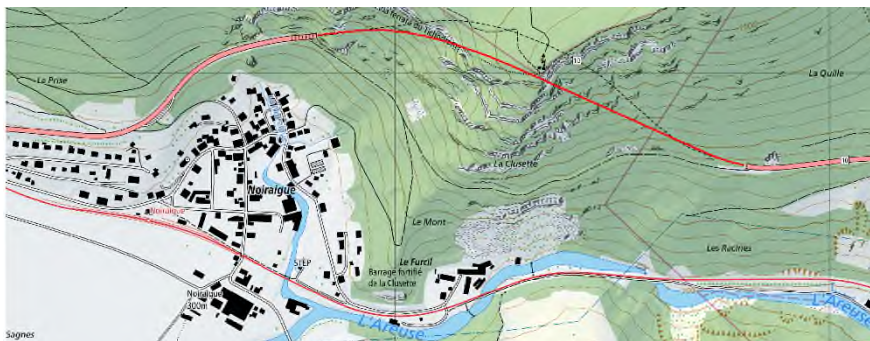


# Routes principales suisses

## H10



## Tunnel de la Clusette

### Profil géologique

Objet / Lot :

PR : 23+680 à 24+788

Communes de Brot-Dessous et de Noiraigue

Longueur de l'aménagement : 1108 m.

## Projet de percement d'une galerie de sécurité

H10 Assainissement et sécurisation du tunnel de la Clusette

## Rapport géologique et hydrogéologique

Auteur du document :



MFR Géologie-Géotechnique SA  
Rue de la Charrière 50  
2300 La Chaux-de-Fonds

Dossier N° (interne) :

BO/01.02/I-RC.010.0010.01.00/0800

Document / plan N° (interne) :

09.0800/2000-1

	Indice -	Indice A	Indice B	Indice C	Indice D	Dossier N° (auteur) :	16MFRB-1690
Date	07.2017					Document / plan N° (auteur) :	-
Des. / Réd.	CR/CB					Format :	A4
Contrôlé	CR					Echelle :	-
Direction de projet :  Service des ponts et chaussées <input type="checkbox"/> SIND Secteurs indépendants <input type="checkbox"/> OREG Office des ressources générales <input checked="" type="checkbox"/> ORCA Office des routes cantonales <input type="checkbox"/> OENT Office de l'entretien						Date de réception :	
						Examiné / ingénieur expert :	
						Validé / libéré par :	

## **TABLE DES MATIERES**

1. INTRODUCTION
2. CADRE GEOLOGIQUE GENERAL
3. DESCRIPTION DES TERRAINS RENCONTRES
  - 3.1 Argovien
  - 3.2 Séquanien
  - 3.3 Kimméridgien
4. FRACTURATION ET KARSTIFICATION
5. VENUES D'EAU SOUTERRAINE
  - 5.1 Situation générale
  - 5.2 Zone de protection
  - 5.3 Optimisation des forages dainants
6. COMMENTAIRES DU PROFIL GEOLOGIQUE PREVISIONNEL EN LONG

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Profil géologique prévisionnel en long au 1:2000 avec tableau selon SIA199 (non relié)

Annexe 2 : Coupes géologiques en travers au droit des portails

2.1 Portail Ouest, coupe au 1 : 100 à TM 5

2.2 Portail Est, coupe au 1 : 100 à TM 925.5

Annexe 3 : Coupes géologiques en long au droit des galeries de liaison

3.1 Galerie de liaison – profil géologique en long n°1 à TM 152

3.2 Galerie de liaison – Profil géologique en long n°2 à TM 313

3.3 Galerie de liaison – Profil géologique en long n°3 à TM 475

3.4 Galerie de liaison – Profil géologique en long n°4 à TM 640

3.5 Galerie de liaison – Profil géologique en long n°5 à TM 806

## 1. INTRODUCTION

Le présent mandat nous a été confié par commande de l'ORCA (Office des routes cantonales du canton de Neuchâtel) du 28 octobre 2016 suite à notre offre du 19 octobre.

Le but de ce mandat est d'établir le document géologique de base destiné au bureau d'ingénieurs chargé d'élaborer le projet de détail de la galerie de sécurité, attenante au tunnel routier H10 de la Clusette.

Les données géologiques existantes, mises à notre disposition par le SPCH, sont notamment les suivantes :

- Rapport géologique Meia sur la campagne de sondages (1970) 1<sup>ère</sup> étape du 5.8.1970
- Rapport géologique Meia sur la campagne de sondage (1970) 3<sup>ème</sup> étape du 2.3.1971
- Rapport géologique Meia tunnel de la Clusette du 27 juillet 1971.
- Jean Meia : Crevasses et fissures dans l'escarpement de la Clusette. Actes du 4<sup>ème</sup> congrès national de spéléologie, 27.9.1970.
- Jean Meia : Phénomène karstiques observés au cours du percement du tunnel de la Clusette. Actes du 5<sup>ème</sup> congrès national de spéléologie, 16.9.1974.
- Jean Meia et Michel Pochon, 1975 : Remplissages karstiques au tunnel de la Clusette. International Journal of Speleology
- Hussain Mukhtar : Bref aperçu du projet du tunnel routier de la Clusette
- Compte rendu d'analyses minéralogiques n°17, UNINE 7 juillet 1970.
- Compte rendu d'analyses minéralogiques n°17b, UNINE 3 septembre 1970.
- Jean Meia : Nouvelles observations sur l'Argovien de l'anticlinal de Solmont. Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences naturelles, 3.10.2016.

Afin de préciser les données géologiques, nous avons également effectué des reconnaissances de terrain, particulièrement au droit et au voisinage des deux portails, mais également dans le versant amont.

A noter que dans le cadre de l'analyse de la documentation existante le tunnel, nous avons eu la possibilité le 15 mars 2017 d'avoir une séance très utile avec M. Jean Meia, ancien géologue cantonal, qui avait d'une part établi à l'époque les documents géologiques prévisionnels et qui d'autre part, avait suivi une grande partie des travaux d'excavation et en avait établi la synthèse géologique.

Les données géométriques du projet proviennent en premier lieu des plans OPAN Concept Neuchâtel S.A., à savoir :

- le plan n°00574.001-37 du 10.09.2014 ; situation et coupes et
- le plan n°00574.001-38 du 13.05.2015 ; profil en long au 1:1'000 / 1:250.

