

MISE A JOUR DES ETUDES ET
ASSISTANCE TECHNIQUE POUR LA CONSTRUCTION DU
BARRAGE DE BISRI

BARRAGE BISRI



AVANT PROJET DETAILLE

PIECE 2: RAPPORT GEOLOGIQUE DE SYNTHESE

Novembre 2014

Révisé Décembre 2014

Table des Matières

1	INTRODUCTION.....	1-1
2	CADRE GEOLOGIQUE GENERALE DE LA ZONE DU PROJET	2-1
2.1	Stratigraphie Régionale	2-1
2.1.1	Le Jurassique	2-1
2.1.2	Le Crétacé Inférieur	2-1
2.1.3	Le Crétacé Supérieur	2-2
2.1.4	Le Quaternaire	2-2
2.2	Structure Régionale.....	2-3
3	CARTE GEOLOGIQUE DU SITE DU BARRAGE	3-1
3.1	Rive Gauche	3-1
3.2	Rive Droite	3-1
3.3	Fond De Vallée	3-1
4	CARTE GEOLOGIQUE DE LA CUVETTE	4-1
5	TRAVAUX DE RECONNAISSANCES REALISEES	5-1
5.1	Reconnaitances Additionnelle Menées Dans Le Cadre De La Présente Etude (2013-2014)	5-1
5.2	Travaux De Reconnaissances Antérieures A 1981	5-2
5.3	Travaux De Reconnaissances Postérieures A 1981	5-2
5.3.1	Sondages De Reconnaissances.....	5-2
5.3.2	Travaux Miniers.....	5-2
6	SYNTHESES DES INFORMATIONS GEOLOGIQUES ACQUISES.....	6-1
6.1	Remplissage Alluvionnaire Et Lacustre En Fond De Vallée	6-1
6.1.1	Morphologie Du Remplissage Lacustre Et De La Paléovallée	6-1
6.1.2	Constitution Du Remplissage Lacustre Et De La Paléovallée	6-2
6.1.2.1	<i>Argiles Lacustres</i>	6-2
6.1.2.2	<i>Alluvions Grossières / Sables Alluvionnaires</i>	6-2
6.1.2.3	<i>Alluvions Et Eboulis Anciens</i>	6-3
6.1.2.4	<i>Illustrations Par Logs Des Sondages</i>	6-4
6.1.2.5	<i>Illustrations Par Planches Photos</i>	6-5
6.2	Lithologie Et Structure Des Formations Géologiques Du Substratum.....	6-9
6.3	Qualité Mécanique Des Formations Du Substratum Appréhendée A Travers L'analyse Fine Des Paramètres De Carottage.....	6-10
6.3.1	Taux De Récupération A L'échelle Du Site Du Barrage.....	6-10
6.3.1.1	<i>Les Récupérations Moyennes</i>	6-10
6.3.1.2	<i>Variation Du Taux De Récupération Avec La Profondeur</i>	6-11
6.3.2	Taux De Récupération Suivant L'axe Du Voile D'étanchéité.....	6-13
6.4	Perméabilité.....	6-17

6.4.1	Distribution Des Perméabilités A L'échelle Du Site	6-17
6.4.2	Distribution Des Perméabilités Avec La Profondeur	6-18
6.4.2.1	<i>Calcaire Jurassique En Rive Gauche</i>	6-18
6.4.2.2	<i>Calcaire Marneux Crétacé</i>	6-19
6.4.2.3	<i>Grés De Base C1 En Rive Gauche</i>	6-21
6.5	La Piézométrie.....	6-21
6.5.1	En Fond De Vallée.....	6-22
6.5.2	En Rive Gauche.....	6-23
6.5.3	En Rive Droite.....	6-24
6.6	Conception Du Voile D'étanchéité	6-27
6.6.1	Coupure Du Remplissage Alluviale Et Lacustre	6-27
6.6.2	Traitement Des Calcaires Dans Les Des Deux Rives Et En Partie Centrale.....	6-28
6.6.3	Coupure Grés De Base	6-28
6.6.4	Récapitulatif.....	6-28
6.6.4.1	<i>Paroi Moulée En Partie Centrale Et En Rive Gauche</i>	6-29
6.6.4.2	<i>Perforation Et Injction Du Voile D'tancheite</i>	6-30
6.7	Géologie Des Ouvrages Annexes.....	6-30
6.7.1	Galerie De Vidange De Fond	6-30
6.7.2	L'évacuateur De Crue De Surface.....	6-31
7	LES ZONES D'EMPRUNT DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION.....	7-1
7.1	Zones D'emprunt En Cuvette	7-1
7.2	Reconnaisances Effectuées	7-1
7.3	Nature Des Matériaux Reconnus Et Evaluation Des Réserves.....	7-1
7.3.1	Matériaux Argileux	7-1
7.3.2	Matériaux Sablo-Graveleux.....	7-4
8	LES CARRIERES	8-1

Liste des Annexes

- ANNEXE 1. LISTE DES PLANS
- ANNEXE 2. REPORT ON THE NEO-TECTONIC SETTING AND SEISMIC SOURCES FOR THE SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF THEBISRI DAM SITE
- ANNEXE 3. CD POUR LES RAPPORTS GEOTECHNIQUES, LES LOGS DES PUIITS ET DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES ET LES ESSAIS (GEOTECHNICAL REPORT NO. I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI AND XII)

QC	Ref:	L1214D / 1613
	Revision:	Date: December 19 th , 2014
	<input type="checkbox"/> Draft	<input checked="" type="checkbox"/> Final
	Signature:	

1 INTRODUCTION

Le barrage BISRI projeté sur Nahr Bisri au Sud du Liban, à quelques 23 Km de son embouchure sur la mer méditerranée, est destiné à l'alimentation en eau potable de Beyrouth, de sa région côtière et à la production de l'énergie électrique. C'est un barrage en remblai à noyau argileux incliné et à recharges en enrochements et alluvions grossières.

Le site est particulièrement complexe sur le plan géologique, avec présence :

- D'un socle affleurant dans les rives, plissé, faillé, karstifié et perméable, constitué pour l'essentiel de calcaire et calcaire marneux d'âge allant du Jurassique moyen-supérieur au Crétacé supérieur.
- D'un remplissage alluvial en fond de vallée riche en argile silteuse molle, d'une épaisseur atteignant les 120m. Ce dépôt résulte de l'envasement total d'un lac crée en fond de vallée au Quaternaire, suite à un glissement de flancs montagneux qui avaient barré la rivière au droit du village d'Anane, à 1.5 km-plus à l'aval de Bisri.

Les épaisses accumulations de ces dépôts lacustres en place sont devenues actuellement partie intégrante du paysage géologique naturelle. Le barrage et son futur lac ne peuvent être conçus qu'en tenant compte de ces formations molles déformables, à passages perméables, qu'il n'est pas envisageable d'éliminer compte tenu de leur forte épaisseur.

La conception d'un barrage adapté à la situation géologique particulière de ce site, passe nécessairement par une étude géologique et géotechnique approfondie, basée sur un grand volume d'investigations.

Entre les années 1953 et 1996, 4 campagnes de travaux de reconnaissances se sont succédées, avec parfois des interruptions dépendant des conditions sociopolitiques du pays:

- C'est en 1953-1954 que remonte la première des études et des investigations sur le site, effectuée par «United States Bureau of Reclamation-USBR ».
- En 1974-1975, c'est la poursuite des études par L'Office National du Litani
- En 1981-1984, les études ont été reprises par le groupement ECDAH, avec une 3^{ème} campagne d'investigation,
- En 1994-1996, C'est la reprise des études par le même groupement ECDAH, avec la réalisation d'une campagne d'investigation additionnelle.

Au total 5 120 ml de sondages carottés avaient été réalisés durant ces périodes, en plus de multiples puits (31 au site du barrage, 27 en cuvette) et essais de laboratoire et in-situ, répartis sur les axes de barrage envisagés.

La phase d'étude actuelle allant de 2012 à 2014, confiée par le CDR au groupement DAHNT/NOVEC, a pour objet la révision des études d'avant-projet réalisées sur ce site. Elle a en fait abouti à une refonte entière de l'avant projet, y compris l'interprétation des données géologiques et le dessin des de tous les plans y relatifs. La zone d'implantation de l'axe, le plus à l'amont, appelé « C » retenu au terme des études antérieures a toutefois été conservée.

La campagne de reconnaissances complémentaires réalisées durant cette dernière phase d'étude, sous la supervision du groupement DAHNT-NOVEC, englobe notamment :

- Des sondages carottés (plus de 1 500 ml) avec essais d'eau, concentrés dans l'emprise du barrage et sur le tracé des ouvrages annexes.

- Des sondages consacrés aux essais géotechniques in situ type SPT et DCPT¹ et aux prélèvements d'échantillons pour les essais de laboratoire du remplissage argileux et argilo-sableux lacustre, dont les données sont présentées et interprétées dans le rapport géotechnique du présent dossier.

Les essais de laboratoires ont été confiés en grande partie au laboratoire ASSACO-Material Tasting Geotechnical Study à Beyrouth et au LPEE à Casablanca.

Le présent rapport de synthèse traite les aspects géologiques concernant le projet et leur impact sur la conception du barrage et de ses ouvrages annexes.

Il s'agit de :

- Comblent les lacunes concernant les informations sur la morphologie du toit du substratum masqué par les dépôts lacustres.
- Contrôler la nature des terrains et leur perméabilité notamment au voisinage du dispositif d'étanchéité suivant la tranchée d'ancrage du noyau, dans le but de pouvoir se prononcer sur :
 - La configuration de la paroi moulée en partie centrale et trancher entre le choix d'une paroi suspendue sur quelques dizaines de mètres au sein des argiles lacustres ou une coupure plus profonde, ancrée dans les terrains du socle jusqu'à environ 120-130 m
 - La configuration du voile d'étanchéité qui complète le rôle de la paroi moulée, en traitant les terrains du socle par injection, en continuité de cette paroi, en partie centrale ou latéralement au sein des deux rives.
- De se prononcer sur la nature et l'état des formations géologiques qui concernent les ouvrages annexes (évacuateur de crue et vidange de fond) conçus dans le cadre de la présente étude.
- D'examiner la question des sources des matériaux de construction, (argile, alluvions, enrochements, agrégats à béton, filtre, drain et transitions), sachant que les essais géotechniques qui les concernent sont traités dans la pièce géotechnique qui accompagne le présent rapport.

¹ SPT = Standard Penetration Test ; DCPT = Dynamic Cone Penetration Test

2 CADRE GEOLOGIQUE GENERALE DE LA ZONE DU PROJET

2.1 Stratigraphie Régionale

La série stratigraphique dans la région s'étend du Jurassique au Crétacé supérieur. Les formations tertiaires ne sont pas représentées. Les dépôts quaternaires sont par contre abondants et de nature lithologique variée, alluvionnaire et lacustres notamment.

2.1.1 Le Jurassique

Le Jurassique correspond aux plus anciennes formations dans la stratigraphie libanaise, avec une épaisseur de l'ordre de 1500 m. De haut en bas, il se subdivise comme suit :

- Portlandien (J7): Calcaire de Salima, 15-25 m, calcaire ocre détritique, oolithique et marneux.
- Kiméridgien(J6): Falaise de Bikfaya, 70-75 m, calcaire fin massif et dolomie, riches en silex.
- Bathonien-Callovien inférieur (J5): Niveau marneux de Bhannès, 30m, marne et calcaire marneux.
- Bathonien-Callovien inférieur (J4): Calcaire de Kesrouan, partie terminale, 50-60 m d'épaisseur, alternances de calcaire oolithique ocre, de calcaire marneux et de marne, très fossilifères.

Ces formations dont l'âge se situe entre 170-145 Ma~ du Jurassique Moyen et Supérieur, se retrouvent au site de Bisri. Ils sont groupés sous la couleur bleu du plan G01.

En sondage, des tentatives de différenciations entre ces horizons ont parfois été notées lors des relevés de carottes. Elles sont basées sur des critères de textures de la roche ou sur des arguments paléontologiques plus ou moins fiables. Il n'est pas nécessaire de s'attarder sur ces différenciations qui gardent un cachet approximatif. Pour les besoins du projet, la principale différenciation utile est celles des faciès, notamment la coupure entre les marnes et les calcaires rigides.

Ces faciès forment l'appui rocheux du barrage en rive gauche aussi bien à l'affleurement que plus en profondeur sous le remplissage lacustre.

Le faciès calcaire jurassique dans toutes ces formes en général, constitue une source privilégiée de production d'encroûtements et d'agrégats à cause de leur rigidité et leur proximité au barrage.

- Bajocien-Bathonien (J2-J3): C'est l'étage principal du Jurassique, plus de 1300 m d'épaisseur, constitué de dolomie, calcaire dolomitique et calcaire avec de rares niveaux marneux.

Cet étage n'a pas été rencontré dans les sondages au site Bisri.

2.1.2 Le Crétacé Inférieur

Il est caractérisé par des dépôts arénacés (sableux) et néritiques (ou plateau continental) avec des intercalations de produits volcaniques et un épisode calcaire franc, désigné « Falaise de Blanche ». Il se subdivise en trois ensembles lithologiques dont les caractéristiques, de bas en haut, sont les suivantes :

- C1 - Grès du Liban, 220-250 m, il est de granulométrie et de consolidation variables avec des intercalations d'argiles ligniteuses et de marnes.
- C2, avec :

- C2a - Aptien inférieur, 150-180m, grès calcaires qui passe à des calcaires détritiques fossilifères avec des niveaux de marnes, d'argile, de grès et de sable.
- C2b - Aptien supérieur, 90-100 m, débute par un banc de calcaire fin massif de 50 à 60 m d'épaisseur, La Falaise Blanche (désigné C2b-1 au présent rapport). Des oolithes ferrugineux sont associés à la plupart des niveaux situés au-dessus de la Falaise de Blanche. Les fossiles sont abondants. Il constitue la seconde masse de roches carbonatées de la stratigraphie libanaise. Au-dessus, suivent des alternances de calcaires marno-détritiques, des marnes, des argiles, des grès plus ou moins consolidés (désigné C2b-2 au présent rapport).
- C3- Albien, 130m~, alternances de calcaire, calcaire marneux et marne, devenant plus calcaire dans la partie supérieure de l'Albien. La faune est abondante avec de nombreuses variétés de Lamellibranches et de gastéropodes.

2.1.3 Le Crétacé Supérieur

C4-5- Cénomaniens-Turonien: Il est affecté par de nombreuses variations latérales de faciès et d'épaisseur. Une succession lithologique type dans la région s'établit comme suit :

- C4a - Cénomaniens inférieur, 90-100 m, dolomie, calcaire dolomitique et calcaire.
- C4b- Cénomaniens moyen et supérieur, (350 – 450m), alternances de séries de calcaire massif et de calcaire dolomitique avec des séries de marno-calcaire à silex, régulièrement lités.
- C4c -C5 - Cénomaniens supérieur-Turonien (250-300 m), dolomie, calcaire dolomitique, et calcaire localement récifaux.

Les couches du Cénomaniens inférieur et de la base du Cénomaniens moyen constituent l'appui rive droite du barrage. Elles sont coiffées par un horizon de calcaire rigide d'épaisseur décimétrique, offrant une possibilité de plus d'ouvrir une carrière d'énormements et d'agrégats en rive droite (plan G14).

Les étages crétacés qui suivent le Turonien, plus crayeux et plus marneux, ne concernent pas le site du barrage. Ils affleurent plus à l'ouest, dans la zone des plateaux côtiers.

2.1.4 Le Quaternaire

- Il est surtout remarquable dans la vallée du Nahr Awali par les glissements en masse qui ont affecté la partie moyenne du Cénomaniens aux environs du village d'Anane. Ces glissements, qui paraissent se placer dans un Quaternaire relativement récent (certaines estimations parlent de 15 000 ans), ont été favorisés par plusieurs facteurs :
 - Une vallée encaissée de plusieurs centaines de mètres et des versants raides.
 - Des affleurements marno-calcaires à silex finement lités sur la plus grande partie du versant sud, avec des pendages orientés vers la vallée.
 - Le caractère karstique des affleurements de la partie supérieure des versants, ce qui a favorisé l'enfouissement des eaux météoriques et la lubrification des surfaces des discontinuités internes.
 - Un réseau de failles.

- Une sismicité élevée induisant des tremblements de terre ayant peut-être provoqué le déclenchement du premier glissement en masse.
- Des dépôts alluvio-lacustres se sont progressivement accumulés derrière la barrière formée par les glissements naturels et ont remblayé la vallée à l'amont jusqu'au niveau des hautes terrasses anciennes (plan G01). Par la suite, les eaux ont entaillé progressivement le barrage naturel et le lit s'est encaissé dans les dépôts de la haute terrasse. Des dépôts de moyennes et de basses terrasses se sont emboîtés dans ceux des terrasses anciennes.

Les autres dépôts quaternaires sont représentés par des éboulis de pentes et les glissements en masses visibles en rive droite plus à l'aval du site du barrage.

Des colluvions du bas-versant et du fond de rivière recouvrent aussi certains affleurements riches en lits marneux du Jurassique terminal et de la base du Cénomanién moyen.

2.2 Structure Régionale

Les grands ensembles structuraux du sud du Liban sont limités par un système de failles principales qui se raccordent à celles de la mer morte.

Les deux grandes cassures méridiennes qui encadrent à l'Ouest et à l'Est le fossé de la mer Morte et celui du Houlé se ramifient et changent d'orientation à leur entrée en territoire libanais.

La faille ouest, la plus importante, se divise dans la partie nord du Houlé en trois branches :

- La faille de Roum, de direction SSE-NNO, qui se prolonge vers Beyrouth par deux flexures étagées en altitude.
- La faille de Yammouné, de direction NNE-SSO qui limite le flanc est de la chaîne libanaise.
- La faille de Hasbaiya, de direction NE-SO qui longe la bordure orientale de la Beqaa.

La faille Est de la mer Morte est prolongée par la faille de Chebaa – Rachaya de direction SSO-NNE qui entaille la voûte du Hermon.

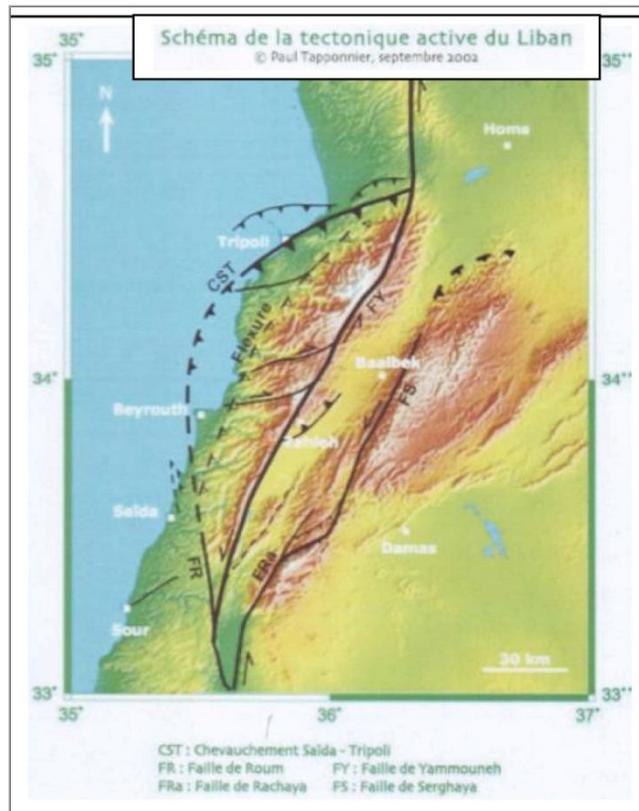
La région de Bisri est une zone intensément disloquée. Les plissements ont abouti à un redressement de la série stratigraphique jusqu'à 50° par rapport à l'horizontale sur les deux rives du site du barrage.

Parmi les failles qui affectent le site du barrage, l'une majeure, se distingue par l'importance de son rejet vertical, de quelques centaines de mètres. Cette faille passe au pied de la rive gauche et fait remonter la série jurassique calcaire qui forme l'appui du barrage de cette rive. La série crétacée, effondrée en fond de vallée et en rive droite, forme le substratum et maintient les calcaires jurassiques plus en profondeur hors de la portée des travaux de reconnaissances.

Cette faille majeure de pied de rive gauche a été considérée durant les études antérieures du barrage comme un segment de la faille de Roum. Une reprise des études sismotectoniques², menée dans le cadre de la présente actualisation de l'avant-projet, a conclu au passage de la faille de Roum en dehors du site du barrage. Elle, attribua la faille majeure identifiée dans le lit de la rivière à un cortège tectonique différent de celui des failles actives au Liban.

² *Report on the Neo-Tectonic Setting and Seismic Sources for the Seismic Hazard Assessment of the Bisri Dam Site; Ata Richard ELIAS, PhD. June 2014. Ce rapport est annexé au présent dossier.*

Planche 1



Cependant, il reste possible que cette faille majeure du site (FMS), fasse partie d'un réseau de failles transversales d'orientations comprises entre WSW-ENE et NW-SE, qui découpe par ailleurs toute la région en panneaux.

Ce réseau de failles principales, type FMS, est encore compliqué par un système de cassures secondaires, de rejet compris entre quelques mètres et quelques dizaines de mètres.

La carte géologique du site plan G01, ou carte des affleurements, présentés en annexe, reproduit les horizons géologiques et les structures visibles au site du barrage.

3 CARTE GEOLOGIQUE DU SITE DU BARRAGE

Le relevé géologique de surface est consigné au plan G-01 en annexe.

3.1 Rive Gauche

La présence d'un couvert végétal important et l'altération de surface rendent difficile l'inspection des affleurements. Néanmoins, la délimitation des principales formations a pu être notée :

- La rive gauche montre les affleurements des différents faciès du jurassique précédemment décrit J5, J6 et J7. Le faciès J4 à alternance de calcaire et de marne chocolat est rencontré en profondeur dans les sondages.
- Le grès de base, C1, non atteint par l'érosion, forme un manteau amont couvrant les différents faciès calcaires.
- Quelques zones sont occupées par des accumulations des éboulis de pentes (EB).
- La série du socle est affectée par des plissements, donnant un pendage fort de 20 à 70° le plus souvent vers l'amont, avec des inversions de pendage à cause de plis localisés. Les changements brusques des pendages les plus nets s'opèrent au droit d'un pli dont l'axe passe au voisinage de zone de restitution de l'évacuateur de crue.

La trace de la faille principale du site (FPS), qui a fait remonter la série calcaire en rive gauche, est dessinée sur ce plan, bien qu'elle soit masquée par le remplissage alluvial. Sa configuration est déduite de l'interprétation des données des sondages et sera discutée ci-après au paragraphe 3.3 ci-dessous.

3.2 Rive Droite

En rive droite la série crétacée, abaissée par la FPS, est bien visible en surface. Les horizons C2b à C4 sont maintenus pour souligner la structure tectonique du site. Dans le détail, de grandes similitudes de faciès existent entre ces horizons, avec des alternances de calcaires crayeux, de marne calcareuse ou de calcaire, rendant l'identification visuelle des coupures stratigraphiques difficiles, sauf recours à l'analyse des microfossiles. Cette similitude de faciès va se retrouver également dans les propriétés mécaniques ou hydrauliques de ces formations.

On note une augmentation progressive de la fraction des bancs calcaires crayeux en remontant la série. Mais ces bancs calcaires sont assez fragiles et ne durcissent véritablement qu'en crête du versant, là où ils constituent une source potentielle d'exploitation des agrégats et des enrochements.

Un manteau d'éboulis apparaît au pied du versant et se développe plus à l'aval en dehors de l'emprise du projet.

3.3 Fond De Vallée

Le fond de vallée est le siège du remplissage alluvial sablo-silteux, cantonné pour l'essentiel dans l'environnement du lit mineur de Nahr Bisri.

En dehors du lit mineur et hors de ses berges, la plaine alluviale est le siège de riches cultures intenses, empêchant l'identification des sols en présence. L'examen des caisses à carottes permet d'y pallier localement.

En première approximation, au droit de l'axe du barrage, un zoning a pu être établi sur la base de l'observation des logs des sondages. Les zones plus sableuses apparaissent liées à l'environnement du tracé du lit mineur de la rivière. Les zones argileuses ou mixtes, sablo-silteuses apparaissent plus cantonnés du côté rive droite (voir plan G-02).

Une analyse plus fine de ces faciès de remplissage est donnée au paragraphe « constitution du remplissage lacustre de la paléovallée » à travers les corrélations entre coupes de sondages. Le zoning des faciès donnés sur la base des résultats des essais géotechniques complète cette analyse (voir rapport géotechnique de synthèse du présent dossier).

4 CARTE GEOLOGIQUE DE LA CUVETTE

Le plan G02-A en annexe donne la carte géologique de surface élaborée depuis les phases des études antérieures.

Cette cuvette a été parcourue en totalité pour identifier les formations géologiques relevées.

Les formations crétacées et quaternaires occupent la totalité de la superficie de la cuvette.

Les formations jurassiques remontant en surface au droit du site du barrage par le biais de la faille FMS, sont enfouilles et n'affleurent pas dans l'emprise de la cuvette.

Parmi les formations crétacées en cuvette, c'est le grès de base C1 qui est prédominant dans les rives. Il est accompagné par quelques affleurements isolés du Crétacé inférieur C1 et C2b, à étanchéité acceptables, surtout au-delà de la frange d'altération superficielle atteignant quelques dizaines de mètres.

Un affleurement isolé de calcaire de la formation « Falaise de Balance » est présent à l'amont immédiat du barrage en rive droite. Ce calcaire sera intercepté par le voile d'étanchéité du barrage et traité, mais le plongement des couches vers l'intérieur de la rive empêche une fermeture du voile sur un horizon étanche.

Les formations quaternaires constituent de larges plages en fond de cuvette. Elles résultent pour l'essentiel des dépôts sablo-graveleux piégés en queue du lacs ancien de ce site.

Ces dépôts envisagés comme matériaux de construction du barrage, ont fait l'objet de reconnaissances par puits et sondages. Leur épaisseur dépasse en général les 15m, profondeur maximale des sondages de reconnaissances réalisés.

En conséquence, la constitution géologique de la cuvette, sans être parfaitement étanche, est suffisamment rassurante pour permettre d'envisager la création d'un lac artificiel avec des risques de fuites acceptables.

5 TRAVAUX DE RECONNAISSANCES REALISEES

L'implantation des puits et sondages de reconnaissances figure au plan G01 et leurs logs sont disponibles (Gravés sur CD1-en Annexe 3).

5.1 Reconnaissances Additionnelle Menées Dans Le Cadre De La Présente Etude (2013-2014)

Le plan n°G01 en annexe et le tableau ci-après récapitulent l'ensemble des reconnaissances additionnelles réalisées au site du barrage dans le cadre de la présente étude.

Le linéaire total des sondages atteint 1500m (quelques sondages complémentaires étaient en cours à la rédaction du présent rapport), ce qui représente pratiquement 30% du linéaire carotté réalisé depuis le début des investigations de ce site.

Tableau 1

SITUATION ET OBJECTIF	DESIGNATION DES SONDAGES	X	Y	Z	Profondeur (m)
RIVE GAUCHE: OPTIMISATION DU TRACE DES OUVRAGES ANNEXES	EV1	-334728,32	-62498,94	415,61	30
	EV10	-334703.22	-62547.08	420,20	30
	EV2	-334794.08	-62483,06	401,70	30
	EV3	-334788.25	-62435.79	398,29	50
	EV7	-334790.02	-62395,20	396,04	60
	EV9	-334721.66	-62484.86	414,85	30
	VF2	-334245.19	-62097,10	414,92	40
	VF3	-334228.11	-62150.17	414,45	40
RIVE DROITE: ETANCHEITE KARSTICATION PIEZOMETRIE	BHRA1	-334763,01	-61778,38	441,98	125
	BHRA2	-334806.09	-61710.8	490,25	103,50
	BHRA4	-334280.82	-61494.6	449,85	76,50
	BHRA3	-334400,64	-61589,18	430,25	100
RIVE GAUCHE: ETANCHEITE KARSTICATION PIEZOMETRIE	BHLA1	-334515.23	-62242.74	431,50	105
	BHLA2	-334454,79	-62371,82	459,4	95
	BHLA3	-334667	-62161,55	424,27	49,5
	BHLA4	-334717	-62211,55	424,18	57
VALLEE: RECONNAISSANCE DU REMPLISSAGE LACUSTRE ET ALLUVIONNAIRE	BHVL01	-334647	-62141,55	396,57	100
	BHVR05	-334716.83	-61873.08	414,37	50,00
	BHVR04	-334464.87	-62045,87	389,14	84,00
	BHVR1	-334664,47	-61981,54	413,97	115
	BHVR02	-334726.9	-61908.90	414,09	111,00
Total					1521,5

5.2 Travaux De Reconnaissances Antérieures A 1981

Ces reconnaissances concernent les études de faisabilité du barrage Bisri sur des axes et sites abandonnés. Les investigations ont concerné au départ les axes A et B plus à l'aval de l'axe C actuellement considéré.

Les études et investigations ont été réalisées en deux phases, comme suit :

Phase 1 - Site A: Bureau of Reclamation (USBR), 1953-1954

Ce site se localise à environ 500 m à l'amont de l'effondrement du versant à Anane, à près d'un kilomètre à l'aval de l'axe "C" actuellement considéré.

Il a fait l'objet de 9 sondages de reconnaissances, dont deux, en fond de vallée, avaient montré que l'épaisseur maximale du remplissage alluvio-lacustre atteignait 115m. cela ne veut pas dire que la profondeur maximale a été atteinte.

Ce site a été abandonné par la suite, à cause de glissements et d'une fracturation très développées en rive droite.

Phase 2 - Site B: Office National du Litani (ONL), 1974-1975

14 forages de profondeur allant de 25 à 100 m ont été réalisés, La vue en plan disponible indique une implantation de 10 sondages. Les logs de ces forages n'ont pas été retrouvés.

5.3 Travaux De Reconnaissances Postérieures A 1981

Ces reconnaissances qui concernent l'axe C, comportent :

- Des sondages carottés avec essais d'eau par passes de 3 m.
- Des galeries de reconnaissances en rives.
- Des puits de reconnaissances des zones d'emprunts.
- Des essais de laboratoire sur échantillons prélevés de la zone d'emprunt.

5.3.1 Sondages De Reconnaissances

Ils ont été réalisés en deux phases, comme suit :

- En phase 1- ECIDAH (1982) : 38 sondages ont été réalisés sur l'axe C et un forage (BCD1) sur l'axe B.
- En phase 2- ECIDAH (1983) : 3 sondages et 67 puits ont été réalisés. Les travaux ont été arrêtés en décembre 1983, du fait de la situation politique intérieure du pays.
- ECDAH 1994 -1996 : 46 sondages ont été réalisés à raison de 17 sondages sur l'axe "C" et 29 dans les terrasses des zones d'emprunt en cuvette. Ces travaux comportaient aussi la réalisation de tranchées pour l'étude des failles actives et des zones d'emprunts.

5.3.2 Travaux Miniers

Il s'agit de galeries dans les rives, de puits et tranchées dans la zone d'emprunt alluvionnaire.

- GALERIES DE RECONNAISSANCES

Ces travaux consignés au plan G17 ont concerné le creusement de 3 galeries :

- Galerie AD-3 en rive droite : 114m de longueur.

- Galerie AD-1 et AD-2 en rive gauche : respectivement de 112.79 et 112.50 m de longueur.

Ces galeries ont permis d'étudier plus en détail la succession lithologique, l'altération, le degré de karstification et de relever les structures en présence.

- PUITS DE RECONNAISSANCES DES ZONES D'EMPRUNT EN FOND DE VALLEE

Les puits ont été réalisés dans le but de reconnaître les dépôts alluvio-lacustres et les alluvions dans les ballastières en fond de vallée, afin d'estimer leur réserves en place et leur qualité.

Les puits de reconnaissances ont été réalisés en deux campagnes (voir Plans GR-01 en annexe) :

Campagne 1983:

31 puits ont été réalisés au site du barrage, concentrés pour l'essentiel dans sa partie amont de fond vallée et désignés TP9, TP12 à TP36, TP41 à TP43, TP52 et TP BDC17 (voir plan G01)

Campagne 1996:

56 puits de reconnaissances complémentaires ont été réalisés durant cette campagne dans les zones d'emprunts en cuvette (plan G01). Ils concernent les deux premiers mètres du dépôt granulaire des alluvions modernes.

6 SYNTHÈSES DES INFORMATIONS GÉOLOGIQUES ACQUISES

Cette synthèse intègre la totalité des données des travaux de reconnaissances géologiques des campagnes antérieures, celle de 2014 comprise.

Les caractéristiques géologiques principales du site qui seront traitées concernent les volets suivants :

1. Le remplissage alluvionnaire et lacustre en fond de vallée,
2. La lithologie et structure des formations géologiques du substratum,
3. La qualité mécanique des formations du substratum appréhendée à travers l'analyse fine des paramètres de carottage,
4. L'état de perméabilité des différentes formations du substratum,
5. La piézométrie en rives et ses rapports avec la nappe alluviale,
6. La question des zones d'emprunt en cuvette et des sites potentiels de carrières,

Bien entendu l'impact des particularités géologiques sur la conception des ouvrages sera examiné au fur et à mesure de l'élaboration de la présente synthèse.

6.1 Remplissage Alluvionnaire Et Lacustre En Fond De Vallée

Le réexamen des coupes des sondages des reconnaissances antérieures à 2014 et le contrôle à travers l'analyse des coupes des sondages effectués en 2014 a permis de mieux préciser la configuration et la nature des matériaux constitutifs de ce remplissage.

Les coupes A, B, C, D, E transversales au site du barrage ont été totalement reprises et réinterprétées (voir coupes aux plans G04 G05 G06 G07 G08 et leur implantation au plan G01).

La coupe « C » a été légèrement modifiée pour la faire passer suivant l'axe actuel du barrage en y intégrant tous les sondages nouveaux passant dans son environnement.

Du fait de l'inclinaison du noyau, une coupe développée suivant la tranchée d'ancrage du noyau, correspondant au voile d'étanchéité a été établie.

6.1.1 Morphologie Du Remplissage Lacustre Et De La Paléovallée

Le lit mineur actuel est encastré dans la plaine lacustre sur une profondeur de 10 à 15m.

Plus en profondeur, le dépôt lacustre épouse la morphologie de la paléovallée qui présente en réalité des similitudes dans l'emprise du site, avec des points bas reconnus à des profondeurs équivalentes : Coupe A : 130m (285~ NGL), coupe B : 130m (295 NGL), coupe C : 135m (260 NGL), coupe D : 130m (295 NGL), coupe D : 130m (280 NGL), coupe F : 120m (280 NGL).

L'existence d'une section de la paléovallée de moindre profondeur, 64 m, au droit de l'axe C, admise par erreur dans les dossiers des études antérieures [46, page 10] comme une donnée justifiant le choix de cet axe, dénommé « C » dans les dossiers des études antérieures, n'est donc plus d'actualité. Il est désormais établi que le point bas du substratum est situé à 120-130 m de profondeur.

La forme de la paléovallée est en V, à rive gauche plus raide dans l'axe compte tenu de la présence des calcaires et plus évasée à l'amont avec l'apparition des grès de base C1 friables du Crétacé inférieur.

Le choix de l'axe approprié du barrage a été arrêté en définitive en se basant sur les arguments géologiques et morphologiques de surface permettant de mieux optimiser le

fonctionnement des ouvrages annexes, notamment l'évacuateur de crue dont la cuillère doit être fondée au substratum.

6.1.2 Constitution Du Remplissage Lacustre Et De La Paléovallée

Il était établi à travers les sondages de reconnaissances antérieurs que le remplissage de la paléovallée, comprenait :

- Les argiles et les argiles silteuses, formant la fraction principale de la masse de ce remplissage. Ces sols sont présents en abondance et pour l'essentiel, au-delà des 30 premiers mètres environ ;
- Les sables alluvionnaire à passages graveleux ou silteux qui se cantonnent essentiellement à moins de 30 m de profondeur, plus particulièrement le long du lit mineur côté rive gauche au droit du site,
- Les alluvions anciennes, éboulis de pentes et écroulement de falaise qui se retrouvent par endroits à la base des dépôts d'argile lacustres.

L'examen visuel des caisses à carottes des sondages actuels a permis de confirmer cette constitution lithologique en apportant quelques précisions quant aux différentes composantes de ce remplissage.

6.1.2.1 Argiles Lacustres

L'identification visuelle de ces argiles s'est effectuée au moment de l'extraction de ces sols, puis les carottes sont enveloppées par des films en plastique et remises au laboratoire pour essais d'identification.

