Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 113 (1990)

Artikel: Hydrogéologie des milieux à faible perméabilité : étude des Marnes Aaléniennes dans la galerie de reconnaissance du Mont-Terri (canton du Jura)

Autor: Tripet, Jean-Pierre / Brechbühler, Yves-Alain / Haarpaintner, Robert-Tito

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89320

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

HYDROGÉOLOGIE DES MILIEUX À FAIBLE PERMÉABILITÉ: ÉTUDE DES MARNES AALÉNIENNES DANS LA GALERIE DE RECONNAISSANCE DU MONT-TERRI (CANTON DU JURA)

par

JEAN-PIERRE TRIPET[1], YVES-ALAIN BRECHBÜHLER[2], ROBERT-TITO HAARPAINTNER[2] ET BERNARD SCHINDLER[2]

AVEC 5 FIGURES

INTRODUCTION

Le Service hydrologique et géologique national, d'entente avec l'Office fédéral des routes et le Service des ponts et chaussées du canton du Jura, a procédé à une étude hydrogéologique détaillée des Marnes Aaléniennes dans la galerie de reconnaissance du Mont-Terri, sur le tracé de la future route nationale N 16 dite «Transjurane». L'intérêt accordé à ce type de roche à faible perméabilité, au plan de la géologie appliquée, va croissant; le but des recherches présentées ici était d'apporter une contribution à la connaissance de ces milieux, cette dernière étant, dans notre pays, encore très lacunaire.

Les Marnes Aaléniennes (marnes à *Leioceras opalinum*, ou «Opalinus-Ton») ont fait l'objet d'études de synthèse par la CÉDRA (Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs) dans le nord de la Suisse (CÉDRA 1988). Elles possèdent une vaste extension qui dépasse largement les limites du pays notamment vers le nord-est (Jura de Souabe et de Franconie) et le sud-ouest (fosse dauphinoise). Son extension régionale confère à cette unité litho-stratigraphique une importance particulière et ajoute à l'intérêt qui lui est consacré.

L'étude en question comportait les volets suivants: (i) un levé géologique et hydrogéologique très détaillé en galerie à l'échelle 1: 50, dont les résultats sont présentés ici; (ii) un programme d'analyses chimiques et minéralogiques en laboratoire, encore en cours; (iii) la construction d'une niche pour permettre la réalisation, le cas échéant, d'un programme d'essais hydrauliques ultérieurs.

[1] Service hydrologique et géologique national, CH-3003 Berne.
[2] Bureau B. Schindler, géologues et ingénieurs conseils SIA, CH-2800 Delémont.

La CÉDRA a bien voulu s'associer à cette étude sous forme de conseils scientifiques et par le financement des travaux. Les études géologiques et hydrogéologiques ont été réalisées par les Bureaux géologiques associés J. NORBERT et B. SCHINDLER, en collaboration étroite avec la Direction locale des travaux (Consortium d'étude IJA-BG); l'Université de Berne («Gruppe Gestein-Wasser-Interaktion» des Instituts de géologie et de minéralogie-pétrographie) a assuré le conseil scientifique pour certains problèmes spéciaux.

CADRE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Stratigraphie et tectonique du Mont-Terri

La série stratigraphique reconnue en surface et par forages débute dans le Trias moyen. A la base, le Muschelkalk est une série essentiellement calcaire et dolomitique qui marque la transgression marine triasique. Les Marnes à Anhydrite, avec gypse et niveaux argileux, les Grès à Roseaux, les Marnes Bigarrées et les «Gansiger Dolomit» forment le Keuper (Trias sup.). Le Lias est une série essentiellement marneuse et marno-calcaire. Le Dogger débute par l'épaisse formation des Marnes Aaléniennes («Opalinus-Ton») qui seront décrites en détail ci-dessous. Les Marnes Oxfordiennes (Malm inf.) séparent les épaisses formations essentiellement calcaires du Dogger et du Malm.

L'anticlinal du Mont-Terri marque la limite septentrionale du Jura plissé. Ce pli à vergence nord chevauche sur environ 2 km le Malm du Jura tabulaire d'Ajoie localement recouvert par de la Molasse Alsacienne pincée sous le chevauchement. Le cœur de l'anticlinal est constitué par les formations du Muschelkalk et du Keuper. Le flanc sud comprend les formations du Lias, du Dogger et du Malm, il plonge d'environ 40 à 50° vers le synclinal de Saint-Ursanne (fig. 1; SCHAEREN et NORBERT 1989).

Hydrogéologie

Au droit de la galerie de reconnaissance du Mont-Terri, les aquifères karstiques sont essentiellement déterminés par les ensembles lithologiques calcaires séparés par des horizons marneux peu perméables (fig. 2). De petits aquifères suspendus (Séquanien) alimentent quelques sources au-dessus de la cote du tunnel. L'aquifère du Rauracien sous-jacent se décharge par une série d'exutoires situés au-dessous du portail sud du tunnel.