Des adaptations nécessaires ont été faites, notamment la suppression de la déformation du profil en long (échelle horizontale versus échelle verticale), ainsi que le report du terrain naturel selon les données du

SITN en lieu et place des données de la carte nationale au 1:50'000. Pour ce faire, nous avons dû reporter en situation l'emplacement de l'axe de la galerie sur une situation détaillée du plan MNT 2010 du SITN, en se calant sur le tunnel existant. Pour le repérage et le report corrects des données géologiques, nous avons introduit dans le profil en long des TM (tunnel mètres) en positionnant le **TM 0** de la galerie au portail Ouest (= point bas), au droit du point de référence STRADA (PR 23+725) +9 m = **PR 23+734**.

## 2. CADRE GEOLOGIQUE GENERAL

La galerie de sécurité du tunnel de la Clusette s'inscrit dans un massif rocheux constitué en grande partie par les calcaires et les marnes des formations géologiques du Jurassique (Malm). La structure de ce massif rocheux est directement liée aux poussées tectoniques dues au soulèvement alpin. Ces poussées ont provoqué dans le Jura la formation d'une succession de plissements anticlinaux (plis convexes) et synclinaux (plis concaves), orientés grosso-modo parallèlement à la chaîne du Jura (SW-NE). L'éperon rocheux traversé par le tunnel routier de la Clusette, appartient au flanc septentrional de l'anticlinal de Solmont - La Tourne, deuxième anticlinal du Jura, qui est ici profondément entaillé par l'Areuse.

L'éperon de la Clusette a subi au cours des âges de fortes déformations tectoniques, soulignées d'une part par la forte réduction locale de l'épaisseur des marnes de l'Argovien et d'autre part par une intense bréchification locale des calcaires. On note également en pied de versant, le passage d'un grand accident tectonique longitudinal et chevauchant.

De plus il faut relever la présence au pied du versant, d'anciennes carrières et galeries souterraines, liées à l'exploitation vers le début du 20<sup>ème</sup> siècle, des marnes du Furcil. Ces cavités se sont en partie effondrées au cours du temps, provoquant entre autre, l'apparition de grosses fissures ouvertes et de crevasses qui ont pu se propager vers l'amont en utilisant les discontinuités préexistantes. C'est d'ailleurs en raison du développement de cette fissuration accompagné de tassements et d'éboulements rocheux, que l'ancien tracé de la route cantonale a dû être abandonné au début des années 1970, pour être déplacé au droit du tunnel actuel. De manière générale, on observe un léger redressement des couches de l'Ouest à l'Est.

## 3. DESCRIPTION DES TERRAINS RENCONTRES

Ce chapitre contient une brève description synthétique des terrains concernés par l'ouvrage, depuis les terrains les plus anciens à l'Est, jusqu'aux terrains les plus jeunes recoupés à l'Ouest.

### 3.1 Argovien

Ces terrains ne seront juste pas touchés dans le secteur souterrain de la galerie. Ils le seront très brièvement dans les secteurs de raccordement à ciel ouvert en direction de Neuchâtel. Il s'agit principalement d'une alternance de marnes localement feuilletées et de calcaires marneux (épaisseur des bancs → 40 cm), avec des intercalations irrégulières de calcaires durs en bancs minces. Les duretés sont très variables, passant de très tendres à tendres dans les marnes, à dures voire très dures dans les calcaires. Les marnes argoviennes peuvent contenir des argiles inter-stratifiées gonflantes « pro parte ». Les bancs calcaires ont des épaisseurs de 10 à 30 cm.

### 3.2 Séquanien

Il peut être séparé en 2 parties principales totalisant environ 100 mètres d'épaisseur. La partie inférieure contient une certaine proportion de marne et la partie supérieure est principalement calcaire.

*Le Séquanien inférieur* contient des calcaires coralligènes et des calcaires finement oolithiques en bancs décimétriques à pluri-métriques, avec de nombreuses intercalations de marnes très tendres ou tendres et de marnes calcaires ou de calcaires marneux. Certains bancs de marne peuvent contenir des argiles inter-stratifiées gonflantes « pro parte ». Les calcaires, ainsi que les marnes, peuvent contenir une proportion non négligeable de quartz fin.

*Le Séquanien supérieur* est principalement constitué de calcaire, disposé en bancs d'épaisseur variable avec quelques rares niveaux plaquetés de 5 à 10 cm, mais le plus souvent bien lités en bancs de 50 à 150 cm.

On peut trouver à la base un niveau caractéristique, l'oolithe nuciforme (Hauptmumienbank) qui est un calcaire contenant de gros encroûtements algaïres centimétriques, puis des calcarénites ou des calcaires finement oolithiques, le tout dur et très dur. Localement se trouve également de plus ou moins minces intercalations marneuses. Le sommet de cet ensemble séquanien est formé par un autre niveau repère d'une quinzaine de mètres d'épaisseur, l'oolithe St-Vérène, constituée d'un calcaire blanchâtre finement grenu, localement crayeux, très oolithique et peu stratifié. Il s'agit de calcaire dur et très dur.

### 3.3 Kimméridgien

Il est constitué principalement de calcaires compacts durs et très durs en bancs d'épaisseur pluri-décimétrique à pluri métrique. Localement, la stratification est mal notée. De rares niveaux sont plaquetés (5 à 15 cm d'épaisseur). La série peut contenir quelques horizons marneux ou marno-calcaires de faible épaisseur (quelques cm). La série complète du Kimméridgien mesure environ 170 mètres d'épaisseur.

## 4. FRACTURATION ET KARSTIFICATION

Les couches sont découpées par différentes familles de diaclases, localement assez irrégulières. En général, l'espacement des diaclases est en relation avec l'épaisseur des bancs ; plus les bancs sont minces, plus les espacements diminuent. Comme on observe une diminution moyenne de l'épaisseur des bancs d'Ouest en Est, on constate également une augmentation de la densité de diaclasage en direction de l'Est.

Le tableau suivant montre l'orientation des principales familles de diaclases. Les orientations indiquées proviennent principalement des levés de J. Meia dans le tunnel.

Tableau 1 : orientation des principales familles de diaclases

Vers le portail Ouest	75°/110°-120°	80°/225°	loc. 80°/260°-250° + loc. 70°/175°
Au centre	60°-70°/100°-130°	70°-90°/220°-250°	loc. 50°/210°
Vers le portail Est	70°/135°	70°-80°/040°	

Concernant la fracturation, on note également la présence de secteurs où la roche est très disloquée et bréchifiée, entraînant par conséquent une nette diminution de la tenue du rocher en calotte.

