

# **Données pour la protection et la gestion de l'eau souterraine du canton de Berne**

## **Région de Tramelan**

**Campagne de sondages profonds (1988)**

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique  
(OEHE)

Exécution: J. Bertrand, Dr hydrogéologue  
Broc



**Direction des transports, de l'énergie et des eaux  
du canton de Berne (DTEE)**

# **Données pour la protection et la gestion de l'eau souterraine du canton de Berne**

## **Région de Tramelan**

**Campagne de sondages profonds (1988)**

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique  
(OEHE)

Exécution: J. Bertrand, Dr hydrogéologue  
Broc



**Direction des transports, de l'énergie et des eaux  
du canton de Berne (DTEE)**

**Rapport:**

Région de Tramelan, campagne de sondages profonds (1988)

**Edition:** 1990

**Editeur:**

Direction des transports, de l'énergie et des eaux  
du canton de Berne (DTEE)

**Direction:**

Office de l'économie hydraulique et énergétique (OEHE)  
Jean-Pierre Clément, Dr ès sciences

**Execution:**

J. Bertrand, Dr hydrogéologue, Broc

**Cartographie:** P. Eichwald (OEHE), D. Hofstetter, Rossens

**Impression et reliure:**

Aerni-Leuch AG, Liebefeld/Berne

**Le présent rapport constitue uniquement une base décisionnelle  
qui ne préjuge en aucun cas des décisions rendues par les organes  
politiques compétents.**

La reproduction et l'utilisation ultérieure de textes, graphiques,  
extraits de cartes et autres sont autorisées à condition que **le rapport,**  
**l'année de parution, l'éditeur et les responsables** de l'exécution  
soient clairement mentionnés **sur chaque reproduction.**

## T A B L E   D E S   M A T I E R E S

	<u>Page n°</u>
ZUSAMMENFASSUNG	7
AVANT-PROPOS	9
1. INTRODUCTION	11
1.1 Collaboration	11
1.2 Documents établis	12
2. RAPPEL DU CADRE GEOLOGIQUE ELARGI DU SECTEUR PROSPECTE	12
2.1 Aperçu d'ensemble	12
2.2 Le Secondaire	13
2.3 Le Tertiaire	13
2.4 Le Quaternaire	14
3. APERCU DE L'HYDROLOGIE SOUTERRAINE REGIONALE PROFONDE	14
4. ANALYSE GLOBALE DE LA SITUATION AVANT LES TRAVAUX A PARTIR DES DONNEES RECUEILLIES	15
4.1 Résultats bruts de la reconnaissance	15
4.1.1 Fracturation	15
4.1.2 Prospection géoélectrique	16
4.1.3 Prospection électro-magnétique (VLF)	17
4.2 Choix des emplacements de sondage	17
5. DONNEES GENERALES SUR LES SONDAGES	18
6. LES ENSEIGNEMENTS DES SONDAGES	20
6.1 Les enseignements géologiques	20
6.2 Les enseignements hydrologiques	22
7. LES ESSAIS SUR LES FORAGES	23

	<u>Page n°</u>
<b>7.1</b>	<b>Essais de pompage</b> 23
7.1.1	Sondage n° 1 23
7.1.2	Sondage n° 2 24
7.1.2.1	Essai d'abaissement 24
7.1.2.2	Remontée 25
7.1.2.3	Régime artésien observé postérieurement à l'essai de pompage 26
<b>7.2.</b>	<b>Essais au micromoulinet</b> 27
7.2.1	Présentation des essais 27
7.2.2	Données brutes 27
7.2.3	Analyse des données et enseignements 28
7.2.3.1	Essai du 28 juin 1989 28
7.2.3.2	Essai du 23 octobre 1989 29
7.2.4	Conclusions 31
<b>8.</b>	<b>CHIMIE DES EAUX</b> 31
8.1	Remarques préliminaires 31
8.2	Résultats 32
<b>9.</b>	<b>BACTERIOLOGIE</b> 33
<b>10.</b>	<b>PERSPECTIVES D'AVENIR DE LA RESSOURCE DECOUVERTE AU SONDAGE N° 2</b> 34
10.1	Les données 34
10.2	Vieillesse prématuré de l'ouvrage. Manifestations et causes 34
10.3	Perspectives 35
<b>11.</b>	<b>LE BASSIN D'ALIMENTATION PROBABLE DES EAUX RECUEILLIES PAR LE SONDAGE N° 2</b> 36
<b>12.</b>	<b>LES APPORTS DES SONDAGES A LA CONNAISSANCE DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DE TRAMELAN</b> 37
12.1	Sur le plan géologique 37
12.2	Sur le plan hydrogéologique 38
<b>13.</b>	<b>CONCLUSION</b> 39

## FIGURES

1. Sondage n° 1; échelle 1:100
2. Sondage n° 2; échelle 1:100
3. Coupe lithostratigraphique du sondage n° 2, échelle 1:500
4. Coupe technique sondage n° 2
5. Diagramme de l'essai de pompage au sondage n° 2
6. Courbe de remontée rabattement résiduel  $s'$  -  $Lg t/t'$  au sondage n° 2
7. Essai micromoulinet au sondage n° 2 (28.06.1989)  
Courbe débit - hauteur
8. Essai micromoulinet au sondage n° 2 (28.06.1989)  
Courbe débit radial - hauteur
9. Essai micromoulinet au sondage n° 2 (23.10.1989)  
Température - Conductivité
10. Essai micromoulinet au sondage n° 2 (23.10.1989)  
Enregistrement descente
11. Essai micromoulinet au sondage n° 2 (23.10.1989)  
Enregistrement remontée
12. Essai micromoulinet au sondage n° 2 (23.10.1989)  
Courbes de mesures stationnaires de débit
13. Schéma des circulations possibles et des modalités d'alimentation du sondage n° 2 selon un profil passant par le sondage (1:10'000)

## ANNEXES

1. Situation d'ensemble, échelle 1:10'000
2. Dosage du tritium et de l'oxygène 18 sur eau du sondage n° 2

## TABEAU

1. Analyses chimiques et bactériologiques au sondage n° 2

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der hydrogeologischen Untersuchungen des Kantons Bern wurde 1988 in der Gegend von Tramelan, dem westlichen Ausläufer der Synklinale von Tavannes, eine Bohrkampagne zur Erkundung der Karstwasservorkommen in den Kalkformationen des oberen Malm durchgeführt. Ausschlaggebend für diese Untersuchungen waren die erfolgreichen früheren Tiefbohrungen im Tal von Tavannes und bei Moutier, welche die Existenz bedeutender Grundwasserreserven in den verkarsteten Malmkalken aufgezeigt haben.

In einer ersten Bohrung wurden die Kalkformationen des oberen Malm bereits nach wenigen Metern erreicht. Die Klüftung dieser Kalke und damit verbunden auch deren Wasserführung erwies sich jedoch als unbedeutend und nahm mit zunehmender Tiefe fortlaufend ab. Die Bohrarbeiten an diesem Standort wurden deshalb bei einer Tiefe von 164.50 m eingestellt.

Wegen der unerwarteten Mächtigkeit der tertiären Molasseformationen wurde der Malm in der zweiten Bohrung (Endtiefe: 275.60 m) nicht erreicht. Zwar wurde in der Molasse artesisches Grundwasser angetroffen, doch der hohe Schwefelwasserstoffgehalt und die nachlassende Ausflussmenge widersetzen sich einer langfristigen wirtschaftlichen Nutzung dieses quantitativ eher bescheidenen Grundwasservorkommens.

## AVANT - PROPOS

J.-P. Clément, dr ès sciences, OEHE

Dans le canton de Berne les eaux souterraines sont soumises au droit régalien de l'Etat. Dans ce sens et en vertu de l'article 127 a de la loi cantonale sur l'utilisation des eaux de 1971, l'Etat se doit d'acquérir les données nécessaires à la connaissance de l'étendue et de la qualité de ces ressources, afin d'assurer au mieux leur protection et leur gestion.

C'est dans cette optique qu'en 1977 l'OEHE (Office de l'économie hydraulique et énergétique) publia le rapport "Hydrogéologie de la vallée de Tavannes". Cette étude a permis une première reconnaissance hydrogéologique d'une région jusqu'alors peu connue dont les caractéristiques tiennent avant tout aux phénomènes karstiques, liés au soubassement rocheux, essentiellement calcaire, du Jura plissé.

Les investigations réalisées dans le cadre de cette étude ont permis la mise en évidence d'un aquifère karstique dans le Malm dont les ressources en eaux exploitables sont considérables par rapport aux besoins de la région.

Partant de ces résultats encourageants, l'OEHE confia en 1987 à M.J. Bertrand (Dr hydrogéologue) un programme de recherches complémentaires, visant la prospection hydrogéologique du secteur occidental de la vallée de Tavannes, en particulier la région de Tramelan.

Ces travaux, dont les principaux résultats sont présentés dans ce rapport, avaient pour but la reconnaissance par forages profonds des formations carbonatées du Jurassique supérieur (Malm), siège d'un système aquifère karstique complexe aux ressources en eaux potentielles considérables.

Nous tenons à remercier ici le Grand-Conseil, la Direction des transports, de l'énergie et des eaux, en particulier M. René Bärtschi, directeur, ainsi que M. Rodolphe Merki, Ingénieur en chef de l'Office, pour leur intérêt et leur soutien bienveillant. Nous exprimons également nos remerciements au Conseil municipal et aux Services techniques de Tramelan pour leur précieuse collaboration et leur participation financière (étude géoélectrique) aux recherches. Ces travaux ont bénéficié d'une subvention de la Confédération, par l'Office de l'environnement, des forêts et du paysage.

## 1. INTRODUCTION

La présente étude, réalisée dans le cadre des investigations hydrogéologiques générales du canton de Berne, avait pour but la reconnaissance, au moyen d'une étude de terrain, de prospections indirectes (géophysique), puis directes (forages), des ressources en eaux souterraine profonde de la région de Tramelan.

A cette fin les opérations et travaux suivants ont été exécutés:

- Recherche, rassemblement, consultation de toute documentation touchant à la géologie ou à l'hydrologie souterraine de la région élargie de Tramelan; avec, en particulier:
  - . consultation, auprès du Service hydrologique et géologique national, des levés originaux de Epple, Forkert, Rothpletz et Ziegler
  - . consultation, à l'Université de Bâle, de l'original du levé géologique détaillé au 1:25'000 du Pr H. Laubscher
- Relevé détaillé de certains secteurs; complément ou confirmation de levés existants
- Etude détaillée, par prospection électro-magnétique, de petits secteurs du territoire désigné pour l'étude (on signalera ici, mais exécutée à la demande et à la charge de la Commune de Tramelan, une étude géoélectrique préalable et portant sur un plus vaste secteur)
- Deux sondages profonds
- Un essai de pompage sur le sondage n° 2
- Deux essais au micromoulinet sur le sondage n° 2
- Prélèvements pour analyses chimiques et bactériologiques
- Diverses mesures: température, conductivité

### 1.1 Collaboration

Prospection géoélectrique: Géotest, Zollikofen

Etude électro-magnétique: I. Müller, Neuchâtel

Sondages et essais de pompage: Sif-Groutbor, Renens

Etude lithostratigraphique des carottes du sondage n° 2: Institut de géologie de l'Université de Berne; professeur Matter

Contrôles et mesures périodiques lors de l'essai de pompage et après essai:  
Services techniques, Tramelan

Essais micromoulinet: OEHE, Berne; Géotest, Zollikofen

Analyses chimiques: Laboratoire cantonal, Berne

Mesure du tritium et de l'oxygène 18: Institut de physique de l'Université de Berne

## 1.2 Documents établis

Ils sont donnés sous forme de figures et tableau incorporés au texte ou d'annexes. Il s'agit pour l'essentiel de:

- coupes des deux sondages, dont coupe lithostratigraphique du sondage n° 2
- diagrammes des essais de pompage et de micromoulinet
- résultats d'analyses chimiques et bactériologiques

## 2. RAPPEL DU CADRE GEOLOGIQUE ELARGI DU SECTEUR PROSPECTE

On empruntera très largement, pour ce chapitre, à notre programme-devis du 16 avril 1987.

### 2.1 Aperçu d'ensemble

Le synclinal de Tramelan peut être schématisé comme le diverticule terminal Ouest et amont du synclinal de Tavannes.

Il est limité et dominé immédiatement au Nord par l'anticlinal du Pré de la Montagne et immédiatement au Sud par celui de la Montagne du Droit.

En son centre, en particulier au droit de Tramelan, on y observe un recouvrement des terrains secondaires calcaires par diverses formations tertiaires. Nulle part, la largeur de l'affleurement tertiaire ne dépasse un km.

Il ressort de cette première disposition un synclinal étroit, se pinçant assez rapidement à l'Ouest de Tramelan pour ne plus y laisser subsister localement qu'un reliquat de Tertiaire (Combe des Arses, Les Envers). A l'Est (Moulin Brûlé), un pincement similaire du synclinal, renforcé à cet endroit par un

chevauchement Sud vers Nord du flanc Nord de l'anticlinal de la Montagne du Droit, amenant pratiquement au contact les unes des autres les assises calcaires jurassiques des deux flancs du synclinal, ne laisse plus subsister, là encore, qu'un mince liseré de Tertiaire.

## 2.2 Le Secondaire

Il constitue l'ossature du pays et, ployé en une suite d'anticlinaux et de synclinaux, affleure largement de part et d'autre du Tertiaire.

Schématiquement et en introduction à l'hydrologie, on y distingue deux grandes entités:

- le Malm calcaire (Séquanien, Kimméridgien, Portlandien), épais de 250 à 350 m),
- le Dogger, à dominante calcaire,

ces deux entités étant séparées par les niveaux peu perméables de l'Oxfordien et d'une partie de l'Argovien (100 - 150 m d'épaisseur).

Sous l'angle des affleurements et des plis, une certaine disparité se manifeste entre respectivement secteurs situés au Nord et au Sud du synclinal. Au Nord, présence de plis coffrés, à flancs raides, avec sommet et fond plats, laissant largement apparaître le Dogger au coeur du premier anticlinal (Pré de la Montagne). Au Sud, un seul grand pli coffré (anticlinal de la Montagne du Droit), avec Dogger non affleurant, et dont le flanc Sud domine le vallon de St-Imier.

Deux grands ensembles d'accidents affectent les terrains de la série secondaire. Le premier est constitué par une suite de décrochements, dextres ou senestres, orientés N.NE - S.SO ou N.NO - S.SE. Ces décrochements affectent prioritairement le flanc Nord et la terminaison Ouest de l'affleurement du Dogger de l'anticlinal du Pré de la Montagne. Le second ensemble d'accidents est représenté par des failles inverses, orientées O.SO - E.NE. Le meilleur exemple en est le chevauchement affectant le flanc Nord de l'anticlinal de la Montagne du Droit, au Sud de Moulin Brûlé.

Tous ces accidents trahissent des poussées orientées grossièrement N - S, avec sens de la poussée du Sud vers le Nord.

## 2.3 Le Tertiaire

Il ressort des données à disposition que les terrains tertiaires de recouvrement tapissant le fond du synclinal de Tramelan sont d'autant plus hauts dans la série que l'on se situe plus à l'Ouest.

Les travaux dont ce rapport rend compte conduisent à reconsidérer certains acquis, en particulier s'agissant des terrains représentés et aussi de leur épaisseur et disposition. On reviendra plus loin sur cette question.

## 2.4 Le Quaternaire

On le cite ici pour mémoire. Il constitue des placages, soit en fond de vallée (alluvions récentes), soit encore sur les versants (produits d'altération, glaciaire), ou encore de simples voiles (éboulis de pied de versant calcaire). Il peut présenter des surfaces relativement importantes.