Les trois aquifères du Dogger (Callovien, Hauptrogenstein supérieur et Hauptrogenstein inférieur) sont isolés du Malm calcaire par les Marnes Oxfordiennes. Les niveaux piézométriques sont proches de la surface (env. 9 bars, mesurés dans la galerie de reconnaissance de la N 16), mais le karst y est peu développé (porosité de fissure faible, env. 1 %).

Le Lias calcaire est faiblement karstifié, quelques venues d'eau dans la galerie ont révélé un aquifère isolé entre les Marnes Aaléniennes et le Keuper.

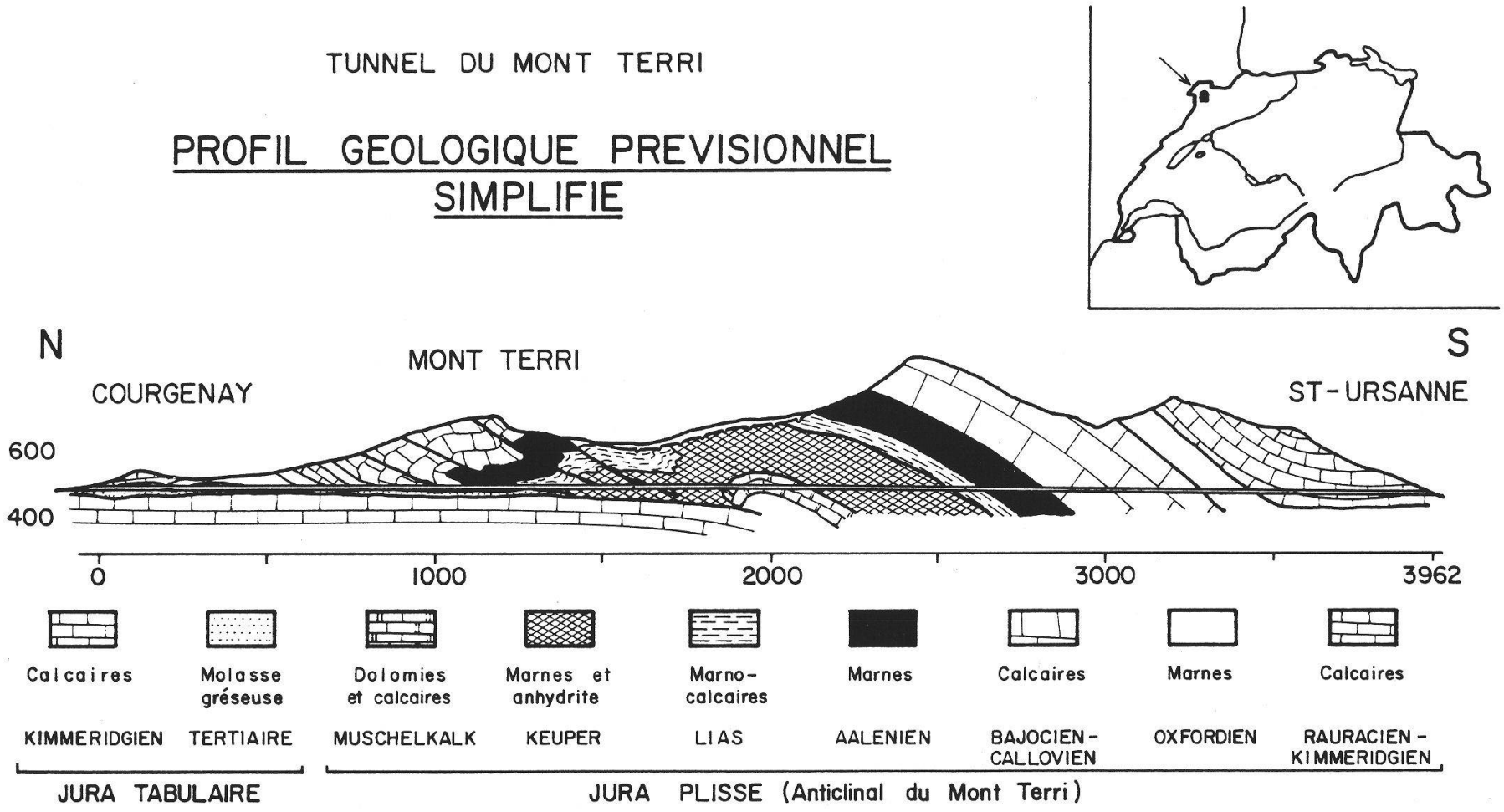

Fig. 1. Profil géologique prévisionnel simplifié du tunnel du Mont-Terri (d'après SCHAEREN et NORBERT 1989).