C'est le faciès très fin qui prédomine dans les descriptions de ces carottes argileuses. Il convient de rappeler que les logs des sondages des reconnaissances de 1982 et 1996, indiquent la présence fréquente d'intercalations sableuses au sein des argiles lacustres, lesquelles intercalation demeurent assez fines : Il s'agit de simples luminations de sables fins silteux, d'épaisseur atteignant parfois 1 cm, alternées avec des argiles de 1 à 30 cm maximum [Ref46, page 27S/21H]. Cela est habituel dans des dépôts de ce type.

De telles intercalations sableuses auront sans doute une incidence sur la perméabilité horizontale de ces argiles, laquelle pourra être nettement plus importante que la perméabilité verticale. Le traitement de sol prévu pour l'accélération de la consolidation des argiles los de la construction du barrage est détaillé dans la note de présentation du projet.

6.1.2.2 Alluvions Grossières / Sables Alluvionnaires

Le lit mineur et ses berges encastrés d'une dizaine de mètres dans la plaine de fond de vallée, montrent des dépôts alluvionnaires de sables propres et graviers sableux.

Ces faciès se retrouvent dans les sondages des différentes campagnes de reconnaissances à moins de 30 mètres de profondeur en général.

Les corrélations entre les sondages, indiquées dans les dossiers des études antérieures ramenaient les faciès sableux au droit du site plutôt dans la moitié de la plaine alluviale côté rive gauche.

Avec le réexamen des logs des sondages anciens et de l'observation des caisses à carottes actuelles, la limite de l'extension de ces sables a été revue (voir coupe au plan G03).

L'extension de ces sables apparaît plus étendue que prévu dans le sens rive-rive. Ainsi au droit de la coupe géologique axial au plan G03, 3 sondages successifs (BDC-16, BDC-52 et le sondage récent BHVR-6) montrent systématiquement du côté rive gauche de la plaine

alluviale, les sols pulvérulents, les sables, sables graveleux et sables silteux, sur 20 à 30m de profondeur.

Du côté rive droite de la plaine, la proportion des sables silteux diminue pour laisser la place aux argiles silteuses. Ces dernières peuvent être prédominantes sur les 30 premiers mètres de profondeur, ou en moindre proportion, intercalées dans les faciès sableux (sondages BHVR1 2).

Cette répartition des sols dans l'espace résulte du mode de leur dépôt, dont la chronologie apparaît guidée par les séquences suivantes :

- Comblement total du lac artificiel, avec prédominance de dépôt argileux,
- formation d'une brèche dans le glissement d'Anane constituant le barrage naturel,
- abaissement rapide du lit mineur de la rivière au sein des dépôts argileux, permettant la constitution et le maintien des dépôts grossiers propres principalement dans le lit mineur.
- remaniement latéral des dépôts lacustres, à la faveur des fortes crues, entraînant les accumulations alternées des sols grossiers et sols argileux.

La présence d'une forte proportion de sable dans les alluvions grossières, voire même des fines intercalations de sable silteux, peut s'expliquer par la forte présence dans les versants amont des grès de bases fortement sensibles à l'érosion et susceptible donc de produire du sable fin.

Cette situation est à prendre en compte dans le projet du traitement de la fondation du barrage. Il est recommandé de réaliser au démarrage des travaux d'exécution, des reconnaissances complémentaires par sondages permettant d'affiner le zoning des sols, d'une part, et par des CPTU (pénétrömètre statique avec mesure de la pression interstitielle, piézocône), d'autre part.

6.1.2.3 Alluvions Et Eboulis Anciens

La présence des alluvions anciennes a été mise évidence en sondages sous les dépôts lacustres depuis les phases de reconnaissances antérieures à 2014.

Des sondages complémentaires réalisés durant la campagne 2014, dans l'environnement de l'axe du barrage, ont confirmé la présence de manteau fossilisé d'éboulis-alluvions au toit des terrains du substratum, sous les argiles lacustres.

Certains passages de ce manteau, en fond de vallée notamment, comportent des galets alluvionnaires, de calcaire, voire de basalte, provenant de l'érosion des terrains du bassin versant (cas du sondage BDC52).

Mais le plus souvent ce manteau renferme des accumulations de blocs calcaires à arêtes vives ou partiellement arrondis. Ces blocs sont à rattacher aux anciens éboulis de pente, voire à des écroulements de falaises, à l'instar des masses glissées visibles à l'aval du barrage en rive droite.

Le dépouillement du log du sondage BDC15, situé plus à l'aval, (voir coupe E-E et plan G08), montre une masse calcaire rencontrée entre les argiles lacustres et le toit du substratum. Son taux de récupération est de (20%), son RQD est nul (4%). Cette masse écroulée, de faciès identifié calcaire « Falaise de Blanche », provient de cette formation située hors de l'environnement du sondage. Plusieurs chutes d'outils sont enregistrées durant le carottage. Les venues d'eau artésiennes ont été déclenchées dès que le carottage atteint les calcaires des éboulis anciens

Tous ces arguments attestent que ce calcaire constitue un écoulement de masse, antérieur à la période des dépôts lacustre. Cet écoulement reconnu entre 98 et 119m, totalise donc 21 m

L'épaisseur totale de ce manteau fossile, à alluvions grossières anciennes, éboulis et écoulement anciens, peut atteindre :

- 21m au BDC15 de 98 à 119m
- 7m au BDC52 102à109m (190-115m foré au trône est plutôt à rattacher à la couverture sans certitude, est plutôt à rattacher, à notre avis, au grès C1 très altéré)
- 6.5 m au BHVR-6, 104.5 à 111m
- 14m au BHVR-1 70 à 84m
- 6m BHVR2 25 à 31m.

6.1.2.4 Illustrations Par Logs Des Sondages

Planche 2: Extrait du Log sondages BDC15 : noter dans la zone où un artésianisme de 6 l/s sous une pression en tête de forage (voir aussi commentaires précédents) de 4.4m à 98 m de profondeur.

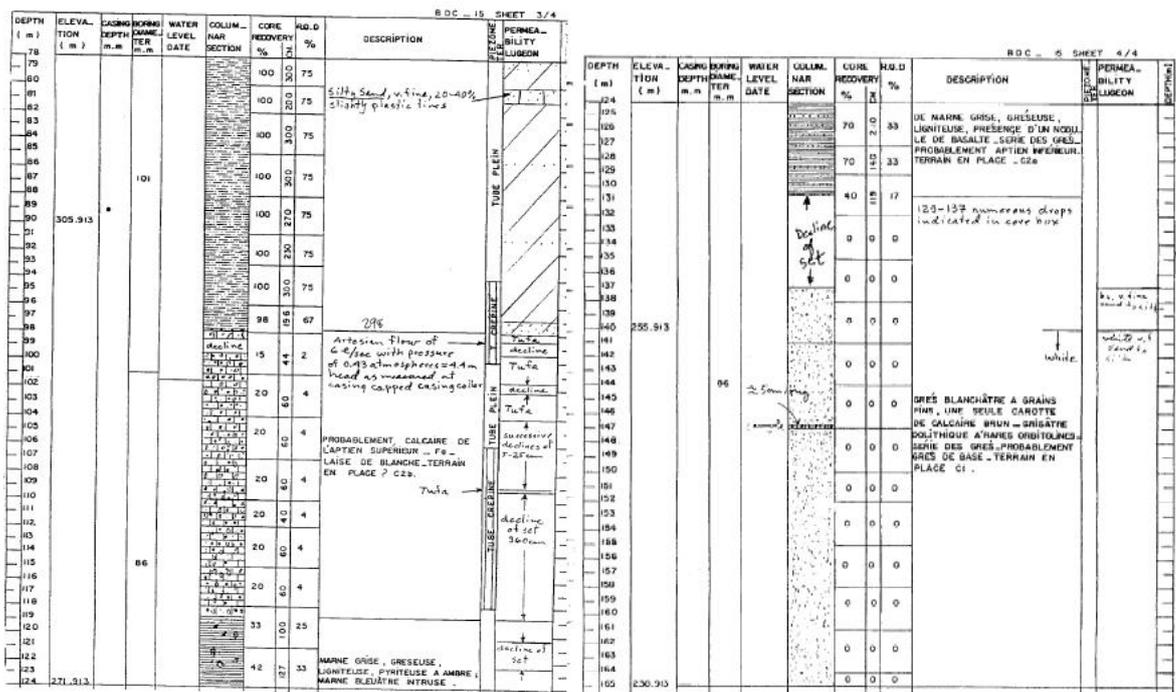
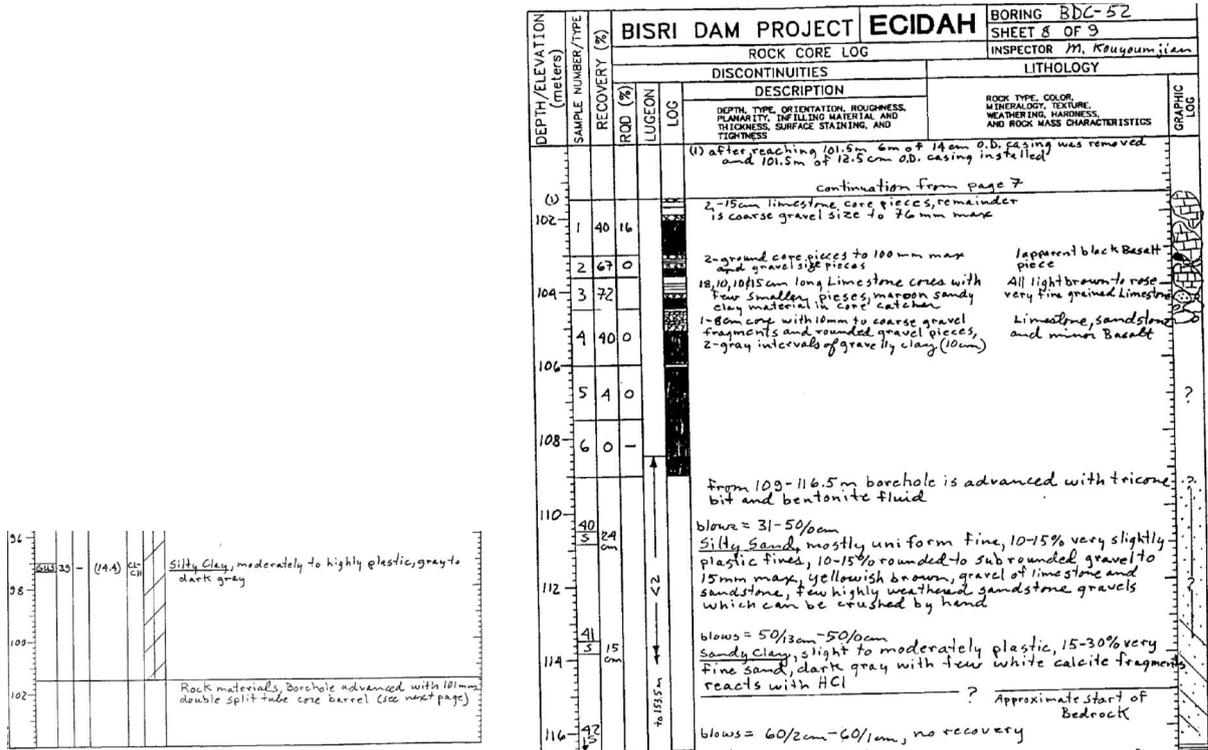


Planche 3: Extrait du Log sondages BDC52 (voir aussi commentaires précédents)



6.1.2.5 Illustrations Par Planches Photos

Les photos présentées ci-après illustrent l'aspect du carottage dans ces éboulis anciens.

- BHVR-1 (2014) (voir aussi commentaires précédents)

Planche 4



Planche 5



Planche 6



Planche 7



Planche 8



- BHVR-2 (2014) (voir aussi commentaires précédents)

Planche 9



- BHVR-6 (2014) (voir aussi commentaires précédents)

Planche 10



Dans certains cas, le contact entre les calcaires d'éroulement et les calcaires en place desserrés, est difficile à délimiter (Cas du sondage BHVR-1 à éboulis et calcaire en place de l'horizon « Falaise De Blanche »). En tout état de cause, ces deux catégories de matériau devraient présenter des propriétés similaires avec la vision de l'ingénieur, à savoir une perméabilité et un indice de vide élevés. Les éboulis doivent toutefois présenter plus de difficultés à un étanchement par injection du fait de la présence entre les blocs de silts et sable érodables, non injectables.

La présence de manteau fossile perméable constitue la première justification de l'approfondissement de la paroi moulée qui devrait les dépasser pour s'ancrer dans les rocher plus fermé du substratum.

6.2 Lithologie Et Structure Des Formations Géologiques Du Substratum

Les horizons stratigraphiques décrits en détail précédemment seront simplement rappelés avant d'entamer la description de leur structure, telles qu'elles ressortent à travers les améliorations des interprétations effectuées dans le cadre de la présente étude :

Il s'agit :

- Des calcaire jurassiques, désignés en bleu sur les cartes géologiques (plan G01et G02), et regroupant les horizons(J4), (J5), (J6) et (J7), de faciès de résistances similaires (calcaires rigides). Des distinctions entre faciès figurant sur les logs des sondages sont parfois reportées sur les coupes géologiques (plans G03 à G10). C'est notamment le cas le cas de l'horizon (J4) à alternance de calcaire et de marne chocolat (plan G-03) ;
- Du grès de base du Crétacé inférieur, C1, à faciès sableux friables d'origine deltaïque ;
- Des alternances d'horizons de calcaires marneux et crayeux de perméabilité variables, désignés C2a - C2b, C3 au Crétacé inférieur et C4 - Cénomanien inférieur au Crétacé supérieur ;

Depuis le démarrage des études sur ce site, la structure opposée dans les deux rives a été relevée, avec Les horizons crétacés en rive droite plongeant de 40 à 50° vers le Nord Est, c'est-à-dire vers l'aval et la rive droite. En rive gauche les horizons des calcaires jurassiques prédominant, le Crétacé est représenté seulement par les grès de base C1 qui surmontent ces calcaires un peu plus au large. Le plongement des couches dans cette rive est vers l'amont et vers la rive gauche.

Le contraste lithostructural entre les deux rives est le fruit du jeu de la faille au pied de la rive gauche, considérée dans un premier temps comme un segment de faille régionale de Roum dans les dossiers des études antérieures. Elle est considérée désormais comme une faille locale, non active, hors de l'alignement de la faille régionale de Roum, suite à l'actualisation de l'étude sismotectonique³.

Cette faille est désignée dans le présent rapport par « FPS » ou « Faille Principale du Site ».

Pour compléter cette image des plissements des deux rives, un nouveau plan structural vient d'être établi, désigné PLAN G02. Ce plan définit la cartographie et les structures cachées du substratum sous les dépôts lacustres en fond de vallée. Il s'agit là d'interprétation de données ponctuelles des sondages qui ne peut aboutir qu'à une image structurale approximative.

Mais sa précision est bien suffisante pour clarifier la structure géologique du site en complétant les images des coupes géologiques transversales désignées A à E, plans G04 à G08 en annexe.

Ce plan révèle en particulier la trace assez précise de la FPS. Elle apparaît tordue en plan, ce qui s'explique, au moins en partie, par son pendage fort vers la vallée.

Ce sont là des précisions structurales qui aident à réinterpréter la situation sismotectonique de la zone du projet.

³ Report on the Neo-Tectonic Setting and Seismic Sources for the Seismic Hazard Assessment of the Bisri Dam Site; Ata Richard ELIAS, PhD. June 2014. Ce rapport est annexé au présent dossier.

L'image cartographique ainsi établie permettra notamment de définir au stade de l'exécution, les panneaux les plus profonds de la paroi moulée, l'implantation des piézomètres en fonction de la situation des horizons les plus perméables...etc. Il est rappelé qu'à l'exécution une série de forages alignés sur le tracé de la paroi sera réalisée pour mieux définir les limites de cette dernière et du voile d'étanchéité à réaliser dans sa continuité.

6.3 Qualité Mécanique Des Formations Du Substratum Appréhendée A Travers L'analyse Fine Des Paramètres De Carottage

6.3.1 Taux De Récupération A L'échelle Du Site Du Barrage

L'examen en grand, dans l'ensemble du site du barrage, de la qualité mécanique des formations du substratum, est approché à travers la répartition dans l'espace des taux de récupération des carottes et du RQD (Rock Quality Designation).

Sont considérées les 3 ensembles lithologiques des horizons du substratum:

- Les calcaires jurassiques de la rive gauche,
- les calcaires marneux et crayeux crétacés de la rive droite
- et les grès de base du Crétacé inférieur C1.

6.3.1.1 Les Récupérations Moyennes

Dans l'ensemble des sondages de reconnaissances du site du barrage, le pourcentage de récupération (TRC total core recovery) moyen avoisine les 75% dans les calcaires jurassiques en rive gauche et dans les calcaires crayeux du Crétacé en rive droite.

Ce taux dépend en partie de la qualité du terrain et en partie de la qualité des équipements et des équipes mobilisés.

Le RQD moyen révèle que les calcaires du Crétacé sont plus fracturés en rive droite, un résultat compatible avec les fortes perméabilités enregistrés dans ces horizons.

Dans les grès de base C1, le taux de récupération est très faible reflétant la faible résistance de ce faciès qui se décompose facilement en sable, ce qui a facilité la remontée dans le fluide de perforation lors de l'opération de carottage.

Les tableaux 2 à 5 ci-après donnent le détail des mesures et le linéaire total de carottage analysé

Tableau 2: Calcaire Jurassique RG

	LR longueur récupérée	LP longueur perforée	SOMME morceaux carottes >10cm
	1021	1387	480,2
Récupération	74%		
RQD	47% qualité passable, (* tableau 3 ci-après)		

Tableau 3

RQD	(*) qualité des roches selon classification BS 5930]
< 25 %	très mauvaise
25-50 %	mauvaise
50-75 %	passable
75-90 %	bonne
90-100 %	excellente

Tableau 4: Calcaire Marneux Crétacé Rd

	LR	LP	SOMME L>10cm
	1572	2181	575
TCR	72%		
RQD	26%Qualité mauvaise		

Tableau 5: Grès C1

	LP	886	
G C1	LR	465	
	TCR	53%	(RQD non mesurable en général)

6.3.1.2 Variation Du Taux De Récupération Avec La Profondeur

Les figures 1, 2 et 3 ci-après donnent une illustration de la variation des taux de récupération (axe des Y) avec la profondeur (axe des X) pour les 3 groupes de formations géologiques considérées et pour un total de 4500 mètres de carottage.

Globalement, le taux de récupération s'améliore avec la profondeur pour les calcaires jurassiques de la rive gauche et reste dispersé pour les calcaires marneux et les grès de base C1.

Les grès de base restent fragiles même en profondeur avec passages à récupérations nulle jusqu'à plus de 100m

Les calcaires marneux du Crétacé sont globalement sensibles à l'altération jusqu'à 60m de profondeur, avec assez fréquemment des taux de récupération nuls.

Les calcaires jurassiques apparaissent les plus résistants, montrant une amélioration nette du taux de récupération avec la profondeur. Ce résultat indique qu'à l'échelle du site du barrage, les chutes de résistances constatées au droit de certains sondages en rive gauche près de l'axe du barrage (Sondage BHLA1...voir ci-après) ne constituent qu'un état circonscrit.

Il convient de rappeler que les faibles taux de récupérations sont aussi imputables à qualité des équipements et au soin apporté à l'exécution des forages.

Figure 1: Calcaire Jurassique Rive Gauche, TCR : Taux De Carottage En%

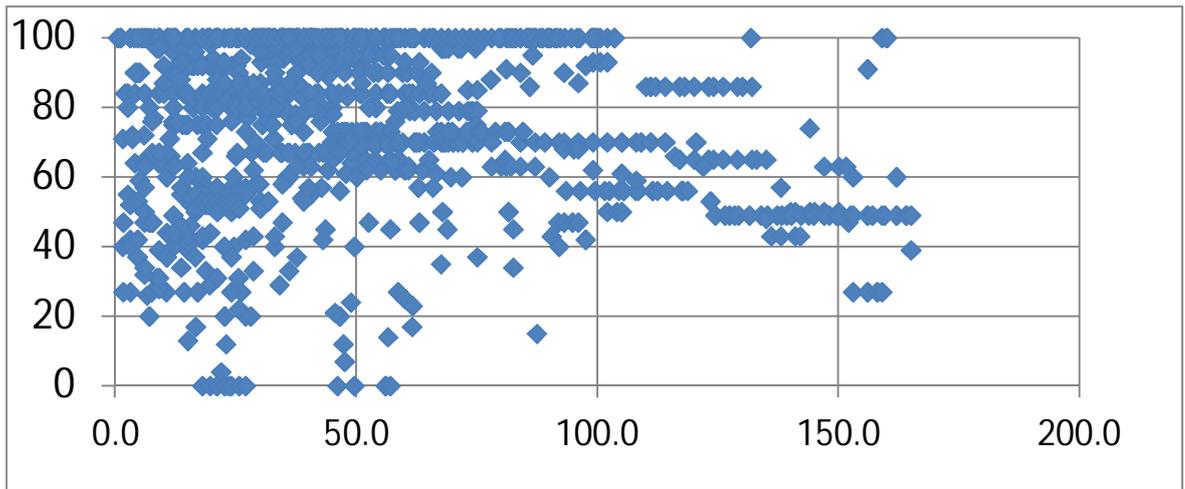


Figure 2: Calcaire Marneux Crétacé Rive Droite TCR: Taux De Carottage En %

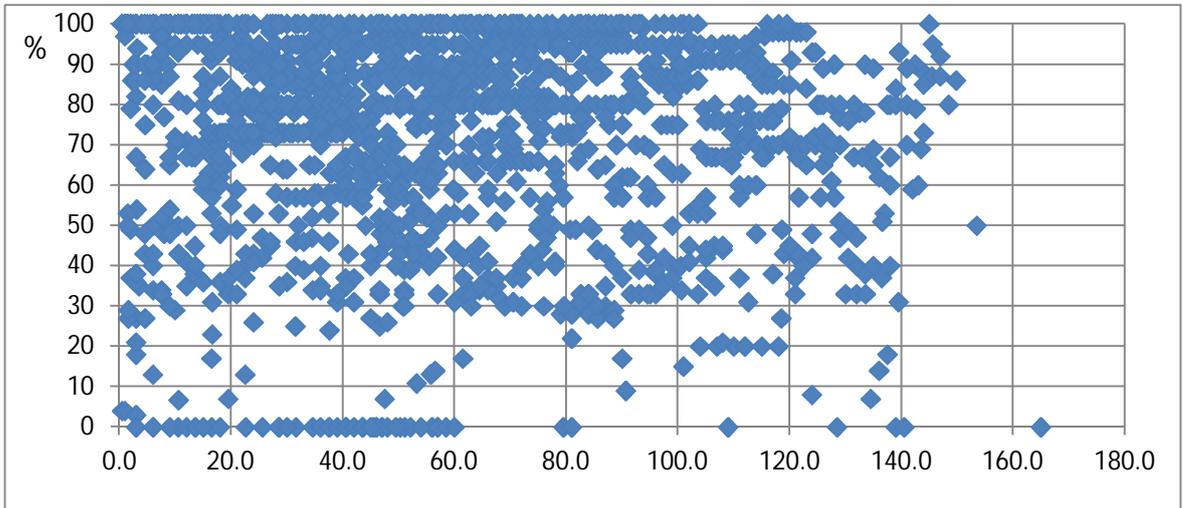
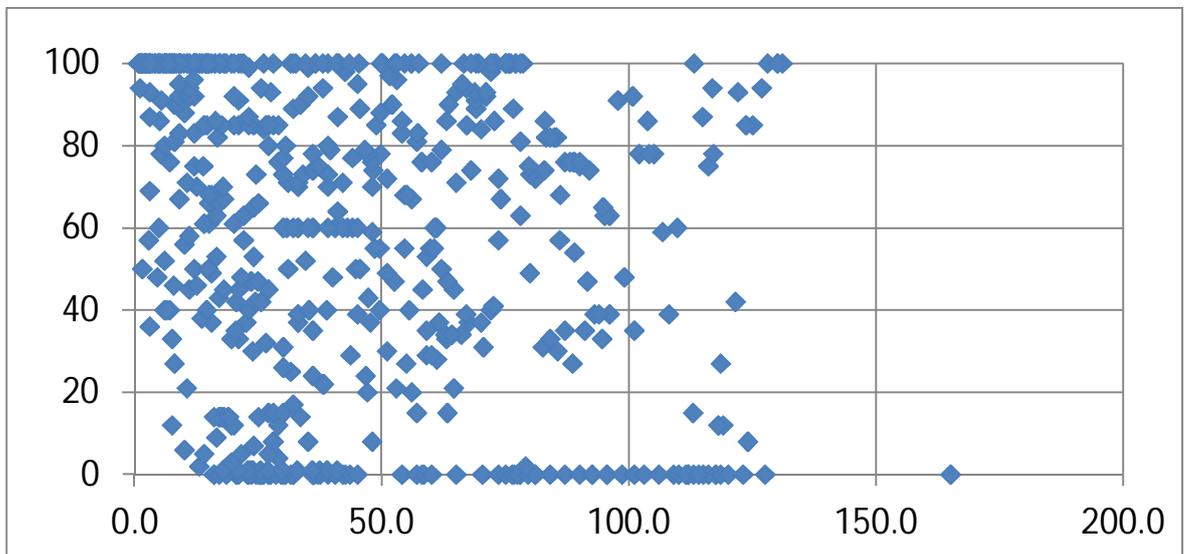


Figure 3: Grés DDE Base C1* -TCR : Taux De Carottage En %



6.3.2 Taux De Récupération Suivant L'axe Du Voile D'étanchéité

Sont considérés tous les sondages réalisés suivant l'axe du barrage dans le cadre de la campagne actuelle 2014. Il s'agit des sondages BHLA1, BHLA2 et BHLA3 dans les calcaires jurassiques rive gauche et les sondages BHRA1 et BHRA2 dans les calcaires marneux du Crétacés rive droite. Il convient de rappeler que l'implantation et la réalisation de ces forages ont été effectuées alors que la digue était encore conçue avec un noyau vertical. Or, à la lumière des résultats des investigations réalisées, notamment les essais in-situ (SPT et DCPT) et au laboratoire (oedomètre) il est apparu que les tassements de la fondation dans l'axe, correspondant à la hauteur maximale des remblais, était trop importants pour être supportés notamment par la paroi moulée. Il a fallu alors passer à une solution à noyau incliné vers l'amont, permettant de disposer la paroi sur une charge de remblai nettement plus faible. Mais ce changement n'est intervenu qu'après l'achèvement de l'ensemble des reconnaissances, sans possibilité de décaler les sondages le long du nouveau tracé de la paroi. Cependant, l'homogénéité en grand des dépôts lacustre est telle que l'absence de forages situés sur l'axe de la paroi ne constitue aucune gêne pour la mise au point du projet. Dans tous les cas, des investigations additionnelles nettement plus denses seront réalisées au démarrage des travaux pour bien cerner, notamment le profil du substratum dans le plan de la paroi moulée.

Dans les calcaires jurassique en rive gauche les 3 sondages BHLA1, BHLA2 et BHLA3 montrent une chute nette du taux de récupération entre les 15 et 40 m de profondeur. Cela est à lier à la fragilisation du ciment calcaire par altération, laquelle altération diminue progressivement avec la profondeur et le calcaire retrouve sa bonne résistance primitive au-delà d'une profondeur de 15 à 30 m.

Cette situation sera également clarifiée davantage au démarrage des travaux d'exécution du barrage par la réalisation de sondages de reconnaissances complémentaires qui n'ont pas pu être multipliés à ce stade à cause des difficultés d'accès.

Cette situation conduit à envisager une profonde tranchée d'ancrage du noyau, d'au moins 10m, dans le but de dépasser la frange décomposée des calcaires. De plus, une galerie d'injection ancrée dans ladite tranchée est prévue pour autoriser le traitement de la fondation sans interférence avec la montée des remblais, tout en facilitant toute intervention ultérieure jugée nécessaire après la mise en eau du barrage. En outre, la galerie servira pour le drainage et le suivi des pressions dans la rive.

En rive droite, les 2 sondages BHRA1 et BHRA2 dans les calcaires marneux crétacés montrent une succession de passes à taux de récupération faible à moyen sur toute leur profondeur (figures 7 et 8), comme c'est le cas général dans le reste de cette rive. Cette dispersion des récupérations se retrouve également dans la répartition des perméabilités.

Figure 4: Sondage BHLA-1- Rive Gauche-Calcaire Jurassique

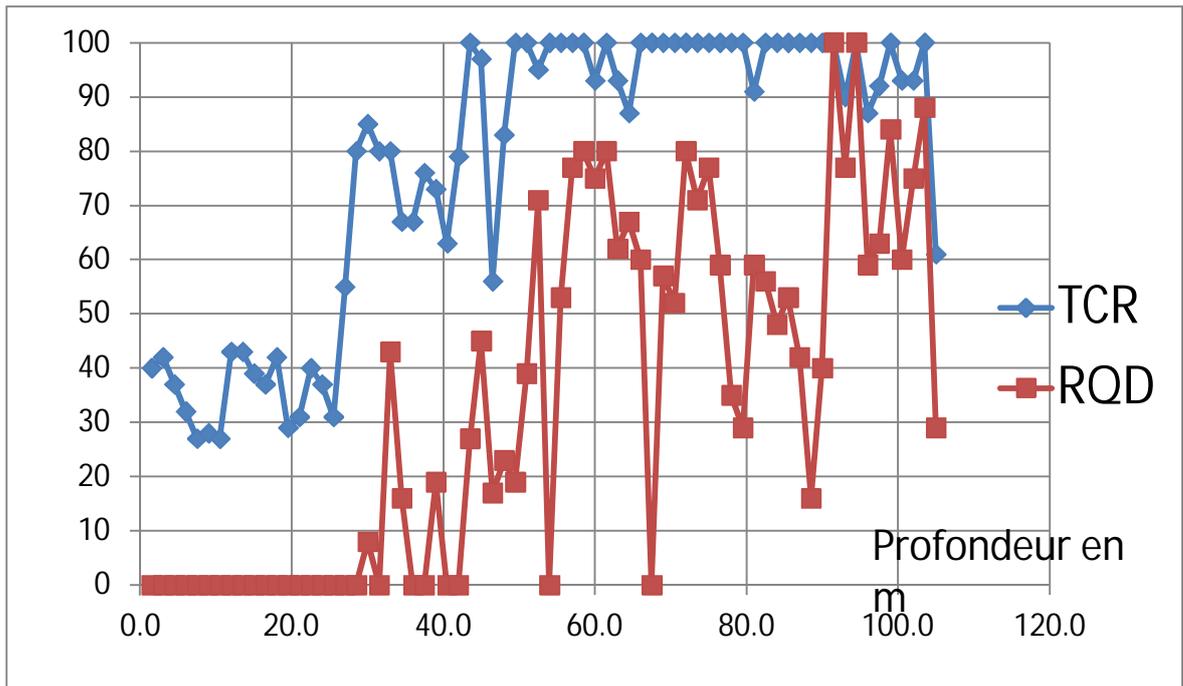


Figure 5: Sondage BHLA-3- Rive Gauche-Calcaire Jurassique

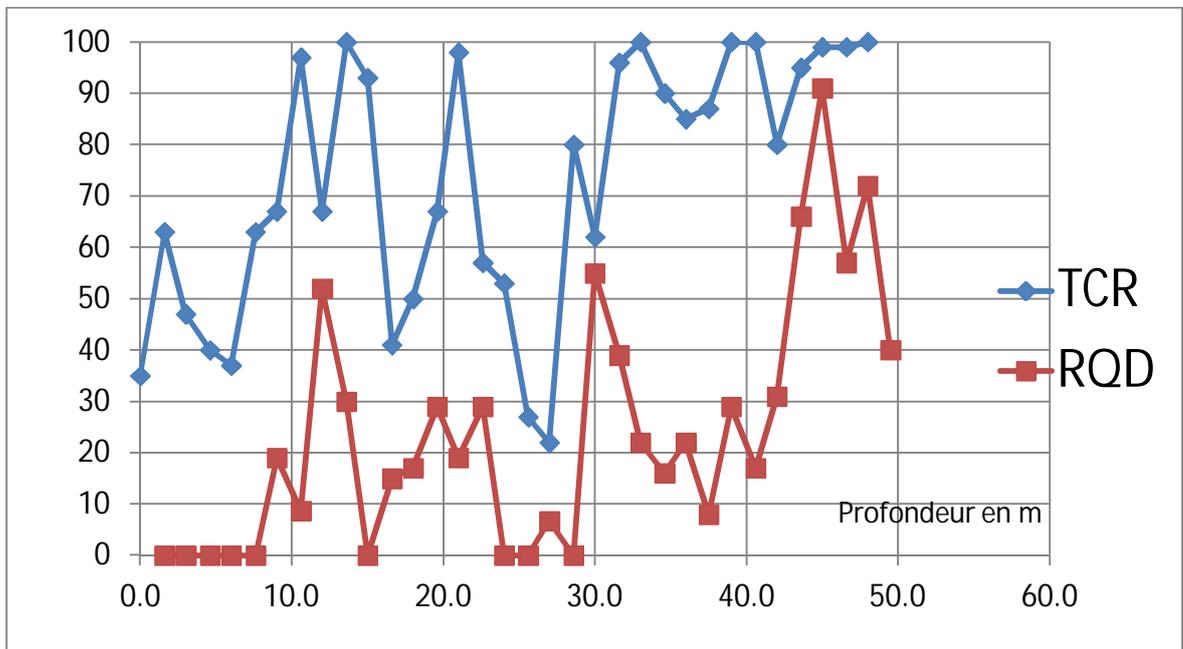


Figure 6: Sondage BHLA-4- Rive Gauche-Calcaire Jurassique

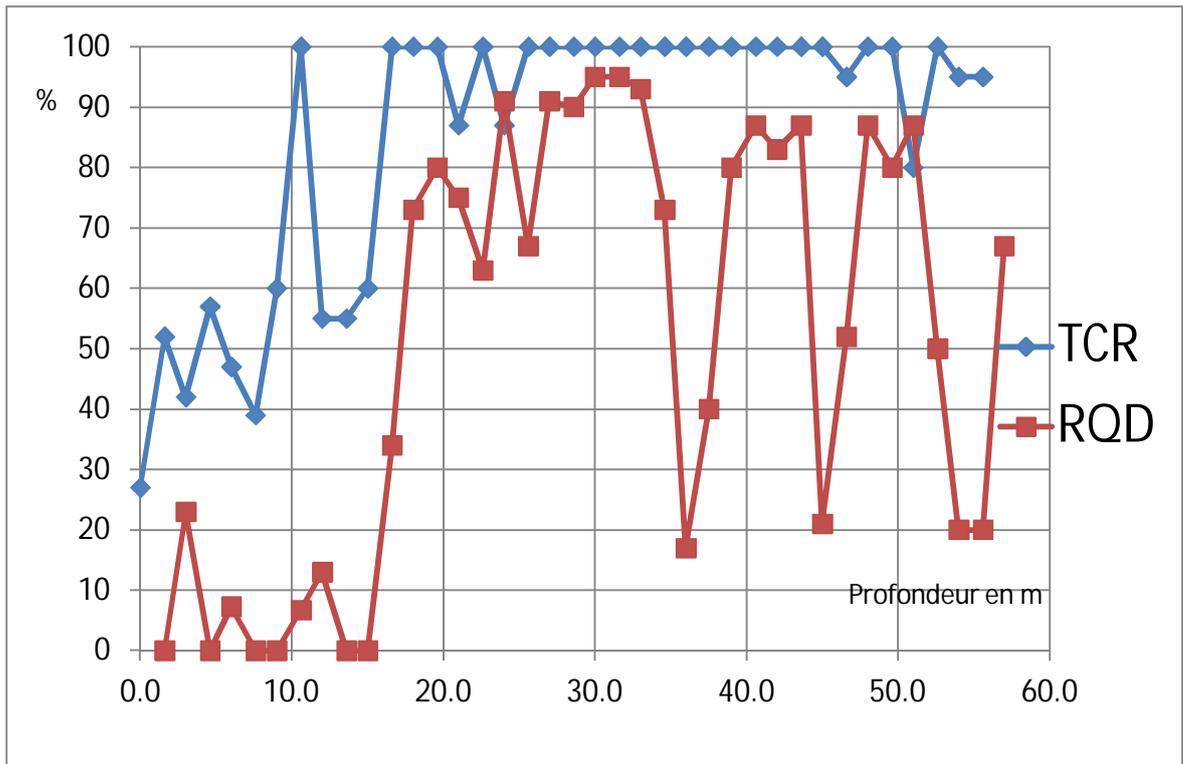


Figure 7: Sondage BHRA-1- Rive Droite-Calcaire Marneux Crétacé

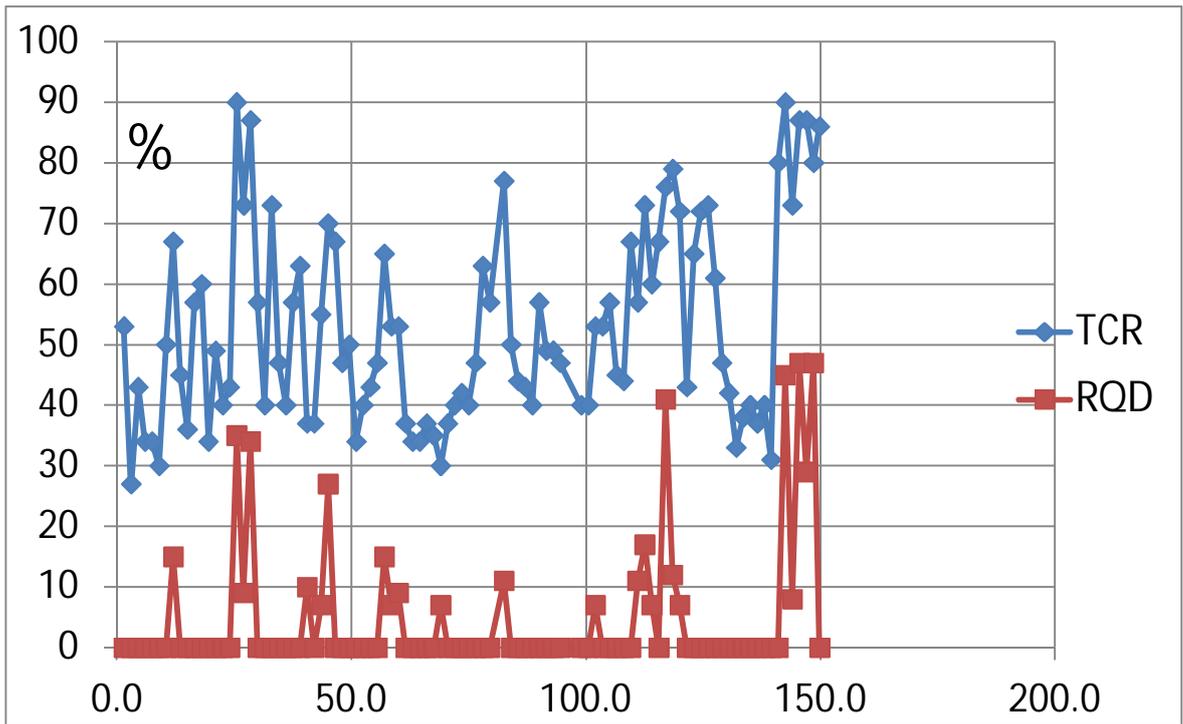
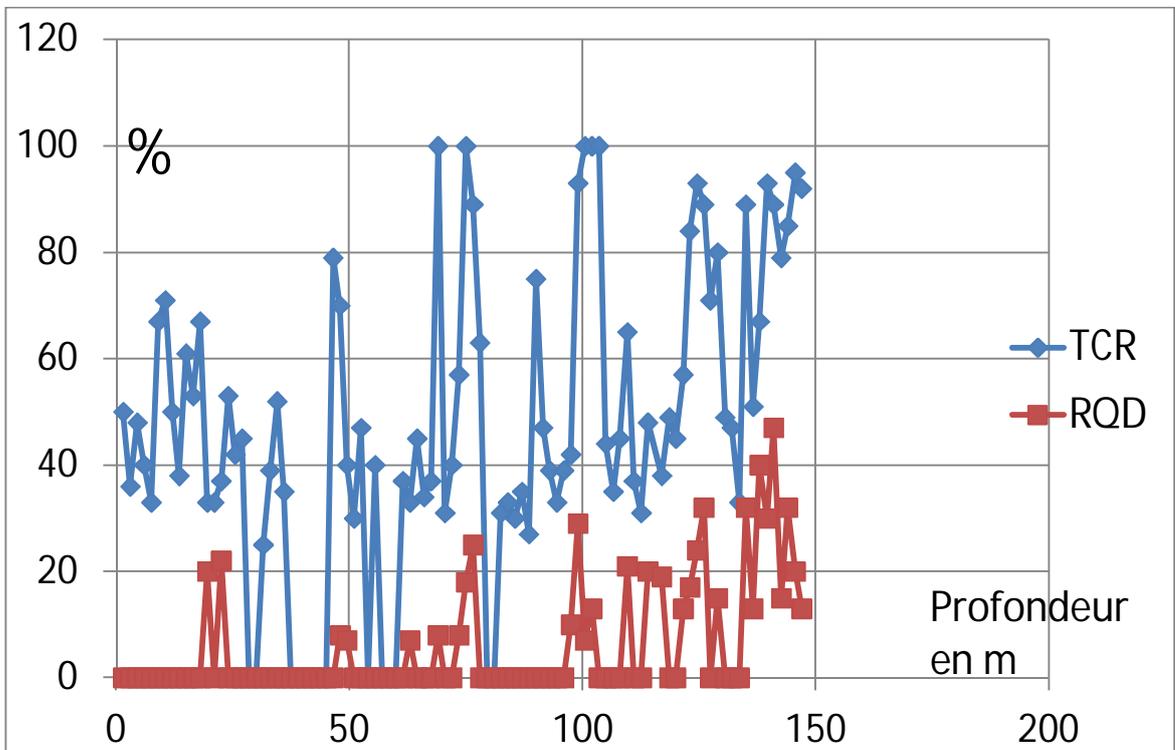


