

# **Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne**

## **Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes**

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne

Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles



**Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne (OEHE)**

# Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne

## Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes 1:50000

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne

Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles



Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne (OEHE)

Editeur:  
Office de l'économie hydraulique et  
énergétique du canton de Berne (OEHE)

Sous la direction: Dr. G. della Valle (OEHE)  
Exécution: B. Schindler,  
Hydrogéologue diplômé, Prêles

Réalisation, cartographie: P. Eichwald, P. Kunz (OEHE)

Textes annexes: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Berne

Reprographie, impression, reliure: Aerni-Leuch AG, Berne

Edition 1977

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

	Page
<u>RESUME</u>	6
<u>INTRODUCTION</u>	7
<u>AVANT-PROPOS</u>	8
<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	10
<u>VORWORT</u>	11
<u>1. DEFINITION DU PERIMETRE DE L'ETUDE</u>	13
1.1. Morphologie et structure	13
1.2. Limites du bassin-versant	14
1.3. Surfaces, hypsométrie, caractéristiques de forme	15
<u>2. HYDROMETEOROLOGIE</u>	17
2.1. Stations de mesure	17
2.2. Valeurs des précipitations	17
2.3. Températures et évapotranspiration	19
<u>3. HYDROLOGIE DES COURS D'EAU</u>	22
3.1. Stations limnigraphiques	22
3.2. Débits	22
3.2.1. La Birse à Court	23
3.2.1.1. Régime et débits moyens	23
3.2.1.2. Crues et débits extrêmes	26
3.2.1.3. Corrélation des débits entre Court et Moutier	29
3.2.1.4. Tariessement	30

3.2.2. La Trame à Loveresse	32
3.2.3. Ruisseau du Chaluet	35
4. CADRE GEOLOGIQUE	37
<hr/>	
4.1. Données de base	37
4.2. Stratigraphie	37
4.3. Tectonique	41
5. HYDROGEOLOGIE	42
<hr/>	
5.1. Introduction	42
5.2. Dispositif d'observation	42
5.3. Nappes alluviales	44
5.3.1. La Tuilerie - Moulin Brûlé	44
5.3.2. Reconvilier - Moulin de Loveresse	45
5.3.3. Malleray - Bévilard	46
5.3.4. Sorvilier	47
5.4. Sources d'éboulis et moraines	48
5.4.1. Bassins d'alimentation	48
5.4.2. Température des sources	50
5.5. Sources karstiques	51
5.5.1. Sources issues des dépôts Tertiaires	51
5.5.2. Sources issues des calcaires du Malm supérieur	52
5.5.2.1. Débits et températures des sources du Malm supérieur	53
5.5.2.2. Source de la Birse	54
5.6. Chimie des eaux souterraines	59
5.6.1. Sources et puits en alluvions	59
5.6.2. Qualité des eaux de sources et puits	64
5.6.3. Eaux des forages profonds	65
5.7. Le karst de la Vallée de Tavannes, essai de synthèse	65
5.7.1. Nouvelles observations significatives	65
5.7.2. La Vallée de Tavannes, une unité hydrogéologique?	66
6. AMENAGEMENT DES EAUX	71
<hr/>	
6.1. Ressources actuelles	71
6.2. Nouvelles ressources	72

BIBLIOGRAPHIE

74

LISTE DES ABREVIATIONS

77

## L I S T E   D E S   F I G U R E S   E T   T A B L E A U X

- Fig. 1 Courbe hypsométrique et fréquence altimétrique
- Fig. 2 Stations pluviométriques
- Fig. 3 Précipitations annuelles 1973 - 1975
- Fig. 4 Nombre de jours de pluie
- Fig. 5 Modules moyens mensuels et courbe cumulative exprimée en mm et en % pour le bassin versant durant la période 1973 - 1975
- Fig. 6 Températures moyennes annuelles
- Fig. 7 Evapotranspiration selon Turc
- Fig. 8 Débits mensuels et courbes des débits classés, Birse à Court
- Fig. 9a La Birse à Court, crue de fonte des neiges du 9.2.74
- Fig. 9b Crue pluviale du 2.8.74
- Fig. 10 Corrélation des débits Moutier - Court
- Fig. 11 Coefficient de tarissement pour une crue moyenne (été), Birse à Court
- Fig. 12 La Trame, crues du 9.2.74 et 2.8.74
- Fig. 13 Débits moyens et extrêmes de la Trame
- Fig. 14 Débits mensuels et courbe des débits classés
- Fig. 15 Débits moyens et extrêmes du Chaluet
- Fig. 16 Débits mensuels et courbe des débits classés
- Fig. 17 Sources observées 1974 - 1976
- Fig. 18 Relation entre débit et superficie du bassin-versant d'éboulis
- Fig. 19 Températures moyennes des sources d'éboulis
- Fig. 20 Températures moyennes des sources de la molasse
- Fig. 21 Crues de la source de la Birse
- Fig. 22 Débits mensuels et courbe des débits classés - Station de Tavannes
- Fig. 23a Analyses chimiques - observations mensuelles
- Fig. 23b Analyses chimiques - observations trimestrielles
- Fig. 23c Analyses chimiques - observations isolées
- Fig. 23d Analyses chimiques des forages profonds
- Fig. 24 Corrélation dureté totale - température
- Fig. 25 Ressources d'étiage

## L I S T E   D E S   A N N E X E S

- Annexe 1    Données de base
- Annexe 2    Hydrogéologie
- Annexe 3    Isohypses de la surface de contact Molasse - Malm
- Annexe 4    Coupes géologiques 1: 50 000
- Annexe 5    Précipitations
- Annexe 6    Distribution hypsographique

## RESUME

L'étude hydrogéologique de la Vallée de Tavannes a été consacrée à une prospection systématique des dépôts meubles du Quaternaire et à une première exploration du karst du Malm supérieur (Jurassique supérieur, ère Secondaire), en vue d'un inventaire des ressources et d'une évaluation des nouveaux aquifères à mettre en valeur.

L'examen du Quaternaire a montré que les alluvions des talwegs étaient peu épaisses et peu perméables sauf à Malleray-Bévilard et, dans une moindre mesure, en aval de Reconvilier où des puits filtrants sont déjà implantés. Sur les flancs de la vallée, des dépôts particuliers très perméables, probablement des moraines locales ou des éboulis-éboulements anciens, conditionnent la situation de la plupart des sources au pied du Moron et du Montoz. Ces sources ont fréquemment une alimentation indirecte d'eau du karst du Malm supérieur. Toutes les ressources significatives d'eau potable du Quaternaire sont captées et exploitées.

Le karst du Malm supérieur s'est révélé complexe, de par la présence de bassins versants communs à plusieurs sources dont certaines en dehors de la région. La Vallée de Tavannes n'est pas assimilable à une unité hydrogéologique mais appartient à plusieurs "systèmes karstiques" qui tous sont drainés au moins partiellement vers l'extérieur: sources des Blanches Fontaines dans la cluse du Pichoux, source de la Foule à Moutier, tunnel Moutier-Granges, source de la Cuchatte-Tournedos en aval de Sonceboz. Des forages profonds au Fuet (401 m et 281.5 m) et aux Rosiers-Pontenet (485.5 m) ont démontré l'existence d'une zone noyée artésienne, épaisse et exploitable, d'extension générale dans le synclinal au moins à l'W de Malleray. L'évolution peu avancée du karst n'a pas permis la vidange de cet aquifère vers les exutoires extérieurs, le tunnel Moutier-Granges en particulier.

Un karst restreint s'est développé dans les calcaires d'eau douce du Tertiaire, ce dernier jouant le rôle de semi-perméable sur le Malm supérieur du synclinal.

Les réserves exploitables de l'aquifère karstique du Malm supérieur sont très grandes par rapport aux besoins de nouvelles ressources en eau. Une solution régionale et à long terme au manque d'eau peut donc être apportée par cet aquifère.

## INTRODUCTION

La présente étude, élément d'une investigation hydrogéologique générale du canton de Berne, a pour but le recueil des données de base utiles à l'aménagement des eaux de consommation. Elle s'applique à une région jusqu'alors peu connue dont la caractéristique essentielle tient à la part dominante des phénomènes karstiques liés aux calcaires du Jura plissé.

Le programme comprend:

- une phase d'inventaire, où "l'offre" des points d'eau actuels est évaluée
- une phase de prospection, de recherche et d'évaluation de nouvelles ressources.

La deuxième phase s'est attachée d'abord à l'examen systématique des nappes phréatiques alluviales, peu profondes et aisément accessibles, et ensuite à une première exploration des ressources du karst dans la zone noyée.

Il était d'emblée évident qu'un manque d'eau potable affectait la région et qu'aucune source encore non captée n'était à même de suppléer à la pénurie régionale.

La région comprend les communes politiques suivantes, groupant une population de l'ordre de 20 000 habitants:

District de Courtelary:	Tramelan Mont-Tramelan
District de Moutier:	Bévilard Champoz Court Loveresse Malleray Pontenet Reconvilier Saicourt-Le Fuet Saules Sorvilier Tavannes

Les fermes disséminées de Mont-Tramelan sont rattachées au réseau du SEF (Syndicat pour l'alimentation des Franches Montagnes en eau potable), celui-ci fournissant également un complément à la commune de Tramelan. L'eau du SEF vient de sources et puits du Vallon de St.Imier. La commune de Reconvilier a installé une adduction d'appoint depuis la source de la Cuchatte, située au bord de la Suze en aval de Sonceboz.

Toutes les autres communes exploitent des points d'eau locaux, sources et puits filtrants de faible profondeur.

## AVANT-PROPOS

Dr. G. della Valle, OEHE

Les eaux souterraines en général sont soumises au droit régalien de l'Etat. En tant que "propriétaire" et en vertu de l'article 127 a de la loi bernoise sur l'utilisation des eaux de 1971, l'Etat se doit de connaître l'étendue de ces ressources, de les protéger et de les gérer de la meilleure façon possible. Selon la nature hydrogéologique du sous-sol, l'une ou l'autre de ces trois tâches prédominent. Dans le Jura bernois, région karstique par excellence, c'est à la reconnaissance et à la prospection d'aquifères peu ou pas connus que revient la première place en ordre de priorité. Tel est donc le but des recherches dont les résultats sont décrits dans le présent rapport: Etablir un inventaire des apports d'eau connus c'est-à-dire des aquifères alluviaux et des sources, et prospecter et évaluer les ressources des aquifères karstiques profonds. Dans le cadre financier donné, il est évident que la partie "inventaire" du travail a pu être effectué de manière beaucoup plus approfondie que la partie "prospection du Karst profond". Cependant, il a été prouvé de façon irréfutable qu'il existe des aquifères profonds exploitables, même si leur exploration n'est pas toujours aisée.

La région explorée dans le cadre de ce projet s'étend de Mont-Tramelan à l'ouest jusqu'à la frontière soleuroise, au Chaluet à l'est. La limite sud est formée par la crête de la Montagne du Droit et du Montoz, la limite nord par les crêtes des Prés de la Montagne, du Montbautier, du Moron, du Mont Girod et de la Graiteray.

Ces travaux furent confiés à M. Bernard Schindler (lic.ès.sc., Hydrogéologue), qui fut assisté par son collaborateur, devenu plus tard son associé, M. Denis Grobet.

Les communes de Bévilard-Malleray, Pontenet et Sorvilier avaient prévu pour leur compte une campagne de prospection dans le karst profond et avaient mandaté M. Mornod, dr.ès.sc., Bulle. Comme ces travaux se recoupaient avec ceux du Canton celui-ci les a repris dans le cadre de ses propres investigations. C'est donc M. Mornod qui a dirigé la partie des recherches hydrogéologiques aboutissant au forage profond "Les Rosiers" à Pontenet.

Le présent rapport est un résumé de tous les résultats obtenus, qu'il est impossible de rendre en détail ici. Nous renvoyons à liste bibliographique et en particulier aux rapports intermédiaires 1973 - 1975 ainsi qu'au rapport Mornod et Bertrand 1975.

Le 21 mai 1973 le Grand Conseil a coté un crédit de frs. 1 104 000.-- pour les recherches hydrogéologiques dans la Vallée de la Birse entre Tavannes et Court. La Confédération, par l'Office fédéral de la protection de l'environnement, a participé à ces frais à raison de 35 %.

Nous tenons à remercier le Parlement, la Direction des Transports de l'Energie et de l'Economie hydraulique (MM Huber, ancien, Sommer, nouveau Directeur) ainsi que le chef de notre Office, M. Rodolphe Merki, pour leur compréhension et leur appui bienveillant. Nous exprimons également nos remerciements à l'Office fédéral de la protection de l'environnement pour son aide efficace, en particulier à son Directeur, M. R. Pedroli, ainsi qu'à MM H. Schweizer et C. Niggli.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die hydrogeologischen Untersuchungen im Birstal zwischen Tramelan und Court haben eine zweifache Zielsetzung:

- systematische Prospektion der Quartärablagerungen,
- erste Untersuchungen des Karstes des oberen Malms.

Damit sollte es möglich sein, ein Inventar der bekannten und eine Evaluation der neuen Grundwasservorkommen zu erstellen.

Die Untersuchungen im Quartär haben gezeigt, dass die Alluvionen in den Talsohlen wenig mächtig und wenig durchlässig sind, ausser in Malleray-Bévilard und in einer geringeren Masse unterhalb von Reconvilier, wo Filterbrunnen bereits bestehen. An den Talflanken bedingen besondere, sehr durchlässige Ablagerungen, wahrscheinlich Lokalmoränen oder ältere Gehängeschutt- und Bergsturzmassen, das Bestehen der meisten Quellen am Fusse des Moron und des Montoz. Häufig sind diese Quellen indirekt vom Karst des oberen Malms gespeisen. Alle bedeutenden Trinkwasservorkommen des Quartärs sind aber gefasst und genutzt.

Der Karst des oberen Malms hat sich als sehr komplex erwiesen, da sich verschiedene Quellen, von denen sich einige ausserhalb des Untersuchungsgebietes befinden, in die selben Einzugsgebiete teilen. Das Birstal zwischen Tramelan und Court ist nicht eine hydrogeologische Einheit, es gehört vielmehr verschiedenen Karstsystemen an, die alle wenigstens zum Teil nach aussen drainiert werden: z.B. die Quellen von Blanches Fontaines in der Klus von Pichoux, die Quelle von La Foule in Moutier, die Quellen im Tunnel Moutier - Grenchen, die Quelle Cuchatte-Tournedos unterhalb Sonceboz. Die Tiefbohrungen in Le Fuet (401 m und 281.5 m) und in Pontenet, Les Rosiers (485.5 m), haben den Nachweis einer mächtigen, artesischen und nutzbaren wassergesättigten Zone erbracht, die sich in der Synklinale wenigstens westlich von Malleray erstreckt. Der wenig fortgeschrittene Verkarstungszustand hat verhindert, dass dieser Grundwasserleiter sich nach aussen entleert, insbesondere durch den Tunnel Moutier - Grenchen.

Ein beschränkt ausgedehnter Karst hat sich in den Tiefwasserkalcken des Tertiärs entwickelt, letzterer wirkt als permeable Abdeckung des oberen Malms in der Synklinale.

Die nutzbaren Grundwasservorräte des Karstgrundwasserleiters des oberen Malms sind sehr beträchtlich im Verhältnis zur Nachfrage nach neuen Wasservorkommen. Dieser Grundwasserleiter bringt deshalb eine langfristige und regionale Lösung des Problems des Wassermangels.

## VORWORT

Dr. G. della Valle, WEA

Das Grundwasser gehört in der Regel dem Staat. Als "Besitzer" und gestützt auf Art. 127 a des Kant. Wassernutzungsgesetzes von 1971 muss dieser das Ausmass der Grundwasservorräte kennen, sie schützen und auf die best mögliche Art bewirtschaften. Je nach den hydrogeologischen Verhältnissen, überwiegt die eine oder andere dieser drei Aufgaben. Im Jura, einem ausgesprochenen Karstgebiet, nimmt das Erkunden und die Prospektion der wenig oder unbekanntem Grundwasserleiter erste Priorität ein. Dies ist das Ziel der Untersuchungen, deren Resultate im vorliegenden Bericht aufgeführt sind:

- Erstellen eines Inventars der bekannten Wasservorkommen, d.h. der alluvialen Grundwasserleiter und der Quellen,
- Prospektion und Evaluation der tiefen Karst-Grundwasserleiter-Vorkommen.

Es ist klar, dass im gegebenen finanziellen Rahmen das Erstellen eines "Inventars" viel gründlicher erfolgen konnte als die "Prospektion des tiefen Karstes". Es ist dennoch eindeutig nachgewiesen worden, dass nutzbare tiefe Grundwasserleiter existieren, auch wenn ihre Nutzung nicht immer einfach ist.

Das untersuchte Gebiet erstreckt sich von Mont-Tramelan im W bis zur Solothurner Grenze am Chaluet im Osten. Die südliche Grenze bildet die Krite der Montagne du Droit und des Montoz, während im N die Krieten der Prés de la Montagne, des Montbautier, Moron, Mont Girod und des Graiteray das Gebiet umschliessen.

Die Arbeiten wurden von Herrn Bernard Schindler (lic.ès.sc., Hydrogeologe) ausgeführt, unterstützt von seinem Mitarbeiter, später Teilhaber, Herrn Denis Grobet.

Die Gemeinden Bévilard-Malleray, Pontenet und Sorvilier hatten vorgesehen, auf eigene Kosten eine Prospektions-Kampagne im tiefen Karst durchzuführen. Mit diesen Untersuchungen wurde Herr Dr. L. Mornod, Bulle, beauftragt. Da sich aber diese Arbeiten mit denjenigen des Kantons z.T. überschneiden, wurden sie in den Rahmen des Untersuchungsprogrammes aufgenommen. Die hydrogeologischen Untersuchungen, die zur Tiefbohrung "Les Rosiers", Pontenet, führten, wurden somit von Herrn Dr. Mornod geleitet.

Der vorliegende Bericht fasst die erzielten Resultate zusammen, die hier unmöglich im Detail wiedergegeben werden können. Wir verweisen deshalb auf das Literaturverzeichnis und vor allem auf die Zwischenberichte 1973 - 1975 wie auch auf den Bericht MORNOD UND BERTRAND, 1975.

Der Grosse Rat hat am 21. Mai 1973 einen Kredit von Fr. 1 104 000.-- für die hydrogeologischen Untersuchungen im Birstal zwischen Tavannes und Court bewilligt. Diese Kosten wurden vom Bund (Bundesamt für Umweltschutz) mit 35 % subventioniert.

Dank gebührt dem Parlament, der Direktion für Verkehr, Energie- und Wasserwirtschaft (Herren Huber, ehemaliger, Sommer, jetziger Direktor) wie auch dem Vorsteher unseres Amtes, Herrn Rudolf Merki für ihre wohlwollende Unterstützung und ihr Verständnis. Für ihre wirksame Hilfe danken wir dem Bundesamt für Umweltschutz, besonders Herrn Direktor R. Pedroli sowie den Herren H. Schweizer und C. Niggli.

## 1. DEFINITION DU PERIMETRE DE L'ETUDE

### 1.1. Morphologie et structures

La Vallée de Tavannes offre un relief de type conforme: les formes orographiques majeures se superposent très bien aux éléments des structures plissées jurassiennes.

La vallée occupe une suite de synclinaux, plis en creux dont les formes et les fluctuations axiales conditionneront la dépression topographique.

A l'Ouest, après la cuvette de Tramelan, des montées axiales ferment doucement la vallée et intègrent le synclinal au plateau des Franches Montagnes.

Vers l'aval, le resserrement de Moulin Brûlé correspond à une remontée de l'axe, renforcée d'un petit charriage vers le N du flanc de la Montagne du Droit.

L'élargissement brusque dans le secteur Tavannes - Orange - Le Fuet traduit la naissance de plusieurs plis accessoires qui se réuniront plus à l'Est: synclinaux de la Forêt de Châindon, de Tavannes et de Malvaux, qui formeront le bassin principal de la vallée.

Le seuil de Champoz - Combe Fabet occupe un synclinal séparant les plis du Moron et du Mont Girod - Graiterie.

Le col du Binzberg, terminaison orientale de la vallée n'a pas une origine structurale évidente, à part un léger resserrement latéral du synclinal, dont l'axe poursuit vers l'Est son abaissement amorcé entre Court et le tunnel Moutier - Granges. C'est bien davantage l'érosion régressive des ruisseaux s'écoulant en sens opposés qui détermine le seuil topographique.

En bordure Sud de la vallée, la chaîne montagneuse correspond aux anticlinaux de la Montagne du Droit et de Montoz, avec leurs plis accessoires. Le seuil de Pierre-Pertuis occupe un ensellement axial bien net.

Au Nord, plusieurs anticlinaux se relaient. D'Ouest en Est, nous trouvons: l'anticlinal des Places, puis au-delà de l'ensellement axial du Fuet, celui de Moron, enfin celui de Mont Girod - Graiterie dès Champoz.

Les actions érosives imprimeront dans les unités structurales des éléments morphologiques d'ordre de grandeur subordonné, parfois très spectaculaires telles la cluse des Gorges de Court, celle de Pierre-Pertuis ou la combe anticlinale du Schwelli avec son ruz, parfois plus discrets, tels les multiples ravins d'érosion des rivières et ruisseaux.

## 1.2. Limites du bassin-versant

La région étudiée comprend les bassins de la haute Birse et de ses deux affluents principaux, le ruisseau du Chaluet à l'E et la Trame à l'W.

Toutefois, de par la présence de terrains karstiques sur tout le périmètre de la vallée, les limites effectives ne se superposent pas aux lignes de partage des eaux topographiques. Ainsi qu'il sera développé au chapitre 5.6., nous espérons au cours de cette étude pouvoir définir des "lignes de partage des eaux souterraines" et ainsi préciser, affiner les limites posées au début comme hypothèse de travail. Cette conception des choses ne résistera pas, face au niveau de complexité introduit par les circulations souterraines karstiques.

Les divers sous-bassins dessinés sur la carte annexe 1 correspondront à une schématisation des types de relations existant dans la région entre les eaux de surface, les circulations karstiques et leurs exutoires dans et hors la région. Ils représenteront non pas les limites d'une "unité hydrogéologique" appelée Vallée de Tavannes et qui n'existe pas en fait, mais celles d'une "unité d'étude" qu'il a bien fallu fixer et qui dépend de critères autres qu'hydrogéologiques.

Nous avons distingué des sous-bassins:

### 1. avec écoulement superficiel organisé

- 1.1. totalement acquis à la région: ruissellement pur et nappes phréatiques en terrains meubles du fond de la vallée;
- 1.2. acquis au bassin, mais dont les infiltrations karstiques partielles sont exportées vers un exutoire hors de la région;

### 2. sans écoulement superficiel, c'est-à-dire purement karstiques

- 2.1. acquis en totalité à la Vallée de Tavannes;
- 2.2. acquis en partie seulement à la région, donc avec diffluence souterraine vers un autre bassin;
- 2.3. appartenant topographiquement à la région mais dont toutes les eaux infiltrées sont exportées.

Il faut quand même préciser que les limites choisies correspondent à une unité topographique = vallée, bien superposée à une unité géologique = synclinal, et, qu'en première approximation, une signification hydrogéologique était attribuée aux éléments géologiques, selon quelques hypothèses de départ:

- L'Argovien, ensemble marno-calcaire représente la base imperméable régionale du karst du Malm supérieur (voir profils, annexe 4),
- les écoulements souterrains sont guidés avant tout par l'allure de la surface de contact entre Séquanien et Argovien,
- les calcaires du Malm supérieur, karstifiés selon des systèmes de fissures

d'ordre de grandeur métriques, sont considérés à l'échelle régionale comme étant de perméabilité homogène.

Les quelques résultats d'essais de traçages antérieurs (MORNOD, dans MONBARON 1975) nous avaient conduit à exclure le flanc S du Moron. Dans le Montoz, le contact Argovien - Séquanien est retenu, de même que dans l'anticlinal des Places, au NW. A la Montagne du Droit, la charnière anticlinale est choisie. A l'W, une limite arbitraire coupe le synclinal de Mont-Tramelan. L'extrémité E étant drainée hors de la région par le tunnel Moutier - Granges, seul le fond du synclinal avec le ruisseau du Chaluet et les ruz latéraux sont conservés.

