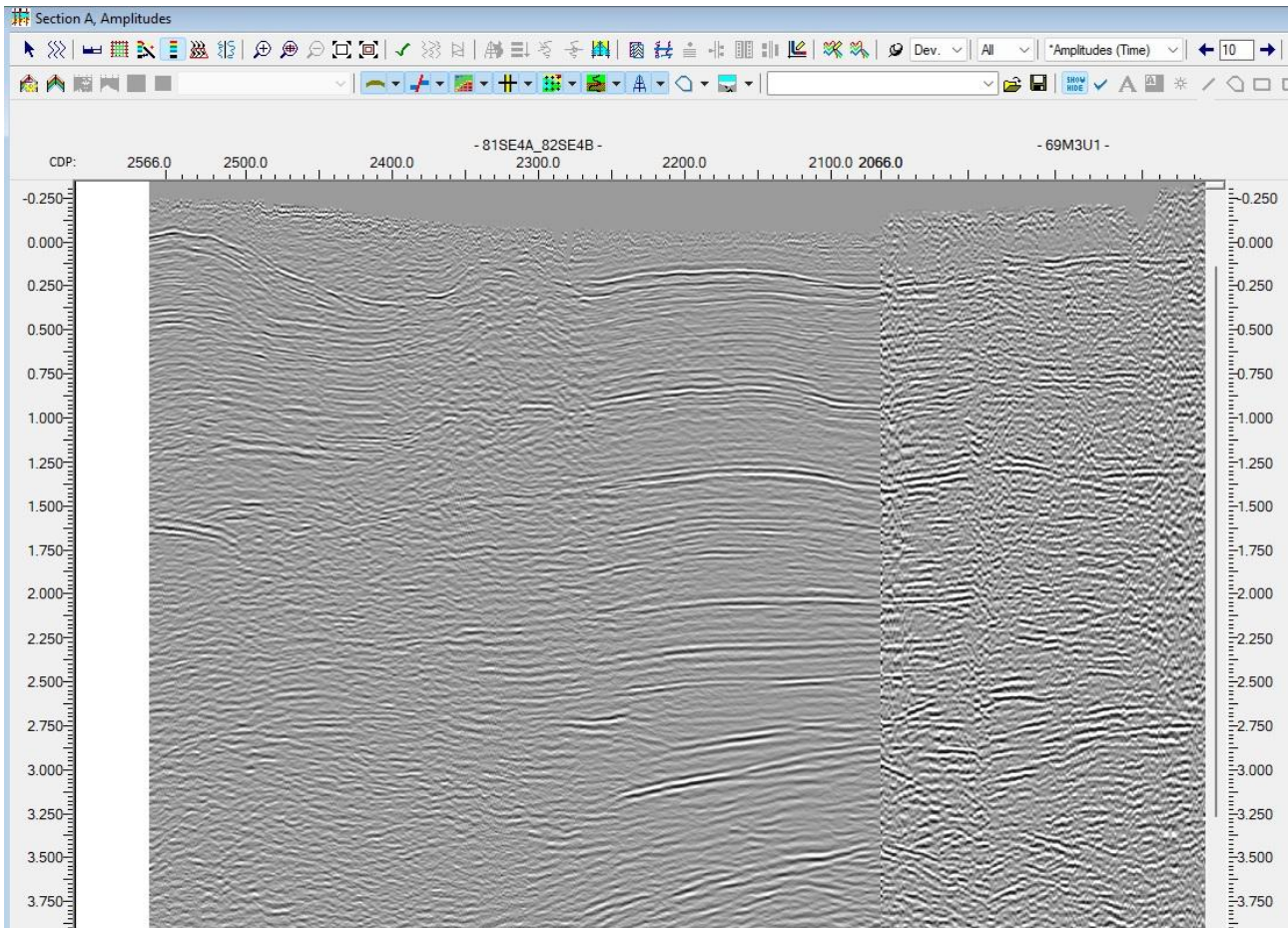


Figure 21: Exemple de ligne composite montrant la bonne homogénéité des lignes sismiques chargées sur station entre la ligne 81SE4A (à gauche) et la ligne 69M3U1 (à droite).

7.1.2. Chargement des données de puits

Les données de puits profonds fournissent des informations précieuses concernant les profondeurs des formations géologiques recherchées, ces données de profondeur permettent ainsi de caler les cartes en profondeur.

Les données de puits renseignées dans la station d'interprétation sont :

- Localisation (position X, Y et altitude Z) ;
- Profondeur atteinte ;
- Données de déviation (si besoin) ;
- Profondeur des formations géologiques rencontrées.

7.1.2.1. Liste des puits

Les puits utilisés sélectionnés pour le projet correspondent à tous les ouvrages profonds plus de 30m sur l'emprise du SIEBRC.

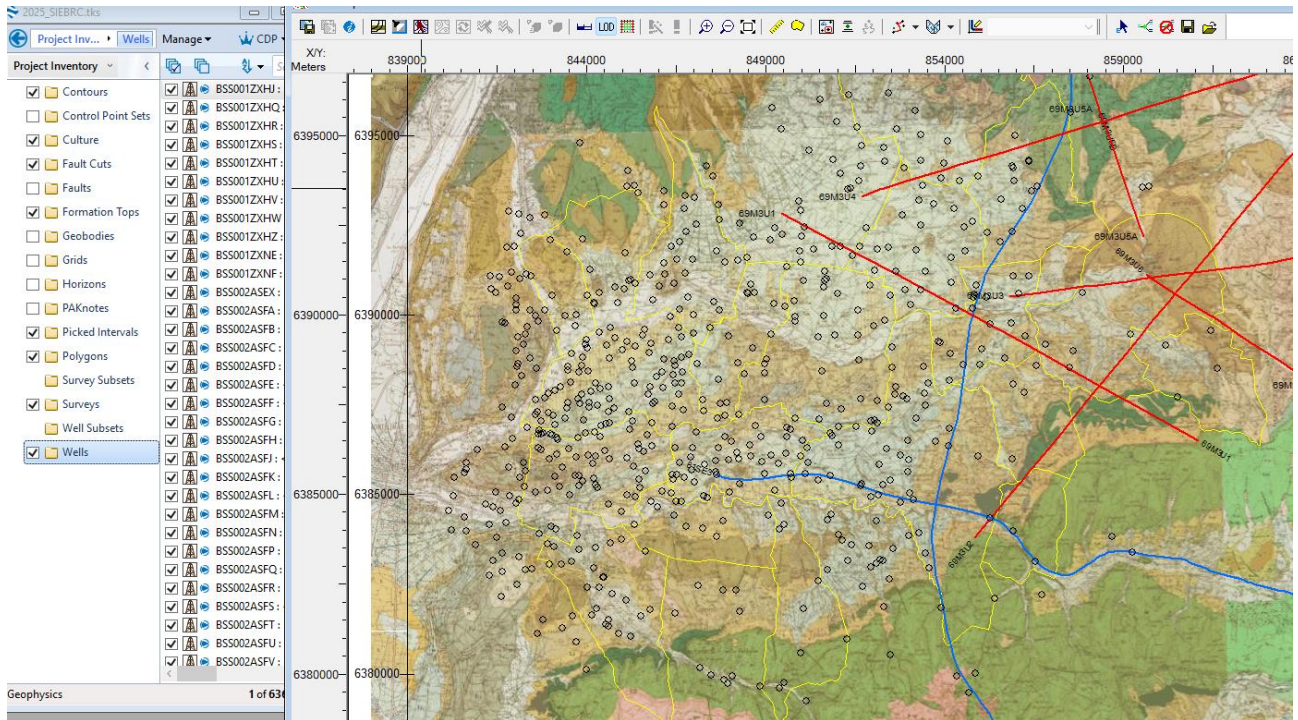


Figure 22: Puits chargés sur station

Ces puits ont fait ensuite l'objet d'analyse afin de renseigner les différents niveaux rencontrés en forage, notamment le toit des calcaires barrémo-bédouliens.

Malheureusement aucun puits profond atteignant le toit des calcaires barrémiens n'est situé à proximité d'une des lignes sismiques valorisées.

7.1.3. Calage des puits sur la sismique

7.1.3.2. Principe

Le calage des puits s'effectue en attribuant une courbe « temps en fonction de la profondeur » $T_f(P)$ au puits. Celle-ci est propre à chaque puits et dépend directement de la vitesse et donc de la lithologie des formations traversées.

Cette courbe $T_f(P)$ s'obtient de trois manières :

- Le cas le plus simple est celui où il existe une courbe $T_f(P)$ initiale acquise dans le puits. On peut alors directement l'intégrer dans le logiciel.
- Un deuxième cas est celui où seul le sonic est disponible. Il est alors possible d'en extraire une vitesse en fonction de la profondeur et donc une courbe $T_f(P)$.
- Enfin si aucun document concernant les vitesses n'est disponible, les vitesses nécessitent d'être recalculées à partir des données lithologiques et des vitesses moyennes disponibles dans la zone d'étude pour chacune des formations.

Dans le cas présent, les seules informations concernant les vitesses des terrains situés entre la surface et le barrémien correspondent au carottages VT. Les données de vitesse des forages profonds de Savasse et de Marsanne ne renseignent malheureusement pas sur les terrains supra-bédouliens du Crétacé inférieur et moyen.

L'analyse des carottages VT permettent cependant d'estimer une vitesse moyen des terrains albo-aptiens aux alentours de 2850 m/s.