Figure 8: Sondage BHRA-2- Rive Droite-Calcaire Marneux Crétacé



6.4 Perméabilité

6.4.1 Distribution Des Perméabilités A L'échelle Du Site

L'analyse des résultats des essais Lugeon réalisés sur le site lors des différentes campagnes de reconnaissances concerne un total de 1 107 essais répartis dans l'ensemble des horizons stratigraphiques du site. Le tableau 6 ci-après donne les distributions des classes de perméabilités dans chacun de ces horizons.

Tableau 6

Unité Lugeon	Crétacé					Jurassique	
	Grès de base	Calcaire marneux				Calcaire	Marne chocolat
	C1	C2a	C2b2	C3	C4	J	J
0-10	51%	28%	46%	32%	24%	24%	61%
10-25	25%	23%	28%	19%	31%	33%	19%
25-50	9%	23%	19%	21%	20%	26%	13%
50-100	8%	10%	0%	9%	12%	7%	7%
100-150	1%	4%	6%	6%	5%	2%	0%
>150UL	6%	13%	2%	14%	8%	9%	0%
Total Essais Lugeon	194	119	54	253	106	309	72

Il n'existe pas d'horizon étanche sur ce site mais des niveaux stratigraphiques plus ou moins perméables.

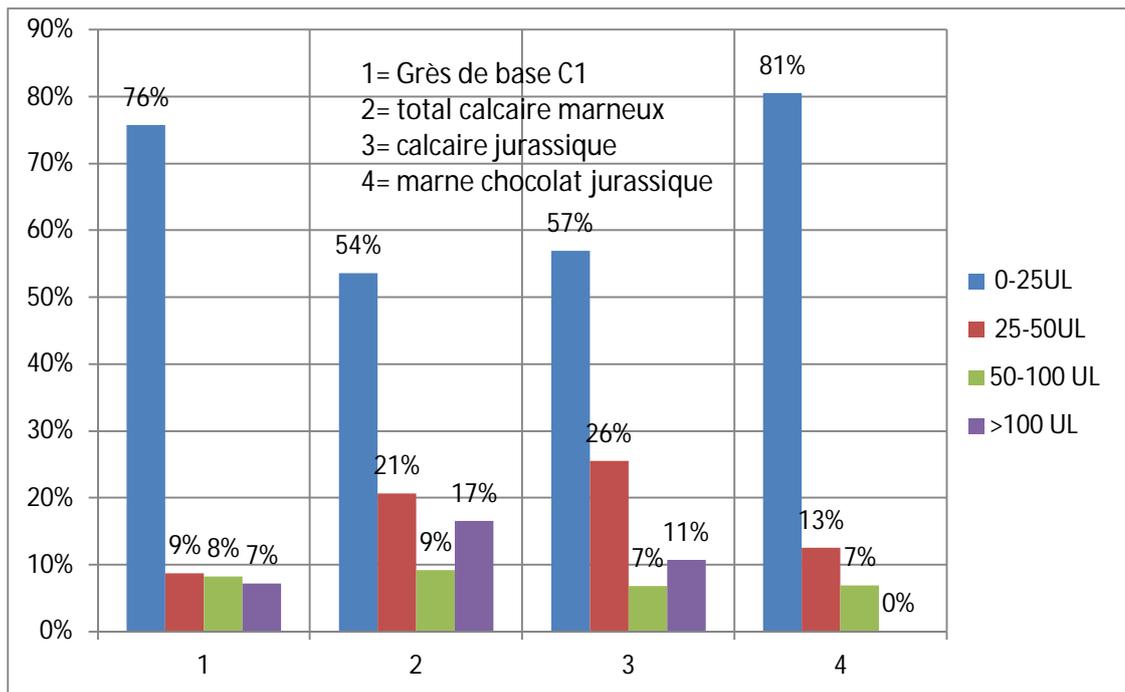
Les niveaux les moins perméables sont les grès de base C1, les marnes calcaireuses C2b et les passages à marne Chocolat du Jurassique J4/J5. Les classes des 0-10 UL prédominent dans ces faciès (C1 : 51% C2b : 46% et les marnes chocolat 61%).

Le tableau 7 ci-après donne une distribution plus simplifiée des perméabilités. Le calcaire jurassique et l'ensemble des faciès des calcaires marneux montrent une distribution similaire des perméabilités, avec toutefois plus de passages à forte perméabilité (les >100 UL dont les absorptions totales) dans les calcaires marneux CM en rive droite.

Tableau 7

	Grès De Base C1	Total Calcaire Marneux	Calcaire Jurassique	Marne Chocolat Jurassique
0-25UL	76%	54%	57%	81%
25-50UL	9%	21%	26%	13%
50-100 UL	8%	9%	7%	7%
>100 UL	7%	17%	11%	0%

Figure 9: Répartition Des Perméabilités Selon La Formation



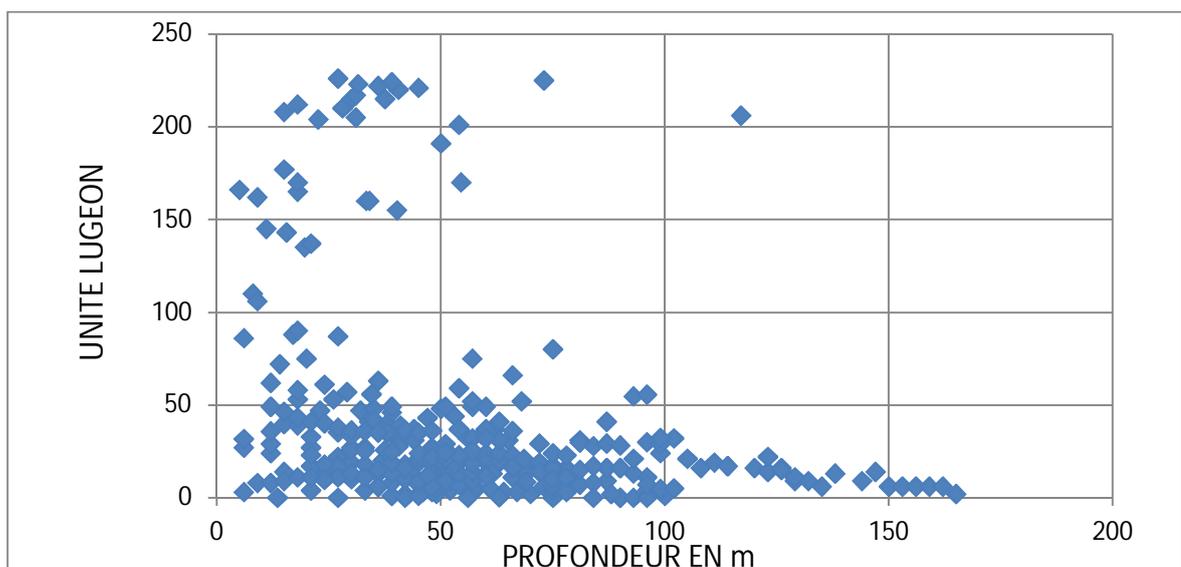
6.4.2 Distribution Des Perméabilités Avec La Profondeur

6.4.2.1 Calcaire Jurassique En Rive Gauche

Dans ces calcaires, la profondeur exerce un contrôle net sur la perméabilité du rocher (voir figure 10). Les passages à fortes perméabilités se concentrent surtout à moins de 70m. Puis les perméabilités chutent pour osciller entre 0 et 20 UL pratiquement.

Dans ces conditions, le voile d'étanchéité sera donc efficacement ancré dans le rocher étanche ou très peu perméable.

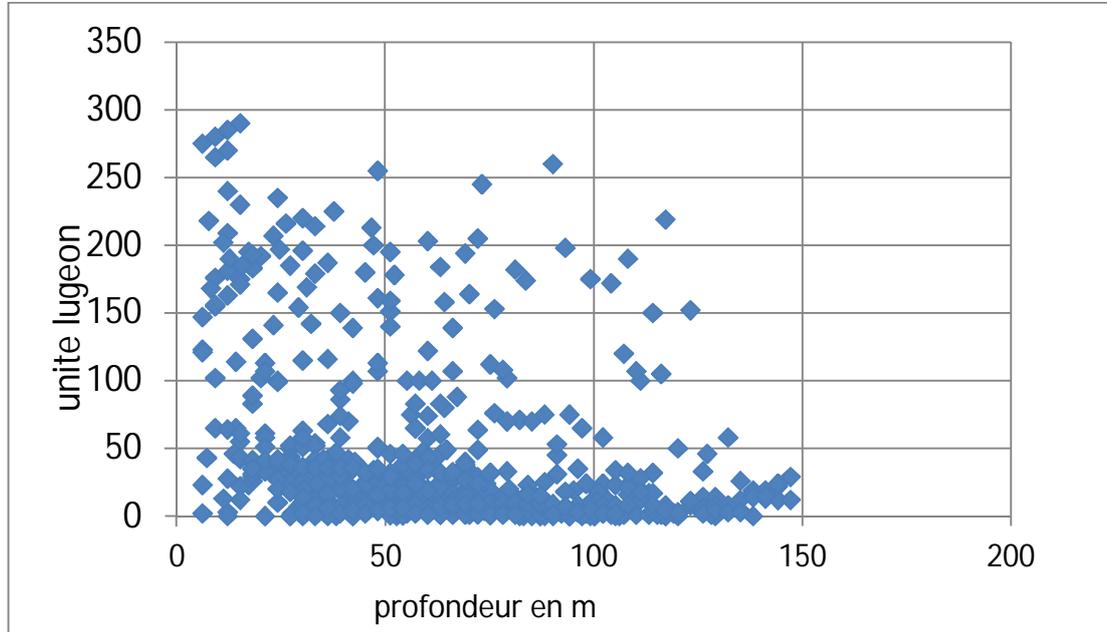
Figure 10: Calcaire Jurassique En Rive Gauche



6.4.2.2 Calcaire Marneux Crétacé

A l'échelle du site du barrage, la fréquence des passages à fortes perméabilités dans les calcaires marneux rive droite et en vallée reste élevée même en profondeur (voir figure 11).

Figure 11: Calcaire Marneux Crétacé

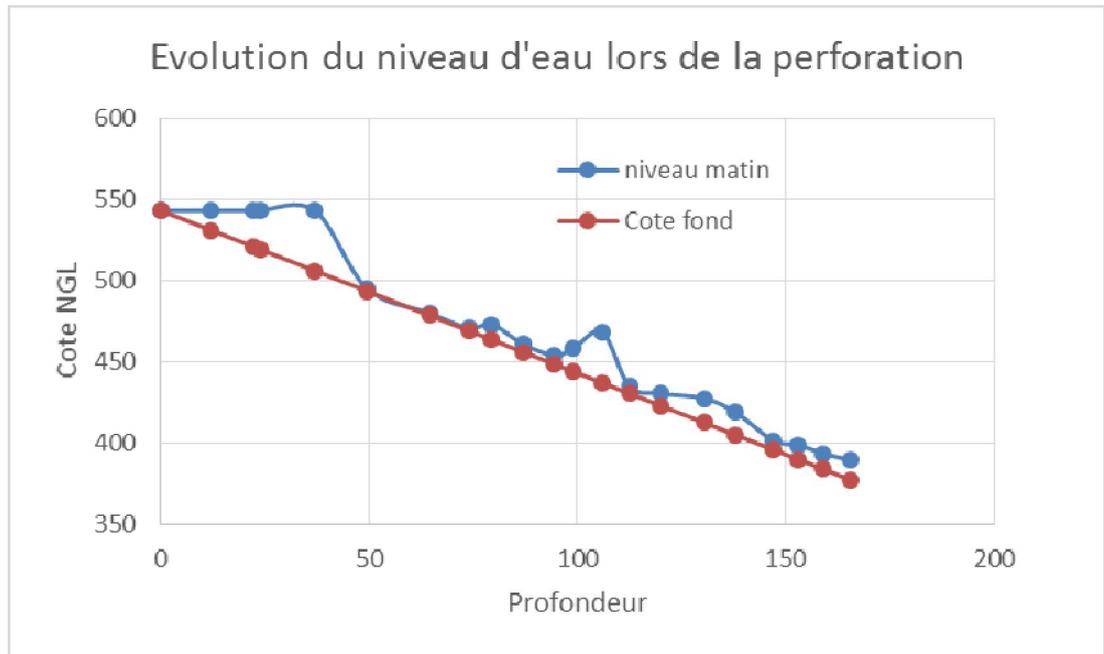


On ne peut donc compter sur un horizon moins perméable pour ancrer le voile d'étanchéité en rive droite. La présence d'interbanco marneux permet cependant d'atténuer cette observation. Leur effet a pu être apprécié à l'occasion de la réalisation des derniers forages de reconnaissance dans cette rive, à travers le relevé chaque matin du niveau d'eau dans les forages, juste avant la reprise de la perforation.

La figure 11a, ci-après donne à titre d'exemple, le niveau d'eau mesuré chaque matin pour le forage BHRA5, destiné principalement à suivre la piézométrie dans la rive droite. Elle montre que le forage n'a été sec que sur une courte tranche durant sa perforation, qu'en tête de forage, le niveau d'eau s'est maintenu proche du terrain naturel puis est descendu au fur et à mesure de l'avancement de la perforation. Il y est même observée une remontée du niveau signe de la perforation d'une poche d'eau sous pression. En l'absence d'horizons peu perméables, le forage devait rester sec jusqu'à atteindre un niveau général de la nappe.

Il convient de rappeler que l'inspection de la galerie de reconnaissance en rive droite (AD3) a montré un rocher marneux à marno-calcaire généralement bien fermé avec peu de circulations d'eau.

Figure 11a: Variation du niveau dans le forage BHRA5 dont la tête est à la cote 542.95 (cote du niveau d'eau mesuré chaque matin en ordonnée, profondeur en abscisse)



Indépendamment de ces observations quelque peu favorables, le voile en rive droite sera conçu assez profond pour entrainer des pertes de charges suffisamment importantes en vue de ramener les pertes à un niveau acceptable. Des galeries d'injection sont prévues dans ce versant pour réduire les longueurs de perforation et les déviations des forages et pour faciliter toute intervention ultérieure pour un complément d'injection, en cas de nécessité.

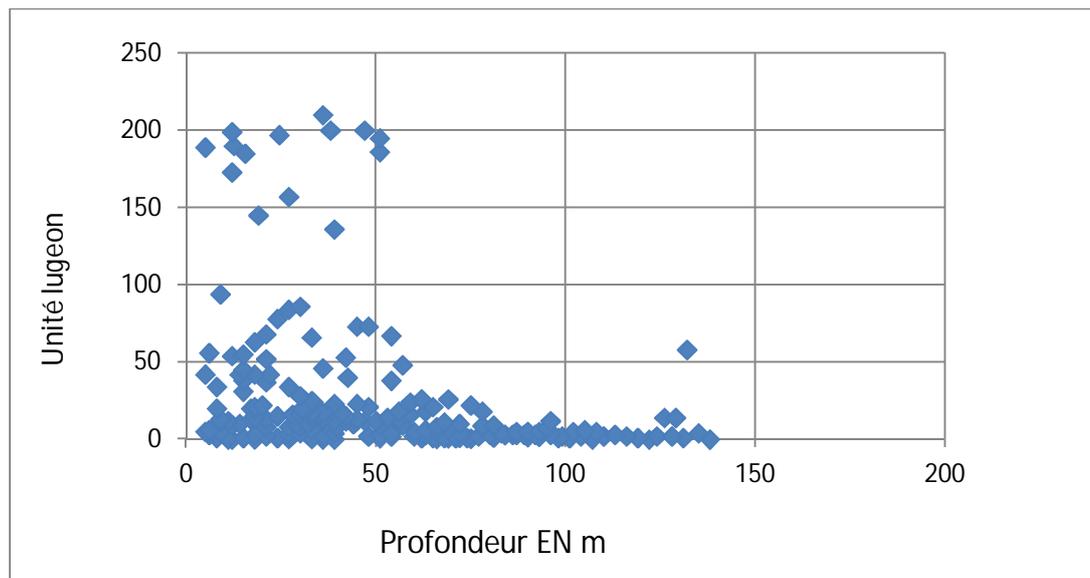
6.4.2.3 Grès De Base C1 En Rive Gauche

Jusqu'à 50 m de profondeur, ces grès comportent une fraction de passages perméables à cause de sa sensibilité à l'altération superficielle (figure 12). A partir de 50 m de profondeur le grès devient pratiquement sain et systématiquement étanche.

Cette analyse concerne ces grès qui sont très répandus à l'amont en rive gauche. Ces grès ne concernent qu'accessoirement la surface du voile suivant son implantation actuelle (plan G-03).

Vu son état d'altération, une coupure d'étanchéité sera nécessaire, voir paragraphe ci-après intitulé « Conception du voile d'étanchéité ».

Figure 12: Grès De Base C1 En Rive Gauche



6.5 La Piézométrie

Parmi les sondages piézométriques équipés durant les campagnes de reconnaissances antérieures, ceux restés intacts ont été suivis depuis novembre 2013 à juin 2014 durant la campagne de reconnaissances actuelle.

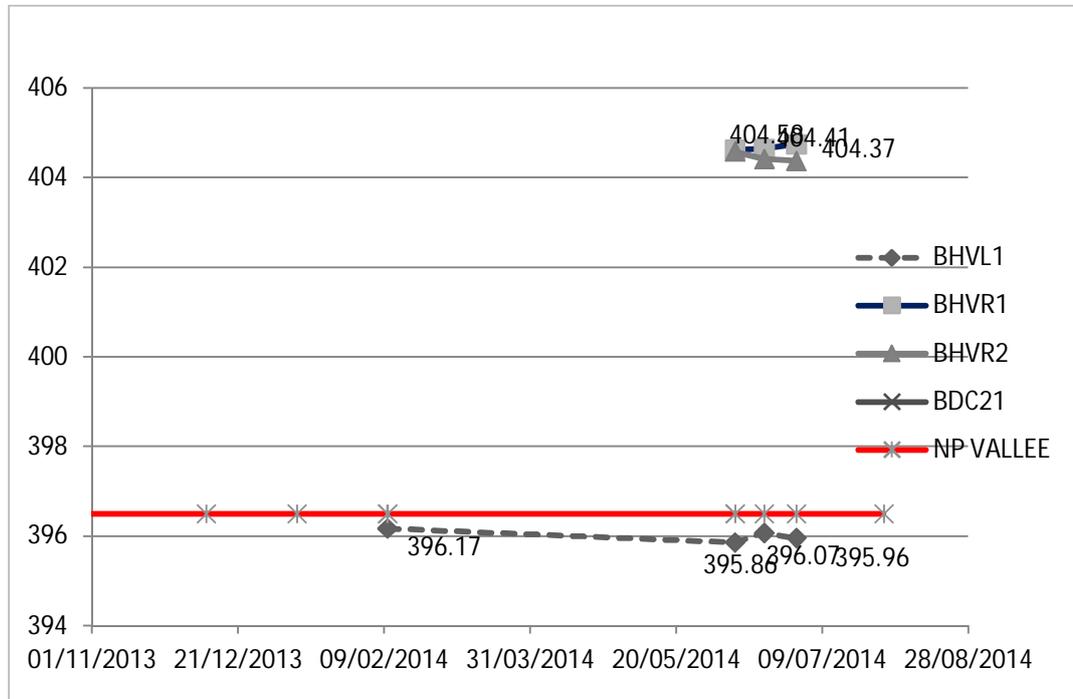
De plus les niveaux piézométriques des nouveaux sondages ont également été suivis depuis leur réalisation.

Le tableau 8 regroupe l'ensemble des mesures disponibles. Ces mesures sont commentées dans ce qui suit.

6.5.1 En Fond De Vallée

En fond de vallée, le niveau de la nappe est à 396.5 NGL environ dans les alluvions du lit mineur. Le piézomètre BHVL1 voisin du lit mineur, donne un niveau piézométrique à 396.17 NGL, pratiquement au niveau de la cote du terrain naturel (396.75), figure 13 ci-après.

Figure 13: Piézomètres En Vallée



Plusieurs venues artésiennes s’observent en surface près de chenal.

La nappe dans la plaine alluviale bordant le chenal du lit mineur est à la cote 404 NGL environ. Il y donc une différence de charge de +8 m environ entre cette plaine et chenal du lit mineur qui explique l’artésianisme dans son environnement.

Il convient de rappeler qu’à la perforation du BDC15 (proche du lit mineur côté rive droite) et du BDC35 (au pied de la rive droite à l’aval de l’axe) un artésianisme de quelques mètres avait été constaté. De plus, une source qui existait à proximité du BDC24 (amont rive droite) a été influencée par la perforation du BDC39, situé à plus de 650m à l’aval. Ces deux sondages sont proches du lit mineur côté rive droite.

Ces dernières observations rejoignent celles faites ci-dessus concernant le suivi de la piézométrie en cours de perforation des nouveaux sondages (2014) où il apparaît que les interbanes marneux jouent un rôle certain dans la piézométrie du substratum en rive droite, au-dessous ou au-dessus du dépôt lacustre. Il y avait sans doute des sources dans ce versant, lesquelles ont été ensevelies, mais ont gardé leur activité, mais avec un différentiel de pression en baisse au fur et à mesure de la formation du dépôt. Ces résurgences ont par ailleurs une incidence notable sur l’état des argiles silteuses du dépôt le long de leur passage, ce qui peut expliquer les faibles pressions de préconsolidation données par les essais oedométriques. Cet aspect est examiné dans la note géotechnique du présent dossier.

Dans ce qui suit, un niveau de référence de 396.50 NGL sera pris comme repère pour comparer les fluctuations des niveaux de la nappe relevée dans les rives.

6.5.2 En Rive Gauche

Les piézomètres concernent en général les calcaires jurassiques et accessoirement les grès C1.

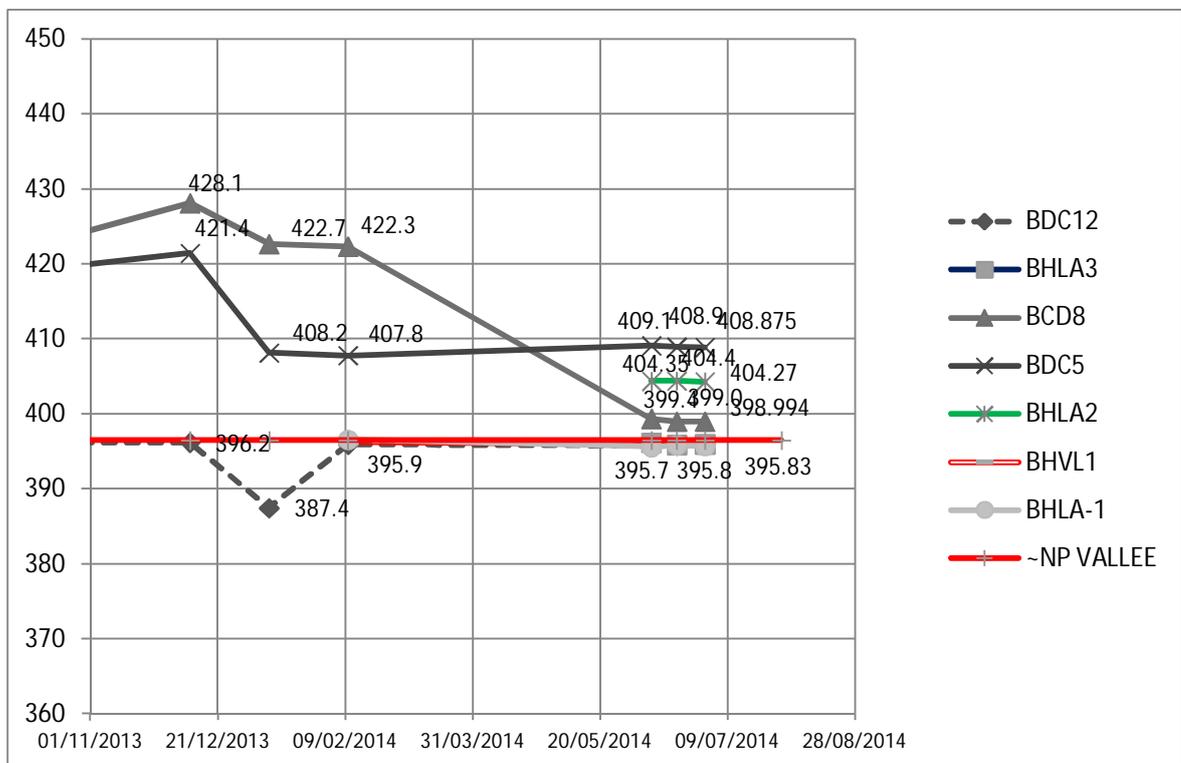
Vu la perméabilité élevée des grès C1 près de la surface, leur nappe est en communication avec celle des calcaires.

Le plan G12 donne l'implantation de tous les piézomètres avec indication des niveaux piézométriques durant la saison humide (décembre 2013) et durant la saison sèche (juin 2014).

En haut de la rive, le niveau piézométrique est élevé par rapport au niveau (396.5) de base en fond vallée. Durant la saison humide, la nappe se trouve entre 12.5 et 31.5 au-dessus du niveau de base, au groupe de sondages BDC-4, BDC-5, BDC-7 et BDC-8.

En partie basse de la rive, limitée approximativement par la ligne des sondages BDC5 BDC8 BHLA2, la nappe baisse en rive et s'équilibre avec le niveau de base en vallée, au mètre près, comme le montre la vue G12 et figure 14 ci-après.

Figure 14: Piézomètres En Rive Gauche

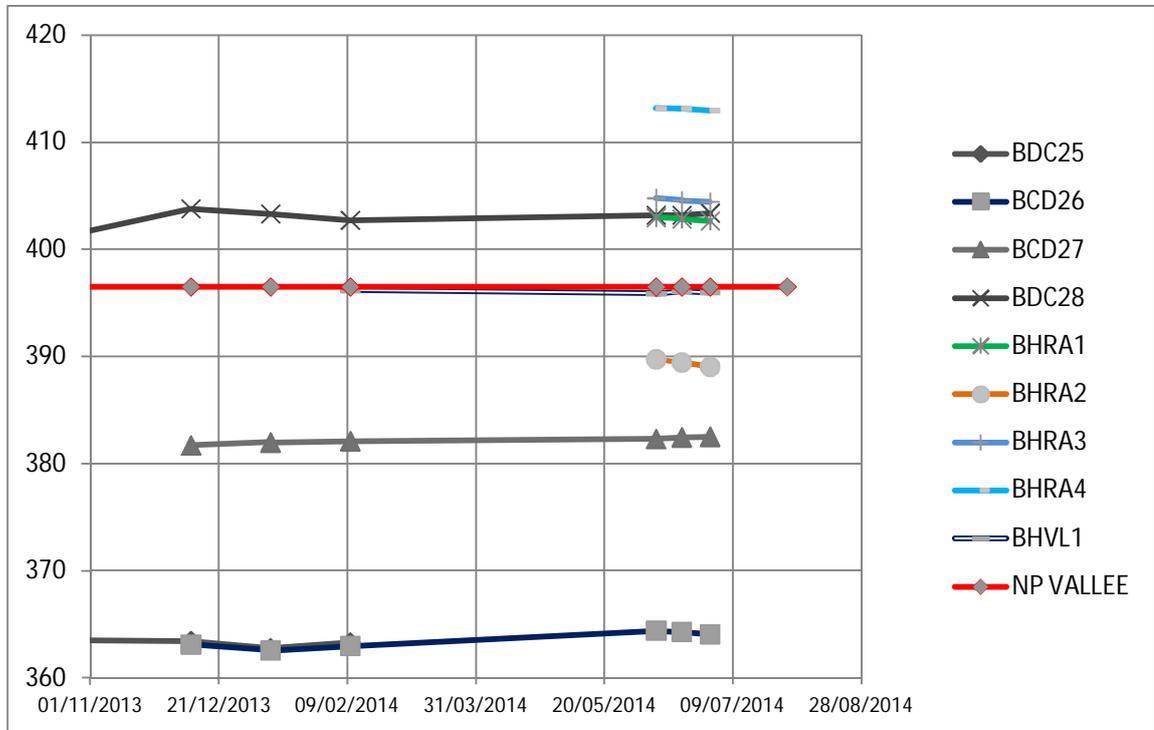


En conclusion, on peut retenir à travers cette analyse que c'est l'écoulement souterrain qui soutient la nappe alluviale en vallée, ce qui constitue une configuration favorable à même de conférer une bonne l'étanchéité de cette rive lors de la mise en eau du barrage.

6.5.3 En Rive Droite

La situation piézométrique est bien singulière : Les niveaux piézométriques en sondages paraissent appartenir à des poches isolées, sans liaison totale dans l'espace (voir figure 15 ci-après)

Figure 15



Les fluctuations inter-saisonnières au sein de chaque sondage sont limitées. En revanche les cotes piézométriques sont très dispersées d'un sondage à l'autre.

Les niveaux d'eau dans les piézomètres peuvent être au-dessus du niveau de la nappe alluviale, d'une dizaine de mètres, comme ils peuvent être plus bas d'une trentaine de mètres.

Des fluctuations laissent supposer que certains interbanco marneux jouent le rôle d'écran aux écoulements verticaux souterrains sous faibles charges. La situation du régime hydraulique changera à la mise en eau sous la charge de la retenue.

Quelle que soit l'interprétation piézométrique que l'on peut donner à ces mesures dispersées, Cette rive reste considérée perméable, nécessitant des reconnaissances complémentaires pour mieux optimiser les travaux d'injection d'étanchéité durant la phase d'exécution. C'est la raison pour laquelle le projet prévoit la réalisation de galeries d'injection pénétrant profondément dans rive pour autoriser toute intervention ultérieure visant à compléter le traitement dans le cas où les fuites constatées atteignent des niveaux intolérables.

