

Nouvelles ressources en eau et aspects géothermiques: résultats de trois forages à 420 m de profondeur dans le bassin de Delémont

Autor(en): **Flury, François / Matthey, Bernard / Rieben, Christian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **117 (1991)**

Heft 24

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77683>

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.

Nouvelles ressources en eau et aspects géothermiques

Résultats de trois forages à 420 m de profondeur dans le bassin de Delémont

1. Introduction

Les 12 000 habitants de Delémont sont actuellement alimentés en eau par trois sources karstiques (la Doux à Delémont et les deux sources de Develier) et la nappe alluviale des Rondez en rive droite de la Birse. Ces points d'eau fournissent un débit d'étiage de l'ordre de 4 m³/min (480 l/jour/habitant), ce qui s'avère de plus en plus insuffisant en période de sécheresse, la

PAR FRANÇOIS FLURY,
DELÉMONT,
BERNARD MATTHEY,
MONTÉZILLON, ET
CHRISTIAN RIEBEN, BIENNE

consommation d'eau ayant augmenté de 33 % entre 1967 et 1988. A fin 1989, la ville a donc décidé d'entreprendre une prospection en effectuant trois forages de 420 m de profondeur chacun, grâce à un crédit de 1,5 million de francs accepté en votation populaire. Le présent article présente trois applications liées à ces recherches d'eau dans le bassin de Delémont :

- les résultats des trois forages à 420 m de profondeur dans l'aquifère du Malm, du point de vue des ressources en eau potable pour la ville de Delémont [2]¹;
- les possibilités d'applications géothermiques à basse énergie de l'aquifère du Malm;
- une première évaluation du potentiel géothermique des aquifères plus profonds (Dogger et Muschelkalk) sur l'ensemble de la vallée de Delémont.

2. Hydrogéologie du bassin de Delémont

Le bassin de Delémont forme un vaste synclinal (22 × 4 km) dont l'axe est orienté est-ouest; il est bordé par les chaînes du Vorbourg au nord et de Vellerat au sud. Ce type de structure

en cuvette (fig. 1) est particulièrement favorable à la recherche d'eau par forages.

Le sous-sol de ce bassin se compose schématiquement de trois formations aquifères calcaires, en principe isolées par des imperméables marneux, soit de haut en bas (fig. 2) :

- l'imperméable formé par la molasse dans les parties basses de la vallée de Delémont (de 0 à environ 200 m d'épaisseur)
- les calcaires aquifères du Malm supérieur et moyen, dont l'épaisseur totale est de 250 m; ils ont été traversés avec succès par les trois forages de Delémont
- l'imperméable marneux de l'Oxfordien (environ 80 m)
- les calcaires du Dogger supérieur, faciès Grande Oolithe, d'une épaisseur estimée à 150 m
- l'imperméable formé par les marnes de l'Aalénien et du Keuper (200-250 m)
- les calcaires et dolomies du Muschelkalk d'une épaisseur estimée à 100 m.

Du fait des formations marneuses qui les séparent, les aquifères sont étagés et possèdent des caractéristiques de pression, de température et de minéralisation qui leur sont propres. Des circulations verticales entre aquifères sont théoriquement possibles au droit de grandes failles recoupant l'en-

semble des formations. Ces grands accidents, orientés nord-sud et liés au fossé rhénan, induisent localement une fracturation plus dense de la roche. Ces discontinuités permettent ainsi le drainage du massif rocheux et servent d'amorce au développement des réseaux karstiques.

Les failles nord-sud décrites ci-dessus ont été mises en évidence à Vicques et à Develier; c'est à leur aplomb que l'on trouve les endroits les plus favorables à la recherche d'eau souterraine en profondeur. Cette hypothèse a bien été confirmée par les forages décrits ici. La présence d'une importante couverture tertiaire (« terre jaune » et molasse alsacienne) peu perméable garantit la protection des aquifères sous-jacents et permet qu'ils soient en pression.