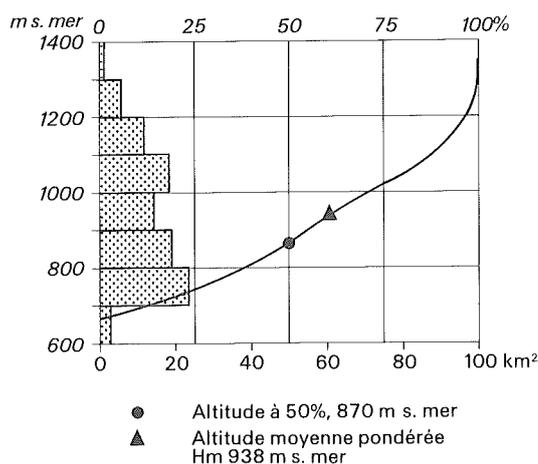
### 1.3. Surfaces, hypsométrie, caractéristiques de forme

Surface totale du bassin :		A = 101.77 km <sup>2</sup>
Ruisseau du Chaluet :	10.66 km <sup>2</sup>	
Birse en amont de Court :	91.11 km <sup>2</sup>	
Périmètre :		P = 83.24 km
Longueur max. :	30.6 km	
Largeur max. :	5.6 km	
Altitude max. :	Wandflue - Grenchenberg	1 400 m
Altitude min. :	l'imnigraphe de Court	664 m

La courbe fig. 1 donne la répartition hypsométrique, classes d'altitude et fréquence, altitude moyenne pondérée

Fig. 1

Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques



Le coefficient de compacité de Gravelius est donné par la relation

$$K_C = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} = 2.3$$

Il compare en fait le périmètre P du bassin à celui d'un cercle de même surface A et permet ensuite le calcul du rectangle équivalent

$$\text{Longueur } L = \frac{\sqrt{A} K_C}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] = 39.0 \text{ km}$$

$$\text{Largeur } l = \frac{P}{2} - L = 2.6 \text{ km}$$

L'indice de pente global vaut:

$$I_G = \frac{D}{L} = 15 \%$$

D = différence d'altitude entre 95 % et 5 % de la courbe hypsométrique

L = longueur du rectangle équivalent

La densité de drainage vaut:

$$D_d = \frac{L_r}{A} = 0.63$$

$L_r$  = longueur totale des cours d'eau

A = surface du bassin

Elle donne une valeur proche de la moyenne de la chaîne du Jura suisse et français.

Région	A km <sup>2</sup>	Dd	Référence
Jura suisse et français	15 427	0.54	Flück 1926
Jura tabulaire bâlois et argovien	658	1.22	"
Franches Montagnes	254	0.34	"
Areuse (NE)	405	0.28	Burger 1959
Vallée de Tavannes	101.77	0.63	
Birse en amont de Court	91.11	0.60	
Ruisseau du Chaluet	10.66	0.89	

On voit que le bassin du Chaluet, plus densément drainé fausse un peu l'image d'ensemble. De plus, les conditions hydrogéologiques étant assez différentes, il sera préférable plus loin ( chapitre 3) de traiter séparément les deux sous-bassins.

## 2. HYDROMETEOROLOGIE

### 2.1. Stations de mesure

Pour la mesure des précipitations, huit stations ont été équipées soit d'un pluviomètre totalisateur mensuel, soit d'un pluviographe Ott à siphon. Le cycle de mesures a couvert trois années hydrologiques, du 1<sup>er</sup> octobre 1973 au 30 septembre 1976.

Fig. 2

#### Stations pluviométriques

Nom de la station	alt. m	Coordonnées
Montoz (Métairie de Malleray)	1 272	586.200/229.520
Montbautier	1 078	578.840/232.290
La Tanne	1 060	576.730/229.440
Le Guibou *	918	598.180/233.118
Tramelan *	885	575.110/230.130
Malleray (Pâturage de l'envers)	880	586.630/230.460
Champez	860	589.300/234.090
Bévilard *	715	588.190/232.070
Bevilard	715	588.190/232.068

\* Pluviographe

La station de Bévilard a été équipée des deux types d'instruments, afin d'établir une corrélation. La mesure des précipitations, très délicate, peut être fortement influencée par les caractéristiques des appareils. Une régression multiple a donné la relation suivante:

$$x = 2.15 + 0.94 y \quad r = 0.946$$

x = précipitations mensuelles en mm du totalisateur

y = précipitations mensuelles en mm du pluviographe Ott

Ceci signifie que les deux appareils présentent fidèlement une même petite différence, définie par une loi linéaire, et inférieure à la précision habituelle de la pluviométrie. Les valeurs des deux types d'appareils seront donc employées sans facteur de correction.

### 2.2. Valeurs des précipitations

Par analogie avec les débits des cours d'eau (voir chapitre 3), nous admettrons que les années hydrologiques 1973 - 1975 donnent une bonne approximation d'une moyenne sur une longue période, à retenir pour l'établissement d'une carte de précipitations (annexe 5) et pour les valeurs représentatives ci-dessous.

La recherche d'une relation entre précipitations et altitude a mis en évidence des effets microclimatiques gênants à Montbautier et Montoz. En éliminant ces stations, la relation devient très bonne:

$$P = 700.1 + 0.447 H$$

$$r = 0.975$$

P = pluviosité, moyenne annuelle en mm  
H = altitude en m s.m.  
r = coefficient de corrélation

Cette relation P/H a été retenue pour élaborer la carte annexe 5 et pour calculer la lame d'eau moyenne, par la méthode des isohyètes tenant compte de la superficie entre deux lignes d'égale pluviosité. La lame d'eau moyenne annuelle ou module dans la Vallée de Tavannes est ainsi de

$$P_m = 1112.5 \text{ mm} \quad (1973 - 1975)$$

UTTINGER (1951) donne pour la chaîne du Jura la corrélation  $P = 692 + 0.732 H$   $r = 0.84$  et pour la région de la Vallée de Tavannes une pluviosité  $P_m = 1\ 200 \text{ mm}$ . L'augmentation en fonction de l'altitude que nous obtenons est plus faible, de même que la valeur de  $P_m$ . On peut y voir un effet orographique, la vallée étant topographiquement assez "fermée".

Fig. 3

#### Précipitations annuelles 1973 - 1975

Station	Module annuel P
Montoz	1 105 mm
Montbautier	1 087 "
La Tanne	1 184 "
Bellelay	1 548 "
Le Guibou	975 "
Tramelan *	1 076 "
Malleray (I)	1 141 "
Champoz	1 147 "
Bévilard (II)	1 030 "
Courtelary	1 324 "
Moutier	1 202 "

\* Moyenne annuelle 1974-75  
(I) Pâturage de l'Envers  
(II) Moyenne des appareils

Fig. 4

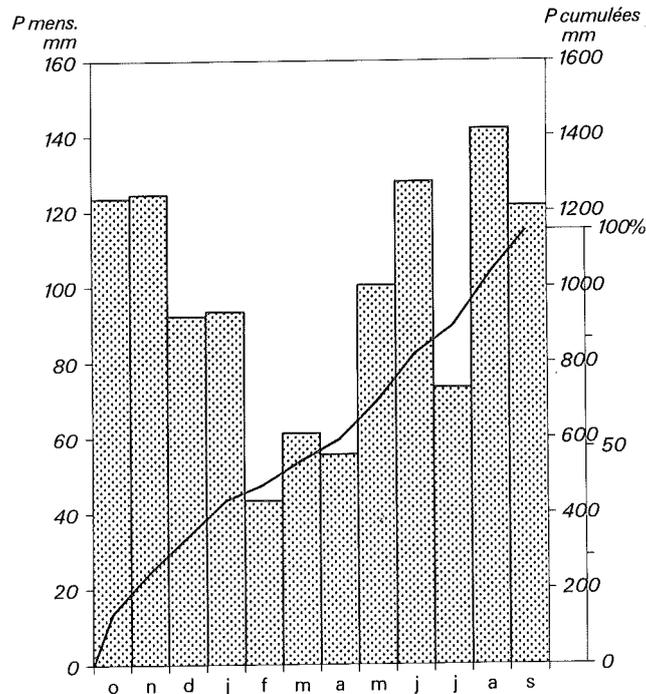
Nombre de jours de pluie

Année	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.
1973-1974	13	11	15.5	14.5	15.5	12	10.5	14	17.5	12.5	12.5	13.5
1974-1975	27	17	21	13.6	8.6	23	16.3	16.3	16.3	10.6	17	10
Total	40	20	36.5	28.1	24.1	35	26.8	30.3	33.8	23.1	29.5	31.5

Le total des jours de pluie pour 1973-74 est égal à 162 jours  
 " " " " " " " 1974-75 " " " 204 "  
 " " " " " " " 1973-75 " " " 366 "

Fig. 5

Modules moyens mensuels et courbe cumulative exprimée en mm et en % pour le bassin versant durant la période 1973 - 1975



2.3. Températures et évapotranspiration

L'évaluation des températures a été faite à l'aide des valeurs des stations fédérales de Bellelay, Courtelary et Moutier, dont il a été tiré une relation altitude/température appliquée ensuite à la Vallée de Tavannes.

Fig. 6

Températures moyennes annuelles

Année hydrologique	T°C = f (H m s.mer)	r	T moy 936 m s.mer
1973-1974	T = 10.706 - 0,0041 H	- 0.973	6.86 °C
1974-1975	T = 10.966 - 0.0046 H	- 0.989	6.66 °C
1975-1976	T = 10.253 - 0.0036 H	- 0.956	6.87 °C
1973-1975	T = 10.825 - 0.0043 H	- 0.983	6.80 °C

Là également, nous retenons la période 1973-75 comme représentative. Une comparaison avec les températures moyennes des sources (voir chapitres 5.4. et 5.5.) nous incite à penser que les valeurs obtenues sont très proches de la réalité.

L'évapotranspiration comprend la somme des pertes d'eau dues à l'évaporation directe et à la transpiration par la couverture végétale. Parmi la multitude des formules donnant une valeur de l'évapotranspiration, nous retiendrons celle, empirique, de Turc dont BURGER (1959) a démontré l'adéquation au bassin de l'Areuse.

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ mm/an}$$

- E<sub>tr</sub> = lame d'eau restituée à l'atmosphère
- P = moyenne annuelle des précipitations, en mm
- L = 300 + 25 T + 0.05 T<sup>3</sup>
- T = température moyenne annuelle de l'air, °C

Fig. 7

Evapotranspiration selon Turc

Année	P mm/an	E <sub>tr</sub> mm/an	% P
1973-1974	937	437	46
1974-1975	1 381	457	33
1975-1976	799	422	53
1973-1975	1 112	449	40

L'E<sub>tr</sub> entre comme terme du bilan hydrique

$$E_{tr} = P_v - (Q_e + \Delta R)$$

- P<sub>v</sub> = volume annuel des précipitations
- Q<sub>e</sub> = volume écoulé à l'exutoire/an
- ΔR = variation des réserves souterraines

Malheureusement, on verra au chapitre 5.6. que la valeur  $Q_e$  est insaisissable du fait des multiples "fuites" souterraines d'eau hors du bassin. Il n'y aura donc pas de possibilité de tester ici la validité de la formule de Turc.

### 3. HYDROLOGIE DES COURS D'EAU

#### 3.1. Stations limnigraphiques

Pour la mesure des écoulements, quatre stations limnigraphiques ont été installées:

Birse à Court	coord.	593.140/232.520
Ruisseau du Chaluet, Court		593.220/232.660
Trame, Moulin de Loveresse		584.760/231.890
Source de la Birse, Tavannes		581.610/229.500

Les trois premières interceptent les eaux à la sortie des bassins, la dernière concerne la source karstique de la Birse et sera traitée au chapitre 5.5.2.2.

Les premiers essais des stations ont débuté en automne 1973 et, pour notre usage, leur fonctionnement s'est étendu jusqu'à fin octobre 1976. Les jaugeages d'étalonnage au moulinet et les courbes de tarage (P/Q) ont été exécutés par le personnel de l'OEHE.

D'anciennes stations limnimétriques ont fonctionné à Court, entre 1911 et 1916, en relation avec le percement du tunnel Moutier - Granges:

Station	Coordonnées	Période
Birse	593.150/232.630	mars 1911 - janvier 1916
Ruisseau du Chaluet	593.220/232.660	janvier - décembre 1915
Ruisseau des Fontaines	592.300/232.010	janvier - décembre 1915

A Moutier, une station existe sur la Birse, à la Charrue, coord. 595.740/237.010, depuis 1911.

#### 3.2. Débits

L'élaboration des limnigrammes a été faite par l'Office fédéral de l'économie hydraulique pour l'année civile 1974 et, ensuite par l'Institut de Géographie de l'Université de Berne pour les années hydrologiques 1974 - 1975 et 1975 - 1976.

Etant donné la courte période d'observation dont nous disposons, nous avons préféré traiter des années hydrologiques (début au 1<sup>er</sup> octobre), plus représentatives. Pour la Birse à Court, les débits mensuels d'octobre à décembre 1973 ont été extrapolés de la station de Moutier sur la base d'une corrélation des moyennes mensuelles de 1974.

Par régression linéaire, on obtient la relation

$$Q \text{ Moutier} = 2.187 Q \text{ Court} + 1.206 \quad r = 0.98$$

Grâce à une coïncidence heureuse, nous pourrions admettre que la moyenne de la période 1973 - 1975 doit s'approcher très près d'une moyenne à long terme. Le débit moyen 1973 - 1975 à Moutier vaut 3.22 m<sup>3</sup>/s, soit exactement la même valeur que la moyenne des 64 années de fonctionnement de la station!

### 3.2.1. La Birse à Court

#### 3.2.1.1. Régime et débits moyens

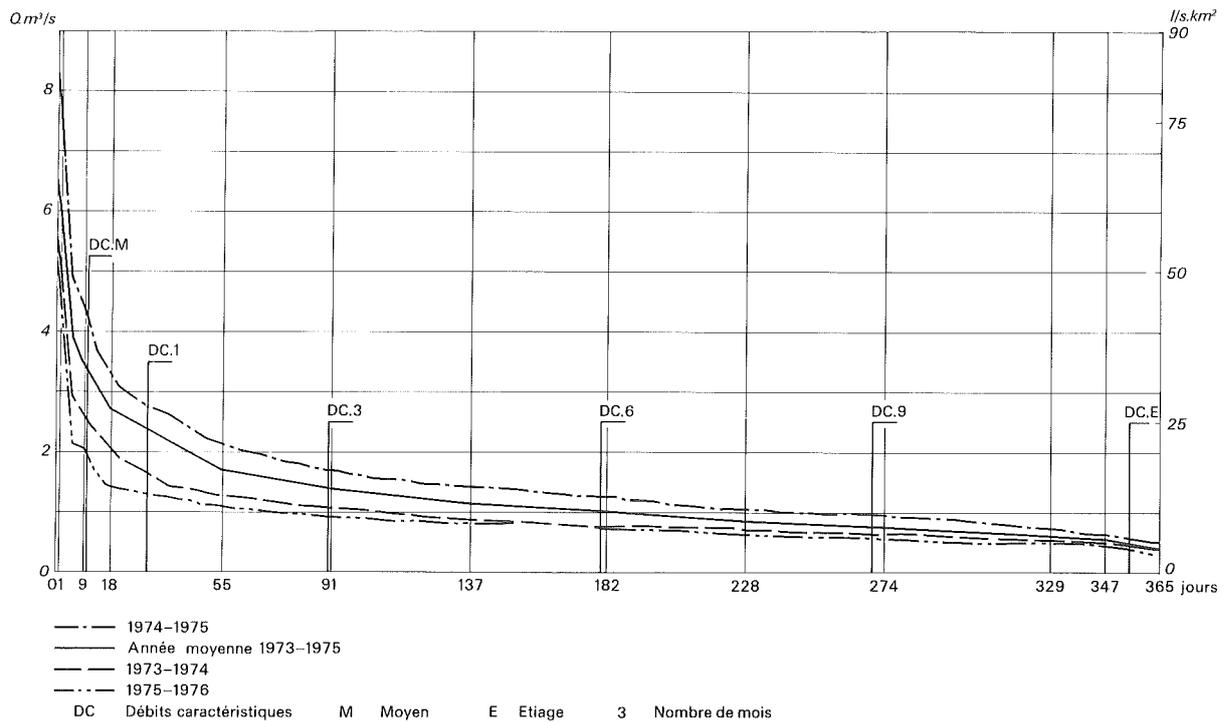
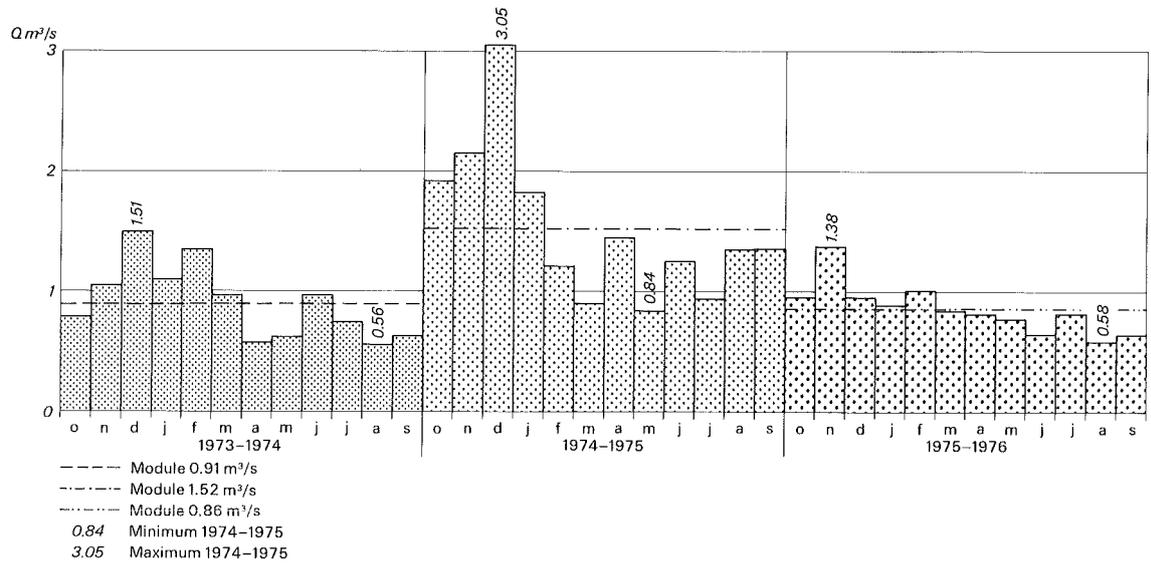
Le débit moyen ou module annuel de la période de référence 1973 - 1975 s'établit à

$$Q \text{ moy.} = 1.21 \text{ m}^3/\text{s}.$$

La fréquence des débits est donnée par le graphique fig. 8.

Fig. 8

Débits mensuels et courbe des débits classés, Birse à Court



Le débit spécifique du bassin donne une indication du "rendement" du bassin.

$$Q \text{ spéc.} = \frac{Q \text{ moy. an}}{\text{Surface du bassin}} \quad 1/\text{s} \cdot \text{km}^2$$

	Q spéc. l/s·km <sup>2</sup>
Birse à Court	13.3
Suze à Sonceboz	20.9
Areuse à Champ-du-Moulin	34.0
Broye à Payerne	19.0
Menthue à Yvonand	10.4

Le débit spécifique dépend notamment du climat, de la végétation, de la topographie et aussi de la nature géologique du bassin.

On constate pour la Birse un débit spécifique très faible que nous attribuons en priorité à deux causes essentielles:

- fuites souterraines karstiques
- proportion importante de terrains molassiques à fort pouvoir de rétention et forte évapotranspiration, comparables à ceux de la Menthue par exemple.

L'examen des débits moyens mensuels montre une tendance générale aux hautes eaux à la saison froide, mais avec assez peu de constance. Le régime ou répartition des débits au cours du cycle hydrologique annuel subit une nette influence de l'évapotranspiration, liée à la température et expliquant le déficit d'écoulement estival.

Le régime pluvial océanique qui en résulte est habituel sous nos climats tempérés humides. Il est caractérisé par une assez forte irrégularité liée aux fluctuations des précipitations.

Dans notre région se superposera une autre cause d'irrégularité, la rétention nivale, c'est-à-dire le stockage temporaire d'eau en surface sous forme de neige. Le volume retenu sera restitué de façon généralement progressive du fait de l'étalement des altitudes, mais aussi très irrégulièrement d'une année à l'autre. Les conditions climatiques permettent des fusions partielles au cours de l'hiver. On devrait en principe observer des hautes eaux printanières plus ou moins accentuées mais celles-ci n'apparaîtront probablement que dans les moyennes mensuelles d'une plus longue période.

Comme autre élément comparatif on peut retenir le coefficient d'irrégularité (REMENIERAS ET BOYER, 1950)

$$a \% = \frac{Q \text{ an. max.} - Q \text{ an. min.}}{Q \text{ an. moy.}}$$

Station	a %	Durée des observations
Birse à Moutier	120	64 ans
Areuse à Champ-du-Moulin	98	53
Suze à Sonceboz	88	15
Broye à Payerne	125	56

On remarque la valeur élevée de  $a$  de la Birse, à nouveau apparentée à certains cours d'eau du Plateau. Pour la Suze, le faible coefficient s'explique en partie par la période d'observation plus courte, mais pour l'Areuse, il traduit l'influence de vastes systèmes karstiques dont on ne retrouve pas d'équivalent dans le bassin de la Birse.

### 3.2.1.2. Crues et débits extrêmes

Les caractéristiques des crues peuvent avoir une influence sur divers ouvrages: ponts, digues, etc. Quelques valeurs utiles aux praticiens sont extraites ci-dessous.

L'origine des crues est de deux ordres: pluies et fonte des neiges.

L'influence nivale donne en général une crue à pointe de débit peu accentuée mais de durée relativement longue et accompagnée d'une forte élévation du flot de base issu des réserves souterraines, exemple fig. 9, crue du 9.2.1974. Les crues purement nivales sont très rares.

Fig. 9 a

La Birse à Court, crue de fonte des neiges du 9 février 1974

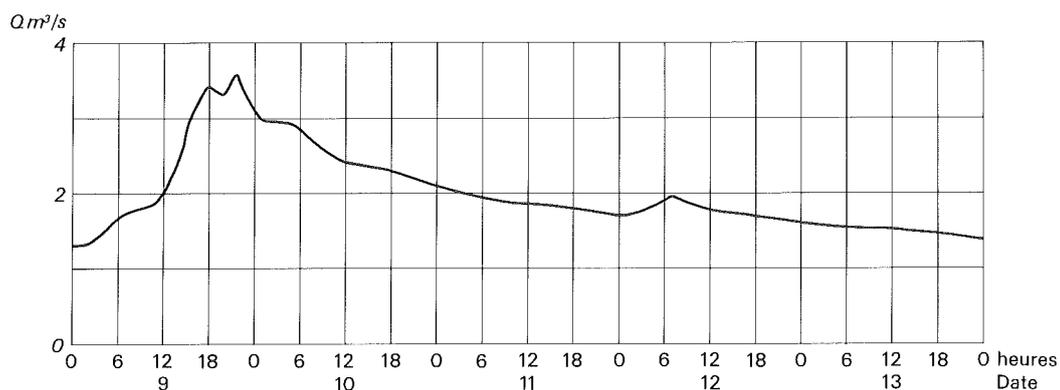
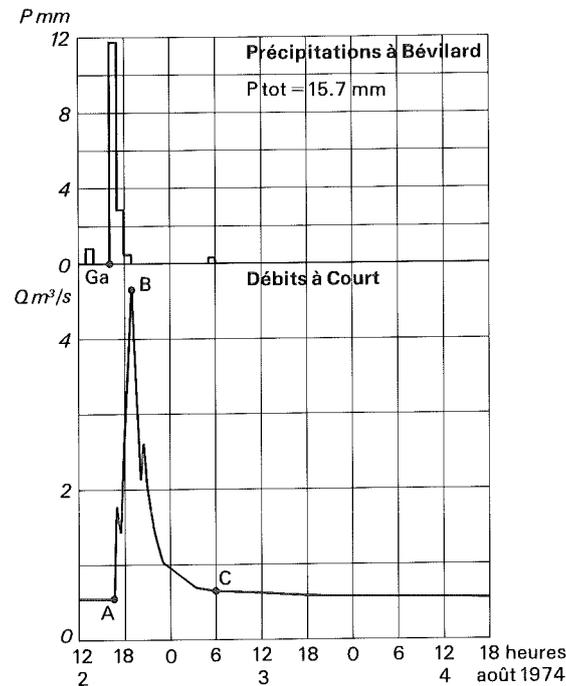


Fig. 9 b

Crue pluviale du 2.8.1974



- A Début de la crue
- Ga Centre de gravité, 50% de l'averse
- B Pointe de la crue
- C Début du tarissement
- A-C Temps de base
- Ga-B Temps de réponse

Une crue pluviale sera plus brève et violente:

- pointe de débit 2 à 3 fois plus élevée que la moyenne journalière
- temps de réponse de l'ordre de 2 à 4 heures
- temps de base variant de 12 heures à 3 - 4 jours selon l'importance et l'intensité de l'averse

Les records suivants ont été enregistrés:

Année	Date	Q moy. journalier max.	Q max. instantané *
1974	6. 2.	2.96 m3/s	5.9
1974-75	17.12.	7.85	12.75
1975-76	27. 7.	4.85	10.91

\* Extrapolations de la courbe de tarage P/Q

On remarque que les crues nivales ne sont pas nécessairement les plus fortes.