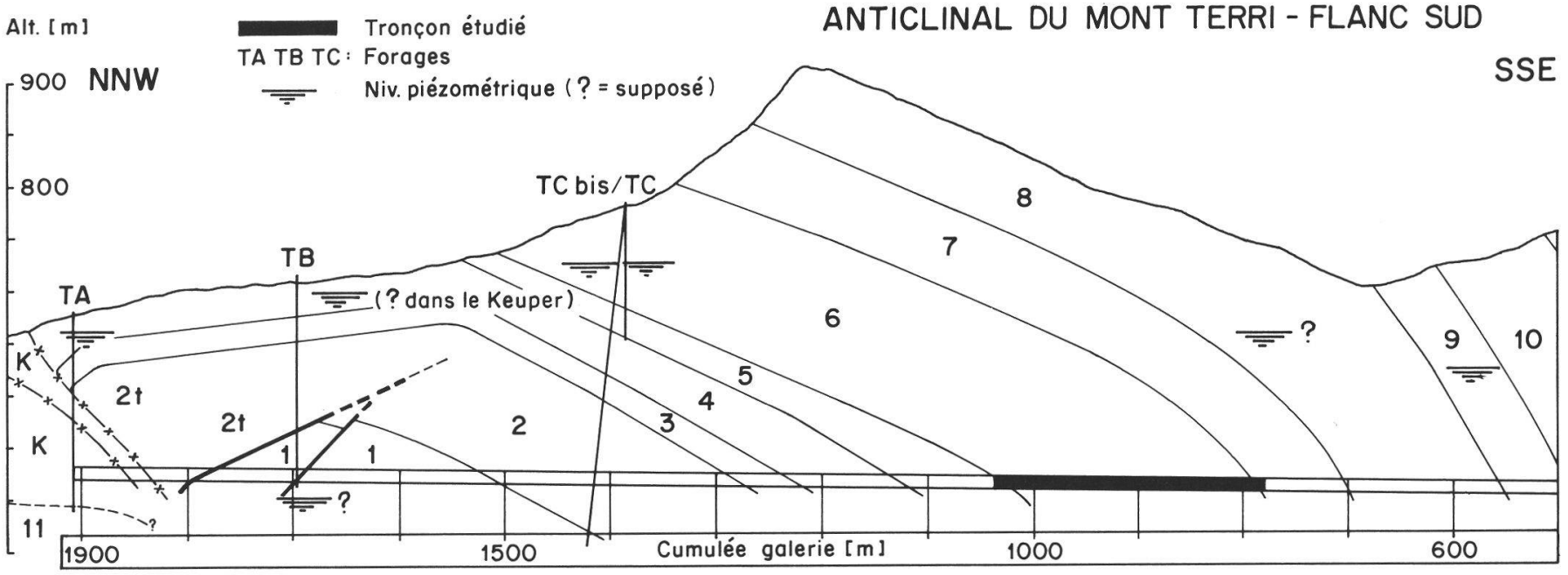

Fig. 2. Niveaux piézométriques à proximité des Marnes Aaléniennes.
Profil géologique selon levés de la galerie, interprétation provisoire.
1. Muschelkalk. 2. Keuper inf. 3. Keuper moyen. 4. Keuper sup. 5. Lias inf. calcaire. 6. Marnes Aaléniennes. 7. Blaukalk (Baj.). 8. Hauptrogenstein sup. + inf. (Bath.). 9. Callovien. 10. Marnes oxfordiennes. 11. Kimméridgien tabulaire. K = Keuper tectonisé indifférencié. t = Ensemble tectonisé.
Niveaux piézométriques: TA/TC/TC bis, mesurés en forage; TB, mesures approx. en cours de forage dans le Keuper, forage sec en fin de travaux.
Callovien (9), mesure de pression dans un forage à l'avancement, en galerie. Hauptrogenstein (8), valeur probable en fonction d'indices de surface.
Tronçons crépinés des forages: TA, cote 541 à 526 m. TB, cote 565 à 525 m. TC, pas de tube piézométrique. TC bis, 1 piézo. crépiné entre cotes 565 et 526 m, 1 piézo. crépiné entre cotes 482 et 459 m = Muschelkalk compact (niveaux piézo. mesurés identiques). Cote radier galerie: 527-532 m.

Les formations du Keuper sont globalement peu perméables. De très faibles venues d'eau, associées aux bancs de dolomie des Marnes Bigarrées ont été observées dans la galerie. Le forage TB a recoupé une cavité karstique aquifère dans les «Gansinger Dolomit».