3. Projet de forages au Malm

Les aspects hydrogéologiques du projet de forages au Malm seront présentés en détail dans le numéro de décembre 1991 de la revue *Gaz, Eaux, Eaux usées*. Nous en rappelons ici les points importants :

- l'aquifère cible se trouve dans les horizons calcaires du Malm supérieur du synclinal de Delémont, sous la ville;
- cet aquifère est recouvert et protégé par environ 150 m de molasse quasi imperméable;
- pour assurer le succès de la prospection, il fallait recouper un maximum de fractures aquifères, d'où l'importance de la campagne de géophysique préalable aux forages;
- les forages furent effectués en mode destructif (tricône avec rotation à la boue dans la molasse puis à l'eau claire dans les calcaires) avec cimentation d'une colonne technique jusqu'au toit des calcaires. Chaque forage a été développé par injection sous pression d'acide chlorhydrique à 15% de concentration (en moyenne trois phases d'acidification et 20 t d'acide par forage).

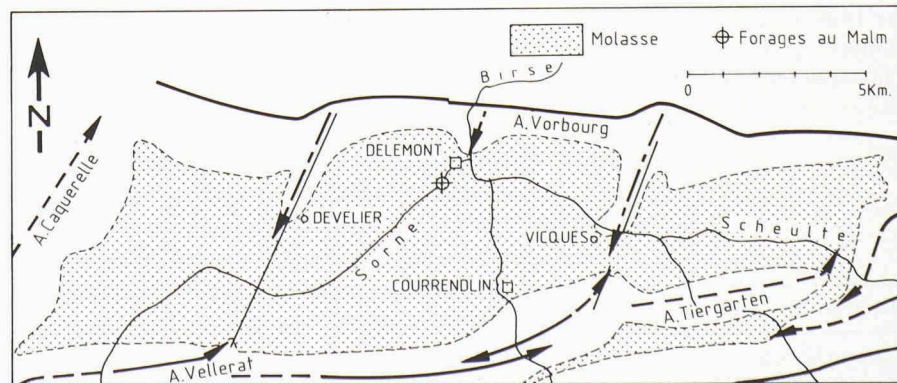


Fig. 1. - Situation et esquisse structurale du bassin de Delémont.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

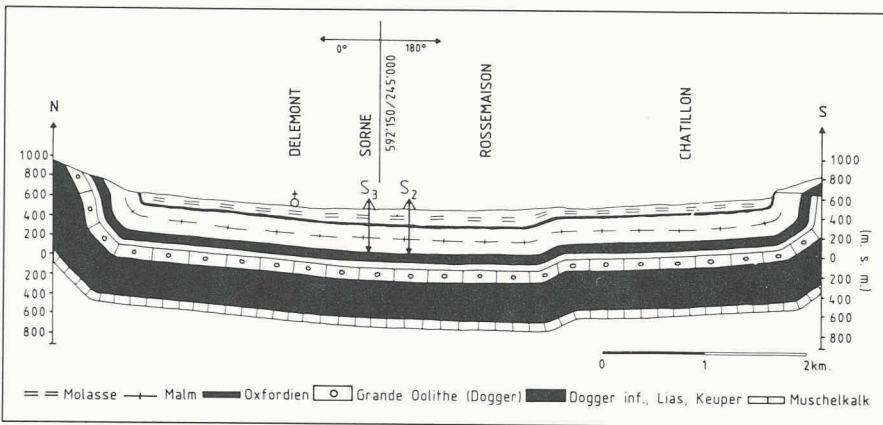


Fig. 2. - Coupe géologique nord-sud du bassin de Delémont.

Géophysique

Afin d'assurer le succès de la prospection par forages, c'est-à-dire de recouper un maximum de discontinuités ouvertes et productives lors de la perforation, quatre profils de mesures de réflexion sismique « haute résolution », totalisant 5,75 km, ont été réalisés au sud-ouest de la ville. Cette campagne a permis d'identifier quelques accidents à faible rejet (environ 10 m) dans les calcaires sous la molasse.

Les trois forages ont été implantés directement sur des accidents décelés par les mesures géophysiques (S2 et S3) ou à leur proximité immédiate (S1), avec un succès quasi identique.

4. Nouvelles données hydrogéologiques résultant des forages

4.1 Aspects quantitatifs

Les pompages d'essai par paliers de débit en S1 (17 jours) et S3 (1 mois) ainsi qu'à débit constant en S2 (3,5 mois) ont permis de calculer les paramètres hydrodynamiques sur la base de l'approximation logarithmique de Jacob (tabl. 1).

