Aspects géotechniques liés au gonflement des marnes dans la galerie de reconnaissance du tunnel de Bure (A16, Jura, Suisse)

Autor(en): **Christe, R. / Grobet, D. / Burrus, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **6 (2001)**

Heft 2

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-222971

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bull. Géol. appl.	vol. 6	no. 2	p. 111 – 118	Décembre 2001

Aspects géotechniques liés au gonflement des marnes dans la galerie de reconnaissance du tunnel de Bure (A16, Jura, Suisse)

avec 4 figures et 2 tableaux

R. CHRISTE *, D. GROBET * & F. BURRUS **

Résumé

La galerie de reconnaissance de Bure (A16, Canton du Jura) recoupe sur près de 1400 m les formations marneuses et marno-calcaires de l'Oxfordien moyen à supérieur (Marnes à Astartes et la partie supérieure des Calcaires à Astartes et Natices), dont les bancs marneux présentent un potentiel de gonflement important. Les essais de laboratoire réalisés sur des échantillons de ces formations montrent des taux de gonflement de l'ordre de 5 à 20 % et des pressions maximales de gonflement de 500 à 2000 kPa. Après 300 à 500 jours, les mesures extensométriques réalisées dans la galerie de reconnaissance montrent des déformations très faibles, qui correspondent dans le pire des cas à environ 10 % de la valeur maximale estimée théoriquement. Les mesures de contraintes effectuées sur le soutènement de la galerie pendant la même période, n'indiquent par ailleurs aucune mise en pression de celui-ci. L'évaluation des pressions de gonflement prévisibles à long terme est basée sur une analyse comparative des mesures géotechniques réalisées dans d'autres galeries de reconnaissance sur le tracé de l'autoroute A16.

Zusammenfassung

Der Sondierstollen von Bure (A16, Kanton Jura) durchschneidet auf fast 1400 m die tonhaltigen Gesteine des mittleren und oberen Oxfordiens (Natica- und Humeralis-Schichten), welche ein beträchtliches Quellpotential aufweisen. Die Labormessungen der Gesteinsproben dieser Formationen zeigen ein Quellmass von 5 bis 20 % und maximale Quelldrücke von 500 bis 2000 kPa. Nach 300 bis 500 Tagen weisen die im Sondierstollen durchgeführten Extensometer-Messungen sehr schwache Verformungen auf, die im extremsten Fall 10 % des theoretisch geschätzten Maximalwertes entsprechen. Die Druckmessungen an der Ausbruchsicherung der Galerie, die gleichzeitig durchgeführt wurden, zeigten ebenfalls keine Belastung an. Die Schätzung der langzeitlichen Quelldrücke basiert auf einer vergleichenden Analyse der geotechnischen Messungen in anderen Sondierstollen auf der Autobahn A16.

Abstract

Almost half of the northern part (1400 meters) of the A16 Bure motorway survey tunnel which runs through the Tabular Jura in NW Switzerland was tunnelled out of upper Oxfordian marls and marley limestones («Marnes à Astartes» and the upper layers of «Calcaires à Astartes et Natices»). The marl layers show an important swelling potential and laboratory tests have indicated swelling rates ranging from 5 to 20 % with maximum swelling pressures lying between 500 and 2000 kPa. Extensometric data gained after 300 to 500 days testing present only very slight deformation. In the worst cases this deformation corresponds to about 10 % of theoretically estimated values. Furthermore, stress measurements made in the survey tunnel casing during that same period do not show any signs of pressure build-up on it. Long term forecasts on the development of swelling pressures are based on a comparative analysis of geotechnical surveys carried out in other A16 motorway survey tunnels.

* MFR Géologie-Géotechnique SA, Rue de Chaux 9, 2800 Delémont
** GGT SA, Rue St-Sébastien 4, 2800 Delémont

1. Introduction

D'une longueur de 2905 m, le tunnel de Bure sera l'un des ouvrages souterrains majeurs de l'autoroute A16 (Transjurane), qui reliera à travers le canton du Jura, les réseaux autoroutiers français et suisse (Fig. 1).