Les dolomies et calcaires du Muschelkalk sont massifs et secs quoique localement très fracturés. Dans l'état actuel des connaissances, on peut donc envisager que le Muschelkalk est drainé par le Malm du Jura tabulaire d'Ajoie, sous-jacent au chevauchement frontal du Mont-Terri.

LITHOLOGIE ET TECTONIQUE DES MARNES AALÉNIENNES

Au Mont-Terri, les Marnes Aaléniennes mesurent environ 160 m d'épaisseur, et représentent 240 m de la galerie de reconnaissance. Ce sont des roches constituées de 60 à 80 % de minéraux argileux (chlorites: 50 à 70 %, illites: 5 à 15 % et interstratifiés gonflants: 2 à 10 %; analyses RX, Institut de géologie, Université de Neuchâtel). Les traces de bioturbation sont fréquentes au travers de la formation sous forme de pistes de 1 à 2 mm de diamètre et de 1 à 3 cm de longueur. La formation des Marnes Aaléniennes a été subdivisée en cinq séquences lithologiques (fig. 3) qui sont de bas en haut:

- *Les marnes micacées à ammonites, épaisseur: env. 70 m*

  Ces marnes très argileuses et micacées, à ammonites, contiennent des bancs interstratifiés de marnes biodétritiques grumeleuses à débris coquilliers.

- *Les marnes à bancs de grès et de calcaire, env. 25 m*

  A la base de cette séquence, des bancs décimétriques de calcaires biodétritiques et gréseux sont interstratifiés dans les marnes. La partie centrale est essentiellement formée de bancs décimétriques de calcaires un peu marneux, gréseux et micacés à fins interlits de marnes. Dans la partie supérieure les marnes alternent avec des bancs de grès décimétriques. Ces niveaux n'ont apparemment jamais été décrits dans les Marnes Aaléniennes de la région (H. R. BLÄSI, communication orale).

- *Les marnes silteuses, env. 20 m*

  Ces marnes contiennent de rares interlits millimétriques gréseux blancs.

- *Les marnes à interlits gréseux blancs, env. 30 m*

  Ces marnes silteuses et gréseuses contiennent des interlits millimétriques gréseux blancs à pyrite. Des nodules décimétriques (10 à 30 cm de long et 5 à 20 cm d'épaisseur) de calcaires marneux apparaissent sporadiquement. Des concrétions calcidolomitiques et ferrugineuses beige-ocre de 2 à 5 mm d'épaisseur et de 0,5 à 5 cm de longueur sont alignées dans la stratification.