La courbe caractéristique (rabattement en fonction du débit) des forages S1 et S3 montre que le débit que chaque ouvrage peut fournir est supérieur au débit maximum de la pompe immergée (1700 l/min).

L'estimation du débit exploitable par les trois forages doit toutefois tenir compte de la recharge naturelle de l'aquifère du Malm dans la partie cen-

trale de la vallée de Delémont. La réserve totale est estimée à 7×10^6 m³ [2]. La recharge de l'aquifère, à savoir la reconstitution de la réserve par les pluies efficaces, constitue la ressource, c'est-à-dire le débit exploitable par la ville sur la base des trois forages.

A ce jour, on peut dire que notre connaissance de la recharge de l'aquifère captif du Malm sous la ville de Delémont est encore limitée. On sait toutefois que :

- l'âge moyen de l'eau, obtenu par datation au tritium, est supérieur à 40 ans [5];
- selon les mesures d'oxygène-18 [5], l'altitude moyenne de l'aire d'alimentation, ramenée à des conditions actuelles, se trouve entre 600 et 700 m, altitude qui correspond à celle des affleurements de Malm sur les flancs nord et sud du synclinal de Delémont;
- les zones de décharge possibles de la partie captive de l'aquifère du Malm sont, en principe, les cluses du Vorbourg et de Choindez, niveaux de base où les calcaires du Malm affleurent.

En guise de synthèse, on retiendra que les trois forages exploiteront une nappe dont la réserve totale est de plusieurs millions de m³ et qu'en régime de pompage, on dispose d'un débit de 500 000 à 1 000 000 m³/année. (1000 à 2000 l/min, en admettant un renouvellement annuel de 10% de la réserve totale.)

Cette valeur constitue une première estimation, prudente, de la ressource

associée aux trois forages; ces valeurs ont déjà été confirmées par la remontée des niveaux après avoir pompé 1000 l/min pendant 3,5 mois en S2 et 1240 l/min en moyenne pendant un mois en S3.

4.2 Aspects qualitatifs

D'un point de vue qualitatif, sauf en ce qui concerne les concentrations trop faibles en oxygène dissous (environ 1-2 mg/l), cette eau est excellente. Les teneurs en fer, importantes au début des pompages (dépôts couleur ocre), ont diminué en cours de pompage pour atteindre des valeurs inférieures aux normes. Son exploitation nécessitera toutefois un traitement combiné permettant [6] l'abaissement de la température à 15°C et l'oxygénation combinée éventuellement avec l'élimination du fer.

5. Aspects géothermiques de l'aquifère du Malm

5.1 Venues d'eau en forage

Sur la base des diagraphies effectuées en fin de perforation, on a identifié les venues d'eau rencontrées dans les forages (tabl. 2).

On remarquera qu'en S1, la remontée naturelle de l'eau des fractures profondes (350 et 311 m) dans les fractures supérieures (230 m) provoque une certaine uniformisation des valeurs de température et de conductivité.

5.2 Gradient géothermique

Compte tenu des phénomènes artésiens et des circulations naturelles à l'intérieur des forages, le gradient géothermique a été calculé à partir de la différence entre les températures (mesurées par diagraphie) au fond des forages et une température moyenne annuelle en surface de 10°C à Delémont.

On obtient ainsi 31,9°C/km en S1, 32,5°C/km en S2 et 30,5°C/km en S3. Ces valeurs sont plus faibles que celles, supérieures à 40°C/km, données par Rybach et al. sur leur carte de 1987 [4]; on notera toutefois que ces auteurs manquaient de points de mesure pour le canton du Jura.

5.3 Ressources et réserves géothermiques à basse enthalpie

La présence sous un bassin urbanisé d'un aquifère profond, suffisamment perméable pour pouvoir en extraire un débit important, constitue un atout non négligeable dans la gestion des équipements énergétiques de surface. Si les températures de l'aquifère du Malm restent faibles (environ 20°C), les eaux qu'on en extrait ont en revanche une composition chimique ne posant pratiquement pas de pro-

TABLEAU 1. - Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère profond du Malm.