A Moutier, les pointes extrêmes estimées à 52 - 58 m<sup>3</sup>/s ont été notées en juillet 1948 et septembre 1940. La forte crue du 23 juin 1973, à Moutier de 48 - 53 m<sup>3</sup>/s, a provoqué des inondations à l'entrée des gorges de Court.

La pointe du 17.12.74 de 12.75 m<sup>3</sup>/s à Court correspond à 22 m<sup>3</sup>/s mesurés à Moutier. Mais comme la corrélation est mauvaise entre les moyennes journalières et les pointes des deux stations, on ne pourra pas prévoir convenablement les pointes de l'une en fonction de l'autre. Une estimation des crues exceptionnelles peut se faire par la formule de Fuller:

$$Q_T = Q_1 (1 + 0.8 \log T)$$

T = période de retour

Q<sub>1</sub> = moyenne des débits quotidiens

max. annuels = 5,22 m<sup>3</sup>/s, selon tableau ci-dessus

Pour T = 100 ans, crue centenaire, on obtient Q moy. journalier = 13.57 m<sup>3</sup>/s.

La pointe extrême est donnée par:

$$Q \text{ max.} = Q_T \left( 1 + \frac{2.66}{A^{0.3}} \right) = 22.90 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q max. = pointe instantanée

Q<sub>T</sub> = 13.57 m<sup>3</sup>/s

A = superficie du bassin en km<sup>2</sup> = 91.11 km<sup>2</sup>

Les débits de la crue centenaire paraissent très élevés et doivent être employés avec circonspection. Une plus longue période d'observation et un tarage plus précis des hauts débits permettront de mieux apprécier.

Une autre caractéristique du bassin-versant est de produire des crues simples, à une seule pointe, dans la mesure évidemment où l'averse est homogène. Les affluents, la Trame en particulier, n'induisent pas de pointes annexes des crues à Court.

A l'autre extrême, les débits minimums observés sont les suivants:

	Date	Court	Moutier
Moyenne journalière	3.7.1976 déc. 1920	0.380 m <sup>3</sup> /s	0.700 m <sup>3</sup> /s 0.370
Moyenne mensuelle	août 1975 juil. 1921	0.500	4.740 0.690
Moyenne annuelle	1975-76 1921	0.861	2.070 1.460

### 3.2.1.3. Corrélation des débits entre Court et Moutier

Pour les trois années hydrologiques 1973 - 1976, des corrélations des débits moyens annuels, mensuels et journaliers ont été tentées, le but de cette démarche étant en premier lieu de compléter les données de l'année 1973-74 et ensuite de permettre une prévision des moyennes annuelles extrêmes à Court.

Nous avons recherché une relation linéaire du type

$$Q_{Mo} = A Q_{Co} + B$$

$Q_{Mo}$  = débit à Moutier  
 $Q_{Co}$  = débit à Court  
 $r$  = coefficient de corrélation  
 $n$  = nombre de paires de données

$$t \text{ calc.} = r \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad t \text{ 95 \% selon table de Student}$$

Test t : Si  $t \text{ calc.} > t \text{ table}$ , la corrélation est significative.

Fig. 10

Corrélation des débits Moutier - Court

	A	B	r	n	t calc.	t 95 %
Q moy. an	3.296	- 0.7494	0.99	3	60.06	12.71
Q moy. mens.						
janv.-déc. 1974	2.1857	+ 0.2653	0.98	12	15.57	2.18
janv.-sept. 1974	2.9950	- 0.3858	0.93	9	6.74	2.26
1974-75	2.0316	+ 1.1361	0.93	12	7.83	2.18
1975-76	3.5855	- 0.8739	0.91	12	7.05	2.18
janv. 74 - sept. 76	2.6318	+ 0.0579	0.94	33	15.62	2.03
Q moy. journ.						
février 1975	2.9135	- 0.0745	0.99	28	29.83	2.05
juillet 1975	2.6377	+ 0.0850	0.88	31	9.85	2.04

#### Débits moyens annuels

Malgré les trois seules paires de valeurs, une excellente corrélation apparaît. En admettant la relation du tableau 10, l'évaluation empirique faite au chapitre 3.2. est confirmée.

Q moy. an. m3/s	Moutier mesuré	Court calculé
Minimum	1.46 (1921)	0.670
Moyenne	3.22 (64 ans)	1.204
Maximum	5.35 (1939)	1.851

### Débits moyens mensuels

Bonne corrélation également. On constate que la droite de régression varie d'une année à l'autre. Il semble que les caractéristiques climatiques d'une année (chaude - froide, sèche - humide, riche - pauvre en neige, etc.) modifie un peu la relation, sans mettre en cause sa linéarité.

### Débits moyens journaliers

A titre d'exemple sont donnés février et juillet 1975, d'où ressort la tendance à une moins bonne corrélation durant les mois d'été. On peut attribuer ce fait à la répartition spatiale des averses d'orage, moins uniforme que celle des averses dépressionnaires de la saison froide.

#### 3.2.1.4. Tariessement

Lors d'une décrue, dans un premier temps l'effet du ruissellement direct disparaît. Ensuite, le ruissellement hypodermique, écoulements d'eau très près de la surface du sol dans l'humus par exemple, s'estompe aussi et il ne reste finalement que la décharge des réserves d'eau souterraine de la région, le tariessement proprement dit.

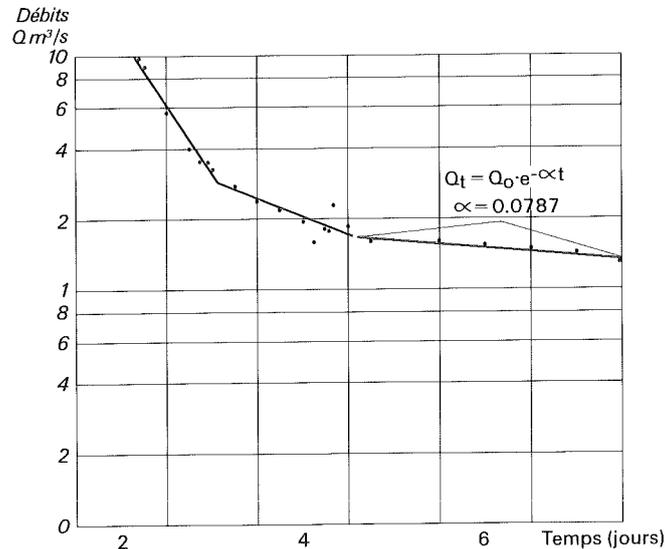
Le graphique fig. 11 en échelle semi-logarithmique met bien en évidence ces trois phases, chacune obéissant à une loi exponentielle, la plus simple étant de la forme

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (\text{formule de Maillet})$$

- $Q_t$  = débit au temps  $t$
- $Q_0$  = débit au temps zéro
- $t$  = temps en jours
- $\alpha$  = coefficient de tariessement
- $e$  = base des logarithmes népériens

Fig. 11

Coefficient de tarissement pour une crue moyenne (été), Birse à Court



L'intégrale entre  $t = 0$  et  $t = \infty$  donne le volume d'eau écouable  $W = \frac{Q_0}{\alpha}$  à  $t = 0$  choisi arbitrairement. Le volume  $W$  est plus petit que le volume des réserves souterraines totales  $W_t$ , celles-ci valant

$$W_t = W + \text{réserves piégées dans les bassins fermés}$$

Calculées pour quelques crues représentatives, les valeurs de  $\alpha$  et  $W$  suivantes sont obtenues:

Date	Crues		
	2.8.75	23.8.75	28.1.75
Q pointe m3/s	4.65	9.65	14.2
Q <sub>0</sub> m3/s	0.58	1.58	1.82
$\alpha$	0.0872	0.787	0.0893
W m3	574 679	1 734 587	1 760 896
E <sub>e</sub> mm	6.3	19.0	19.3

$Q_0$  = débit de référence choisi au début du tarissement

$W$  = volume écouable

$E_e$  = lame d'eau équivalente à  $W$  sur l'ensemble du bassin (91.11 km<sup>2</sup>)

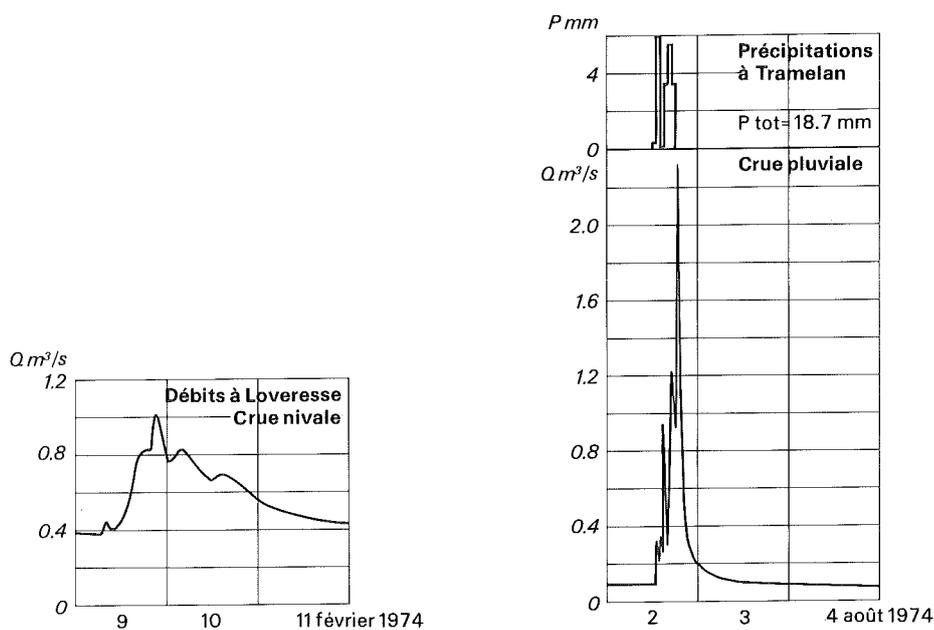
Dans le bassin de la source de l'Areuse (TRIPET 1972),  $E_e$  au 1<sup>er</sup> octobre vaut 31.1 mm, moyenne sur 10 ans. L'ordre de grandeur est sensiblement plus élevé. Les valeurs assez grandes de  $\alpha$  permettent de penser que les réserves écouables  $W$  sont assez faibles dans la Vallée de Tavannes, ce qui correspond bien à l'image d'une région pauvre en aquifères graveleux et dont le karst est en partie drainé vers l'extérieur.

### 3.2.2. La Trame à Loveresse

Les caractéristiques générales du sous-bassin de la Trame ne diffèrent pas de celles de l'ensemble, concernant le régime et les réactions aux précipitations. On retrouve de même les crues nivales et pluviales. Ex. crues du 9.2.74 et 2.8.74, fig. 12.

Fig. 12

La Trame, crues du 9.2.1974 et 2.8.1974



Les temps de réponse varient de 1 à 4 heures. Ils sont donc brefs, le bassin réagit vite. Selon la saison, la pluie minimum donnant une réaction vaut à peine 0.5 à 0.8 mm.

Le décalage entre l'onde de crue à Loveresse et à Court est de l'ordre de 2 à 4 heures, variant avec l'état limnimétrique au début de la crue et avec la hauteur de celle-ci.

Les fig. 13 et 14 ci-dessous donnent quelques valeurs des débits moyens et extrêmes et de leur fréquence.

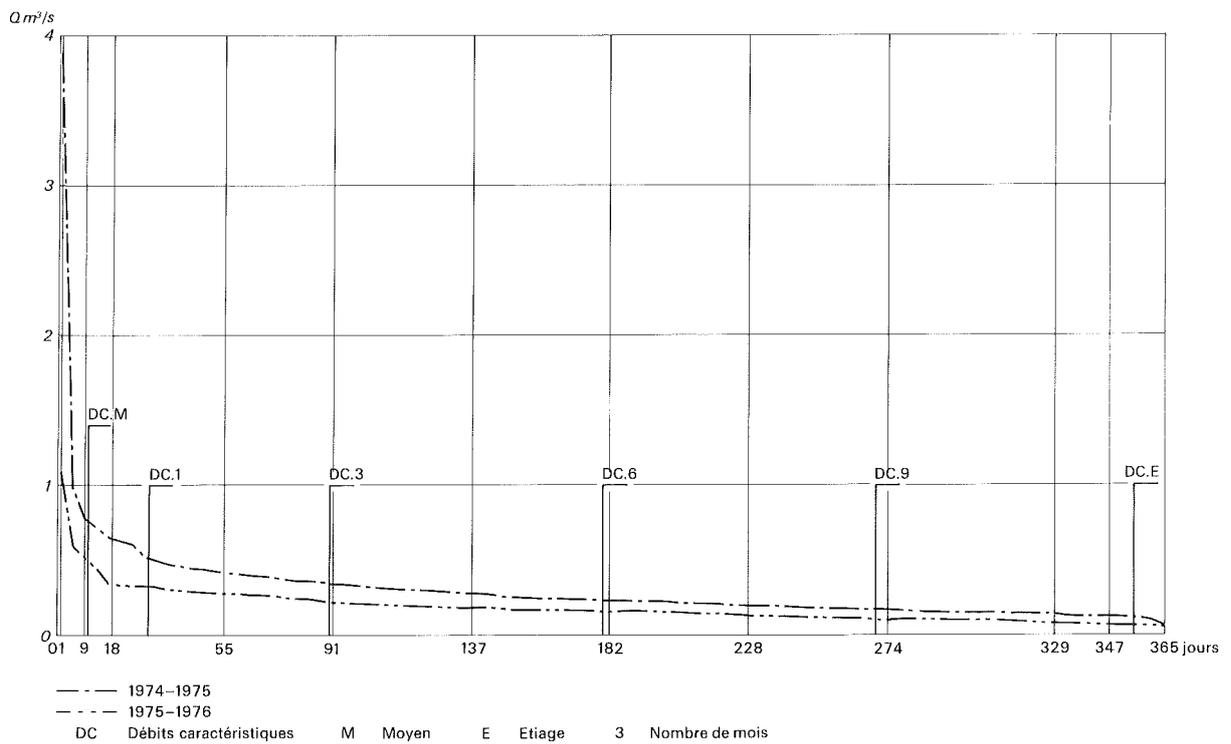
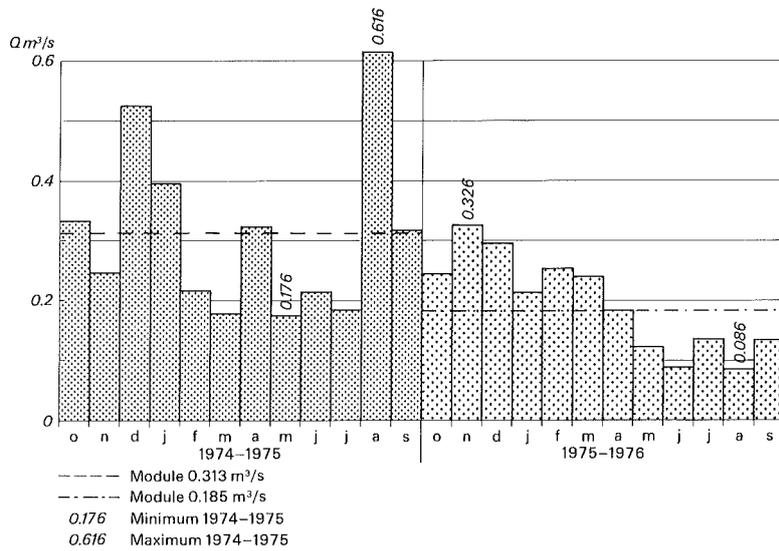
Fig. 13

Débits moyens et extrêmes de la Trame

	janv.-sept. 1974		1974 - 1975		1975 - 1976	
	Date	Débit m <sup>3</sup> /s	Date	Débit m <sup>3</sup> /s	Date	Débit m <sup>3</sup> /s
Q max.						
Pointe	2.8.	2.350	17.12.	3.280	27.7.	2.395
Moyenne journalière	6.2.	0.930	17.12.	1.635	27.7	1.085
Moyenne mensuelle	fév.	0.290	déc.	0.526	nov.	0.326
Q min.						
Moyenne journalière	8.9.	0.063	24.11.	0.058	13.6.	0.052
Moyenne mensuelle	août	0.109	mai	0.176	août	0.086
Q moy./an m <sup>3</sup> /s		0.163		0.286		0.185
1/s · km <sup>2</sup>		7.72		13.55		8.77

Fig. 14

Débits mensuels et courbe des débits classés



Le calcul du coefficient de tarissement  $\alpha$  donne des valeurs en général élevées, comparables à celles de la Birse à Court. Le flanc N de la Montagne du Droit a été exclu du bassin-versant réel de la Trame (21.1 km<sup>2</sup>). A l'W d'Orange, le bassin-versant topographique comprend la Montagne du Droit, mais le drainage

karstique évacue les eaux d'infiltration vers les sources de la Birse et de la Cuchatte.

### 3.2.3. Ruisseau du Chaluet

Le bassin de 10.66 km<sup>2</sup> est assez accidenté, on y trouve les altitudes extrêmes de la région. L'absence de surfaces construites, liée à l'abondante couverture forestière donnera son originalité aux réactions du ruisseau: l'averse minimum donnant une réaction est de l'ordre de 5 à 10 mm, soit 10 fois plus élevée que dans les bassins de la Birse et de la Trame.

Le temps de réponse, de 1 à 9 heures est un peu plus long et varie beaucoup selon l'intensité de l'averse. On constate ici que l'effet des fortes pentes est moins efficace que le drainage des zones construites de la Trame et de la Birse.

Les fig. 15 et 16 donnent quelques valeurs intéressantes.

Fig. 15

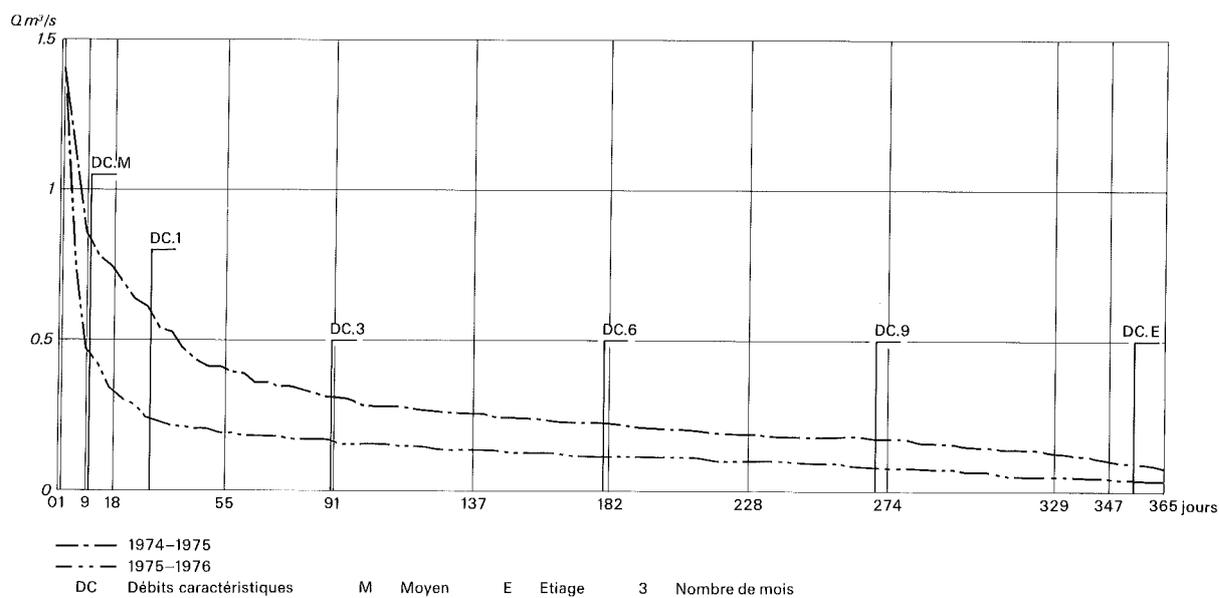
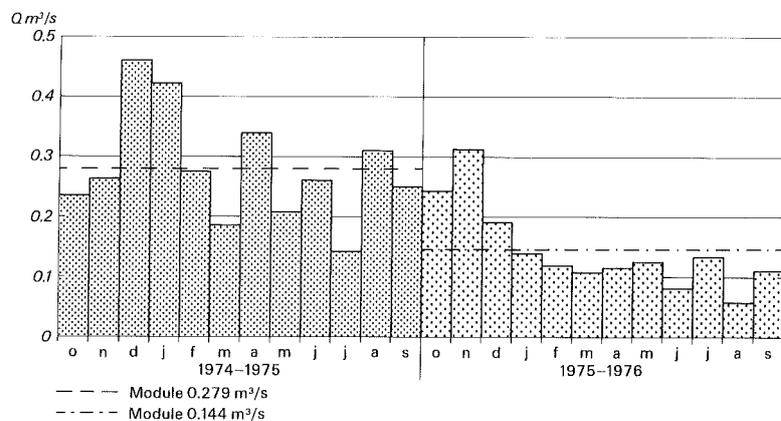
#### Débits moyens et extrêmes du Chaluet

	janv.-sept. 1974		1974 - 1975		1975 - 1976	
	Date	Débit m <sup>3</sup> /s	Date	Débit m <sup>3</sup> /s	Date	Débit m <sup>3</sup> /s
<b>Q max.</b>						
Pointe	6.2.	2.480	23.6.	3.165	27.7.	2.340
Moyenne journalière	6.2.	1.095	23.8.	1.405	27.7.	1.432
Moyenne mensuelle	fév.	0.229	déc.	0.460	nov.	0.313
<b>Q min.</b>						
Moyenne journalière	26.8.	0.005	5.-6.8.	0.083	juil./ août *	0.032
Moyenne mensuelle	août	0.041	juil.	0.143	août	0.057
Q moy. /an m <sup>3</sup> /s		0.178		0.279		0.144
1/s·km <sup>2</sup>		16.7		26.17		13.51

\* 3-5-11-15-16 juillet et 25 - 26 août

Fig. 16

Débits mensuels et courbes des débits classés



Le régime du Chaluet ne diffère pas de celui de la Birse. Les crues purement nivales sont très rares et très faibles: les différences d'altitude rendent peu fréquente une fusion brusque et généralisée de la couche neigeuse. Les faibles débits extrêmes apparaissent régulièrement en été.