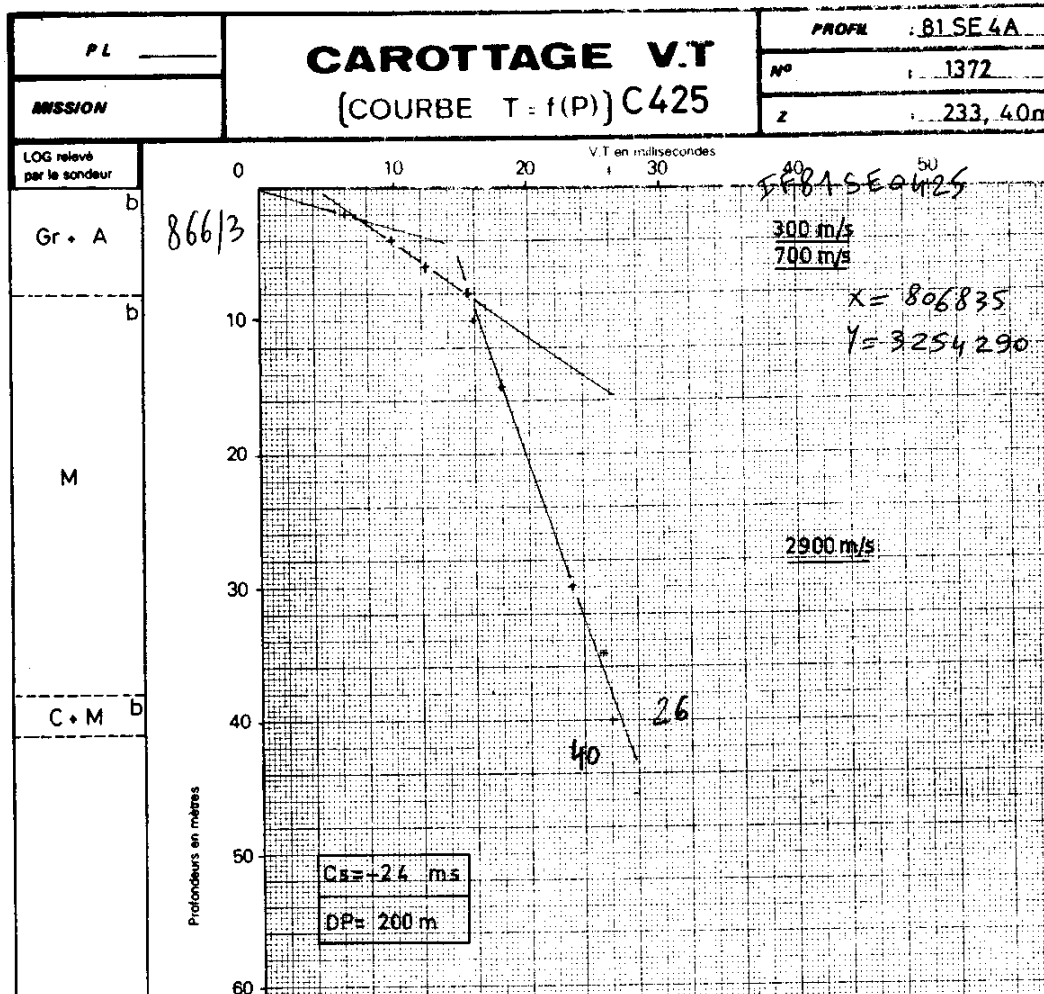


Figure 23: Exemple d'un carottage VT réalisé le long du profil 8SE4A à proximité de la Bégude Mazenc et montrant une vitesse des marnes aptiennes de 2900m/s sous les niveaux d'alluvions et d'altération. Cette vitesse est assez homogène sur l'ensemble des carottages Vt rencontrant cette formation non reconnue par les forages profonds avec vitesses soniques.

La synthèse des vitesses de la zone d'étude permettent de montrer que les terrains sous-jacents à ces dépôts détritiques de l'albo-aptiens sont nettement plus rapides avec des vitesses pour les calcaires barrémiens généralement supérieures à 4000 m/s. Ce contraste de vitesse est l'un des plus importants observables dans la colonne lithostratigraphique à l'aplomb du bassin de Valdaine. Il en résulte un fort contraste d'impédance qui de ce fait est bien observable en sismique. En résumé, le

contact entre les marnes aptiennes et les calcaires barrémo-bédouliens est assez nettement identifiable en sismique.

De même, les contrastes observées entre les marnes valangiennes de la fosse vocontienne (environ 3500 m/s) et les calcaires massifs sous-jacents berriasien et portlandien (>4500 m/s) est également un marqueur bien identifiable sur la sismique.

Enfin le dernier niveau repère correspond au niveau sommital des niveaux carbonatés du Bajocien qui contrastent avec les formations marneuses sus-jacentes.

Le lias est également bien observable par les jeux synsédimentaires qui s'y rapportent.

En revanche, en l'absence de forage profond le long des lignes, il est actuellement impossible de proposer plus de détails pour les réflexions visibles en sismique. Des observations faites le long des profils sismiques à disposition et des éléments précédemment cités découlent les remarques suivantes :

- La base des calcaires barrémiens et le contact avec l'Hauterivien sous-jacents ne sont à ce stade pas permis. Les rares forages ayant rencontré le toit et la base du Barrémo-bédoulien montrent des épaisseurs variables pour cette formation qui peuvent en partie s'expliquer par les plis importants sur lesquelles ces forages ont été implantés (anticlinal de Puygiron, et bordure de la faille de Marsanne).
- Les formations comprises entre le toit des calcaires barrémo-bédouliens et le toit du Valanginien (c'est-à-dire l'ensemble Hauterivien-Barrémien) montrent un système progradant vers le sud-est le long des sections sismiques qui laissent suggérer une forte variabilité à la fois des épaisseurs et de la nature de ces dépôts, en relation avec la fosse vocontienne. De ce fait, il est difficile de déterminer un marqueur cohérent qui définirait la fin de la séquence hauterivienne et la base de la série barrémo-bédoulienne

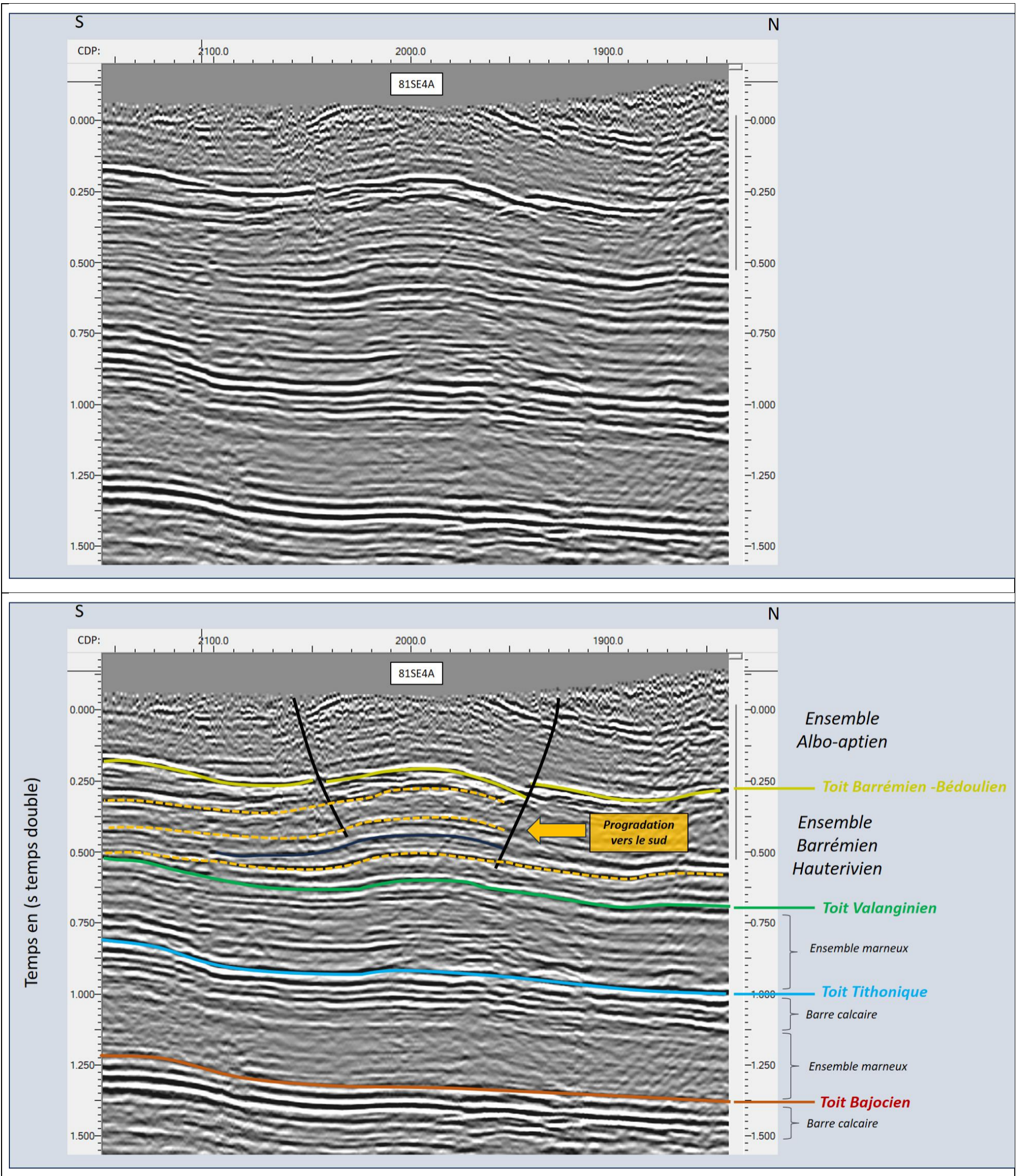


Figure 24 : Extrait du profil 81SE4A (sur 1.5s temps double) sous la plaine du Jabron et du Roubion (au nord de l'anticlinal de Puygiron) permettant d'apprécier la série géologique caractéristique entre la surface et le toit des formations calcaires bajociennes. Cette section permet de montrer la bonne signature sismique du toit des calcaires barrémo-bédouliens et de leur contact avec les formations dértiques sous-jacentes. Elle permet également d'observer le système de progradation vers le sud de la plateforme hauterivo-barrémienne qui rend difficile toute identification de la base des calcaires barrémiens.