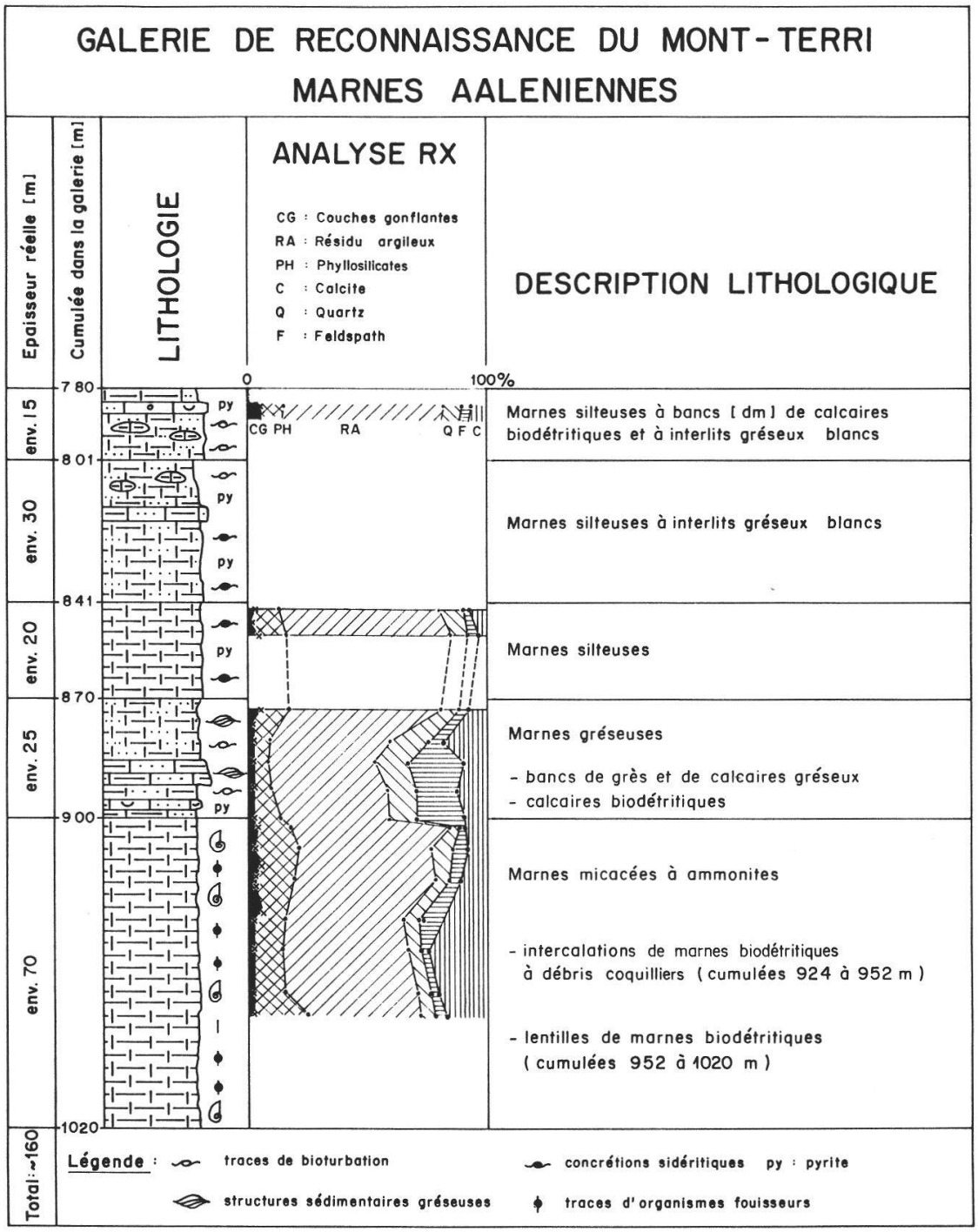

Fig. 3. Séquences et composition des Marnes Aaléniennes du flanc sud du Mont-Terri.

— *Les marnes à bancs calcaires et interlits gréseux, env. 15 m*

Ces marnes contiennent des lentilles de calcaires gréseux gris (5-10 cm de long, 0,5-2 cm d'épaisseur) et des interlits millimétriques gréseux blancs à pyrite, identiques à ceux de la séquence sous-jacente. Des bancs décimétriques de calcaires biodétritiques et gréseux sont interstratifiés au sommet de la séquence.

Les déformations tectoniques sont globalement peu importantes dans les Marnes Aaléniennes dont les pendages varient de 15° à 50°, entre la base et le sommet de la formation. Des glissements couches sur couches sont fréquents. Des plis kinkés vraisemblablement associés à des «rétro-charriages» sont visibles dans la galerie, entre les cumulées 885-900 m et à 940 m. Les diaclases sont peu visibles et peu abondantes dans les marnes, le système le plus fréquent, d'extension plurimétrique, forme des plans de chevauchement d'orientation 180-220/15-25° qui constituent une accentuation des mouvements de glissement couches sur couches. Un autre système de diaclases fines ($\leqslant 1$ mm) d'extension comprise entre 1 et 2 m a été mesuré. Ces fractures sont associées aux failles normales du graben rhénan. Les recristallisations de calcite dans les diaclases sont très rares; elles ont été observées à 3 endroits dans la galerie, au cumulées 875, 895 et 995 m.

CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES DES MARNES AALÉNIENNES

Généralités sur l'étude des roches à faible perméabilité

Les Marnes Aaléniennes ont une teneur élevée en argile qui leur confère une très faible perméabilité. Les roches peu perméables ne forment pas à proprement parler des aquifères, cette dénomination étant réservée à des milieux que l'on peut exploiter pour en extraire de l'eau. Cependant, en règle générale, elles sont saturées d'eau laquelle, malgré son mouvement très lent, n'en participe pas moins à un système d'écoulement (MARSILY 1981, p. 102).

A la figure 4 est représentée une appréciation semi-quantitative de la perméabilité, placée dans l'échelle des coefficients de perméabilité de Darcy, K (m/s). On constate que, du point de vue de la géologie de l'ingénieur, la perméabilité d'un milieu peut être qualifiée de faible lorsque K est inférieur à 10^{-7} m/s environ.

Dans le cas des roches faiblement perméables, la recherche des causes de cette perméabilité — en d'autres termes des caractères de la roche qui permettent à l'eau de s'écouler — nécessite une analyse particulièrement minutieuse. Dans un tel milieu, les voies d'écoulement possibles correspondent généralement à des discontinuités structurales ou à des hétérogénéités lithologiques. Lors des levés de terrain, il est important d'être attentif aussi bien aux systèmes de discontinuités peu étendues et généralement fines qu'aux zones tectonisées majeures distribuées de manière peu fréquente. Le rôle des premiers, vis-à-vis de l'écoulement, dépend du degré d'interconnexion des éléments du système, lequel peut être très variable mais généralement faible dans le cas des roches peu perméables. Il s'agit donc de récolter les observations nécessaires à tenter d'évaluer l'organisation de ces systèmes et leur degré d'interconnexion; des discontinuités d'extension limitée formant un réseau sont représentées de manière schématique à la figure 5. L'échantillonnage du remplissage et des épontes des discontinuités à des fins d'analyses géochimiques permet également de