Transmissivité	$T = K \cdot D$ [m ² /s)	0,5 à 1×10^{-4}
Epaisseur	D [m]	255
Perméabilité	K [m/s]	2 à 4×10^{-7}
Coefficient d'emmagasinement	S	0,7 à $3,1 \times 10^{-4}$

blème pour les échangeurs et la création éventuelle de doublets. On peut donc envisager de récupérer la chaleur de ce réservoir par un système de pompes à chaleur, en principe à gaz, puis-que ce vecteur sera largement présent dans le bassin.

Dans le cas de l'exploitation d'un bassin géothermique, il est important de connaître les limites des ressources et des réserves. Un gisement géothermique peut être comparé à un gisement de charbon ou de pétrole qui se reconstituerait très lentement sous l'effet d'un flux géothermique très faible ($0,07 \text{ W/m}^2$).

Le tableau 3 donne l'ordre de grandeur des flux et quantités d'énergie en présence. On sait que l'exploitation géothermique permettrait de fournir du chauffage à près de 8000 habitants sans entamer le capital thermique. Si l'on décidait en revanche d'exploiter la totalité des réserves pour couvrir les besoins actuels de la population, il faudrait plus de 700 ans pour épuiser le gisement. Ces données étant acquises, on peut donc considérer qu'il est raisonnable de songer à l'exploitation du gisement à long terme. On n'oubliera pas, non plus, qu'avec l'augmentation inéluctable du prix des énergies fossiles, les calcaires du Malm pourront constituer un réservoir de chaleur très précieux pour une centrale thermique ou des installations solaires de grande dimension.

5.4 Quelques utilisations possibles à court terme de l'énergie géothermique

L'exploitation des trois forages au Malm pour l'alimentation en eau de la ville de Delémont exige qu'on abaisse la température de l'eau au-dessous de 15°C . Plusieurs solutions peuvent être envisagées qui combinent le refroidissement de l'eau avec l'utilisation de sa chaleur :

- I. le refroidissement de l'eau à la sortie des puits par une tour de refroidissement humide et le stockage journalier sur place ;
- II. l'installation d'un système de chauffage à distance pour des immeubles situés à proximité des puits, alimenté par une pompe à chaleur à gaz : l'eau du Malm est refroidie durant la période de chauffage et stockée, par saison, à l'aide d'un doublet constitué par les puits existants ;
- III. la création d'un doublet et d'une station de refroidissement par tour sèche en surface, ne fonctionnant qu'en hiver pour la création d'un stock froid saisonnier ;
- IV. la création d'un doublet avec stockage saisonnier de froid ; le futur pont de la Transjurane est utilisé comme « source » de froid en hiver, le déneigement et suppres-

TABLEAU 2. - Caractéristiques des venues d'eau principales rencontrées en forage.

Forage et profondeur sol [m]	Formation	Température [$^\circ\text{C}$]	Conductivité à 20°C [μScm^{-1}]	Part au débit total lors du pompage
S1 / 208-225	Séquanien	16,8-17,8	350-370	10-15 %
S1 / 231	Séquanien	21,1	350	70-75 %
S1 / 262	Séquanien	21,3	350	0-6 %
S1 / 268	Séquanien	21,3	350	5-6 %
S1 / 311	Rauracien	22,0	360	4-6 %
S1 / 348-352	Rauracien	22,3	365	2 %
S2 / 246	Séquanien	21,0	380	?
S2 / 380	Rauracien	23,2	360	?
S3 / 268-275	Séquanien	22,3	365	<< 50 %
S3 / 388-400	Rauracien	22,6	370	>> 50 %

sion du verglas se faisant par un réseau de tubes noyés dans le tablier ;

- V. la création d'un doublet (comme sous IV. mais avec inversion du sens de circulation de l'eau entre l'hiver et l'été ; si l'on n'utilise pas l'eau froide pour l'alimentation de Delémont, le tablier de la route devient capteur solaire en été.

La conjonction favorable de l'exploitation des eaux souterraines et de la construction de la Transjurane permet donc d'imaginer des solutions originales et efficaces sur le plan énergétique. A long terme, les autorités communales et cantonales devront également se préoccuper de planifier l'utilisation de ces réserves. Il serait également raisonnable d'envisager la reconnaissance de

TABLEAU 3. - Bassin de Delémont : réserves et ressources géothermiques des calcaires du Malm.