8. Interprétation sismique

8.1. Méthodologie

En raison de la faible quantité de profils sismiques disponibles, de leur qualité et de l'absence de forages profond recoupant ces lignes sismiques (avec des données de vitesse), une interprétation sismique classique ne peut être réalisée.

En revanche et afin de valoriser au mieux ces données et de synthétiser au mieux les informations qui s'en dégagent, il a été convenu d'aborder la phase d'interprétation de la façon suivante :

- Une première phase de pointé des horizons sismiques et des failles ;
- Une conversion temps/profondeur simplifiée;
- La réalisation de coupe géologique le long des profils clés
- La réalisation d'une carte de synthèse qui synthétisera l'ensemble des données importantes se dégageant des lignes sismiques.

8.2. Pointé des profils sismiques (horizons et failles)

Le calage des puits sur la sismique permet d'identifier les marqueurs sismiques correspondant aux formations géologiques. Les horizons pointés sur le long des profils sismiques sont les suivants :

- Toit du Barrémien,
- Toit du Tithonique,

Des pointés plus détaillés des horizons sismiques (sans qu'il ne soit possible d'attribuer une formation précise aux réflexions pointées) a également été entreprise et a permis de faire les observations précédemment citées (système progradant hauterivo-barrémien, extension liasique, etc...) (Figure 24).

Quand cela été possible, les failles ont été pointées sur les profils sismiques et parfois prolongées jusqu'en surface afin d'essayer de les associer aux failles cartographiées sur la carte géologique au 1/50 000.

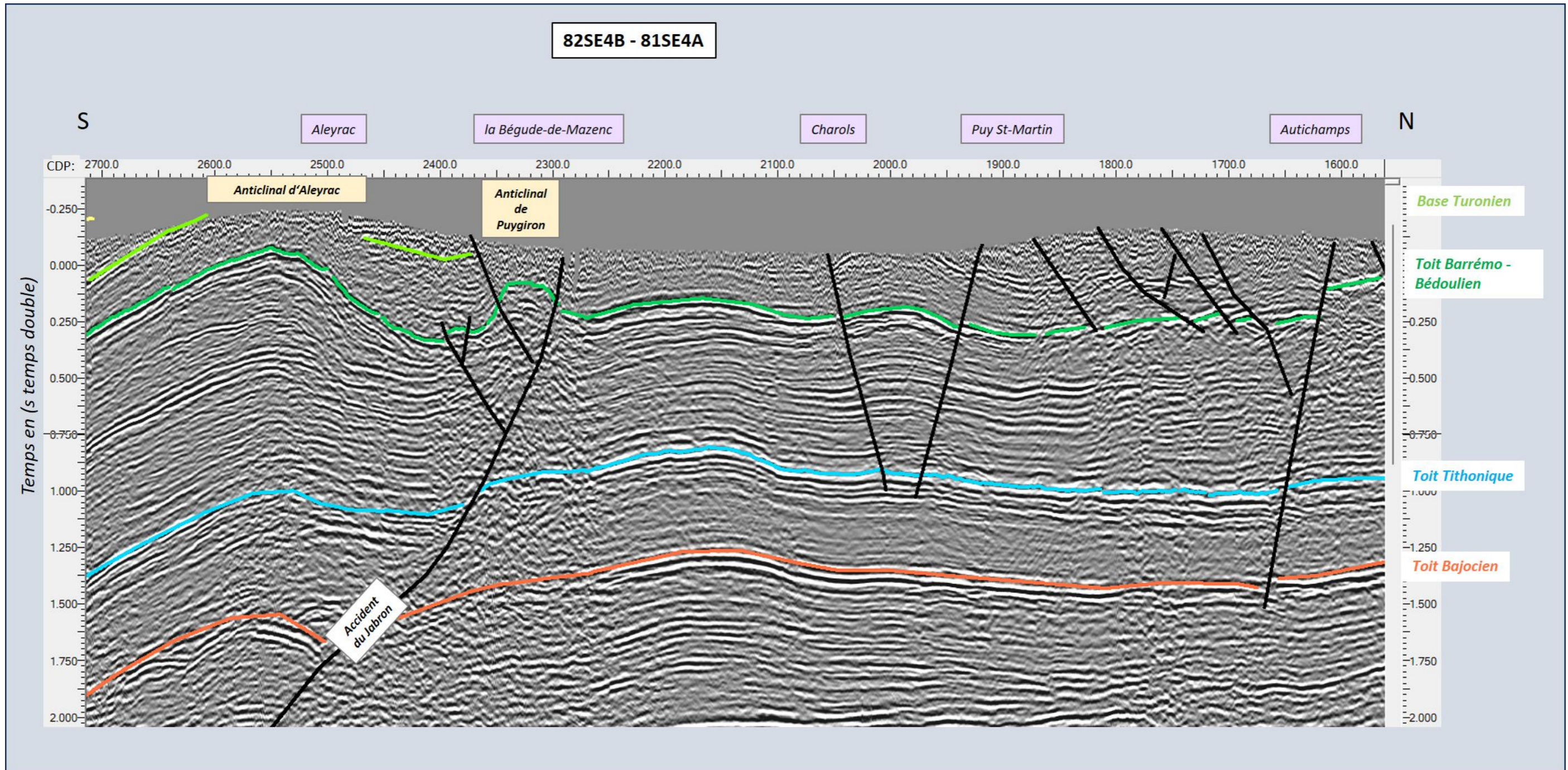


Figure 25: Profil composite 82SE4B-81SE4A sélectionné sur l'emprise de l'étude et interprété en temps

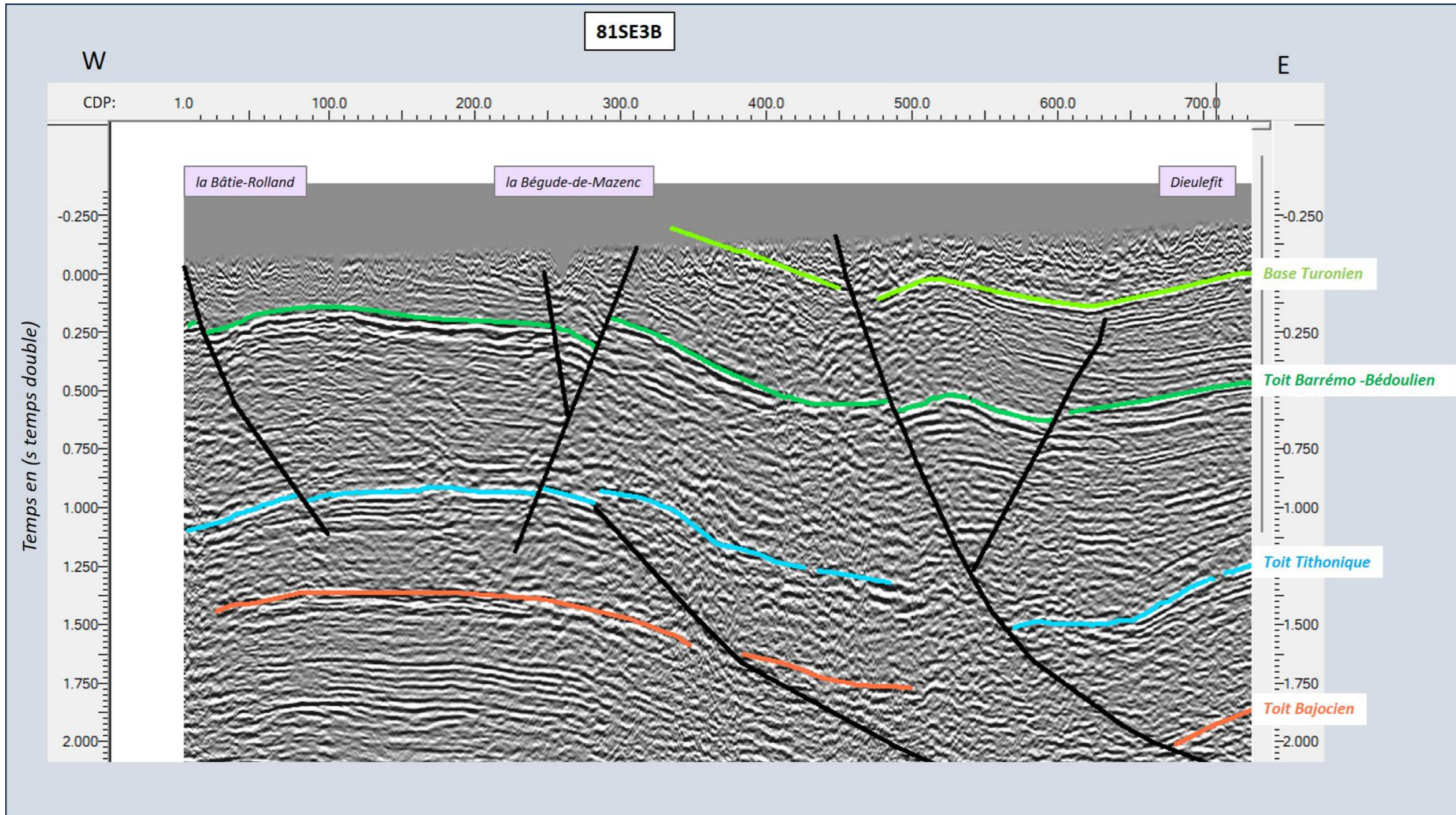


Figure 26: Profil 81SE3B sélectionné sur l'emprise de l'étude et interprété en temps