Lors du creusement du tunnel, diverses traces de karstification ont été recoupées. Il s'agissait principalement d'élargissement par dissolution de diaclases existantes, avec formation locale de cavités pouvant être métriques. De telles cavités, se forment le plus souvent à l'intersection de 2 diaclases ou à l'intersection d'une grande diaclase avec la stratigraphie. On a ainsi formation de cheminées subverticales ou de boyaux serpentant le long des bancs stratigraphiques. Ces conduits karstiques sont fréquemment remplis de matériel détritique granulométriquement très hétérogène. Il s'agit principalement de graviers ou de pierres enrobés dans du matériel meuble constitué de limon et d'argile humides. En présence de tels karsts, la tenue du massif rocheux peut être mauvaise, voire très mauvaise avec risque important d'éboulement par vidange.

## **5. VENUES D'EAU SOUTERRAINE**

### **5.1 Situation générale**

Selon les observations effectuées, à la fois dans les sondages de reconnaissance des années 1970 et lors du percement du tunnel, aucune venue d'eau permanente n'a été observée, ni aucun conduit important en activité n'a été recoupé. Les venues d'eau ponctuelles étaient faibles et montraient une corrélation étroite des débits avec les précipitations. Ces venues d'eau sont donc vraisemblablement des eaux de percolation d'origine météorique.

Le niveau de base des eaux souterraines, donné du côté Ouest par la résurgence de la Noiraigue, est situé à environ 740 mètres d'altitude. Du côté Est, un sondage piézométrique montrait dans les années 1970, un niveau maximum à 763 mètres d'altitude. Les portails Est et Ouest se situant respectivement à 867 et 809 m, toute la galerie projetée se trouve ainsi bien au-dessus de la zone noyée. Cependant le recoupement de conduits localement en charge ne peut pas être exclu.

### **5.2 Zone de protection**

En ce qui concerne la protection des eaux souterraines, pratiquement l'entier de la galerie se trouve en secteur A<sub>u</sub> de protection, sauf les derniers 20 mètres à l'Est qui se trouvent en zone de protection éloignée S3.

### **5.3 Optimisation des forages drainants**

Le tunnel actuel ne bénéficie pas d'une étanchéité, sauf aux 2 entrées Ouest et Est, sur des longueurs respectives de 126 et 134 m. En les deux, de très nombreuses venues d'eau ont été répertoriées par le bureau OPAN lors d'une inspection le 15 janvier 2015. En hiver, ces percolations forment des stalactites de glace qui sont dangereuses pour la circulation.

Dans le cadre des travaux d'assainissement du tunnel, il est prévu de procéder à des travaux de colmatage et de drainage de ces eaux.

Les circulations d'eau météoriques dans un massif rocheux sont conditionnées par les discontinuités et par des contrastes de perméabilité. Typiquement, les horizons marneux constituent des plans peu perméables qui engendrent un effet de barrage aux écoulements. On remarque souvent que la karstification des calcaires se développe préférentiellement à l'approche de ces zones marneuses.

A la Clusette, on note deux types de discontinuités. Il s'agit, d'une part, des interfaces de bancs (ou plan des couches), et d'autre part, des diaclases liées à la fracturation du rocher.

Ces discontinuités sont souvent colmatées par de l'argile ou du matériel détritique à granulométrie très hétérogène, ce qui peut limiter grandement leur capacité à conduire les eaux. Les intersections de plans (diacase/diacase, diacase/strate) sont évidemment les lignes privilégiées le long desquelles s'écoulent les eaux et se développe la karstification.

Les interfaces de bancs ont une orientation quelque peu variable, soit de direction E-W et peu inclinée vers le N ( $\sim 20^\circ$ ) dans la zone du portail Ouest, puis progressivement de direction NE-SW avec un pendage jusqu'à  $45^\circ$  vers le NW dans la zone centrale et le portail Est du tunnel.

Les diaclases se répartissent quant à elles en différentes familles, répertoriées dans le tableau ci-dessus. Des deux familles principales, l'une est orientée NW-SE, l'autre NNE-SSW. Toutes deux sont subverticales.

Sur les 500 premiers mètres de son tracé, le tunnel de la Clusette présente une courbe de direction comprise entre  $85^\circ$  (par rapport au Nord) et  $115^\circ$ . Il est ensuite rectiligne jusqu'à son portail oriental, selon cette même direction de  $115^\circ$ . Sa pente, uniforme, est de  $3.5^\circ$  vers l'Ouest.

L'analyse spatiale de ces données permet les constatations suivantes :

- a) le tunnel, de par sa configuration, recoupe le plan des couches de manière oblique, selon un angle faible en zone Ouest, et nettement plus prononcé en zones centrale et Est.
- b) sa direction est pratiquement perpendiculaire à l'une des principales familles de diaclases, celle d'orientation NNE-SSW.
- c) la seconde famille de diaclases (orientée NW-SE) est, elle, grosso modo parallèle à l'axe de l'ouvrage.

Compte tenu de ce qui précède et afin de recouper le maximum de discontinuités responsables de l'écoulement des eaux de percolation à travers le massif rocheux, l'exécution de forages drainants devrait suivre les modalités suivantes :

1° En parement et naissance de voûte Nord : réalisation de forages subhorizontaux (env.  $10^\circ$  au-dessus de l'horizontale), d'une longueur approximative de 1 à 2 m, orienté vers le N $45^\circ$  (soit plus ou moins perpendiculaire à la seconde famille de faille).

2° Idem en parement et naissance de voûte Sud, les forages présenteront les mêmes caractéristiques, mais seront orientés SW (N $225^\circ$ ).

3° En calotte, les forages seront plutôt orienter parallèlement au tunnel, vers N $115^\circ$ , avec une inclinaison de  $30$  à  $40^\circ$  au-dessus de l'horizontale, selon les possibilités techniques, afin de recouper la 1ère famille de diaclases. Il sera aussi peut-être avantageux de les faire plus longs.

Ces forages drainants peuvent être disposés au coup par coup, en fonction des venues d'eau constatées (dont la localisation exacte n'est actuellement pas connue, à cause de la présence d'un faux plafond). Ils peuvent être aussi disposés selon un maillage prédéfini. Quoi qu'il en soit, les eaux recueillies devront être récoltées et amenées dans les drainages du radier.