## 3. APERCU DE L'HYDROLOGIE SOUTERRAINE REGIONALE PROFONDE

L'hydrologie souterraine profonde - comme toujours dans le domaine du Jura plissé - est étroitement dépendante à la fois de la nature et de la succession (perméable/imperméable) des terrains du Secondaire, des mouvements qui les ont affectés (plis, failles, décrochements), ainsi que des épisodes essentiels, comme exondation (importance, durée, climat régnant alors), ayant pu intervenir avant et après leur plissement.

Le principe des mécanismes régissant l'infiltration et l'écoulement souterrain de l'eau dans les calcaires secondaires, ainsi que le rôle - admis - d'imperméable de l'Oxfordien ou de l'Argovien, sont suffisamment connus pour qu'on n'y revienne pas ici. Cela ne veut pas dire qu'on doive les accepter sans réserves. De nombreux exemples sont là qui incitent à une certaine prudence.

On cherchera plutôt, ici, comme départ d'une réflexion, à porter l'accent sur quelques traits essentiels de l'hydrologie souterraine de la région de Tramelan.

- a) La région de Tramelan constitue un secteur "haut" tant vis-à-vis du synclinal de Tavannes se développant largement à l'Est que du vallon de St-Imier au Sud; cet état de fait est confirmé et illustré par les résultats des essais de traçage exécutés à ce jour sur la Montagne du Droit (Mont-Tramelan et Beuchât) et qui ont vu les marqueurs ressortir conjointement à la source de la Birse et à la Cuchatte (pour les écoulements en direction de la Cuchatte, bien que d'orientation globale Ouest-Est, on peut penser qu'ils sont favorisés par l'existence de plans de discontinuité disposés dans le prolongement plus au Sud des décrochements affectant l'anticlinal du Pré de la Montagne).
- b) Découlant de ce qui précède, le secteur de Tramelan peut être regardé comme un secteur se situant plutôt en tête d'un système souterrain d'écoulement, les grands exutoires connus, en relation avec ce secteur, se situant en effet tous à l'Est.

- c) La relativement faible surface, en regard de ce qui s'observe plus en aval, des affleurements du Malm, en particulier sur le versant Nord du synclinal de Tramelan; ce fait tient à l'extrême raideur des pendages et à l'affleurement du Dogger au coeur de l'anticlinal; il en résulte une surface d'infiltration plus faible; le phénomène est moins accusé sur le flanc Sud du synclinal.
- d) L'affleurement du Dogger, sur une surface assez importante, au coeur du premier anticlinal dominant au Nord le synclinal de Tramelan; diverses considérations permettent de penser que le Dogger doit, dans le secteur, se décharger pour partie dans le Malm.
- e) L'existence de nombreux décrochements, très grossièrement orientés N - S; ces décrochements, complétés par l'existence de plans de chevauchement E - O, dénotent une constance de direction de compression ici grossièrement N - S, avec axe de distension E - O. Cette configuration apparaît favorable:
- à la création et à l'ouverture de joints et fentes orientés grossièrement N - S
  - à l'activation de nombreux décrochements N - S en plans de circulation de l'eau souterraine

avec, comme conséquences, mise en relation des aquifères du Dogger et du Malm, mais aussi évaison d'eau en direction du Sud (vallon de St-Imier).

#### **4. ANALYSE GLOBALE DE LA SITUATION AVANT LES TRAVAUX A PARTIR DES DONNEES RECUEILLIES**

---

##### **4.1 Résultats bruts de la reconnaissance**

###### **4.1.1 Fracturation**

Les levés cartographiques consultés (Forkert, Laubscher) font état d'accidents, orientés N.NE - S.SO pour la majorité, et affectant l'anticlinal du Pré de la Montagne. On a reporté les principaux sur le plan de situation (annexe 1). Ces accidents témoignent de mouvements avec composante orientée du Sud vers le Nord. L'étude des photos aériennes n'a pas permis de les retrouver sur le versant Nord de l'anticlinal de la Montagne du Droit.

L'étude structurale de détail sur le terrain de quelques affleurements du Malm sur ce même versant Nord de l'anticlinal de la Montagne du Droit (stylolithes, fentes de distension) n'a pas apporté d'informations nouvelles, en particulier à cause de la rareté de bons affleurements.

La faille inverse, avec raccourcissement assez prononcé, mise en évidence dans le Malm au Sud de Moulin Brûlé atteste cependant de l'existence de manifestations, également au Sud du synclinal de Tramelan, de déplacements Sud vers Nord.

#### 4.1.2 Prospection géoélectrique

Les secteurs soumis à la prospection géoélectrique exécutée pour le compte de la Commune de Tramelan en 1987 et en prévision de la reconnaissance par forages sont portés à l'annexe 1. Ces secteurs se limitent au territoire de Tramelan.

L'objectif de cette prospection géoélectrique était double: situer aussi précisément que possible, sur des secteurs préalablement sélectionnés, la position du substratum calcaire du Malm - et, partant, l'épaisseur de la couverture tertiaire - et y repérer d'éventuels accidents (cassures, décrochements) de ce substratum rocheux.

Les résultats de cette étude sont consignés dans le rapport Géotest n° 87199. Ils sont complétés, à la terminaison Est, par ceux (coupe A) contenus dans le rapport Géotest n° 74081.

Très rapidement, il ressort globalement des résultats de cette reconnaissance géoélectrique:

- la définition d'une dépression (fond du synclinal) du toit des calcaires du Malm immédiatement au Sud de Tramelan; ce fond de synclinal, assez plat, est donc sensiblement décalé vers le Sud par rapport à la vallée actuelle; cette disposition d'ensemble offre a priori un médiocre intérêt pour une recherche par forages; trois principales raisons à cela:
  - . rapide épaissement de la couverture tertiaire en direction du centre du synclinal
  - . risque de fissuration faible à nulle du calcaire à cet endroit une fois celui-ci atteint
  - . point de départ situé trop haut dès lors que l'on rechercherait des conditions de fissuration a priori plus favorables et d'épaisseur de couverture moins pénalisante
- possibilité, entre la Fin du Tilleul et Sur le Château, d'un accident du type faille, ici légèrement inverse, orienté grossièrement E - O, et décalant un compartiment Nord abaissé d'un compartiment Sud relevé: le rejet pouvant être de l'ordre de 150 à 200 m; certains indices suggèrent cependant de prendre cette interprétation avec de fortes réserves.
- à l'Est de Tramelan, soit entre la Fin du Tilleul et l'Est de la Tuilerie, le toit du Malm semble dessiner un synclinal assez resserré en forme de V; l'étude confirme que l'axe de ce synclinal contourne par le Nord la butte de

Sur le Château (le Malm affleure à la Goleyatte, en bordure de la route cantonale); là encore, il y a décalage, vers le Nord cette fois, du synclinal des terrains secondaires par rapport à la vallée actuelle; à l'axe de ce synclinal, l'épaisseur de la couverture tertiaire du Malm s'échelonne entre 250 et 300 m.

- le décalage, à la terminaison Est de Tramelan, selon un plan méridien, des deux synclinaux précédemment définis; deux interprétations sont ici possibles: une simple virgation ou un décrochement; il est probable que le fait résulte des deux phénomènes; on note que ce plan est, à peu de choses près, dans le prolongement d'un des accidents à composante décrochante qui affectent l'anticlinal de la Montagne du Droit.

#### 4.1.3 Prospection électro-magnétique (VLF)

A titre de confirmation et de précision et là où la méthode pouvait être appliquée, on a procédé à quelques investigations complémentaires au moyen de la prospection électromagnétique (annexe 1). Les résultats obtenus ont, dans l'ensemble, confirmé ceux de la prospection géoélectrique. Une notable exception toutefois: il n'a pas été possible de mettre en évidence l'accident, orienté E - O, suggéré par la géoélectrique entre la Fin du Tilleul et Sur le Château.

#### 4.2 Choix des emplacements de sondage

Au terme de l'étude préalable, aucun emplacement de forage ne s'impose à l'évidence. Aucun ne réunit critères techniques, géologiques et épaisseur de couverture tertiaire non dissuasive.

Cette observation rejoint et confirme les observations contenues dans la présentation de l'hydrologie souterraine profonde du secteur de Tramelan placée en préliminaire de notre programme devisé du 16 avril 1987.

Malgré cela, deux ou trois emplacements pouvaient être détachés.

Le premier se situait à la sortie Est de Tramelan, à l'amorce de la butte de Sur le Château. Plusieurs critères interviennent dans ce choix:

- les indices d'accidents, soit N - S, soit E - O, affectant ou pouvant affecter le secteur; le petit relief fermant à l'Est la courte dépression N - S descendant depuis la piscine peut être regardé comme une manifestation d'un de ces accidents; le petit thalweg, situé en face et affectant le versant rive droite de la Trame, si on le considère comme un prolongement, donne une première idée de son importance

- la possibilité de création de fentes de distension à l'extrados des bancs calcaires à la faveur du petit ressaut anticlinal dessiné par E. Forkert (coupe n° 1)
- l'attaque du forage pratiquement dans le Malm
- une situation relativement basse, permettant, si elles existent, de recouper des circulations tant d'Ouest en Est que du Nord vers le Sud

Un deuxième emplacement de sondage était envisagé plus à l'Est, en rive droite de la Trame, pratiquement vis-à-vis des puits de la Commune. Les arguments en faveur de ce deuxième emplacement peuvent être résumés comme suit:

- situation dans le prolongement d'un accident N.NE - S.SO
- zone tectoniquement tourmentée (recouvrement, distensions)
- remontée d'eau, que certains rapports disent issue du Malm, par l'intermédiaire du Calcaire delémontien, aux captages de Moulin Brûlé
- épaisseur de la couverture non dissuasive

Une ombre cependant au tableau: l'existence, juste au Sud, d'un accident recouvrant (faille inverse assez fortement inclinée ou petit chevauchement) pouvant entraîner et cacher des structures inattendues.

## 5. DONNEES GENERALES SUR LES SONDAGES

- Nombre: deux
- Situation (annexe 1):
  - . sondage n° 1: 575,980 - 230,395
  - . sondage n° 2: 577,410 - 230,935
- Entreprise adjudicataire: SIF-Groutbor, Renens
- Période:
  - . sondage n° 1: 2 - 26 août 1988
  - . sondage n° 2 (non compris essai de pompage): 4 septembre - 28 octobre 1988

- Profondeurs atteintes:

- . sondage n° 1: 164,50 m
- . sondage n° 2: 275,60 m

- Carottage:

- . sondage n° 1: 100 %
- . sondage n° 2: 100 % jusqu'à 135 m; depuis là et jusqu'au fond, en particulier lorsque la molasse est très friable (sable), la carotte peut manquer; au total, entre 135 m et le fond, l'absence de carotte ne représente cependant que 15 %

- Equipement:

- Sondage n° 1: le trou a été laissé nu, à l'exception d'un tube acier, diamètre 220 mm de 0 à 8 m et cimenté au terrain; une cape vissée ferme ce tube en tête.
- Sondage n° 2 (figure 4):
  - . tube acier, diamètre 193/184, de 0 à 57,5 m; ce tube est cimenté au terrain sur toute sa hauteur
  - . PVC, diamètre 4", de 61 à 274 m; crépiné de 90 à 274 m

- Essais pratiqués sur les sondages

- Sondage n° 1: court essai de pompage
- Sondage n° 2:
  - . essai de pompage du 2 au 21 novembre 1988 (figure 5)
  - . essai de débit en laissant agir le seul artésianisme du 2 décembre 1988 (après l'essai de pompage, l'artésianisme n'est réapparu qu'à cette date) jusqu'à fin juin 1989 (figure 5)
  - . essais au micromoulinet:
    - premier essai le 28 juin 1989; essai exécuté par OEHE (figures 7 et 8)
    - deuxième essai le 23 octobre 1989, par Géotest (figures 9 à 12)

- Séances de chantier, d'information:

les travaux ont été ponctués de séances hebdomadaires de chantier; lors de ces séances, une information détaillée a été fournie au Maître de l'oeuvre ainsi qu'à la Commune de Tramelan; chaque séance a donné lieu à un protocole détaillé, envoyé à chacune des parties concernées; au total, essai de pompage au sondage n° 2 compris, il a été établi 14 protocoles.

## 6. LES ENSEIGNEMENTS DES SONDAGES

### 6.1 Les enseignements géologiques

#### Sondage n° 1

Après traversée de quelques mètres de couverture tertiaire (marnes), le sondage entre dans le Malm (figure 1).

Jusqu'à la fin (164,5 m), le sondage est resté dans les calcaires du Malm. Commencé dans le Portlandien, il se poursuit et s'achève dans le Kimméridgien.

L'Institut de géologie de Neuchâtel, suite à l'invitation de l'OEHE, a accepté de procéder à un échantillonnage serré des carottes, en vue d'une étude de faune et du milieu. Un diplôme, en préparation (Mouchet, 1990), sanctionnera cette étude.

En l'absence ici du classique banc à Nérinées, le sommet du Kimméridgien a pu être repéré grâce à la détermination d'*Exogyra virgula* dans un petit niveau de marnes situé à 69 m. Tout ce qui est au-dessus de ce niveau a pu donc être mis dans le Portlandien. La présence, juste sous le niveau de marnes à *Exogyra virgula*, de bancs calcaires à *Cladocoropsis mirabilis* confirme le bien-fondé de la limite.

Le milieu de dépôt du Kimméridgien, tel qu'il est caractérisé par la faune et les éléments figurés reconstruits est du domaine subtidal.

Au Portlandien, le milieu de dépôt, subtidal au début, passe à un milieu de domaine intercotidal vers le haut. Il se vérifie ainsi la tendance à la régression de la mer au Portlandien supérieur.

#### Sondage n° 2

Le sondage n° 2 apporte la première coupe du Tertiaire dans la région de Tramelan. Encore cette coupe n'est-elle pas complète puisque le forage a été arrêté avant d'avoir atteint le Malm.

Plusieurs enseignements se dégagent de cette coupe (figures 2 et 3):

##### a) Sur le plan stratigraphie:

- la mise au jour d'une série plus complète qu'admis jusque là; sur ce plan, on retiendra:

l'existence, au-dessus du Calcaire delémontien (non atteint par le forage), de Molasse d'eau douce inférieure, recoupée sur environ 25 m par le forage; cette formation pourrait être attribuée à l'Aquitainien

- . la puissante série de Molasse marine supérieure; il est probable que cette série, outre l'Helvétien (couches à Sylvana), concerne également le Burdigalien, tout au moins le Burdigalien supérieur
- . la confirmation de la présence de Tortonien à travers la formation définie comme la Molasse d'eau douce supérieure
- la puissance, ici encore, en limite ouest du bassin, de la série tertiaire: de l'ordre environ de 300 m en incluant le Calcaire delémontien; cette valeur dépasse largement ce qui était admis jusque là dans le secteur (120 m chez Rothpletz)
- le grand développement pris par le faciès de type molasse (environ 200 m d'épaisseur ici)
- les nombreuses récurrences de dépôts du type brèche; ces dépôts dénotent l'existence, à faible distance, de phénomènes d'érosion par suite de mouvements (éboulement de falaise, glissement de talus); dans la plupart des cas, les éléments grossiers sont constitués de calcaire du Malm; on peut envisager ici des mouvements liés à des épisodes tectoniques
- le transport en revanche, dans certains cas, du matériel sur de plus grandes distances: présence de gneiss ou de granite dans des conglomérats
- les conditions de dépôt: plusieurs aspects se dégagent de l'étude des carottes réalisées par l'Institut de Géologie, à Berne:
  - . manifestation de plusieurs phases d'exondation, y compris à l'intérieur de la Molasse marine supérieure
  - . nombreux indices de milieux de sédimentation en eau peu profonde, avec exondation passagère
  - . traces de courants, localement forts

#### b) Sur le plan tectonique

- décalage de l'axe du synclinal plus vers le Sud que les données à disposition jusque là le laissaient voir
- possibilité pour le flanc Sud du synclinal tertiaire d'être déjà très redressé et même renversé; avec cette hypothèse, on accentuerait sensiblement le caractère chevauchant de l'accident reconnu en même temps qu'on sous-entendrait qu'il affecte davantage qu'admis jusque là (Rothpletz) les dépôts du Tertiaire (figure 13).