Cet ouvrage, dont la couverture maximale est de 70 m, évitera en profondeur le point culminant du plateau de Bure (Jura tabulaire), dont l'ossature est formée par une série essentiellement calcaire d'environ 300 m d'épaisseur, en position subhorizontale. Le plateau est découpé par 2 systèmes de fractures d'orientation générale N-S et WNW-ESE dont les rejets produisent une structure dite «en touches de piano» (horst et graben).

C'est une faille transversale d'orientation WNW-ESE qui délimite, par un rejet de 17 mètres, le tunnel de Bure en 2 secteurs bien distincts (Fig. 2):
- au Sud, des terrains essentiellement calcaires (Oxfordien supérieur et Kimméridgien);
- au Nord, sur environ 1400 m, les formations marneuses à marno-calcaires des Marnes à Astartes et des Calcaires à Astartes et Natices (Oxfordien moyen à supérieur).

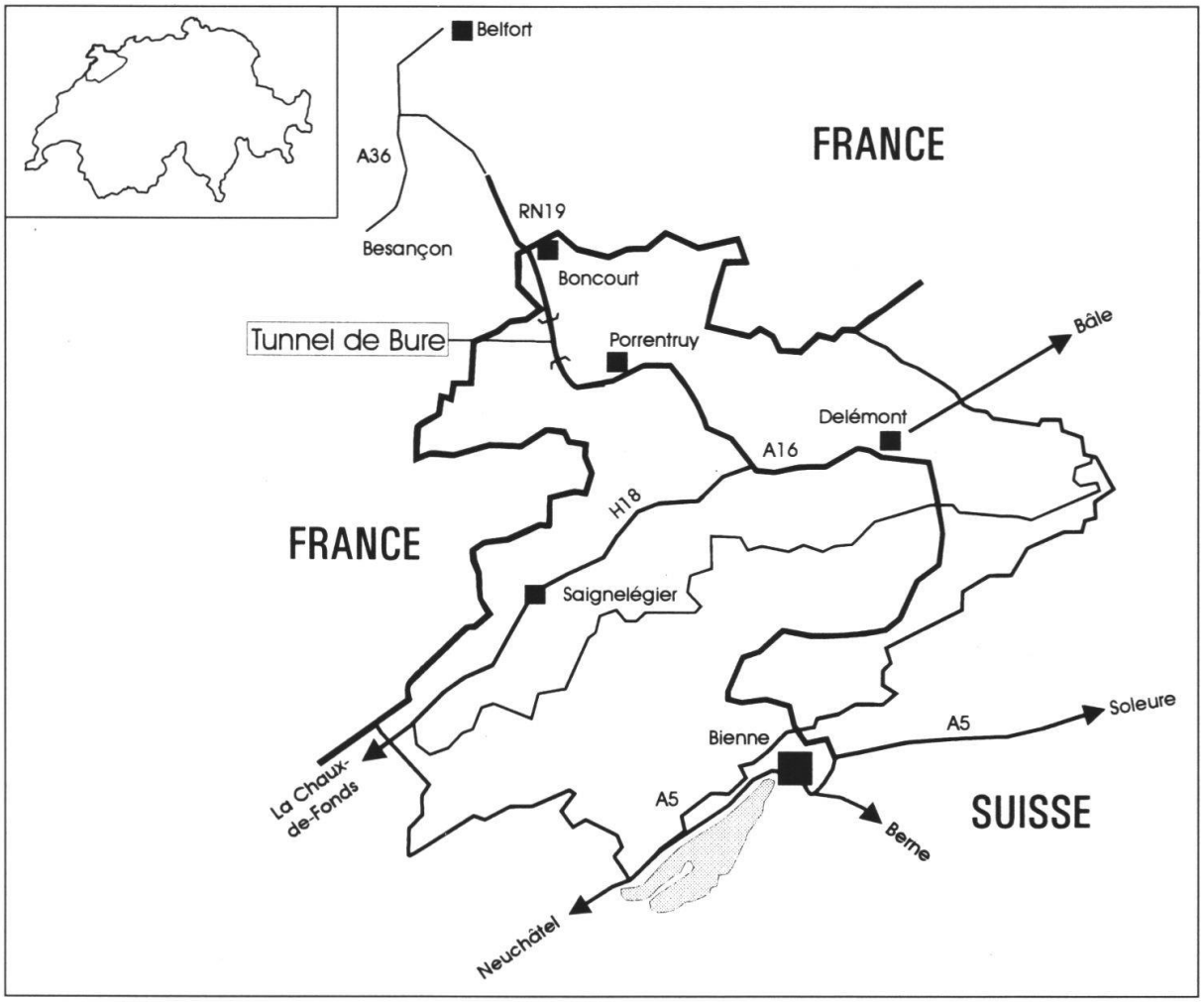


Fig. 1: Plan de situation.