Tableau 8

Situation		10/04/1983	10/01/2013	10/12/2013	10/01/2014	10/02/2014	
Niveau de base		396,5	396,5	396,5	396,5	396,5	
Mesure		1	2	3	4	5	
RG	BDC-2	407,4	417,6	408,2	417,0	416,7	
RG	BDC-3	414,5	421,4	423,4	422,6	416,1	
RG	BDC-4	403,1	423,1	416,6	411,8	412,3	
RG	BDC-5	407,8	408,8	421,4	408,2	407,8	
RG	BDC-6	391,5	396,7	401,9	396,3	395,9	
RG	BDC-7	409,1	409,2	408,9	408,1	408,8	
RG	BDC-8	397,6	397,1	428,1	422,7	422,3	
RG	BCD-9	396,6	396,1	393,8	395,1	395,5	
RG	BCD-12	396,6	396,4	396,2	387,4	395,9	
RG	BDC-13	396,5	394,4	395,5	394,3	395,5	
RG	BDC-18	396,3	396,6	395,9	395,3	396,0	
RG	BDC-19	392,4	391,8	386,1	396,4	390,5	
RD	BDC-23	405	405,9	404,8	405,6	405,0	
RD	BDC-25	364,6	364,1	363,5	362,8	363,3	
RD	BDC-26	365,3		363,1	362,6	363,0	
RD	BDC-27	387,9	>358.4	381,7	382,0	382,1	
RD	BDC-28	404,5	386,4	403,8	403,3	402,7	
RD	BDC-32		>370.2	430,1	429,4	430,6	
	BDC-38	404,8	408,7				
RG	BDC-42A		414				
RG	BDC43		408,6	407,5	407,6	407,4	
RG	BDB-1			397,1	389,5	396,1	
RG V	EV2				397,6	396,9	
RG V	EV3	Forage artésien					
RG V	EV7	Forage artésien					
RG V	EV10				399,78	398,78	
RG V	VF2				407,6	407,9	
RG V	VF3				409,1	408,75	
RG V	VF4				413,2	412,27	
V	BHVL1					396,17	
RG	BHLA1					396,55	
RG	BHLA2						
V	BHVR3						
V	BHVR5						
RD	BHRA3						
RD	BHRA1						
V	BHVR2						
RD	BHRA2						
RD	BHRA4						
V	BHVR1						
RG	BHLA3						

Situation		10/04/1983	10/01/2013	10/12/2013	10/01/2014	10/02/2014
RG	BHLA4					
V	BHVR4					

Situation		10/02/2014	09/06/2014	19/06/2014	30/06/2014	N piézo-N Base	
		396,5	396,5	396,5	396,5	juin 2014	Dec. 2013
		5	6	7	8	(7-395.5)	(3-396.5)
RG	BDC-2	416,7	416,5	416,5	416,64	20,14	11,7
RG	BDC-3	416,1	416,2	416,2	416,093	19,593	26,9
RG	BDC-4	412,3	412,0	412,2	412,265	15,765	20,1
RG	BDC-5	407,8	409,1	408,9	408,875	12,375	24,9
RG	BDC-6	395,9	396,3	396,2	396,17	-0,33	5,4
RG	BDC-7	408,8	409,2	409,2	409,25	12,75	12,4
RG	BDC-8	422,3	399,4	399,0	398,994	2,494	31,6
RG	BCD-9	395,5	395,8	396,0	395,947	-0,553	-2,7
RG	BCD-12	395,9	395,7	395,8	395,83	-0,67	-0,3
RG	BDC-13	395,5	395,5	395,5	395,32	-1,18	-1,0
RG	BDC-18	396,0	395,6	395,8	395,87	-0,63	-0,6
RG	BDC-19	390,5					
RD	BDC-23	405,0					
RD	BDC-25	363,3					
RD	BDC-26	363,0	364,4	364,3	364,08	-32,42	-33,4
RD	BDC-27	382,1	382,3	382,5	382,512	-13,988	-14,8
RD	BDC-28	402,7	403,2	403,2	403,39	6,89	7,3
RD	BDC-32	430,6	430,7	430,9	430,77	34,27	33,6
	BDC-38						
RG	BDC-42A						
RG	BDC43	407,4					
RG	BDB-1	396,1					0,6
RG V	EV2	396,9	397,15	397,8	397,91	1,41	
RG V	EV3		398,04	398,03	398,11	1,61	
RG V	EV7		Artésien				
RG V	EV10	398,78	399,9	399,8	399,89	3,39	
RG V	VF2	407,9	409,04	408,92	408,82	12,32	
RG V	VF3	408,75	408,88	408,46	408,32	11,82	
RG V	VF4	412,27	413,11	413,2	413,02	16,52	
V	BHVL1	396,17	395,86	396,07	395,96	-0,54	
RG	BHLA1	396,55	395,6	395,85	395,72	-0,78	
RG	BHLA2		404,35	404,4	404,27	7,77	
V	BHVR3		404,65	404,5	404,7	8,2	
V	BHVR5		404,08	404,87	404,97	8,47	
RD	BHRA3		404,77	404,57	404,46	7,96	
RD	BHRA1		402,98	402,83	402,65	6,15	
V	BHVR2		404,58	404,41	404,37	7,87	
RD	BHRA2		389,75	389,45	389,05	-7,45	
RD	BHRA4		413,15	413,12	412,97	16,47	

Situation		10/02/2014	09/06/2014	19/06/2014	30/06/2014	N piézo-N Base	
RD	BHRA5					-6.98 (11/2014)	
V	BHVR1		404,62	404,64	404,74	8,24	
RG	BHLA3		396,17	395,87	395,95	-0,55	
RG	BHLA4		396,43	396,08	396,07	-0,43	
V	BHVR4		396,02	395,89	395,94	-0,56	

6.6 Conception Du Voile D'étanchéité

Vu l'état perméable des différents horizons géologiques en présence, un traitement de la fondation est nécessaire. Il doit concerner :

- Le remplissage alluvial et lacustre, moyennant une coupure étanche (paroi moulée),
- Les calcaires marneux crétacés de la partie centrale et de la rive droite par injection de coulis de ciment,
- Les calcaires jurassiques rigides en rive gauche, par injection de coulis de ciment, après élimination de la partie superficielle réduite parfois en poudre,
- Les grès de base C1, moyennant une coupure étanche du fait qu'il agit d'un matériau non injectable,

Le plan en annexe G15 précise les limites du traitement envisagé à ce stade et donne l'évaluation des surfaces de ces différentes parties du voile. Il est entendu qu'il ne s'agit là que de principes généraux qu'il faudra adapter à l'exécution sur la base notamment des reconnaissances par forages carottés et des plots d'essai d'injection à réaliser au démarrage des travaux.

6.6.1 Coupure Du Remplissage Alluviale Et Lacustre

Le dépôt lacustre, en vallée, est certes constitué en grande partie d'argiles silteuses, mais il comporte, en plus des alluvions grossières du lit mineur, des lentilles sablo graveleuses plus ou moins continues qui peuvent constituer des chemins privilégiés de circulation d'eau d'amont en aval. De plus, les éboulis tapissant les versant de la paléovallée, souvent ouverts, perméables et difficilement injectables imposent pratiquement de descendre la paroi partout au substratum pour l'y ancrer. Cette paroi a été envisagée sur ce site depuis les phases des études antérieures.

Avec les précisions apportées par les sondages de reconnaissances complémentaires de la campagne 2014, ramenant l'espacement des sondages entre 70 et 130m (voir plan G-03), les limites de la paroi moulée se précisent d'avantage.

Dans les calcaires jurassiques rigides, il est recommandé d'ancrer la paroi moulée de 5 m minimum. L'injection devra compléter efficacement la coupure de la paroi plus en profondeur.

Dans les calcaires marneux côté rive droite, l'ancrage recommandé de la paroi est de 10 m minimum, vu les incertitudes qui pèsent sur la qualité du rocher du substratum dans cette bande et parfois sur les distinctions de son faciès avec les éboulis de pente.

La possibilité de privilégier par endroits la paroi moulée au rideau d'injection n'est pas à exclure, en vue d'assurer une coupure plus efficace. C'est notamment le cas du panneau BHVR01-BDC47 (plan G03) où l'extension de la paroi qui peut se substituer à l'injection est indiquée par les panneaux SP2A SP2B, plan G15. C'est là une question qui sera revue

ultérieurement, une fois les investigations additionnelles prévues au démarrage des travaux effectués.

Cependant, en fonction du coût d'exécution de la paroi dans le rocher la profondeur d'ancrage sera ajustée à la recherche de l'optimum coût efficacité du traitement.

6.6.2 Traitement Des Calcaires Dans Les Des Deux Rives Et En Partie Centrale

Les rives comportent des terrains dont l'état permet d'envisager un traitement par injection de coulis ciment, à plus ou moins fortes pressions.

En rive gauche les calcaires jurassiques rigides fracturés et karstiques se classent dans la catégorie des roches injectables.

En rive droite et en partie centrale, les calcaires marneux apparaissent aussi injectables. Toutefois, la présence des passages fins crayeux peuvent rendre le traitement plus délicat, imposant de serrer davantage la maille des forages d'injections. Au démarrage des travaux d'exécution, au moins un plot d'essai d'injection intéressera particulièrement les calcaires marneux pour mieux ajuster les modalités de leur traitement.

Comme il été indiqué précédemment, et dans le cadre de l'optimisation du traitement, il n'est pas exclu de substituer l'injection par la paroi moulée là où ces calcaires marneux sont à la portée des outils de perforation (hydrofraise). C'est en particulier le cas de la tranche du voile encadrée par les forages BHVR1 et BDC-45, plan G-03.

Il convient de rappeler que dans ce type de fondation, notamment en présence de calcaire farineux, comme celui reconnu en rive droite, un traitement complémentaire est à envisager après la première mise en eau. En effet les remplissages meubles peuvent être délavés et emportés sous la charge de la retenue, laissant derrière eux des vides qu'il faudra revenir traiter. Les galeries des deux rives sont prévues à cet effet. Elles permettent même l'exécution de forages inclinées vers le fond de l'ancien canyon au cas où cela s'avérerait nécessaire.

La surface totale du voile à injecter suivant ces deux variantes, est indiquée au tableau 9 ci-après.

6.6.3 Coupure Grès De Base

Dans les grès de base C1, friables et érodables, difficilement injectables par du coulis de ciment standard, c'est la paroi moulée qui constitue la solution la mieux appropriée pour garantir leur étanchéité. Leur forte sensibilité à l'érosion constitue l'argument principal derrière ce choix.

La limite envisagée pour cette paroi est définie au plan G17. Elle est délimitée par les sondages BHLA2-BDC-8, plan G-03. Plus au large la profondeur de la paroi devra dépasser la frange d'altération qui atteint 50 m de profondeur par rapport au niveau actuel du terrain naturel, soit pratiquement 30m sous le niveau de la retenue normale. Son ancrage dans les grès sains sera de 10 m.

La surface de la paroi moulée dans les grès C1 (SP3+SP4) sous le niveau de la retenue normale est indiquée au plan G17 et évaluée au tableau 9 ci-après.

6.6.4 Récapitulatif

Le découpage de l'écran d'étanchéité, en fonction de son mode coupure (paroi moulée ou injection) et de la géologie est récapitulé aux tableaux 9a et 9b ci-après, respectivement pour les injections et les parois.

Le plan G17 visualise le découpage de tous ces panneaux.

Tableau 9 a : Voile D'étanchéité

PM		Géologie	Surface	
DE	A		Nom	Surface(M ²)
164	240	Calcaire	SV5	2000
240	501	Calcaire	SV4	17700
501	624	Calcaire et marne	SV3	4200
630	706	Calcaire et marne	SV2	3800
700	787	Calcaire et marne	SV1-D	2900
787	940	Calcaire et marne	SV1-B	14500
787	940	Calcaire et marne	SV1-C	2000
940	1090	Calcaire et marne	SV1-A	17900
Total en m ²				65000
Nota: la traversée des parois par les forages n'est pas prise en compte du fait qu'il y aura des réservations prévues à cet effet dans les parois.				
Dans le cas où la partie optionnelle de la paroi n'est pas réalisée, il faudra alors compter autant de m ² de voile en plus côté rive droite, soit 5400m ²				

6.6.4.1 Paroi Moulée En Partie Centrale Et En Rive Gauche

Tableau 9 b : Parois Moulées

Zone Traitée Par	PM		Géologie	Surface	
	DE	A		Nom	Surface(M ²)
Paroi rigide	0	55	Grès (C1)	SP3 C	3 900
	55	164	Grès (C1)	SP3 A	7 700
	164	240	Grès (C1) et Calcaire (J)	SP3 B	4 000
Total en m ² (dont 4800 m ² optionnels)					15 600
Paroi moulée Souple (e=1.20m)	379	501	dépôt lacustre (Q)	SP1-D	6 000
	501	624	Dépôt lacustre et substratum	SP1-A	12 600
	624	700	Dépôt lacustre et substratum	SP1-B	4 400
	700	787	Dépôt lacustre et substratum	SP1-C	1 500
	624	700	Calcaire et marne (optionnel)	SP2-A	1 600
	700	787	Calcaire et marne (optionnel)	SP2-B	4 900
Total en m ² (dont 5400 m ² optionnels)					31 000

6.6.4.2 Perforation Et Injction Du Voile D'tancheite

Le linéaire total prévu pour le voile d'étanchéité est de l'ordre de 65 000 ml, en considérant un espacement final de 1m entre les forages, sachant que les primaires sont à 8m de distance. Il ne s'agit pour le moment que d'une hypothèse de travail qu'il conviendra d'ajuster à l'exécution en fonction notamment des forages de reconnaissances à réaliser le long du tracé du voile d'une part, et de l'autre, des plots d'essais d'injection à réaliser dans chacune des formations à traiter.

Les parois moulées comporteront des réservations pour éviter la réalisation des perforations à travers, lesquelles réservations serviront à assurer la continuité du traitement au-delà de leur limite inférieure. Le linéaire correspondant aux réservations n'est pas compris dans l'estimation du volume de perforation à réaliser.

Au cas où le traitement prévu au stade actuel des études n'aboutisse pas à des résultats concluants, après la mise en eau, les dispositions suivantes sont envisagées dès à présent :

1. Côté rive gauche, la présence de la galerie sous le noyau facilitera toute intervention pour l'exécution d'un complément d'injection. En effet si des circulations privilégiées se manifestent plus en profondeur ou, ce qui est le plus probable, les calcaires fins érodables sont emportés par les écoulements qui se manifesteront après la mise en eau, un complément d'injection apportera la solution recherchée,
2. En fond de vallée, près des versants, un complément d'injection pourra toujours se faire depuis les deux galeries des rives, moyennant des forages inclinés,
3. Côté rive droite, où les incertitudes sont les plus présentes, le complément d'injection depuis les deux galeries horizontales prévues pourra toujours se faire. Mais comme les contournements au large restent possibles, il est prévu de continuer la galerie supérieure vers l'amont (voir plan GG-18), de manière à recouper rapidement la falaise « La Blanche », réputée très perméables. Le traitement pourra ainsi recouper certain chemins de percolation, mais sans prétendre assurer une fermeture sur un horizon étanche compte tenu du pendage général vers l'intérieur du versant. Le prolongement de la galerie supérieure, en cas de besoin, après la mise en eau du barrage ne doit poser aucun problème, car l'accès y est facile et les tirs à réaliser sont de faible puissance et suffisamment éloignés du barrage pour causer des désordres.

Il est rappelé enfin que la présence d'interlits marneux dans les calcaires crétacés de la rive droite, associée aux variations latérales de faciès, autorisent un optimisme mesuré quant à l'étanchéité finale dans ce versant.

6.7 Géologie Des Ouvrages Annexes

6.7.1 Galerie De Vidange De Fond

Le plan G10 donne la coupe géologique prévisionnelle de cette galerie.

- Les grès C1 s'étalent sur environ 260, à partir de l'entrée amont, soit 37% de sa longueur
- Les calcaires jurassiques forment le tronçon aval de cette galerie, sur un linéaire proche de 450m.

Avec la présence de ces grès friables, l'excavation peut être réalisée aisément par une machine à attaque ponctuelle.

Des cintres seront sans doute nécessaires à l'entame du tunnel, mais la faible cohésion du grès pourra s'accommoder d'un soutènement mis en œuvre à l'avancement par ancrages et béton projeté. la cohésion du grès est en effet à l'origine de la bonne tenue de la galerie

de reconnaissance de la rive gauche depuis une vingtaine d'années. Elle se manifeste également dans la tenue des talus subverticaux de plus de 10m de hauteur visibles dans les exploitations en cuvette de cette formation pour la production de sable. Le puits également creusé dans les grès ne présente aucune difficulté, dès lors que des ancrages et un béton projeté fibrés sont mis en œuvre à l'avancement.

Les venues d'eau en souterrains devront rester modérées du fait des faibles charges en présence et du drainage progressif qui se fera au fur et à mesure de l'avancement de la perforation.

En effet, selon les mesures à disposition, le niveau de la nappe fluctue entre 401.90 et 396.14 NGL à l'entrée en galerie, soit (+1.9) à (-3.88) par rapport au niveau (400) du radier. Vers le milieu de la galerie (sondage BHLA1) la nappe est 404.24 en période sèche (juin 2014), soit (+6m) au-dessus de la cote du radier. Plus à l'aval, au sondage EV10, la nappe est à (399.80) en juin 2014, soit 3.7 m au-dessus du niveau du radier.

Dans les calcaires, les ancrages et le béton projeté en calotte doivent suffire largement. La tête aval située dans les calcaires jurassiques sous plus de 20m de couverture doit être d'une réalisation aisée.

6.7.2 L'évacuateur De Crue De Surface

Le plan G09 donne la coupe géologique prévisionnelle le long de l'axe de l'évacuateur.

Les fouilles concerneront pour l'essentiel les grès C1 à l'amont et les calcaires jurassiques à l'aval, à raison de 1/3 pour le grès et 2/3 le calcaire. Dans les deux formations le pendage des couches orienté vers l'intérieur du versant est favorable à la stabilité. La raideur des pentes de la rive gauche atteste et l'absence de grands glissements dans les grès sont de nature à rassurer quant à la bonne tenue en grand des talus de fouille prévus.

Le grès impose une protection systématique par ancrage et béton projeté pour éviter son érosion. Les calcaires exigeront également des protections notamment en partie supérieure compte tenu de leur forte altération.

7 LES ZONES D'EMPRUNT DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Le barrage est conçu en remblais zoné à noyau argileux et à recharges en alluvions grossières et en enrochements.

Mis à part les enrochements, les autres matériaux de construction pourront provenir des dépôts quaternaires présents dans le lit de la rivière.

Les enrochements sont à extraire des barres de calcaires identifiées à proximité du site.

les filtres, drains, transitions et agrégats à béton pourront être produits soit à partir des alluvions grossières propres, soit à partir des matériaux de carrière.

Au total, les besoins en matériaux de construction pour le barrage Bisri sont évalués à environ 8 Mm³ répartis comme suit :

- 1 Mm³ pour le noyau
- 4 à 5 Mm³ pour les enrochements
- 2 à 4 Mm³ pour les alluvions grossières et les transitions.

7.1 Zones D'emprunt En Cuvette

7.2 Reconnaissances Effectuées

Une série de puits et de sondages (Plan G14 en annexe) ont été réalisés pour reconnaître en cuvette les alluvions des terrasses et suivant le chenal du lit de la rivière.

Campagne 1996 :

- 56 puits de reconnaissances désignés (TP 51 à TP 106) de 1.50m à 3.20m de profondeur.
- 29 sondages désignés (BS1 à BS21, BS12A et BN1 à BN8) de 6m à 15.50m de profondeur.

Leur implantation figure au plan G13.

Campagne 2014 :

Au cours de cette campagne, des reconnaissances complémentaires par 23 puits à la pelle mécanique ont été programmés, dont 8 puits (NTP1 à NTP8) concernant les zones argileuses sont déjà réalisés à cette date (aout 2014). Leur implantation figure aussi au plan G13.

7.3 Nature Des Matériaux Reconnus Et Evaluation Des Réserves

7.3.1 Matériaux Argileux

La première évaluation des réserves des zones d'emprunt a été établie lors des campagnes de reconnaissances antérieures de 1993 et 1996.

L'évaluation a été effectuée en divisant la plage alluvionnaire en cuvette en zones indiquées au plan G14, désignée de l'amont vers l'aval, en :

- Zones N1, N2, N3 et N4 pour les terrasses au nord de la rivière
- Zones S1, S2, S3, S4, S5A, S5B, S5C, S6A, S6B, S7 et S8 pour les terrasses au sud de la rivière

- Zones R1-2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 pour les alluvions modernes en fond de rivière.

Les terrasses avaient été reconnues par sondages, avec prélèvement des échantillons pour essais de laboratoire répartis en 0 et 15m

Les alluvions en fond de rivière avaient été reconnues par puits, avec prélèvements des échantillons pour essais de laboratoire répartis en 0 et 2m en général

Les résultats des essais géotechniques de laboratoire sont traités en détail dans la pièce géotechnique du présent dossier. Les matériaux reconnus dans ces emprunts et l'appréciation de leurs réserves sont traités ci-après

Un réexamen des coupes des sondages et puits réalisés permet d'introduire une premier zoning, avec des dépôts grossiers constitués essentiellement de graviers et sables alluvionnaires à l'amont et une zone mixte avec des niveaux argilo-silteux s'intercalant au sein des dépôts grossiers.

La ligne séparant ces deux zones passe entre les zones N3 et N4, plan G14.

L'estimation des réserves établie lors des études antérieures est rappelée au tableau 10 ci-après. Les argiles sont réparties aux zones S1, N1, S3 et N3, conformément aux indications des logs des sondages.

Les réserves avancées sont basées sur une détermination de la moyenne des épaisseurs de ces matériaux par zone. C'est là une approche qui reste approximative, vu le nombre des sondages qui, bien que non négligeable, reste insuffisant pour cerner la géométrie des couches argileuses qui ne sont pas toujours continues

Les résultats des puits de reconnaissances complémentaires réalisés durant la campagne 2014 sont intégrés dans les coupes géologiques interprétatives commentées ci-après (plan G14). D'autres puits ont été engagés après la publication du présent rapport. Les résultats correspondants sont pris en compte dans le rapport géotechnique du présent dossier.

Coupe 1-1 (zone S1):

Les deux sondages de reconnaissances BS1 et BS2, montrent des couches argileuses multiples, d'épaisseur métrique (4 m, 2.45m, 2.50m) intercalées au sein des graviers sableux.

Les coupes des puits de reconnaissances complémentaires NTP1 et NTP8 (annexe G15) réalisés durant la campagne 2014, ont rencontré à 1.5 m de profondeur, une couche argileuse de 0.5 à 2 m d'épaisseur intercalée au sein des graviers sableux. Ces puits confirment ainsi la présence de multicouches métriques d'argile au sein des sables graveleux.

La continuité des couches argileuses reste à confirmer durant la réalisation des travaux, à travers des investigations plus serrées.

Le volume des argiles dans cette terrasse est estimé à 350 000 m³, représentant environ 35% du volume de la terrasse S1

Coupe 2-2 (zone N-1) :

Les 4 sondages de reconnaissances BN1 à BN4 ont rencontré les argiles pratiquement à la même cote. La couche argile apparaît assez continue, avec une épaisseur métrique (2.60 m BN1, 3.50m BN2, 7.00m BN4, 1.5m BN3) intercalées au sein des graviers sableux. Dans cette zone la couche apparaît latéralement continue, avec les variations d'épaisseur relevées.

La coupe d'un puits de reconnaissances complémentaires NTP2 (COUPE 2-2 plan G15) réalisée durant la campagne 2014, a confirmé le recouvrement sablo-graveleux métrique (4.60m) surmontant les argiles, comme pour les sondages précités de ce cette zone.

Le volume des argiles dans cette terrasse est estimé à 380 000 m³, formant environ 20% du volume de la terrasse N-1.

Coupe 3-3 (zone S-3):

Les 4 sondages de reconnaissances BS3 à BS5 ont rencontré les argiles à différentes cotes, correspondant plutôt à différentes couches intercalées au sein des sables graveleux alluvionnaires. L'épaisseur des argiles est métrique (5.40 m BS3, 6.00m BS4, 4.00m BS6, 4.00m BS5).

Un puits de contrôle NTP3 réalisé en 2014, a reconnu également une épaisseur d'argile métrique (2.5m de 1.5 à 4m de profondeur, annexe PLAN G15).

Pour exploiter dans cette zone les couches d'argile de 2 à 6 m d'épaisseur, il faudra décaper les sables graveleux sur 2 à 7m de profondeur environ.

Le volume des argiles est estimé à 170 000 m³, soit environ 35% du volume de la terrasse S-3.

Coupe 4-4 (zone N-2):

Les 3 sondages de reconnaissances BN5, BN6et BN7, montrent une disposition des argiles similaire à celle de la zone voisine, avec plusieurs couches d'épaisseur métrique, intercalées au sein des sables graveleux. L'épaisseur des argiles en sondage est de 4 m au BN5, 5 et 1m BN6, BN7 1 et 2.45m.

Le volume des argiles est estimé à 350 000 m³, soit environ 40% du volume de la terrasse N-2.

Coupes 5-5 (zone S-4), 6-6(zone S-5a), 7-7(zone S-6a S-6b S-5c S-8):

Ces coupes à travers les sondages réalisés au sein de ces zones amont, n'ont pas montré de passages argileux au sein des dépôts de graviers sableux. La tranche reconnues de 15 m mètres de profondeur apparaît exempte de dépôt argileux.

Le tableau suivant donne un récapitulatif des estimations des volumes d'argile exploitables par zone selon l'approche adoptée en 1996 et dans le présent rapport :

Tableau 10: Estimation Des Volumes Des Argiles En Place En M³

Terrasses	2014	1996
S-1	350,000	360,000
N-1	380,000	450,000
S-3	170,000	140,000
N-2 N-3	350,000	50,000
TOTAL	1,250,000	1,000,000

Le volume mis en évidence à travers les investigations effectuées offre une marge très réduite par rapport aux besoins, d'autant plus que l'exploitation nécessitera une sélection pas toujours facile à effectuer compte tenu de l'intercalation d'horizons sablo-graveleux dans la plupart des emprunts argileux.

Il conviendra dans ces conditions de laisser la porte ouverte à l'exploitation des terrasses aval, en cas d'impossibilité de subvenir aux besoins du barrage à partir des emprunts amont.

7.3.2 Matériaux Sablo-Graveleux

Les réserves en places des sables et graviers ont été réévaluées sur la base d'un réexamen de toutes les données disponibles. Il a notamment été relevé :

1. Tous les sondages réalisés en cuvette n'ont pas atteint la base des dépôts grossiers à 15m de profondeur.
2. Le niveau de la nappe est repérée parfois en sondages entre 5 et 13 m sans grande précision (BN1, Zone N1, Niveau d'eau souterraine (GWL) 13m, BS1 Zone S1C, (GWL 7m) BS19 Zone S4, (GWL 5m).

Les réserves de ces matériaux sont calculées sur la base de cette profondeur, sachant qu'il n'y a aucun problème à les exploiter sous la nappe moyennant l'usage d'une dragline. Ainsi, dans les terrasses, il sera possible d'extraire environ 11 Mm³ sur 15m de profondeur, auxquels s'ajoutent environ 7 Mm³ dans l'hypothèse de leur exploitation sur 10 m dans le lit mineur de la rivière, soit un total d'environ 18 Mm³. Ces réserves permettent de subvenir largement aux besoins du chantier, y compris en ce qui concerne les filtres, drains, transitions et agrégats à béton. La qualité des sables et graviers est examinée dans la note géotechnique du présent dossier.

Planche 11: Puits TR106 Dans Les Gravieres Sableux



Planche 12: Puits TR106 Dans Les Graviers Sableux



Planche 13: Contrôle En 2014. Aspect Des Argiles Intercalées Au Sein Des Graviers Sableux



8 LES CARRIERES

Les enrochements sont nécessaires au moins pour les deux recharges, notamment à l'amont car ils sont à drainage libre, propriété que ne peuvent remplir les alluvions grossières disponibles dans la cuvette. La note descriptive et justificative du projet explique les raisons derrière le zonage adopté dans le profil du barrage.

Les zones de carrières privilégiées sont bien entendu celles situées à proximité du site du barrage.

La première zone considérée est celle des calcaires jurassiques en rive gauche du site, limitant les fouilles de l'évacuateur de crue et se développant plus au large vers l'aval. La délimitation approximative affleurements correspondants est donnée au plan G16 (zones RQ3 a et b). Des reconnaissances complémentaires au stade de l'exécution sont à envisager. Les matériaux de fouilles des ouvrages provenant de ces calcaires seront utilisés dans les remblais du barrage. Cette zone est très boisée ce qui pourrait poser un problème environnemental.

La seconde zone envisageable est celle du plateau au large rive droite du site (voir plan G16, zones RQ2 a et b). L'inspection de cette zone révèle la présence d'une formation calcaire rigide, d'épaisseur visiblement décamétrique, qui coiffe le versant des calcaires marneux crétacé. La zone en question est de plus exempte de construction ou de végétation importante.

Les sondages carottés effectués dans cette zone ainsi que les essais de laboratoire dont ils ont fait l'objet ont montré l'excellente aptitude des calcaires de cette zone à être utilisés comme enrochements, voire aussi comme agrégats à béton. De par son extension, cette zone peut répondre largement aux besoins du projet.

La troisième zone appelée RQ1a et b correspond à des affleurements du calcaire crétacés moins nets et peut être plus difficiles à exploiter compte tenu de la présence de certaines constructions. Là aussi les investigations réalisées ont montré la bonne aptitude de ces calcaires à produire de l'enrochement pour le barrage.

Enfin un recensement des carrières en exploitation proches du site a été effectué et a permis d'en localiser 3 capables de répondre aux besoins du barrage aussi bien en quantité qu'en qualité. Elles constituent ainsi une solution de secours en cas de problèmes d'expropriation des zones RQ1 et surtout RQ2 les plus prometteuses et les plus proches du site, avec peu d'impacts environnementaux.

Les résultats des investigations effectuées sur les carrières sont présentés dans la note relative aux matériaux de construction.

LISTE DES REFERENCES CONSULTEES

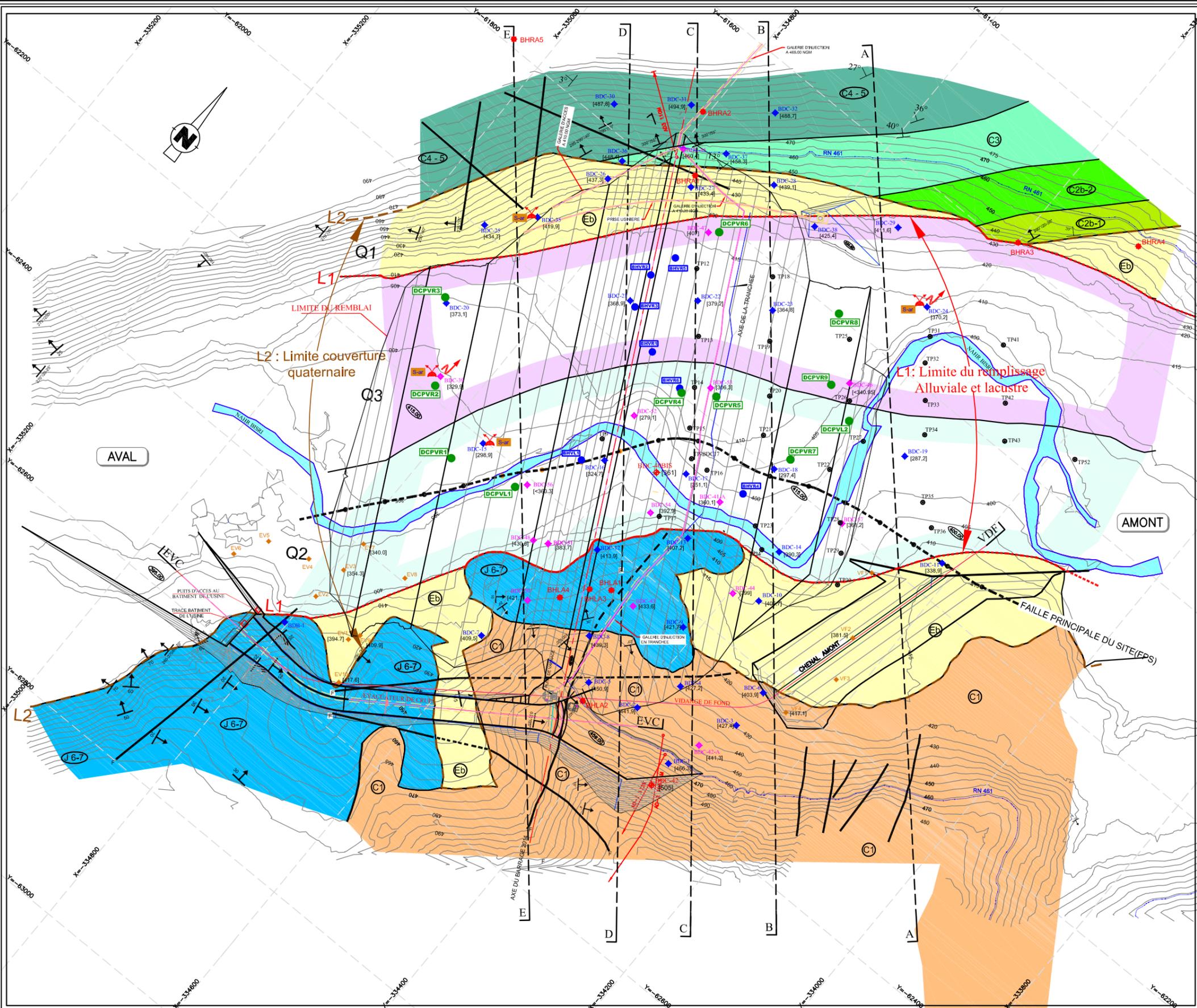
Références Consultées	Liste Des Documents Consultes	Date D'édition
1	Etude Géologique du site du barrage	1974
2	Foundex soil mechanics et fondation consultants	1975
3	Rapport sur les travaux de sondage	1975
4	Sondage de reconnaissance de bisri- rapport final	1975
5	Rapport de affectibilité du site	1980
6	Final report -exploitation	1982
7	Report-project n°252-81 location	1982
8	Report-project n°252-81 location -bisri dam	1982
9	Report-project n°252-81 location -bisri dam. bdc 5	1982
10	Report-project n°252-81 location -bisri dam. bdc 6	1982
11	Report-project n°252-81 location -bisri dam. bdc 12	1982
12	Working short report drill hole bdc-3	1982
13	Settlementanalysisreview	1983
14	Prefeasibilitystudy	1984
15	Appendix GA geology and geotechnical	1984
16	Appendix GA-1 geology and geotechnical	1984
17	Appendix GA-II geology and geotechnical	1984
18	PLAN L8006-101 : Plan topographique zone axe B (1/1000) (1953)	1984
19	PLAN L8006-102 : Plan topographique zone axe A (1/1000) (1953)	1984
20	PLAN L8006-103 Plan topographique zone axe C (1/2000) (1982)	1984
21	PLAN L8006-104 Plan topographique zone axe C (1/1000) (1982)	1984
22	PLAN L8006-105 Plan topographique zone axe C (1/1000) (1982)	1984
23	Appendix GA-IV a geology and geotechnical	1985
24	Appendix GA -IV b geology and geotechnical	1985
25	Appendix GA-IV c geology and geotechnical	1985
26	Monthly report for month n°4 14-8-94 16-9-94	1994
27	Monthly report for month n°5 17-9-94 16-10-94	1994
28	Monthly report for month n°6 17-10-94 16-11-94	1994
29	Monthly report for month n°7 17-11-94 16-12-94	1994

Références Consultées	Liste Des Documents Consultes	Date D'édition
30	Etude de faisabilité traduction arabe de la section 2	1995
31	Etude de faisabilité traduction française de la section 2	1995
32	Feasibilityreport vol I	1995
33	Feasibility report volume II	1995
34	Feasibility report volume II	1995
35	Proposal for geotechnical investigation at Bisri dam site Lebanon	1995
36	Daily production record	1996
37	Geologic recard of bdc 39 à 58	1996
38	Géotechnical guidelines and procedures-ECIDAH	1996
39	Specificationdrawingspreliminary	1997
40	Technical specifications -draft- for construction of bisri dam civil works	1997
41	Updated design criteria for final design	1997
42	Dynamic soil testing	1997
43	Geotechnical Investigation June 1997 Volume I of III Appendices A,B,C	1997
44	Geotechnical Investigation June 1997 Volume I of III report	1997
45	Geotechnical Investigation June 1997 Volume III of III Appendices D,E,F,G,H	1997
46	Report on supplementary investigation projet n°1022 june 1997	1997
47	Plan for completion executive summary	1998
48	Geotechnical and materials engineers claim for geotechnical investigation	1998

ANNEXES

ANNEXE 1. LISTE DES PLANS

PLAN N°	TITRE
GG-23-01	SITE DU BARRAGE - GEOLOGIE DE SURFACE
GG-23-02	SITE DU BARRAGE - GEOLOGIE DU SUBSTRATUM RECONSTITUE A TRAVERS LES COUPES DES SONDAGES
GG-23-03	CUVETTE – GEOLOGIE DE SURFACE
GG-23-04	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT L'AXE DU BARRAGE
GG-23-05	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT L'AXE DU TRANCHEE PARAFOUILLE
GG-23-06	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE A-A
GG-23-07	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE B-B
GG-23-08	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE C-C
GG-23-09	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE D-D
GG-23-10	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE E-E
GG-23-11	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE L'AXE DE L'EVACUATEUR DE CRUE
GG-23-12	SITE DU BARRAGE – COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE LA VDF
GG-23-13	SITE DU BARRAGE – SONDAGES ÉQUIPES EN PIEZOMETRES
GG-23-14	ZONES D'EMPRUNTS - RECONNAISSANCES DE LA ZONE D'EMPRUNT EN CUVETTE
GG-23-15	ZONES D'EMPRUNTS EN CUVETTE - COUPES
GG-23-16	ZONES D'EMPRUNTS ARGILO-SABLO-GRAVELEUX ET CARRIÈRES D'ENROCHEMENT - ZONES DES CARRIÈRES POTENTIELLES
GG-23-17	PAROI MOULEE ET VOILE D'ETANCHEITE – ESTIMATION DES SURFACES
GG-23-18	EXTENSION DE L'EVENTUEL TRAITEMENT EN RIVE DROITE – PRINCIPE.