## 4. CADRE GEOLOGIQUE

### 4.1. Données de base

Trois types de problèmes géologiques se sont posés durant cette étude:

- structure des anticlinaux bordiers de la vallée: ce point a été traité sur la base des données existantes de EPPLE (1947), FORKERT (1933), ROTHPLETZ (1933), SCHLAICH (1934) et VOGEL (1934).
- Structure du synclinal de la Vallée de Tavannes. Les données des auteurs ci-dessus offrent un intérêt variable: excellentes à l'extrémité E grâce au tunnel Moutier - Granges, elles ont valeur d'hypothèses à l'W de Court. Des compléments d'information ont été donnés par trois forages de 281 m, 401 m et 485 m et surtout par une campagne géoélectrique profonde, décrits dans le rapport intermédiaire de 1974.
- Structure des terrains meubles quaternaires et récents: les études antérieures, très générales à ce sujet, ont été affinées par une campagne de petites mesures géoélectriques, forages et essais de pompage dont il est rendu compte dans le rapport intermédiaire de 1973.

### 4.2. Stratigraphie

La description ci-dessous des divers ensembles sera surtout lithologique, tenant évidemment compte de leurs propriétés hydrogéologiques.

Nous commencerons par les terrains les plus anciens figurant sur les profils de l'annexe 4, dont le tableau stratigraphique donne également quelques précisions sur la hiérarchie des termes. Par commodité, nous conserverons sans l'emploi de guillemets les appellations des lithofaciès du Malm inférieur, bien que stratigraphiquement impropres.

#### a. Formations de l'ère Secondaire

- Dogger** Calcaires et marnes affleurant aux limites de la région, dans les combes anticlinales du Montoz, Moron et des Prés de la Montagne au N de Tamelan.
- Oxfordien** ss. Terme limité aux "marnes oxfordiennes" et "terrains à chailles"  
A la base, on trouve des marnes sombres, riches en fossiles pyriteux, puis des marnes à nodules calcaires ("chailles") vers le haut. Aucun bon affleurement n'est à signaler. D'une épaisseur jusqu'à 70 m au N, il n'en reste que 5 - 10 m dans le Montoz. Les marnes auront tendance à renforcer l'imperméabilité supposée de l'Argovien.

- Argovien      Faciès marno-calcaire comprenant à la base les "couches de Birmensdorf", calcaires clairs sur 20 - 35 m, puis les "couches d'Effingen" sur 80 - 120 m faites de marnes et marno-calcaires gris à gris-bleu avec intercalations calcaires. Les marnes d'Effingen forment une combe très distincte, visible aux Prés de la Montagne - Les Reussilles - N du Georget, au N de la crête de Moron, dans les Gorges de Court, à la Montagne de Graiter, ainsi que dans le Montoz, de la Golatte à la Rochette et du Buement au Stallberg.
- Malm sup.      comprenant le Séquanien, Kimméridgien et Portlandien, vaste ensemble de calcaires clairs de 250 - 350 m d'épaisseur, siège d'une activité karstique intense. Ces niveaux affleurent à la terminaison W de la région à Mont Tramelan, puis sur les deux flancs raides et boisés de la vallée et à deux pointements isolés, Forêt d'Enfer - Belfond et Sous les Roches dans le Chaluet.

#### b. Formation de l'ère Tertiaire

Parfois désignées par le terme général de "molasse", ces formations sont en fait variées et d'extension latérale peu continue.

- Eocène      Dépôts continentaux piégés dans des cavités karstiques anciennes. Des sables de quartz y ont été exploités à Mont-Girod et l'une de ces cavités a donné le "Lac Vert" au dessus de Mévilier.
- Oligocène      Chattien = Stampien supérieur selon E. BAUMBERGER (1927).
- "Gompholite d'Ajoie": faciès de conglomérats à éléments calcaires et ciment marneux. Selon ROTHPLETZ (1934) cet ensemble de quelques m d'épaisseur seulement vient s'intercaler entre le Malm et la "molasse alsacienne" dans la partie centrale, entre Loveresse et Le Fuet. Un nouvel affleurement, dans un ravin de la Forêt sur l'Eau en aval d'une petite source a montré un conglomérat d'éléments calcaires à ciment marneux gris-verdâtre clair qui pourrait appartenir à ce niveau.
  - "Molasse alsacienne": marnes et grès à micas plus ou moins fortement cimentés. Cette formation atteint environ 50 m d'épaisseur dans le tunnel Moutier - Granges et s'amenuise vers l'W. Les derniers affleurements sont signalés au N de Saules. A considérer comme très peu perméable sauf accident tectonique, la Molasse alsacienne isolera les calcaires delémontiens du Malm supérieur.
  - "Calcaires delémontiens": faciès de calcaires d'eau douce à Limnées et Planorbis avec marnes et grès intercalés souvent abondants et dominants. Cet ensemble, siège de phénomènes karstiques non négligeables, joue le rôle de semi-perméable. A l'W d'une ligne Saicourt - Reconvilier il repose directement sur le Malm supérieur. Son épaisseur est maximale (350 m) sous

la Forêt de Chaindon. Il disparaît à l'entrée de Tramelan.

## Miocène

Diverses formations appartiennent au Miocène et joueront un rôle identique de coiffe aquiclude posée au cœur des synclinaux sur les calcaires delémontiens et tout à l'W, directement sur le Malm. On trouvera :

- "Molasse grise" et "Grès coquillier" (Burdigalien).
- "Conglomérat polygénique", "Sables et grès" et "Calcaires d'eau douce du Golat" (Helvétique et Tortonien).

Dans la région de Tramelan, un paquet d'Helvétique et Tortonien subsiste entre la Tuilerie et la Combe. Il recouvre d'abord les calcaires delémontiens puis, dès la Fin du Tilleul vers l'W, directement le Portlandien. On retrouvera également quelques lambeaux de Tortonien à la Combe des Arses. Le Burdigalien fait défaut, érodé au Miocène déjà. Sous la Forêt de Chaindon, en position synclinale, une masse de Burdigalien de près de 200 m d'épaisseur s'étale entre la route Tavannes - Le Fuet et le Champ du Sautou. Un autre affleurement est signalé entre Les Cerisiers à l'E de Tavannes et les Crêtes au S de Reconvilier. A Malleray, le Miocène apparaît à nouveau au N de la gare CFF et s'épaissira vers le Chaluët.

## c. Formations de l'ère Quaternaire

Sont retenues ici les formations du fond et du bas des flancs de la vallée. Elles jouent un rôle hydrogéologique évident et de nombreux captages en dépendent.

- Moraines du Riss. L'ensemble de la région a été submergé lors de l'avant-dernière glaciation dite du "Riss" et qui fut la plus étendue. Les restes morainiques comprennent surtout des galets et blocs alpins dispersés, transportés par le glacier rhodanien qui franchissait la Montagne du Droit, le Pierre-Pertuis et le Montoz au seuil de la Bergerie de Court - Ob. Bürenberg. La glace culminait à 1 200 m d'altitude au moins (HANTKE, 1978). Sur le plateau d'Orange et autour de Tramelan, on trouve des tapis de moraine de fond plus continus et étendus.
- Eboulis anciens ou moraines. Mentionnée dans le rapport intermédiaire 1973, cette importante formation comprend des accumulations d'éléments jurassiens grossiers, anguleux, contenant parfois des blocs de près de 1 m de diamètre et que l'on retrouve au pied du Moron et du Montoz à l'est de Tavannes et Loveresse. Postérieurement à nos levés, nous avons observé dans deux gravières (N de Loveresse, 589.00/233.920 - N de Bévillard, Pâturage-Dessous, 587.750/233.750) une stratification de ces dépôts avec un pendage nord, donc inverse à la pente du versant. Actuellement, nous inclinons à penser à une origine morainique de ces formations, liée au glacier rissien, à son retrait et à

l'activité possible de glaces locales du Moron et du Montoz ou éventuellement à une activité locale au Würm, dernière glaciation, alors que le glacier rhodanien n'atteignait pas la région. Le cadre de cette étude ne nous a pas permis d'approfondir suffisamment cette question pour donner une explication autre qu'hypothétique. Les anciens auteurs assimilent cette formation à des éboulis de pente et des éboulements et ne paraissent pas avoir perçu son individualité ni son rôle hydrogéologique. Il faut dire à leur décharge que leur centre d'intérêt résidait bien davantage dans les structures générales et dans la stratigraphie du Tertiaire.

- Eboulis de pente "récents". Au pied des versants calcaires, un voile d'éboulis de pente caractéristique à forte pente, épandage régulier et relativement peu étendu repose sur les autres formations.
- Alluvions anciennes de la Birse. En terrasses sur les flancs de la vallée dès Tavannes, elles ont leur toit 25 m environ au-dessus du talweg actuel et sont en moyenne plus grossières que les alluvions récentes. Les grosses accumulations de Malleray et Bévilard furent exploitées. Quelques galets alpins indiquent un âge post-rissien. La granulométrie assez grossière et constante dans toute la vallée évoque l'activité d'un cours d'eau plus important que la Birse actuelle, dont le profil en long était conditionné par un seuil plus élevé qu'actuellement à la sortie du bassin dans la cluse de Court. L'allure du dépôt et l'absence de sédiments lacustres, de deltas, excluent à notre avis la possibilité d'un barrage accidentel (glissement de terrain, éboulement) post-rissien de la cluse. La nature du seuil reste hypothétique. Il peut s'agir de matériaux meubles engorgeant la cluse à la fin du Riss et complètement érodés depuis lors ou de la barre calcaire du Malm supérieur à un niveau supérieur à celui observé maintenant.
- Alluvions récentes de la Birse et affluents. Décrites en détail dans le rapport intermédiaire 1973, nous résumerons ici les caractères dominants:
  - faible épaisseur en général, voisine de 4 à 6 m avec deux accumulations plus épaisses, à Reconvilier - Moulin de Loveresse et à Malleray - Bévilard, 10 à 13 m;
  - faibles perméabilités, coefficient de Darcy  $k < 10^{-4}$  m/s en général,  $10^{-4} < k < 10^{-3}$  à Malleray - Bévilard et dans une partie des sondages en aval de Sorvilier;
  - dominance de graviers fortement limono-sableux.

### 4.3. Tectonique

Comme mentionné plus haut, les efforts ont porté sur une meilleure connaissance de la structure synclinale de la vallée, au niveau du contact entre le Malm supérieur calcaire, présumé aquifère, et les dépôts du Tertiaire. La carte structurale et les profils annexés font la synthèse des résultats.

Les différentes unités tectoniques ont été mentionnées au chapitre 2.1. Nous relèverons ici les éléments nouveaux intéressant plus particulièrement l'hydrogéologie, tirés des forages et des mesures géoélectriques profondes.

- Région de Tramelan - Moulin Brûlé (Profil I): le synclinal selon les mesures géoélectriques, est en v et n'a pas la forme coffrée à fond plat proposée par ROTHPLETZ (1933).
- Forêt d'Enfer - Orange (Profil II): le synclinal d'Orange s'est révélé beaucoup moins profond. Le contact Malm - Molasse est environ 100 m plus haut que selon l'hypothèse de ROTHPLETZ (1933).
- Tavannes - Forêt de Chaindon (Profil III): le synclinal de la Forêt de Chaindon s'est révélé moins profond et plus complexe. Une flexure apparaît sous la Trame, le fond du synclinal est ensuite assez plat avec quelques ondulations annexes. L'anticlinal de la Forêt d'Enfer, bien net sur le profil II, s'atténue très vite. Le synclinal d'Orange - Tavannes reste peu marqué et celui de Malvaux au Sud apparaît à peine déprimé.
- Pontenet - forage des Rosiers (Profil IV): le fond du synclinal subit un bombement marqué par une déviation vers le N des courbes de niveau du contact Malm - Molasse, entre la cuvette de Reconvilier et celle de Bévilard - Sorvilier. Cette forme positive avait été détectée par SCHLAICH (1934) suite à ses observations dans la molasse. Les mesures géoélectrique et le forage des Rosiers en ont précisé la forme: la culmination de cette bosse est beaucoup plus proche de la surface que ne l'imaginaient les hypothèses antérieures.
- Bévilard (Profil V): forme et profondeur sont précisées, cette dernière un peu plus grande que selon SCHLAICH (1934). Les mesures électriques sur le flanc S laissent supposer un flanc renversé peut-être même charrié.
- Court (Profil VI): à la place du synclinal tranquille à fond plat, les investigations récentes proposent un flanc N renversé et un flanc S charrié en prolongement du charriage majeur relevé dans le tunnel Moutier - Granges.
- Tunnel Moutier - Granges (Profil VII): d'après VOGEL (1934), selon Buxtorf, sans changements.

## 5. HYDROGEOLOGIE

### 5.1. Introduction

L'étude hydrogéologique proprement dite a porté sur:

- une reprospection systématique des aquifères en terrains meubles à faible profondeur, nappes dites "phréatiques";
- une évaluation des ressources exploitées et des appoints nouveaux à mettre en valeur le cas échéant, sous forme de sources captables ou de puits en nappe phréatique;
- une exploration du potentiel aquifère du Malm supérieur calcaire, siège de l'activité dite "karstique" des eaux souterraines circulant par des réseaux de fissures et chenaux élargis par dissolution de la roche.

Divers types de circulations souterraines et d'aquifères ont été mis en évidence:

- nappes phréatiques, masses graveleuses alluviales saturées d'eau, exploitées par des puits filtrants;
- circulations dans les éboulis de pente récents et moraines vers des sources de contact Quaternaire - "molasse";
- circulations karstiques, très actives dans le Malm supérieur, beaucoup moins dans les calcaires delémontiens où elles sont freinées par les abondantes intercalations marneuses.

Des interférences nombreuses existent entre les différents types d'aquifères. Ceux-ci seront décrits et analysés successivement après une description du dispositif d'observation.

### 5.2. Dispositif d'observation

Les observations ont porté sur les débits et les paramètres physico-chimiques des sources et puits.

Devant la multitude des points d'eau de la Vallée de Tavannes, un choix a été nécessaire. Deux groupes ont été définis tenant compte

- de la situation géologique
- de l'importance du débit
- du rôle dans l'alimentation en eau potable.

Le premier groupe a fait l'objet d'une visite mensuelle, trimestrielle pour le second, pendant la période de 1974 - 1976.

L'importante source karstique de la Birse, surveillée en continu par un limni-  
graphe sera traitée en particulier au chapitre 5.5.2.2.

Le tableau fig. 17 résume les caractéristiques des points d'eau de chaque groupe.

Fig. 17

Sources observées 1974 - 1976

1er groupe : observations au moins mensuelles

Source	Coord. selon PE 1: 10 000	Commune ayant droit	Alt. exutoire	Débits l/min min. moy. <sup>4)</sup>		max.	T moy. <sup>4)</sup> an °C	Situation géologique
Batanvaux	574.670/230.300	Tramelan	885	411	603	900	9.05	Tortonien
Moulin Brûlé W	577.360/231.030	Tramelan	850	48	278	1 150	8.0	Delémontien
"	Hilieu	Tramelan	850	3	116	300	8.1	Delémontien
"	E	Tramelan	850	48	230	1 148	8.1	Delémontien
Birse	581.570/229.220	Tavannes	765	1 500 <sup>1)</sup>	19 620	55 400	8.05	Malm supérieur
Mochenière	586.720/230.905	Malleray	815	98	400	1 011	7.15	Contact éboulis-molasse
Amaten	588.020/230.700	Bévilard	840	140	727	2 169	5.95	Contact éboulis-molasse
Envers, 4 captages <sup>2)</sup>	591.830/231.230 591.880/231.300	Court	720	2 340	3 114	4 277	6.9	Contact Malm-Molasse

2e groupe : observations trimestrielles

Benés W	573.850/229.470	Tramelan	925	3	21	60	7.0	Tortonien calc.
Benés E	573.880/229.490	Tramelan	925	4	30	68	6.95	Tortonien calc.
Hospice	574.750/230.230	Tramelan	890	64	151	347	7.6	Tortonien calc.
Orange	579.250/230.810	Tavannes	875	20	35	66	7.95	Contact moraine-molasse
Envers, réserv. <sup>3)</sup>	583.850/230.650	Reconvilier	850-920	161	382	572	7.25	Contact éb./moraine-mol.
Envers supérieur	585.320/230.540	Loveresse	870	27	85	120	6.5	Contact éb./moraine-mol.
Envers inférieur	585.315/230.480	Loveresse	865	60	112	200	6.65	Contact éb./moraine-mol.
Echolsons W	585.660/230.840	Malleray	835	67	143	210	7.35	Contact éb./moraine-mol.
Echolsons E	585.820/230.840							
Noire Fontaine	585.870/231.310	Malleray	765	115	450	1 125	7.25	Contact éb./moraine-mol.
Stock	586.020/231.380	Malleray	760	175	487	1 125	7.15	Contact éb./moraine-mol.
Saules moy.	583.310/233.150	Saules	785	6	60	150	9.0	Contact éboulis-molasse
Saules sup.	583.440/233.110	Saules	800					
Saules dN inf. }	583.270/233.150	Saules	780					
Saules dW inf. }				60	114	150	8.25	Contact éboulis-molasse
Champoz dW }	589.250/234.200	Champoz	875	22	42	75	8.25	Contact éb./moraine-mol.
Champoz dE }				11	93	150	8.25	Contact éb./moraine-mol.

Mesures isolées				sec.	Mois moyen	pluvieux	
Champeron	591.560/231.270	Court	~740	~400			Contact éboulis-molasse
Droit de Malleray	586.820/232.765	Pontenet	815		115	170	Contact éb./moraine-mol.
							16
Vivier	589.970/231.580	Sorvilier	725	67		100	Contact éb./moraine-mol.
Les Pois	589.400/231.170	Sorvilier	775			32	Molasse Miocène
							75

dN ( S,W,E) : drain Nord (Sud-Est-Ouest) dans un captage

1) Débit estimé à disposition comme eau potable

2) Sans les exutoires temporaires

3) Chambre collectrice d'un vaste champ sourcier

4) Moyenne arithmétique de toutes les mesures

### 5.3. Nappes alluviales

L'ensemble des alluvions des talwegs actuels contient de l'eau de fond, en ce sens que les matériaux meubles sont saturés et qu'un niveau piézométrique est mesurable. La morphologie du fond rocheux va délimiter quelques bassins, privilégiés par leurs dimensions et par la perméabilité de leur remplissage, et qui permettront une exploitation d'eau de fond par puits filtrants. En dehors de ces lieux, section réduite du talweg et mauvaise perméabilité se conjuguent pour rendre quasi nulle la probabilité de pouvoir prélever un débit intéressant.

L'ensemble des travaux de reprospection décrits dans le rapport intermédiaire 1973 n'ont pas révélé de nouvel aquifère graveleux régionalement significatif.

Ci-dessous, nous allons examiner plus en détail les caractéristiques hydrogéologiques de chacun des sites susceptibles de livrer de l'eau de consommation.

#### 5.3.1. La Tuilerie - Moulin Brûlé

Dans l'étroite vallée de la Trame, ce site comprend trois sources et deux puits exploités par la Commune de Tramelan. Au sortir du défilé de la Goleyatte, taillé dans le Malm supérieur du flanc Sud, les alluvions s'épaississent et s'étalent lorsque la rivière rejoint le coeur molassique du synclinal de Tramelan. Un calcul du débit naturel de la nappe peut être fait selon le schéma suivant:

$Q_n$  = débit naturel de l'écoulement souterrain, en l'absence de toute intervention humaine, de tout pompage

$k$  = coefficient de perméabilité de Darcy

$i$  = gradient hydraulique, pente de la surface piézométrique, pris ici par simplification parallèle à la pente topographique du talweg

$S$  = section de la nappe perpendiculaire à l'écoulement

$$Q_n = k \cdot i \cdot S$$

Remarque:  $Q_n$  ne signifie pas nécessairement "débit exploitable". Celui-ci, souvent plus faible, quelque fois plus élevé, est en relation complexe avec  $Q_n$ . A la hauteur du sondage S2 (rapport intermédiaire 1973), le débit naturel est dérisoire:

$$Q_n = 7.6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \cdot \frac{1.25}{100} \cdot 400 \text{ m}^2 = 3.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 2.28 \text{ l/min} = 3.28 \text{ m}^3/\text{j}$$

Pourtant, le rendement des puits de Tramelan est d'environ 300 l/min. Il s'agit en réalité d'un faux aquifère alluvial: l'eau prélevée vient exclusivement des calcaires delémontiens sous-jacents, alors que les puits ont été implantés en fait pour un captage d'eau de fond alluviale! La preuve de la provenance karstique de l'eau des puits a été apportée:

- par les essais de coloration de la Trame (rapport intermédiaire 1975) où des infiltrations dans le seuil de calcaires du Malm à la Goleyatte se retrouvent au puits ouest,
- par l'essai de traçage au NaCl dans une tranchée touchant les calcaires, à l'est de l'usine Sulzer, coord. 575.920/230.390 (GEOTEST 1976),
- par l'essai de traçage du Bois de l'Envers, injection de sulforhodamine G extra dans une tranchée coord. 577.250/230.700, environ 350 m au SW des captages (GEOTEST 1976).

L'hydrogéologie karstique de ce site sera reprise au chapitre 5.5.

En amont de la Tuilerie et sous l'agglomération de Tramelan, le talweg se réduit à une très mince bande sans rôle hydrogéologique mesurable. Vers l'aval, le talweg devient plus étroit, les alluvions disparaissent totalement dans la Forêt d'Enfer où les calcaires du Malm sont mis à nu au fond du cours d'eau. A la hauteur des forages profonds, à la sortie de la forêt, la Trame accumule à nouveau un lit alluvial, mais dont les rares graviers sont très colmatés par les produits de dégradation de la molasse voisine. Les perméabilités restent inférieures à  $k = 10^{-4}$  m/s.

### 5.3.2. Reconvilier - Moulin de Loveresse

Entre Reconvilier et le confluent Trame - Birse, le fond alluvial d'une part s'élargit, d'autre part se voit amplifié latéralement par les terrasses d'alluvions anciennes. A des fins techniques, un puits, coord. 584.330/231.750 dans le nouvel atelier Boillat au N de la gare, exploite un petit niveau perméable graveleux,  $k = 6.1 \cdot 10^{-4}$  m/s, aquifère captif entre des matériaux limoneux ou limono-graveleux colmatés. L'épaisseur totale des alluvions dépasse les 12.5 m du forage (HUBER, 1967).

Au forage S6 (rapport intermédiaire 1973), à la limite communale Reconvilier - Loveresse, les 13.1 m d'alluvions ont une perméabilité moyenne de  $k = 4.2 \cdot 10^{-5}$  m/s. Une estimation du débit naturel donne

$$Q_n = 4.2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \cdot \frac{1.23}{100} \cdot 2\,000 \text{ m}^2 = 1.03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 62 \text{ l/min} = 89.3 \text{ m}^3/\text{j}$$

On voit que les 25 l/min concessionnés du puits représentent déjà une forte proportion du débit naturel, d'où l'on peut conclure qu'il ne faut pas tabler ici sur d'importantes ressources supplémentaires.

En amont de Reconvilier, les alluvions s'amincissent et l'occurrence favorable d'une bonne épaisseur alliée à des terrasses graveleuses latérales ne se présente plus. A Tavannes, un forage coord. 581.590/229.640, env. 400 m au N de la source de la Birse donne 4.3 m d'alluvions essentiellement limoneuses, avec des intercalations tourbeuses évocant d'anciens marécages. A proximité immédiate, des fouilles ont révélé des graviers très colmatés (B. SCHINDLER, 1975).

### 5.3.3. Malleray - Bévillard

Entre le Moulin de Loveresse et Malleray, les alluvions récentes n'occupent qu'une largeur très restreinte et sont largement couvertes par la route principale, la voie CFF, des constructions ainsi que divers remblais artificiels.

A Malleray, le talweg s'élargit et, rive droite, la terrasse d'alluvions anciennes prend son extension maximum. Comme l'épaisseur et la perméabilité s'améliorent parallèlement, ce site deviendra le meilleur aquifère graveleux de la région.

La structure générale des alluvions récentes montre un complexe supérieur hétérogène, peu perméable qui marque une certaine tendance à s'épaissir vers l'aval. Il comprend des limons et graviers limoneux essentiellement, avec quelques lentilles plus perméables.