<i>A) Données de base</i>	
Flux géothermique :	$0,07 \text{ W/m}^2$
Surface du bassin :	90 km^2
Volume des calcaires :	$22,5 \text{ km}^3$
Différentiel de température exploitable :	10°C
Chaleur spécifique du réservoir :	$2,4 \text{ MJ/m}^3\text{K}$
Habitants vivant sur le bassin versant géothermique :	22 500
Consommation et énergie pour le chauffage, par habitant, industrie et services inclus estimée à	$15\,000 \text{ kWh/habitant/an}$
Consommation d'énergie de chauffage des habitants du bassin de Delémont estimée à	$340 \times 10^6 \text{ kWh}$
soit	$34 \times 10^6 \text{ l de mazout}$
soit	$34 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de gaz}$
<i>B) Ressources</i>	
Flux géothermique à disposition :	$6,3 \text{ MW}$ ($55 \times 10^6 \text{ kWh/an}$)
Nombre d'habitants pouvant être chauffés sans entamer la réserve :	
- avec PAC gaz :	8000 habitants
- avec PAC électrique :	5500 habitants
Débit maximum à soutirer de l'aquifère à l'aide de doublets :	450 l/s
Nombre de doublets :	16
<i>C) Réserves</i>	
Réserve géothermique :	$540 \times 10^9 \text{ MJ}$
soit	$150 \times 10^9 \text{ kWh}$
soit	15 milliards de m^3 de gaz
soit encore	15 milliards de litres de pétrole
Durée d'exploitation de la réserve dans le cas où l'on chauffe toute la population actuelle :	
- avec PAC gaz :	900 ans
- avec PAC électrique :	700 ans

l'aquifère du Muschelkalk par un forage profond (voir ci-dessous). Ressources et réserves y seront probablement du même ordre de grandeur, en revanche on peut s'attendre à des températures nettement plus élevées.

6. Perspectives pour l'ensemble de la vallée de Delémont

6.1 Données actuelles

Comme nous l'avons exposé ci-dessus, la présence d'un potentiel géothermique important provenant de l'aquifère du Malm dans la vallée de Delémont est démontrée. Il existe également une grande probabilité de gisement géothermique pour les aquifères plus profonds du Dogger et du Muschelkalk. Dans la vallée de Delémont, à la base des trois aquifères connus, on peut s'attendre aux températures indiquées dans le tableau 4. Ces valeurs de température sont des estimations plutôt pessimistes, car elles sont calculées avec un gradient géothermique normal de 30°C/km. A titre d'exemple, on s'attendait à Riehen près de Bâle à une température de 55°C à 1500 m de profondeur. Le forage géothermique a révélé en fait dans l'aquifère du Muschelkalk à 1547 m une température de 64,7°C pour un débit d'environ 1200 l/min.

Les régions de Vicques et Develier, et dans une moindre mesure celle de Delémont, pourraient receler des réservoirs géothermiques à des profondeurs moindres que celles citées plus haut, à la faveur de grandes failles nord-sud. On suppose en effet, grâce aux données d'un profil de sismique profonde [7], que les roches ont coulissé verticalement, le long des failles, pour remonter d'environ 200 m. Il est probable qu'au contact de ces failles, les roches soient très fracturées, ce qui permettrait ainsi à des eaux chaudes profondes de remonter en direction d'un aquifère supérieur et de réchauffer celui-ci, créant ainsi une anomalie géothermique locale bienvenue.

6.2 Mise en œuvre d'une recherche géothermique profonde (Dogger ou Muschelkalk)

La mise en valeur des ressources géothermiques profondes du bassin de Delémont passe par cinq étapes :

- une étude de faisabilité, soit l'étude du site sur la base des données existantes, l'évaluation des probabilités de succès, la recherche d'un utilisateur ; à Delémont, une telle étude vient d'être engagée ;
- la prospection du sous-sol par mesures sismiques ; cette étape, indispensable pour implanter des forages, a pour but de caler la structure géologique (profondeur des couches géologiques aquifères, présence de failles) ;
- un ou plusieurs forages de reconnaissance, le développement de la perméabilité du massif rocheux et les essais *in situ* ; c'est la phase cruciale qui seule permet de quantifier le potentiel géothermique du réservoir visé ;
- la création d'un doublet «soutirage-réinjection» pour l'exploitation du réservoir géothermique ; la protection des eaux exige en effet que les eaux très minéralisées pompées en profondeur soient réinjectées ;
- enfin, l'exploitation (réseau de chauffage à distance, préparation d'eau sanitaire, centre thermal, chaleur industrielle, etc).