On voit donc, ici, quels enseignements nouveaux, ou quelles confirmations, la coupe relevée au forage n° 2 apporte:

- . existence d'une série plus complète qu'admise jusque là et bien développée
- . présence du Burdigalien, déjà reconnu par Laubscher
- . Calcaire delémontien repoussé à assez grande profondeur (on reviendra plus loin sur le problème posé par ce calcaire)

## 6.2 Les enseignements hydrologiques

### Sondage n° 1

- Fissuration faible à très faible (les valeurs très élevées du RQD\* rendent bien compte du phénomène); en fait, il s'agit bien ici d'une absence de fissures plutôt que d'une fissuration colmatée par des produits d'altération ou progressivement envahie par de la calcite; pas plus les périodes d'exondation que les mouvements tectoniques ayant affecté la région n'ont su développer les réseaux de fissures nécessaires à la circulation et au stockage de l'eau dans les calcaires.
- Quasi disparition de toute fissuration en dessous environ de 100 m; cette observation a été déterminante dans la décision d'arrêter, plus tôt que prévu, le forage à 164,5 m; cependant, lorsque le forage a atteint 155 m, le niveau de l'eau dans l'ouvrage s'est abaissé de 10,70 à 21,70 m, niveau conservé par la suite, ce qui dénote, quand même, quelques faibles possibilités de circulation.
- Par voie de conséquence, très faible débit au pompage (cf. 7.1)

### Sondage n° 2

On l'a vu, le sondage n° 2 n'a pas atteint les formations du Secondaire. Toutes les données à suivre se rapportent en conséquence au Tertiaire.

- A l'avancement, plusieurs venues artésiennes ont été reconnues:
  - . de 109 à 113 m; débit au sol: 9 l/min.
  - . à partir de 160 m; débit au sol: environ 100 l/min.
  - . vers 223 m; débit au sol: environ 120 l/min.
  - . vers 257 m; débit au sol: mesuré à 200 l/min.  
présence de trouble persistant

Toutes ces venues sont issues de niveaux de molasse. Il s'agit là des principales venues reconnues à l'avancement. Quelques autres existent. Les essais au micromoulinet (chapitre 7) permettent de les mettre en évidence.

---

\* Le RQD est le rapport, multiplié par 100, de la longueur cumulée des fragments de carotte supérieur à 10 cm sur la longueur de la passe carottée; ce rapport est d'autant plus proche de 100 que la carotte est moins fracturée.

Le 26 octobre 1988, sur le forage équipé définitivement avec le PVC diamètre 4", mais encore chemisé entre 0 et 30 m avec tube acier provisoire diamètre 220 mm, le forage ne débitait plus, toujours par artésianisme, que 165 l/min. Cet écart avec la valeur mesurée, le forage étant à - 257 m, peut s'expliquer de trois manières:

- . difficultés de mesures précises à l'avancement des travaux
- . possibilité, toujours à l'avancement des travaux, de circulation d'eau entre les tubes ou entre tube extérieur et terrain et venant gonfler les valeurs du débit mesuré, attribuées un peu arbitrairement au niveau dernièrement traversé
- . possibilité de décharge rapide des aquifères rencontrés

Quoiqu'il en soit, ces premiers résultats dénotent l'existence de ressources dans des formations tertiaires. Les divers essais envisagés (chapitre 7) vont permettre d'en préciser l'importance.

- Les venues depuis 223 m et plus encore depuis 257 m ont été accompagnées de remontée de sable (fin à grossier); ce phénomène tient à la très faible cohésion de nombre de passages de molasse, cela déjà depuis 180 m et plus encore à partir de 210 m, et responsable, à plusieurs niveaux, de l'absence de carotte.
- Mise en évidence, lors du retrait des tubes provisoires de forage, de perte totale du débit artésien entre 0 et environ 32 m; cela dénote des capacités non négligeables de circulation d'eau dans les niveaux supérieurs de la Molasse d'eau douce supérieure. Ces pertes ont été totalement supprimées par l'équipement du forage entre 0 et 57,50 m, avec un tube définitif cimenté au terrain.

## 7. LES ESSAIS SUR LES FORAGES

### 7.1 Essais de pompage

#### 7.1.1 Sondage n° 1

Pour le principe, on a procédé à un court essai de pompage sur le forage (25 août 1988).

Cet essai s'est déroulé en deux phases:

- a) avec un débit de 0,5 l/s, après 65 minutes, le niveau dans l'ouvrage s'est abaissé de 21,70 à 57,64 m
- b) avec un débit ramené à 0,35 l/s, la stabilisation était atteinte à - 58,20 m; pompage maintenu pendant 15 minutes

## 7.1.2 Sondage n° 2

### 7.1.2.1 Essai d'abaissement

Son déroulement a été le suivant (figure 5):

- . du 2 au 4 novembre 1988 (avec une interruption de 14.30 h par suite de fuites trop faibles): pompage (26 h) au débit moyen de 285 l/min. (Q1)
- . du 4 au 18 novembre 1988: pompage (336 h) au débit moyen de 425/435 l/min. (Q2), avec épisodes (5 - 7 novembre et 12 - 14 novembre) à un débit sensiblement diminué (335/360 l/min.)
- . du 18 au 21 novembre 1988: pompage (75 h) au débit moyen de 375 l/min. (Q3)

ce qui correspond, au total, à 437,5 h de pompage (plus de 18 jours).

Le volume total d'eau extrait à l'occasion de cet essai se monte à près de 11'000 m<sup>3</sup>.

Le forage ayant été laissé ouvert après son équipement, il continuait à débiter par artésianisme (environ 165 l/min.) au moment où l'essai commençait. L'essai de rabattement vient donc se greffer sur un essai entrepris en fait depuis la rencontre des premières venues artésiennes (23 septembre) et à des débits s'échelonnant de 10 à 200 l/min.

Les rabattements depuis le sol, mesurés dans l'ouvrage ont été les suivants:

- . 13,8 m (rabattement non stabilisé), juste avant passage au débit Q2
- . 50,4 m (rabattement non stabilisé), juste avant passage au débit Q3
- . 46,7 m (rabattement plus ou moins stabilisé), juste avant arrêt de l'essai

Comme cela apparaît dans le diagramme de la figure 5, ces valeurs, par suite de l'existence de l'artésianisme, ne rendent pas compte du rabattement total. Dans chacun des cas, ce rabattement total est supérieur au rabattement mesuré dans le forage.

Un détour par le calcul du débit spécifique  $Q_s$  (en l/min./m) peut permettre d'en donner une idée. En prenant pour le débit artésien la valeur mesurée avant le début de l'essai (165 l/min), on voit que les débits correspondant aux divers rabattements depuis le sol mesurés dans le forage pendant l'essai sont respectivement ramenés à:

$$\begin{aligned} 285 - 165 &= 120 \text{ l/min. pour le débit Q1} \\ 435 - 165 &= 270 \text{ l/min. pour le débit Q2} \\ 375 - 165 &= 210 \text{ l/min. pour le débit Q3} \end{aligned}$$

Sur cette base, le débit spécifique s'établit à:

$$\begin{aligned} 120/13,8 &= 8,7 \text{ l/min./m avec le débit Q1} \\ 270/50,4 &= 5,35 \text{ l/min./m avec le débit Q2} \\ 210/46,7 &= 4,5 \text{ l/min./m avec le débit Q3} \end{aligned}$$

Comme on voit ici, la valeur du débit spécifique décroît au fur et à mesure du déroulement de l'essai, y compris quand le débit est sensiblement diminué (Q2 plus grand que Q3). Deux explications peuvent être ici avancées:

- . la première, qui permet de voir dans cette baisse une manifestation d'une diminution de la ressource par suite d'un essai prolongé; en effet, une telle explication est tout à fait plausible s'agissant d'une ressource de la molasse
- . la seconde, qui fait suite à l'observation d'un ensablement partiel de la base de l'ouvrage (on reviendra plus loin sur cet aspect), et qui fait intervenir des pertes de charge anormales s'opposant à la libération de l'eau arrivant des niveaux les plus profonds et les plus productifs.

Si la première explication ne peut pas être écartée, il semble - à la lumière des dernières observations au forage - qu'il faille accorder un rôle prédominant à la seconde. Quoi qu'il en soit des causes à l'origine de la diminution progressive du débit artésien, on voit que cette manière de calculer tend à sous-évaluer les valeurs du débit spécifique se rapportant aux débits Q2 et plus encore Q3.

En conséquence, les valeurs de débit spécifique calculées plus haut doivent-elles être sensiblement augmentées. Des mesures de pression artésienne (0,4 bar, le 20 novembre 1989, avec un débit artésien de 46,5 l/min.) faites postérieurement à l'essai tendent à accréditer, de leur côté, des valeurs de débit spécifique de l'ordre de 10 l/min., ou même sensiblement supérieures (la valeur du débit spécifique obtenu avec Q1 - 8,7 l/min./m - n'est pas très éloignée de ces valeurs). Il apparaît, en dernière analyse, qu'une valeur de débit spécifique de l'ordre de 10 l/min./m soit la plus représentative de la réalité.

Sur cette base et en conservant la valeur du débit artésien mesuré avant l'essai (165 l/min.), le rabattement total (s) pour chacun des paliers de débit Q1, Q2, Q3 s'établit comme suit:

- . pour le débit Q1:  $s = 13,8 + 16,5 = 30,3 \text{ m}$
- . pour le débit Q2:  $s = 50,4 + 16,5 = 66,9 \text{ m}$
- . pour le débit Q3:  $s = 46,7 + 16,5 = 63,2 \text{ m}$

Il s'agit là de valeurs importantes, en regard des débits, même si, comme on a dit, celles se rapportant aux débits Q2 et Q3 sont augmentées des pertes de charge anormales liées à l'ensablement de la base de l'ouvrage.

#### 7.1.2.2 Remontée

La remontée du niveau dans le puits a été observée, depuis l'arrêt de la pompe (21 novembre, 10.50 h) jusqu'au 23 novembre 1988 (13.30 h), moment où les mesures ont dû être interrompues par les opérations de retrait de la pompe.

Bien que mesurée dans l'ouvrage même de pompage, il était intéressant de s'assurer du type de comportement de la remontée du niveau piézométrique. En effet, le type d'aquifère rencontré permettait d'envisager un comportement se prêtant à une analyse selon les méthodes modernes de traitement des essais de pompage.

On a fait appel ici à la méthode d'approximation logarithmique (Jacob), dérivée de l'équation de Theis.

Pour cela, on a porté les données de l'essai sur un diagramme semi-logarithmique, avec en ordonnée les rabattements résiduels (s') et en abscisse les logarithmes de  $t/t'$  (t est le temps mesuré depuis la première mise en route de la pompe, soit le 2 novembre, et  $t'$  est le temps mesuré depuis l'arrêt de la pompe, soit le 21 novembre).

La courbe obtenue est donnée à la figure 6. Comme on voit, les points s'alignent sur une droite. L'aquifère montre un comportement satisfaisant aux conditions qui définissent un aquifère à porosité d'interstices. Il est dès lors possible de calculer la valeur de la transmissivité (T) de cet aquifère ( $T = ke$ , avec k coefficient de perméabilité et e épaisseur de l'aquifère). La courbe donne pour la transmissivité la valeur

$$T = 8,7,10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Il s'agit d'une valeur relativement faible, mais qui paraît bien en accord avec ce que l'on a pu observer du comportement de l'aquifère. On précisera encore que la valeur du débit Q retenue pour le calcul de T est le débit seulement dû au pompage, c'est-à-dire diminué du débit artésien mesuré avant mise en marche de la pompe. Il peut en découler une légère sous-évaluation de la valeur de T.

#### 7.1.2.3 Régime artésien observé postérieurement à l'essai de pompage

Il a été décidé, après l'essai, de laisser débiter le forage (artésianisme), de manière à poursuivre l'observation de l'évolution dans le temps de la ressource mise à jour. Les résultats des mesures du débit artésien sont portés, à la figure 5, à la suite du diagramme de l'essai de pompage.

Ces mesures, commencées le 2 décembre 1988, se sont poursuivies jusqu'au 26 juin 1989 avec le concours efficace des Services techniques de Tramelan.

Schématiquement, les données recueillies montrent une évolution caractérisée d'abord par une lente remontée des valeurs du débit artésien, du début (2 décembre 1988) jusqu'à un maximum de 50,7 l/min. atteint le 23 janvier 1989. Depuis cette date, on enregistre une lente et progressive diminution de ce débit artésien (42 l/min. le 26 juin 1989).

Deux premières conclusions ressortent de ces valeurs:

- . on ne retrouve pas les valeurs du débit artésien mesurées juste avant les travaux (165 l/min. le 26 octobre 1988)
- . lente et régulière diminution du débit artésien, postérieurement à l'essai de pompage, depuis le maximum (50,7 l/min.) enregistré le 23 janvier 1989; depuis lors et jusqu'à fin juin (5 mois), la diminution de débit s'établit à 17 %.

On est fondé, ici, à se poser la question de la cause de cette réduction du débit artésien, tant vis-à-vis des mesures faites avant essai de pompage que dans la période de plusieurs mois qui a suivi la fin de l'essai.

Une première réponse est l'épuisement progressif de la ressource, par suite d'une exploitation à un débit supérieur à sa recharge naturelle.

Une seconde réponse est suggérée par l'ensablement - selon ce qu'il ressort des mesures du fond de l'ouvrage faites à l'occasion des deux essais au micromoulinet du 28 juin et du 23 octobre 1989 - du fond de l'ouvrage sur 35 à 40 m, c'est-à-dire sur sa partie reconnue comme la plus productive lors de la perforation.

Il apparaît que la deuxième explication correspond davantage à la réalité des faits.

## 7.2 Essais au micromoulinet

### 7.2.1 Présentation des essais

Deux essais au micromoulinet ont été exécutés sur le forage n° 2, respectivement le 28 juin 1989 par l'OEHE, et le 23 octobre 1989, par Géotest.

Ces essais n'ont donné lieu à aucun pompage supplémentaire, le mouvement de l'eau dans l'ouvrage étant obtenu en laissant fonctionner l'artésianisme.

### 7.2.2 Données brutes

#### - Essai du 28 juin 1989

Ces données sont constituées par une courbe débit-hauteur respectivement pour le débit circulant dans le forage (débit vertical) et pour le débit radial. Ces courbes sont reproduites aux figures 7 et 8.

- Essai du 23 octobre 1989

Les données brutes sont constituées ici par:

- les courbes d'enregistrement en continu de la température et de la conductivité
- les courbes brutes d'enregistrement en continu du micromoulinet (descente et remontée)
- une courbe des débits obtenue à partir d'une vingtaine de mesures stationnaires

Ces courbes sont reproduites respectivement aux figures 9, 10, 11 et 12.

C'est par suite de la difficulté à transcrire directement en vitesses ou en débits les données brutes fournies en continu par le micromoulinet que l'on a procédé à une série de mesures stationnaires. Ces difficultés sont liées essentiellement à la méconnaissance où l'on est, en particulier à partir de 135 m, des variations de la section effective de l'ouvrage par suite d'érosions de la paroi du trou derrière le tube PVC.

### 7.2.3 Analyse des données et enseignements

Cette analyse est rendue difficile et plusieurs de ses résultats peuvent faire l'objet de réserves du fait des incessants changements de diamètre réel du sondage qu'on vient de signaler.

Cela posé, plusieurs enseignements peuvent être dégagés des courbes reproduites.