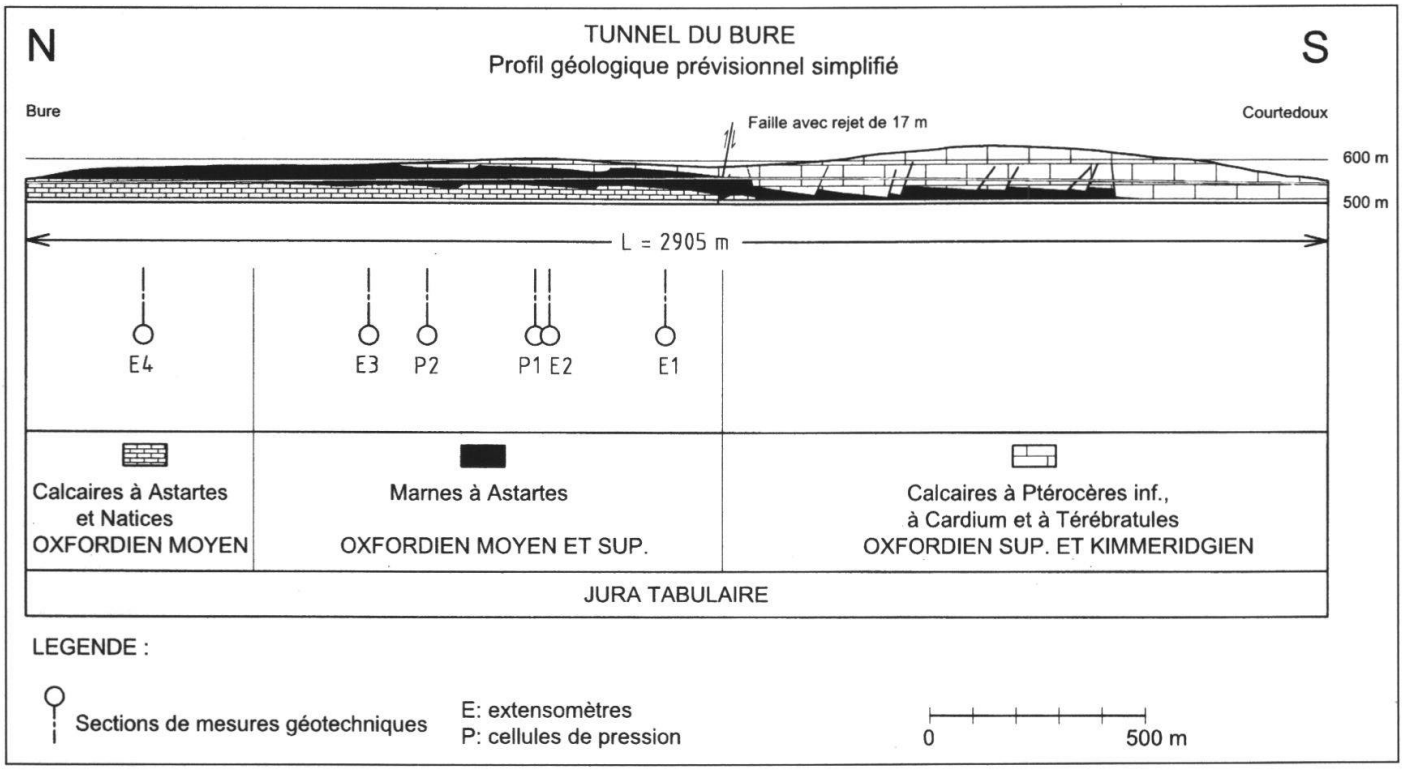


Fig. 2: Profil en long géologique du tunnel de Bure.

Les essais de gonflement réalisés en laboratoire sur des échantillons de roche prélevés dans les sondages de reconnaissance ont montré que les bancs marneux de ces dernières formations présentaient un potentiel de gonflement important.

La réalisation, au cours de l'année 2000, d'une galerie de reconnaissance à 40 mètres à l'Ouest du futur tunnel, a permis la mise en place de sections de mesures géotechniques (convergences, cellules de pression et extensomètres) servant à ausculter in situ le comportement du massif rocheux après excavation.

2. Les essais de gonflement en laboratoire

Au total, 27 échantillons de marnes ont été prélevés dans les formations géologiques des Marnes à Astartes et des Calcaires à Astartes et Natices, dont 18 sur le site du tunnel de Bure:

- 9 échantillons proviennent des sondages de reconnaissance au droit du futur tunnel;
- 5 échantillons ont été prélevés dans 2 forages exécutés pour la mise en place d'extensomètres dans la galerie de reconnaissance;
- 4 échantillons sont des blocs prélevés in situ sur les parements de la même galerie.

Des essais de gonflement ont été effectués au laboratoire de l'ISRF (EPFL), selon la méthode Huder-Amberg, au moyen d'oedomètres traditionnels du type mécanique des sols. L'expérience des chantiers montre en effet que les conditions de l'essai oedométrique sont une représentation raisonnable de la réalité (Einstein & Bischoff 1976).

Les échantillons ont été chargés perpendiculairement à la stratification, avec des contraintes verticales comprises entre 1 et 500 à 1000 kPa selon les cas.

Les résultats des essais montrent une variabilité importante (Tab. 1).

Formation géologique	Taux de gonflement [%]	Pression de gonflement maximale [kPa]	Epaisseur maximale des bancs [m]
Marnes à Astartes	1.4–19.0	150–2100	2.0–3.0
Calcaires à Astartes et Natices	4.0–19.5	310–3500	0.2–0.4

Tab. 1: Valeurs extrêmes obtenues pour les essais de gonflement en laboratoire.

En replaçant les échantillons dans leur contexte lithostratigraphique (voir Fig. 3), 2 phénomènes distincts peuvent être observés:

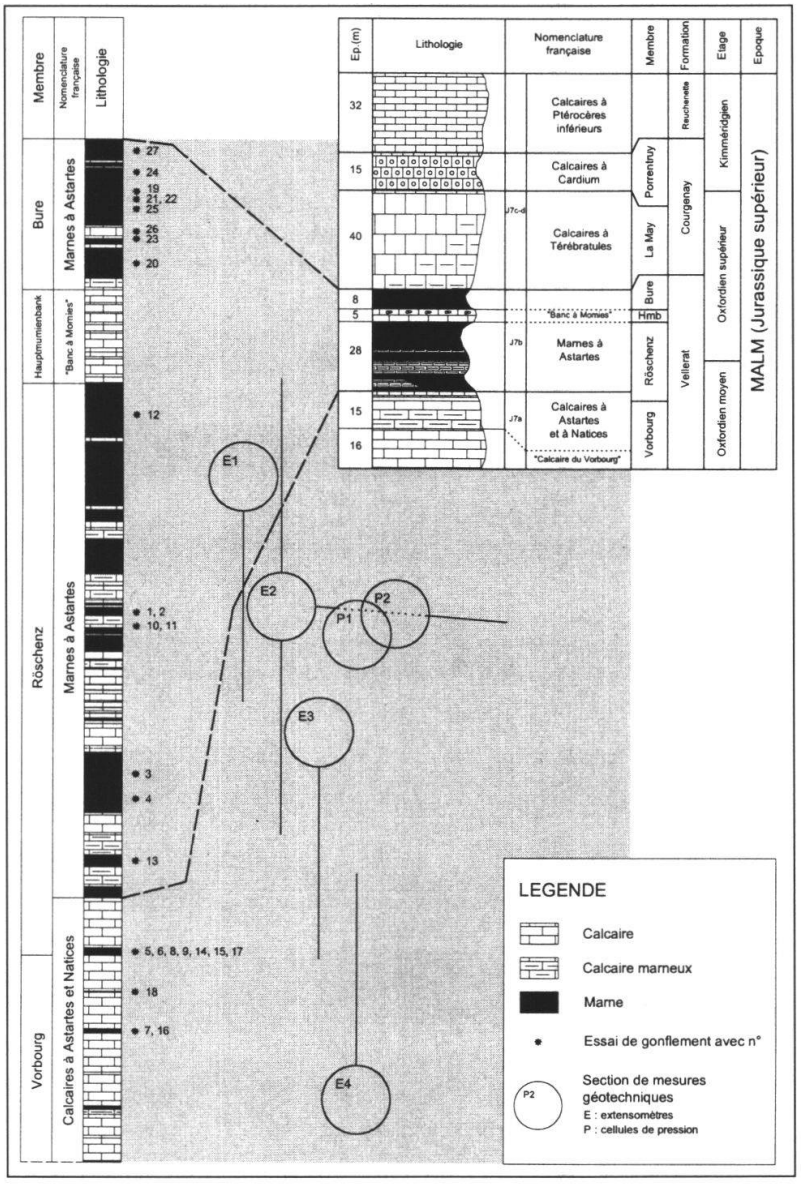


Fig. 3:
Coupe lithostratigraphique avec positions des essais de gonflement et des sections de mesures géotechniques.

- les pressions de gonflement les plus élevées (> 2000 kPa, n° 1, 2, 8, et 9) sont obtenues pour des niveaux marneux de 20 à 40 cm d'épaisseur, confinés entre des bancs calcaires ou marno-calcaires de taille décimétrique à métrique;
- les taux de gonflement sont équivalents dans les 2 formations géologiques. La proportion de marnes peut atteindre 53 % dans les Marnes à Astartes. En prenant le cas théorique le plus défavorable, le gonflement total des marnes pourrait atteindre 15–30 cm pour la galerie de reconnaissance, selon les hypothèses suivantes:
  - la galerie se situe dans une zone à épaisseur maximale de marnes
  - la zone d'influence de la galerie est de l'ordre de son diamètre
  - les taux de gonflement considérés sont ceux obtenus par essais en laboratoire (moyenne par bancs).

Les résultats des essais sont représentés graphiquement dans la figure 4, où elles sont comparées avec des données recueillies dans la galerie du Raimeux, pour les marnes de l'Aalénien et celles de l'Oxfordien s.s. (GVH-BG 1999).