7. Conclusions

Cette première phase d'exploration de la partie centrale du bassin de Delémont a prouvé la faisabilité d'un projet d'alimentation en eau, à partir de l'aquifère profond du Malm.

Cet aquifère étant présent sous l'ensemble de la vallée, nous recommandons son étude dans le cadre d'un projet de recherche global qui s'attachera à :

- établir un modèle hydrogéologique permettant un calcul fiable de la ressource en eau souterraine exploitable, non seulement pour les trois ouvrages exécutés, mais pour l'ensemble du bassin de Delémont ;
- identifier les ressources géothermiques à basse énergie et établir un plan directeur pour la mise en valeur de ces ressources. De premières possibilités d'application ont été décrites ci-dessus au chapitre 6.

Des perspectives identiques, mais à plus haute température, s'ouvrent également pour les deux aquifères plus profonds (tabl. 4). La vallée de Delémont recèle trois endroits (Delémont,

Develier et Vicques) où les probabilités de recouper un réservoir géothermique sont bonnes. On peut encore rappeler que ce type de recherche fait l'objet d'une garantie au risque et d'une subvention de la Confédération.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements à la Ville de Delémont, maître d'ouvrage du projet de recherche d'eau. Ils remercient également la République et Canton du Jura qui, par son Office des eaux et de la protection de la nature (OEPN), a subventionné le projet.

Bibliographie

- [1] CASTANY, G. : «Principes et méthodes de l'hydrogéologie». Bordas, Paris, 1982.
- [2] FLURY, F., ALLEMANN, R. & LACHAT, R. : «Recherche d'eau par forages dans l'aquifère profond du Malm à Delémont : résultats de la phase d'exploration». *Gaz-Eaux-Eaux usées*, 1991/12 (sous presse).
- [3] MEURY FLURY RIEBEN SA : «Recherche d'eau par forages dans l'aquifère profond du Malm au sud-ouest de la ville : résultats de la phase d'exploration». - Rapport hydrogéologique. - Rapport inédit du 2 mai 1991 aux Services industriels de la Ville de Delémont.
- [4] RYBACH, L., EUGSTER, W. & GRIESER, J.-CL. : «Die geothermischen Verhältnisse in der Nordschweiz». *Ecolgae geol. Helv.* 80 (1980) 2, 521-534.
- [5] SCHOTTERER, U. : «Tritium und Sauerstoff-18 Messungen an Wasserproben von Tiefbohrungen in Delémont». - Rapport inédit du 11 mars 1991, Univ. Bern, Physikalisches Institut.
- [6] STETTLER, R. : Propositions d'exploitation des forages S1, S2 et S3 à Delémont : étude préliminaire de faisabilité. - Rapport inédit du 25 mars 1991, Service des eaux et du gaz de la Ville de Neuchâtel.
- [7] SUTER, M. : «Geologische Interpretation eines reflexionsseismischen W-E-Profiles durch das Delsberger Becken». *Ecolgae geol. Helv.* 71 (1978) 2, 267-275.

Adresses des auteurs :

François Flury
Meury Flury Rieben SA
Géologues SIA
Rue de la Molière 23
2800 Delémont

Bernard Matthey
BMICSA Ingénieurs-Conseils SA
2205 Montézillon NE

Christian Rieben
Meury Flury Rieben SA
Géologues SIA
Rue K.-Neuhaus 8
2502 Bienne

TABLEAU 4. - Températures estimées à la base des formations aquifères profondes.

Aquifère	Profondeur probable	Températures estimées (gradient = 30°C/km)
Malm supérieur et moyen	400-500 m	22-25°C
Dogger supérieur	650-750 m	30-33°C
Muschelkalk	1200-1300 m	45-50°C