Le complexe inférieur, de graviers plus ou moins limoneux et sableux montre des perméabilités de  $k = 10^{-3}$  à  $10^{-4}$  m/s. Il fournit l'eau potable exploitée à Malleray et Bévillard. La nappe est captive au moins autour du puits de Bévillard.

Les mesures géoélectriques (rapport intermédiaire 1973) montrent la fin des ensembles résistants donc graveleux un peu avant l'intersection du talweg par la ligne km 589.0.

L'alimentation naturelle de cette nappe est variée:

- Infiltration directe d'eau de pluie, sur les terrasses d'alluvions anciennes, plus restreinte probablement sur le talweg lui-même, étant donné la présence du complexe supérieur peu perméable et l'importance des surfaces construites.
- Infiltration d'eau de ruissellement des versants au contact molasse - alluvions.
- Infiltration d'eau de la Birse, que nous avons admise comme très probable, mais quantitativement peu importante, à la suite d'un essai de coloration dans la Birse (rapport intermédiaire 1975).
- Apport d'eau depuis le karst delémontien que nous estimons possible par analogie à ce qui a été constaté ailleurs, mais sans preuve formelle.

La décharge naturelle peut se faire de manière diffuse dans la Birse en aval de Bévillard. Aucun fait d'observation ne permet d'apporter d'autres précisions.

Par quelques évaluations générales, nous avons fixé des ordres de grandeur hydrauliques destinés à déceler d'éventuelles incompatibilités entre la conception que nous donnons plus haut du fonctionnement de cette nappe et les faits d'observation.

Débit naturel à la hauteur du puits de Bévilard

$$Q_n = k \cdot i \cdot S = 3.6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \cdot \frac{0.77}{100} \cdot 1\,500 \text{ m}^2 = 4.15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \sim 250 \text{ l/min} = 360 \text{ m}^3/\text{j}$$

Débit dû à l'infiltration directe:

- Surface de la nappe sous Malleray et Bévilard : 480 000 m<sup>2</sup>
- Infiltration annuelle d'eau météorique, estimation : 0.2 m
- Volume infiltré : 96 000 m<sup>3</sup>/an  $\sim$  180 l/min

Bien que ces estimations sommaires soient à manipuler avec précaution, elles permettent néanmoins de constater que les ordres de grandeur concordent, démontrant qu'il n'est pas nécessaire de faire intervenir une sollicitation disproportionnée des eaux de versant, de la Birse ou du karst delémontien.

Les débits exploités sont très variables d'une année à l'autre. Les communes de Malleray et Bévilard exploitent également et en priorité des sources dont les eaux sont distribuées en majorité sans pompage.

Les conditions climatiques de l'année influent fortement sur les débits des sources et, partant, aussi sur la sollicitation des puits. Des signes de surexploitation ont été constatés dans ces derniers, non pas que le rendement de la nappe soit nécessairement en cause mais parce que les performances du puits, liées surtout à la perméabilité, ne couvrent plus totalement les besoins du réseau.

Pour remédier à une telle situation, il serait en principe nécessaire d'implanter un nouveau puits, de façon à améliorer les performances de débit à court terme. Dans le cas de la nappe de Malleray - Bévilard, ce moyen est à déconseiller pour deux raisons majeures:

- il n'est pas certain que le rendement de la nappe soit suffisant étant donné l'ordre de grandeur du débit naturel calculé plus haut,
- la protection d'une eau souterraine contre toute pollution ne peut pas être assurée valablement en milieu urbain, ce qui augmente considérablement le facteur "risque".

Nous ne voyons en conséquence pas de possibilité acceptable d'améliorer les débits d'exploitation de cet aquifère.

#### 5.3.4. Sorvilier

En amont et en aval de Sorvilier, les sondages et les mesures géoélectriques ont mis en évidence des ensembles graveleux. Les perméabilités sont comprises entre  $10^{-3} > k > 10^{-5}$  m/s, donc à première vue intéressantes. Toutefois, l'étendue du talweg et des terrasses d'alluvions anciennes est restreinte et les graviers

reposent sur des terrains imperméables du Miocène, excluant des apports d'eau karstique. Une évaluation des débits naturels donne les résultats suivants:

- Au forage S 10 (voir rapport intermédiaire 1973), coord. 589.600/232.060, environ 200 m en amont des premières maisons de Sorvilier

$$Q_n = 70 \text{ l/min} = 100 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Au forage S 12 - S 17, coord. 590.540/231.940, environ 400 m en aval des dernières maisons de Sorvilier

$$Q_n = 28 \text{ l/min} = 40 \text{ m}^3/\text{j}$$

En S 17, la perméabilité  $k = 1.12 \cdot 10^{-4}$  m/s serait suffisante, mais l'alimentation de la nappe n'est pas assurée.

En aval en direction de Court et jusqu'aux portes de la vallée, les perméabilités et les dimensions du talweg ne se conjuguent nulle part favorablement. D'anciennes prospections dans le Chaluet ont abouti à la même conclusion.

#### 5.4. Sources d'éboulis et moraines

##### 5.4.1. Bassins d'alimentation

Au chapitre 4.2, une description a été donnée des moraines rissiennes, des ensembles d'éboulis anciens - moraines et des éboulis de pente récents. Ce sont surtout les deux derniers ensembles, très perméables, qui retiendront l'attention.

Leur répartition est donnée à l'annexe 2 et l'on est d'emblée frappé par la position de très nombreuses sources au pied de ces formations. En fait, en aval de Tavannes, pratiquement toutes ont leur exutoire conditionné par le contact molasse - éboulis. Quelques-unes font exception : elles sortent directement des calcaires du Malm ou de la molasse.

Il est évident que l'on va immédiatement se poser la question de la compatibilité entre le débit des sources et la superficie du bassin-versant d'éboulis anciens et récents.

On peut évaluer le rendement de ces bassins en se référant aux valeurs de précipitation et d'évapotranspiration données au chapitre 2.

Précipitations annuelles	:	~ 1 100 mm
Etr selon Turc	:	~ 400 mm
Lame d'eau infiltrée	:	700 mm

Etant donné l'absence de ruisseaux sur les éboulis/moraines, nous admettons que toutes les précipitations s'infiltrent qui ne s'évaporent pas. Au tableau

fig. 18, on voit que les sources des Amaten et Mochenière reçoivent nécessairement un apport d'eau autre que la seule infiltration sur les éboulis-moraines. Cette alimentation indirecte est à rechercher dans le karst du Malm supérieur, en contact avec les éboulis.

Fig. 18

Relation entre débits et superficie du bassin-versant d'éboulis

Source	1) m2	2) l/min.	3) l/min.
Pâturage de l'Envers Reconvilier	840 000	1 120	380
Echolsons, Noire Fontaine, Stock Malleray	825 000	1 100	1 080
Mochenière Malleray	250 000	330	400
Amaten Bévilard	150 000	200	727

1) Superficie du bassin versant dans les éboulis/moraines et éboulis récents

2) Débit correspondant à une lame d'eau annuelle infiltrée de 700 mm

3) Débit moyen effectif de la source ou du groupe de sources

On constate également que le secteur Amaten - Mochenière est exactement à mi-chemin des sources karstiques de la Birse à l'W et de l'Envers de Court à l'E, c'est-à-dire là où la probabilité est la plus grande de voir s'établir dans le Malm supérieur un réseau d'écoulement avec un ou des exutoires au pied du Montoz. Vers l'W, un apport karstique dans les autres sources de Malleray reste possible. A Reconvilier, une alimentation n'est pas absolument évidente, de même à l'Envers de Sorvilier où les débits des sources sont assez faibles.

Sur le flanc N de la vallée, une alimentation karstique est indiscutable à Saules et à Champoz où la frange d'éboulis est très réduite. Au NE de Loveresse, un appoint du karst est probable.

Pour les autres sources, l'infiltration directe des pluies serait suffisante à assurer les débits.

## 5.4.2. Température des sources

Fig. 19

### Températures moyennes des sources d'éboulis

	T moy. source °C	Ecart max.		T moy. <sup>1)</sup> air	Δ T source-air
Orange	7.95	+2.15	-1.75	7.06	+0.89
Envers Reconvilier	7.25	+3.05	-2.05	7.02	+0.23
Echolsons W	7.35	+0.65	-0.95	7.23	+0.12
Echolsons E	7.25	+1.45	-1.85	7.23	+0.02
Noire Fontaine	7.25	+1.25	-1.45	7.54	-0.29
Stock	7.15	+0.85	-1.15	7.56	-0.41
Mochenière	6.8	+0.2	-0.2	7.32	-0.52
Amaten	5.95	+0.25	-0.25	7.21	-1.26
Saules <sup>2)</sup> sup.+moy.	9.0	+3.2	-1.5	7.43	+1.57
inf. dN	8.4	+1.5	-0.7	7.47	+0.93
inf. dW	8.25	+0.35	-0.45	7.47	+0.78
Champoz <sup>2)</sup> dW	8.25	+0.75	-0.35	7.06	+1.19
dE	8.25	+0.95	-0.65	7.06	+1.19
Envers Loveresse sup.	6.5	+0.7	-0.5	7.08	-0.58
inf.	6.65	+0.65	-0.65	7.11	-0.46

1) Calculé selon chapitre 2

2) Flanc N de la vallée

En premier lieu, on constate que les sources d'Orange et du flanc N exposé au soleil à Saules et Champoz ont des températures plus élevées que la moyenne annuelle de l'air calculée, ce qui est tout à fait attendu.

Ensuite, on constate que les températures des sources deviennent toujours plus basses par rapport à celle de l'air, depuis l'Envers de Reconvilier vers l'est jusqu'aux Amaten. Cette variation correspond très bien à l'image des apports karstiques présumés, donnée au chapitre 5.4.1.: encore possible à l'Envers de Loveresse et Echolsons, ils sont maximums aux Amaten.

Comme ces apports karstiques sont à rechercher dans les calcaires du Montoz, à "haute" altitude, ils seront plus froids et donneront aux sources concernées une tendance hypotherme, bien vérifiée aux Amaten.

Pour Mochenière, Stock et Noire Fontaine, le cheminement est plus long et le bassin-versant plus vaste dans les éboulis. L'hypothermie pourra donc s'atténuer par échange thermique avec le terrain et par un apport supplémentaire d'eau infiltrée à plus basse altitude.

En conclusion à ce chapitre, on voit que, si le contact éboulis - molasse conditionne la position de l'exutoire, l'ensemble des sources concernées ne forme pas une famille homogène. Les plus importantes d'entre elles subissent une forte influence karstique dont il faudra tenir compte.

## 5.5. Sources karstiques

### 5.5.1. Sources issues des dépôts Tertiaires

Plusieurs sources dépendent de circulations souterraines dans le remplissage tertiaire de la Vallée de Tavannes. Comme il a été établi que les calcaires d'eau douce de divers étages en sont le siège, il s'agira bien de manifestations karstiques, quoique souvent peu évoluées, freinées dans leur développement par l'abondance des intercalations marneuses.

La morphologie de surface typique se réduit à quelques rarissimes dolines. Nous en avons observé une (?) au carrefour pt 888 (CN 1105), 200 m au NE de la piscine de Tramelan, ainsi que deux à Orange, 250 m à l'E de la ferme pt 843 (CN 1105).

Les sources suivantes du réseau d'observation sont concernées:

Tramelan:

- Les Benés, captages en petites galeries qui ont touché des niveaux marneux alternant avec des calcaires d'eau douce du Tortonien (FORKERT, 1933)
- Batanvaux, grande galerie dans le Miocène du flanc N
- Moulin Brûlé, karst actif du Delémontien
- Sources de l'Hospice, calcaires d'eau douce du Tortonien, probablement.

Sources hors du réseau d'observation (voir annexe 1):

- Pied du versant de Sous Montbautier - Le Fuet, près des forages profonds F1 - F2
- Pâturage des Sagnes - Orange
- Forêt de Chaindon, nombreuses venues d'eau, notamment au Châtelet, sous la décharge Celtor, S de Saicourt
- Tavannes, source "Borberot", coord. 581.720/230.230 au SW des collèges
- La Vauche, trois sources privées
- Malleray, ciblerie, source communale captée, coord. 587.330/232.830
- Sorvilier: quatre sources communales, Vivier 589.970/231.580, Vélez 589.790/231.670, Champ Soutre 590.030/231.820 et 590.150/231.770.
- Clos Plans Champs - Le Golat, quelques sources privées.

Relevons que plusieurs sources ont leur exutoire un peu déplacé en aval dans la zone d'altération superficielle de la "molasse" mais, proches du contact, ce sont en fait des sources d'éboulis.

L'interdépendance du karst du Malm sup. et de celui du Delémontien a été prouvée par les essais de traçage du Moulin Brûlé. Ailleurs, en particulier sous la Forêt de Chaindon où les venues d'eau sont nombreuses et où des niveaux piézométriques artésiens ont été observés (CSD 1977), la relation est hypothétique, mais nous la tenons néanmoins pour très vraisemblable.

Les observations ont donné les éléments suivants (voir fig. 20):

- Débits : indice de variabilité  $R = \frac{Q \text{ max.}}{Q \text{ min.}}$  très différent, anormalement faible à Batanvaux et Hospice.
- Températures : écarts moyens à faibles, sauf à la source de l'Hospice, moyenne égale ou supérieure à Tair. On obtient une image générale assez peu "karstique", présupposant des chenaux petits et un bon équilibre avec la roche.

Fig. 20

Températures moyennes des sources de la molasse

	R	T moy. source	Ecart max.		T moy. <sup>1)</sup> air	ΔT source-air
Benés W	20	7.0	+1.0	- 0.4	6.85	+0.15
Benés E	17	6.95	+0.25	-0.35	6.85	+0.10
Batanvaux	2.2	9.05	+0.35	-0.45	7.02	+2.03
Hospice	5.4	7.6	+3.0	-3.3	7.0	+0.60
Moulin Brûlé W	24	8.0	+0.6	-0.8	7.17	+0.83
Moulin Brûlé M	100	8.1	+1.7	-0.6	7.17	+0.93
Moulin Brûlé E	23.9	8.1	+0.6	-0.6	7.17	+0.93

1) Calculé selon chapitre 2

### 5.5.2. Sources issues des calcaires du Malm supérieur

Il s'agira de la décharge des systèmes karstiques majeurs de la région. Les calcaires du Malm supérieur représentent environ 51 km<sup>2</sup> d'affleurement, soit 56 % de la superficie du bassin de la Birse à Court.

Les sources issues visiblement des calcaires comprendront, de l'W vers l'E:

- Forêt sur l'Eau - Forêt d'Enfer: dans le défilé de la Trame, plusieurs petites sources, certaines temporaires.
- Source de la Birse: exutoire principal, coord. 581.560/229.210 et 100 m à l'W la source de la Chifelle, coord. 581.480/229.240.
- Saules: une source communale, coord. 583.080/233.230, avec dans le ravin au-dessus, plusieurs sites d'exutoires temporaires.
- Court: Les Chauffours, petite source privée.
- L'Envers: importantes sources, captages de la commune bourgeoise destinés au réseau public et exutoires temporaires.

D'autres exutoires en dehors de la Vallée de Tavannes drainent une partie des eaux:

- Galeries captantes: effet d'un grand drain karstique

Tunnel de Pierre-Pertuis: les venues d'eau sont captées par la commune de Sonceboz.

Tunnel Moutier - Granges: le point de changement de pente se place à l'aplomb de l'arête calcaire au lieu-dit "Sous les Roches" (CN 1106). Le flanc N de la vallée est drainé vers Moutier et le flanc S, y compris le charriage de Sous les Roches, vers Granges. Les deux communes utilisent dans leur réseau les eaux du tunnel.

- Sources naturelles

Sources des Blanches-Fontaines, dans les Gorges du Pichoux et source de la Foule à Moutier, drainant le flanc S du Moron en quasi totalité au moins jusqu'au Fuet (MONBARON, 1975).

Sources de la Cuchatte - Tournedos, grand exutoire complexe dans le défilé de la Suze en aval de Sonceboz, recevant notamment une partie des eaux du flanc N de la Montagne du Droit et du synclinal de Mont-Tramelan.

Lors de hautes eaux exceptionnelles, des exutoires inhabituellement hauts se remettent très temporairement en fonction (MONBARON, 1975), lors des inondations de juin 1973 par exemple:

Saules: dans les ruz, ravins taillés dans les calcaires au-dessus des captages communaux

Court: ruz au-dessus des Chauffours, Champ Chalmé, aval du "Lac Vert" (NL) et Haut de la Fin

Forêt d'Enfer: près de la source non captée notée sur l'annexe 1, 350 m en amont du forage profond F2.

Des chenaux ont ainsi été remis en fonction, montrant d'anciens écoulements.

Nous avons vu au chapitre 5.4.1. et 5.5.1. que les eaux du Malm supérieur pouvaient renforcer l'alimentation d'autres aquifères: les éboulis-moraines, respectivement le Tertiaire.

5.5.2.1. Débits et températures des sources du Malm supérieur

Mis à part la Birse (voir chapitre 5.5.2.2.), nous disposons de mesures serrées aux sources de l'Envers de Court (voir fig. 17).

En fait, seul le débit capté est mesuré. La valeur minimale de débit est représentative, alors que ni la moyenne ni le maximum ne tiennent compte des exutoires temporaires situés plus haut. Les anciennes mesures de 1915 ont révélé des débits max. > 12 000 l/min.

Les températures ont été mesurées dans une chambre collectrice:

2 captages E	591.970/231.280 591.850/231.230	mesures collectives
2 captages W	591.830/231.250 591.850/231.230	mesures collectives

	T moy. source °C	Ecart max.	T moy. air °C	$\Delta t$ source - air
Envers W	6.9	+0.25 -0.35		-0.83
Envers E	6.95	+0.25 -0.25	7.73	-0.78

On constate: - une identité des deux groupes  
 - une très faible variabilité  
 - une moyenne annuelle impliquant un apport d'eau d'altitude, ce qui est d'ailleurs prouvé par l'essai de traçage de la Bergerie

#### 5.5.2.2. Source de la Birse

La plus importante source karstique de la Vallée de Tavannes jaillit des calcaires kimméridgiens au pied N de l'échancrure de Pierre-Pertuis, cluse sèche ébauchée au travers de la chaîne de la Montagne du Droit - Montoz.

Ce site correspond à un "noeud" tectonique où l'anticlinal de la Montagne du Droit subit un abaissement axial avant d'être relayé par un nouveau pli dont le développement vers l'Est donnera la chaîne de Montoz.

Le seuil de l'Argovien, imperméable présumé est, sous Pierre-Pertuis, plus bas que la source de la Birse. Le karst n'a donc pas achevé l'évolution qui tend à drainer toutes les eaux vers l'exutoire le plus bas. Celui-ci correspond aux sources de la Cuchatte - Tournedos, ainsi que l'ont démontré les essais de traçage de Mont-Tramelan et du Beuchat (rapport intermédiaire 1975).

L'exutoire de la source de la Birse est un chenal ascendant dans lequel a été introduit un tube métallique destiné à prélever l'eau nécessaire au réseau de Tavannes. La source de la Chifelle, captée 100 m à l'W, montre une ébauche de reculée, sillon d'une vingtaine de m de largeur, orienté E-W et creusé dans les calcaires kimméridgiens.

Tout le secteur de Pierre-Pertuis montre des traces manifestes d'activité karstique intense, dans les carrières proches du sommet du col notamment. Le "tunnel" de l'ancienne route représente certainement aussi un vestige d'ancien réseau karstique majeur.

La mesure en continu des débits par la station limnigraphique coord. 581.610/229.500 a été complétée par des mesures de températures et des prélèvements pour analyses chimiques.

Nous examinerons maintenant les débits, leur répartition et les indications que l'on peut en tirer quant aux circulations karstiques.

Période d'observation: années hydrologiques 1974 - 1976

	1974 - 1975	1975 - 1976	1974 - 1976
Q moy. l/min.	21 840	17 400	19 620
Q min., moy. journalière	13 320	10 500	
Date	24. - 25.5.	2.-4.7.	
Q max., pointe à la station	55 400	36 000	
Date	27.6.	17.7.	

Les prélèvements de la Commune de Tavannes sont compris dans ces valeurs. Les limnigrammes montrent clairement les périodes de pompage et ont été rectifiés avant traitement.

Il n'a pas été possible d'éviter d'intercepter, à la station, des eaux venant du ruisseau de la Combe de Malvaux à l'W et des eaux de toits et places voisins. D'un débit insignifiant en période sèche, ces apports sont par contre responsables des pointes extrêmes données ci-dessus et qui sont des crues d'orage à fort ruissellement, de très courte durée.

Un autre facteur d'imprécision viendra de l'instabilité du fond alluvial, remanié lors des crues. La courbe de tarage (relation P/Q entre hauteur et débit à la station) établie par l'OEHE a dû être ajustée plusieurs fois. De même, l'envahissement estival du lit par des végétaux aquatiques a pu par moment fausser la relation P/Q.

Le débit maximum attribuable à la source seule est de 43 200 l/min, le 14.9.1975, selon fig. 21. Tenant compte de cette valeur et de celle du 2.7.76, l'indice de variabilité vaut:

$$R = \frac{Q \text{ max.}}{Q \text{ min.}} = 4.3$$

ce qui est très faible pour une grande source karstique.

L'examen des hydrogrammes montre des crues à pointes très peu accentuées, assez surprenantes pour l'exutoire d'un réseau karstique majeur. Les écoulements libres dans les grandes galeries, générateurs de fortes pointes lors des crues, semblent pratiquement inexistantes ici.

Les exemples de crues de septembre 1975 et juin 1976 (fig. 21) montrent une recharge sensible de l'écoulement de base, mais pas de pointes dues à la source. Les petits pics du début de la crue résultent d'écoulements de surface entre la source et la station de mesure.