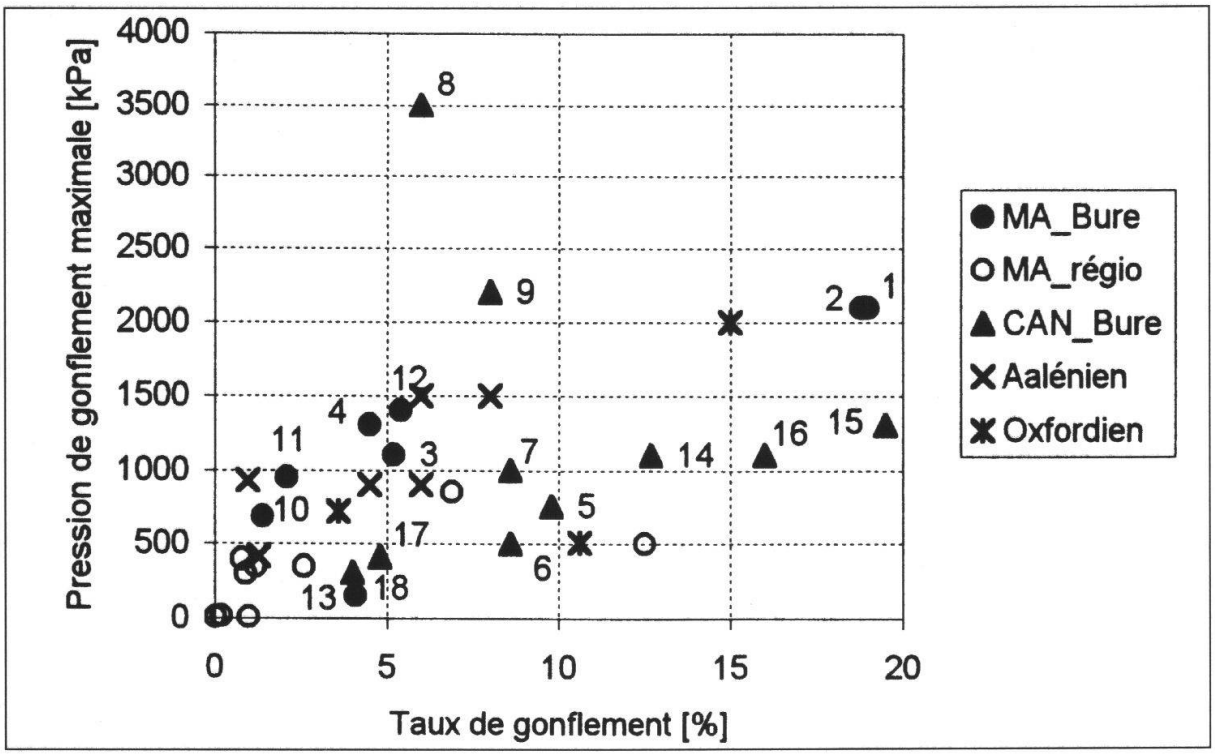


Fig. 4: Résultats des essais de gonflement en laboratoire.
MA_Bure: Marnes à Astartes – tunnel de Bure
MA_régio: Marnes à Astartes – valeurs régionales
CAN_Bure: Calcaires à Astartes et Natices – tunnel de Bure

Cette figure montre de manière générale une dispersion importante des valeurs et on constate que le taux et la pression de gonflement maximale ne sont pas directement corrélés.
Les résultats de laboratoire obtenus pour les formations marneuses rencontrées dans la galerie de Bure sont comparables aux caractéristiques de gonflement régionales des marnes de l'Aalénien et de l'Oxfordien s.s., réputées pour leur comportement gonflant. Ce phénomène est à l'origine de nombreux problèmes dans plusieurs tunnels transjurassiens (Hauenstein, Bötzberg, Belchen; Grob 1976).

3. Les essais in situ

D'un point de vue géotechnique, le rôle principal de la galerie de reconnaissance est de permettre la réalisation d'essais in situ. Au total, 6 sections de mesures géotechniques (4 séries d'extensomètres et 2 séries de cellules de pression) ont été installées dans le secteur marneux de la galerie:

- les déformations du massif rocheux sont mesurées à l'aide d'extensomètres composés de tiges multiples de 1 m, 3 m, 6 m et 10 m. Ils sont placés, soit en calotte, soit latéralement sur le plan médian (position horizontale), soit en radier, dans des tronçons dépourvus provisoirement de soutènement sur une longueur d'environ 8 m;
- les cellules de pression sont posées radialement à la section (dans l'épaisseur de béton), en calotte, en pied droit et en radier.