#### 7.2.3.1 Essai du 28 juin 1989 (figures 7 et 8)

a) Principales zones d'arrivée d'eau:

elles apparaissent au nombre de cinq, soit, en commençant depuis le bas:

de 244 à 242 m  
de 220 à 215 m  
de 165 à 160 m  
de 149 à 145 m  
de 104 à 98 m

la plus importante (0,5 l/s) apparaît de loin celle placée entre 244 et 242 m; en fait, le résultat obtenu enregistre plutôt l'arrivée d'eau, par le fond du sondage, depuis des niveaux plus profonds et que les observations faites à l'avancement permettent de situer autour de 257 m.

Au total, selon la courbe du débit vertical, ces cinq zones d'arrivée fourniraient un débit rendu au sol d'environ 1,6 l/s (95 l/min.), soit plus du double du débit réellement mesuré (0,67 l/s).

b) Zones de sortie d'eau

On doit admettre leur existence en dépit du fait que les élargissements brusques de la section brute du trou, par suite d'érosion de la paroi (molasse friable), puissent, sur la courbe des débits, simuler l'existence de sorties d'eau. Une étude critique des courbes permet de retenir deux principales zones de sortie d'eau:

de 185 à 190 m

de 135 à 140 m

et une d'importance secondaire, de 150 à 160 m.

La soustraction du débit artésien réellement mesuré (0,67 l/s) de la somme des débits admis à l'entrée dans le sondage (1,6 l/s) donnerait globalement, pour ces débits de sortie, la valeur de 0,93 l/s. A s'en tenir à ces chiffres, il apparaîtrait que le débit réinfiltré dans les couches, à divers niveaux, serait de près de 40 % supérieur au débit artésien mesuré en surface. Considérant les variations de diamètre brut du sondage déjà mises en avant, ces chiffres doivent être pris avec d'extrêmes réserves.

c) Zones neutres

On désigne ainsi les sections du sondage ne présentant ni arrivée, ni sortie d'eau. Les modifications apparaissant sur les courbes au droit de ces zones traduisent alors essentiellement des variations du diamètre du trou ou d'autres perturbations.

7.2.3.2 Essai du 23 octobre 1989

a) Courbe des températures (figure 9)

Elle reste délicate à interpréter par suite des variations de la vitesse verticale dans le sondage induites par les variations de diamètre. Cependant, quelques anomalies ressortent, soit:

à 99 m

à 101 m

de 108 à 109 m

à 144 - 145 m

qui peuvent, à l'exception de celle à 108 - 109 m, être corrélées avec des venues d'eau.

b) Courbe de la conductivité (figure 9)

Elle marque peu d'écart: 20  $\mu$ S/cm entre le maximum, mesuré à la base du sondage, et le minimum. Quelques ressauts de la courbe peuvent être retenus (163 m, 196 - 197 m, 211 et 222 m) dont trois (163, 211 et 222 m) peuvent être correlés avec des arrivées d'eau.

c) Courbes brutes d'enregistrement du micromoulinet:

descente et remontée (figures 10 et 11)

Les conditions particulières déjà soulignées ont conduit Géotest à renoncer à traduire ces courbes en courbe de vitesse ou de débit. Il ressort cependant, en particulier et comme c'est normal de la courbe enregistrée à la descente, quelques enseignements:

- entrée d'eau à: 

98	m
238	m (fond)
  
- présomption d'entrée d'eau à 212,5 m
  
- présomption de sortie d'eau à 133 - 

134	m
182,5	m
  
- équipement PVC directement au contact de terrain entre 134 et 141 m, 150 et 158 m et 214 et 232 m; si l'on se rapporte à la coupe détaillée de la figure 2, on voit que ces zones correspondent à des sections du sondage pour lesquelles on n'a pas de carotte par suite de la faible cohérence de la molasse; en conséquence, on est fondé à penser que le terrain situé juste derrière le tube crépiné est du matériel rapporté; selon toute vraisemblance, il s'agit de sable moyen à grossier déplacé en particulier pendant l'essai de pompage et resédimenté derrière le tube PVC, à la faveur de l'arrêt de cet essai, à partir de niveaux plus durs en saillie.

d) Courbe des débits à partir de mesures stationnaires: (figure 12)

Elle met en évidence:

- plusieurs secteurs d'entrée d'eau aux profondeurs moyennes suivantes: 96 m, 143 m, 160 m, 220 m et 235 m
  
- quelques secteurs de sortie d'eau aux profondeurs moyennes suivantes: 128 m, 150 m, 184 m

Le nombre limité de stations, une vingtaine au total, n'offre pas la même possibilité de précision qu'une courbe en enregistrement continu.

#### 7.2.4 Conclusions

En dépit de difficultés d'analyse des essais liées à un diamètre non constant du sondage (érosions et dépôts derrière le tube d'équipement), les essais ont confirmé l'existence de zones d'alimentation préférentielles et précisé leur position. Cinq semblent se détacher: de 98 à 104 m, autour de 145 m, de 158 à 165 m, de 215 à 220 m, enfin depuis le fond du sondage (cette arrivée depuis le fond correspond à des venues encore plus basses - situées entre 240/245 m et 275,60 m - mais au niveau desquelles, par suite de l'ensablement progressif de l'ouvrage, on n'a pas pu descendre le micromoulinet). Ces arrivées d'eau, à l'exception de celle située autour de 145 m, avaient déjà été repérées à l'avancement du sondage.

En revanche, les essais au micromoulinet semblent avoir mis en évidence l'existence de sorties d'eau: autour de 135 m, autour de 150 m, entre 180 et 190 m, qui n'étaient pas apparues à l'avancement des travaux.

### 8. CHIMIE DES EAUX

#### 8.1 Remarques préliminaires

Plusieurs prélèvements ont été effectués au sondage n° 2 pour analyse chimique des eaux fournies. Il était, en particulier, important de savoir si ces eaux répondaient, chimiquement, aux normes fixées pour une eau de boisson. En effet, la proximité des installations de Moulin Brûlé permettait d'envisager, même avec un faible débit, le cas échéant, le déversement dans le réseau des eaux du sondage n° 2.

Cinq prélèvements ont été faits entre le 17 octobre 1988 et le 4 avril 1989, dont deux (7 novembre - 21 novembre 1988) durant l'essai de pompage. Pour les trois autres, situés hors période de pompage, le sondage débitait par le seul artésianisme.

Tous ces prélèvements portent sur un mélange d'eau du Tertiaire en provenance de la Molasse d'eau douce inférieure et de la Molasse marine supérieure. Le premier prélèvement cependant, celui du 17 octobre 1988, ne concerne que les eaux rencontrées avant 243 m.

Les eaux ont été analysées au Laboratoire cantonal, à Berne.

## 8.2 Résultats

Ils sont réunis au tableau 1.

Les principaux traits qui se dégagent de ces résultats sont:

- faciès de type eau carbonatée calco-magnésienne
- eau peu à moyennement dure: la dureté totale n'atteint pas 20 degrés français
- concentration en sodium relativement élevée (le sodium n'est que pour une faible part associé à l'ion chlorure)
- faibles valeurs des nitrates, des sulfates et des chlorures
- concentration en nitrites et ammonium pour la plupart respectivement en dessous de  $5 \cdot 10^{-3}$  et  $5 \cdot 10^{-2}$  mg/l
- oxydabilité (exprimée en mg/l de  $MnO_4 K$ ) à un niveau tout à fait satisfaisant
- présence, à des concentrations assez variables, de fer (fer total); le manganèse total reste, pour sa part, toujours en dessous de  $5 \cdot 10^{-2}$  mg/l
- enfin, présence, à concentration élevée, d'hydrogène sulfuré

A ces résultats, on peut ajouter sur le plan des caractéristiques physiques de l'eau:

- température élevée (autour de  $13^{\circ}C$ ), mais normale pour des eaux remontant, pour certaines, depuis 250/270 m sous le sol
- une certaine turbidité: elle apparaît pour l'essentiel liée à la remontée de particules détachées du terrain (molasse très friable par endroits) sous la poussée de l'eau lors de son entrée dans l'ouvrage
- conductivité: très satisfaisante puisqu'elle se situe entre 340 et 375  $\mu S/cm$

Sur le plan de l'évolution enregistrée entre le 7 novembre 1988 et le 4 avril 1989, avec dans l'intervalle l'essai de pompage du 2 au 21 novembre 1988, on relève une remarquable stabilité d'ensemble. Le fait n'est pas pour surprendre si l'on rappelle que l'eau analysée résulte d'un mélange d'eaux rencontrées à plusieurs niveaux dans le forage. Ce fait rend compte également d'une circulation lente, à large diffusion, peu ou non susceptible de variations par suite de modifications de courte période dans l'alimentation de l'aquifère.

Cette stabilité - dans les conditions reconnues de l'aquifère - est aussi gage d'une bonne à très bonne protection contre toute atteinte accidentelle (pollution, par exemple).

Un seul paramètre semble échapper à cette stabilité: il s'agit du sodium qui passe de 12 à 6,3 mg/l. Comme on ne dispose pas de confirmation de la valeur de 6,3 mg/l, il est prématuré d'avancer une explication. Peut-être, cependant, cette explication pourrait-elle être recherchée dans le fait, déjà signalé, de l'ensablement de la partie inférieure de l'ouvrage, lequel tendrait à diminuer depuis lors la part prise par les venues les plus profondes. Cependant, on peut s'étonner que le phénomène n'ait agi que sur le sodium.

Enfin, la comparaison des résultats des prélèvements à partir du 7 novembre 1988 (sur l'ouvrage complet) avec ceux du 17 octobre 1988 (ouvrage seulement à 243 m) permet quelques observations de détail qu'on peut imputer à l'absence, dans le mélange, encore à cette date, des eaux rencontrées à partir de 257 m. Parmi ces observations, on retiendra:

- eau sensiblement moins minéralisée, phénomène essentiellement lié à une diminution du carbonate de calcium
- pH légèrement basique

En résumé, l'eau recueillie au sondage s'avère, dans ses grandes lignes, encore satisfaisante sur le plan chimique, en dépit de quelques signes de réduction, si ce n'était la présence d'hydrogène sulfuré et, de plus, à une concentration assez élevée (cette présence d'hydrogène sulfuré confirme bien l'existence des phénomènes de réduction).

Comme telle et par le seul fait de la présence d'hydrogène sulfuré, cette eau ne peut pas être livrée pour la consommation. Un traitement - ozone et filtration - apparaît pour cela nécessaire.

## 9. BACTERIOLOGIE

Quatre prélèvements pour analyse bactériologique ont été faits sur le sondage n° 2, dont deux pendant l'essai de pompage. Ces prélèvements se situent tous hors période des travaux ou de manipulations sur le sondage.

Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau 1. Ils font ressortir:

- l'absence d'Escherichia Coli
- l'absence d'entérocoques
- dans l'ensemble, un nombre de germes totaux élevé

En résumé, les eaux analysées apparaissent indemnes de pollution organique d'origine fécale. On peut, d'autre part, supposer un lien entre le nombre élevé de germes totaux et les tendances à la réduction relevées sur l'eau.

## 10. PERSPECTIVES D'AVENIR DE LA RESSOURCE DECOUVERTE AU SONDAGE N° 2

### 10.1 Les données

La recherche entreprise a démontré l'existence de ressources en eau dans les formations du Tertiaire: en particulier molasse d'eau douce inférieure et molasse marine supérieure.

Il s'agit d'une ressource en charge et actuellement artésienne. Le débit artésien global mesuré au sol, à la fin des travaux s'établissait à 165 l/min. Actuellement, ce débit artésien tourne autour de 40 l/min.

Les essais au micromoulinet ont démontré l'existence, par ailleurs, de niveaux absorbants en dessous du tube cimenté au terrain. Le débit artésien mesuré en surface rend compte, dans ces conditions, d'un résultat global.

L'essai de pompage de 18 jours, réalisé en novembre 1988, a montré qu'il était possible - à l'époque - d'extraire en continu environ 375 l/min., soit 540 m<sup>3</sup>/jour, ce qui n'est pas négligeable.

Les analyses ont montré qu'il s'agissait d'une eau avec des caractères d'eau réduite et contenant en particulier du H<sub>2</sub>S. Ces eaux devraient subir un traitement (ozone, filtration) pour être livrées à la consommation. Comme tel, ce bilan apparaît contrasté.

### 10.2 Vieillesse prématurée de l'ouvrage. Manifestations et causes

Comme déjà dit, le forage a été équipé avec un tube PVC, diamètre 4", crépiné entre 90 et 274 m. Ce diamètre était le plus grand pouvant équiper le trou. L'ouverture des fentes est de 1 mm, soit l'ouverture la plus petite possible.

Comme il apparaît à la lecture de la coupe du forage (figure 2), la molasse s'est avérée, en de nombreux passages, faiblement à non cohérente à l'attaque de l'outil, ce qui a entraîné la destruction de la carotte.

Pendant mais aussi après les travaux, on a pu observer la remontée jusqu'en surface de sable fin. Ce phénomène de remontée n'a pu que s'amplifier pendant l'essai de pompage.

Enfin, à l'occasion des essais au micromoulinet, on n'a pas pu descendre l'appareil plus bas que:

- 244 m lors de l'essai du 28 juin 1989
- 240 m lors de l'essai du 23 octobre 1989
- contre - 274 m au moment de l'équipement

Ces valeurs, leur évolution, lorsqu'on les rapproche du phénomène de remontée de sable, conduisent à admettre que l'obstacle à la descente rencontré lors des essais au micromoulinet est redevable à l'ensablement du fond de l'ouvrage. Or, rien ne permet de penser que cette évolution est terminée: le 23 octobre 1989, on pouvait encore observer la persistance de remontée de sable fin avec l'eau.

Le rapprochement de ces données avec les profils tirés des essais au micromoulinet montre que cet ensablement affecte des niveaux parmi les plus productifs. Dès lors, on a tout lieu de penser que cet ensablement est, pour une large part, responsable de la diminution observée du débit artésien.

Deux choses doivent encore être précisées:

- l'équipement du forage constituait la seule possibilité d'explorer les capacités réelles de l'aquifère reconnu
- l'équipement, tel que choisi et compte tenu des dimensions fortement réduites d'un ouvrage de reconnaissance, était le mieux approprié à la situation reconnue; les faits ont montré que cela n'a pas suffi.

### 10.3 Perspectives

Le phénomène observé de remontée de sable se poursuit encore actuellement, tout autant que l'ouvrage débite (artésianisme ou pompage). Il est bien entendu renforcé en cas de pompage.

Rien ne permet de prévoir un affaiblissement, puis une disparition, à court terme du phénomène. Il est probable que sous la poussée de l'eau, là où la molasse est dépourvue de cohésion, l'entraînement de particules se poursuive encore longtemps, avec, comme risque, des désordres autour du tube. On peut craindre que l'équilibre ne soit atteint qu'avec un ensablement remontant encore plus haut dans le puits.

Il existe bien des méthodes susceptibles de désensabler l'ouvrage. On se heurte ici à deux obstacles:

- efficacité et coût de l'opération
- perspective de voir le phénomène se réactiver

Le second apparaît le plus redoutable qui fait référence à un retour du phénomène dès qu'on laisse débiter le forage ou qu'on pompe.

A défaut d'intervention, il apparaît illusoire de vouloir exploiter rationnellement le forage, abstraction faite des réserves que la chimie des eaux soulève.

D'autre part, une intervention, dont rien aujourd'hui ne garantit qu'elle réussisse pleinement, n'assure pas davantage une amélioration durable.