LEGENDE:

Q1	ETOUFFIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	BDC*	Sondages réalisés en 1982
Q2	Sable silteux	BDC*	Sondages réalisés en 1983
Q3	Argile silteuse	BDC*	Sondages réalisés en 1996
Q4	Limons, sable, galets, blocs (éboulis et alluvions anciens)	VF*/EV*	Sondages réalisés en 2013 (core drilling, see note 1)
C4-5	CENOMANEN - TURONNIEN calcaire blanchâtre, peu dur, à niveaux calcaires crayeux et calcaire beige-blanchâtre généralement fissuré et fracturé	BHV*	Sondages réalisés en 2014 (core drilling, see note 2)
		BHRA* / BHLA*	Sondages réalisés en 2014
C3	ALBIEN (BARRÉ A CARDIUM) calcaire orange-jaunâtre, dur, cristallin, karstifié marnes et marne-calcaire vert-jaunâtre à anhydrites coquilles	DCPV*	Pénétromètre dynamique à cône en 2014
C2b (1)	APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE) à orbélites, cristallin, dur, karstifié (C2b-1-falaise de blanche); à orbélites, cristallin, dur, karstifié (C2b-2-falaise de blanche); très fracture prédominance de marne au C2b-2	AD-1	Galerie de reconnaissance réalisée entre 1981 et 1984
C2b (2)			
C1	GRES DE BASE: ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, de marne, de sable ferrugineux, peu cimenté		
J 6	KIMMERIDIEN: calcaire grs, oolithique, cristallin, dur, karstifié, à niveaux marneux		
J 7		PORTLANDIEN: calcaire fr, massif, rarement oolithique, ocre à silex, cristallin, dur	

CRONOLOGIE DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES

- BDC* (blue diamond): Sondages réalisés en 1982
- BDC* (red diamond): Sondages réalisés en 1983
- BDC* (purple diamond): Sondages réalisés en 1996
- VF*/EV* (orange diamond): Sondages réalisés en 2013 (core drilling, see note 1)
- BHV* (blue circle): Sondages réalisés en 2014 (core drilling, see note 2)
- BHRA* / BHLA* (red circle): Sondages réalisés en 2014
- DCPV* (green circle): Pénétromètre dynamique à cône en 2014
- AD-1 (red line with arrow): Galerie de reconnaissance réalisée entre 1981 et 1984

Geological Symbols:

- [329,96] → Côte toit du Substratum
- ↗ ↘ ↙ ↖ → Faille importante
- ↗ ↘ ↙ ↖ → Direction et son azimuth
- F → Faille
- — — — — → Coupes géologiques

- Zoning approximatif du remplissage alluvial sablo-argilo-silteux (voir coupe C, plan G-06)
- Q2 -Zone de sable silteux
 - Q3 -Zone d'argile silteuse
 - L1 - Limite du remplissage alluvial et lacustre
 - L2 - Limite couverture quaternaire
 - Artésianisme source
 - Communication entre forages

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC

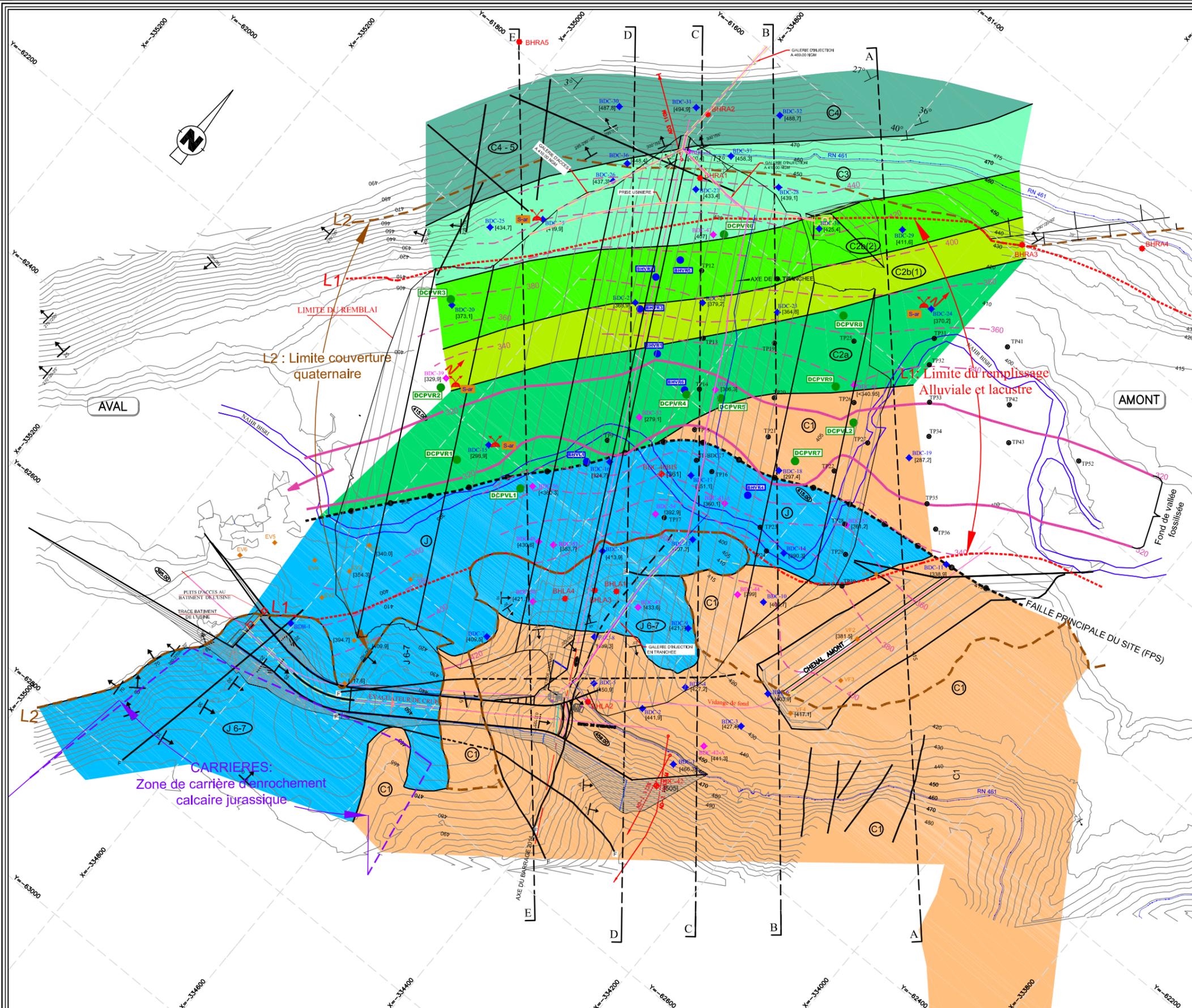
LEBANESE REPUBLIC
COUNCIL FOR DEVELOPMENT & RECONSTRUCTION

BARRAGE BISRI



SITE DU BARRAGE	DRAWN		
	CHECKED		
	APPROVED		
GEOLOGIE DE SURFACE	SCALE	1/5 000	
	DATE	16/01/2013	
	FILENAME	PLAN GG 23-01	
PROJECT	DIVISION	SHEET	REVISION
			12/11/2014





LEGENDE:

C4-5	CENOMANIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHÂTRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAVEUX ET CALCAIRE BEISE-BLANCHÂTRE GÉNÉRALEMENT FISSURÉ ET FRACTURÉ	BDC*	Sondages réalisés en 1982
C3	ALBIEN BIENNE A GONDOLIEN CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIÉ MARNES ET MARNE-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE À ABONNANTES COQUILLES	BDC*	Sondages réalisés en 1983
C2b(1)	APTIEN SUPÉRIEUR (FALaise DE BLANCHE) CALCAIRE ETHIOGRAPHIQUE BEISE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN DUR, KARSTIFIÉ	BDC*	Sondages réalisés en 1996
C2b(2)	APTIEN INFÉRIEUR (MARNE A PROLITHES) ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESSEUX DE TERTIAIRE, DE SABLE FERRUGINEUX GÉNÉRALEMENT PEU ORIENTÉ	VF*/EV*	Sondages réalisés en 2013 (core drilling, see note 1)
C2a	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTÉ	BHV*	Sondages réalisés en 2014 (core drilling, see note 2)
C1	MIÈME-BOGÉN CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN DUR, KARSTIFIÉ A NIVEAUX MARNEUX	BHRA* / BHLA*	Sondages réalisés en 2014
J6	PORTLAÏNIEN CALCAIRE FIN MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, CORE A SILEX, CRISTALLIN DUR	DCPV*	Pénétromètre dynamique à cône en 2014
J7		AD-1	Galerie de reconnaissance réalisée entre 1981 et 1984

[329,96]	Côte toit du Substratum
[Symbol]	Faïlle importante
[Symbol]	Direction et son azimuth
[Symbol]	Faïlle
[Symbol]	Coupes géologiques

- L1: Limite du remplissage alluvial et lacustre
- L2: Limite couverture quaternaire
- [Symbol]: Artésianisme source
- [Symbol]: Communication entre forages

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC

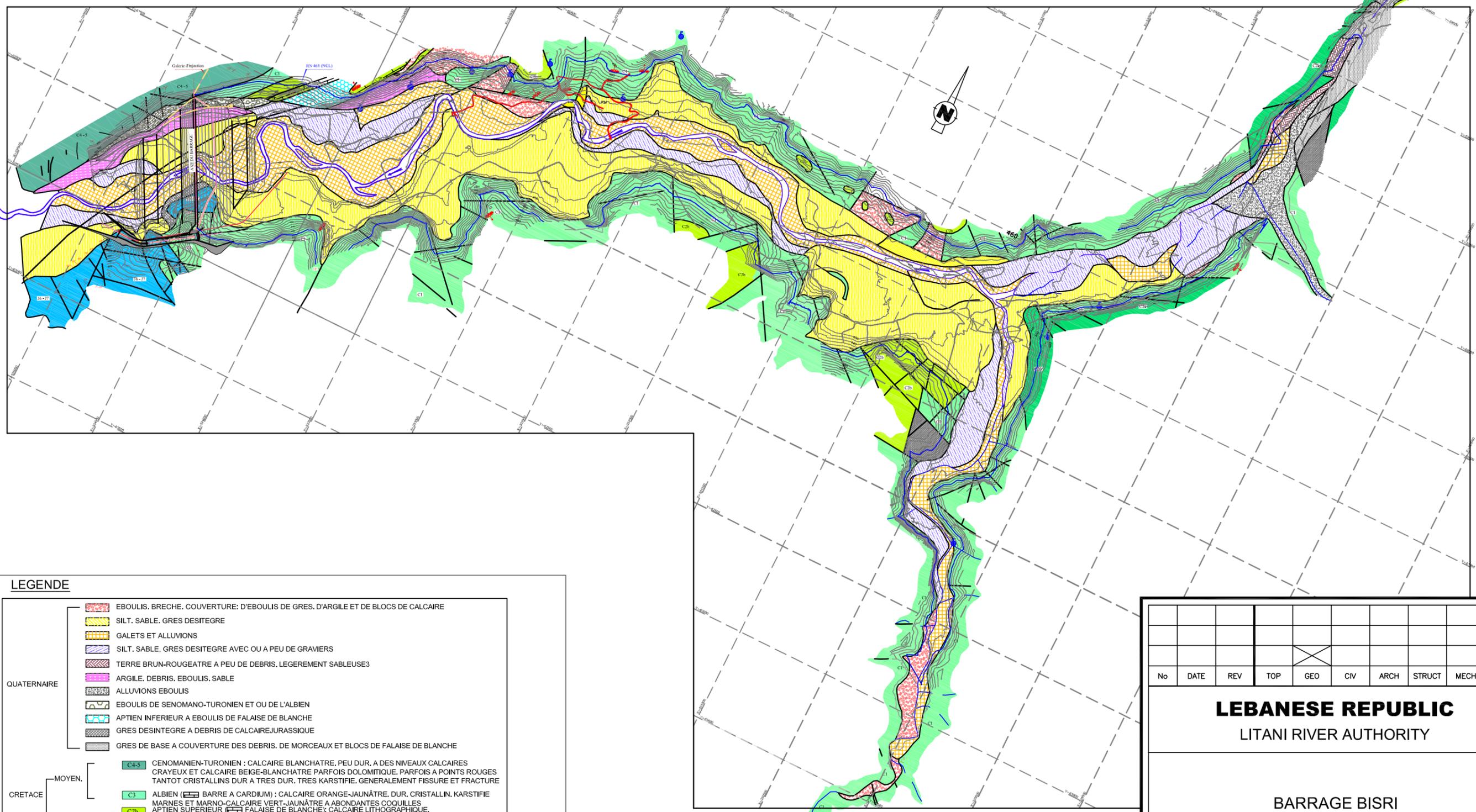
LEBANESE REPUBLIC
COUNCIL FOR DEVELOPMENT & RECONSTRUCTION

BARRAGE BISRI



SITE DU BARRAGE	DRAWN		
	CHECKED		
	APPROVED		
GEOLOGIE DU SUBSTRATUM RECONSTITUE A TRAVERS LES COUPES DES SONDRAGES	SCALE	1/5 000	
	DATE	16/01/2013	
PROJECT	DIVISION	SHEET	
		REVISION	
			12/11/2014





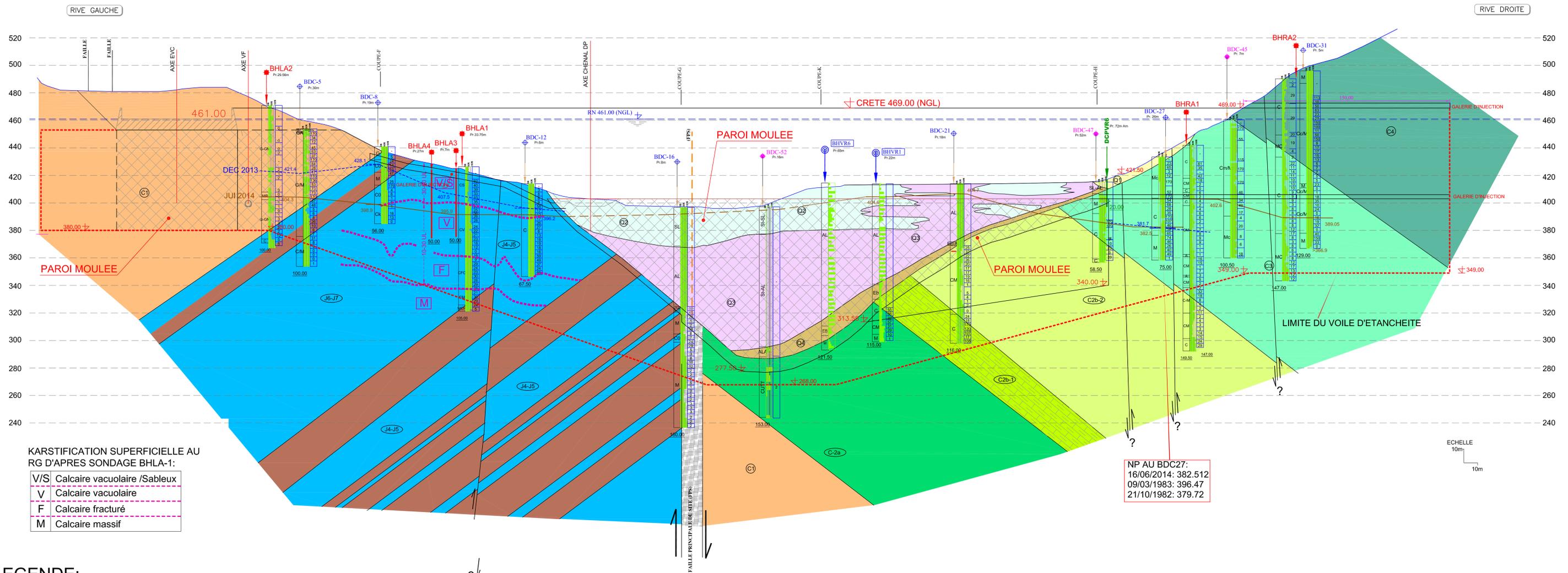
LEGENDE

- EBOULIS, BRECHE, COUVERTURE: D'EBOULIS DE GRES, D'ARGILE ET DE BLOCS DE CALCAIRE
 - SILT, SABLE, GRES DESITEGRE
 - GALETS ET ALLUVIONS
 - SILT, SABLE, GRES DESITEGRE AVEC OU A PEU DE GRAVIERS
 - TERRE BRUN-ROUGEATRE A PEU DE DEBRIS, LEGEREMENT SABLEUSE
 - ARGILE, DEBRIS, EBOULIS, SABLE
 - ALLUVIONS EBOULIS
 - EBOULIS DE SENOMANO-TURONIEN ET OU DE L'ALBIEN
 - APTIEN INFERIEUR A EBOULIS DE FALAISE DE BLANCHE
 - GRES DESINTEGRE A DEBRIS DE CALCAIRE JURASSIQUE
 - GRES DE BASE A COUVERTURE DES DEBRIS, DE MORCEAUX ET BLOCS DE FALAISE DE BLANCHE
-
- CRETACE**
- MOYEN.**
 - C4-3 CENOMANIEN-TURONIEN : CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A DES NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE PARFOIS DOLOMITIQUE, PARFOIS A POINTS ROUGES TANTOT CRISTALLINS DUR A TRES DUR, TRES KARSTIFIE, GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
 - C3 ALBIEN (BARRÉ A CARDIUM) : CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
 - APTIEN**
 - C2b APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE) : CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE, BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, TRES FRACTURE
 - C2a APTIEN INFERIEUR (MARNE A PISOLITHES) : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRITIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
 - INFE.**
 - C1 GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX CIMENTE, PARFOIS TRES DUR, DE TUF PARFOIS CIMENTE, ET DE CINERITES
-
- JURASSIQUE SUPERIEUR**
- J6-17 PORTLANDIEN (J7) : CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX
 - J6 KIMMERGIEN (J6) : CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE TANTOT A POINTS ROUGES, A SILEX, CRISTALLIN, DURE PEU KARSTIFIE.
-
- CONTOUR GEOLOGIQUE
 - FAILLE SECONDAIRE
 - FAILLE IMPORTANTE
 - FAILLE PROBABLE
 - FLEXURE
 - DIRECTION ET PENDAGE
 - AXE DU BARRAGE
 - COURBE DE NIVEAU
 - SOURCE
 - COURS D'EAU A SENS D'ECOULEMENT

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC									
LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
CUVETTE					DRAWN				
					CHECKED				
					APPROVED				
GEOLOGIE DE SURFACE					SCALE 1/10 000				
					DATE 17/01/2013				
					FILENAME PLan GG 23-03				
PROJECT			DIVISION			SHEET		REVISION	



COUPE SUIVANT L'AXE DU BARRAGE



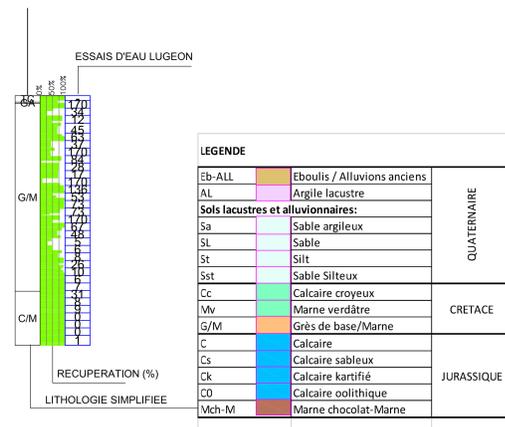
KARSTIFICATION SUPERFICIELLE AU RG D'APRES SONDAGE BHLA-1:

V/S	Calcaire vacuolaire /Sableux
V	Calcaire vacuolaire
F	Calcaire fracturé
M	Calcaire massif

LEGENDE:

ÂGE		DESCRIPTION	
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1	EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CENOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM): CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFÉRIEUR	C2b-(1)	APTIEN SUPERIEUR CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE). TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2b-(2)	
		C2a	APTIEN INFÉRIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRITIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
JURASSIQUE	C1	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE	
		KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX	
	à	PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR	
		J7	ARGILE, MARNE ET CALCAIRE MARNEUX CALCAIRE OOLITHIQUE FOSSILIFERE MARNE ET CALCAIRE MARNEUX MARNE CHOCOLAT RIGIDE

SONDAGES DE RECONNAISSANCES



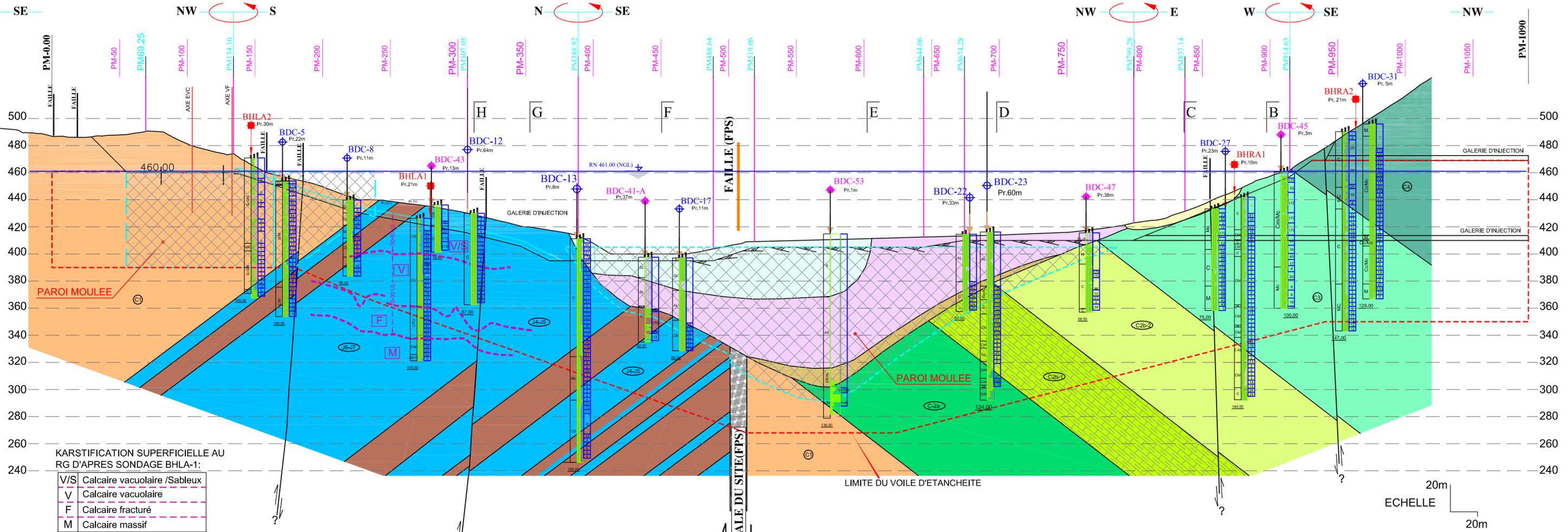
LEGENDE

Eb-ALL	Eboulis / Alluvions anciens	QUATERNAIRE
AL	Argile lacustre	
Sols lacustres et alluvionnaires:		CRETACE
Sa	Sable argileux	
SL	Sable	
St	Silt	
Sst	Sable silteux	
Cc	Calcaire croyeux	JURASSIQUE
Mv	Marne verdâtre	
G/M	Grès de base/Marne	
C	Calcaire	
Cs	Calcaire sableux	
CK	Calcaire kartifié	
CO	Calcaire oolithique	
Mch-M	Marne chocolat-Marne	

..... NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE DECEMBRE 2013)
 ——— NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE JUIN 2014)

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL HANADSAH NAZH TALEB & PARTNERS دار الهندسة نازح طالب وشركاه					NOVEC				
SITE DU BARRAGE					DRAWN				
COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT L'AXE DU BARRAGE					CHECKED				
SCALE 1/1 000					APPROVED				
DATE 17/01/2014					FILENAME PLAN GG 23-04				
PROJECT			DIVISION			SHEET		REVISION	
								12/06/2014	

COUPE DEVELOPEE SUIVANT L'AXE DE LA TRANCHEE



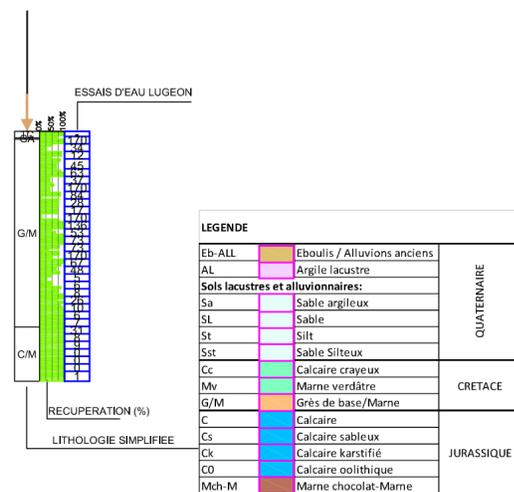
KARSTIFICATION SUPERFICIELLE AU RG D'APRES SONDAGE BHLA-1:

V/S	Calcaire vacuolaire /Sableux
V	Calcaire vacuolaire
F	Calcaire fracturé
M	Calcaire massif

LEGENDE:

ÂGE	DESCRIPTION		
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1	ÉBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(ÉBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CÉNOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHÂTRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHÂTRE GÉNÉRALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM): CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIÉ MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFÉRIEUR	C2b-(1)	APTIEN SUPÉRIEUR CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIÉ (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE).
		C2b-(2)	TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2a	APTIEN INFÉRIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRITIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GÉNÉRALEMENT PEU CIMENTE
JURASSIQUE	J 4	à	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE
		J 7	à

SONDAGES DE RECONNAISSANCES



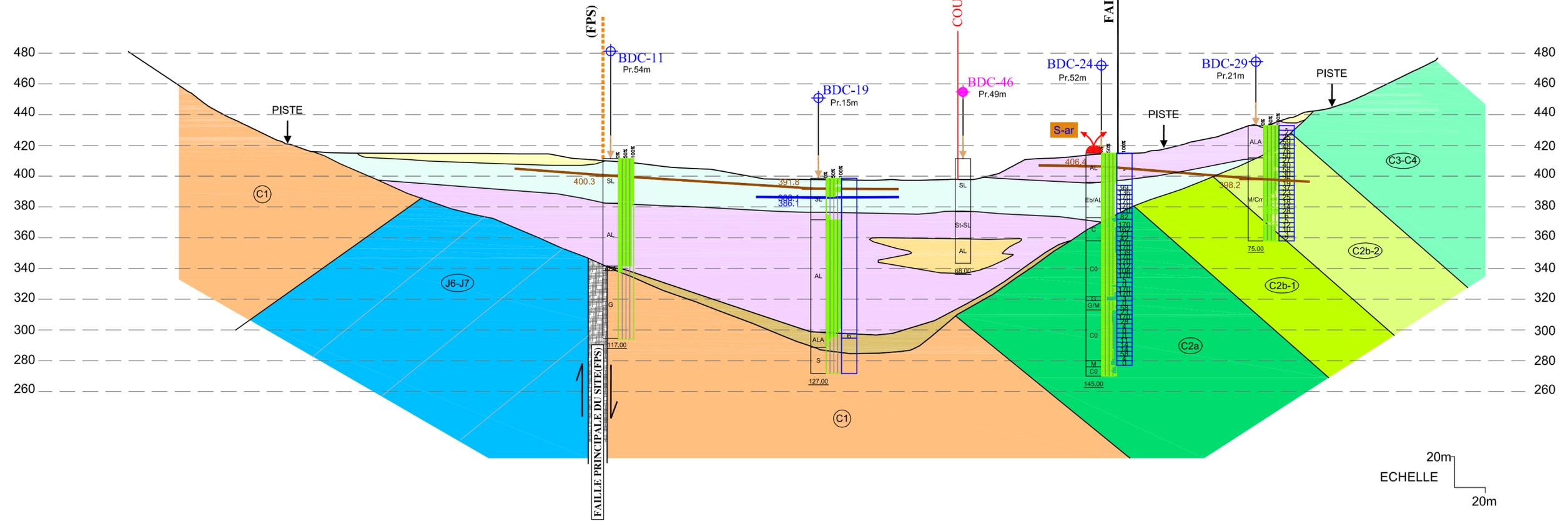
LEGENDE	QUATERNAIRE	CRETACE	JURASSIQUE
Eb-ALL	Éboulis / Alluvions anciens		
AL	Argile lacustre		
Sols lacustres et alluvionnaires:			
Sa	Sable argileux		
SL	Sable		
St	Silt		
Sst	Sable Silteux		
Cc	Calcaire crayeux		
Mv	Marne verdâtre		
G/M	Grès de base/Marne		
C	Calcaire		
Cs	Calcaire sableux		
Ck	Calcaire karstifié		
CO	Calcaire oolithique		
Mch-M	Marne chocolat-Marne		

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
 DAR AL HANASAH NAZH TALEB & PARTNERS دارالهندسة نزيه طالب وشركاه					 NOVEC COG DEVELOPMENT				
PROJECT		DIVISION		SHEET		REVISION			
DRAWN		CHECKED		APPROVED		SCALE 1/2 000			
DATE 12/11/2014		FILENAME PLAN GG 23-05		COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT L'AXE DE LA TRANCHEE					

SECTION A-A

RIVE GAUCHE

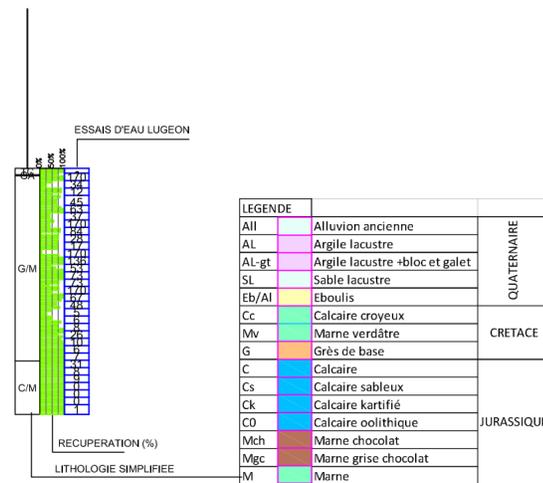
RIVE DROITE



LEGENDE:

ÂGE		DESCRIPTION	
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1	EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CENOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM) : CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFERIEUR	C2b (1)	APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE): CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE
		C2b (2)	(C2b-1:FALAISE DE BLANCHE). TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2a	APTIEN INFERIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
JURASSIQUE	C1	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE	
	J 4	KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX	
	J 7	PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR	

SONDAGES DE RECONNAISSANCES



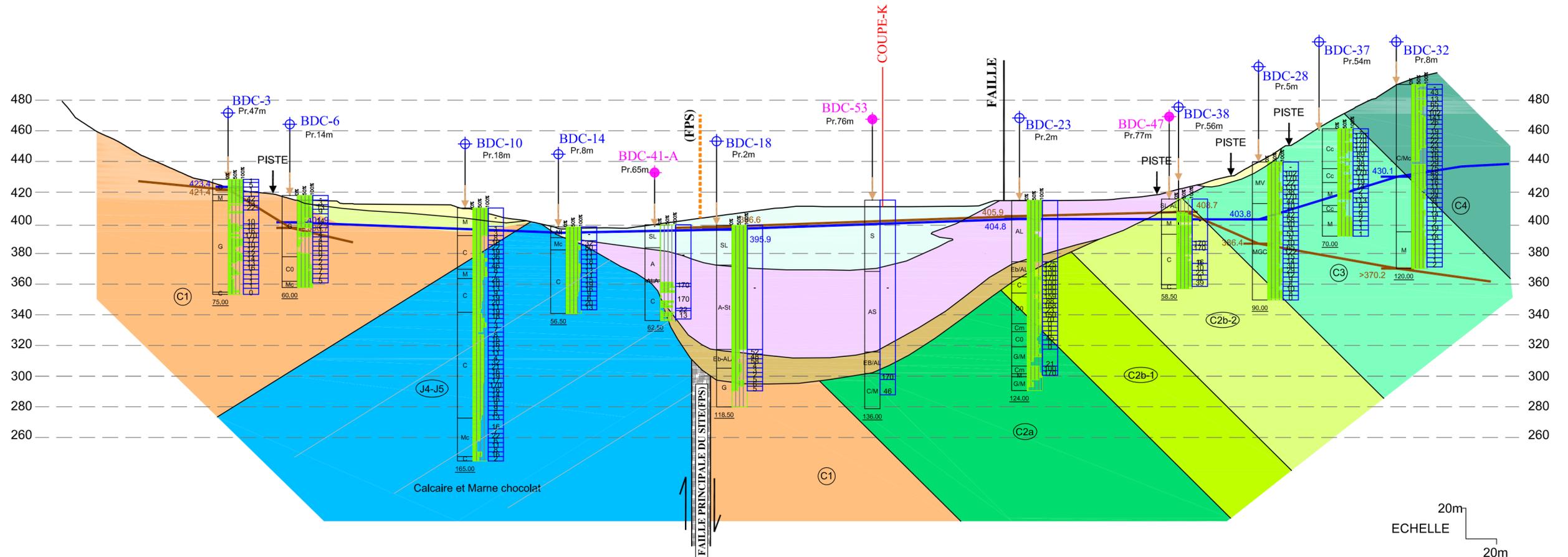
— NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE DECEMBRE 2013)
 — NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE JANVIER 2013)

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL-HANDASAH NAZH TALEB & PARTNERS دار الهندسة نزيه طالب وشركاه					NOVEC CONSULTING ENGINEERS				
COUPE GEOLOGIQUE A-A			DRAWN						
			CHECKED						
			APPROVED						
			SCALE	1/2 000					
			DATE	17/01/2013					
			FILENAME	PLAN GG 23-06					
PROJECT	DIVISION	SHEET	REVISION						
			12/06/2014						

RIVE GAUCHE

SECTION B-B

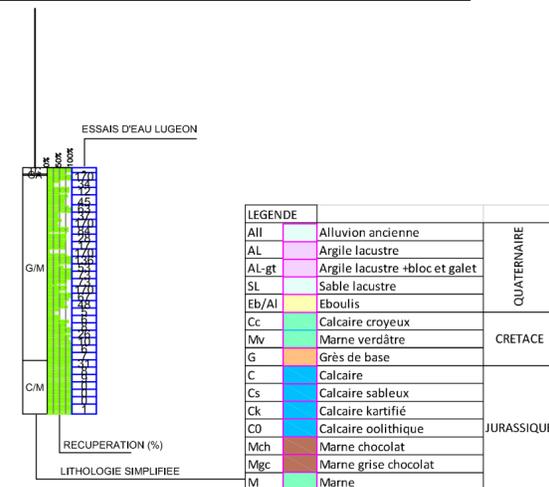
RIVE DROITE



LEGENDE:

ÂGE		DESCRIPTION	
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1	EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CENOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM) : CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNE-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFERIEUR	C2b (1)	APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE): CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE).
		C2b (2)	TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2a	APTIEN INFERIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRITIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
JURASSIQUE	C1	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE	
		Calcaire et Marne chocolat	
	J 4	KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX	
	J 7	PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR	