La position des sections de mesures géotechniques est représentée par rapport à la colonne lithostratigraphique sur la figure 3. Les résultats des mesures sur une période de 300 à 500 jours (E1 à E4 et P1 à P2, CTB 2001) mettent en évidence les phénomènes suivants:

- on observe généralement une convergence rapide de la section, suivie d'une ovalisation du profil avec des déformations de quelques mm. Seule la section E3 présente un soulèvement du radier plus important (14 mm), qui correspond à environ 10% de la valeur théorique dans le cas le plus défavorable;
- dès la mise en place du soutènement (recouvrement par du béton projeté des sections laissées provisoirement ouvertes au droit des extensomètres), les déformations semblent se stabiliser;
- les valeurs mesurées à l'aide des cellules de pression ne montrent actuellement aucune mise en charge du soutènement.

A l'heure actuelle, aucune déformation du revêtement de la galerie de reconnaissance n'a été observée.

4. Comportement du massif – prévision pour le tunnel

La comparaison des essais de laboratoire et des mesures in situ doit permettre de définir les paramètres nécessaires à la conception et au dimensionnement du soutènement et revêtement du tunnel, à savoir le taux et la pression de gonflement.
Pour estimer les déformations potentielles attendues dans le tunnel et dues au gonflement des marnes, les conditions suivantes ont été admises:

- à l'échelle de l'ouvrage, la proportion de marnes dans les formations en présence pourra atteindre 45 à 75% suivant la localisation du tronçon considéré;
- en admettant que la plupart du gonflement se manifeste par un soulèvement du radier, comme c'est généralement le cas, la déformation serait théoriquement de 15–30 cm dans le cas le plus défavorable.

Dans la pratique, les déformations sont toutefois limitées par la mise en place systématique d'un soutènement rigide de géométrie adaptée (radier contre-voûté ou section circulaire, suivant la méthode d'excavation).
La difficulté réside dans l'évaluation des pressions de gonflement prévisibles à long terme et de la vitesse de développement du processus. Dans le cas des sections de

mesures de la galerie de Bure, le recul n'est pas assez grand pour se prononcer sur l'évolution des pressions de gonflement, qui peut être extrêmement lente dans le temps. En effet, le suivi des mesures de pressions et de convergences dans les galeries du Mont Terri (Kohler 1995) ou du Mont Russelin (GGT 2001) montre que la stabilisation des pressions de gonflement dans les marnes de l'Oxfordien s.s. et de l'Aalénien n'est atteinte qu'après 5 à 10 ans.

Par analogie avec les conditions rencontrées dans ces 2 galeries ainsi que dans celle du Raimeux (GVH-BG 1999), le modèle suivant est considéré:

- les essais de laboratoire montrent que les pressions de gonflement des Marnes à Astartes sont similaires à celles des marnes de l'Oxfordien s.s. et de l'Aalénien. Bien que l'épaisseur moyenne des bancs marneux de cette formation soit moins importante, des déformations du même ordre pourraient s'y développer, principalement pour les raisons suivantes:
  - dans les galeries mentionnées, la tranche de roche concernée par le gonflement est de 2–3 m d'épaisseur sous le radier, ce qui correspond à l'épaisseur des bancs marneux les plus épais recoupés par la galerie de Bure
  - dans la série marneuse de Bure, les apports d'eau sont favorisés par la présence de bancs calcaires intercalés entre les bancs de marnes. Ce phénomène de «drainage» naturel, observé en galerie (suintements), est propice au processus du gonflement;
- selon les mesures réalisées à long terme dans les galeries citées en référence (voir tableau 2, ci-dessous), les pressions de gonflement dans la galerie de Bure pourraient donc atteindre 1000 à 1500 kPa.