Fig. 21

Crues de la source de la Birse

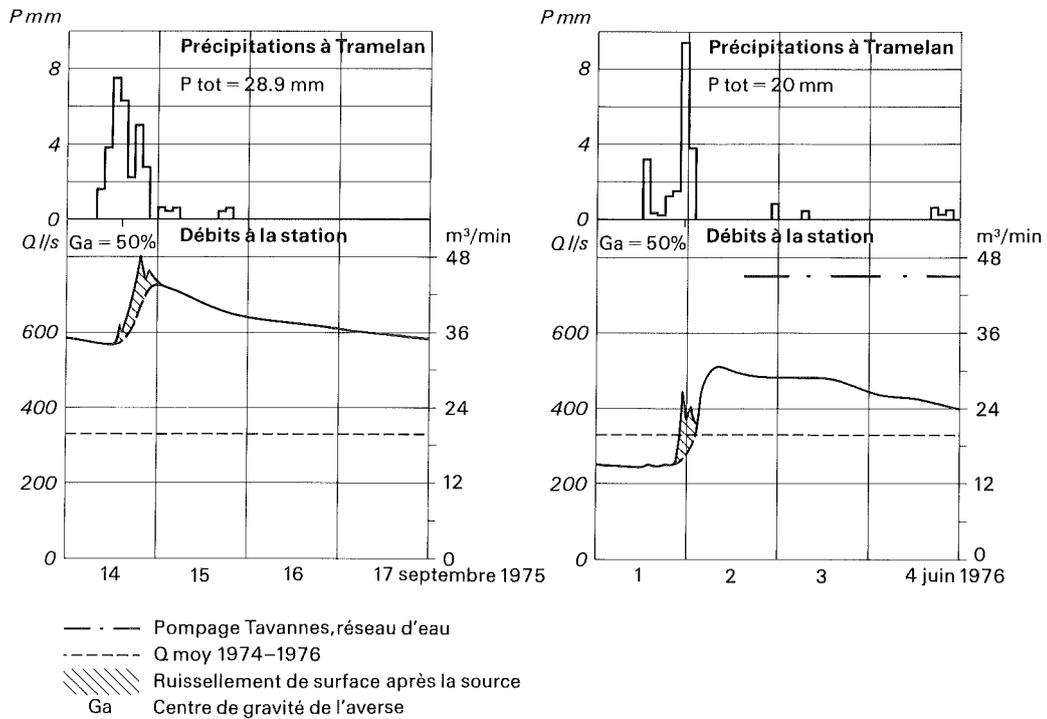
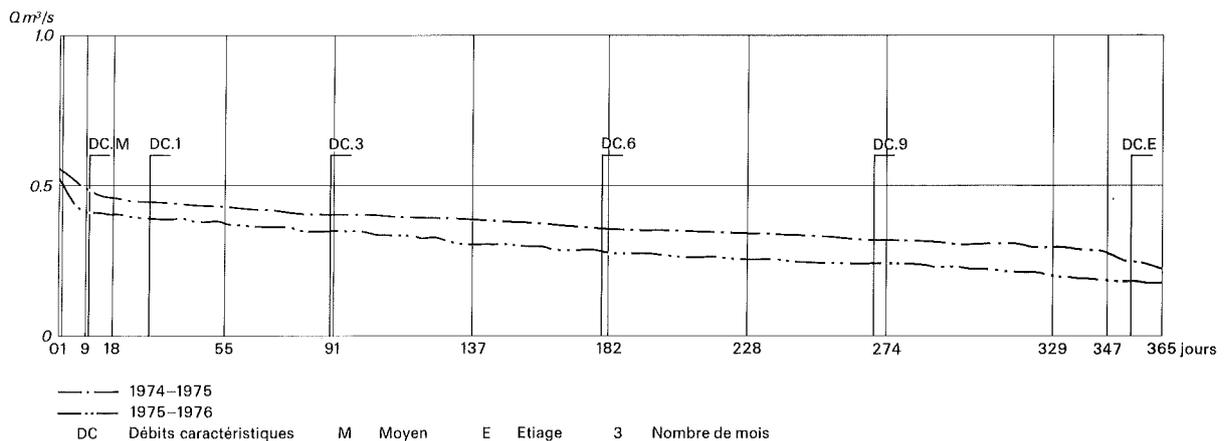
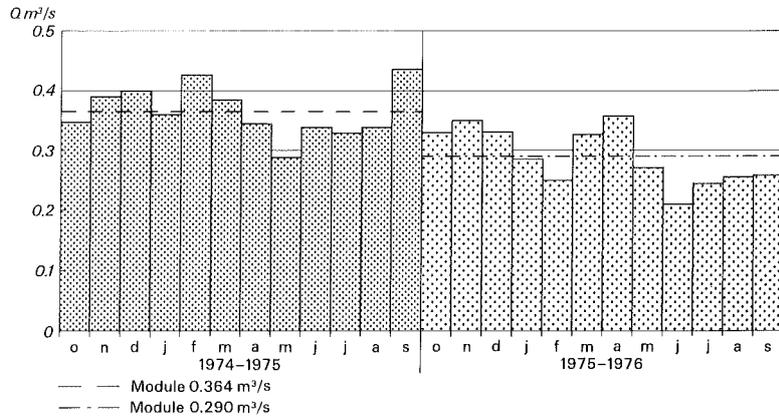


Fig. 22

Débits mensuels et courbe des débits classés- Station de Tavannes



Les décrues, celle par exemple de juin 1976, sont influencées par les prélèvements d'eau potable de Tavannes, qui accélèrent la décharge des réserves en pompant au-dessous du niveau de l'exutoire. Lors de forts débits (septembre 1975 p.ex.), cette influence est peu perceptible.

En appliquant la formule de Maillet à la partie non influencée de l'hydrogramme, c'est-à-dire correspondant à la vidange des réserves ou tarissement, on obtient un coefficient  $\alpha = 0.024$ .

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

$Q_0$  = débit à l'instant  $t_0$ , choisi arbitrairement comme origine

$Q_t$  = débit  $t$  jours après  $t_0$

$t$  = temps en jours

$\alpha$  = coefficient de tarissement

Cette relation permet le calcul du volume encore écouable, pour une quelconque valeur instantanée du débit de tarissement

$$W = \frac{Q_0}{\alpha} \quad Q_0 \text{ en m}^3/\text{j}$$

Ainsi, après l'instant du débit min. observé, soit 10.500 l/min le 3.7.1976, le volume écouable vaut  $W = 630\,000 \text{ m}^3$ .

On peut également prévoir le débit après une période sèche donnée pour un état hydraulique de départ donné (débit au début du tarissement). Par exemple, si on envisageait une sécheresse de 30 j après le 3.7.76, on obtiendrait un débit de 5 145 l/min.

A propos des températures de l'eau de la source, nous relèverons les valeurs suivantes:

T moy. source	8.03 °C	Ecart: -0.53 + 0.47 °C
T moy. air	7.53 °C	(selon chapitre 2)
$\Delta T$ source-air	+0.5 °C	

On constate une température moyenne un peu supérieure à celle de l'air et de faibles écarts, confirmant l'image donnée par les hydrogrammes: la source de la Birse correspond à l'exutoire d'un réseau en charge, relativement profond, sans apport important direct d'écoulements libres.

Une confirmation éclatante a été apportée par des mesures d'isotopes naturels, oxygène-18 ( $^{18}\text{O}$ ) et de tritium ( $^3\text{H}$ , isotope d'hydrogène), permettant une évaluation des temps de séjours de l'eau dans le sous-sol, de l'altitude du bassin-versant et des mélanges saisonniers. Les analyses isotopiques ont été effectuées par l'Institut de physique de l'Université de Berne et les résultats qui concernent plusieurs sources et forages profonds ont été consignés dans un rapport inédit (OESCHGER, SCHOTTERER, SIEGENTHALER, 1977).

Les concentrations en  $^3\text{H}$  (= tritium) ont augmenté fortement puis diminué dès 1964, à la suite d'essais de bombes H dans l'atmosphère. A ces variations artificielles se superposent des variations saisonnières naturelles, avec un maximum à la fin du printemps en général.

Les teneurs en  $^{18}\text{O}$  varient saisonnièrement, maximum en été, et selon l'altitude, plus fortes à basse altitude.

Intégrés aux molécules d'eau, ces isotopes sont des traceurs parfaits dont les teneurs ne varient pas dans les eaux souterraines, une fois celles-ci infiltrées.

Lors des crues, les teneurs en  $^{18}\text{O}$  et  $^3\text{H}$  ne varient pas sensiblement, indiquant un bon mélange des eaux, excluant des apports massifs d'eau très "fraîchement" tombée et conduite par un réseau majeur à écoulement libre.

Une évaluation de l'âge moyen des eaux par l'atténuation des variations saisonnières et par les répercussions d'un peak anormal de  $^3\text{H}$  des pluies en février 1975 a donné 1 à 2 ans en ordre de grandeur. L'altitude moyenne du bassin-versant serait de l'ordre de 1 000 m, valeur donnée sous réserve par les auteurs du fait de la connaissance imparfaite de la relation régionale entre altitude et teneur en  $^{18}\text{O}$  des précipitations.

Il nous paraît important de bien connaître le schéma de fonctionnement de la source, dans la mesure où le percement d'un tunnel routier est envisagé sous Pierre-Pertuis, à une altitude inférieure à la source. Il est évident que cet ouvrage aura une influence négative, étant donné que toute intersection de veine d'eau tendra à accélérer le tarissement en abaissant le niveau de charge (pression) du réseau de drainage karstique souterrain. Le débit de la Birse s'en ressentira plus ou moins fortement, mais l'influence maximum probable s'exercera sur les basses eaux, c'est-à-dire lorsque le risque de pénurie est déjà maintenant élevé.

L'évaluation préalable du risque ainsi qu'une quantification du dommage après la construction pourraient être favorablement abordées par une simulation. Serait particulièrement indiqué ici un modèle à éléments finis avec réseau de drainage karstique "équivalent", c'est-à-dire dont le comportement simule au mieux le comportement de la source, même si sa géométrie ne correspond pas à la réalité, inaccessible, des vrais chenaux karstiques.

## 5.6. Chimie des eaux souterraines

### 5.6.1. Sources et puits en alluvions

Toutes les analyses retenues à la fig. 23 a ont été traitées par le Laboratoire cantonal de Berne, sauf pour les teneurs en sodium  $\text{Na}^+$  et potassium  $\text{K}^+$ , confiées au Laboratoire pour la protection des eaux du canton de Berne.

Les résultats sont donnés sous forme de moyennes et d'écart maximums observés au cours du cycle d'observation. Celui-ci s'étend sur les années hydrologiques 1974 - 1976.

Fig. 23 a

## Analyses chimiques - observations mensuelles

Source/puits	Turbidité StO <sub>2</sub> mg/l	Dureté totale dF	Dureté calcium dF	Dureté magnésium dF	Dureté carbonates dF	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Oxydabilité KMnO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	Ammoniaque direct NH <sub>3</sub> mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	Saturation O <sub>2</sub> %	K mg/l	Na mg/l	Temperature °C
Batanvaux	0.37 +0.23 -0.27	27.89 +0.91 -0.39	26.91 +1.09 -2.11	0.99 -2.01 -0.89	24.59 +0.81 -4.09	16.28 +3.22 -3.88	10.38 +2.62 -3.38	17.13 +2.87 -16.13	2.44 0.56 -0.74	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	9.78 +0.32 -0.38	96.56 +3.44 -4.56	1.93 +0.32 -1.03	6.14 +0.86 -4.34	9.05 +0.35 -0.45
Moulin Brûlé Puits W	3.71 +4.19 -2.91	31.41 +2.69 -5.31	28.91 +2.49 -4.31	2.39 +3.51 -1.19	30.21 +2.39 -5.81	7.02 +4.08 -1.42	9.75 +4.25 -1.75	5.58 +11.42 -4.58	4.59 +4.01 -1.89	0.04 +0.17 -0.04	0.07 +0.137 -0.02	<0.005 - -	<0.1 - -	4.98 +1.72 -1.78	46.75 +18.25 -15.75	3.26 +0.74 -0.78	1.19 +1.61 -0.22	7.6 +0.8 -0.4
Moulin Brûlé Ouest	1.26 +4.04 -0.86	32.26 +1.54 -1.86	30.02 +1.48 -4.72	2.24 +4.26 -1.04	30.69 +1.61 -2.29	3.44 +0.96 -0.84	7.43 +10.57 -4.43	7.07 + 0.93 -6.07	3.51 +3.99 -2.11	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	8.51 +4.39 -0.91	82.25 +41.75 -9.25	0.94 +0.76 -0.26	1.78 +0.22 -0.28	8.0 +0.6 -0.8
Moulin Brûlé milieu	0.77 +1.58 -0.57	30.70 +1.30 -6.80	28.33 +1.67 -6.73	2.37 +0.93 -0.87	29.22 +1.98 -6.52	4.89 +3.71 -3.89	4.71 +9.29 -1.71	9.71 +3.29 -8.71	2.31 +1.59 -0.71	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	8.99 +0.61 -0.79	85.75 +6.25 -6.75	0.59 +0.21 -0.18	2.78 +1.47 -0.93	8.1 +1.7 -0.6
Moulin Brûlé Est	0.55 +0.65 -0.35	30.66 +2.44 -1.86	27.76 +3.74 -6.96	2.59 +5.81 -2.49	29.48 +2.52 -3.08	2.77 +1.03 -1.47	4.71 +3.29 -1.71	5.79 +1.21 -4.79	2.73 +2.47 -1.13	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	8.58 +0.63 -1.68	83.71 +8.29 -16.71	0.45 +0.29 -0.15	1.63 +0.22 -0.33	8.1 +0.6 -0.6
Birse	2.67 +4.83 -2.17	21.48 +2.32 -5.38	20.95 +2.55 -6.15	1.04 +0.26 -0.94	20.38 +1.52 -5.38	3.90 +2.20 -2.40	7.07 +2.93 -3.07	5.14 +0.86 +4.14	3.17 +2.23 -1.57	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	10.74 +0.36 -0.64	104.13 +1.88 -4.13	0.69 +0.31 -0.19	1.29 +0.51 -0.49	8.05 +0.45 -0.55
Mochenière	0.52 +0.88 -0.32	19.31 +1.49 -0.91	18.75 +1.35 -0.95	0.45 +0.45 -0.45	18.34 +1.46 -1.04	2.28 +0.32 -0.68	5.93 +3.07 -2.93	4.96 +23.04 -3.96	1.84 +1.16 -0.44	0.008 +0.029 -0.003	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	11.20 +0.30 -0.50	105.3 +4.6 -4.3	0.46 +0.33 -0.11	0.91 +0.11 -0.11	7.15 +0.2 -0.2
Amaten	0.618 +0.982 -0.418	14.22 +0.78 -0.72	13.35 +0.55 -1.05	0.86 +1.14 -0.86	13.02 +0.38 -0.95	2.25 +0.85 -0.55	8.54 2.46 -2.54	4.15 +0.85 -1.15	1.98 +0.72 -0.38	0.007 +0.014 -0.0	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	11.74 +0.76 -0.34	105.8 +4.17 -2.83	0.41 0.29 -0.07	0.64 +0.12 -0.14	5.95 +0.25 -0.25
Puits de Malleray	1.42 +4.68 -0.82	26.93 +5.37 -5.73	25.36 +3.44 -4.36	1.39 +2.41 -1.19	24.47 +4.63 -4.07	7.24 +7.06 -4.14	22.0 +11.0 -10.0	8.61 +3.39 -5.61	2.91 +1.09 -0.31	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	8.18 +2.31 -1.58	81.12 +28.87 -16.12	4.60 +3.59 -2.20	4.57 +5.63 -2.49	9.25 +1.25 -0.85
L'Envers Est à Court	0.64 +0.56 -0.36	16.4 +6.16 -2.14	15.26 +6.34 -2.26	1.06 +0.64 -0.96	15.00 +6.10 -2.20	2.96 +13.34 -1.46	8.21 +5.79 -5.21	3.93 +1.07 -0.93	2.35 +1.15 -0.75	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	11.36 +0.84 -0.36	106.50 +4.50 -3.50	0.40 +0.30 -0.08	0.59 +0.13 -0.15	6.95 +0.25 -0.25
L'Envers W à Court	0.56 +0.44 -0.26	15.45 +10.65 -1.95	14.51 +10.19 -1.81	1.00 +0.4 -0.2	14.39 +10.51 -1.79	2.91 +11.89 -1.31	8.43 +2.57 -2.43	4.07 +0.93 -1.07	2.39 +3.21 -0.99	<0.005 - -	<0.05 - -	<0.005 - -	<0.1 - -	11.73 +1.77 -0.63	109.44 +16.56 -5.44	0.38 +0.12 -0.10	0.61 +0.15 -0.10	6.9 +0.25 -0.35

8.99 Moyenne des analyses 1974-1976

+0.61	} Ecart max.
-0.79	

Fig. 23 b

Analyses chimiques - observations trimestrielles

Source/puits	Turbidité SiO <sub>2</sub> mg/l	Dureté totale dfr	Dureté calcium dfr	Dureté magnésium dfr	Dureté carbonates dfr	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Oxydabilité KmnO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	Ammoniaque direct NH <sub>3</sub> mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	Saturation O <sub>2</sub> %	K mg/l	Na mg/l	Temperature °C
Les Benés W	0.60	37.55	28.35	9.20	36.35	4.40	3.50	5.50	4.90	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.87	1.55	7.0
	+0.2	+0.25	+0.25	+0	+0.35	+0.30	+0.50	+0.50	+2.20	-	-	-	-	-	-	+0.04	+0.15	+1.0
	-0.2	-0.25	-0.25	-0	-0.35	-0.30	-0.50	-0.50	-2.20	-	-	-	-	-	-	-0.04	-0.15	-0.4
Les Benés E	0.6	32.7	30.20	2.30	31.75	3.25	4.5	7	5.25	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.48	1.32	6.95
	+0.2	+1.30	+1.60	+0.20	+1.75	+0.75	+0.5	+0	+1.85	-	-	-	-	-	-	+0.02	+0.02	+0.25
	-0.2	-1.3	-1.60	-0.10	-1.75	-0.75	-0.5	-0	-1.85	-	-	-	-	-	-	-0.02	-0.02	-0.35
Hospice Tramelan	0.77	33.53	30.38	3.15	32.1	4.08	5.00	7.5	3.05	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.77	1.61	7.6
	+0.53	+2.27	+1.41	+2.05	+2.7	+1.61	+2	+1.5	+0.85	-	-	-	-	-	-	+0.33	+0.38	+3.0
	-0.37	-1.93	-1.58	-1.65	-3.1	-1.28	-2	-1.5	-0.85	-	-	-	-	-	-	-0.31	-0.31	-3.3
Orange Tavannes	0.52	29.9	28.30	2.10	27.18	6.25	4.83	16	2.62	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.94	1.66	7.95
	+0.28	+3.10	+3.20	+3.30	+3.12	+5.55	+2.17	+9	+2.78	-	-	-	-	-	-	+0.36	+0.94	+2.15
	-0.32	-4.30	-8.10	-1.70	-3.88	-3.15	-1.83	-7	-1.02	-	-	-	-	-	-	-0.34	-0.66	-1.75
L'Envers Reconvilier	0.93	22.20	21.23	0.97	20.6	2.50	9.33	4	3.23	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.48	0.89	7.25
	+0.37	+2.0	+1.57	+0.43	+1.0	+1.30	+2.67	+0	+1.27	-	-	-	-	-	-	+0.12	+0.01	+3.05
	-0.43	-1.60	-1.43	-0.27	-1.10	-0.7	-2.33	-0	-0.73	-	-	-	-	-	-	-0.15	-0.01	-2.05
L'Envers sup. Loveresse	1.27	21.00	20.37	0.63	19.27	2.13	13.67	3.00	3.37	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.46	0.73	6.50
	+1.43	+1.70	+1.93	+0.67	+2.03	+0.27	+5.33	+1.0	+0.63	-	-	-	-	-	-	+0.15	+0.03	+0.7
	-0.87	-1.60	-1.17	-0.43	-1.17	-0.23	-4.67	-1.0	-0.47	-	-	-	-	-	-	-0.15	-0.03	-0.5
L'Envers inf. Loveresse	1.07	21.10	20.50	0.60	19.37	2.23	13.67	2.67	3.50	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.92	0.75	6.65
	+0.43	+2.30	+2.20	+0.10	+0.47	+5.33	+0.33	+0.30	+0.30	-	-	-	-	-	-	+0.59	+0.05	+0.65
	-0.57	-1.50	-1.30	-0.20	-1.27	-0.33	-3.67	-0.67	-0.50	-	-	-	-	-	-	-0.59	-0.05	-0.65
Echolsons W	0.90	25.40	24.50	0.65	23.50	3.17	8.15	5.33	1.67	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.43	0.82	7.65
	+1.2	+1.20	+0.70	+0.25	+1.0	+0.23	+4.85	+0.66	+0.63	-	-	-	-	-	-	+0.07	+0.12	+0.35
	-0.70	-1.0	-1.0	-0.25	-0.80	-0.47	-4.75	-1.33	-0.37	-	-	-	-	-	-	-0.07	-0.12	-0.45
Echolsons E	0.6	24.90	23.60	0.65	22.60	2.77	8.67	4.66	1.70	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.41	0.78	7.77
	+0.2	+0.90	+2.0	+0.45	+0.40	+0.23	+6.33	+0.33	+0.20	-	-	-	-	-	-	+0.09	+0.06	+0.43
	-0.3	-0.70	-2.0	-0.45	-0.70	-0.27	-5.67	-0.66	-0.30	-	-	-	-	-	-	-0.09	-0.06	-0.57
Noire Fontaine	0.41	22.78	22.0	0.6	21.23	2.15	11.25	3.20	2.65	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.53	0.98	7.25
	+0.10	+0.83	+1.00	+0.4	+0.98	+0.25	+3.75	+0.60	+1.25	-	-	-	-	-	-	+0.18	+0.03	+1.25
	-0.11	-0.88	-0.30	-0.4	-1.33	-0.15	-2.25	-0.20	-0.85	-	-	-	-	-	-	-0.18	-0.03	-1.45
Stock	3.75	21.68	20.70	5.45	20.88	4.85	10.25	3.85	6.07	-	-	-	-	-	-	0.57	1.12	7.15
	+8.25	+2.73	+2.00	+13.45	+1.33	+4.15	+3.75	+1.35	+3.43	-	-	-	-	-	-	+0.24	+0.08	+0.85
	-3.05	-1.48	-1.50	-5.15	-1.68	-2.05	-7.25	-1.65	-2.17	-	-	-	-	-	-	-0.24	-0.08	-1.15
Sauls moy. + sup.	1.73	25.10	23.98	1.07	23.43	3.05	11.0	2.13	4.23	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.55	1.05	9.0
	+1.48	+0.80	+0.63	+0.33	+0.58	+0.55	+2.0	+0.88	+0.88	-	-	-	-	-	-	+0.25	+0.09	+3.2
	-1.23	-1.20	-1.38	-0.57	-0.73	-0.65	-1.0	-0.63	-1.53	-	-	-	-	-	-	-0.19	-0.05	-1.5
Sauls inf. drain E	0.53	25.43	24.45	0.80	23.58	2.73	11.50	2.63	4.68	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.37	0.77	8.4
	+0.08	+0.18	+0.35	+0.60	+0.43	+0.28	+1.50	+0.38	+0.63	-	-	-	-	-	-	+0.13	+0.03	+1.5
	-0.03	-0.43	-0.45	-0.60	-0.50	-0.43	-1.50	-1.13	-1.48	-	-	-	-	-	-	-0.17	-0.05	-0.7
Sauls inf. drain N	0.50	24.93	23.90	0.80	23.33	2.50	12.25	3.08	5.20	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	11.2	105	0.38	0.87	8.25
	+0.20	+0.88	+0.40	+0.70	+0.98	+0.40	+2.75	+0.23	+2.00	-	-	-	-	-	-	+0.12	+0.13	+0.35
	-0.20	-0.63	-0.90	-0.70	-0.83	-0.50	-2.25	-0.08	-1.80	-	-	-	-	-	-	-0.08	-0.07	-0.45
Champo drain W	0.95	27.07	26.23	0.83	24.83	5.57	5.00	19.00	2.07	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.58	1.99	8.25
	+0.45	+0.23	+1.03	+0.77	+0.47	+0.63	+1.00	+3.00	+0.53	-	-	-	-	-	-	+0.13	+0.19	+0.75
	-0.25	-0.17	-0.93	-0.63	-0.53	-0.37	-1.00	-2.00	-0.77	-	-	-	-	-	-	-0.13	-0.19	-0.35
Champo drain E	1.25	24.67	24.53	0.13	22.93	5.20	6.00	13.67	2.60	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	-	0.46	1.80	8.25
	+0.45	+1.33	+1.17	+0.17	+0.77	+0.60	+1.0	+1.33	+1.40	-	-	-	-	-	-	+0.24	+0.08	+0.95
	-0.45	-0.97	-0.93	-0.13	-0.63	-0.40	-2.0	-1.67	-1.50	-	-	-	-	-	-	-0.15	-0.10	-0.65

8.99 Moyenne des analyses 1974-1976

+0.61 } Ecart max.  
-0.79 }

Fig. 23 c

Analyses chimiques - observations isolées

Source/puits	Turbidité StD <sub>2</sub> mg/l	Dureté totale ofr	Dureté calcium ofr	Dureté magnésium ofr	Dureté carbonates ofr	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Oxydabilité KMnO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	Ammoniaque direct NH <sub>3</sub> mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	K mg/l	Saturation % O <sub>2</sub> mg/l	Na mg/l	Température °C
Champeron	0.7	13.7	12.25	1.4	12.6	1.6	9	4	1.55	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	0.31	-	0.61	6.6
Droit de Malleray drain N	0.6	18.8	18.7	0.1	17.7	2.8	9	7	3.8	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	0.34	-	1.12	8.5
Droit de Malleray drain W	0.6	20.2	20.1	0.1	18.9	3.1	11	7	3.0	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	0.32	-	1.12	9.4
Vivier Sorvillier	1.9	30.2	27.9	2.3	29.1	4.5	8	9	1.3	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	0.73	-	1.82	8.3
Les Pois dW Sorvillier dE	0.5	17.3	16.9	0.4	15.8	2.2	14	6	1.9	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	0.41	-	1.57	8.2
	0.3	18.9	18.2	0.7	17.4	2.3	15	6	1.9	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	-	0.38	-	0.82	8.1

8.99 Moyenne des analyses 1974-1976

+0.61 } Ecart max.  
-0.79 }

Fig. 23 d

Analyses chimiques des forages profonds

Forage	Turbidité StD <sub>2</sub> mg/l	Dureté totale ofr	Dureté calcium ofr	Dureté magnésium ofr	Dureté carbonates ofr	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	Nitrites mg/l	Ammoniaque, direct NH <sub>3</sub> mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	Saturation O <sub>2</sub> mg/l	K mg/l	Na mg/l	Température °C	Débites l/mn.	Date
Les Rosiers	0.86	15.59	13.63	1.91	15.01	3.45	3.63	3.50	1.68	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	13.80	138.75	0.42	0.67	10.4	A	
	+2.84	+0.31	+0.57	+0.39	+0.49	+11.55	+4.38	+1.50	+0.43	-	-	-	-	+0.50	+5.25	+0.08	+0.08	+0.2		
	-0.66	-1.69	-1.13	-0.51	-2.41	-1.95	-3.63	-0.5	-0.78	-	-	-	-	-1.20	-8.75	-0.04	-0.07	-0.1		
Le Fuet F 1	40	31.1	23.7	7.4	30.5	3.7	10	4	2.2	0.024	0.1	1.85	<0.1	-	-	-	-	9.0	31 A	8.10.74
F 1	5.1	31.9	24.7	7.2	30.4	3.9	12	4	2.3	0.029	<0.005	<0.005	<0.1	-	-	2.3	3.3	9.2	24 A	7.11.74
F 2 >200		27.0	25.5	1.5	26.4	5.8	8	4	2.2	0.038	0.6	<0.005	<0.1	5.8	59	2.33	5.28	10.4	175 P	14.2.75
F 2	1.1	16.1	14.9	1.2	14.8	1.7	7	3	2.9	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	7.2	72	1.8	2.3	9.8	14 A	24.4.75
F 2	1.1	25.9	23.6	2.3	25.1	3.2	9	3	3.2	<0.005	<0.05	<0.005	<0.1	6.9	68	1.75	2.25	9.0	10 A	22.9.75

A: Débit artésien P: Pompage

Il ressort évidemment que les eaux de la région portent la forte empreinte des calcaires, présents dans les roches compactes et dans les terrains meubles des alluvions et éboulis, sous forme de galets et blocs.