## 11. LE BASSIN D'ALIMENTATION PROBABLE DES EAUX RECUEILLIES PAR LE SONDAGE N° 2

Plusieurs données, pour la plupart tirées de la reconnaissance effectuée, permettent une première approche des limites du bassin d'alimentation probable des eaux du Tertiaire recueillies par le sondage n° 2. Parmi elles, on retiendra:

- le caractère artésien des venues, ce qui, dans des conditions naturelles, réserve la zone d'alimentation aux secteurs situés au-dessus de la cote 870 - 880 m
- le faible pouvoir d'infiltration efficace des formations tertiaires
- la lente recharge de l'aquifère
- l'âge de l'eau: les analyses du tritium situent pour une très large part l'infiltration de l'eau antérieurement à 1953 (annexe 2)
- certaines caractéristiques des analyses chimiques

Sur cette base et en se limitant, dans un premier temps, aux affleurements du Tertiaire, on définit le bassin d'alimentation porté à l'annexe 1. On observe que ce bassin:

- est pour sa quasi totalité situé à l'Ouest du forage et pour une large part sur le versant Nord de la vallée
- supporte une grande partie de l'agglomération de Tramelan

Un rapide calcul peut être fait qui n'a d'autre objectif que de fixer l'ordre de grandeur du bassin d'alimentation potentiel. En prenant que 10 % des précipitations s'infilte et rejoint les eaux souterraines (référence pluviométrique: station de Bellelay; moyenne annuelle sur la période 1901 - 1960: 1300 mm), un débit permanent de 250 l/min. au forage nécessiterait une surface de bassin d'alimentation théorique de l'ordre de 1 km<sup>2</sup>. Cette valeur apparaît tout à fait compatible avec la surface des affleurements tertiaires (3 km<sup>2</sup>), dont une partie seulement est contenue dans l'annexe 1. On voit en particulier que:

- les affleurements du Tertiaire pourraient, à eux seuls, assurer l'alimentation d'un tel ouvrage
- la partie du bassin d'alimentation occupée par l'agglomération de Tramelan est déjà notablement éloignée (2 km) du sondage.

Bien que les surfaces d'affleurement du Tertiaire puissent suffire, comme on vient de voir, on ne peut pas exclure, en particulier pour les venues les plus basses, la possibilité d'une alimentation, par voie indirecte, en provenance de niveaux constituant le soubassement calcaire des dépôts tertiaires. Ce schéma implique cependant une circulation en charge dans les calcaires du

Malm, temporaire ou permanente, au-dessus d'une cote qu'on peut fixer à 900 m (figure 13).

Sous l'angle protection des eaux et s'agissant des eaux en provenance directe des terrains tertiaires, on fait observer que:

- le bassin rapproché est situé en zone agricole (essentiellement pâturage) ou même de couvert forestier (au-delà de 2 km vers l'Ouest, le bassin d'alimentation aborde l'agglomération de Tramelan)
- l'eau circule lentement, des zones d'infiltration vers le sondage; ce fait, en assurant une bonne filtration de l'eau, tend à prémunir contre les risques de pollution bactérienne et même chimique, avec l'aide de l'action soutenue des phénomènes d'oxydation, dégradation, adsorption, dilution ou autres.

S'agissant de la protection des eaux qui pourraient provenir, à l'origine, des calcaires secondaires, les certitudes sont moins nettes, compte tenu d'un bassin d'alimentation sensiblement élargi et d'une plus grande variété des risques possibles. Cependant, avant d'atteindre l'ouvrage, ces eaux doivent toujours parcourir un certain trajet dans la molasse, à vitesse ralentie, et subissent de ce fait une filtration efficace.

## **12. LES APPORTS DES SONDAGES A LA CONNAISSANCE DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DE TRAMELAN**

---

### **12.1 Sur le plan géologique**

La principale acquisition à ce jour est apportée par le sondage n° 2. Il s'agit d'une coupe détaillée et suivie de la couverture tertiaire des calcaires du Malm. Deux enseignements se dégagent de cette coupe:

- existence d'une série plus complète que généralement admis jusque là; en particulier, présence quasi certaine de Burdigalien
- grande épaisseur de cette série: de l'ordre de 300 m

A ces enseignements, on ajoutera la très forte présomption d'un synclinal tertiaire déjeté, ou même localement déversé, vers le Nord, sous l'effet de la poussée responsable du chevauchement affectant la série secondaire observé immédiatement au Sud (figure 13).

Ces points ont été développés sous 6.1. On n'y reviendra pas ici.

Une remarque encore: les lacunes sédimentaires, par suite d'absence de dépôt ou d'érosion, ne permettent cependant pas d'étendre à un trop vaste secteur l'information recueillie ici; une certaine prudence s'impose en l'absence d'une autre coupe détaillée, à une certaine distance, et permettant des corrélations.

S'agissant du sondage n° 1, ce premier carottage de toute la partie terminale du Malm, constituait une opportunité rare. Un diplôme est en préparation (Mouchet 1990) qui, par l'exploitation de nombreuses lames minces, complètera très utilement l'information déjà recueillie, en particulier concernant les corrélations avec des secteurs voisins mieux connus.

## 12.2 Sur le plan hydrogéologique

### Sondage n° 1

Ce sondage rend compte d'une fissuration des calcaires du Malm extrêmement faible, devenant nulle à partir d'environ cent mètres. On est, semble-t-il, fondé à extrapoler ces observations à l'ensemble des terrains du Malm de la région de Tramelan, en particulier celle concernant la disparition de la fissuration en profondeur.

Cette dernière remarque hypothèque les perspectives de pouvoir rencontrer, dans le secteur élargi de Tramelan, des ressources en eau souterraine profonde abondantes, stables, parce que liées à l'existence de réseaux de fissuration étendus, reliés entre eux, comme cela a été observé plus en aval (Bertrand, Mornod, 1975). On rejoindrait ici les réserves déjà faites lors de l'établissement du projet de recherche (Bertrand, 1987).

### Sondage n° 2

Diverses études, dont celle présidant à la définition des zones de protection des captages de Moulin Brûlé, avaient abouti à la conclusion de l'alimentation des captages par des eaux du Malm, transmises à travers les Calcaires delémontiens. Cette conclusion (Schindler, 1977) reposait en particulier sur les résultats d'essais de traçage (Géotest, 1976).

Le sondage n° 2, situé à une centaine de mètres des ouvrages de Moulin Brûlé n'avait, pour sa part, toujours pas rencontré les Calcaires delémontiens à - 276 m. Dans ces conditions, de deux choses l'une: ou les niveaux calcaires présumés alimenter les captages de Moulin Brûlé ne sont pas des Calcaires delémontiens, alimentés par le Malm sous-jacent, ou un important accident doit être invoqué pour permettre la remontée sur plus de 200 m des Calcaires delémontiens. Une observation attentive des photos aériennes ne laisse rien voir d'un tel accident, pas plus que la géophysique ou les divers levés géologiques antérieurs.

Il apparaît, en conséquence, qu'il faille réviser le schéma admis jusque là pour expliquer l'abondance relative des captages de Moulin Brûlé en regard des maigres ressources prêtées à la nappe alluviale. En particulier, d'autres cheminements doivent être envisagés pour la circulation des marqueurs entre l'entrée de Tramelan (usine Sulzer) et les captages et qui n'empruntent pas un cheminement, en totalité ou presque, dans les calcaires du Malm, mais seulement partiel.

Une autre donnée susceptible de modification est la situation des captages de Moulin Brûlé par rapport à l'axe du synclinal. Avec le glissement vers le Sud de cet axe, on ne peut plus admettre que ces captages se situent à proximité du flanc Sud du synclinal.

### 13. CONCLUSION

La recherche par forages entreprise dans la région de Tramelan semble confirmer l'absence de ressources en eau importantes à l'intérieur de l'épaisse série calcaire du Malm. Le fait peut être attribué à la convergence de trois phénomènes, pour partie en rapport entre eux:

- secteur en position haute par rapport à la suite du synclinal se développant plus à l'Est
- fissuration du calcaire peu développée
- relativement forte épaisseur de la couverture tertiaire

La recherche entreprise a, par ailleurs, mis en évidence certaines ressources dans le Tertiaire. Ces ressources n'offrent pas les mêmes caractères de réalimentation, de débit, de qualité chimique que les eaux du Malm. Elles ne sauraient constituer une ressource pour le long terme. Tout au plus, peut-on les considérer comme ressource d'appoint. Elles sont de plus, au sondage n° 2 tout au moins, affectées de quelques déficiences qui rendent nécessaire leur traitement.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES <sup>1)</sup>

- BALDERER, W. (1986): Signification de l'âge moyen de l'eau souterraine donné par les isotopes radioactifs. Bull. Centre hydrogéol. Neuchâtel, n° 6.
- BERTRAND, J.; MORNOD, L. (1975): Rapport sur la mise en évidence par forage profond d'un aquifère productif dans la zone noyée des calcaires du Malm de la vallée de Court-Tavannes. Avec 9 annexes. Rapport inédit (SECTA).
- BERTRAND, J.; MORNOD, L. (1982): Rapport final sur la construction d'un puits d'exploitation à grande profondeur des eaux captives du Malm. Avec 6 annexes. 44 p. Rapport inédit (SECTA, Bévillard).
- BERTRAND, J. (1987): Région de Tramelan. Programme devisé en vue de la reconnaissance et de la protection de nouvelles ressources en eau souterraine. Rapport inédit (OEHE, Berne).
- BERTRAND, J. (1989): Tramelan. Reconnaissance par forages des ressources en eau souterraine profonde. Rapport préliminaire d'information. Rapport inédit (OEHE, Berne).
- BRION, M. (1976): L'étude du phénomène de l'anisotropie électrique appliquée au milieu carbonaté fracturé. Thèse Univ. Sc. & Tech. Languedoc, Montpellier.
- BURGER, A. (1983): Prospection et captage des eaux souterraines des roches carbonatées du Jura. Gaz - Eaux - Eaux usées, n° 9.
- BUXTORF, A.U.; SCHLAICH, Ed. (1928): Gliederung und Verbreitung des Miocäns in der Mulde von Court. Eclog. geol. Helv., Bd. 21.
- CHARDONNENS, G. (1978): Contribution à la connaissance de quelques sources captées dans la vallée de Tavannes. Bull. Centre hydrogéol. Neuchâtel, n° 2.
- EPPEL, P. (1947): Geologische Beschreibung der Umgebung von Sonceboz im Berner Jura. Mitt. Natf. Ges. Bern, NF., Bd. 4.
- FORKERT, E. (1933): Geologische Beschreibung des Kartengebietes Tramelan im Berner Jura. Eclog. geol. Helv., Bd. 26/1.
- GEOTEST (1975): Carte hydrogéologique du canton de Berne. Vallée de Tramelan. Etude géoélectrique. Rapport inédit n° 74081 (OEHE, Berne).

---

<sup>1)</sup> On a porté ici seulement les ouvrages consultés à un titre ou à un autre et en relation avec la présente étude.

- GEOTEST (1976)<sup>2)</sup>: Délimitation des zones de protection. Rapport inédit n° 74084 (Municipalité de Tramelan).
- GEOTEST (1988): Tramelan. Etude géophysique. Rapport inédit n° 87199 (Services techniques Tramelan).
- JAECKLI, H.; OEHE/Géologie (1981): Hydrogéologie du Vallon de St-Imier. OEHE, Berne.
- KIRALY, L. (1978): La notion d'unité hydrogéologique. Essai de définition. Bull. Centre hydrogéol. Neuchâtel, n° 2.
- LEVY, I. & R. (1967): Tramelan. Alimentation en eau potable. Rapport inédit (Commune de Tramelan).
- LOUIS, C.L. (1971): Introduction à l'hydraulique des roches. Bull. BRGM, sect. III, 2° série, n° 4.
- MANGIN, A. (1976): Les systèmes karstiques et leur méthodologie d'investigation. Deuxième colloque d'hydrologie en pays calcaire. Annales Sc. Univ. de Besançon, fasc. 25, 3° série.
- MATTAUER, M. (1973): Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. Hermann. Paris.
- MORNOD, L.; BERTRAND, J.; BARRAUD, J-P. (1970): Construction du premier puits profond à grand diamètre dans le karst jurassien suisse, à Moutier. Gaz - Eaux - Eaux usées, n° 10.
- MOUCHET, Ph. (1990): Essai de corrélation entre le Kimméridgien de la formation-type de Reuchenette et celui d'un forage situé à la sortie Est de Tramelan. Diplôme (en préparation). Institut de géologie de Neuchâtel.
- MULLER, I. (1979): Premiers essais micro-sismiques appliqués à l'étude hydrogéologique du karst jurassien. Bull. Centre hydrogéol. Neuchâtel, n° 3.
- MULLER, I. (1980): Localisation des zones fracturées dans le karst par la prospection géoélectrique et la micro-sismique. Eclog. geol. Helv., vol. 73/3.
- MULLER, I.; SCHOTTERER, U.; SIEGENTHALER, U. (1982): Etude des caractéristiques structurales et hydrodynamiques des aquifères karstiques par leurs réponses naturelles et provoquées. Eclog. geol. Helv., vol. 75/1.

---

2) Contient une liste détaillée de rapports et de documents divers établis à cette date sur l'alimentation en eau de Tramelan.

- MULLER, I. (1983): Rôle de la prospection électromagnétique VLF pour la mise en valeur et la protection des aquifères karstiques. Annales Sc. Univ. de Besançon. Géologie, n° 1.
- MULLER, I; BURGER, A.; SCHOTTERER, U.; SIEGENTHALER, U. (1983): Résultats des méthodes d'investigations indirectes dans l'exploration des aquifères calcaires. Gaz - Eaux - Eaux usées, n° 9.
- ROTHPLETZ, W. (1931-32): Geologische Beschreibung der Umgebung von Tavannes im Berner Jura. Verh. Natf. Ges. Basel, Bd. 43.
- SCHINDLER, B. (1974)<sup>3)</sup>: Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes. Rapport intermédiaire 1973. Rapport inédit (OEHE, Berne).
- SCHINDLER, B. (1975): Hydrologie de la Vallée de Tavannes. Rapport intermédiaire 1974. Rapport inédit (OEHE, Berne).
- SCHINDLER, B. (1977): Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes. OEHE, Berne.
- SCHINDLER, B.; GROBET, D. (1978): Zone industrielle Les Navaux - Tramelan. Rapport inédit (Services techniques Tramelan).
- SCHLAICH, E. (1934): Geologische Beschreibung der Gegend von Court im Berner Jura mit besonderer Berücksichtigung der Molassebildungen. Beitr. Geol. Karte Schweiz. NF., Liefg. 26, 1. Teil.
- della VALLE, G. (1973): Essai de marquage Les Breuleux. Rapport inédit (OEHE, Berne).
- VOGEL, H. (1934): Geologie des Graiter y und des Grenchenbergs im Juragebirge. Beitr. Geol. Karte Schweiz. NF., Liefg. 26.
- ZIEGLER, P. (1956): Geologische Beschreibung des Blattes Courtelary (Berner Jura). Beitr. Geol. Karte Schweiz. NF., Liefg. 102.

-----

<sup>3)</sup> Ce rapport inédit contient une bibliographie assez détaillée, encore qu'incomplète, portant sur l'ensemble de la Vallée de Tavannes.