## 6. COMMENTAIRES DU PROFIL GEOLOGIQUE PREVISIONNEL EN LONG

*Au droit du portail Ouest* proprement dit, le tracé de la galerie fait un angle relativement aigu avec l'orientation de la falaise rocheuse subverticale. Ainsi, la préparation de l'attaque en souterrain par la creuse d'une fouille standard à ciel ouvert, semble ne pas être envisageable en raison de l'importante entaille que cela nécessiterait. Dans ce secteur de transition, où le profil de la galerie commence au Nord à recouper en sous-œuvre le massif rocheux, jusqu'à l'endroit où le jambage rocheux bordant au Sud le tracé de la galerie redevient suffisamment épais (de l'ordre du diamètre de la galerie), un renforcement préalable et adapté (par exemple jambage arqué en béton armé et ancré) devra être mis en place. Ceci de manière à restituer un appui suffisant de soutien du massif rocheux stratifié sus-jacent.

*Le long des 500 premiers mètres* de la galerie en partant depuis l'Ouest, les couches rocheuses seront recoupées presque « en direction », ce qui est pour un massif rocheux stratifié une caractéristique défavorable, en raison d'une facilité au décollement de plaques en calotte ou en naissance de voûte. Cependant, le long des 300 premiers mètres, les couches se présenteront principalement en bancs épais, ce qui diminue fortement le risque de décollement. De TM 400 à 550, la proportion de bancs plus minces augmentera, ce qui impliquera la formation plus fréquente de hors-profils en escalier au sommet de la calotte. Du point de vue des discontinuités tectoniques très pénétrantes, les failles qui seront recoupées ne constitueront pas en elles-mêmes une difficulté, en raison de leur pendage subvertical et de leur direction très sécantes par rapport à l'axe de l'ouvrage.

*Entre les TM 553 et TM 623*, les calcaires du Séquanien moyen seront vraisemblablement passablement tectonisés et même bréchifiés, ceci couplé avec une karstification localement bien développée (avec remplissage de matériaux meubles argileux). Selon les informations provenant du levé du tunnel entre les PR 24+285 et 24+355, les 2 familles de diaclases principales (90°/250° et 50°/210°) effaçaient, de par leur développement, les traces de la stratification. Il fut nécessaire dans ce secteur, de mettre en place un soutènement lourd constitué de cintres.

*Du TM 623 au TM 650*, la galerie traversera encore un court tronçon principalement constitué de calcaire durs avec quelques fines intercalations marneuses. Comme pour le secteur des TM 400 à 550, des hors-profils en escalier au sommet de la calotte sont à attendre.

*Le secteur suivant, de TM 650 à TM 748*, est caractérisé stratigraphiquement par l'apparition de plusieurs niveaux de calcaires marneux ou de lits marneux, s'insérant toujours entre des calcaires durs ou très durs. Du côté Est, des intercalations marneuses (épaisseur >1.5 m) présentent de fortes déformations cisailantes (couche sur couche), probablement contemporaines au plissement du Jura.

*Le dernier secteur, de TM 748 jusqu'au portail Est*, constitué de calcaires avec de nombreuses intercalations plus ou moins marneuses, est caractérisé principalement par une relativement forte tectonisation et karstification. Il faut noter que c'est la zone de passage entre le secteur précédent,



principalement calcaire, et le terrain majoritairement marno-calcaire du Séquanien inférieur, qui est la plus propice à un développement potentiel de karsts. Ce fut d'ailleurs dans cette zone, au droit du tunnel, que la plus grosse cavité karstique fut recoupée, avec éboulement en calotte (volume 120m<sup>3</sup>) des terrains meubles de remplissage (limons argileux avec pierres et blocs calcaires). A noter également que c'est dans la partie Ouest de ce secteur du tunnel (grosso-modo vers le PR 24+520), que l'on peut observer actuellement une certaine dégradation sous forme d'un bombement du revêtement routier, lié très probablement à la présence en radier de marnes gonflantes. A ce propos, il serait intéressant et utile de se renseigner auprès du Service d'entretien du tunnel, sur l'existence d'éventuelles données concernant les dates d'apparition ainsi que les caractéristiques et l'ampleur de ces dégâts.

De plus dans ce secteur, du fait de la tectonisation, le massif rocheux y est d'une part découpé en éléments plus petits, et d'autre part, il peut être localement bréchifié, c'est-à-dire qu'il n'y a plus de « charpente » calcaire, mais un assemblage de pierres ou de blocs disloqués et de mauvaise tenue. A souligner que dans le tunnel, l'entier de ce secteur excavé en demi-section, a nécessité la pose de cintres métalliques lourds avec localement mise en place de marche-avants pour la pose du cintre suivant. De même, l'état de fracturation du massif rocheux dans ce secteur, avait également été mis en évidence lors de l'exécution en 1970 du sondage de reconnaissance n°101 situé sur l'axe du tunnel, à peu près au droit des TM galerie 905 – 910. En effet, la tenue des parois du sondage fut très médiocre, avec éboulement des parois et nécessité de reperforation avec pose de cuvelage.

Concernant l'emplacement du portail Est proprement dit, il faudra prendre soin de le disposer de manière à ce que la portion de massif rocheux en naissance de voûte côté Sud y soit suffisamment épaisse (c'est-à-dire de l'ordre d'un diamètre de la galerie), pour assurer une bonne stabilité d'assise du massif rocheux sus-jacent. On voit sur l'annexe 2.2, au droit d'un portail situé à TM 925.5, que tel n'est pas le cas. Pour ce faire, et sur la base de la carte topographique du SITN (MNT de 2010) actuellement disponible, il semble qu'il faudrait en tous cas déplacer le portail d'une quinzaine de mètres en direction de l'Ouest. L'autre solution pour garder le portail vers TM 925.5, serait de prévoir, comme mentionné pour le portail Ouest au début du chapitre 6, un renforcement préalable du jambage côté Sud sur 20 à 30 mètres de longueur. Dans le cadre de futures études détaillées et pour ce secteur particulièrement, il sera au préalable nécessaire d'avoir à disposition un levé topographique détaillé de l'escarpement rocheux bordant l'ancienne route cantonale.