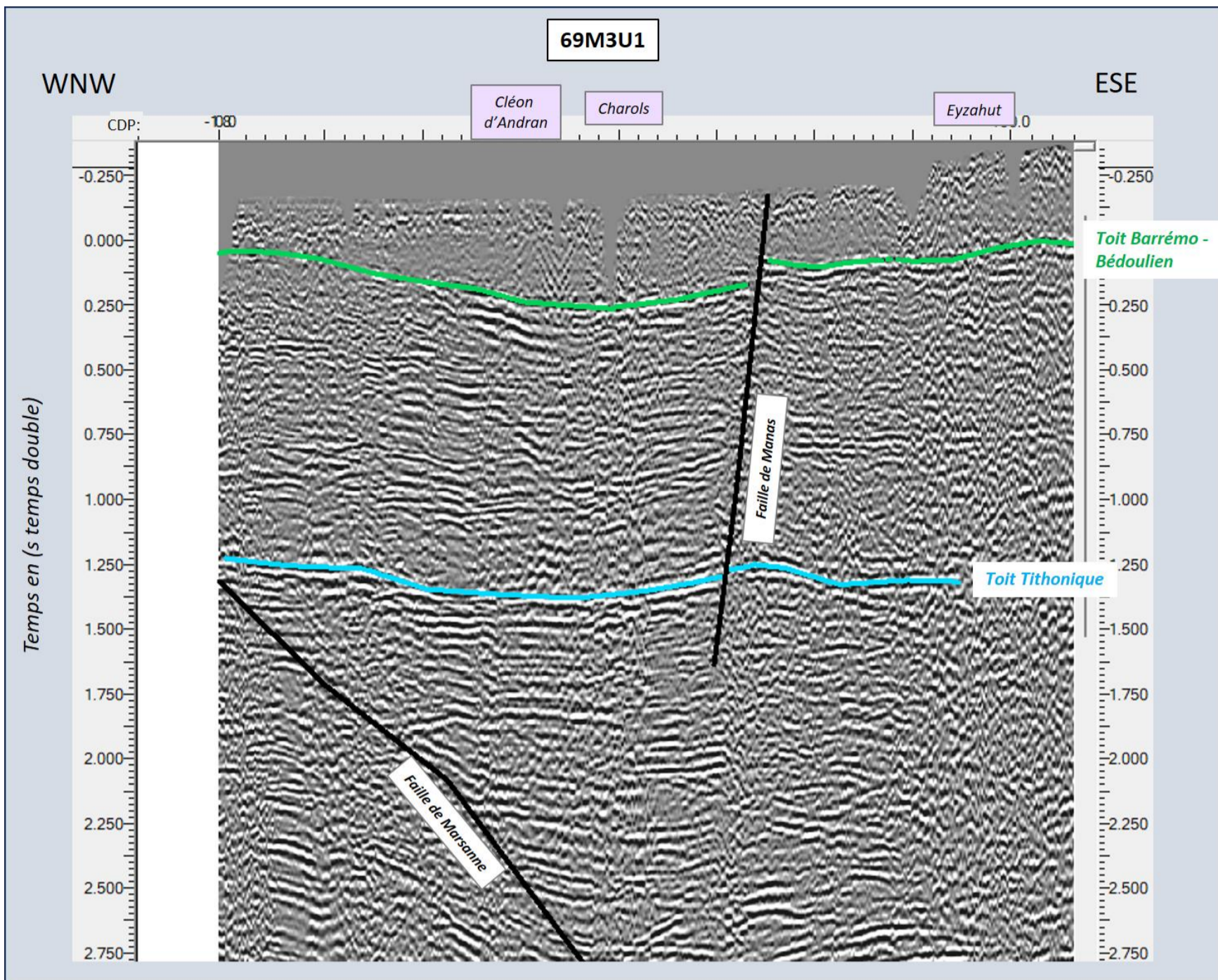


Figure 27: Profil 69M3U1 interprété en temps

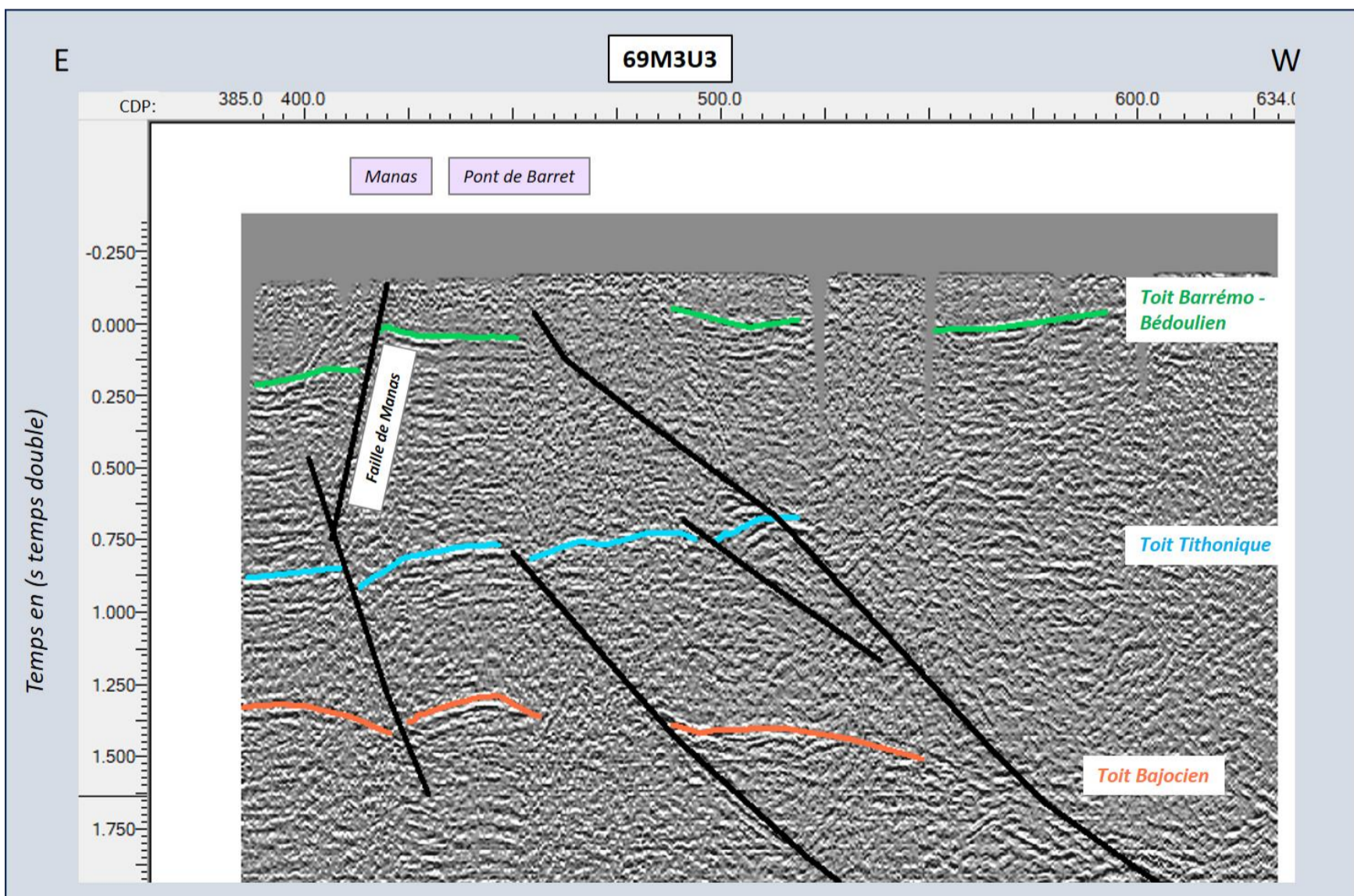


Figure 28: Profil 69M3U3 interprété en temps

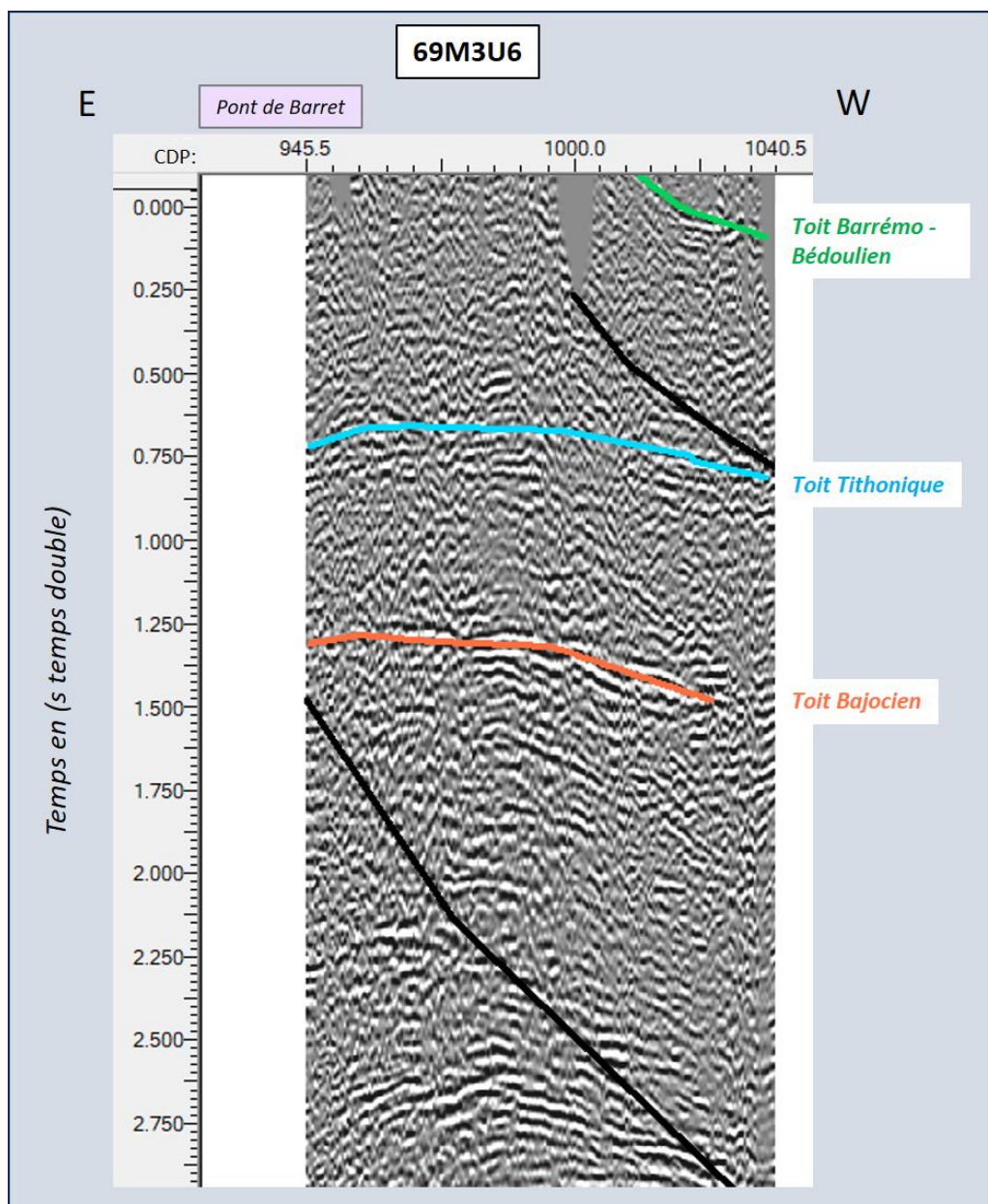


Figure 29: Profil 69M3U6 interprété en temps

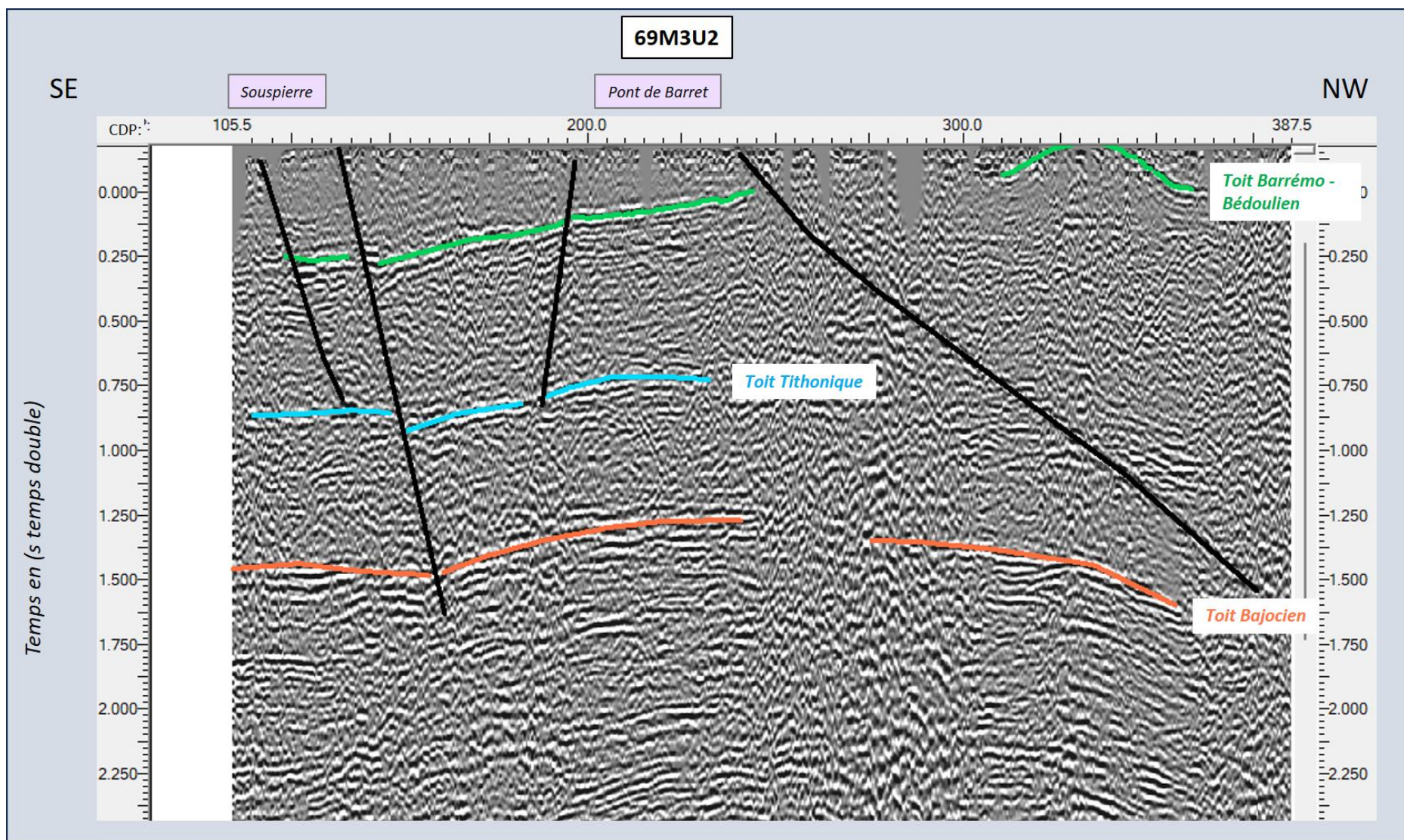


Figure 30: Profil 69M3U2 interprété en temps

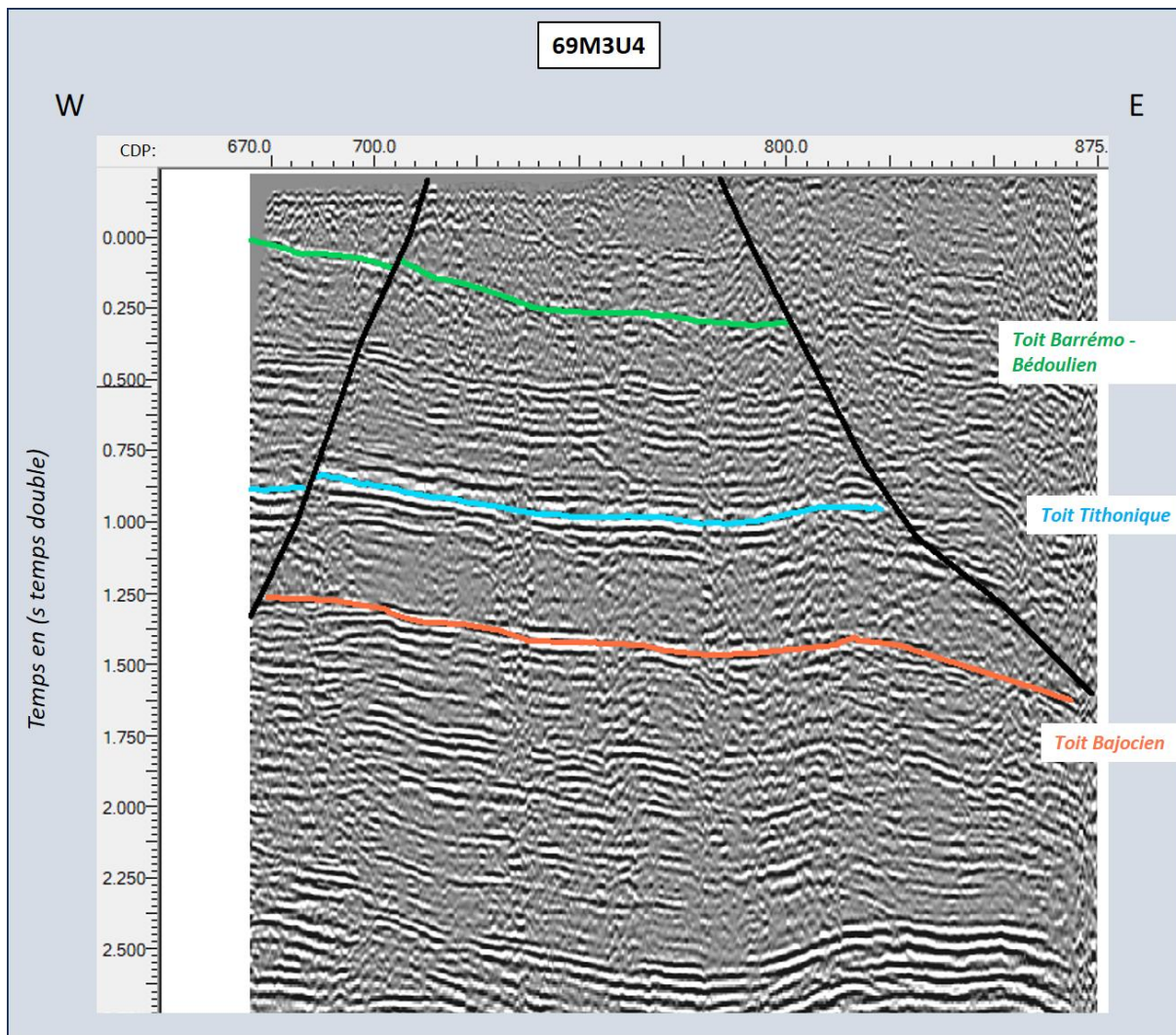


Figure 31: Profil 69M3U4 interprété en temps

8.3. Conversion en profondeur de l'horizon sismique du toit des calcaires barrémo-bédouliens

La conversion temps-profondeur est une étape cruciale de l'interprétation. Dans cette zone, l'absence de forages profonds avec des données de vitesse rend difficile et arbitraire cette phase importantes de l'interprétation sismique qui vise à convertir les temps de la sismique en profondeur sous le niveau de la mer.