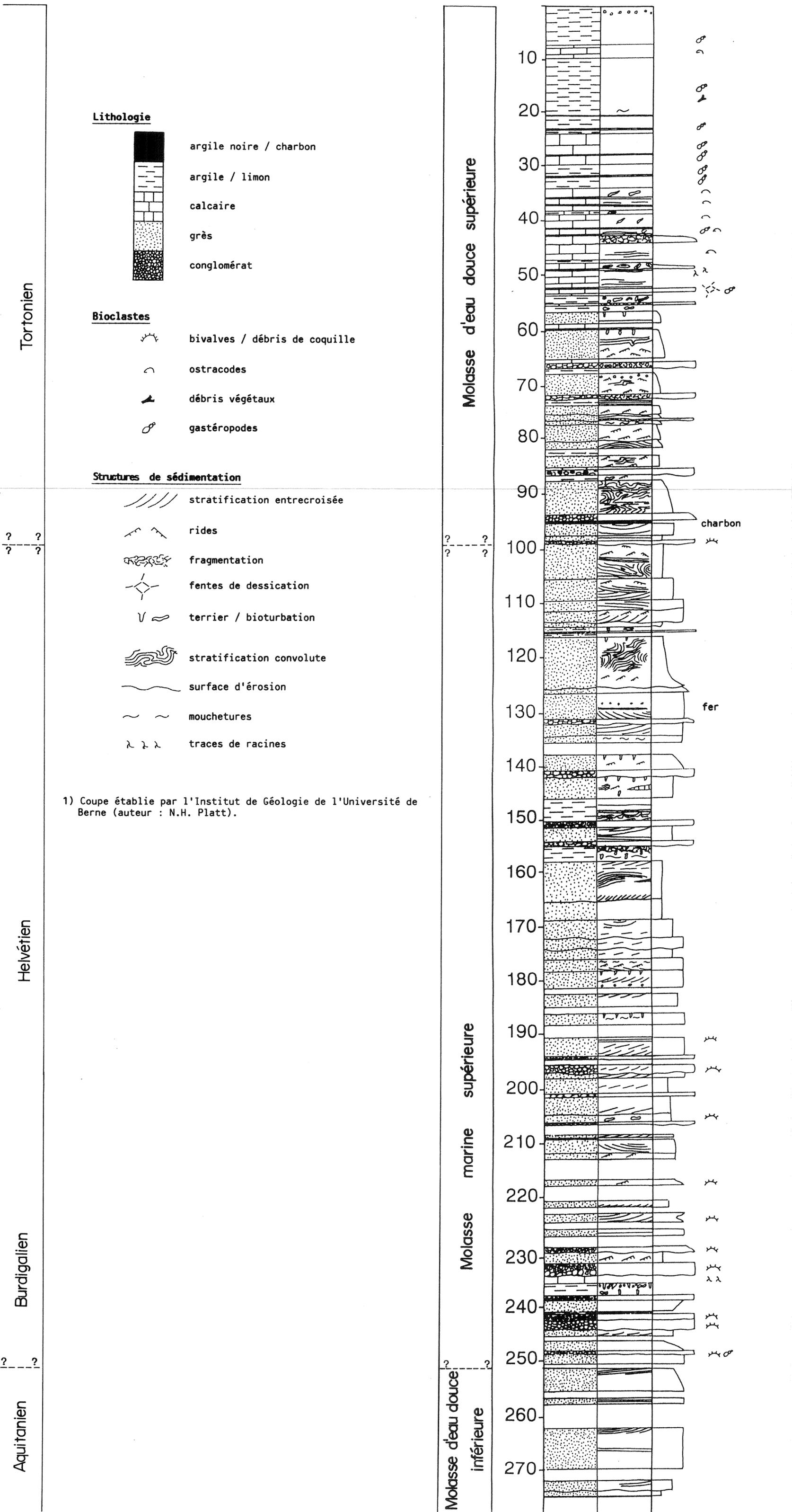


FIGURE 4 : COUPE TECHNIQUE SONDAGE N° 2  
Plan n° 290/702

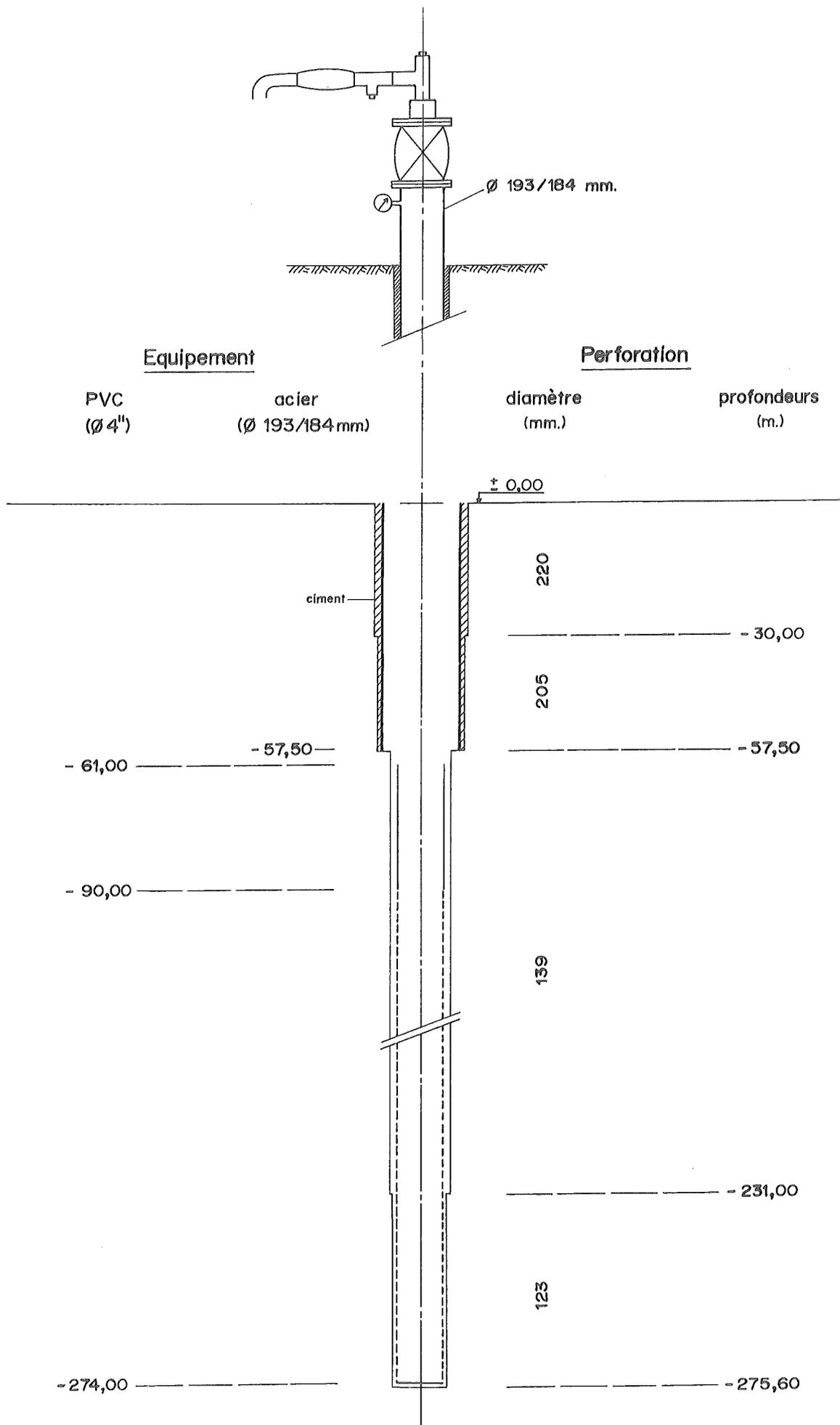
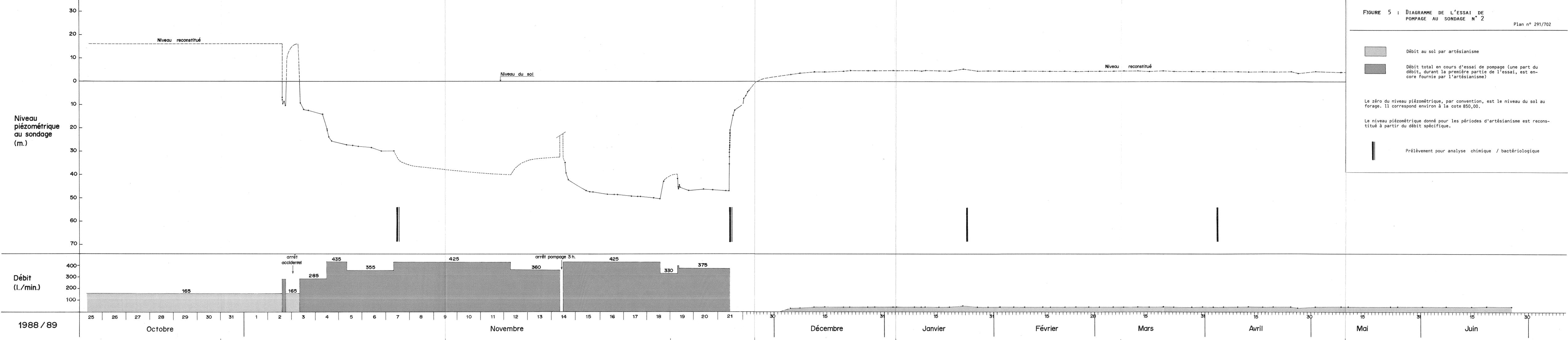


FIGURE 5 : DIAGRAMME DE L'ESSAI DE POMPAGE AU SONDAGE N° 2  
Plan n° 291/702



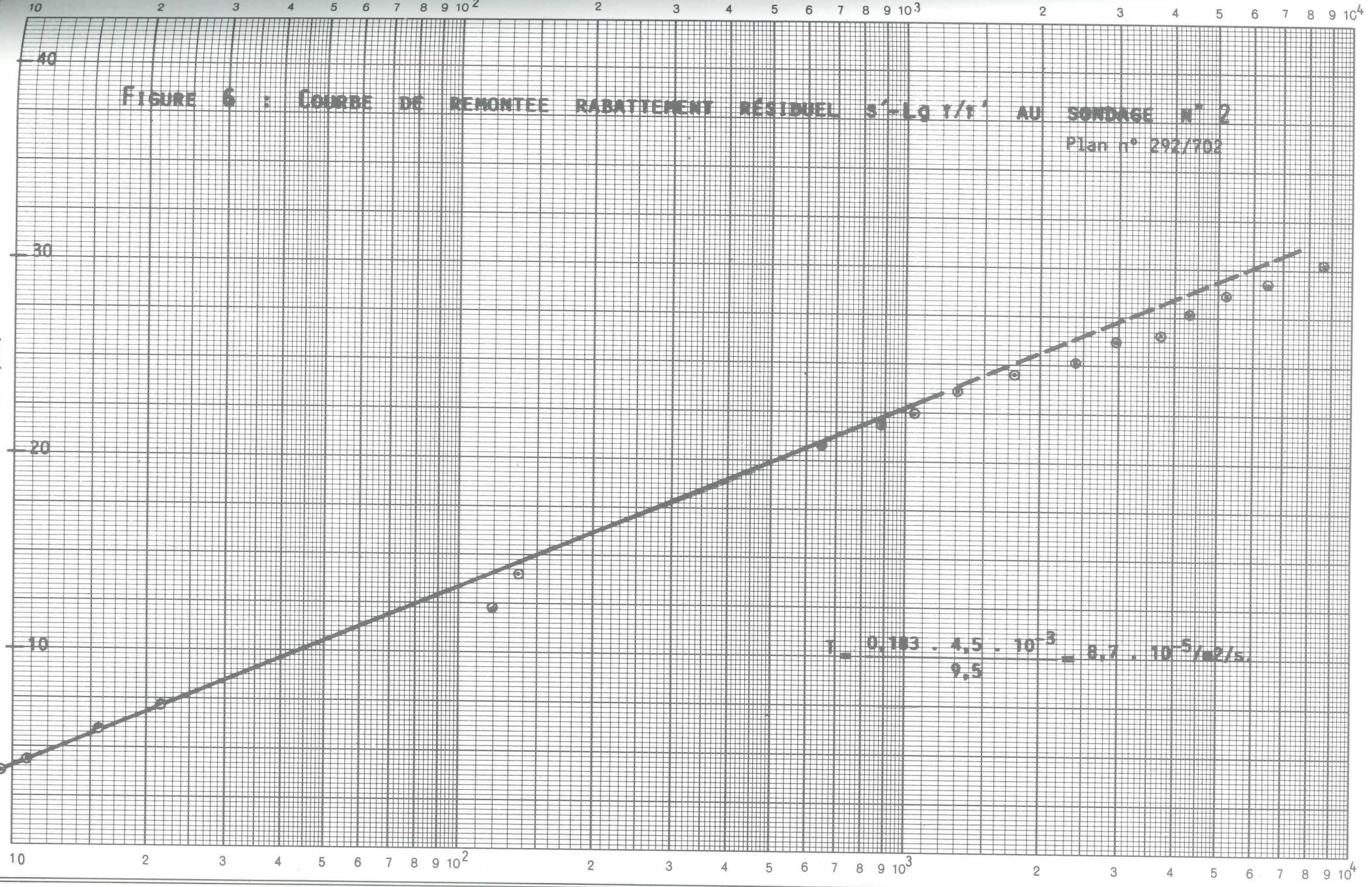
Le zéro du niveau piézométrique, par convention, est le niveau du sol au forage. Il correspond environ à la cote 850,00.

Le niveau piézométrique donné pour les périodes d'artésianisme est reconstitué à partir du débit spécifique.

Prélèvement pour analyse chimique / bactériologique

FIGURE 6 : COURBE DE REMONTEE RABATTEMENT RÉSIDUEL  $s'$ -Lg  $t/t'$  AU SONDAGE N° 2  
Plan n° 292/702

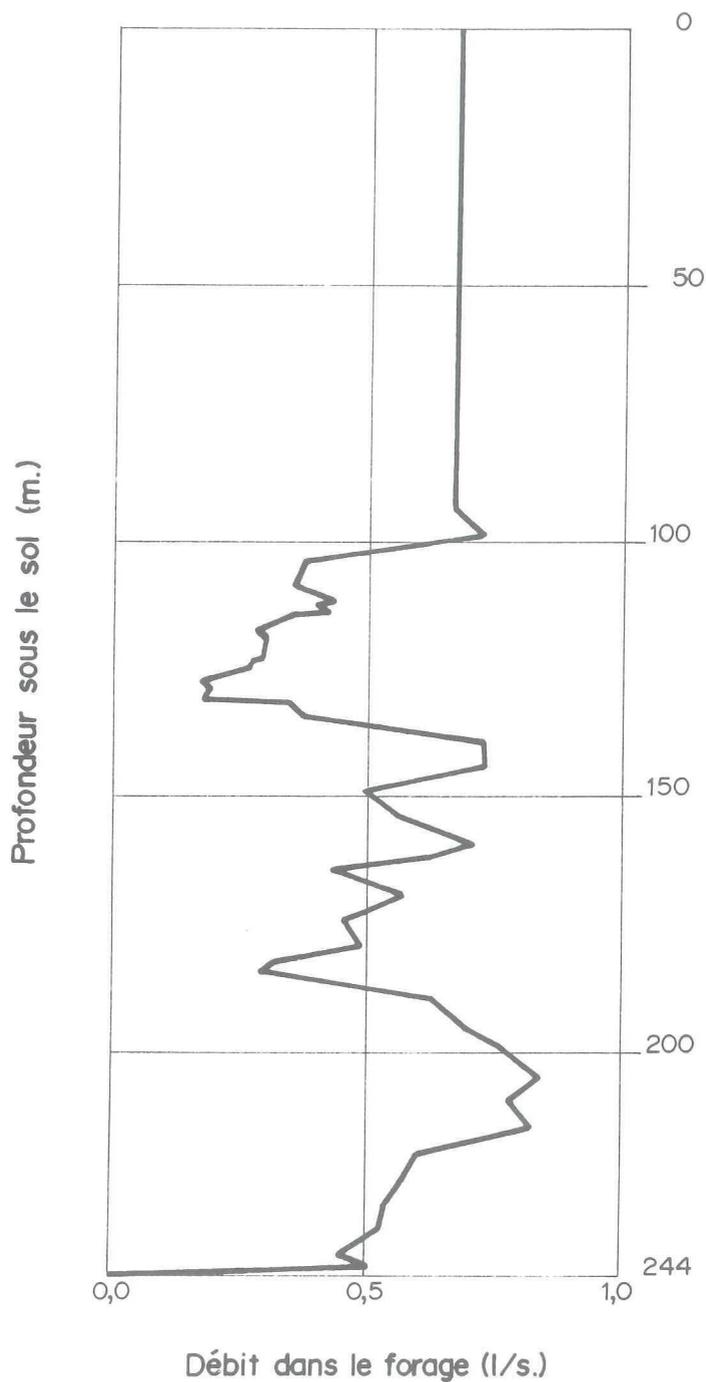
Rabattement résiduel  $s'$  (m.)