En ce qui concerne la prévision du pronostic dans le secteur Est, nous l'avons indiquée (dans le tableau SIA199 de l'annexe 1) comme faible pour les raisons suivantes : tous les affleurements calcaires bordant au Nord l'ancienne route cantonale sur plus de 100 mètres de longueur depuis le portail, sont d'une part assez peu fracturés et montrent des couches de direction presque perpendiculaire à l'axe de la galerie (pendage de 30 à 40°/290° à 305°) alors que seulement 15-30 mètres plus au Nord-Est de la galerie, les couches observées lors du creusement du tunnel montraient des pendages assez réguliers de 30° à 40°/325° à 345° avec une forte fracturation. Il y a donc plus de 30° de différence dans la direction des couches et aussi une grande différence de fracturation, ce qui est à priori étonnant pour une telle proximité. Il n'est donc pas exclu que des accidents tectoniques plus ou moins longitudinaux à la galerie, soient interceptés.

## 7. PROPOSITION DE RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES

Pour l'élaboration des projets de détail de l'ouvrage en souterrain et concernant l'aspect géologique, des reconnaissances plus approfondies nous paraissent nécessaires, notamment dans la zone du portail Est et ceci pour préciser entre autre :

- L'épaisseur de la frange d'altération ainsi que la qualité du massif rocheux situé en calotte.
- La répartition et la proportion des niveaux marneux dans le Séquanien inférieur.
- La nature et les caractéristiques des roches par la collecte d'échantillons en vue d'essais en laboratoire.
- La déformabilité du massif rocheux par l'exécution d'essais in-situ (dilatomètre).

Dans la zone du portail Est proprement dit, le secteur sensible, d'une soixantaine de mètres de longueur, se trouve plus ou moins là où l'épaisseur de la couverture rocheuse au-dessus de la calotte devient inférieure à une vingtaine de mètres. Au droit de ce secteur et pour obtenir les renseignements listés au paragraphe précédent, nous proposons de prévoir l'exécution de 4 sondages carottés totalisant environ 85 mètres de longueur. Compte tenu des accès parfois difficiles à cause de la topographie abrupte de ce secteur, on peut estimer que dans de telles conditions, l'exécution de ces 4 sondages avec les essais in-situ nécessaires pourrait atteindre un montant de l'ordre de Fr. 70'000.--. L'exécution de plusieurs fouilles à la pelle rétro en bordure nord de l'ancienne route cantonale, permettrait de compléter utilement ces reconnaissances, notamment pour observer la frange d'altération dans les passées marneuses et pour localiser la position du massif rocheux sous les terrains meubles.

Pour ce qui concerne la partie sommitale du Séquanien inférieur, là où la présence de niveaux marneux devient plus significative et où des dégâts sont observés dans le radier du tunnel, nous conseillons d'effectuer également des sondages de reconnaissance. Dans ce secteur, l'exécution de sondages depuis la surface topographique serait certainement d'un coût prohibitif (en raison des conditions d'accès). Il pourrait cependant être envisagé d'exécuter quelques sondages depuis le tunnel existant, ce qui permettrait entre autre de fortement diminuer les longueurs nécessaires. L'élaboration d'un programme de sondage et l'estimation du coût ne devraient se faire qu'après avoir préalablement analysé les éventuelles données existantes dans les dossiers du SPCH.



Ch. Bugnon



Ch. Rieben

**H10 - Les Verrières - Neuchâtel, Tunnel de la Clusette**

Galerie de reconnaissance

Coupe au droit de la zone du portail Ouest à TM 5

Echelle 1: 100

0 2 m

Azimuth coupe :  $\sim 174.5^\circ$  →
 $S_o = 20^\circ/345^\circ$   
 $= \sim 20^\circ \text{ app.}$ 