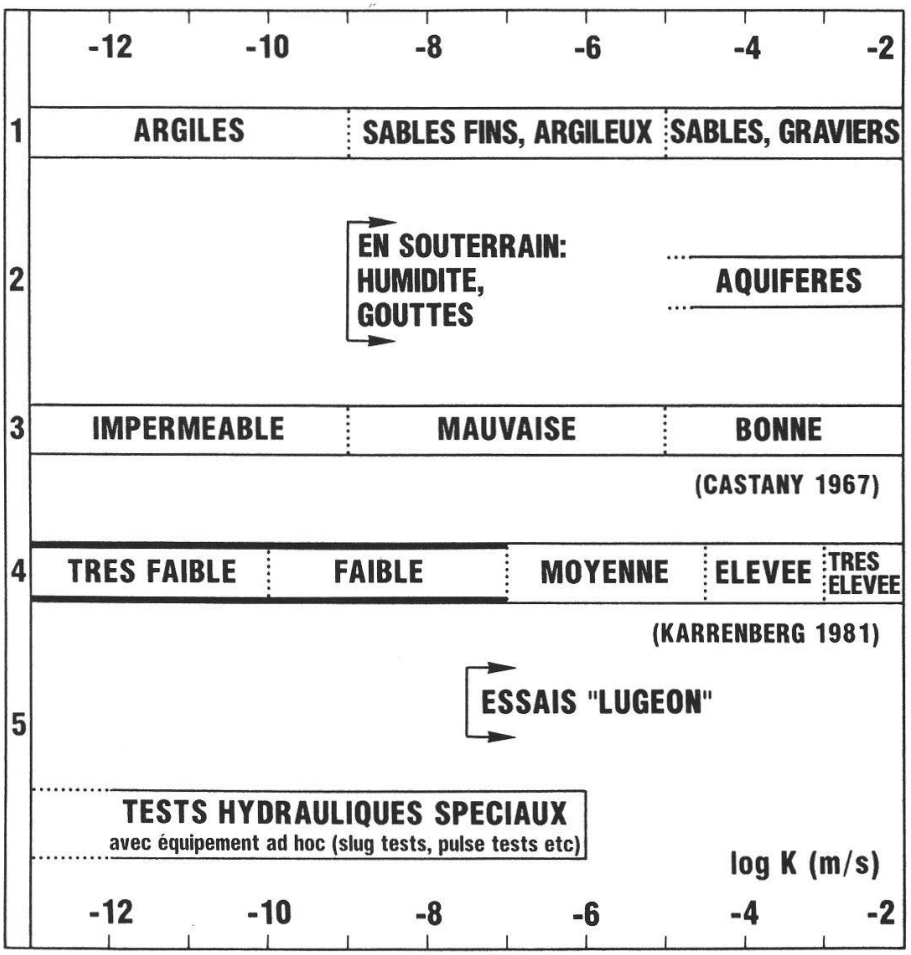

Fig. 4. Echelle des perméabilités (K = coefficient de perméabilité de Darcy).
1. Types de roches (cas des roches à perméabilité d'interstices). 2. Abondance d'eau (pour $K < 10^{-9}$ m/s, la roche en souterrain apparaît généralement sèche). 3, 4. Appréciation semi-quantitative de la perméabilité: 3. Point de vue de la mise en valeur des eaux souterraines; 4. Point de vue de la géologie de l'ingénieur. 5. Domaine d'application des types d'essais de perméabilité.