Comme expliqué précédemment, les terrains présents entre la surface et le toit du Barrémo-bédouliens le long des lignes sismiques valorisées se composent majoritairement des séries albo-aptiennes dont les vitesses reconnues localement par les carottages VT semblent assez homogènes et avoisinent 2850 m/s.

Cette vitesse a donc été utilisée entre le datum plane et l'horizon pour réaliser une conversion temp/profondeur assez simple.

Au sud et au nord du syndicat, quand les terrains albo-aptiens sont recouverts par les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire, il a été décidé conserver les modalités de conversions temps/profondeur, les vitesses de ces terrains de surface n'étant pas maîtrisées et en cherchant à éviter le cumul des incertitudes. Ceci étant, les vitesses probables pourraient être légèrement plus faibles localement en présence des terrains miocènes, ce qui a un très faible impact sur la zone d'étude.

De cette phase de conversion temps/profondeur a donc été obtenu une profondeur du toit des calcaires barrémo-bédouliens le long des profils sismiques.

Les profondeurs obtenues moyennes ont servi à la composition d'une carte de synthèse générale et à l'établissement de 3 coupes géologiques de référence.

8.4. Coupes géologiques le long des profils sismiques-clés

Afin de restituer une image structurale en profondeur, CDP Consulting a décidé de réaliser 3 coupes géologiques de référence qui permettent d'apprécier la géologie à l'aplomb de la plaine du Jabron et du Roubion.

Deux coupes N-S suivent strictement les directions des profils sismiques 81SE4A/82SE4B et 81SE3B.

Une troisième coupe suit le profil 69M3U1 et a été étendue aux différents forages de Marsanne.

8.4.1. Méthodologie

Pour l'établissement des coupes géologiques, un profil topographique a été édité le long des coupes. Les cotes du Barrémien, issues de la conversion temps/profondeur de l'horizon sismique pointé avec les limites attenantes, a été reporté le long des profils, tout comme les failles reconnues sur la sismique. Les coupes géologiques ont ensuite été complétées avec les observations de surface issues de la carte géologique et de la database « terrain » de CDP Consulting.

Ces coupes seront précisées lors d'une reconnaissance géologique fin aout 2025.