 Axe projet  
 809.0

Falaise

Remblais  
éboulis
 Ancienne  
 route  
 cantonale

809

Coffre RC



Calcaire du Kimméridgien

—&lt; Trace de la stratification

So

Pendage des couches

N.B. : base topographique : plan MNT 2011 du SITN

# H10 - Les Verrières - Neuchâtel, Tunnel de la Clusette

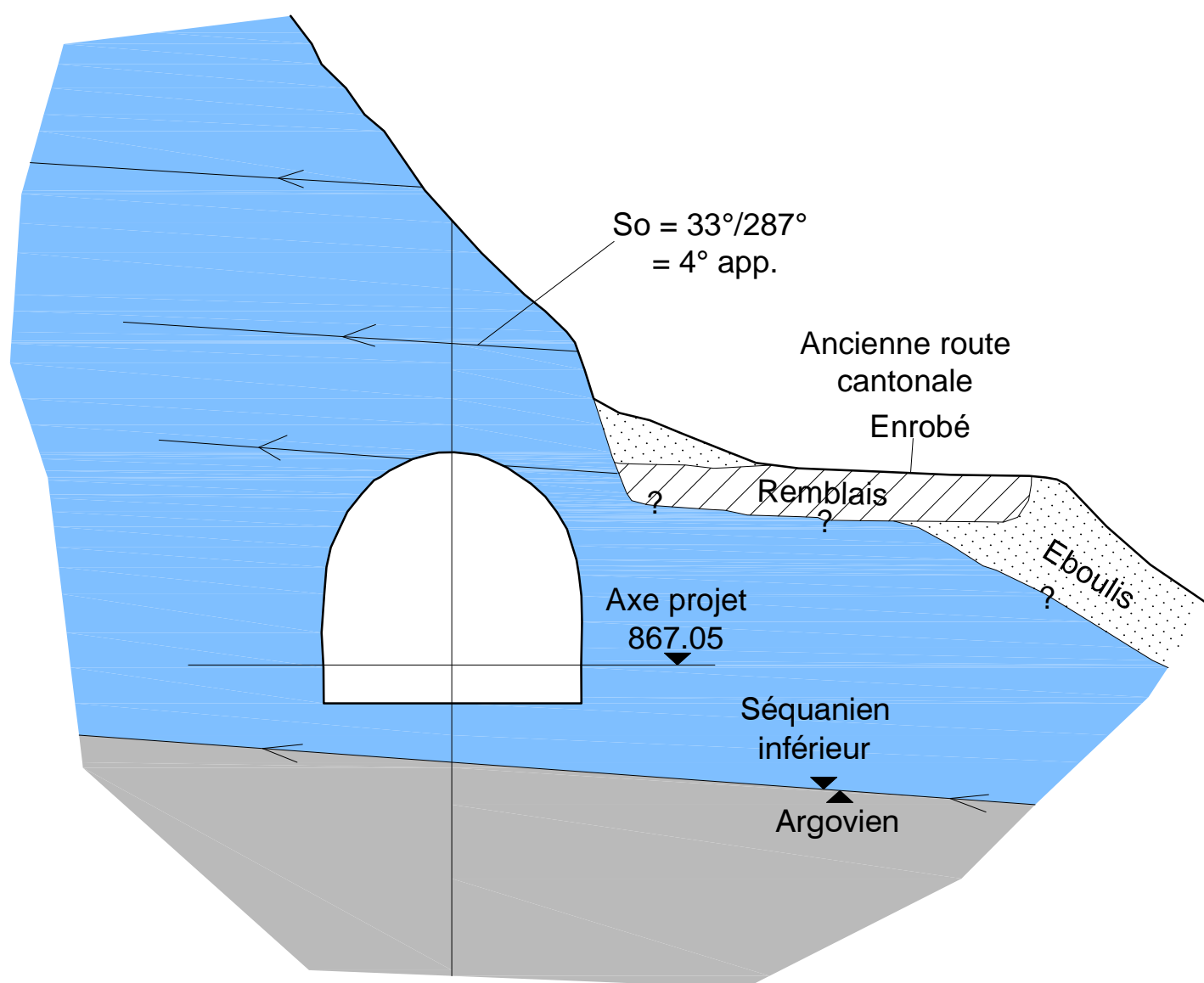
## Galerie de reconnaissance




### Coupe au droit de la zone du portail Est à TM 925.5

Echelle 1: 100

0 2 m

Azimuth coupe : 206° →



-  Argovien
-  Calcaire avec localement intercalations marneuses, Séquanien inférieur
- So      Pendage des couches
-  Trace de la stratification

N.B. : base topographique : plan MNT 2011 du SITN

# H10 - Les Verrières - Neuchâtel, Tunnel de la Clusette

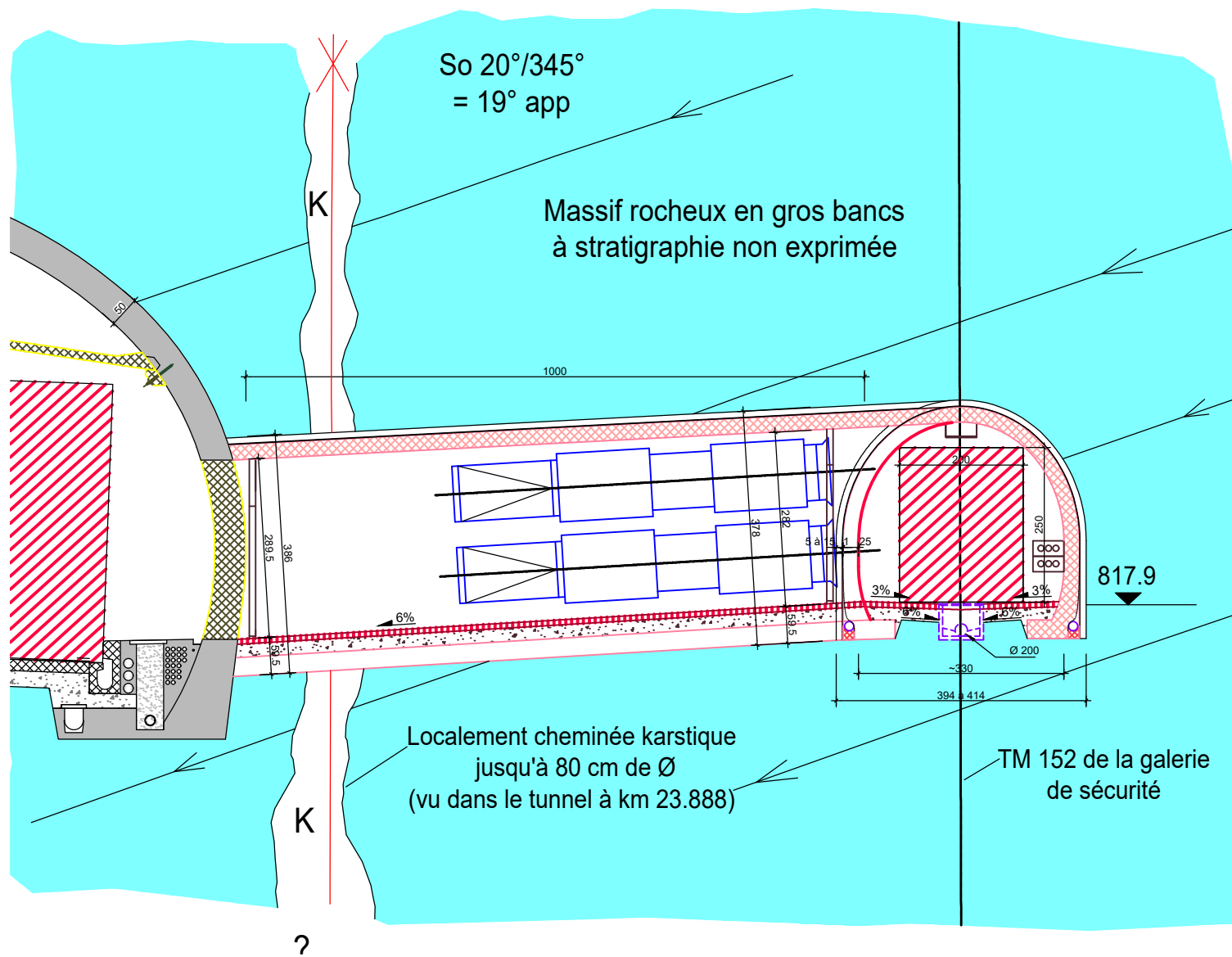
## Galerie de sécurité

Profil géologique en long n°1 au droit de la galerie de liaison à TM 152

Echelle 1: 100

0 2 m

SUD →



Trace de la stratification    Kimméridgien    So    Pendage des couches  
Faille    K    Karst