Formation géologique	Galerie	Pression de gonflement [kPa]	Durée [année]	Evolution, tendance	Références	
Oxfordien s.s.	Terri	≈ 1250	6	Stabilisé	Kohler 1995	1
	Russelin	767	10	non stabilisé	GGT 2001	2
	Raimeux	833	2	Tendance à stabilisation	GVH-BG 1999	3
Aalénien	Terri	≈ 950	4	Tendance à stabilisation	Kohler 1995	1
	Russelin	600	10	non stabilisé	GGT 2001	2
	Raimeux	547	2	non stabilisé	GVH-BG 1999	3

[1] Pression moyenne de 5 cellules disposées à l'interface radier–roche

[2] Pression calculée d'après les contraintes maximales de 3 cellules radialement dans le revétement de la galerie

[3] Pression moyenne de 3 cellules disposées à l'interface radier–roche

Tab. 2: Pressions de gonflement maximales mesurées dans les galeries de reconnaissance des tunnels de l'autoroute A16.

5. Conclusion

Les formations des Marnes à Astartes et des Calcaires à Astartes et Natices rencontrées dans la moitié Nord de la galerie de Bure apparaissent comme une alternance de bancs marneux, marno-calcaires et calcaires d'épaisseur décimétrique à métrique. Elles présentent un potentiel de gonflement important, comparable aux marnes de l'Aalénien et de l'Oxfordien s.s.

Les 2 phénomènes suivants sont à l'origine du processus du gonflement et seront réunis lors de l'excavation du futur tunnel:

- la présence d'argiles gonflantes dans les bancs marneux;
- les apports d'eau liés à la modification de l'état des contraintes au sein du massif (la présence d'intercalations de bancs calcaires au sein des marnes favorise en outre les circulations d'eau).

Actuellement, le recul est insuffisant pour interpréter les mesures géotechniques in situ. Les pressions de gonflement prévisibles à l'échelle de la galerie sont extrapolées sur la base des résultats à long terme obtenus dans des galeries de reconnaissance réalisées pour d'autres tunnels de l'autoroute A16 (Mont Russelin, Mont Terri et Raimeux): elles pourraient atteindre 1000 à 1500 kPa.

Remerciements

Les auteurs remerciement vivement le Maître d'ouvrage, le Département de l'Environnement et de l'Equipement du Canton du Jura, représenté par le Service des Ponts et Chaussées, M. J.-Ph. Chollet, Ingénieur cantonal, ainsi que ses collaborateurs.

Bibliographie

Einstein, H. & Bischoff, N. 1976: Dimensionnement des tunnels en roche gonflante. Tunnels et ouvrages souterrains, 15, mai-juin 1976, pp.109–119.

Grob, H. 1976: Swelling and heave in swiss tunnels. Bull. Int. Ass. Eng. Geol., 13, Krefeld, 1976, p. 55–60.

Kohler, P. 1995: Dimensionnement d'un tunnel basé sur l'auscultation de la galerie de reconnaissance. Form. Cont. Univ. , SIA D 0701, 23 février 1995, p. 57–67.

GVH-BG, 1999: A16 - Tunnel du Raimeux. Rapport d'essais et de mesures. Galerie de reconnaissance. Off. PCH Cant. Berne, Moutier, 20.01.1999, p. 33 (inédit).

CTB 2001: A16 sec. 2 - Lot 2.601. Rapport final. Juillet 2001. Galerie de reconnaissance du tunnel de Bure. Résultats des mesures géotechniques. Service des Ponts et Chaussées, Delémont, 23.07.01, p. 8 (inédit).

GGT SA 2001: A16 Section 5 - Lot 5.95 - Rapport technique du 12 mars 2001. Tunnel du Mont Russelin. Service des Ponts et Chaussées, Delémont, 13.09.01 (inédit).