8.4.2. Emprise/plan

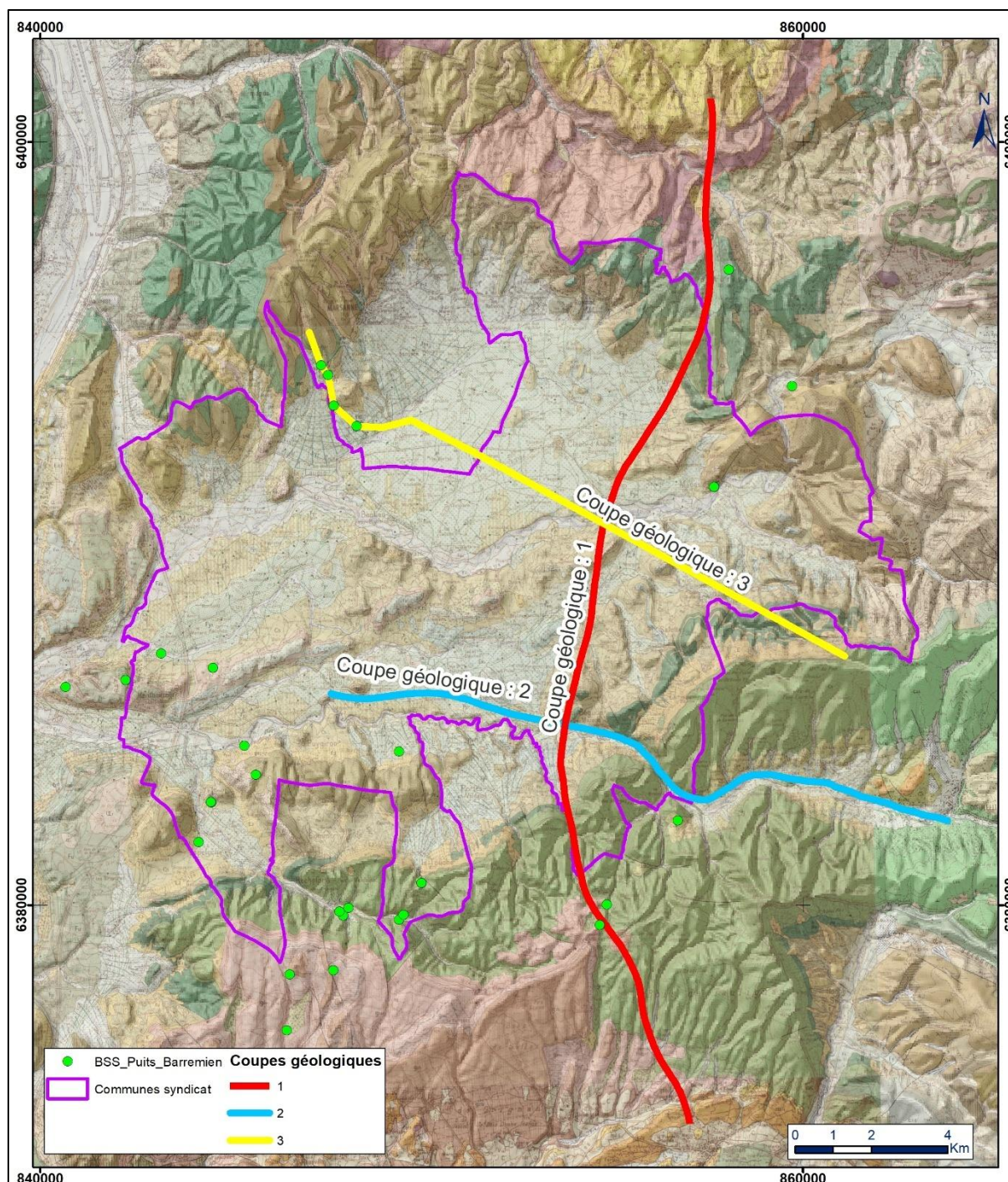


Figure 32: Plan de position des coupes géologiques réalisées

Commentaire structural des coupes

Coupe géologique n°1 le long de la ligne 82SE4

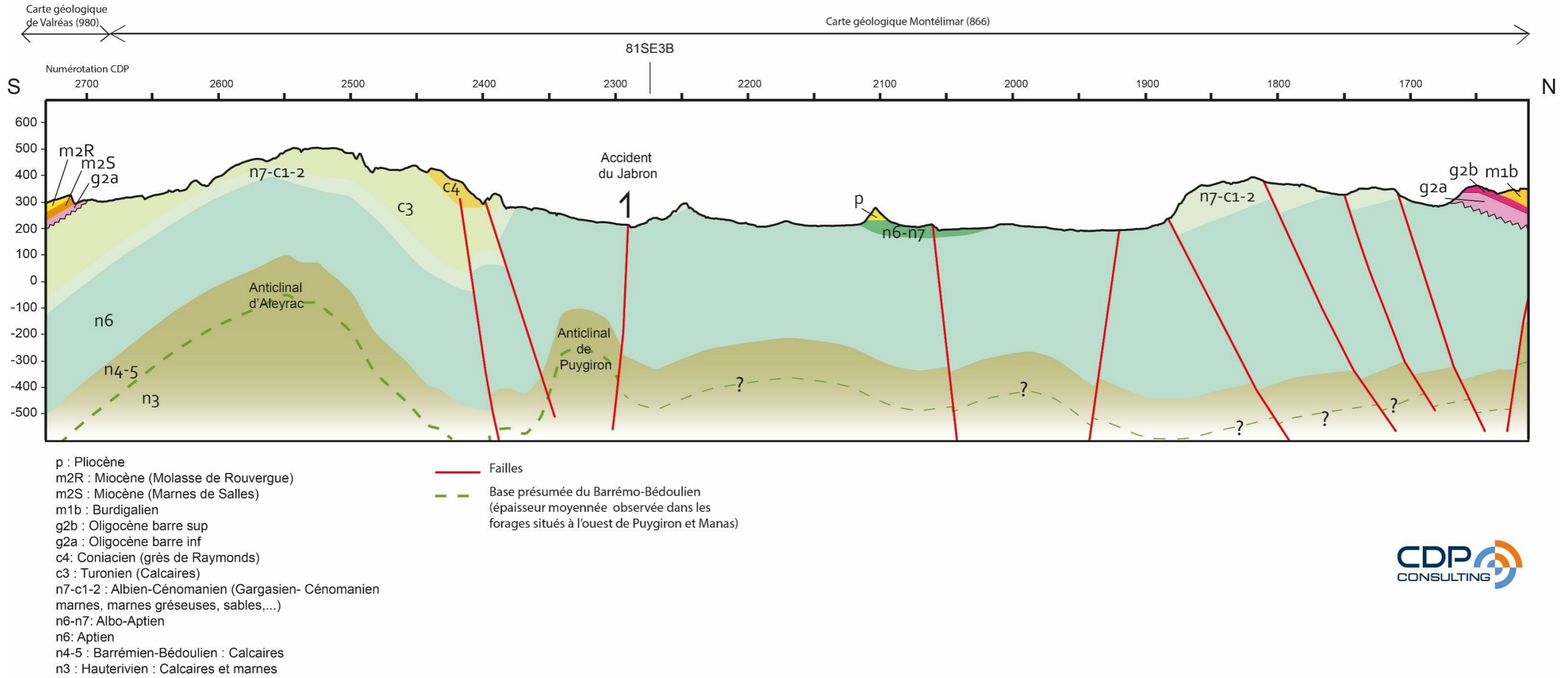


Figure 33: Coupe géologique n°1

Coupe géologique n°2 le long de la ligne 81SE3B

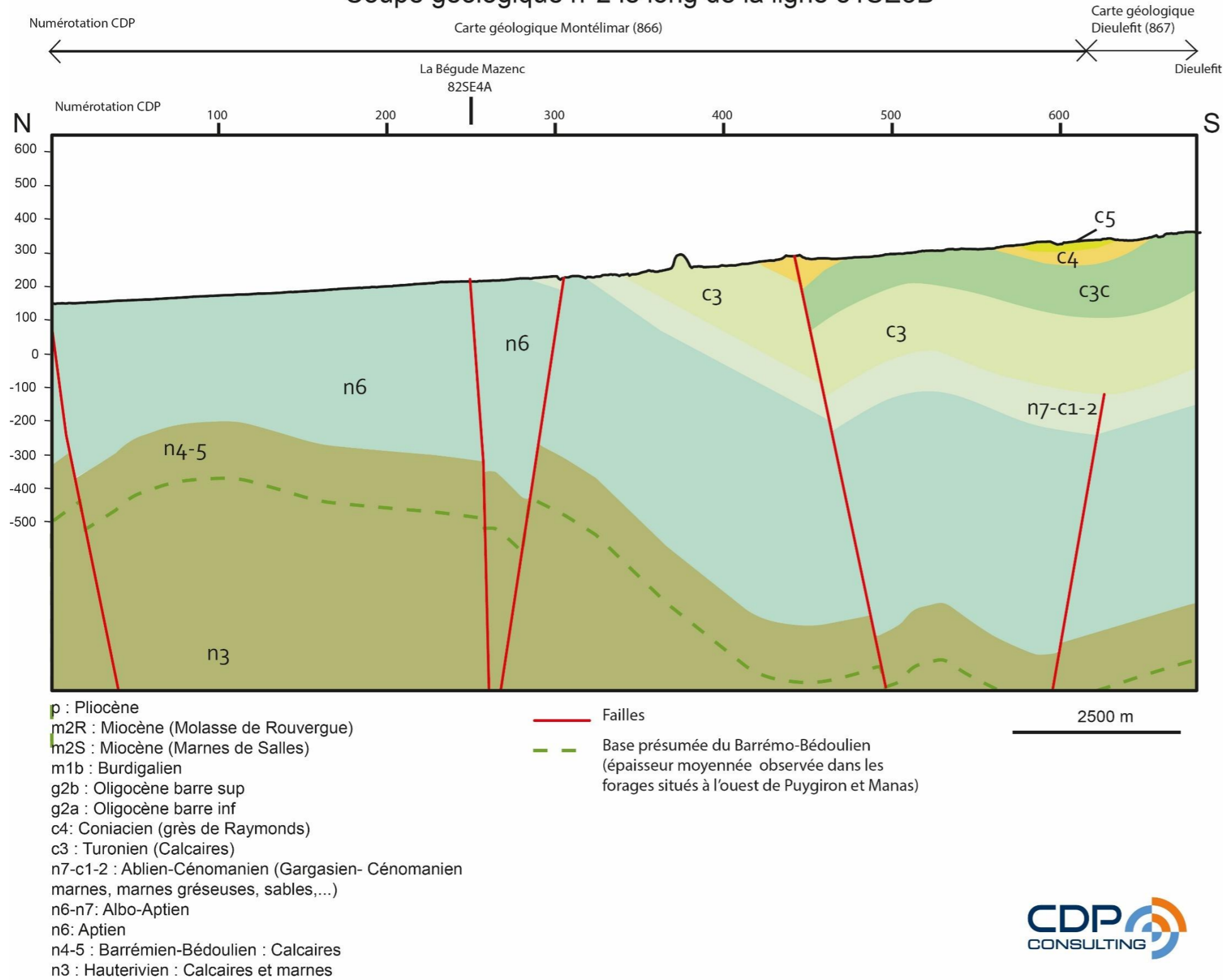
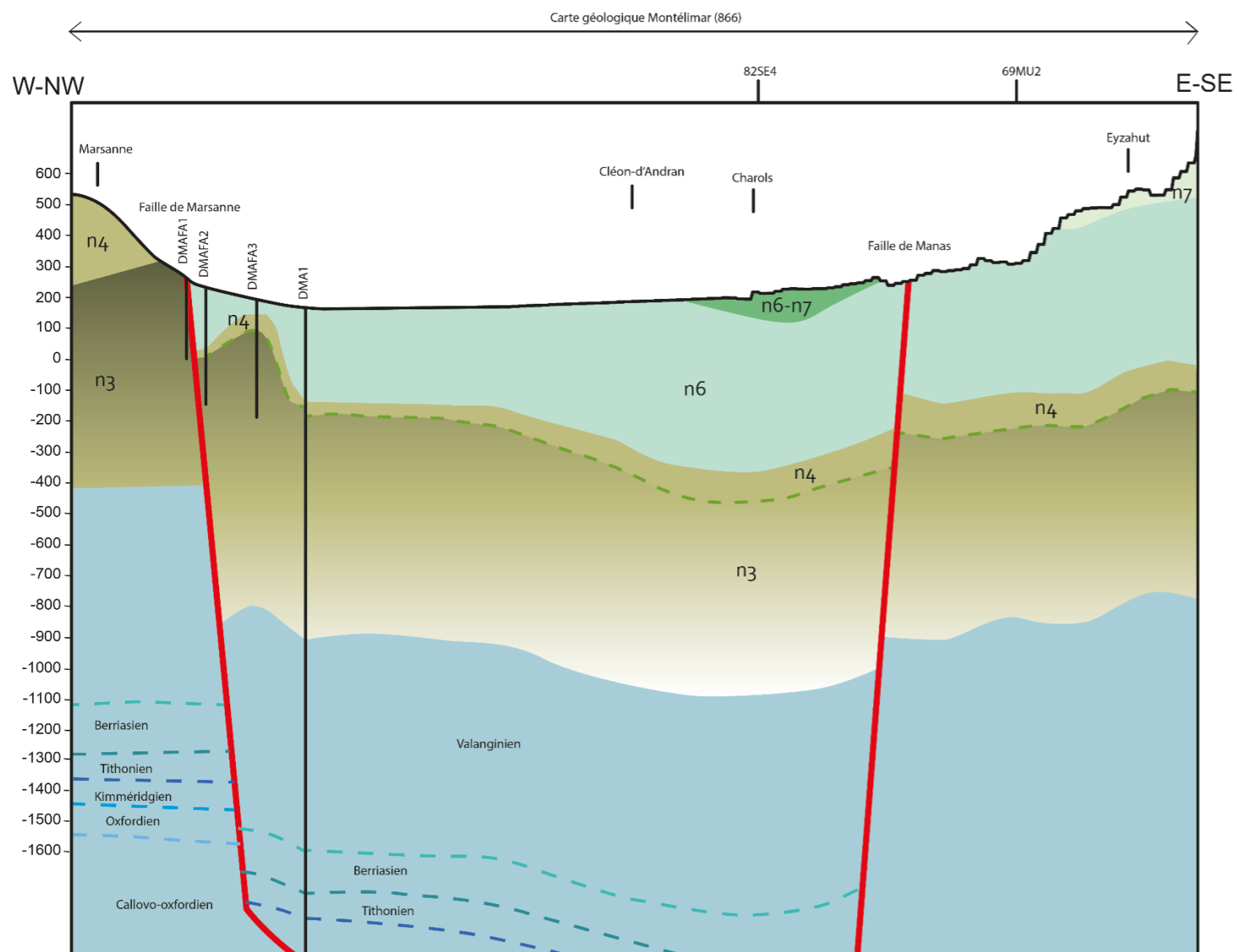


Figure 34: Coupe géologique n°2

Coupe géologique n°3 le long de la ligne 69M3U1



p : Pliocène
 m2R : Miocène (Molasse de Rouvergue)
 m2S : Miocène (Marnes de Salles)
 m1b : Burdigalien
 g2b : Oligocène barre sup
 g2a : Oligocène barre inf
 c4 : Coniacien (grès de Raymonds)
 c3 : Turonien (Calcaires)
 n7-c1-2 : Albién-Cénomanién (Gargasien- Cénomanién
 marnes, marnes gréseuses, sables,...)
 n6-n7 : Albo-Aptien
 n6 : Aptien
 n4-5 : Barrémién-Bédoulién : Calcaires
 n3 : Hauterivién : Calcaires et marnes

— Failles
 - - - Base présumée du Barrémo-Bédoulién
 (épaisseur moyennée estimée sur la base de la carte géologique 1:50 000
 de Montélimar et observée dans les forages)

Figure 35: Coupe géologique n°3

9. Synthèse

Afin de restituer une vision plus globale de la structuration des calcaires barrémo-bédouliens, une carte de synthèse a été produite. 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'axes 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 correspondant à 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 en forage 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 et 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 épaississement 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 au 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 -300m 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 forage et de lignes sismiques exploitables, la compréhension structurale de ce secteur au niveaux des calcaires barrémo-bédouliens est rendu très difficile.