La dureté totale donne une expression de l'ensemble de la minéralisation de l'eau et permet les constatations suivantes:

- Les duretés fortes, > 27 ofr (degrés français) correspondent aux eaux de la "molasse": Batanvaux, Benés, Hospice, Moulin Brûlé, Orange, Vivier avec une exception au Droit de Malleray.

- Les duretés faibles apparaissent dans les sources karstiques du Malm supérieur ou recevant des eaux de celui-ci, au pied du Montoz. On retrouve ainsi une très bonne superposition des caractéristiques chimiques et de la possibilité d'alimentation indirecte depuis le karst donnée au chapitre 5.4.: Envers de Reconvilier et Loveresse, Echolsens, Noire Fontaine, Stock, Mochenière, Amaten, Les Pois. L'Envers de Court et la source de la Birse ont aussi des duretés faibles, suggérant fortement un "lien de parenté" ou plutôt un bassin d'alimentation comparable ou commun.
- La variabilité des duretés correspond assez bien à la variabilité des débits. Les écarts les plus forts viennent de l'Envers de Court, seul groupe de sources possédant un exutoire supérieur temporaire, périodiquement en activité.
- La corrélation entre dureté totale et température (fig. 24) laisse voir deux groupes bien nets. Aux sources de la molasse, la dureté décroît avec la température selon la corrélation

$$D \text{ } ^\circ\text{fr} = 58.14 - 3.35 T \text{ } ^\circ\text{C} \quad r = 0.85 \text{ (coefficient de corrélation pour 10 paires de valeurs)}$$

et aux sources du Malm et éboulis, la dureté croît avec T, selon

$$D \text{ } ^\circ\text{fr} = 4.10 T \text{ } ^\circ\text{C} - 9.03 \quad r = 0.80 \text{ (18 paires)}$$

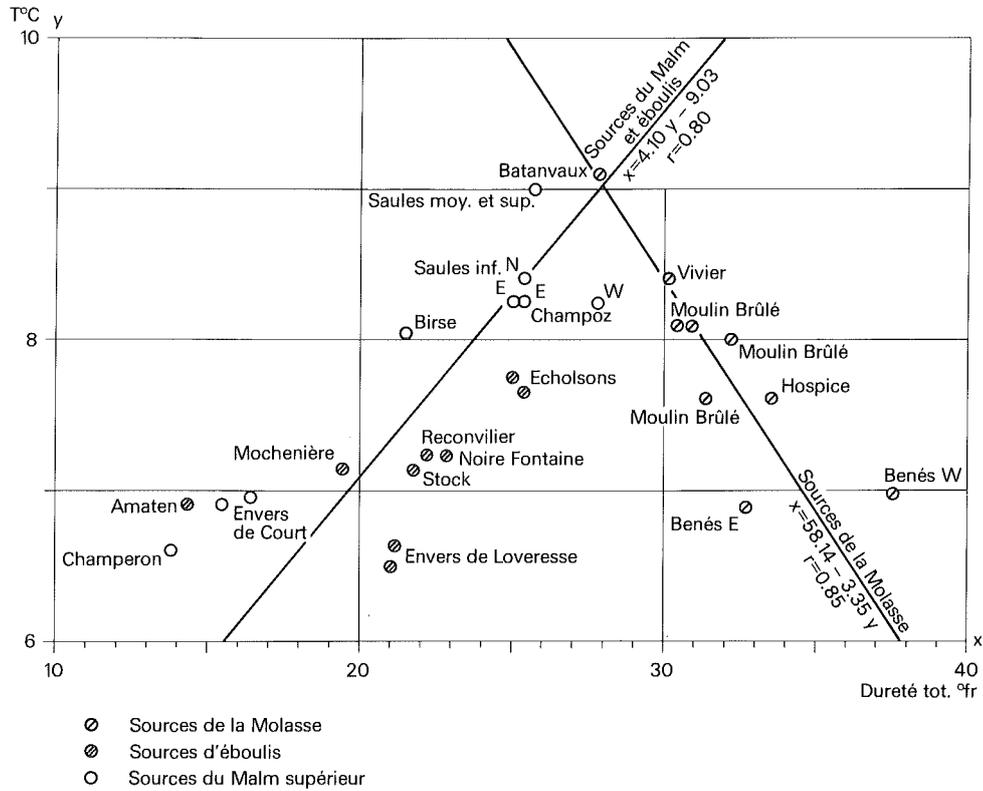
La dureté magnésienne, plus forte dans les sources molassiques de Tramelan et à Orange semble subir l'influence des terrains tertiaires. Une exception à signaler, la source du Stock à Malleray atteint 5.45 °fr contre < 1.1 °C dans le Malm et les éboulis.

Le groupe d'anions chlorures Cl<sup>-</sup>, sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ne montre pas de variations corrélables à un élément hydrogéologique particulier. Localement, des teneurs élevées momentanément peuvent être des indices d'apports d'eau de surface polluée: puits de Moulin Brûlé, puits de Malleray. Une pointe de Cl<sup>-</sup> exceptionnelle le 25.7.75 à l'Envers de Court n'est pas expliquée.

Les cations sodium Na<sup>+</sup> et potassium K<sup>+</sup> ont des teneurs faibles en général. On retrouve des valeurs un peu plus élevées aux sources de la molasse de Tramelan et à Orange. Les valeurs fortes de Na<sup>+</sup> et/ou K<sup>+</sup> à Batanvaux, puits de Moulin Brûlé et de Malleray pourraient venir d'apports polluants. Le rapport Na/K, plus grand que 1 selon MISEREZ (1970) est quelques fois inversé sans que l'on puisse toujours invoquer d'apport polluant: Envers de Loveresse inf., en forêt par exemple.

Fig. 24

Corrélation dureté totale - température



5.6.2. Qualité des eaux de sources et puits

Du moment que toutes les sources importantes sont captées, nos points de prélèvement ne comprennent que des captages publics. Il faut donc s'attendre à des résultats très satisfaisants, quant à la qualité chimique des eaux.

Effectivement, il n'existe pas de source importante dont les eaux restent inemployées suite à des défauts majeurs. En plus des éléments ci-dessus, d'autres critères de potabilité sont analysés: turbidité, oxydabilité, nitrites ( $\text{NO}_2$ ), ammoniacque, fer, oxygène dissout. Selon le tableau fig. 23 a, on constate plusieurs insuffisances au seul puits de Moulin Brûlé. Ailleurs, seules des valeurs isolées ou sporadiques ne répondent pas aux normes.

En résumé, le critère de qualité chimique des eaux ne joue qu'un rôle très secondaire dans l'appréciation des ressources en eau de la région.

La qualité bactériologique des captages n'a pas été traitée dans cette étude. Estimant qu'une insuffisance peut être corrigée sans frais excessifs, actuellement, ce critère n'est pas décisif non plus.

### 5.6.3. Eaux des forages profonds

Tant aux Rosiers qu'au Fuet, le karst noyé profond a révélé des eaux d'excellente qualité. Aux Rosiers, le tableau fig. 23 b montre notamment une dureté faible, une variabilité faible, à part les anions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{--}$ . L'état bactériologique est très bon également (MORNOD, BERTRAND, 1975). Les eaux en provenance de la molasse ont été éliminées par cimentation à l'extérieur d'un tube de garniture.

Les analyses de tritium et oxygène-18 (OESCHGER et al, 1977) ont donné un âge moyen de l'eau de 10 à 20 ans, avec des fluctuations des teneurs qui impliquent un mélange imparfait des eaux. Ceci s'explique bien par des apports venant de différentes parties du "bassin-versant", avec des variations des apports selon les conditions hydrauliques souterraines, en conformité avec le schéma du karst exposé au chapitre 5.7.

Au Fuet, le forage F1, profondeur 285 m, livre par artésianisme un mélange d'eau du Malm et de la Molasse, d'où une minéralisation plus forte.

En F2, les séquelles du chantier ont été éliminées progressivement: la forte turbidité du pompage du 14.2.1975 en particulier s'est effacée dans les eaux artésiennes. Dans ce forage d'exploration de 401 m, un tronçon supérieur de 79 m dans la molasse a été isolé par un tube plein et un bouchon de ciment à la base.

Ces premiers résultats chimiques de l'eau du karst noyé profond peuvent être considérés comme très positifs et encourageants.

## 5.7. Le karst de la Vallée de Tavannes, essai de synthèse

### 5.7.1. Nouvelles observations significatives

Les éléments d'observation essentiellement nouveaux ont trait d'abord aux forages profonds du Fuet et des Rosiers - Pontenet, décrits dans le rapport intermédiaire 1974, et ensuite aux essais de traçage:

- Mont Tramelan - La Paule et le Beuchat (rapport intermédiaire 1975)
- Les Craux - Montagne de Saules (MONBARON, 1975).

Ces derniers ont donné en résumé les résultats suivants:

Injection	Les Craux	La Paule	Le Beuchat
Coordonnées	583.555/234.830	571.060/228.920	575.210/228.810
Site géologique	Anticlinal de Moron Séquanien, flanc S	Synclinal de Mont-Tramelan Kimméridgien-Portlandien	Anticlinal de la Montagne du Droit Séquanien, flanc N
Résultats positifs, sources	Blanches Fontaines 583.650/237.610	Source de la Birse 581.570/229.220 Cuchatte-Tournedos 580.900/226.510	Source de la Birse 581.570/229.220 Cuchatte-Tournedos 580.900/226.510 Tunnel de Pierre-Pertuis, Sonceboz 581.530/228.840

Les forages profonds ont démontré l'existence d'un karst noyé, captif et artésien sous la Vallée de Tavannes: le niveau de pression est à quelques dm au-dessus du sol au Fuet et à environ 40 m aux Rosiers. Ces faits sont confirmés par d'autres forages à faible profondeur, en contact avec le karst des calcaires du Tertiaire, au Moulin Brûlé (S 21, niv. piéz. + 0.5 cm s/sol) et dans la Forêt de Chaidon (décharge contrôlée de Celtor, niv. piéz. + 1 m s/sol).

La mesure des débits et paramètres physico-chimiques des sources ainsi que d'autres essais de traçage dans la région et en bordure de celle-ci complèteront l'image, qui, telle un puzzle, s'est peu à peu formée et imposée à l'esprit en cours d'étude.

L'importance du karst du Malm supérieur s'est révélée à propos de l'alimentation des sources d'éboulis au pied du Montoz et du Moron et de l'interdépendance des sources de Moulin Brûlé, liées à un karst des calcaires d'eau douce tertiaires. L'état peu unifié, peu évolué du drainage par les chenaux souterrains a été mis à jour par la multiplicité des exutoires concernés et par les caractéristiques de ceux-ci; les phénomènes de diffluence ou divergence des cheminements de l'eau sont apparus fréquents, sinon généralisés.

Finalement, nous nous sommes interrogés sur l'intérêt et la validité des hypothèses de départ posées au chapitre 1.2. et qui ont conditionné dans une large mesure les limites et le déroulement des investigations.

### 5.7.2. La Vallée de Tavannes, une unité hydrogéologique?

Lors de l'établissement des cartes de protection des eaux (CSD, B. SCHINDLER, 1972), une délimitation de zones S2 ou zones provisoires avait été faite et publiée par l'OEHE sous forme de cartes 1: 25 000.

Une carte structurale du contact Séquanien - Argovien avait été dressée, façon de faire la synthèse des données géologiques existantes et de permettre l'application des hypothèses de l'imperméabilité de l'Argovien avec ses conséquences sur les écoulements souterrains (voir chapitre 1.2.).

De ces prémices a été déduite une première image de la répartition des bassins-versants des sources karstiques.

A ce stade, la Vallée de Tavannes apparaît comme un ensemble assez bien délimité par les culminations de l'imperméable dans les anticlinaux. Le flanc S du Moron

et le Mont Girod sont toutefois éliminés au profit des sources de La Foule et des Blanches Fontaines, le rôle de cette dernière étant encore mésestimé.

L'altitude du seuil argovien sous Pierre-Pertuis est connue, sans que l'on se hasarde à des suppositions extrêmes, telle une diffluence vers la Vallée de la Suze. Il faut bien conserver un bassin-versant à la source de la Birse, dans le cadre de cette conception qui ignore le partage!

Le rôle quantitatif du tunnel Moutier - Granges doit malheureusement être délibérément ignoré, devant l'impossibilité matérielle de maîtriser la mesure des débits venant de la Vallée de Tavannes: autant au N qu'au S, les eaux des différentes unités stratigraphiques et tectoniques sont mélangées. Il restait l'intention de définir un bassin-versant du tunnel et de l'exclure du périmètre d'étude.

Ensuite, de nouvelles observations ont été faites, les plus significatives étant évoquées ci-dessus au chapitre 5.7.1. Il en est ressorti que:

- L'Argovien est un imperméable bien imparfait. L'essai de traçage des Craux, sur le flanc S de l'anticlinal démontre un écoulement vers le N, malgré la situation de la charnière argovienne. Ce fait ne surprend à vrai dire pas outre mesure: l'essai de traçage des Breuleux (OEHE/G. DELLA VALLE, 1973) a démontré qu'un autre imperméable régional présumé, les marnes de l'Oxfordien, était traversé au moins six fois. Nous devons considérer l'Argovien, soit comme un semi-perméable, soit comme un imperméable lacunaire, "troué" par des accidents tectoniques, des failles notamment.
- Les écoulements souterrains ont un comportement incompatible avec l'hypothèse d'une perméabilité homogène des calcaires du Malm supérieur qui tendrait à définir des "systèmes d'écoulement" séparés (TOTH, 1962-1963) alors que l'on observe des bassins mixtes, communs à plusieurs exutoires.

On sait maintenant qu'à l'ensemble ("l'unité") géologique et morphologique bien défini qu'est la Vallée de Tavannes ne se superpose pas une "unité" hydrogéologique dans le sens d'un ensemble naturel lui aussi bien défini par des limites hydrologiques, bien séparé des voisins, avec ses régions d'infiltration ("bassin-versant") et son exutoire, impliquant un bilan hydrique simple et équilibré du type  $P = E_{tr} + Q_e + \Delta R$  ( $P$  = précipitations,  $E_{tr}$  = évapotranspiration,  $Q_e$  = débit à l'exutoire,  $\Delta R$  = variation des réserves souterraines).

On sait également qu'il n'est pas possible de redéfinir en choisissant d'autres limites plus restrictives (exclusion des "bassins-versants" de la Cuchatte, du tunnel Moutier - Granges p.ex.) une "unité" selon la conception énoncée ci-dessus. Ceci résulte de l'existence généralisée de bassins-versants communs à plusieurs sources, liés aux phénomènes de diffluence observés, ici et dans d'autres régions, par ex. le flanc N du Vallon de St.Imier, la "Chaîne du Lac" en bordure N du lac de Biemme (SCHINDLER et GROBET, rapports inédits en préparation) ou, dans une région karstique très différente, le secteur du

Rawil (WILDBERGER, BADOUX, NABHOLZ, 1978).

Pour retrouver la cohérence nécessaire à la compréhension des faits observés, nous ferons appel à un schéma de fonctionnement du karst tenant compte de l'hétérogénéité de la perméabilité, en accord avec la synthèse de KIRALY (1978).

Un premier niveau d'hétérogénéité, d'origine stratigraphique est introduit. Les calcaires du Malm supérieur correspondent globalement à un niveau fortement perméable, limité par deux semi-perméables que sont l'Argovien vers le bas et le Tertiaire vers le haut. Des échanges sont admis comme possibles au travers des semi-perméables, en accord avec les essais de traçage (Les Craux, Moulin Brûlé) et avec la présence de niveaux antérieurs et sources karstiques dans le Tertiaire.

Deuxième niveau d'hétérogénéité, le massif calcaire du Malm supérieur est conçu comme un ensemble de blocs à perméabilité assez faible due à de fines fissures peu élargies par dissolution, séparés par des zones plus karstifiées, fortement perméables, formant drainage des blocs en période de décrue ou "rechargeant" ceux-ci lorsque l'état de pression augmente dans les chenaux suite à une forte infiltration. On peut imaginer des blocs d'ordre de grandeur différents, emboîtés, drainés respectivement par des réseaux de chenaux d'ordre de grandeur différents, dont la vidange induira la complexité observée des décrues des sources karstiques.

Le réseau de drainage fonctionnant comme exutoire souterrain des blocs moins perméables, il se développera des "systèmes d'écoulement locaux" en chapelet le long des grands chenaux. Un "système d'écoulement" selon TOTH est défini comme un ensemble de lignes d'écoulement reliant une région d'infiltration à un exutoire. Dans un système "local", région alimentaire et exutoire sont jointifs.

Une source karstique n'aura ainsi pas un "système d'écoulement" propre, supposant un secteur alimentaire défini et séparé des voisins, mais résultera de la collecte de plusieurs chaînes ou chapelets de systèmes locaux développés autour des chenaux karstiques majeurs.

Les chenaux karstiques résultent de l'élargissement par dissolution de discontinuités de la roche, c'est-à-dire de fissures, diaclases, plans de faille et de stratification etc., organisés en familles d'orientation définies. Les chenaux qui les suivent seront interconnectés, au gré des intersections, des discontinuités. Il en résulte des possibilités de confluence ou de diffluence selon le sens des écoulements souterrains.

Lorsqu'il y a diffluence, les "chaînes de systèmes locaux" situées à l'amont seront partagées entre plusieurs sources. Ainsi que KIRALY l'a démontré à l'aide de modèles à éléments finis à géométrie simplifiée, vue en plans, une région pourra comprendre des secteurs alimentaires communs, juxtaposés à des secteurs alimentaires propres à l'un ou l'autre exutoire, leur répartition étant fonction de l'altitude des exutoires, de la forme du massif karstique, de

l'état hydrique du moment, des caractéristiques hydrauliques et de la géométrie réelle des chenaux. Les limites sont variables dans le temps, fonction de l'état hydrique du moment. L'auteur est ainsi amené à définir un type d'unité hydrogéologique plus complexe, le "système d'écoulement karstique" qui "est un ensemble de systèmes locaux reliés par le réseau très perméable de telle façon que les eaux souterraines des systèmes locaux aboutiront soit à une même source unique (système karstique simple ou confluent), soit à un même groupe de plusieurs sources (système karstique diffluent)" (KIRALY, op. cit., p. 149).

La Vallée de Tavannes délimitée au chapitre 1, ne correspond pas à cette définition, raison pour laquelle, notamment, l'établissement d'un bilan hydrique de la région n'a pas grande signification, étant donné le nombre de termes insaisissables actuellement. De la tentative d'application concrète de la définition ci-dessus à la région étudiée, on conclura que la Vallée de Tavannes est une part de plusieurs systèmes karstiques diffluents. Leur délimitation est envisageable jusqu'à un certain point, elle a valeur d'hypothèse.

Système I : Régions S et W: Montoz W, Montagne du Droit, synclinal de Mont-Tramelan, Sources: Cuchatte - Tournedos, Birse, tunnel de Pierre-Pertuis, Moulin Brûlé, Benés, Batanvaux (?). Alimentation possible de la nappe captive sous le Tertiaire de la vallée, la décharge étant envisagée par drainance au travers de la molasse avec alimentation de petites sources et zones d'émergence diffuses.

Système II : Région centrale Nord: chaîne de Moron W, Le Fuet, Montbautier. Sources: Blanches Fontaines, sources de Saules. Les limites E et W ne sont pas définies. Une "zone drainante" orientée S-N entre Saules et le Pichoux (MONBARON 1975) peut faciliter le passage au travers de l'Argovien vers la cluse du Pichoux et ses sources. Le système des Blanches Fontaines comprendra également de vastes surfaces hors de la région étudiée.

Système III : Région NE: Moron, Champoz, Mont-Girod - Graitery. Sources: La Foule, Loveresse - Pontenet (?), Champoz, Les Chaufour, Champ Chalmé, Chaluet N (?), tunnel Moutier-Granges secteur N. Les limites W (système II) et E restent à définir. On peut envisager un système séparé ayant la branche N du tunnel comme exutoire principal.

Système IV : Région S-SE: Montoz. Sources: tunnel Moutier - Granges, secteur S, Envers de Court, Amaten, Mochenière, Echolsens, Envers de Loveresse. Décharge artificielle au forage des Rosiers à valoir probablement sur ce système.

La limite des systèmes I et IV n'est pas définie.

En résumé, la Vallée de Tavannes apparaît comme un château d'eau sollicité de

tous côtés sauf à l'W, et non pas comme un bassin dépressif attirant à lui les eaux périphériques.

Par chance pour les utilisateurs de la région, l'évolution du karst est peu avancée, sans développement de réseaux profonds et actifs. Il subsiste plusieurs sources et surtout une très importante zone noyée exploitable sous le synclinal.

Le schéma de fonctionnement du karst exposé ci-dessus n'a pas seulement valeur académique. L'image ainsi donnée va influencer l'orientation des études futures: protection des eaux souterraines, recherches d'eau potable, évaluation des influences d'ouvrages importants, tunnels tout spécialement.

A ce schéma, valable pour la tranche noyée des calcaires, il convient d'ajouter, au dessus, une zone non saturée, caractérisée par le transit vers la zone noyée des eaux météoriques et par une évacuation partielle, rapide et souvent par des galeries à écoulements libres, vers les exutoires. Nous avons vu au chapitre 5.5.2.2. qu'à la source de la Birse, la part du "ruissellement souterrain" immédiat était insignifiante, probablement inférieure à 5 % selon les mesures de  $^{18}O$  et  $^3H$ . Son rôle peut être plus important aux sources de l'Envers de Court, qui ont un exutoire supérieur périodiquement actif.

Etant donné l'état d'évolution du karst de la Vallée de Tavannes et les observations aux sources, nous pensons que les écoulements de la zone non saturée n'influencent que très peu les débits moyens des sources de la région. L'impact sur les sources extérieures alimentées en partie depuis la vallée n'est pas mesuré à ce jour, mais il semble bien que l'essentiel soit exporté.