SONDAGES DE RECONNAISSANCES

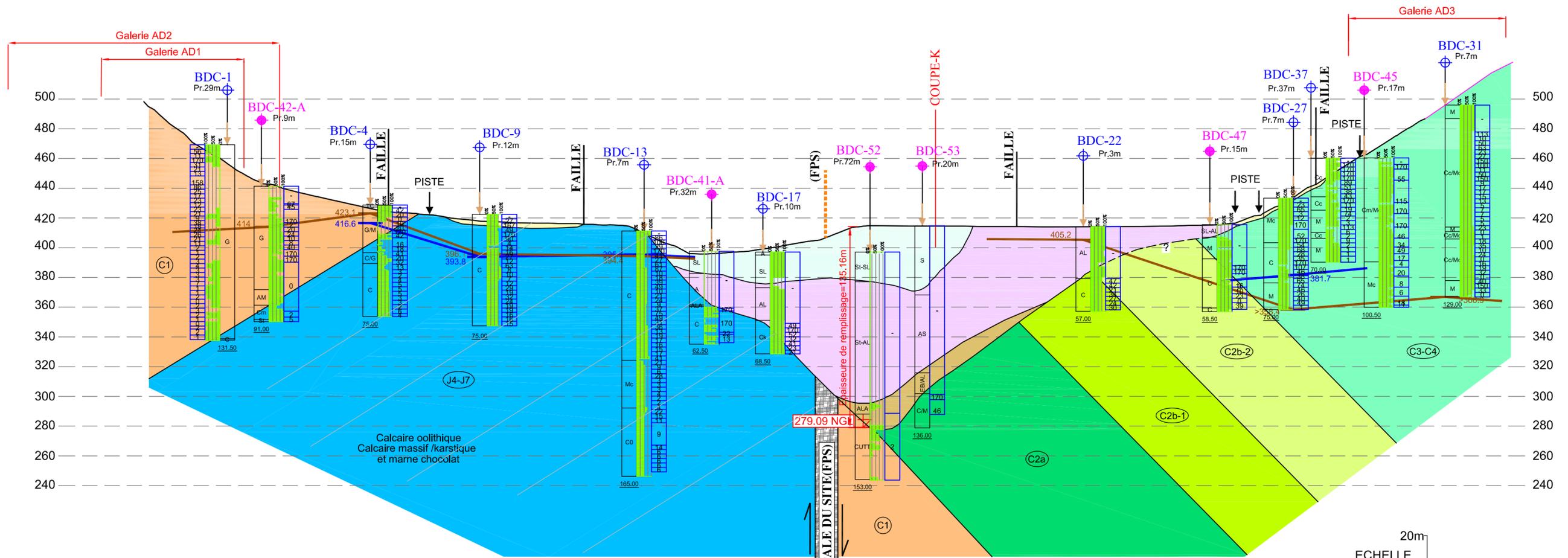


No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
 DAR AL-HANDASAH NAZH TABEL & PARTNERS دار الهندسة نزيه طالب وشركاه					 NOVEC CIVIL DEVELOPMENT				
			DRAWN						
			CHECKED						
			APPROVED						
COUPE GEOLOGIQUE B-B				SCALE		1/2 000			
				DATE		17/01/2013			
				FILENAME		PLAN GG 23-07			
PROJECT		DIVISION		SHEET		REVISION			
						12/06/2014			

RIVE GAUCHE

SECTION C-C

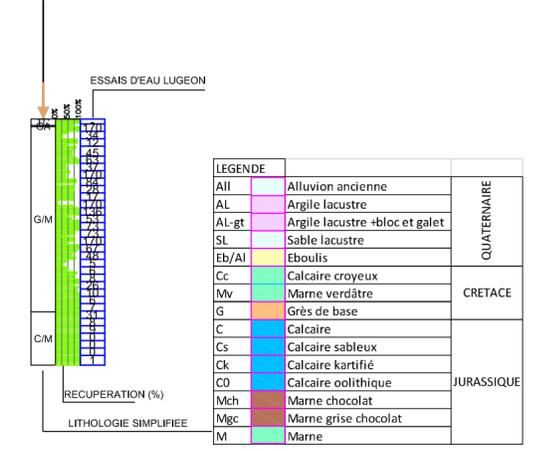
RIVE DROITE



LEGENDE:

ÂGE	DESCRIPTION		
COUVERTURE EN FOND DE VALLEE	Q1	EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CENOMNIEN - TURONNIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM) : CALCAIRE ORANGE-JAUNATRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNATRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFERIEUR	C2b (1)	APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE); CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE).
		C2b (2)	TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2a	APTIEN INFERIEUR (MARNE A PISOLITHES); ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
JURASSIQUE	CRETACE INFERIEUR	C1	GRES DE BASE ; ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE
		J4	KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR
	J7	ARGILE, MARNE ET CALCAIRE MARNEUX CALCAIRE OOLITHIQUE FOSSILIFERE MARNE ET CALCAIRE MARNEUX MARNE CHOCOLAT RIGIDE	

SONDAGES DE RECONNAISSANCES



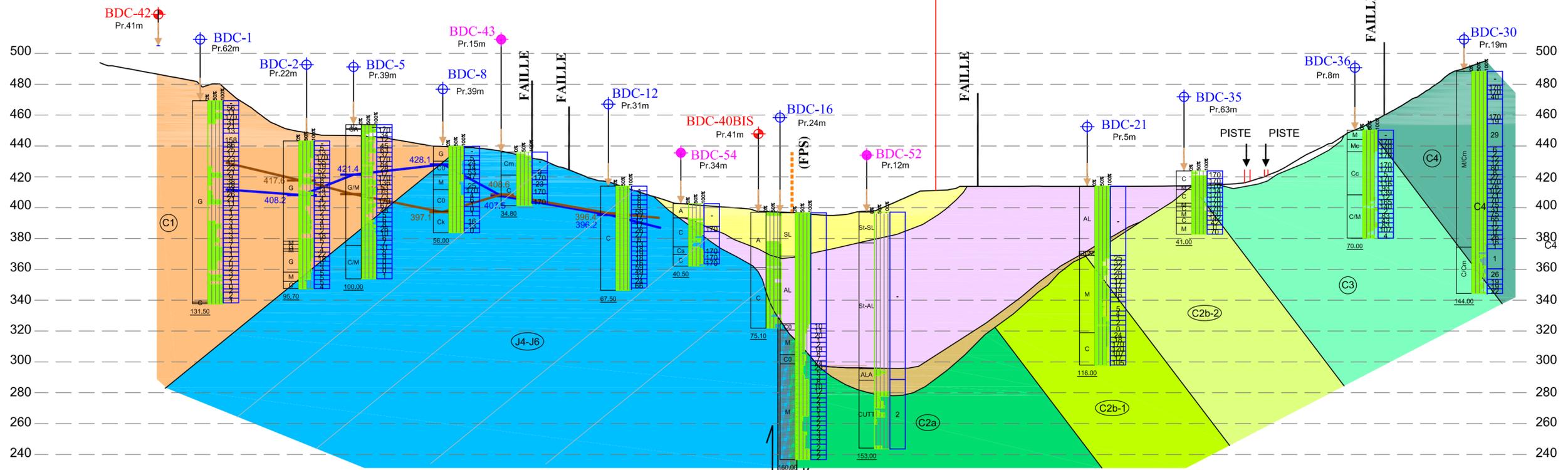
— NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE DECEMBRE 2013)
— NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE JANVIER 2013)

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL-HANDASAH NAZH TABEL & PARTNERS دار الهندسة نزيه طرابلس وشركاه					NOVEC CIVIL DEVELOPMENT				
DRAWN			CHECKED			APPROVED			
SCALE			DATE			FILENAME			
1/2 000			17/01/2013			PLAN GG 23-08			
PROJECT	DIVISION	SHEET	REVISION						
			12/06/2014						

SECTION D-D

RIVE GAUCHE

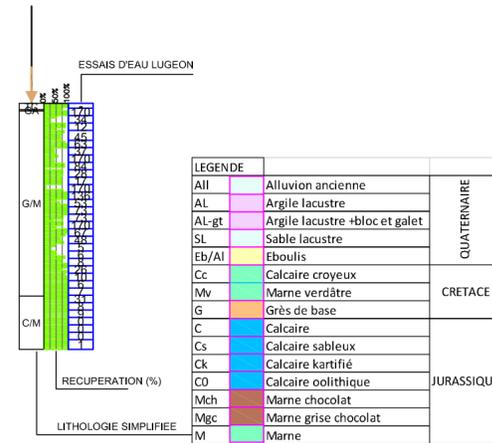
RIVE DROITE



LEGENDE:

ÂGE	DESCRIPTION		
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1	EBOLIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOLIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CENOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM) : CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFÉRIEUR	C2b (1)	APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE): CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE).
		C2b (2)	TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2a	APTIEN INFÉRIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
		C1	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE
JURASSIQUE	J4	KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX	
	à	PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR	
	J7	ARGILE, MARNE ET CALCAIRE MARNEUX CALCAIRE OOLITHIQUE FOSSILIFERE MARNE ET CALCAIRE MARNEUX MARNE CHOCOLAT RIGIDE	

SONDAGES DE RECONNAISSANCES



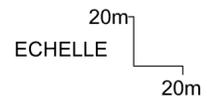
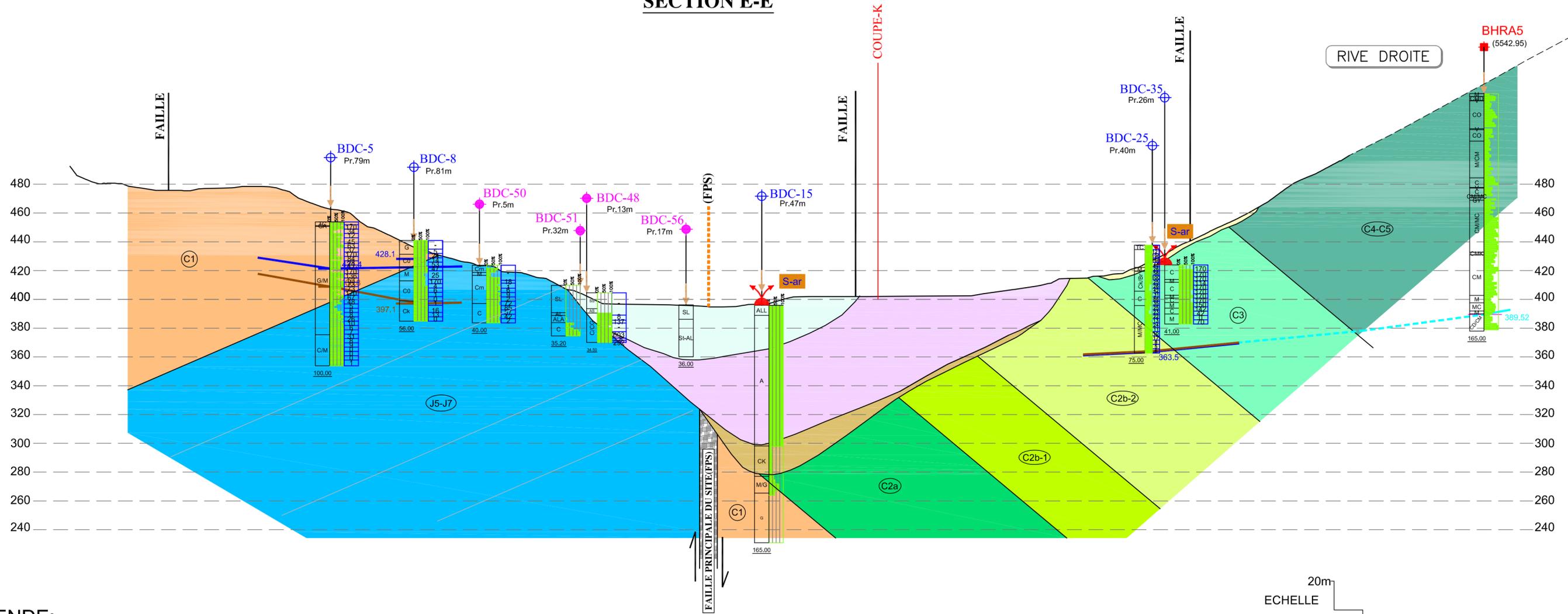
LEGENDE		
All	Alluvion ancienne	QUATERNAIRE
AL	Argile lacustre	
AL-gt	Argile lacustre + bloc et galet	
SL	Sable lacustre	
Eb/Al	Eboulis	CRETACE
Cc	Calcaire croyeux	
Mv	Marne verdâtre	JURASSIQUE
G	Grès de base	
C	Calcaire	
Cs	Calcaire sableux	
Ck	Calcaire kartifié	
CO	Calcaire oolithique	
Mch	Marne chocolat	
Mgc	Marne grise chocolat	
M	Marne	

— NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE DECEMBRE 2013)
— NIVEAU PIEZOMETRIQUE DU MOIS DE JANVIER 2013)

20m
ECHELLE
20m

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
 DAR AL-HANDASAH NAZH TALEB & PARTNERS دار الهندسة نزيه طالب وشركاه			 NOVEC CONSULTANTS						
				DRAWN					
				CHECKED					
				APPROVED					
COUPE GEOLOGIQUE D-D				SCALE		1/2 000			
				DATE		17/01/2013			
				FILENAME		PLAN GG 23-09			
PROJECT		DIVISION		SHEET		REVISION			
						12/06/2014			

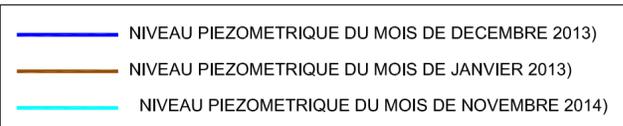
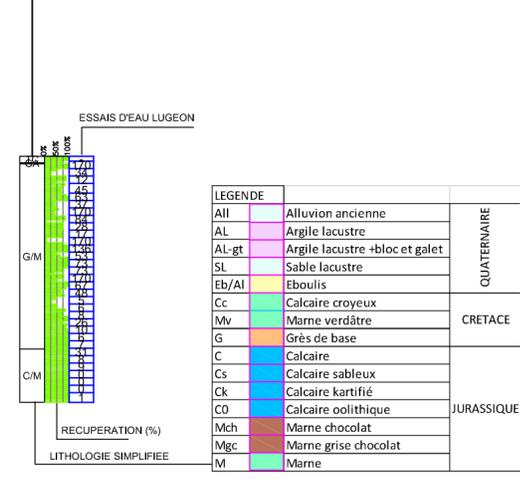
SECTION E-E



LEGENDE:

ÂGE		DESCRIPTION	
COUVERTURE EN FOND DE VALLEE	Q1	EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE	
	Q2	SABLE SILTEUX	
	Q3	ARGILE SILTEUSE	
	Q4	LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)	
CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	C4-5	CENOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
		C3	ALBIEN (BARRE A CARDIUM): CALCAIRE ORANGE-JAUNATRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNATRE A ABONDANTES COQUILLES
	CRETACE INFERIEUR	C2b (1)	APTIEN SUPERIEUR (FALAISE DE BLANCHE): CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE).
		C2b (2)	TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
		C2a	APTIEN INFERIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
JURASSIQUE	C1	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE	
		J 4	KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR
	à	ARGILE, MARNE ET CALCAIRE MARNEUX	
	J 7	CALCAIRE OOLITHIQUE FOSSILIFERE MARNE ET CALCAIRE MARNEUX MARNE CHOCOLAT RIGIDE	

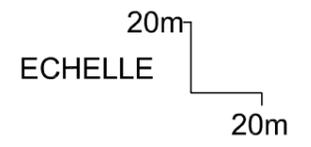
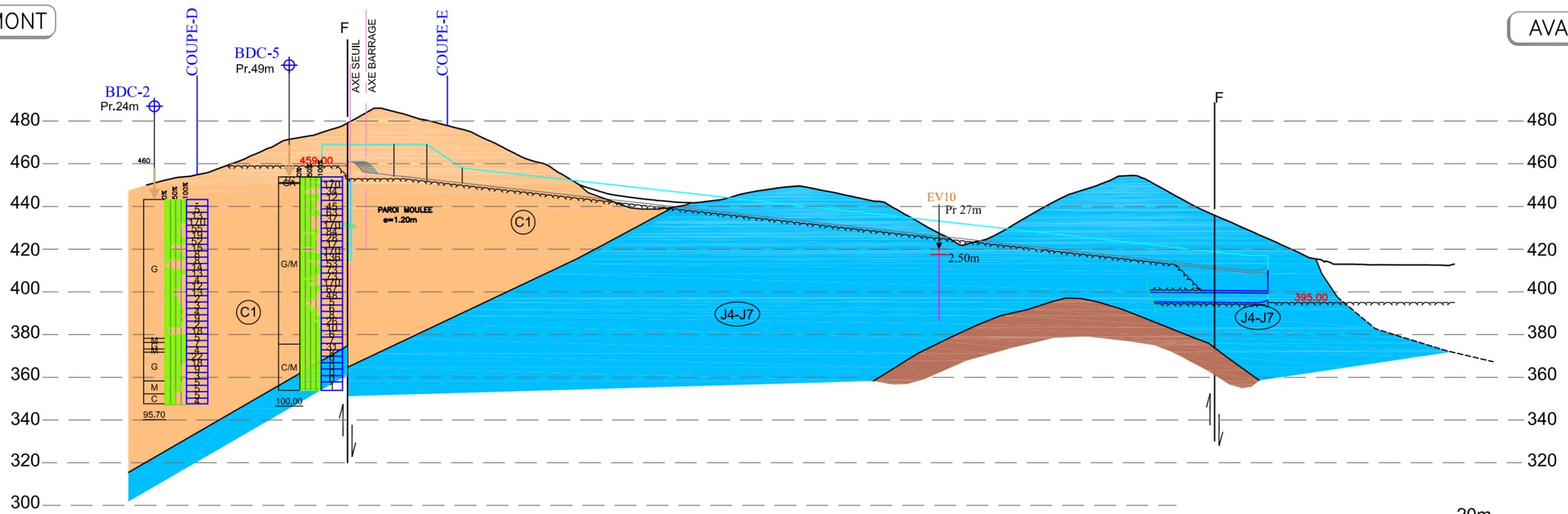
SONDAGES DE RECONNAISSANCES



No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL-HANDASAH NAZH TALEB & PARTNERS دار الهندسة نزيه طالب وشركاه					NOVEC CIVIL DEVELOPMENT				
COUPE GEOLOGIQUE E-E							DRAWN		
							CHECKED		
							APPROVED		
							SCALE	1/2 000	
							DATE	17/01/2013	
							FILENAME	PLAN GG 23-10	
PROJECT		DIVISION		SHEET		REVISION			
									12/06/2014

AMONT

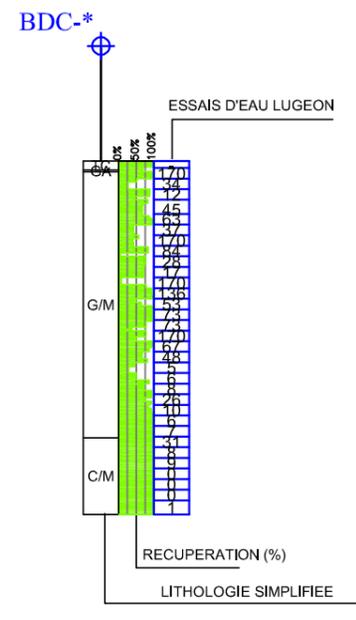
AVALE



LEGENDE:

ÂGE	DESCRIPTION	
CRETACE INFERIEUR	C1	CRETACE INFERIEUR : GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE . D'ARGILE. DE MARNE. DE SABLE FERRUGINEUX CIMENTE. PARFOIS TRES DUR. DE TUF PARFOIS CIMENTE ET DE CINERITES
JURASSIQUE	J 4-J7	KIMMERIDGIEN CALCAIRE GRIS. OOLITHIQUE. CRISTALLIN, DUR. KARSTIFIE. A NIVEAUX MARNEUX
		MARNE CHOCOLAT RIGIDE

SONDAGES DE RECONNAISSANCES

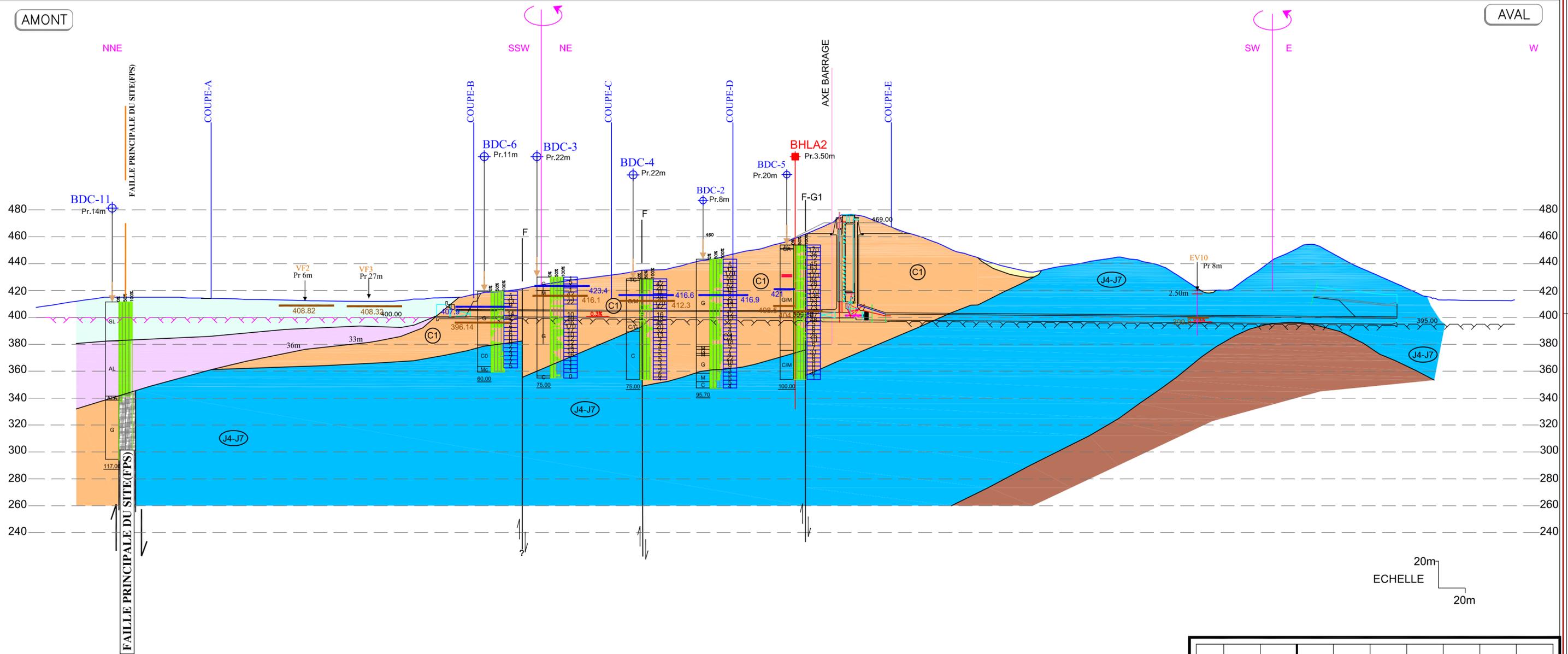


LEGENDE		
All	Alluvion ancienne	QUATERNAIRE
AL	Argile lacustre	
AL-gt	Argile lacustre + bloc et galet	
SL	Sable lacustre	
Eb/Al	Eboulis	CRETACE
Cc	Calcaire croyeux	
Mv	Marne verdâtre	JURASSIQUE
G	Grès de base	
C	Calcaire	
Cs	Calcaire sableux	
Ck	Calcaire kartifié	
CO	Calcaire oolithique	
Mch	Marne chocolat	JURASSIQUE
Mgc	Marne grise chocolat	
M	Marne	

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL HANASAH NAZH TALIB & PARTNERS دار الهندسة نزيه طالب وشركاه					NOVEC CONSULTING				
SITE DU BARRAGE							DRAWN		
COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE L'EVACUATEUR DE CRUE							CHECKED		
SCALE							APPROVED		
1/2 000							DATE	10/01/2014	
FILENAME							PLAN GG 23-11		
PROJECT	DIVISION		SHEET	REVISION					
				12/06/2014					

AMONT

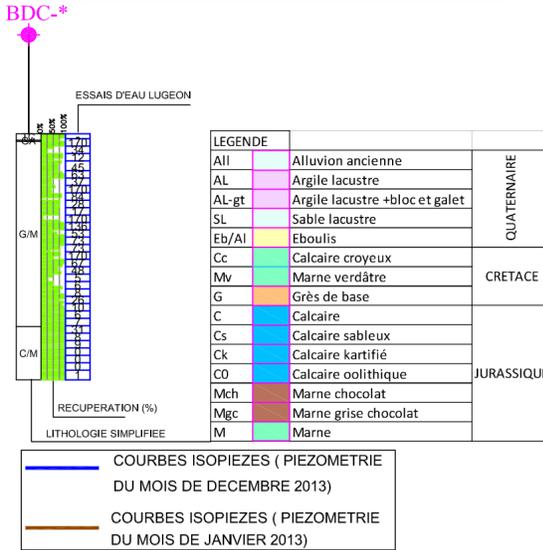
AVAL



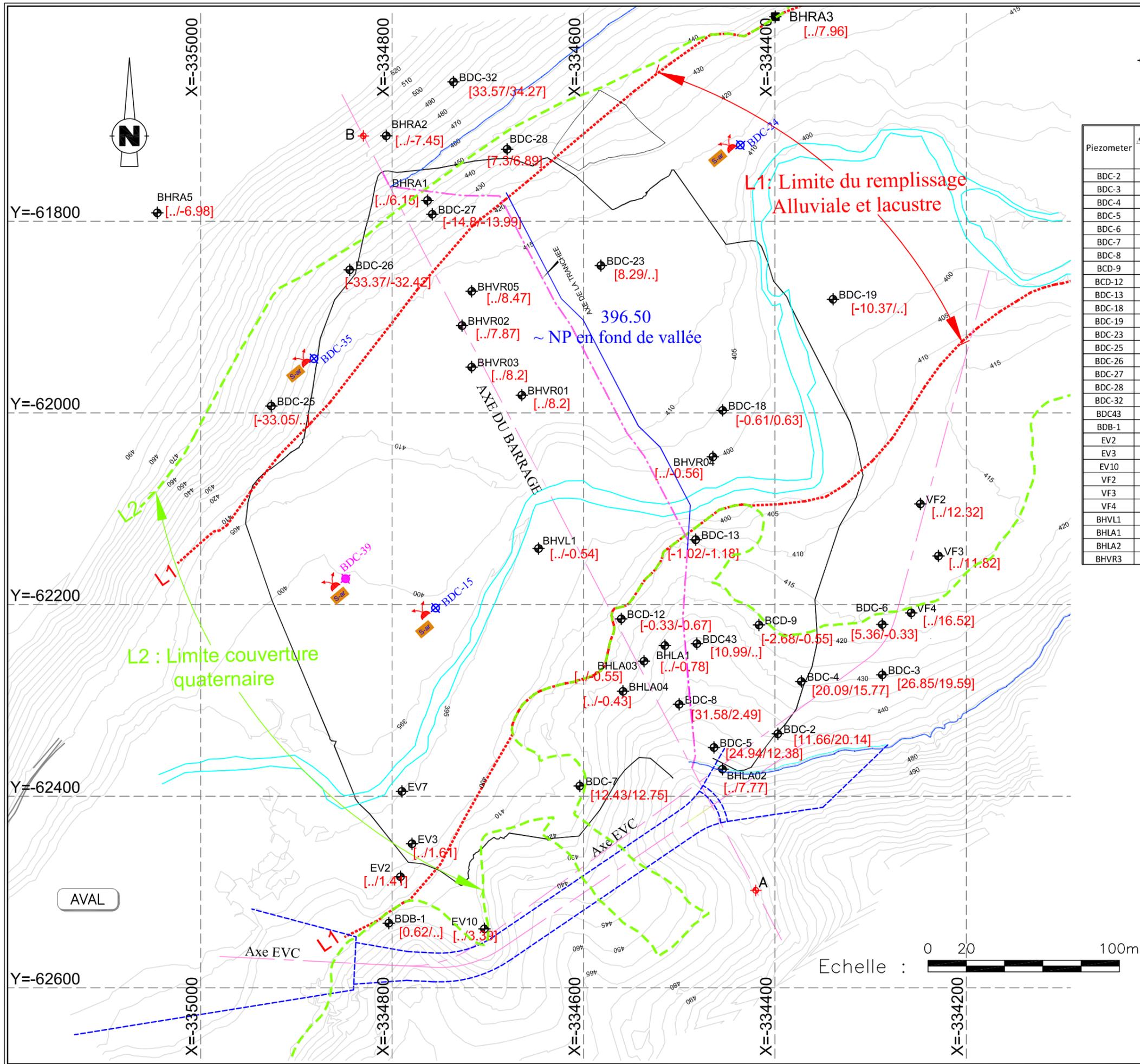
LEGENDE:

ÂGE		DESCRIPTION
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1	EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE
	Q2	SABLE SILTEUX
	Q3	ARGILE SILTEUSE
CRETACE INFERIEUR	C1	GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE
JURASSIQUE	J6	KIMMERIDGIEN: CALCAIRE GRIS, OOLITHIQUE, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE, A NIVEAUX MARNEUX
	à	PORTLANDIEN: CALCAIRE FIN, MASSIF, RAREMENT OOLITHIQUE, OCRE A SILEX, CRISTALLIN, DUR
	J7	MARNE CHOCOLAT RIGIDE

SONDAGES DE RECONNAISSANCES



No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL-HANDASAH NAZH TALEB & PARTNERS دار الهندسة نزيه طالب وشركاه					NOVEC COE DEVELOPMENT				
SITE DU BARRAGE							DRAWN		
COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE LA VDF							CHECKED		
COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE LA VDF							APPROVED		
COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE LA VDF							SCALE	1/2 000	
COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE LA VDF							DATE	09/01/2014	
COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE SUIVANT L'AXE DE LA VDF							FILENAME	PLan GG 23-12	
PROJECT	DIVISION		SHEET	REVISION					
							12/06/2014		



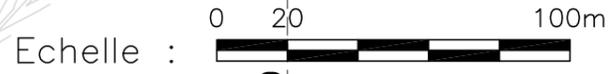
SONDAGES EQUIPES EN PIEZOMETRES

Δ = Niveau piézométrique relative par rapport au niveau de de référence en fond de vallée (396,50 NGL)

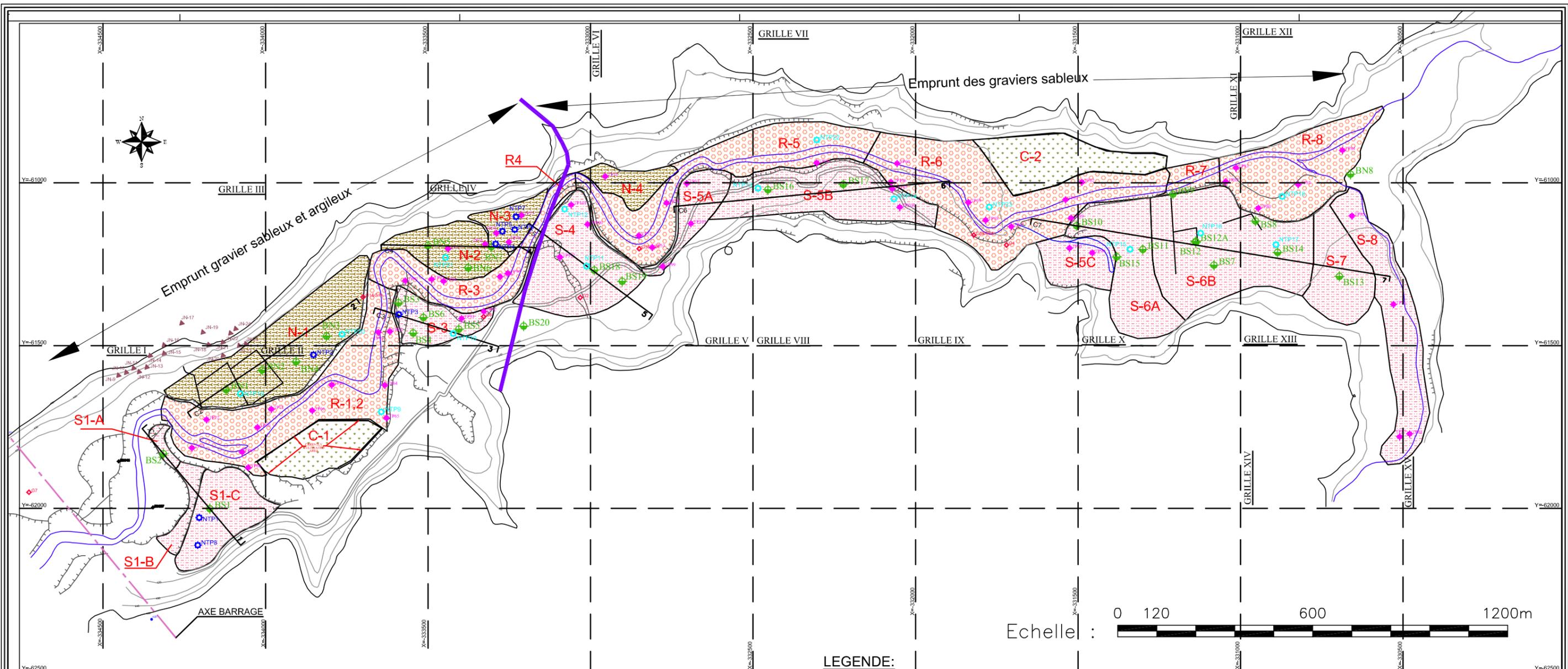
Piezometer	Δ NP (Updated on Decembre 2013)	Δ NP (Updated on Juin 2014)	Piezometer	Δ NP (Updated on Decembre 2013)	Δ NP (Updated on Juin 2014)
BDC-2	11.66	20.14	BHVR5	..	8.47
BDC-3	26.85	19.59	BHRA3	..	7.96
BDC-4	20.09	15.77	BHRA1	..	6.15
BDC-5	24.94	12.38	BHVR2	..	7.87
BDC-6	5.36	-0.33	BHRA2	..	-7.45
BDC-7	12.43	12.75	BHRA4	..	16.47
BDC-8	31.58	2.49	BHVR1	..	8.24
BCD-9	-2.68	-0.55	BHLA3	..	-0.55
BCD-12	-0.33	-0.67	BHLA4	..	-0.43
BDC-13	-1.02	-1.18	BHVR4	..	-0.56
BDC-18	-0.61	-0.63	BHRA5	..	-6.98
BDC-19	-10.37	..			
BDC-23	8.29	..			
BDC-25	-33.05	..			
BDC-26	-33.37	-32.42			
BDC-27	-14.8	-13.99			
BDC-28	7.3	6.89			
BDC-32	33.57	34.27			
BDC43	10.99	..			
BDB-1	0.62	..			
EV2	..	1.41			
EV3	..	1.61			
EV10	..	3.39			
VF2	..	12.32			
VF3	..	11.82			
VF4	..	16.52			
BHVL1	..	-0.54			
BHLA1	..	-0.78			
BHLA2	..	7.77			
BHVR3	..	8.2			

- L1 --- Limite du remplissage alluvial et lacustre
- L2 --- Limite couverture quaternaire
- Artésianisme source
- Communication entre forages

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC									
COUNCIL FOR DEVELOPMENT & RECONSTRUCTION									
BARRAGE BISRI									
SITE DU BARRAGE				DRAWN					
SONDAGES ÉQUIPES EN PIEZOMETRES				CHECKED					
				APPROVED					
				SCALE		1/2 000			
		DATE		12/06/2014					
		FILENAME		PLan GG 23-13					
PROJECT			DIVISION			SHEET		REVISION	



AVAL

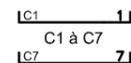


PUITS DE CONTRÔLE, CAMPAGNE 2014

- NTP8 Puits réalisés : NTP1 à NTP8
- NTP19 Puits en cours (Septembre 2014): NTP9 à NTP23

TABLEAUX DES COORDONNÉES (ETAT DU 4 SEPTEMBRE 2014)					OBSERVATION
PUITS	ZONE	X	Y	Z	
NTP1	S1/-A/B/C	-334204.15	-62028.56	415.33	REALISES
NTP2	N-1	-333852.51	-61528.41	412.71	
NTP3	S3	-333589.95	-61404.5	407.65	
NTP4		-333292.35	-61187.57	411.73	
NTP5	N-3	-333271.52	-61148.82	413.02	
NTP6		-333233.27	-61143.39	413.36	
NTP7		-333228.91	-61103.93	414.04	
NTP8	S-1/-A/B/C	-334208.48	-62113.25	414.78	EN COURS
NTP9	R-1/2	-333643.68	-61703.62		
NTP10	S-3	-333422.57	-61462.99		
NTP11		-333012.06	-61255.74		
NTP12	S-4	-333079.71	-61080.69		
NTP13	S-5B	-332484.71	-61016.47		
NTP14		-332066.5	-61049.06		
NTP15	S-6A	-331340.08	-61204.07		
NTP16	S-6B	-331122.89	-61154.55		
NTP17		-330891	-61189.66		
NTP18	R-8	-330871.87	-61041.77		
NTP19	N-1	-334077.4	-61647.86		
NTP20		-333764.72	-61464.92		
NTP21	N-2	-333446.35	-61229.3		
NTP22	R-5	-332303.88	-60868.05		
NTP23	R-6	-331773.19	-61074.16		