Secteur nord : nord de la faille de Marsanne

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

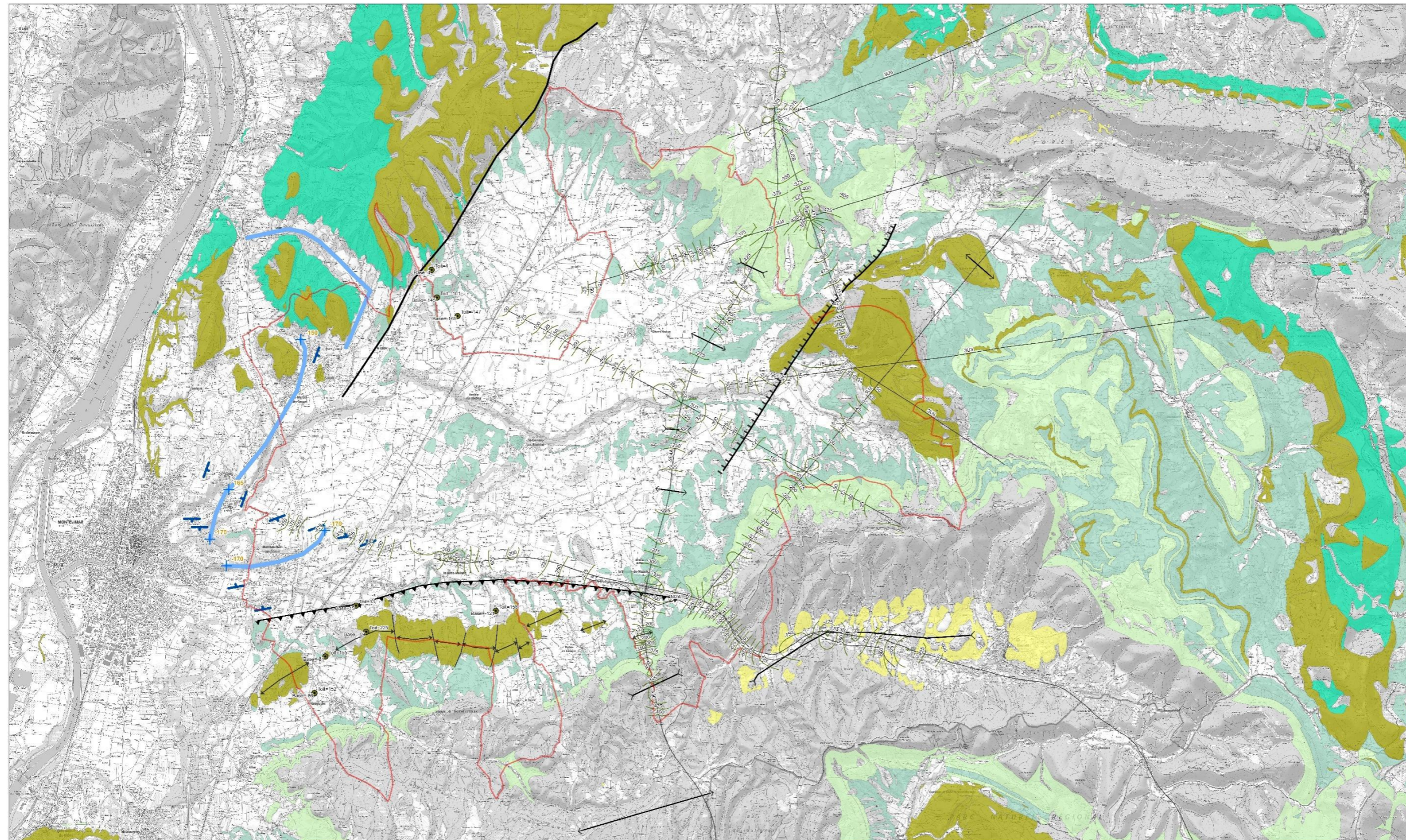
Secteur est : Anticlinal de Pont de barret ; synclinal d'Allan...

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 200m 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 plonge 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 attestée sur les lignes sismiques existantes ou en forage permettent de préciser un niveau de base global de ces incisions (aux alentours de -150/-170m 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.

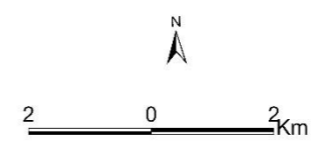
Les rias situées à l'est du syndicat semblent plutôt emprunter un axe d'écoulement N-S au sud de Sauzet.



- Communes Syndicat
- Profil sismique
- + Axi central du canyon Massilien
- Borcure canyon massilien
- Chenal massilien
- Forages
- Talé du Barrémoien (isolétypes en m)

- Chevauchement
- Faille
- Normale
- Failles
- Axe anticlinal
- Axe synclinal

- c3_sonacien
- c1_Cenomanien
- r6-c1_albo-œne
- r8_Albien
- r5_Aptien
- r5a2_Aptien calcaires
- r5a2_Aptien ir1 Calcaires
- r4_Borrémo bédoulien
- r3_Hauteriviens



Carte de synthèse

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

10. Conclusions

Le travail réalisé s'est décliné en plusieurs phases. Une première phase visait à collecter l'ensemble des données sismiques valorisables, c'est-à-dire l'ensemble des données sismiques tombées dans le domaine public, recouvrables et dont les paramètres d'acquisition permettent d'apporter une information structurale au niveau du réservoir potentiel des calcaires barrémo-bédouliens. Une deuxième phase a consisté à réaliser un traitement sismique moderne des données sismiques des lignes de la campagne sismique « Sud-Est » de 1981/1982 (lignes 81SE3B, 81SE4A et 82SE4B). Des lignes sismiques de la campagne Montelimar de 1969 ont pu également être recouvrées sous forme de scan papier qu'il a été possible de transcrire au format SEG Y et pour lesquels un post-traitement a été appliqué.

Une fois traitées, ces données ont ensuite été chargées sur station d'interprétation. L'étape d'interprétation sismique a permis de mettre en évidence les traits structuraux principaux de la plaine de Valdaine. La plaine de Valdaine est limitée par la faille de Marsanne au Nord-ouest, la faille de Manas à l'est (toutes deux de direction cévenole) et par l'accident du Jabron de direction globale E-W. Ce dernier accident, très important, semble avoir contrôlé la sédimentation du Jurassique et du Crétacé inférieur (faille normale à vergence sud) puis par reprise en système inverse a contrôlé la sédimentation du Crétacé moyen et supérieur. C'est probablement au cours de la phase pyrénéenne que s'est mis à la faveur de cette accident un grand pli (pli d'Aleyrac) accompagné par l'anticlinal de Puygiron au niveau de l'émergence de l'accident du Jabron.

Les profondeurs du Barrémien ont ensuite été estimés à l'issue d'une étape de conversion temps profondeur à partir d'une loi de vitesse unique extraites des informations de forages à disposition, assez lacunaires dans la zone d'étude malheureusement. Ces données ont été reportés le long de chaque profils et ont permis de montrer que les profondeurs des calcaires recherchés montrent un approfondissement relativement important vers le sud-ouest autour du 0m NGF aux environs de Marsanne jusqu'à 300-400m sous le niveau de la mer, au sud -ouest de la plaine de Valdaine.

Enfin l'ensemble de ces données ont été synthétisées sous forme d'une carte de synthèse et de 3 coupes géologiques recoupant le syndicat. Au-delà des informations recoupant le Barrémien, quelques informations relatives à la présence des canyons messiniens (axe des érosions principales, cote de fond du canyon) ont été reportées. Ces données sont intéressantes car elles montrent que dans la zone d'étude, les canyons messiniens semblent se situer majoritairement à l'ouest du syndicat et semblent souvent ne pas avoir atteint le toit des calcaires du Barrémo-bédouliens dans la plaine de Valdaine. Cette information devra être intégrée pour la compréhension du système karstique associé à cette phase d'érosion récente. Pour autant les phases d'émergence ayant affecté la zone au Crétacé et plus tard au Tertiaire sont autant d'éléments d'information à considérer pour la mise en place des réseaux karstiques.

Cette première partie de travail a donc permis d'apporter des éléments structuraux importants qui seront intégrés dans les phase ultérieures de l'étude.

A ce stade de l'étude l'anticlinal de Puygiron, la zone affectée par l'accident du Jabron ou encore les zones affectées par les failles de Marsanne et Manas pourraient s'avérer prospectifs localement par la présence d'un réservoir fracturé. Ce réseau de fractures pourrait également avoir été repris par un système de karstification ancien restant à préciser. La plaine de Valdaine est également affectée localement par de petites failles reconnues localement avec les profils sismiques mais donc les directions et longueur de rupture ne sont pas connues. Pour ces raisons et en fonction des résultats qui seront portés dans les phases ultérieures de l'étude, un besoin d'acquisition complémentaire pourra être envisagé (précision de profondeur, cartographie précise d'un secteur faillé...). Il pourra s'appuyer sur les paramètres utilisés lors des campagnes récentes menées par EDF mais également en intégrant les limites attenantes aux données sismiques anciennes valorisées dans ce programme de travail.