N.B. : base topographique : plan MNT 2011 du SITN

base plan ingénieur : plan OPAN 8-037, situation et coupes types du 10.09.2014

# H10 - Les Verrières - Neuchâtel, Tunnel de la Clusette

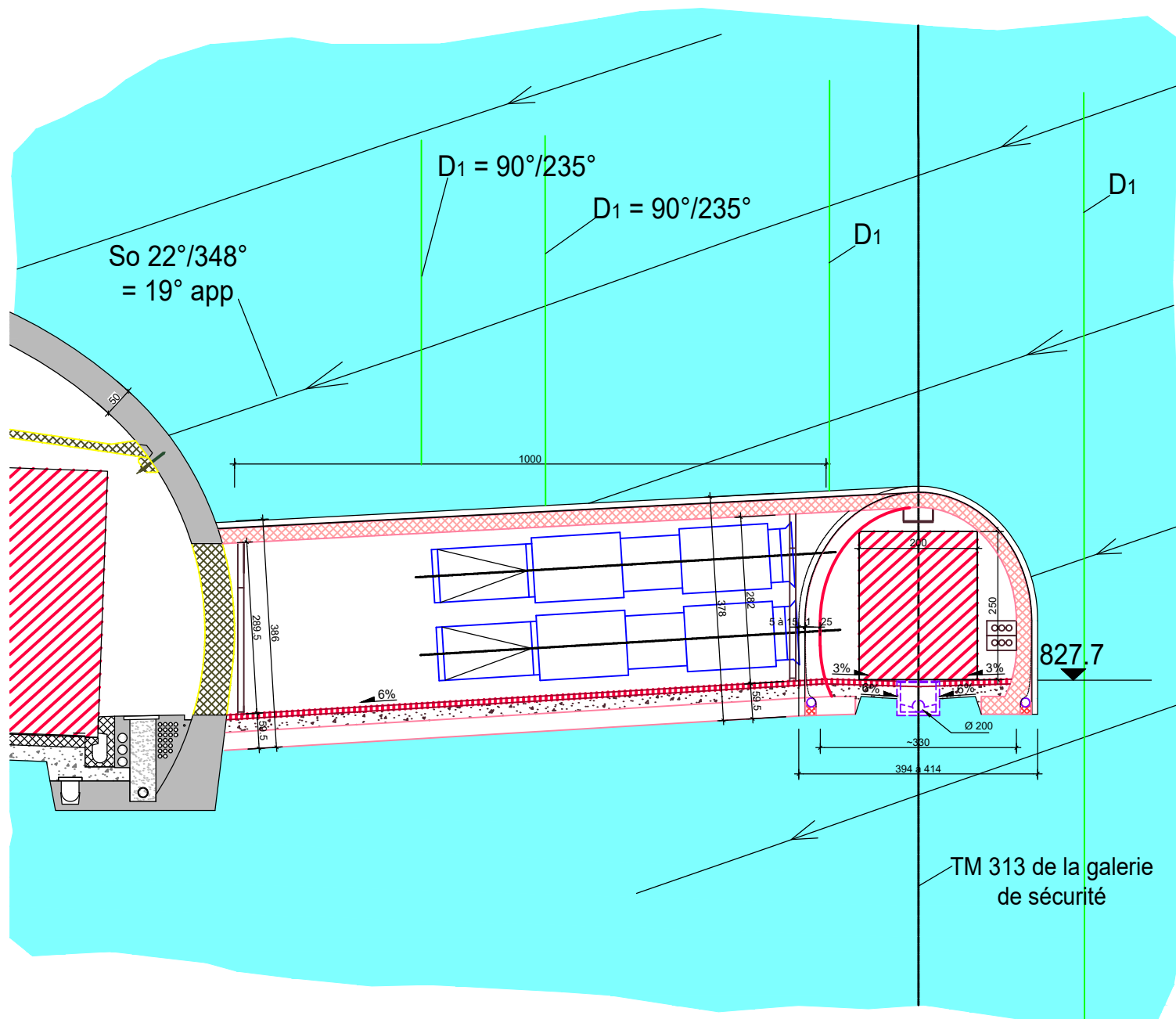
## Galerie de sécurité

Profil géologique en long n°2 au droit de la galerie de liaison à TM ~313

Echelle 1: 100

0 2 m

SUD →



- |   |                            |   |                     |
|---|----------------------------|---|---------------------|
| ← | Trace de la stratification | <span style="background-color: #00FFFF; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> | Kimméridgien        |
| — | D1 = famille de diaclase   | So  | Pendage des couches |