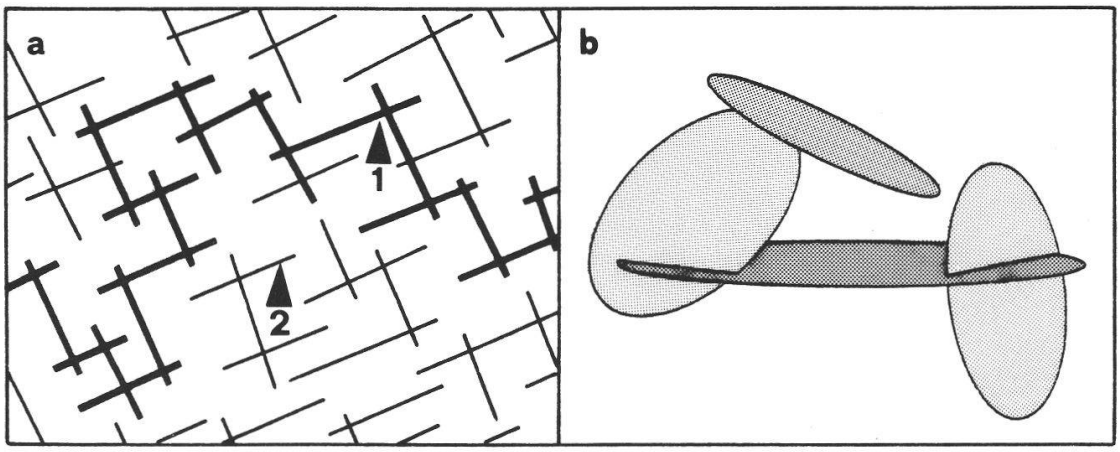

Fig. 5. Représentation schématique de l'organisation possible de discontinuités d'extension limitée.
a) Réseau représenté à deux dimensions: 1. Réseau connexe formant une «chaîne» pouvant permettre un écoulement d'eau; 2. Discontinuités isolées. b) «Chaîne» de discontinuités, représentée en perspective (d'après BARBREAU et *al.* 1988).

recueillir des informations significatives vis-à-vis de l'interprétation des conditions d'écoulement.

Travaux de terrain réalisés

Les travaux de terrain ont porté sur un tronçon d'environ 260 m comprenant les Marnes Aaléniennes et le contact avec les roches adjacentes. Les activités suivantes ont été réalisées: (i) levé lithologique, structural et hydrogéologique continu et détaillé à l'échelle 1 : 50; (ii) levé photographique continu d'une paroi; (iii) prélèvement d'un échantillon de roche pour chaque mètre de galerie; (iv) pour chaque zone où la présence d'eau pouvait être observée, description détaillée avec documentation photographique, prélèvement d'échantillons de roche et si possible d'échantillons d'eau.

La galerie, d'un diamètre de 5 m environ, a été excavée de manière conventionnelle, à l'explosif (sauf pour les derniers 65 m du levé, réalisés au tunnelier). On procédait généralement par volées de 4 m, un cycle de perforation-charge-minage-marinage durait environ 8 h; le géologue disposait, entre deux cycles, d'un intervalle d'une demi-heure à une heure et demie pour procéder au levé du dernier tronçon de 4 m fraîchement excavé. L'entreprise travaillant avec 3 équipes, 24 h par jour, le géologue a dû faire preuve d'une grande flexibilité dans ses interventions, et d'une extrême disponibilité.

Résultats obtenus

En vertu des observations disponibles sur les niveaux piézométriques dans les différentes unités géologiques de la zone du projet (fig. 2), on peut admettre que les Marnes Aaléniennes du flanc sud de l'anticlinal du Mont-Terri sont, au point de vue hydrodynamique, en conditions saturées. Le levé hydrogéologique en galerie a donné les résultats présentés ci-dessous.

1. Des traces d'humidité et quelques goutelettes ont été observées en calotte, dans une niche d'essais excavée à la cumulée 888 m. Il s'agit là de la seule apparition d'eau dans les Marnes Aaléniennes. Il faut souligner que cette zone correspond aux marnes à bancs de grès et de calcaires de la partie médiane de la formation, moins riches en minéraux argileux et à comportement plus cassant (voir fig. 3). Malgré trois drains installés dans le rocher, cette zone n'a cependant livré aucun échantillon d'eau. Aux cumulées 913 et 965 m, deux échantillons de roche de 0,5 kg chacun ont été prélevés; on a pu extraire de chacun d'entre eux, en laboratoire, par un procédé spécial et sous haute pression, 4-5 ml d'une eau très saline (A. GAUTSCHI, CÉDRA, communication orale).

2. Trois zones plus fortement tectonisées, d'une épaisseur d'un à quelques mètres, ont été observées dans les Marnes Aaléniennes (cumulées 825, 921-925 et 932-936 m), elles ne montraient cependant aucune trace d'humidité.

3. Au mur des Marnes Aaléniennes, la première diaclase aquifère a été rencontrée au sommet des Schistes à Posidonies du Lias (Toarcien); elle a livré 4 l/min d'une eau également très saline (Na, Cl) et pratiquement dépourvue de tritium.

4. Les caractères chimiques des deux échantillons mentionnés ci-dessus indiquent un contact très prolongé avec la roche — donc un écoulement très lent — et une absence de dilution avec des eaux plus récentes. Par contre, la première venue d'eau abondante au-delà des Marnes Aaléniennes, qui a été observée dans les Calcaires à Gryphées, plus bas dans le Lias, a débité 2 à 3 l/s d'une eau totalement différente, peu minéralisée et présentant plus de 20 unités tritium, indiquant donc un régime d'écoulement rapide (A. GAUTSCHI, communication orale).