COUPES GEOLOGIQUES



1. SYMBOLES

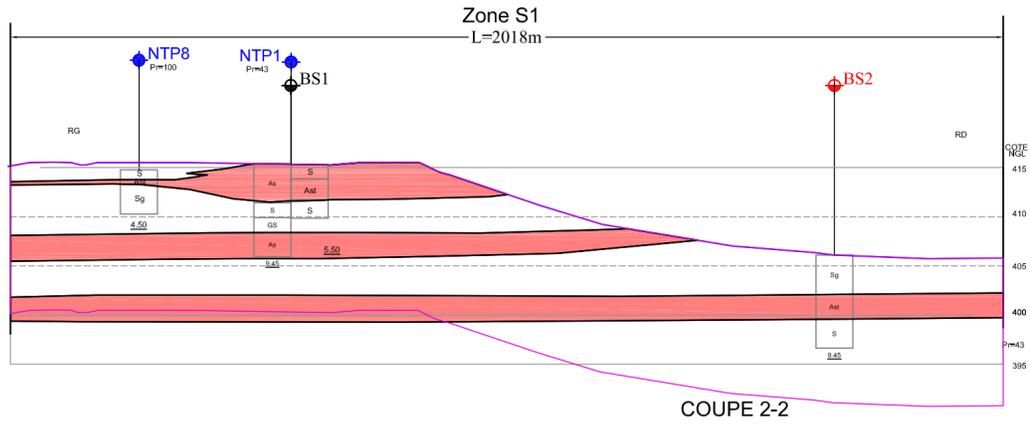
- ◆ TP51 IMPLANTATION DES PUIITS (CAMPAGNE DE 1996)
- ◆ BS1 OR BN1 IMPLANTATION DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES DES ZONES D'EMPRUNTS (S=SUD OUED; N=NORD OUED) (CAMPAGNE DE 1996).
- ◆ G1 IMPLANTATION DES POINTS D'ECHANTILLONNAGE EN SURFACE POUR LES ESSAIS DE LABORATOIRE (CAMPAGNE DE 1996).
- ▲ JS-9 LOCALISATION DES POINTS DE PRISE DES DIRECTIONS ET PENDAGE (CAMPAGNE DE 1996).
- GRILLE II QUADRILLAGE REPERE

2. SONDAGES ET PUIITS DE RECONNAISSANCE PAR MAILLE

GRILLE I	BS-1 BS-2	BN-1 BN-2	TP-68 TP-69 TP-70 TP-72 TP-73		
GRILLE II		BN-4	TP-64 TP-65 TP-66 TP-67 TP-71		
GRILLE III	BS-3 BS-4 BS-6	BN-3	TP-63 TP-97 TP-98	G1 G1A	
GRILLE IV	BS-5 BS-20	BN-5 BN-7	TP-74 TP-75 TP-76 TP-77 TP-78	TP-79 TP-92 TP-96 TP-100 TP-102	G2 G6
GRILLE V	BS-18 BS-19		TP-52 TP-53 TP-54	TP-55 TP-99 TP-103	G3 G3A
GRILLE VI			TP-51		
GRILLE VII			TP-56 TP-60		
GRILLE VIII	BS-16 BS-17		TP-106 TP-104		
GRILLE IX	BS-10		TP-57 TP-58 TP-59	TP-61 TP-89 TP-91	G4 G5 G5A
GRILLE X	BS-9 BS-15		TP-90		
GRILLE XI			TP-62		

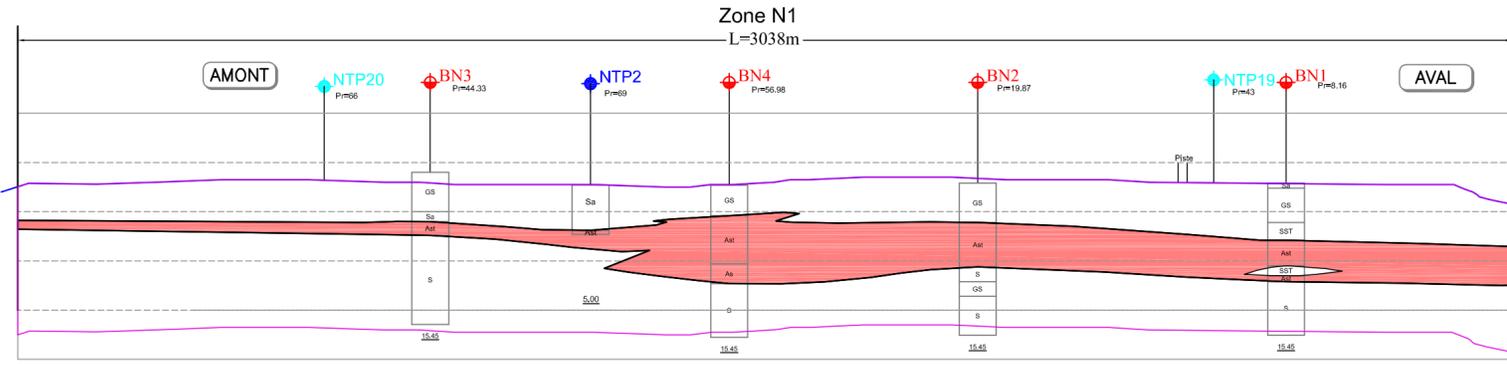
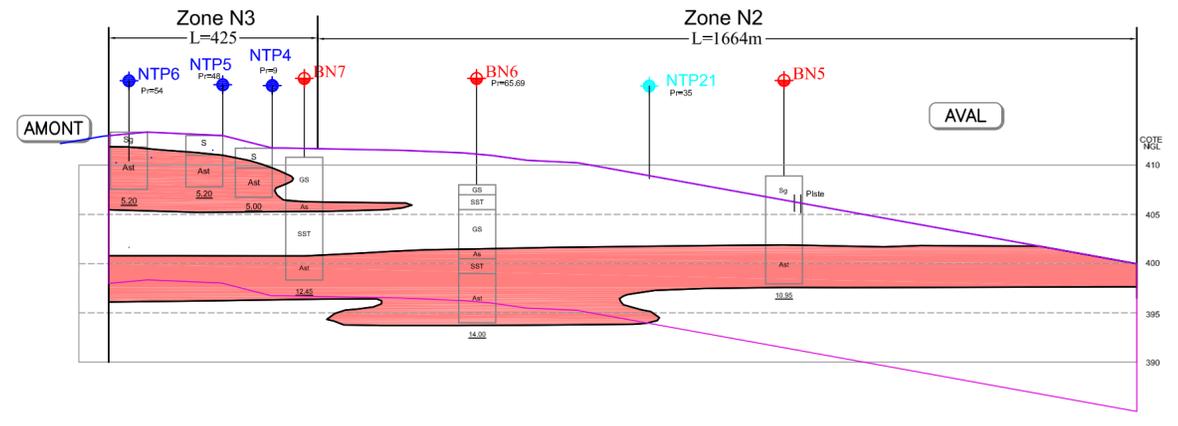
No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC									
LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
ZONES EMPRUNTS					DRAWN				
					CHECKED				
					APPROVED				
RECONNAISSANCES DE LA ZONE D'EMPRUNT EN CUVETTE					SCALE		1/12 000		
					DATE		17/01/2013		
					FILENAME		PLAN G- 14		
					PROJECT		DIVISION		SHEET

COUPE 1-1



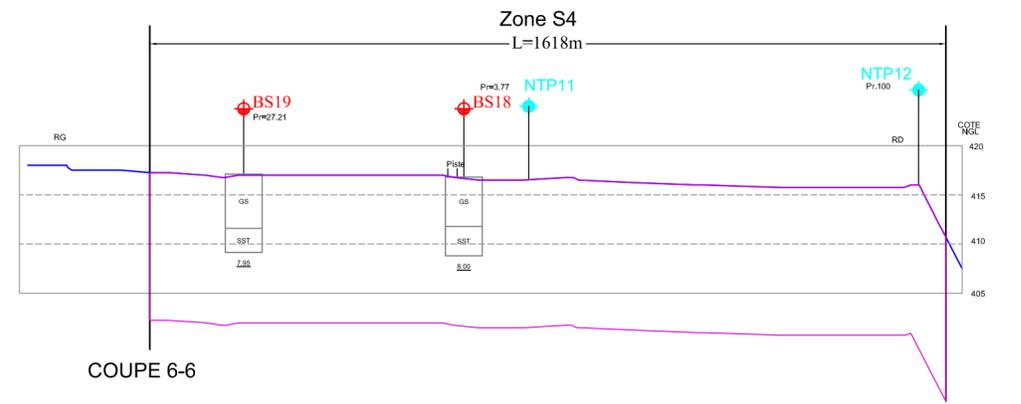
COUPE 2-2

COUPE 4-4

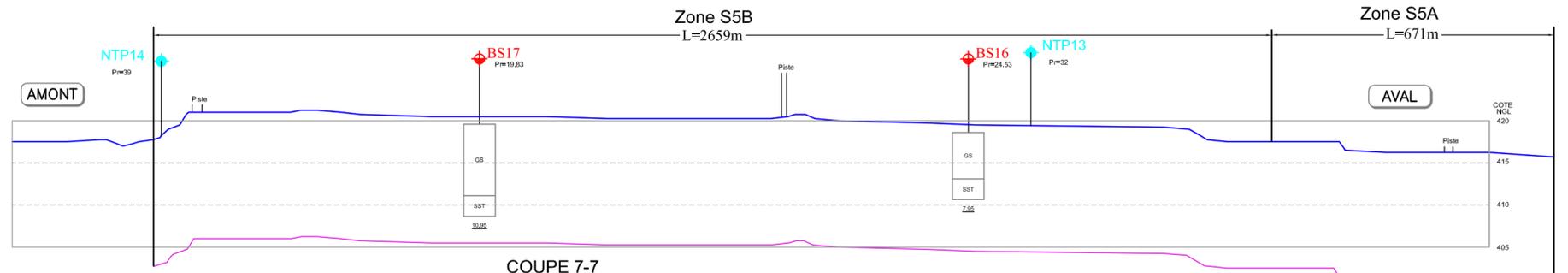
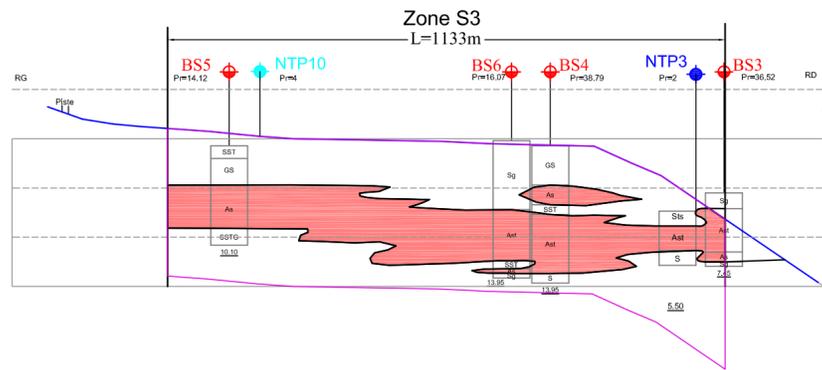


COUPE 3-3

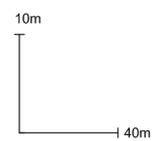
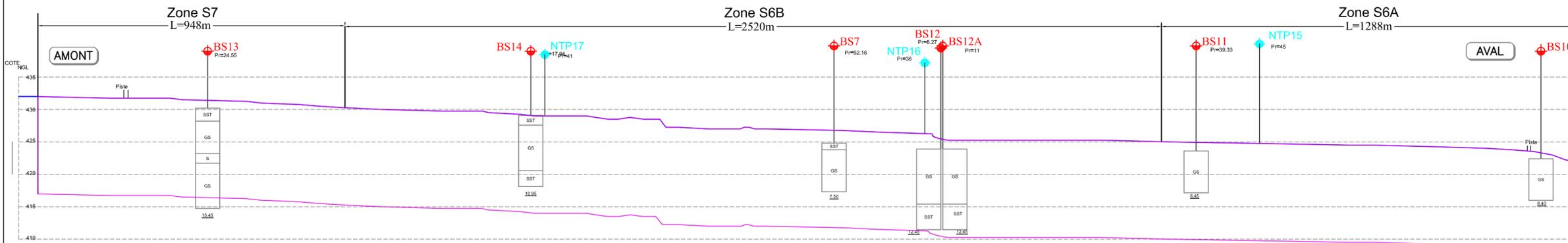
COUPE 5-5



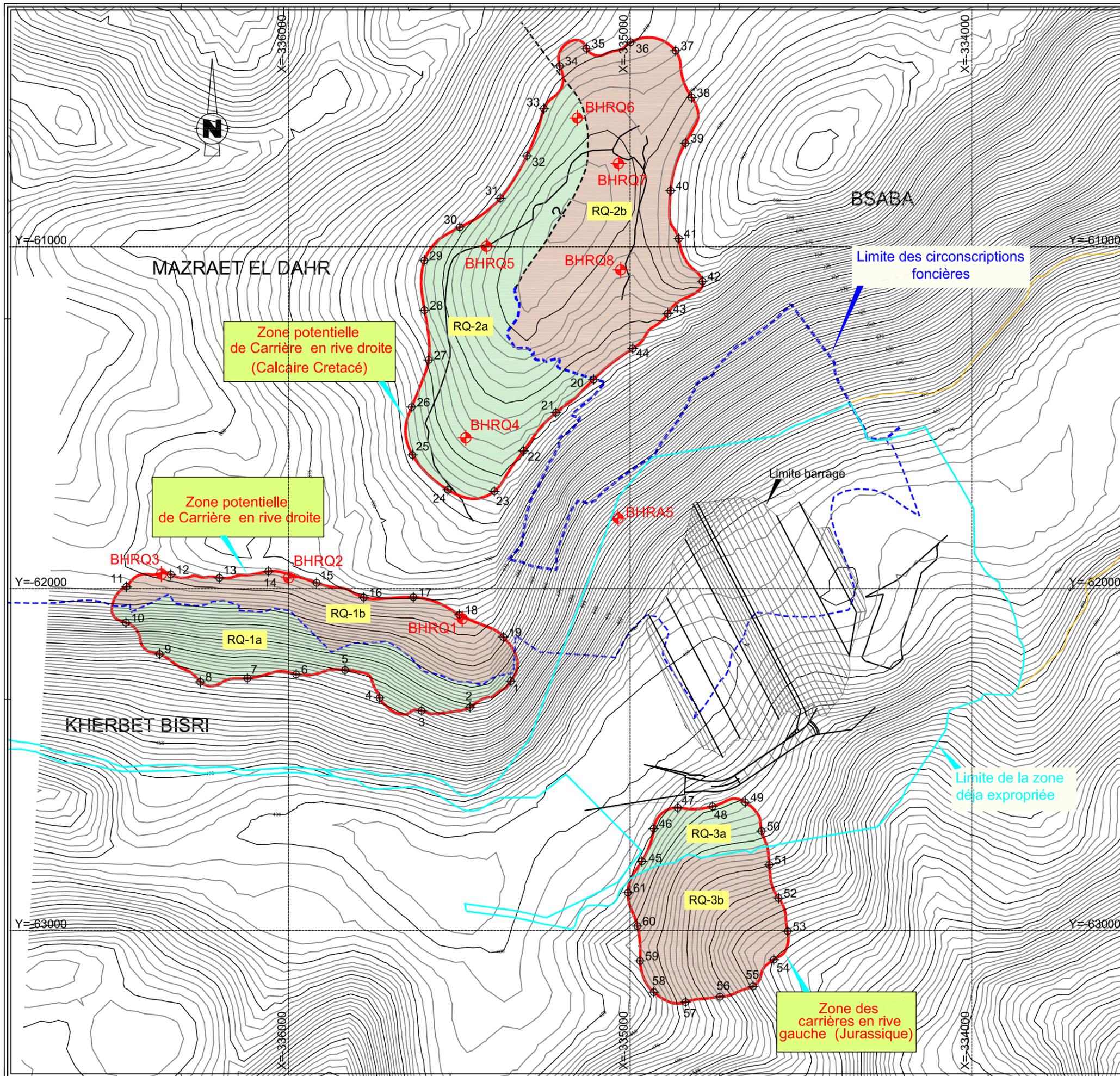
COUPE 6-6



COUPE 7-7



No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC									
LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
DAR AL HANDBAH NAZKI TALES & PARTNERS					NOVEC				
ZONES EMPRUNTS					DRAWN				
ZONE D'EMPRUNT EN CUVETTE COUPES					CHECKED				
					APPROVED				
					SCALE 1/12 000				
PROJECT					DATE 17/01/2013				
					FILENAME PLan GG 23-15				
DIVISION			SHEET		REVISION				

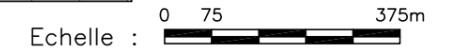


IMPLANTATION DES SITES DE CARRIERES POTENTIELLES

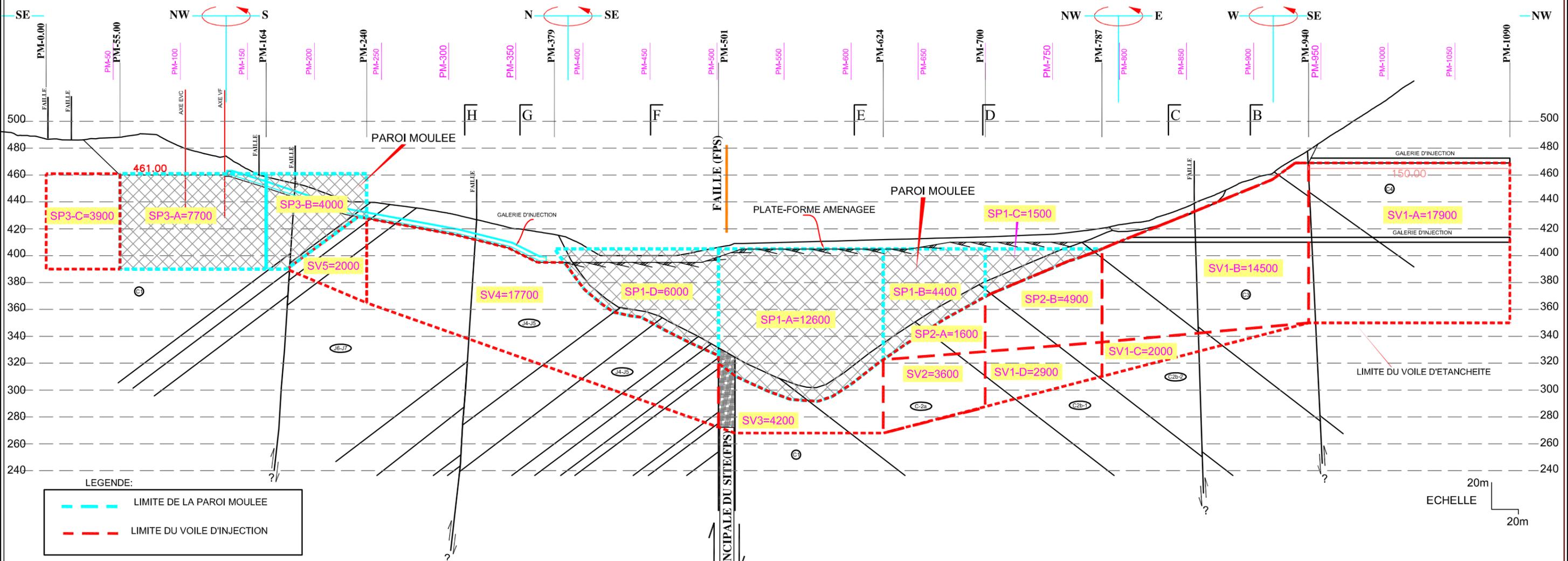
ZONES DE CARRIERES POTENTIELLES	Points	X	Y	Surface en (m2)
RQ-1a	1	-33548.846	-62270.322	157800
	2	-335468.454	-62346.735	
	3	-335610.337	-62357.144	
	4	-335718.306	-62319.757	
	5	-335833.985	-62238.103	
	6	-335977.441	-62250.96	
	7	-336119.767	-62262.413	
	8	-336257.963	-62272.75	
	9	-336377.358	-62191.155	
	10	-336479.612	-62099.807	
RQ-1b	11	-336479.612	-62099.807	149334
	12	-336444.404	-61958.587	
	13	-336202.1	-61968.622	
	14	-336058.404	-61949.315	
	15	-335917.432	-61983.123	
	16	-335779.644	-62025.745	
	17	-335634.195	-62025.131	
	18	-335499.72	-62076.598	
	19	-335370.739	-62141.867	
	20	-335107.2	-61388.488	
RQ-2a	21	-335216.852	-61485.534	322947
	22	-335311.554	-61596.908	
	23	-335997.231	-61715.612	
	24	-335534.403	-61711.114	
	25	-335617.182	-61609.218	
	26	-335639.101	-61469.158	
	27	-335589.302	-61341.254	
	28	-335601.523	-61185.52	
	29	-335602.311	-61040.339	
	30	-335498.429	-60942.971	
RQ-2b	31	-33579.683	-60958.364	337090
	32	-335301.799	-60734.247	
	33	-335252.209	-60556.222	
	34	-335205.824	-60471.544	
	35	-335127.55	-60420.116	
	36	-334998.715	-60402.163	
	37	-334866.743	-60426.924	
	38	-334819.518	-60563.923	
	39	-334838.203	-60696.976	
	40	-334881.395	-60836.165	
RQ-3a	41	-334857.402	-60976.312	48050
	42	-334788.112	-61101.14	
	43	-334889.709	-61195.611	
	44	-334921.551	-61257.714	
	45	-334865.053	-61297.697	
	46	-334930.404	-61202.022	
	47	-334860.196	-61640.793	
	48	-334758.606	-61637.254	
	49	-334662.934	-61624.799	
	50	-334614.942	-61709.021	
RQ-3b	51	-334502.558	-61808.034	163192
	52	-334565.424	-61905.043	
	53	-334538.75	-61802.102	
	54	-334579.349	-61805.473	
	55	-334639.906	-61613.109	
	56	-334756.83	-61593.818	
	57	-334857.818	-61509.407	
	58	-334919.598	-61180.246	
	59	-334970.633	-61089.033	
	60	-334978.482	-61087.22	
61	-335006.235	-61089.378		

COORDONNEES DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES

SONDAGES	X	Y	Z
BHRQ1	-335451.04	-62088.33	665.56
BHRQ2	-335099.13	-61968.09	665.29
BHRQ3	-336471.66	-61967.44	638.81
BHRQ4	-335480.98	-61538.92	730.08
BHRQ5	-335420.91	-60998.69	791.05
BHRQ6	-335154.16	-60628.51	799.1
BHRQ7	-335038.74	-60756.82	808.67
BHRQ8	-335027.6	-61067.72	787.57
BHRAS	-335035.02	-61764.23	544.4



No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC									
LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
 DAR AL HANDBAH NAZH TALIB & PARTNERS دار الحنابلة نازح طليب وشركاه					 NOVEC NOVE CONSULTING				
ZONES EMPRUNTS ARGILO-SABLO-GRAVELEUX ET CARRIERES D'ENROCHEMENT					DRAWN CHECKED APPROVED				
SITES DES CARRIERES POTENTIELLES -RECONNAISSANCES-					SCALE 1/5 000 DATE 17/07/2014 FILENAME PLAN G 23-16				
PROJECT		DIVISION		SHEET		REVISION			
								12/11/2014	



LEGENDE:

- LIMITE DE LA PAROI MOULEE
- LIMITE DU VOILE D'INJECTION

20m
ECHELLE
20m

VOILE D'INJECTION

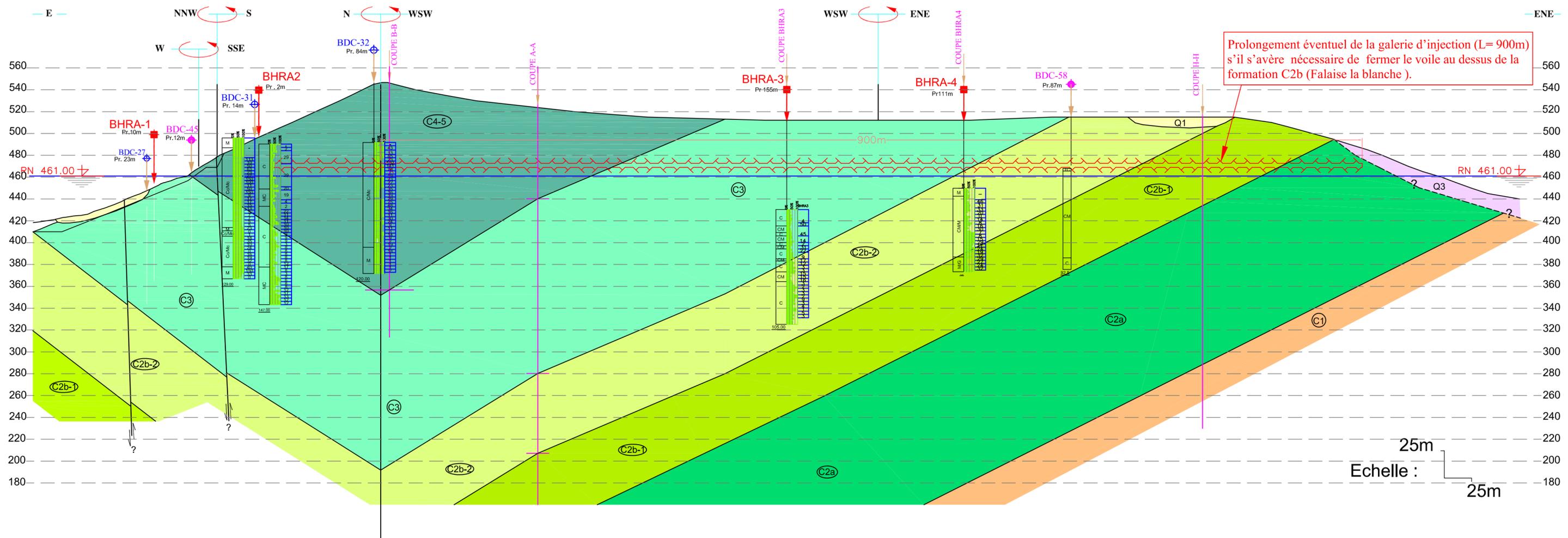
PM		GEOLOGIE	SURFACE	
DE	A		NOM	SURFACE(m2)
164	240	Calcaire	SV5	2000
240	501	Calcaire	SV4	17700
501	624	Calcaire et marne	SV3	4200
630	706	Calcaire et marne	SV2	3800
700	787	Calcaire et marne	SV1-D	2900
787	940	Calcaire et marne	SV1-B	14500
787	940	Calcaire et marne	SV1-C	2000
940	1090	Calcaire et marne	SV1-A	17900
Total en m ²				65000

Nota: la traversée des parois par les forages n'est pas prise en compte du fait qu'il y aura des réservations prévues à cet effet dans les parois.
 Dans le cas où la partie optionnelle de la paroi n'est pas réalisée, il faudra alors compter autant de m² de voile en plus côté rive droite, soit 5400m²

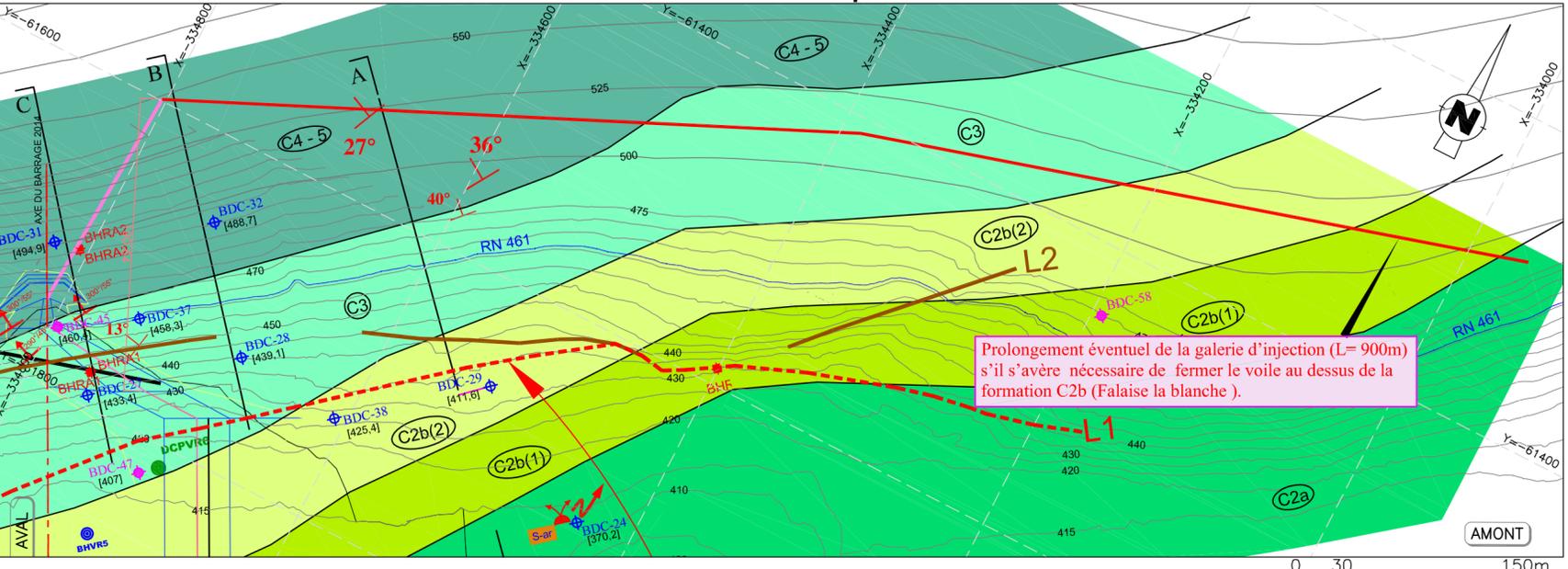
PAROI MOULEE

ZONE TRAITEE PAR	PM		GEOLOGIE	SURFACE	
	DE	A		NOM	SURFACE(m2)
Paroi rigide	0	55	Grès (C1)	SP3 C	3 900
	55	164	Grès (C1)	SP3 A	7 700
	164	240	Grès (C1) et Calcaire (J)	SP3 B	4 000
Total en m² (dont 4800 m² optionnels)				15 600	
Paroi moulée Souple (e=1.20m)	379	501	dépôt lacustre (Q)	SP1-D	6 000
	501	624	Dépôt lacustre et substratum	SP1-A	12 600
	624	700	Dépôt lacustre et substratum	SP1-B	4 400
	700	787	Dépôt lacustre et substratum	SP1-C	1 500
	624	700	Calcaire et marne (optionnel)	SP2-A	1 600
700	787	Calcaire et marne (optionnel)	SP2-B	4 900	
Total en m² (dont 5400 m² optionnels)				31 000	

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC
LEBANESE REPUBLIC									
LITANI RIVER AUTHORITY									
BARRAGE BISRI									
SITE DU BARRAGE						DRAWN			
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						CHECKED			
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						APPROVED			
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						SCALE		1/1 000	
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						DATE		10/09/2014	
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						FILENAME			
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						PROJECT		DIVISION	
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES						SHEET		REVISION	
PAROI MOULEE ET VOILE ESTIMATION DES SURFACES								14/11/2014	



Vue en plan



LEGENDE:

ÂGE	DESCRIPTION
COUVERTURE EN FOND DE VALLÉE	Q1 EBOULIS RECENT, D'ARGILE, SABLE ET DE BLOCS DE CALCAIRE
	Q2 SABLE SILTEUX
	Q3 ARGILE SILTEUSE
	Q4 LIMON, SABLE, GALETS, BLOCS(EBOULIS ET ALLUVIONS ANCIENS)
CRETACE SUPERIEUR	C4-5 CENOMNIEN - TURONIEN CALCAIRE BLANCHATRE, PEU DUR, A NIVEAUX CALCAIRES CRAYEUX ET CALCAIRE BEIGE-BLANCHATRE GENERALEMENT FISSURE ET FRACTURE
	C3 ALBIEN (BARRE A CARDIUM): CALCAIRE ORANGE-JAUNÂTRE, DUR, CRISTALLIN, KARSTIFIE MARNES ET MARNO-CALCAIRE VERT-JAUNÂTRE A ABONDANTES COQUILLES
	C2b-(1) APTIEN SUPERIEUR CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE). TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
	C2b-(2) APTIEN SUPERIEUR CALCAIRE LITHOGRAPHIQUE BEIGE A POINTS ROUGES A ORBITOLINES, CRISTALLIN, DUR, KARSTIFIE (C2b-1:FALAISE DE BLANCHE). TRES FRACTURE PREDOMINANCE DE MARNE AU C2b-2
CRETACE INFERIEUR	C2a APTIEN INFERIEUR (MARNE A PISOLITHES): ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE DE CALCAIRE GRESEUX DETRITIQUE, DE SABLE FERRUGINEUX GENERALEMENT PEU CIMENTE
	C1 GRES DE BASE : ALTERNANCE DE SABLE, D'ARGILE, DE MARNE, DE SABLE FERRUGINEUX, PEU CIMENTE
?	FAILLE

SONDAGES DE RECONNAISSANCES

ESSAIS D'EAU LUGEON

LEGENDE		QUATERNAIRE	
Eb-ALL	Eboulis / Alluvions anciens		
AL	Argile lacustre		
Sols lacustres et alluvionnaires:		CRETACE	
Sa	Sable argileux		
SL	Sable		
St	Silt		
Sst	Sable Silteux		
Cc	Calcaire crayeux		JURASSIQUE
Mv	Marne verdâtre		
G/M	Grès de base/Marne		
C	Calcaire		
Cs	Calcaire sableux		
Ck	Calcaire karstifié		
CO	Calcaire cochlithique		
Mch-M	Marne chocolat-Marne		

RECUPEURATION (%)

LITHOLOGIE SIMPLIFIEE

No	DATE	REV	TOP	GEO	CIV	ARCH	STRUCT	MECH	ELEC

LEBANESE REPUBLIC
LITANI RIVER AUTHORITY

BARRAGE BISRI

DAR AL HANASAH NAZH TALES & PARTNERS
دار الهندسة نزيه طالب وشركاه

NOVEC
CONSULTING ENGINEERS

EXTENSION DE L'EVENTUEL TRAITEMENT EN RIVE DROITE -PRINCIPE-	DRAWN		
	CHECKED		
	APPROVED		
	SCALE	1/1500	
EXTENSION DE L'EVENTUEL TRAITEMENT EN RIVE DROITE -PRINCIPE-	DATE	09/12/2014	
	FILENAME	Plan GG 23-18	
PROJECT	DIVISION	SHEET	REVISION

ANNEXE 2. REPORT ON THE NEO-TECTONIC SETTING AND SEISMIC SOURCES FOR THE SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF THEBISRI DAM SITE

Report on the Neo-Tectonic Setting and Seismic Sources for the Seismic Hazard Assessment of the Bisri Dam Site.

Ata Richard ELIAS, PhD.

August 2014



Index:

Report on the Neo-Tectonic Setting and Seismic Sources for the Seismic Hazard Assessment of the Bisri Dam Site..... 1

Preamble: 2

Summary of findings:..... 3

A- Review of the tectonic structures and seismic sources of the Bisri Dam site: 4

B- The seismic design criteria of the corresponding faults:..... 7

C- Investigating the extension of the Roum Fault under the Bisri Dam site: 8

- Previous studies: 8

-Work method:..... 9

-The Roum Fault zone within the accepted structural model of South Lebanon: 10

-The alluvial infill:..... 12

- The geomorphology of Marj Bisri: 12

References: 20

Figure 1 a- Modified from Elias et al 2007, The Bisri Dam site (blue star) within the tectonic map of Lebanon. Red lines are for active faults. Dashed red line is for the Mt-Lebanon Flexure mapped on the surface geology. Gray shadow represents the ramp surface of the MLT in the sub-surface. (R.F. = Roum Fault; DBF= Damour Beiteddine Fault) b- Interpretative NW-SE cross-section of Mt-Lebanon showing the deep structure of the range as estimated from surface geology. Depth of the faults are constrained from surface geology and stratigraphy only. (For location see black line on the map above) 16

Figure 2 - Estimated moment magnitudes for the three major faults in the area using regression relationship of Surface Rupture Length on Magnitude for different types of faulting (strike-slip, reverse and normal) (Wells and Coppersmith 1994)..... 17

Figure 3 Interpreted aerial photo of Marj Bisri area. Only the upper abandoned terrace is mapped. (Photo number 225, mission 1962, scale 1:25000). 17

Figure 4 Topographic map of Marj Bisri. Four different levels of abandoned river terraces are mapped with different colours. Red lines are for the inferred Roum Fault mapping from previous geological studies of the Dam project. 18

Figure 5 Upper abandoned terrace from the northern river bank, located by red star on Fig4. Red line is for inferred Roum Fault from previous studies. 19

Figure 6 Picture of the Houarit surface showing the absence of any vertical offset of the surface. For location refer to red circle on Fig4. 19

Preamble:

The below is the final report on the assessment of the neo-tectonic setting of the Bisri Dam site and the nearby seismic sources for use in Seismic Hazard assessment of the dam.