N.B. : base topographique : plan MNT 2011 du SITN

base plan ingénieur : plan OPAN 8-037, situation et coupes types du 10.09.2014

MFR Géologie-Géotechnique SA

# H10 - Les Verrières - Neuchâtel, Tunnel de la Clusette

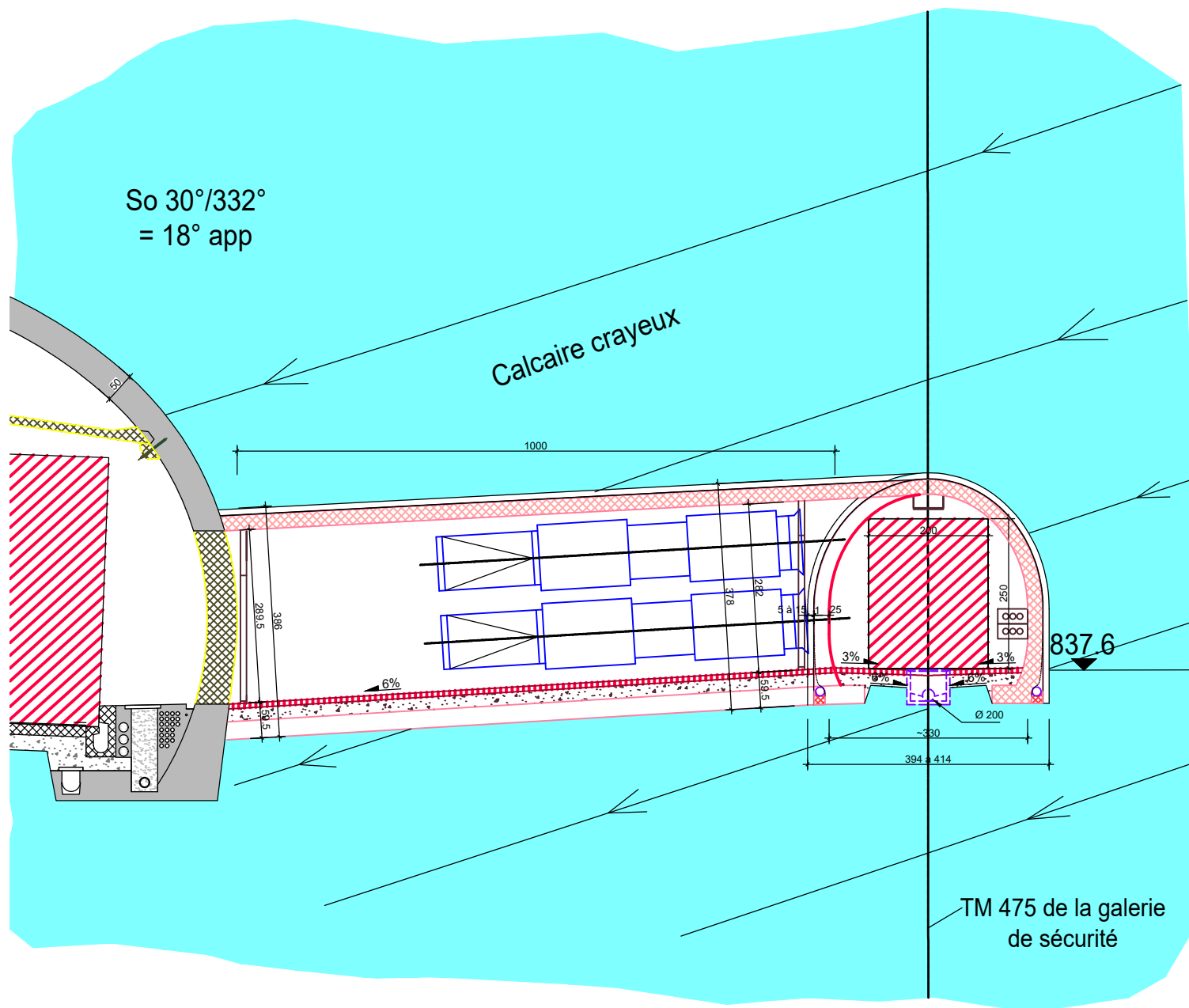
## Galerie de sécurité

Profil géologique en long n°3 au droit de la galerie de liaison à TM 475

Echelle 1: 100

0 2 m

SUD →



← Trace de la stratification

■ Kimméridgien

So Pendage des couches

N.B. : base topographique : plan MNT 2011 du SITN

base plan ingénieur : plan OPAN 8-037, situation et coupes types du 10.09.2014

# H10 - Les Verrières - Neuchâtel, Tunnel de la Clusette

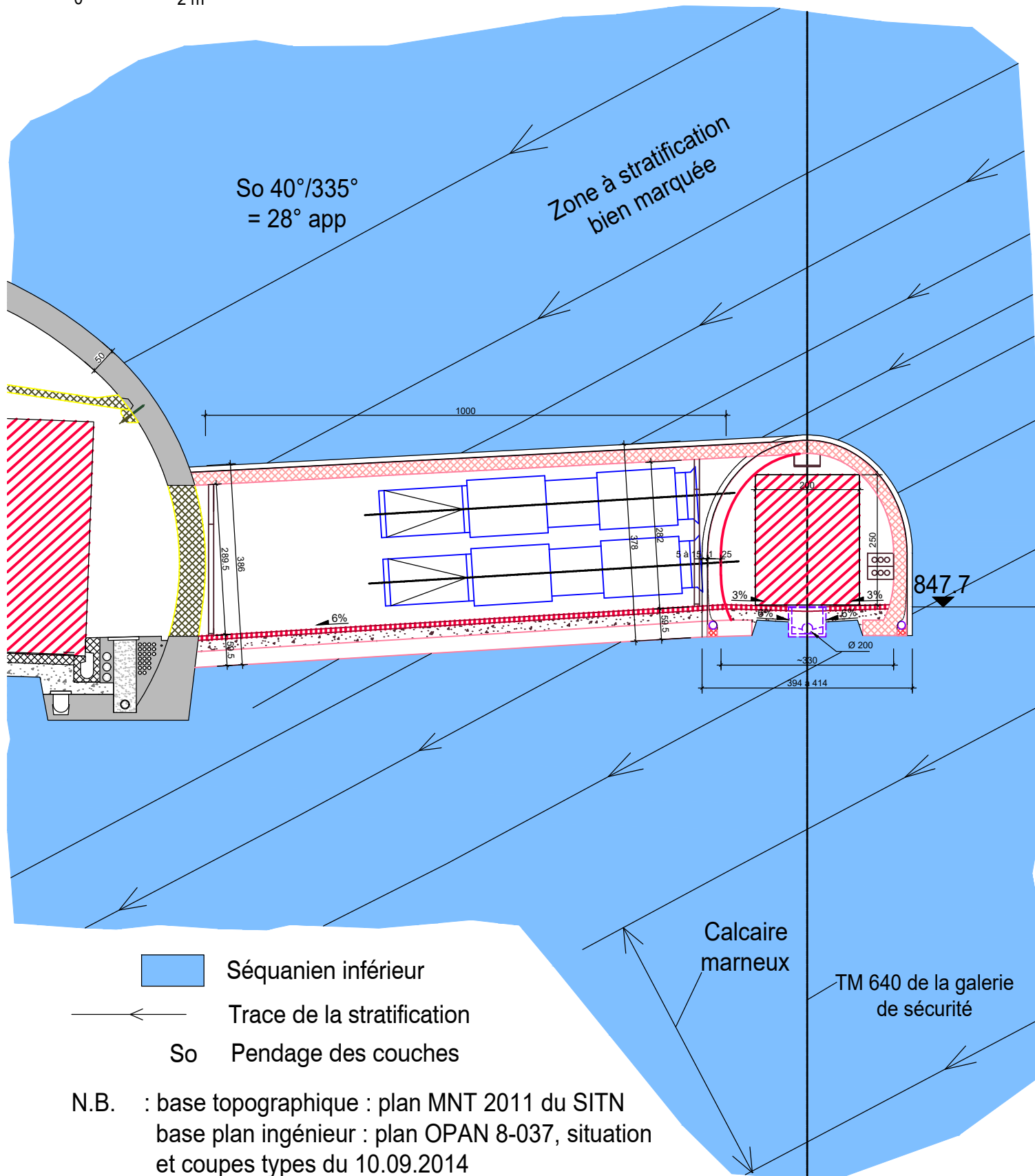
## Galerie de sécurité

Profil géologique en long n°4 au droit de la galerie de liaison à TM 640

Echelle 1: 100

SUD →

0 2 m



N.B. : base topographique : plan MNT 2011 du SITN  
base plan ingénieur : plan OPAN 8-037, situation  
et coupes types du 10.09.2014

MFR Géologie-Géotechnique SA



Echelle 1: 100