Lg  $t/t'$  (s.)

FIGURE 7 : ESSAI MICROMOULINET AU SONDAGE N° 2 (28.06.1989)  
COURBE DÉBIT - HAUTEUR

Plan n° 293<sub>1</sub>/ 702



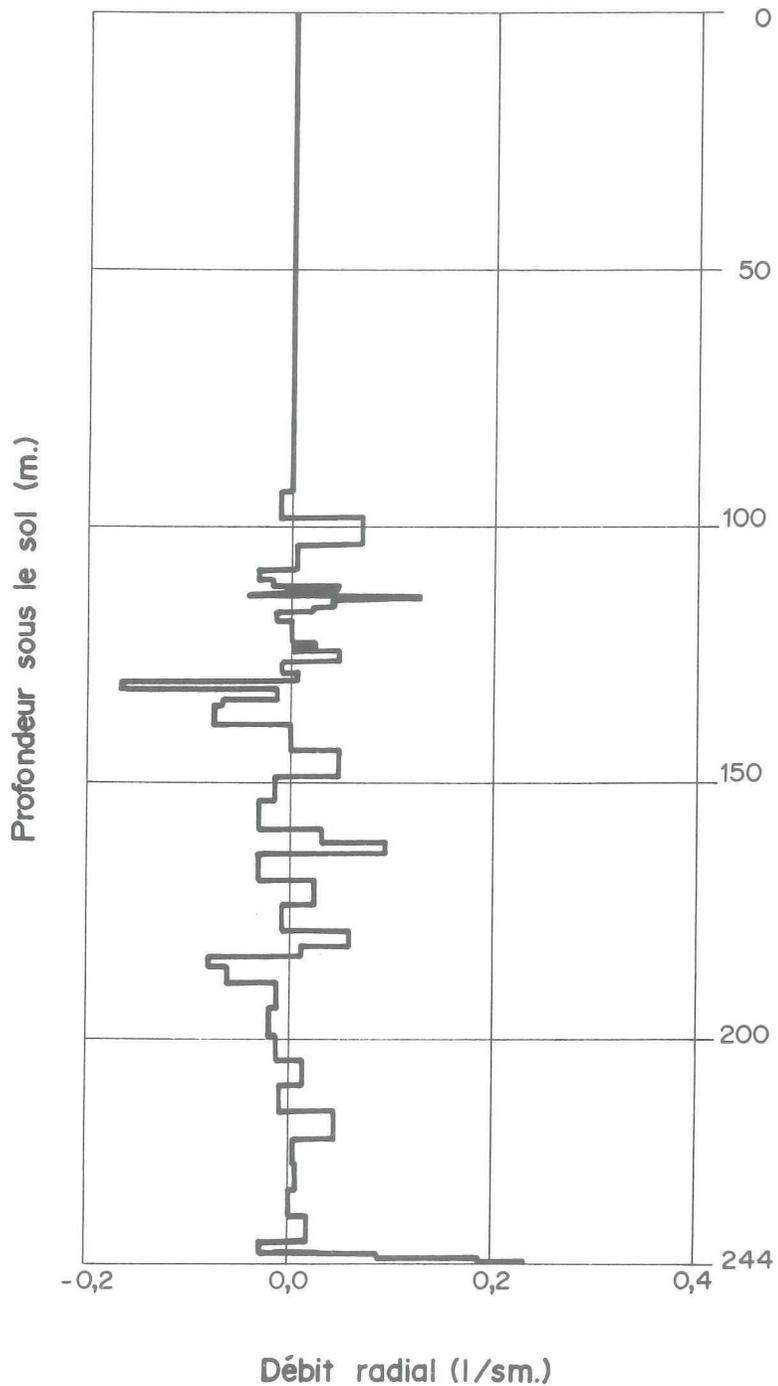
- Equipement du sondage :

- . PVC Ø 4", de - 61 m. à - 274 m.
- . crépiné de - 90 m. à - 274 m.
- . ensablé en dessous de - 244 m.

- Débit artésien le jour de l'essai : mesuré à 0,67 l/s.

FIGURE 8 : ESSAI MICROMOULINET AU SONDAGE N° 2 (28.06.1989)  
COURBE DÉBIT RADIAL - HAUTEUR

Plan n° 293<sub>2</sub>/702



- Equipement du sondage :

- . PVC Ø 4", de - 61 m. à - 274 m.
- . crépiné de - 90 m. à - 274 m.
- . ensablé en dessous de - 244 m.

- Débit artésien le jour de l'essai : mesuré à 0,67 l/s.

CONDUCTIVITÉ  
200.0 \_\_\_\_\_ 400.0  
μS/cm

TEMPÉRATURE  
10.0 \_\_\_\_\_ 15.0  
°C

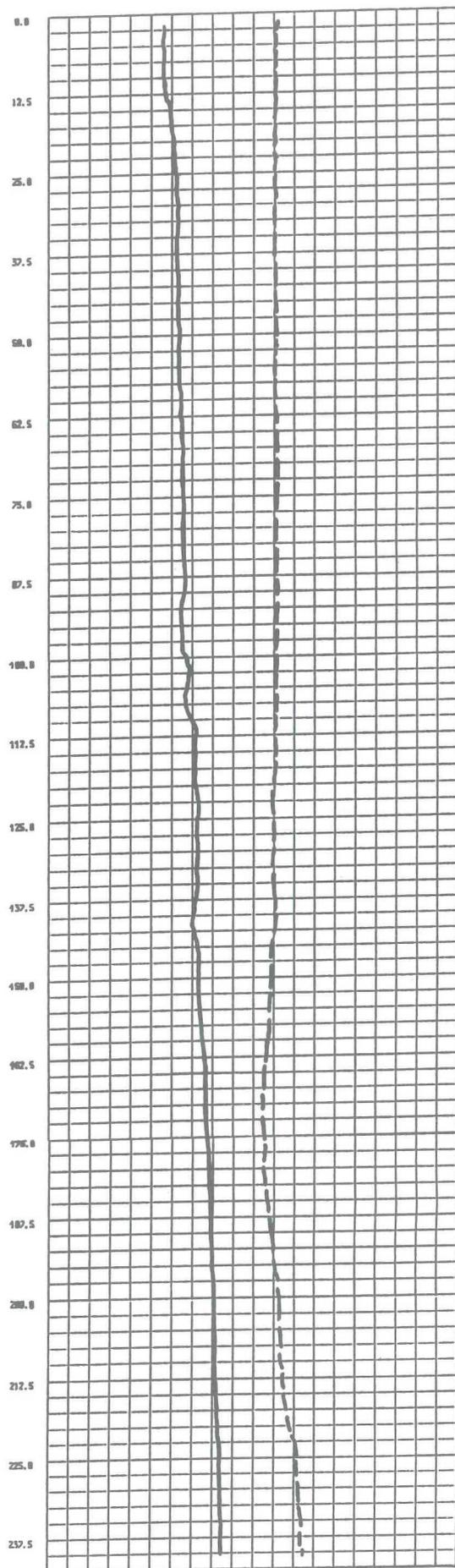


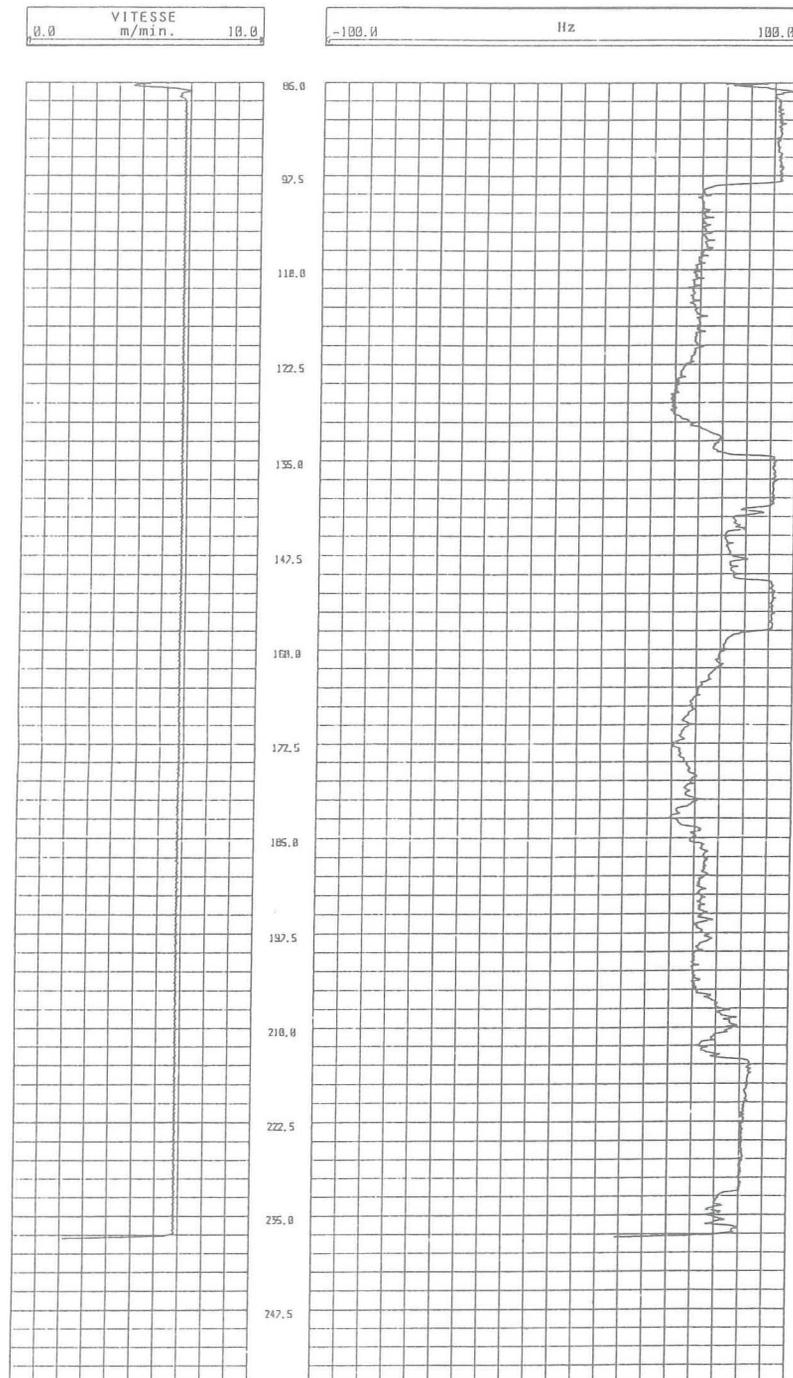
FIGURE 9 : ESSAI MICROMOULINET AU  
SONDAGE N°2 (23.10.1989)  
TEMPÉRATURE - CONDUCTIVITÉ

Plan n° 294/702

- Equipement du sondage :
  - . PVC, Ø 4", de - 61 à - 274 m.
  - . crépiné de - 90 à - 274 m.
  - . ensablé en dessous de - 240 m.
- Débit artésien le jour de l'essai :  
0,68 l/s. (41 l/min.)

FIGURE 10 : ESSAI MICROMOULINET AU SONDAGE N° 2 (23.10.1989)  
ENREGISTREMENT DESCENTE

Plan n° 295/702



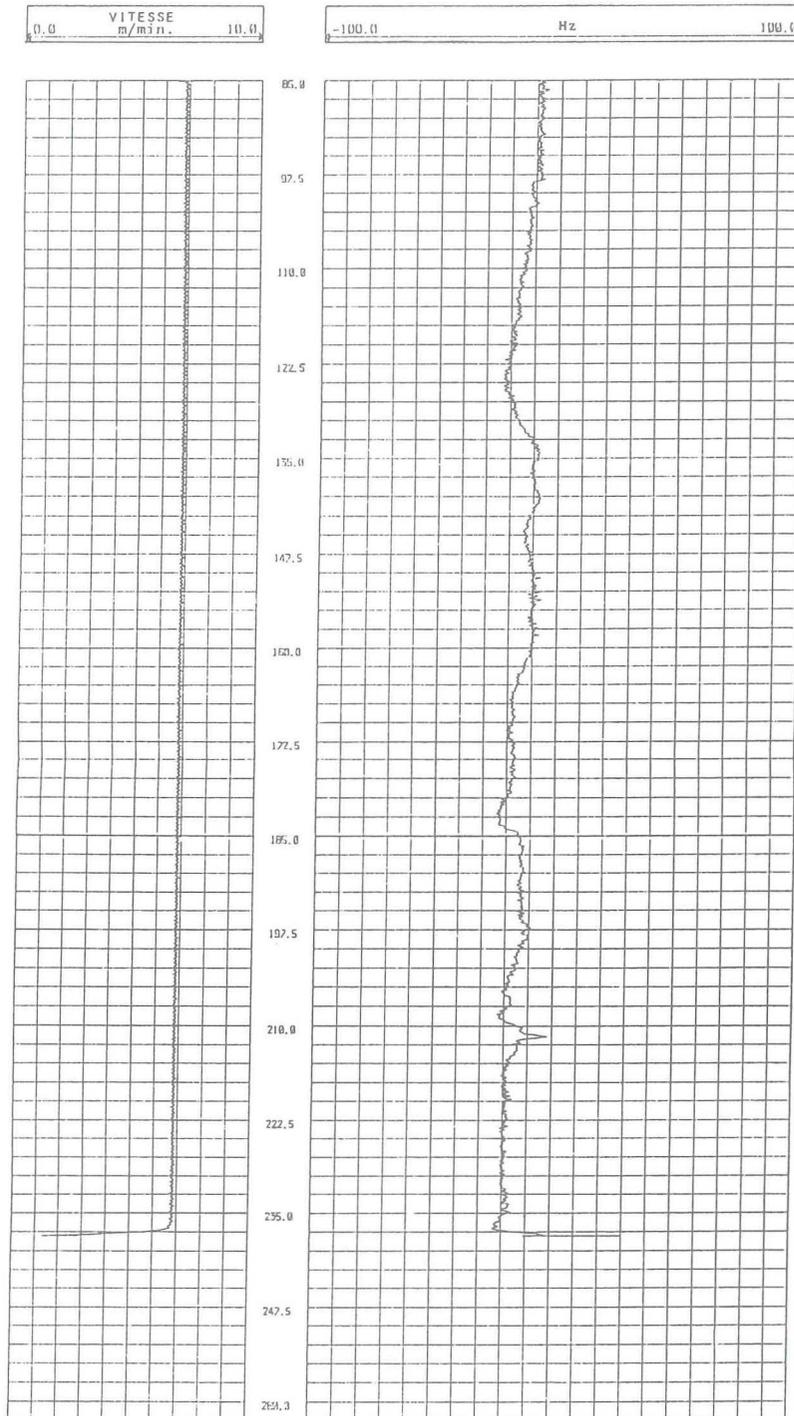
- Equipement du sondage :

- . PVC, Ø 4", de - 61 à - 274 m.
- . crépiné de - 90 à - 274 m.
- . ensablé en dessous de - 240 m.

- Débit artésien le jour de l'essai : 0,68 l/s. (41 l/min.)