CONCLUSIONS

Les efforts consentis pour cette étude ont permis d'obtenir un levé hydrogéologique et géologique de référence des Marnes Aaléniennes qui est, à notre connaissance et pour la Suisse, le premier levé continu et complet de cette formation en galerie montrant ce degré de détail.

L'absence de venues d'eau et le caractère exceptionnel de traces d'humidité dans cette formation s'ajoutent aux observations faites précédemment dans d'autres tunnels à travers la chaîne du Jura, dont le degré de détail n'est cependant pas comparable à celui de l'étude présentée ici. Des observations concernant 5 tunnels jurassiens (Grenchenberg, Weissenstein, Hauenstein — 2 tunnels —, Belchen), il apparaît qu'aucune venue d'eau n'a été signalée dans les Marnes Aaléniennes et que seule une trace d'humidité a été observée au contact avec une zone tectonisée (A. GAUTSCHI, communication personnelle).

Les questions qui se posent à l'issue de cette étude sont les suivantes: (i) quelles sont les caractéristiques hydrogéologiques de ces marnes dans des conditions plus tectonisées? (ii) d'autres levés détaillés permettront-ils d'observer à nouveau les marnes à bancs de grès et de calcaire de la partie médiane de la formation? (iii) à notre connaissance, aucun échantillon d'eau n'a jamais pu être récolté dans les Marnes Aaléniennes à une profondeur de l'ordre de 200 m ou davantage; une étude future permettra-t-elle le prélèvement d'un tel échantillon, et sous quelles conditions?

Résumé

Cette étude se place dans le cadre de la constitution d'une base de données sur les roches à faible perméabilité d'importance régionale. L'observation minutieuse des Marnes Aaléniennes (épaisseur env. 160 m) au Mont-Terri a permis d'obtenir un levé géologique et hydrogéologique de référence qui est, à notre connaissance et pour la Suisse, le premier levé continu et complet en galerie montrant ce degré de détail. La seule trace d'eau observée correspond à une tache d'humidité avec quelques suintements. Ces observations, liées aux premiers résultats des études hydrochimiques de laboratoire, permettent d'admettre que l'écoulement d'eau dans la zone étudiée est extrêmement réduit.

Zusammenfassung

Diese Studie soll einen Beitrag zum Aufbau eines Datensatzes über die niedrigdurchlässigen Gesteine regionaler Ausdehnung bilden. Eine sehr detaillierte geologisch-hydrogeologische Aufnahme des Opalinus-Tons (Mächtigkeit ca. 160 m) im Mont-Terri Stollen wurde durchgeführt. Eine einzige feuchte Zone mit wenig Sickerwasser konnte beobachtet werden. Zusammen mit den ersten hydrochemischen Laborresultaten weisen diese Beobachtungen auf eine extrem geringe Wasserzirkulation hin.

Summary

This study shall contribute to the constitution of a data set on rocks of low permeability and of regional extent. A very detailed geological mapping of the Opalinus-clay (thickness about 160 m) in the Mont-Terri gallery has been carried out. Only one wet zone with minor seepage has been observed. Together with the first results of the hydrochemical laboratory studies, these observations indicate an extremely low water flow in the formation.

BIBLIOGRAPHIE

BARBREAU, A., DURAND, E., FEUGA, B., PEAUDECERF, P., CACAS, M. C., LEDOUX, E. et MARSILY, G. de. – (1988). Identification des paramètres d'écoulement et de transport dans un milieu fissuré décrit de façon stochastique. *Colloque international « Hydrogéologie et sûreté des dépôts de déchets radioactifs et industriels toxiques ». Documents du BRGM N° 160 :* 63-75, 5 fig.

CASTANY, G. – (1967). Traité pratique des eaux souterraines. 661 pp., *Paris* (Dunod).

CÉDRA. – (1988). Sedimentstudie – Zwischenbericht 1988 (Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz). *Nagra Technischer Bericht NTB 88-25,* 456 pp., *Baden* (Cédra).

KARRENBERG, H. – (1981). Hydrogeologie der nichtverkarstungsfähigen Festgesteine. 248 pp., *Wien* (Springer-Verlag).

MARSILY, G. de. – (1981). Hydrogéologie quantitative. 215 pp., *Paris* (Masson).

SCHAEREN, G. et NORBERT, J. – (1989). Tunnel du Mont-Terri et du Mont-Russelin – La traversée des « roches à risques » : marnes et marnes à anhydrite. *Journées d'étude « La traversée du Jura – les projets de nouveaux tunnels ». Documentation SIA D 037 :* 19-24, 1 fig. Soc. suisse des ingénieurs et des architectes, *Zurich.*