Summary of findings:

- 1- Some of the parameters used for characterizing the major faults were reviewed based on modern and latest accepted models of the geology and tectonics of the region. The Length of the Yammouneh Fault considered in previous geological reports equal to the length of the entire transform plate boundary between the Red Sea and Anatolia is revised. In our opinion and given the widely accepted standards and rules in Seismotectonics, this is an exaggeration of the possible rupture length. Adopting a smaller and more realistic value of 200km of length, resulted in a reduction of the MCE for the Yammouneh Fault to 7.9 in compliance with the definitions set by ICOLD 2010 guidelines.***
- 2- We identified the MLT ramp as a new seismic source that can affect the Dam site and characterized its hazard. This is a blind sub-surface thrust ramp that lies below the northern part of the Dam site and is capable of generating MCE of 7.8. Special care should be given when considering the GMPEs of this source because of its special geometry (a thrust).***
- 3- No proof of major active faulting related to the inferred fault below the Dam site was found in the geomorphology or geology of the site. In particular there is no evidence supporting the 3m fault offset under the Dam site.***
- 4- No convincing evidence was found in support of the continuation of the Roum Fault under the sedimentary cover of the Bisri valley.***
- 5- Instead, the gathered data suggest that no active major fault runs under the Marj Bisri valley.***
- 6- Given the important erosion/deposition rates within the valley, the possibility that surface expression of other, less active, deep-seated faults may have been smoothed and covered cannot be totally ruled out. These faults – if they exist – have very limited extent with little to no long-term effects on the Marj-Bisri geology and morphology.***

A- Review of the tectonic structures and seismic sources of the Bisri Dam site:

The Bisri Dam site is located in the Southern Central Mount-Lebanon area, ~15km east of Saida and at midway to the Yammouneh plate boundary located another ~12km east of the Dam-site.

The main tectonic elements in the geology of the area are:

- **The Yammouneh Fault:** is the local segment of the large Arabia/Nubia, dominantly left-lateral, plate boundary in the Eastern Mediterranean area that stretches from the Red Sea south to the East Anatolian Fault in the north. This plate boundary, also known as the Levant Fault System or Dead-Sea Transform is ~1100km long. The Yammouneh Fault is the main local segment of the system and extends in a straight and almost continuous line over ~200km from Huleh basin in the South to Boukaia basin in the north. Because of its N25-30E strike the fault represents a major irregularity (a right bend) in the geometry of the plate boundary. The fault is seismically active and has produced major earthquakes the latest and strongest is $M \sim 7.6$, 1202 event, with a coseismic slip of 5-6m (Daeron et al 2007). The fault has a slip rate of 4-6mm/yr (Daeron et al 2004, Gomez et al 2007). Because of the irregularity in the fault geometry within the LFS, the fault ruptures associated with seismic events are not likely to extend far beyond the limits of this segment (Daeron et al 2007). The Yammouneh Fault is at ~12km from the Dam site.
- **The Mount-Lebanon Thrust (MLT)** is a thrust system that accommodates shortening associated with the Lebanese Restraining Bend of the Levant Fault System (Tapponnier et al. 2001a, Daeron et al 2004, Elias et al 2007). This shortening perpendicular to the Yammouneh Fault is obvious in the surface geology and structuring of the ranges (Elias et al 2003) and was also demonstrated using geodetic measurements as well (Gomez et al 2007). The main MLT fault is an east-dipping thrust ramp that offsets the seafloor offshore Lebanon and is connected at depth with the Yammouneh Fault. The surface

expression of this deep ramp is the Lebanese Flexure, a relatively well localized zone of important westward increase of the structural dips of all geological layers that can be mapped over the entire western Lebanon between the coastal Chouf area, north of the Bisri valley in the south and the extreme north of Lebanon in Akkar where the flexure re-connects with the Yammouneh Fault (Fig1a). This Flexure corresponds also with important increase in elevation of the topography to the east, relatively to the western compartment (Fig1b). It represents the western boundary of the high relief of Mount-Lebanon range and thus can be associated with its build-up. The Mount-Lebanon Thrust ramp is mostly a blind fault onshore, the ramp cuts the surface in the offshore. Evidence of rupture of the Quaternary and recent marine sediments at the tip of the MLT faults were observed during the SHALIMAR marine geophysical campaign (Elias et al. 2007, Carton et al 2009). The location of the offshore ruptures and faults corresponds with the observed uplift of the shoreline as indicated by stairs of uplifted marine terraces (Elias et al 2007). A complex system of offshore thrust faults is also associated with the MLT (Fig1a). The MLT and the Flexure run alongside each other over the entire Lebanese coast between Saida and Tripoli. This 40-45°, east-dipping thrust ramp mostly located in the upper, seismogenic, ~16km of the crust (Fig1b) has a vertical slip-rate ~1.5 mm/yr (Elias et al 2007). Although at depth the ramp merges with the Yammouneh Fault, the transfer of slip between the offshore ramp and the onshore compressive structures such as the Roum and Akkar Faults happens over lateral fault ramps such as the Aabdeh fault in the north and Roum Fault in the south. The junction between this Thrust System offshore and its onshore counterpart in the Roum Fault area is complex and not very well known (see below). The Bisri Dam site is located at a distance south of the MLT ramp in the transfer area between the MLT and the Roum Fault (Fig1a). A geological cross-section of the area at the south end of the ramp helps constrain the geometry of the ramp at depth (Fig1b). The key elements of the cross-section are the location of the fault on the seafloor and within its sediments as revealed by geophysical data from the offshore, and the position and attitude of the Lebanese Flexure and associated structures onland as well as known stratigraphic constrains of the local geology such as thickness of the

geological units. The resulting cross-section gives a first approximate estimation of the depth to the base of the ramp located between 16 and 18km depth. The deeper geometry connecting with the Yammouneh Fault is poorly constrained but is of lesser importance for seismic hazard as it is considered to lie entirely outside the seismogenic layer. The $M \sim 7.5$, AD 551 earthquake is the best-known event associated with this fault system. It ruptured the entire ramp where possible co-seismic rupture between 2-3 m was also inferred based on measured uplift indicators along the shoreline between Tripoli and Saida (Elias et al 2007). The surface rupture of this event was located in the offshore at the tip of the main ramp and further away on some of the smaller thrusts located in front of it (to the west). Based on the mapped fault trace the expected MLT co-seismic rupture can therefore be at least 40km away from the Dam site.

- **The Roum Fault** is a secondary branch of the Plate Boundary that splays into the Lebanon at Huleh south. It has a N-S strike over most of its 35km length. The fault is considered as mostly left-lateral strike-slip with a compressive component increasing towards the north. All known geological mapping literature concur that the Roum Fault doesn't reach beyond the Awali river (the Dam site) as it merges into the Jezzine Anticline south of the Awali. The Mazraa or Chouf Monocline to the north would correspond to its northern structural equivalent (Dubertret 1955, Nemer & Meghraoui 2006, Elias et al 2006). The generally accepted mapping of the Roum Fault is the one based on the geological mapping of the pioneering work done by Louis Dubertret in the 1960s. More recently, within the discovery of the Mount-Lebanon Thrust system located mostly offshore and responsible for the growth of the range, the Roum Fault was reinterpreted as a lateral ramp of this system (Daeron 2005, Elias 2006). This requires the presence of slip transfer between Roum and the offshore thrusts in southern Lebanon. The structures accommodating this transfer are still poorly known. The slip transfer may be accommodated by diffuse deformation on small scale structures. The mapping of Roum fault as done by Daeron (2005) simply reflects this theoretical model and not a ground based structural mapping of the

fault trace in the area. No major and continuous structure accommodating the transfer is known from the geology that could represent an important seismic threat for the Bisri area. The geological fault as mapped by Dubertret should serve best for the seismic design of the Dam site.

The Roum Fault is seismically active. It has produced the two most recent destructive earthquakes onshore Lebanon the $M \sim 7$, 1837 and the $M \sim 5.7$, 1956 events. Its horizontal slip rate is $\sim 1\text{mm/yr}$. The mapped geological fault trace stops $\sim 2\text{km}$ south of the Dam-site. Continuation of the fault further north into the Bisri valley was suggested by previous site investigations conducted within the frame of this project. Our own re-assessment of the geology of the area found no evidence of possible active faulting associated with the faults inferred by these studies (to be detailed later). In particular our results question the validity of the suggested 3m of possible offset under the dam.

- Other smaller faults are also present in the vicinity of the dam-site but are of much less significance for the seismic hazard of the dam area. In particular it is worthy to note the existence of a set of E-W to NW-SE faults that appear to offset the Lower and Middle Cretaceous and die out in the upper (Paleozoic) layers. These faults are associated with growth evidence in the Mesozoic times and are considered to be inactive at present. This type of faults is very dominant in the geology of the Chouf area in particular and western Lebanon in general (Dubertret 1955, Elias 2006, Hajj-Chehadeh & Elias 2014).

B- The seismic design criteria of the corresponding faults:

The instrumental seismicity of Lebanon and the area is poorly constrained. Large uncertainties reside in the available earthquake catalogues and no reliable information can be extracted for statistically analyzing the frequency-magnitude relationships for earthquakes in the area. However the historical record of around 2 millennia covers the entire seismic cycle span of most of these faults as shown by paleoseismic studies. Therefore, the maximum observed magnitudes are the best possible approximations of the

Mmax values. Systematically a value of 0.3 units of magnitude can be added to account for uncertainties and variability of earthquake events. Scaling laws as in Wells and Coppersmith (1994) can be used as guidelines or for sanity check in estimating plausible maximum earthquake magnitudes on the different faults.

From the above we can set the following seismic criteria for the area:

	Maximum Observed (Mw)	MCE	Type of faults
Yammouneh Fault	7.6	7.9	Strike-slip
Roum Fault	7.0	7.3	Strike-slip
MLT ramp	7.5	7.8	Thrust

As for the Operating Basis Earthquake, the best estimation for a magnitude with a return period of 144 yrs is exactly the latest strongest observed in this area, given the quality of instrumental data available compared with the long recurrence intervals of earthquakes on the present faults. Therefore the OBE should be the M= 5.7+0.3 event of 1956 on the Roum Fault.

C- Investigating the extension of the Roum Fault under the Bisri Dam site:

- Previous studies:

Correlation of logs from wells drilled inside the Marj Bisri revealed differences in the age of the underlying substratum that suggest the presence of faulting in the bedrock under the mid valley floor under the Dam site. The inferred mapped fault trace strikes NE-SW and then bends to the right in a more E-W direction. Interpretation of the geology shown on all the sections (A-A, B-B, C-C, D-D and E-E in DAHNT/NOVEC 2013) suggests that the fault accommodates vertical slip with eastern/southern block moving up. The geological reports suggest this to be the continuation of Roum Fault in the area.

In the Section 3 (Seismotectonics and Seismic Criteria) of Appendix-A of the Feasibility Report, Paragraph 3.4.3 refers to field investigations done

Moreover, previous geological reports from field surveys in 1983 mention “possible evidence of fault movement” uncovered in two test pits, TP-17 and TP-21, located towards the center of the valley¹. They report the presence of abnormal dips in clay seams interpreted as possible evidence of fault movement. During field investigations undertaken in 1994 two trenches T1 and T2 were excavated on the northern side of the valley at the edge of the alluvial infill on the highest of the riverbed terraces². In Trench T2 oriented NE-SW and located closest to the talus of the northern flank of the valley, a 20-30cm vertical offset of the infill layers were uncovered and interpreted as evidence of fault ruptures. The suspected fault was assumed to be a subsidiary of Roum and this overall setting was considered as an evidence for the presence of an active Roum fault under the Dam site. These conclusions raise serious questions: What justifies the choice of the two trenching sites, especially that they are located away from the location of the TP-17 and TP-21 where the possible evidence of fault movement was first observed? How is this suggested fault connected with Roum fault? What is the structural relationship between these two hypothetical faults?

Very little information about this particular aspect of the original fieldwork in 1983 and 1994 was available to us. Given the location of the trenches T1 and T2 at the base of the talus of the northern valley flank, the observed offsets are most probably due to slope failure or slope erosion and deposition processes, and does not necessitate the presence of a tectonic fault underneath. Moreover that no lateral extension of this assumed fault was presented on any of the geological documents from previous surveys reveals the difficulty to have an active fault in that area.

-Work method:

We conducted a geological study of the Marj Bisri area in order to constrain the presence of the Roum Fault or any other fault that cut through the site and to characterize its activity.

¹ Bisri Dam Feasibility Report, Appendix-A, Section 3 - Seismotectonics and Seismic Criteria, Paragraph 3.4.3.

² Figure A4-4-Geologic Section and Boring Location Plan, *in* Appendix-A of the Feasibility Report

The study included review of available geological documents related to the area, and inspection of topographic maps, satellite images and other remote sensing products. In particular the analysis of aerial photos numbers 223, 224 and 225 of the region taken in 1962, revealed to be very useful because of the good exposures of the geological outcrops and morphology at a time before the development of heavy vegetation cover. The desk study was also combined with field visits to the area in May 2014.

-The Roum Fault zone within the accepted structural model of South Lebanon:

The Roum Fault was first considered a branch of the active Dead Sea plate boundary in Lebanon. Its North-South strike was considered by some authors to be the only active branch of the plate boundary (Girdler 1990) extending northward under Beirut area, and continuing offshore over the seafloor towards Cyprus (Butler & Spencer 1998).

Recent tectonic research shows that the Yammouneh Fault is the main active segment of the Arabia/Sinai plate boundary in Lebanon accommodating most of the strike-slip plate motion (Daeron et al 2004). Geophysical data acquired offshore Lebanon show undeniably that the Roum Fault does not cut the sea floor. Geodetic and paleoseismic investigations in Lebanon and on the Roum Fault in particular show that the latter is accommodating a minor component of strike-slip as well as a compressive component.

The Roum Fault with an oblique reverse/left-lateral component of slip is the main topographic boundary in the region of south Lebanon separating the high relief area of south Barouk and Mt-Lebanon range to the east, from the relatively flat, low lying and mostly tabular Nabatiyeh plateau to the west (Fig 1).

The fault trace is clearly mapped in a ~N-S direction in its southern segment between Marjeyoun and Jbaa where it has mostly a strike-slip character. North of Jbaa the fault changes direction into a N10-16E and has a less clear geological surface trace where it becomes dominantly compressive and merges with the broad and asymmetric Jezzine anticline. The steep western limb of the anticline seems to be cut by the fault. Secondary folding probably related to frontal splays associated with the Roum fault are also observed to the west. However the intensity of the folding and compression seems to decrease northward and the steep structural dips of the Upper-Jurassic to Lower-Cretaceous units forming the western limb of the Jezzine anticline between Sniye and Aazour decrease to the

north near Bisri. The structural elevations also decrease northward: the top of the Upper-Jurassic (J7) layers located at a maximum of 900 masl west of Homsiyeh in the center of the anticline, is around 750 masl southeast of Taaid and decreases fast near Bisri. The periclinal closure of the Jezzine anticline starts at Bisri and is clearly observed in the structure of the northern flank of Ouadi Bisri between Bsaba and Jabal Baiqoun. The structural units of the anticline can be traced astride the valley continuously with no sign for interruption or offset. The hinge line of the Jezzine anticline extending around 9km in a ~N13E direction plunges steeply to the north.

Structural investigations in the Chouf area – north of Bisri Valley – found no continuation of the Roum Fault beyond the Bisri Valley. A smaller equivalent of a deep-seated thrust ramp under the Mazraa Flexure between Gharife and Beit-Eddine, may be the equivalent of the Roum fault under the Jezzine anticline but at a smaller scale and with no trace of surface faulting. Moreover no active fault from the area east or north of Marj Bisri can be a possible candidate for a possible continuation of the fault inferred to exist within the Marj.

The geology of the Chouf region in general and the Jezzine Bisri area in particular reveals the existence of an important number of small, mostly E-W to ESE-WNW striking, normal faults offsetting the Mesozoic geology. Where these faults are well developed they appear to end within the Upper Cretaceous layers. Offsets along these faults can be significant reaching sometimes around 300m of apparent vertical offset (Dubertret 1955, Hajj Chehadeh & Elias 2014). Structural studies (Dubertret 1955, Elias 2006, Homberg 2010) suggest that these are old Mesozoic normal faults inherited from the earliest phases of extension of the western Arabian continental margin. No evidence of recent tectonic activity can be associated with them. An extensive array of similar faults was mapped in the area in the previous geological studies done within the frame of the Bisri Dam Project³. Faulting of this type is suitably oriented to be responsible for the observed changes in the lithology of the substratum under the Dam site. In fact the inferred fault has a similar ~E-W trend as these old Mesozoic faults. Moreover not only the inferred fault trace is based on discrete observations done in wells with no direct continuity of observations, but it also results in a very unusual fault trace with almost a 90 degrees bend making its existence very doubtful given the structural difficulty to explain the occurrence of such a fault trace.

³ FigA2-1 Geological Map of Reservoir Area, in Bisri Dam feasibility report

-The alluvial infill:

The northern pericline of the Jezzine anticline is breached by the deep incision of the Bisri river. This incision is mostly the resultant of the waters from the Barouk-river as they reach the friable and weak lower Cretaceous sandstone layers downstream from Ouadi Bater. After flowing in an E-W direction over this Chouf Sandstone formation, the river leaves the Jezzine anticline through a breach in the steep western limb west of Bisri village. Downstream the Awali-river has a much narrower valley incised in the monotonous Mid-Cretaceous Cenomanian limestone layers. A number of slope failures – some of them of very large size – has contributed to the damming of the river flow at many times and places. In particular a clear large landslide east of Anane resulted in the flooding of the upstream Bisri valley and the accumulation of alluvials and lacustrine material in the deep valley. The geological and geotechnical studies in the Marj Bisri area presented in the Geological report of the Bisri Dam project suggest the existence of a maximum 135.16m of Quaternary deposits in the valley (DAHNT/NOVEC 2013 p14). This value also roughly corresponds to the difference in elevation between the mean altitude in Marj Bisri (~400m) and the altitude of the deep riverbed immediately downstream from the Anane landslide (~270m) suggesting there is no place for vertical offset of the deep substratum forming the floor of the valley under the Marj, which rules out the possibility of any activity on this inferred fault at least since the incision of the deep substratum and the filling of the valley.

- The geomorphology of Marj Bisri:

Three sets of river terraces were nested in the floodplain of the area since the river breached the damming landslide volume (Fig4). These terraces can be followed over much of the Bisri Valley floodplain but they are the most clear in the western half of Marj Bisri. The elevation of these terraces increases gradually from west to east along the river profile, as expected. However when the same terrace is considered over a segment of the river profile on both sides of the valley, they are always found to be at similar elevation⁴. Although different type of alluvials have been identified within the fill of the Marj, the surface of the terraces has leveled all of them independently of their type⁵ which indicates that the terraced morphology of the Marj results from a principal morphogenetic process and not a secondary result of the depositional processes.

⁴ Figure A4-2, Geological section Axis A, from the Bisri Dam Feasibility Report.

⁵ Section B-B, DAHNT/NOVEC 2013.

The water of the Bisri River is flowing within the limits of the lowest present terrace or active floodplain. It resulted in many small oxbow lakes and meander scars typical of meandering rivers. Comparison between present situation and aerial photos of the area taken in 1962, shows some important shifts in riverbed position suggesting important lateral erosion of the Bisri river within its lower, active floodplain.

Ouadi Houarit is a smaller branch of the Bisri Valley that opens south of Bisri village in N-S direction. It is caught between Taaid from the east and Arid Qdoum from the west. The valley is filled and covered by the same alluvials as Marj, where nested river terraces have developed. A large upper terrace – the Houarit terrace – is located over most of the surface of this valley, at around 415m asl. The Ouadi Houarit and Ouadi er Rejme are two seasonal streams that incise their streams inside this surface before converging with the Bisri-river.

The exact age of these alluvials and the terraces is not known. They are estimated to be Quaternary in age. In fact given the abundance of landslide scars on the valley flanks, and in particular on the southern flank were the nature and the important northward dip of the rocks is more prone to sliding, the filling of the valley may have happened in different stages as a result of many landslides. Part of this may have happened relatively recently as suggested by the presence of a buried archeological site of a Roman temple in the upper Marj Bisri (Aliquot 2009). However the steep incision of the river near El-Kherbe, exactly where it passes over the slid volume of Anane suggests that this landslide was the latest to dam the valley and to result in the flooding of the upper stream. When did this happen is unknown. Given the important thickness of the sediments the filling should have happened at least during the late Pleistocene.

Marj Bisri and Ouadi Houarit should have been simultaneously filled by alluvials during the same flooding process. But unlike the Marj, the erosion and incision power of the two small streams that cut through the Ouadi didn't affect much its geomorphology. The two streams are well entrenched in the Houarit surface and do not meander. The elevation and extent of the upper terraces are therefore well preserved and could be used as reliable indicators of any subsequent deformation in this area.

As mapped in previous geological reports for the Dam project, Roum Fault enters the Bisri Valley from Aazour in the south, in the Ouadi Houarit area. According to the geological

surveys presented in the previous reports of the Bisri Dam project, the fault continues in the infill of the valley, cuts through the subsurface of the entire Ouadi Houarit and Ouadi er Rejme in a NE-SW direction and continues west of the Bisri village into the wide Marj Bisri plain (Fig 4).

Mapping of the terraces in the Houarit area reveals no deformation effect that can be attributed to the Roum Fault inferred to be present in the infill of its subsurface. The risers of these terraces as well as the channels of the streams are continuous and show no deflection or offset in any horizontal or vertical direction. In particular, the completely abandoned upper Houarit terrace is perfectly flat and connects easily at the same elevation with the other upper terraces of the Marj with no vertical offset suggestive of a fault scarp associated with the deeply seated Roum Fault inferred from previous geological surveys to have a vertical, south block up, slip. The well-incised Ouadi er Rejme channel lies above the inferred Roum Fault trace, but shows no horizontal deflection or offset of its walls, neither does any of the channels incised in the abandoned terraces nor any of the risers (Fig 6). The absence of vertical or horizontal offset in these old and preserved geomorphic features rules out the possibility of the existence of any active fault in the subsurface infill or bedrock of this area. In fact such an active fault if present should have resulted throughout the successive surface seismic ruptures in the formation of fault scarps.

The same observations can also be extended to the wider Marj Bisri. Even though the erosion and deposition rates in this valley are important, the abandoned surface and edges of at least the upper terrace do not show any vertical or horizontal offset. The terraces stand at almost the same elevation on the opposite sides of the valley, and their lateral extension is evident with no interruption astride the mapped fault (Fig 4, 5). This proves that the fault mapped in the substratum had little to no effect on the surface geomorphic features and thus, if present, this fault can be safely considered seismically inactive.

Conclusion,

Different geological evidence and observations of various nature (structural, seismotectonic and geomorphic) from the area are hard to reconcile with the assumption that an active fault runs in the subsurface of the Marj Bisri. In particular the Roum Fault does not appear to

continue in the Marj. There is no evidence for 3m of fault offset associated with any known fault under the dam site. Some minor and small faults with very low tectonic deformation rate, accommodating syn- or post depositional deformation in the thick sedimentary infill or stress within the Jezzine anticline or at the tip of the Roum Fault, may exist in the subsurface of the Marj. Their surface expression leveled by the much more active geomorphic surface processes. If so these faults are very likely of small extent and should not represent a serious tectonic hazard to the region.

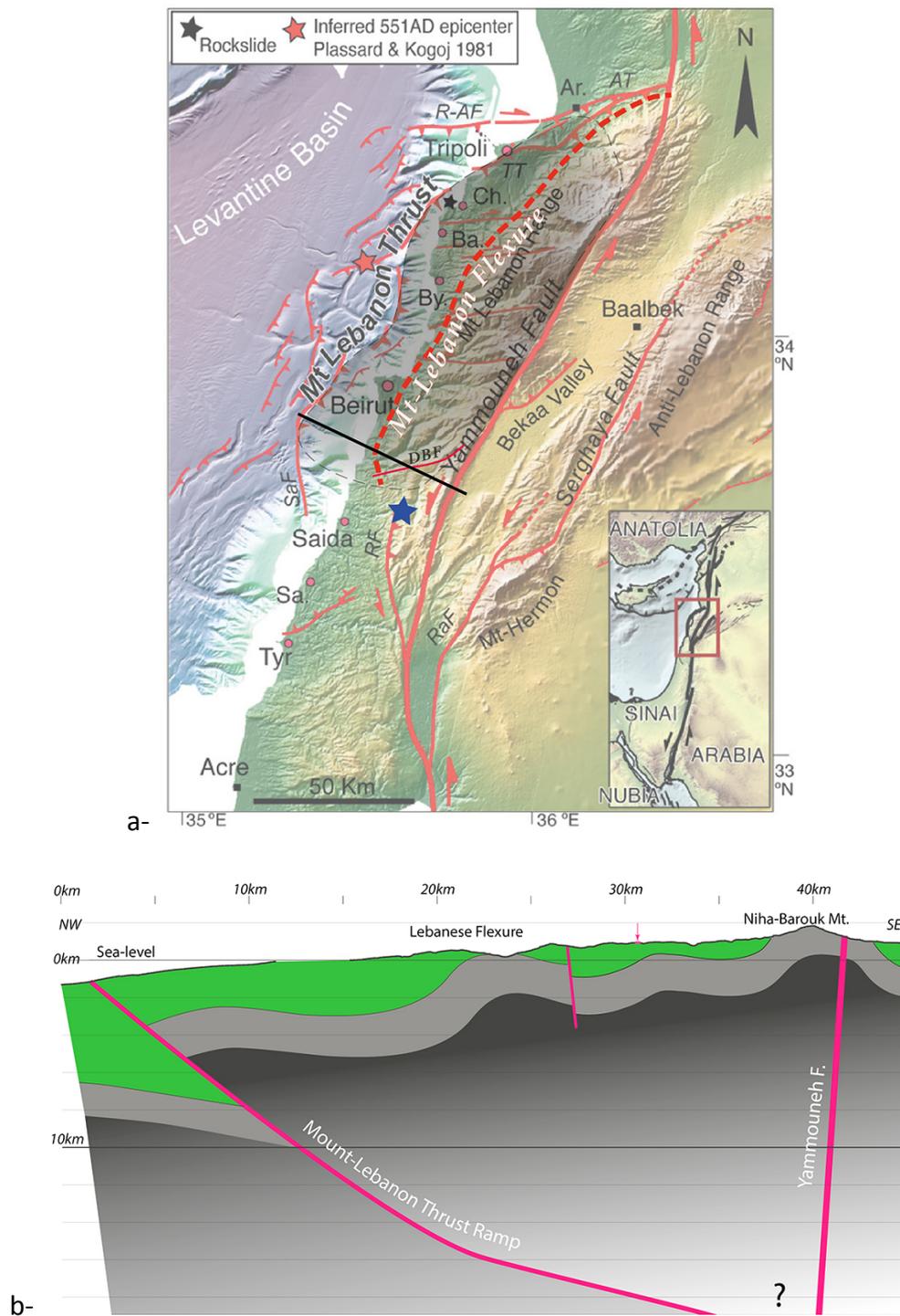


Figure 1 a- Modified from Elias et al 2007, The Bisri Dam site (blue star) within the tectonic map of Lebanon. Red lines are for active faults. Dashed red line is for the Mt-Lebanon Flexure mapped on the surface geology. Gray shadow represents the ramp surface of the MLT in the sub-surface. (R.F. = Roum Fault; DBF= Damour Beiteddine Fault) b- Interpretative NW-SE cross-section of Mt-Lebanon showing the deep structure of the range as estimated from surface geology. Depth of the faults are constrained from surface geology and stratigraphy only. (For location see black line on the map above)

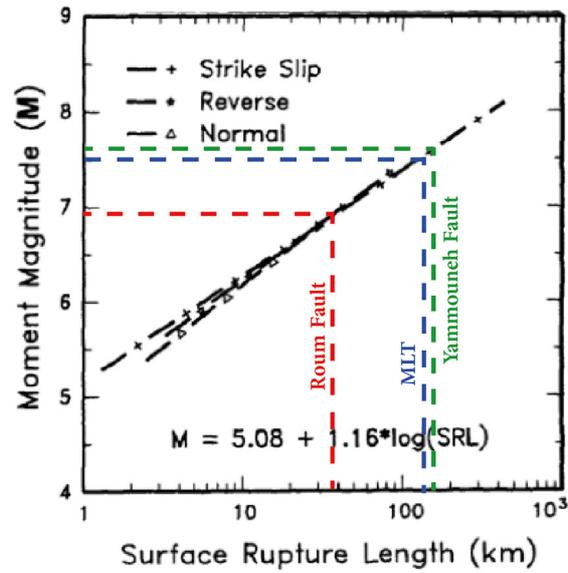


Figure 2 - Estimated moment magnitudes for the three major faults in the area using regression relationship of Surface Rupture Length on Magnitude for different types of faulting (strike-slip, reverse and normal) (Wells and Coppersmith 1994).



Figure 3 Interpreted aerial photo of Marj Bisri area. Only the upper abandoned terrace is mapped. (Photo number 225, mission 1962, scale 1:25000).

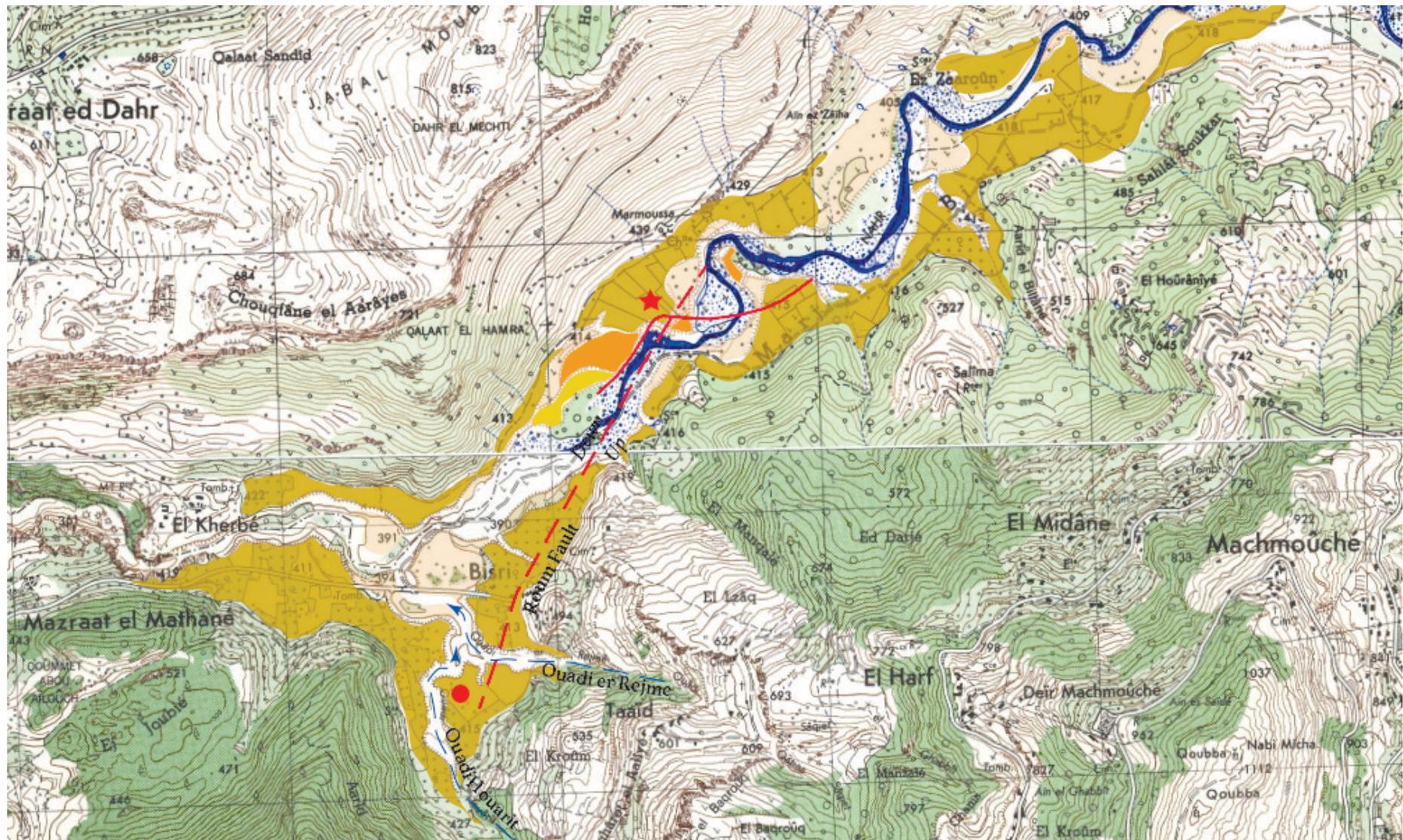


Figure 4 Topographic map of Marj Bisri. Four different levels of abandoned river terraces are mapped with different colours. Red lines are for the inferred Roubi Fault mapping from previous geological studies of the Dam project.



Figure 5 Upper abandoned terrace from the northern river bank, located by red star on Fig4. Red line is for inferred Rourm Fault from previous studies.



Figure 6 Picture of the Houarit surface showing the absence of any vertical offset of the surface. For location refer to red circle on Fig4.

References:

- Aliquot, Julien (2009) *La Vie religieuse au Liban sous l'Empire romain*, Presses de l'Ifpo.
- Butler, R.W.H. & Spencer, S. (1998). Structural evolution of a transform restraining bend - transpression on the Lebanese sector of the Dead Sea Fault System. In: *Continental transpressional and transtensional tectonics* (ed. R.E. Holdsworth, R.A. Strachan & J.F. Dewey) *Spec. Publs. Geol. Soc. London* **135**, 81-106.
- Carton, H., Singh, S.C., Tapponnier, P., Elias, A., Briais, A., Sursock, A., Jomaa, R., King, G.C.P., Daëron, M., Jacques, E., Barrier, L. (2009) "Seismic evidence for Neogene and active shortening offshore Lebanon (SHALIMAR cruise)", *Journal of Geophysical Research* VOL. 114, B07407, doi:10.1029/2007JB005391.
- Dubertret, Louis (1955), *Geological Map of Jezzine*, Ministry of Public Works, Republic of Lebanon – Beirut.
- Daeron, M. et al (2004) Constraints on the post w25-ka slip rate of the Yammouneh fault (Lebanon) using in situ cosmogenic ³⁶Cl dating of offset limestone-clast fans. *Earth and Planetary Science Letters* 227, 105-119.
- Daeron, M. et al (2005) Sources of the large A.D. 1202 and 1759 Near East earthquakes. *Geology* 33, 529-532.
- Daeron, M. (2005) Role, cinématique et comportement sismique a long terme de la faille de Yammouneh, principale branche décrochante du coude transpressif libanais (faille du Levant), Institut de Physique du Globe a Paris.
- Elias, A., Tapponnier, P., Daeron, M., Jacques, E., Sursock, A., King, G., 2003, "Quaternary deformations associated with the Tripoli-Roum thrust, and the rise of the Lebanese coast." *Geophysical Research Abstracts*, vol. 5, EGS, abstract no 10137
- Elias, A. 2006. Le chevauchement de Tripoli-Saïda : croissance du Mont-Liban et risque sismique. Institut de Physique du Globe a Paris.
- Elias, A. et al (2007) Active thrusting offshore Mount Lebanon: source of the tsunamigenic A.D. 551 Beirut-Tripoli earthquake. *Geology*, 35, 755-758
- Gomez, F. et al (2007) Global Positioning System measurements of strain accumulation and slip transfer through the restraining bend along the Dead Sea fault system in Lebanon. *Geophysical Journal International*, 168, 1021-1028.
- Girdler, R.W. (1990), The Dead Sea transform fault system. *Tectonophysics*, 180, 1-13.
- Hajj-Chehadeh & Elias (2014) The Damour Beit Ed Dine Fault and the tectonics of the Southern Central Mount-Lebanon. AAPG abstract.
- DAHNT/NOVEC (2013), Rapport de presentation et de justification des adaptations recommandées, Mission II.
- Homberg, C. et al (2010) Tectonic evolution of the central Levant domain (Lebanon) since Mesozoic time, *GSL Special Publications* 2010 vol 341, 245-268.
- Nemer, T. and M. Meghraoui (2006) Evidence of coseismic ruptures along the Roum fault (Lebanon): a possible source for the AD 1837 earthquake *Journal of Structural Geology* 28, 1483-1495
- Tapponnier, P. et al (2001) Active faulting and seismic hazard in Lebanon. *Journal of conference abstracts*, 6, EUG XI.
- Wells & Coppersmith (1994) New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *BSSA* 84, 974-1002.

ANNEXE 3. CD POUR LES RAPPORTS
GEOTECHNIQUES, LES LOGS DES
PUITS ET DES SONDAGES DE
RECONNAISSANCES ET LES
ESSAIS (GEOTECHNICAL REPORT
NO. I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX,
X, XI AND XII)