FIGURE 11 : ESSAI MICROMOULINET AU SONDAGE N° 2 (23.10.1989)  
ENREGISTREMENT REMONTÉE

Plan n° 296/702



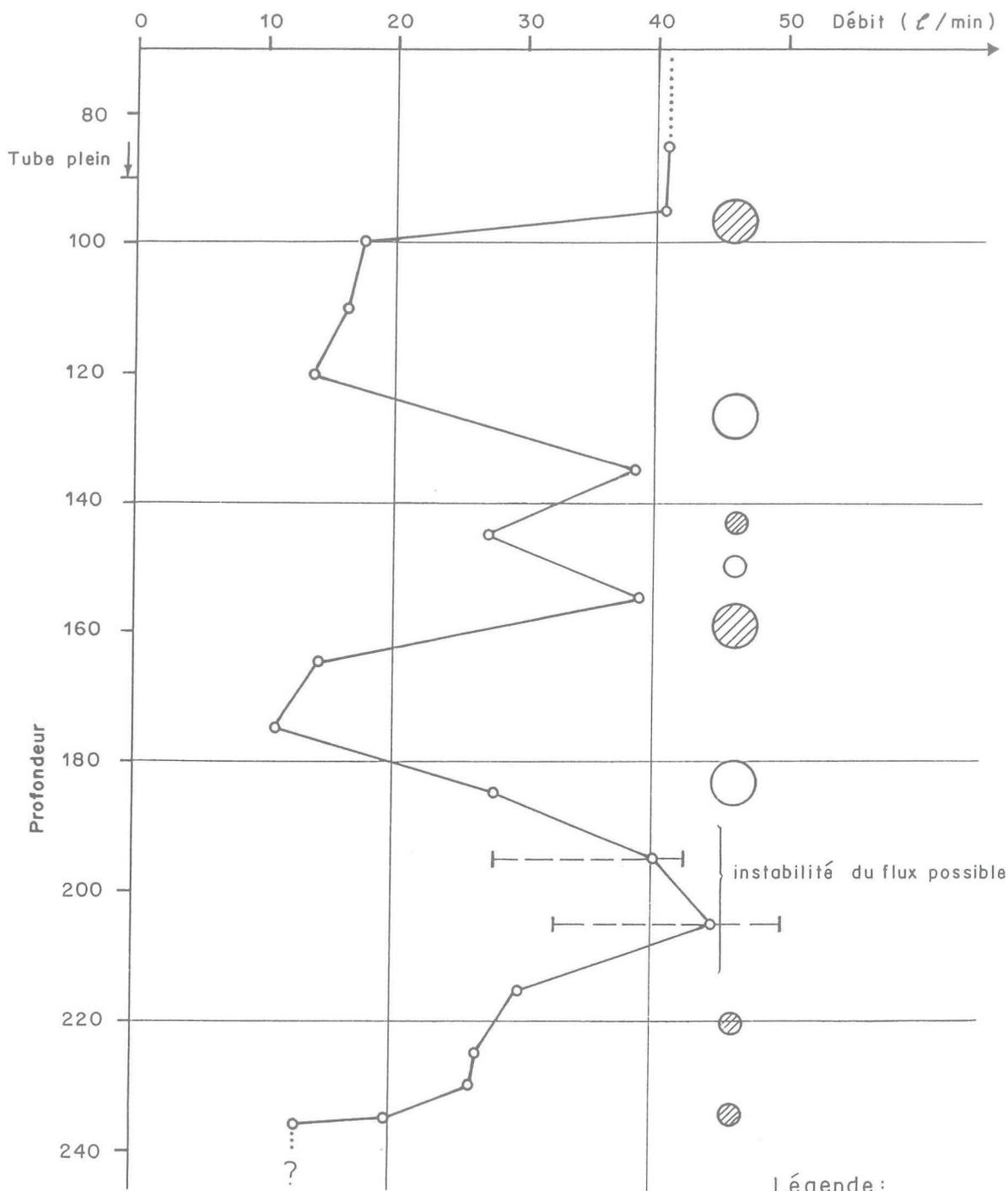
- Equipement du sondage :

- . PVC, Ø 4", de - 61 à - 274 m.
- . crépiné de - 90 à - 274 m.
- . ensablé en dessous de - 240 m.

- Débit artésien le jour de l'essai : 0,68 l/s. (41 l/min.)

FIGURE 12 : ESSAI MICROMOULINET AU SONDAGE N° 2 (23.10.1989)  
 COURBE DE MESURES STATIONNAIRES DE DÉBIT

Plan n° 297/702



Légende :

- entrée d'eau dans la crépine
- sortie d'eau de la crépine

- Equipement du sondage :

- . PVC,  $\varnothing$  4", de - 61 à - 274 m.
- . crépiné de - 90 à - 274 m.
- . ensablé en dessous de - 240 m.

- Débit artésien le jour de l'essai : 0,68 l/s. (41 l/min.)

FIGURE 13 : SCHÉMA DES CIRCULATIONS POSSIBLES ET DES MODALITÉS D'ALIMENTATION DU SONDAGE N° 2 SELON UN PROFIL PASSANT PAR LE SONDAGE (1 : 10.000).

Plan n° 298/702

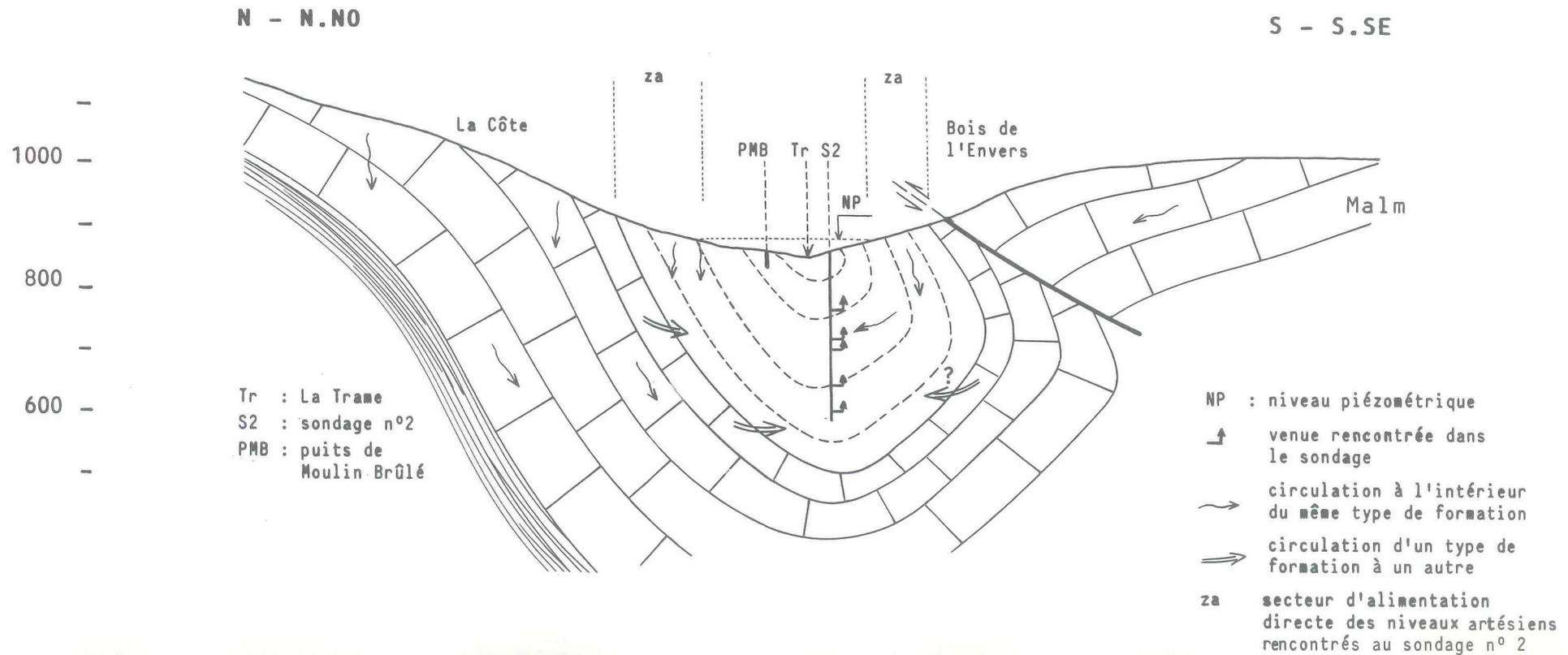


TABLEAU 1 : ANALYSES CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES  
AU SONDAGE N° 2

Plan n° 299/702

ORIGINE DE L'EAU		Sondage n° 2					
CIRCONSTANCE DU PRÉLÈVEMENT		en cours essai de pompage					
DATE DU PRÉLÈVEMENT		17.10.88	7.11.88	21.11.88	24.01.89	4.04.89	5.02.90
DÉBIT A (artésien) P (pompage) (L/MIN.)		A/~ 80	P/435	P/375	A/ 50	A/ 45	A/40
ANALYSE CHIMIQUE	TEMPÉRATURE (°C)	12,9	13,3	13,2			
	ASPECT	jaunâtre	normal	particules en suspens.	faible	trouble	
	ODEUR	légèrem. putride					
	TROUBLE (90 GRAD.) TE/F	16,8	0,98	1,2	1,6	1,42	
	pH (20°C)	8,05	7,4	7,65	7,65	7,7	
	CONDUCTIVITÉ (20°C) µS/CM	348	342	357	372	375	
	DURETÉ TOTALE DEGRÉ FR.	18,4	19,5	19,5	19,9	19,8	
	OXYDABILITÉ (Mn O <sub>4</sub> K) MG/L	3,7	4,2	2,3	2,0	2,2	
	CALCIUM MG/L	37,3	45,3	42,9	41,3	41,7	
	MAGNÉSIUM MG/L	22,0	19,9	21,5	23,3	22,8	
	SODIUM MG/L		12,3	12,0	6,3		
	POTASSIUM MG/L		1,5	0,9	1,9		
	NITRATES MG/L		<1	<1	<1	1	
	NITRITES MG/L	0,033	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
	AMMONIUM MG/L	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	SULFATES MG/L		5,0	6,0	6,0	6,0	
	CHLORURES MG/L		<1	1	<1	1	
	ORTHOPHOSPHATES (P) MG/L		<0,01	<0,01	0,02	<0,01	
	FER TOTAL MG/L	2,32	<0,01	0,01	0,14	0,07	
	MANGANÈSE TOTAL MG/L		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
HYDROGÈNE SULFURÉ MG/L		34,0	30,6	30,0	43,0		
OXYGÈNE DISSOUS MG/L		0,7					
ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE	GERMES TOTAUX (1 ML 20°C)	377	101	420			192
	ESCHERICHIA COLI (100 ML 37°C)	0	0	0			0
	ENTÉROCOQUES (100 ML 37°C)	0	0	0			0

# Données pour la protection et la gestion de l'eau souterraine du canton de Berne

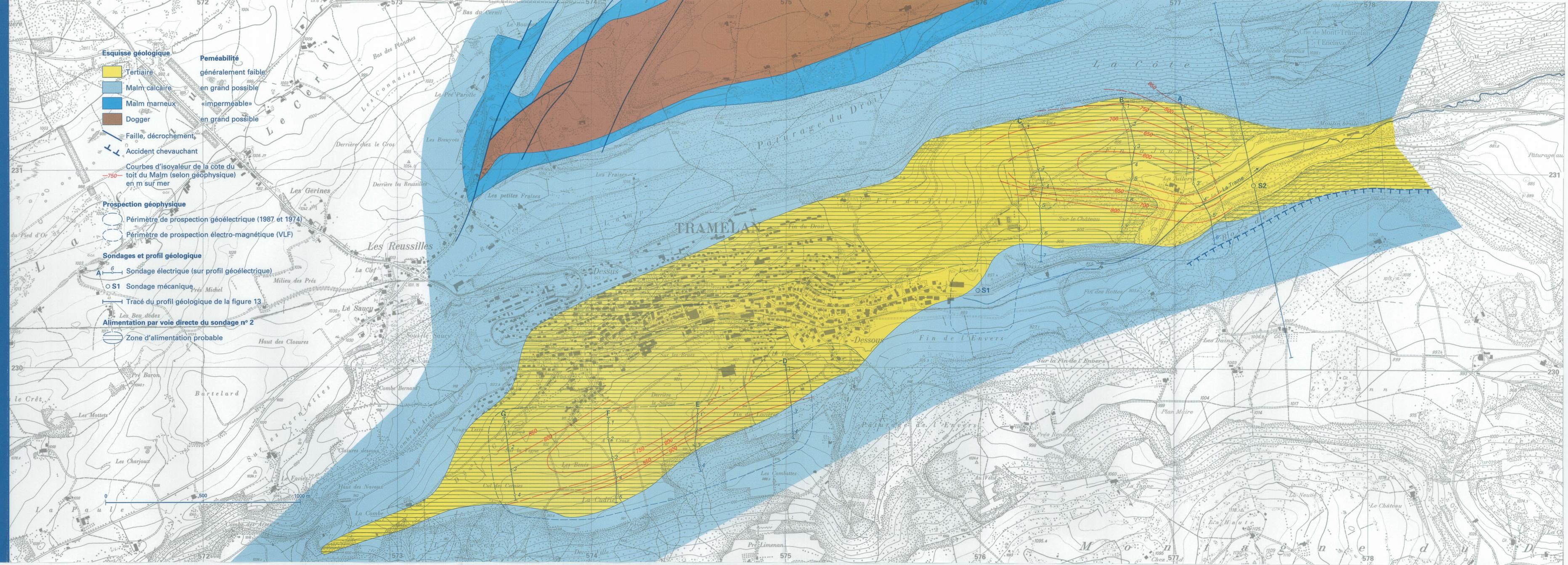
## Région de Tramelan

Campagne de sondages profonds (1988)

Situation d'ensemble 1 : 10 000

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique (OEHE)

Exécution: J. Bertrand, Dr hydrogéologue Broc





ANNEXE 2 : DOSAGE DU TRITIUM ET DE L'OXYGÈNE 18  
SUR EAU DU SONDAGE N° 2

Plan n° 303/702

Tritium und Sauerstoff-18 Messungen an einer  
Wasserprobe der Bohrung Tramelan

Einleitung

Messung und Interpretation von stabilen und radioaktiven Isotopen sind seit über 25 Jahren etablierte Hilfsmittel bei hydrologischen Fragestellungen, da sie neben anderen Tracern Einblick in Bewegungs- und Verteilungsvorgänge von Grund- und Oberflächenwasser geben. Vor allem die Isotope der Wassermoleküle H<sub>2</sub>O, das radioaktive Tritium (3H) und die stabilen Isotope Deuterium (2H) und Sauerstoff-18 (18O) gelten als ideale, natürliche Markierungsstoffe des Wasserkreislaufs, da sie bis auf wenige gut bekannte Ausnahmen die Bewegung des Wassers ohne Verfälschung verfolgen. Im Gegensatz zu vielen künstlichen Tracerexperimenten markieren sie über den Niederschlag Grund- oder Oberflächenwasser eines Untersuchungsgebietes flächenhaft. Da die Isotopenkonzentrationen der Niederschläge starke zeitliche und örtliche Schwankungen aufweisen, hängt die Aussagekraft der Resultate weitgehend von der Kenntnis der lokalen Inputkonzentrationen ab. Der Hauptbeitrag von Tritium, Sauerstoff-18 und Deuterium zu hydrologischen Fragestellungen liegt in der

Abschätzung des mittleren Wasseralters, der

Abschätzung der mittleren Höhe des Einzugsgebietes von Grundwasser, der

Unterscheidung verschiedener Grundwasserkomponenten und des

Studiums spezieller Vorgänge wie Herkunft der Niederschläge, Verdunstungseffekte oder Wechselwirkung mit dem Aquifer in hydrothermalen Gängen.

Resultate

Name	Datum	Tritium (Tu)	Sauerstoff-18 (‰)
Tramelan	7.2.89	≤ 4,9 (2 Sigma) 1,23 ± 0,47 (Gascountermessung)	-10,03

Diskussion

Wie die sehr präzise Gascountermessung zeigt, enthält die Wasserprobe nur Spuren von Tritium. Das bedeutet, dass der überwiegende Teil des Wassers vor 1953, dem Beginn der Wasserstoffbombentests, als Niederschlag in den Boden gelangt ist.

Unter der Annahme, dass die rezente Wasserkomponente eine Konzentration von etwa 25 Tu aufweist, beträgt deren Anteil etwa 5%. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes beträgt nach der regionalen Sauerstoff-18 Höhenbeziehung des Jura etwa 900 m ü.M.