## 6. AMENAGEMENT DES EAUX

### 6.1. Ressources actuelles

Comme nous l'avons vu, les points d'eau actuels comprennent des sources et des puits filtrants en alluvions, à faible profondeur. Le forage des Rosiers, en voie d'équipement, livre par artésianisme de l'eau du karst.

Les communes de Reconvilier et Tramelan ont recours à une adduction extérieure d'appoint, depuis la source de la Cuchatte, respectivement le réseau du SEF (Syndicat pour l'alimentation des Franches Montagnes en eau potable).

Des signes de pénurie sont apparus presque partout qui ont motivé cette étude.

En période sèche, l'offre d'eau globale des captages actuels, Rosiers non compris, est de l'ordre de 7 200 l/min, tenant compte des faibles débits de 1976, qui ne sont pas des records mais que nous considérerons comme des étiages "normaux", base raisonnable d'une planification des ressources (voir fig. 22).

Pour la source de la Birse et de la Chifelle, une valeur de 1 500 l/min est retenue. Ici, un état de pénurie existe en principe si l'on tient compte des concessions de force motrice d'industries voisines.

La commune de Court, avec 1 550 habitants environ, dispose d'un fort excédent de ressources, le débit minimum de 1976 étant de 2 400 l/min.

Exprimées en fonction du nombre d'habitants, les ressources sont les suivantes:

	Ressources l/min.	Nombre d'habitants	Ress./hab l/j·hab.
Région <sup>1)</sup>	7 200	20 050	517
Région sans Court	4 800	18 500	374
Reconvilier <sup>2)</sup>	160	2 780	83
Tramelan <sup>2)</sup>	760	5 540	198

<sup>1)</sup> Sans Mont-Tramelan

<sup>2)</sup> Sans adductions extérieures

On voit que la région sans Court est nettement au-dessous de la moyenne helvétique de consommation, de l'ordre de 500 l/j·hab. et que les valeurs extrêmes de Reconvilier et Tramelan doivent nécessairement être compensées par une adduction extérieure.

Les valeurs globales régionales servent en première approximation à fixer les ordres de grandeur des apports nouveaux à rechercher. Pour assurer la moyenne de consommation suisse, un supplément de l'ordre de 1 700 l/min est nécessaire. Tenant compte d'une réserve de débit et des difficultés d'une distribution optimale, une cible de l'ordre de 3 000 l/min serait envisageable. Le forage des Rosiers, avec 1 200 l/min de débit artésien en assure une bonne part, à

portée d'un secteur peuplé important. Un autre ouvrage de puissance comparable serait le bienvenu dans la région de Tramelan, autre noyau important de 5 500 habitants environ, soit 30 % de la population totale, Court non compris.

Fig. 25

### Ressources d'étiage <sup>1)</sup>

	l/min.
Bévilard	730
Champoz	60
Court	2 400
Loveresse	110
Malleray	970
Pontenet	100
Reconvilier <sup>2)</sup>	160
Saicourt-Le Fuet	100
Saules	70
Sorvilier	120
Tavannes	1 620
Tramelan <sup>2)</sup>	760
	7 200

<sup>1)</sup> Estimées selon les valeurs de 1976, sans le forage des Rosiers

<sup>2)</sup> Sans les adductions extérieures

## 6.2. Nouvelles ressources

L'ensemble de l'étude a conclu, à l'absence de ressources exploitables à faible profondeur, dans les graviers alluviaux.

Par contre, la présence d'une zone noyée, épaisse et vaste a été mise en évidence dans les calcaires du Malm supérieur de toute la Vallée. Elle contient des réserves exploitables très grandes par rapport aux besoins évalués ci-dessus.

Le problème posé ne sera donc pas celui des ressources: les 51 km<sup>2</sup> d'affleurements calcaires peuvent infiltrer 35 millions de m<sup>3</sup> d'eau par année, soit 68 000 l/min en moyenne. Il est question ici d'en exploiter environ 5 %.

La question fondamentale à résoudre sera celle de définir un site et un mode de captage adéquats. Le site devra répondre à deux critères essentiels:

- Le Malm supérieur aquifère devra être touché à une profondeur raisonnable, inférieure à environ 100 m, problème assez simple étant donné les bonnes connaissances acquises de la structure du synclinal.
- Le captage devra intersecter des chenaux à forte perméabilité et non seulement traverser un "bloc" peu perméable. Ce point est beaucoup plus délicat à aborder, car les chenaux perméables sont très petits par rapport aux blocs. On sait toutefois que les blocs ont une dimension d'ordre de grandeur hectométrique à kilométrique, ce qui signifie que dans un secteur de 1 à 2 km d'envergure, une solution existe, lorsque la première condition est satisfaite.

Pour le problème des ressources en eau, il existe donc dans la Vallée de Tavannes une solution à long terme, accessible aux moyens de l'hydrogéologie actuelle.

## B I B L I O G R A P H I E

- BAUMBERGER, E. (1927): Die stampischen Bildungen der Nordwestschweiz und ihrer Nachbargebiete mit besonderer Berücksichtigung der Molluskenfaunen.- Ecl. geol. Helv. XX/4 .
- BURGER, A. (1956-1959): Hydrogéologie du bassin de l'Areuse.- Bull. de la Société neuchâteloise de Géographie, Tome LII fasc. 1.
- CHARDONNENS, G.: Vallée de Tavannes - Fiabilité des mesures de précipitations atmosphériques.- En préparation.
- CSD COLOMBI-SCHMUTZ-DORTHE SA (1977): Décharge contrôlée de Ronde Sagne.- Rapport géologique et hydrologique - BE 948, Berne, le 12.12.1977.
- CSD COLOMBI-SCHMUTZ-DORTHE SA (1972): OEHE - Carte de protection des eaux, Jura Sud.- Rapport final. B.Schindler, resp. de l'étude - BE 29, Berne, le 12.9.1972.
- DTEE/SCHINDLER, B. (1973-1975): Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes.- Rapports intermédiaires.
- EPPLE, 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.- Ecl. geol. Helv., Bd. 26/1.
- FLUECK, R. (1926): Die Flussschichten im schweizerisch-französischen Jura.- Verhandl. Natf. Ges. Basel, XXXVII.
- GEOTEST SA (1976): Municipalité de Tramelan - Délimitation des zones de protection.- P. Blanc, resp. de l'étude - Rapport No. 74.084, Zollikofen, le 15.3.1976.
- HANTKE, R. (1978): Eiszeitalter.- Ott Verlag AG, Thun, Bd. 1.
- HUBER, W. (1967): Bericht über ergänzende Baugrunduntersuchung zu Nouvel Atelier de Fonte Boillat SA in Reconvilier.- Rapport inédit, Zurich, 29.12.67.
- KIRALY, L. (1977): La notion d'unité hydrogéologique, essai de définition.- Bull. Centre d'Hydrogéologie, Neuchâtel, No. 2.
- MISEREZ, J.-J. (1970): Corrélations Na/K dans les eaux karstiques du Jura - Applications aux diagrammes d'équilibre des systèmes  $\text{Na}_2\text{O}$  - resp.  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{CO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{Na}_2\text{O}$  - resp.  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$ .- Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft - Sonderheft Hydrogeol. - Hydrochem., Hannover.

- MONBARON, M. (1975): Contribution à l'étude des cluses du Jura septentrional.- Neuchâtel, avril.
- MORNOD, L., BERTRAND, J. (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.- Rapport inédit, Bulle, le 27.6.75.
- OESCHGER, H., SCHOTTERER, U., SIEGENTHALER, U. (1977): Mesures de tritium et d'oxygène -18 dans les sources jurassiennes 1973-76.- Rapport inédit, Institut de physique de l'Université de Berne, février.
- OEHE/DELLA VALLE, G. (1973): Essai de marquage Les Breuleux.- Rapport inédit, Berne, 23.2.73.
- REMENIERAS, G. (1972): L'hydrologie de l'ingénieur.- Paris, Eyrolles, 3è ed.
- REMENIERAS, G., BOYER, J. (1950): Monographie hydrologique du bassin de la Maronne.- La Houille Blanche.
- ROTHPLETZ, W. (1931-1932): Geologische Beschreibung der Umgebung von Tavannes im Berner Jura.- Verh. Natf. Ges. Basel, Bd. 43.
- SCHINDLER, B. (1975): Tavannes - Arsenal fédéral.- Etude géotechnique - Rapport inédit, Prêles, 13.6.75.
- SCHINDLER, B., GROBET, D.: Zone S de captages publics entre Villeret et Cormoret.- Rapport inédit, en préparation.  
Zone S de la source des Moulins, La Neuveville.- Rapport inédit, en préparation.
- SCHLAICH, E. (1934): Geologische Beschreibung der Gegend von Court im Berner Jura mit besonderer Berücksichtigung der Molassebildungen.- Beiträge z. geol. Karte d. Schweiz - N.F. Liefg. 26, 1. Teil.
- TOTH, J. (1963): A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins.- Geophys. Res. 68.
- TOTH, J. (1962): A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada.- Geophys. Res. 67.
- UTTINGER, H. (1951): Zur Höhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge in den Alpen.- Archiv f. Meteor Geophys. und Bioklimatol., Serie B, II.
- VOGEL, H. (1934): Geologie des Graitery und des Grenchenbergs im Juragebirge.- Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz - N.F. Liefg. II.
- WILDBERGER, A., BADOUX, H., NABHOLZ, W. (1978): Zur Karst-Hydrogeologie im Gebiet des Rawilpasses.- Ecl. geol. Helv. 71/2.

ZIEGLER, P. (1956): Geologische Beschreibung des Blattes Courtelary (Berner Jura).- Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz - N.F. Liefg. 102.

Note: Cette liste ne comprend que les ouvrages cités dans ce texte. Une bibliographie détaillée a été établie dans le Rapport Intermédiaire 1973 et complétée ensuite.

## L I S T E D E S A B R E V I A T I O N S

CN 1105	Carte nationale 1: 25 000 avec son No. d'ordre
PE	Plan d'ensemble 1: 10 000
NL	Nom local en usage ou selon plans cadastraux
N	Nord
S	Sud
E	Est
W	Ouest

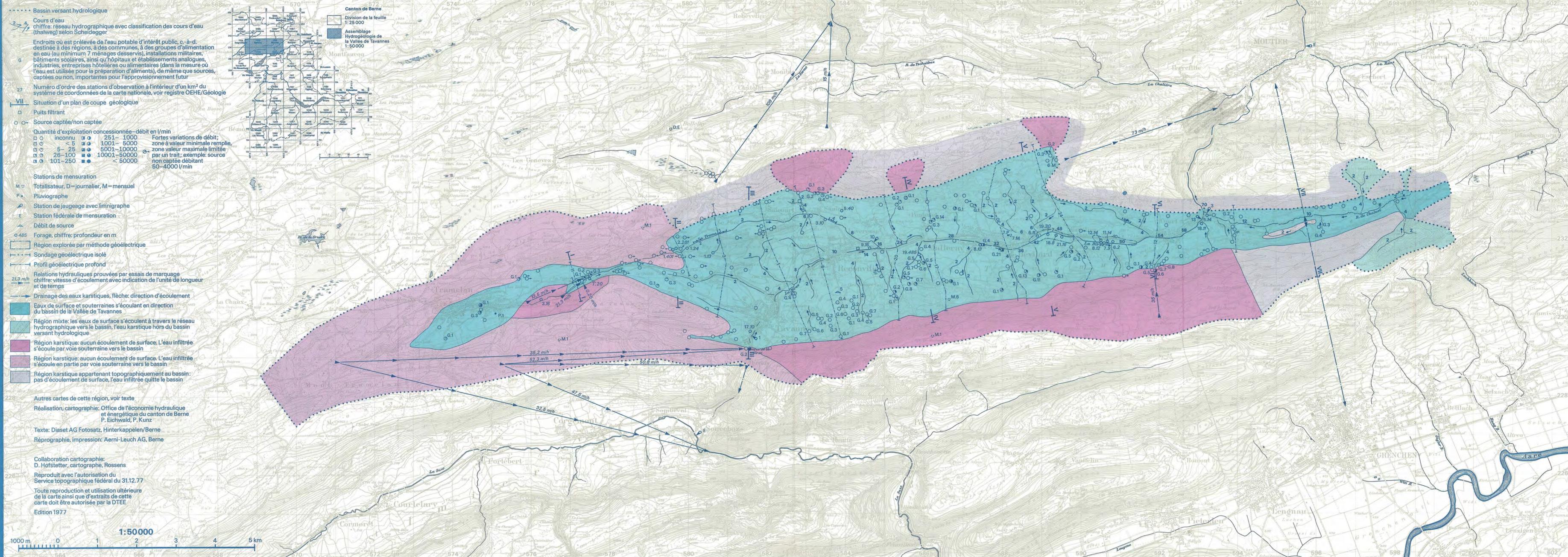
# Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne

## Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes 1:50000

### Données de base

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne

Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles



Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne (OEHE)

# Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne

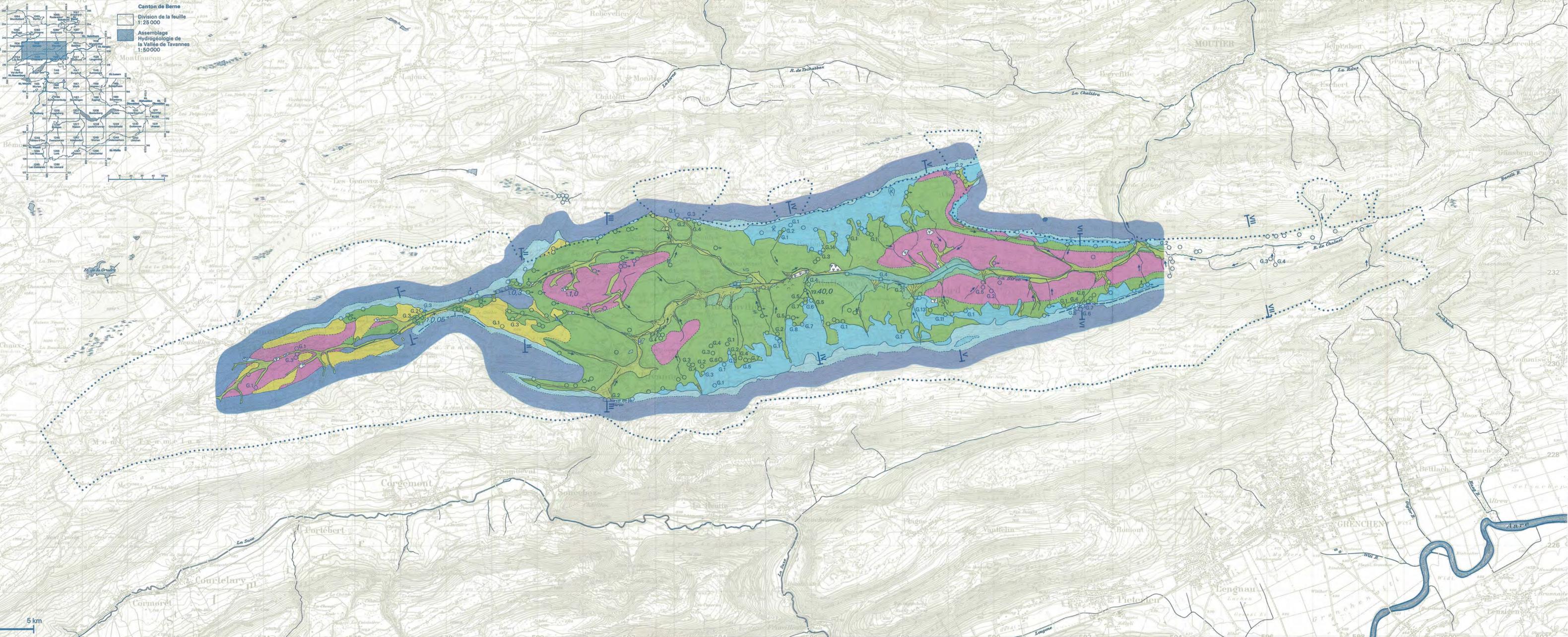
## Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes 1:50000

### Hydrogéologie

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne  
 Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles

- ..... Bassin versant hydrologique
- Cours d'eau
- Endroits où est prélevée de l'eau potable d'intérêt public
- 27 Numéro d'ordre des points d'observation à l'intérieur d'un km<sup>2</sup> du système de coordonnées de la carte nationale, voir registre OEHE/Géologie
- VII Profil géologique (voir annexe 4)
- Remblais artificiel
- Glissement
- Source captée
- Source non captée
- Puits filtrant
- Gravière
- 0,3 Forage, chiffre: artésianisme, valeur moyenne en m
- Cône de déjection torrentiel
- Chevauchement, faille
- Eboulis de pente récents, perméables
- Eboulis anciens/moraines, perméables / peu perméables
- Alluvions récentes, peu perméables  $k < 10^{-4}$  m/s / perméables  $k > 10^{-4}$  m/s
- Alluvions anciennes de la Birse (terrasses), perméables  $k > 10^{-4}$  m/s
- Tertiaire indifférencié, généralement aquiclude
- Délemontien, calcaires et marnes, semi-perméable, karst local
- Malm supérieur, karstique
- Contact observé/supposé

Autres cartes de cette région, voir texte  
 Réalisation, cartographie: Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne  
 P. Eichwald, P. Kunz  
 Texte: Diasset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Berne  
 Réprographie, impression: Aerni-Leuch AG, Berne  
 Collaboration cartographie: D. Hofstetter, cartographe, Rossens  
 Reproduit avec l'autorisation du Service topographique fédéral du 31.12.77  
 Toute reproduction et utilisation ultérieure de la carte ainsi que d'extraits de cette carte doit être autorisée par la DTEE  
 Edition 1977



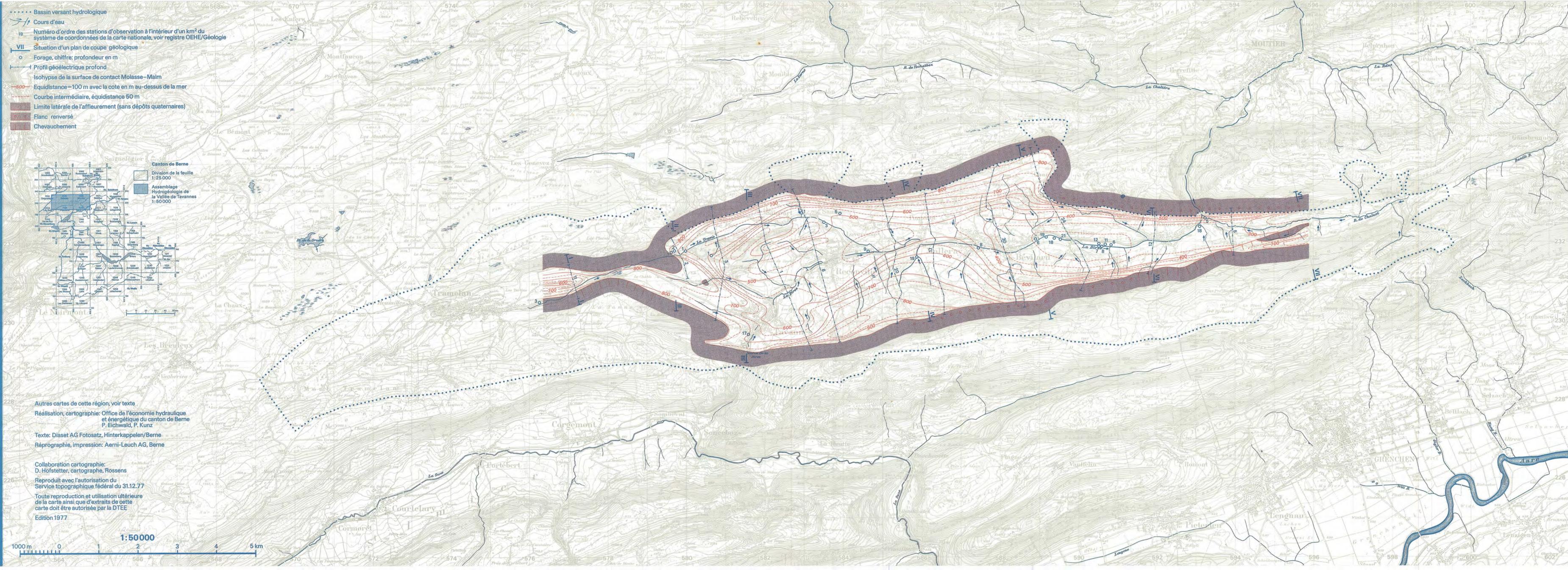
Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne (OEHE)

## Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne

### Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes 1:50 000

Isohypes de la surface de contact  
Molasse-Malm

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne  
Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles



Office de l'économie hydraulique et énergétique  
du canton de Berne (OEHE)

# Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne

## Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes 1:50000

### Coupes géologiques 1:50000

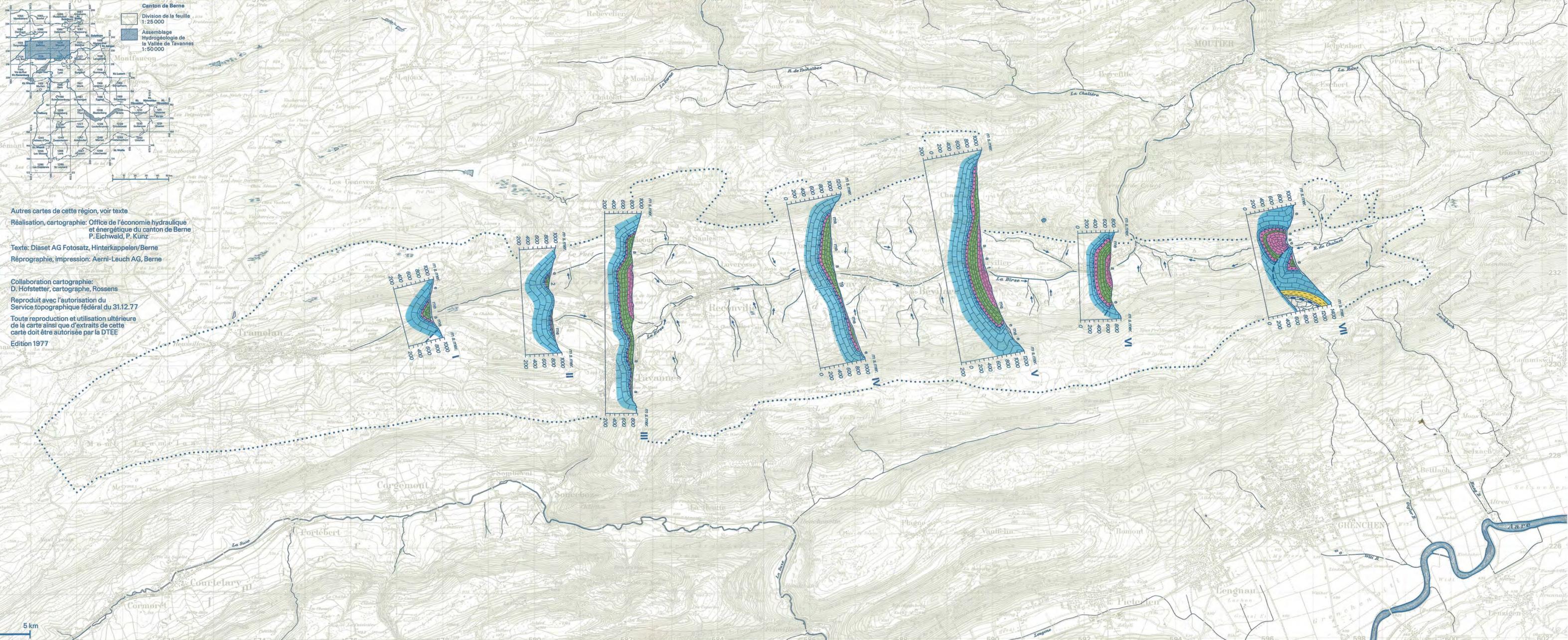
Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne  
 Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles

- ..... Bassin versant hydrologique
- /// Cours d'eau
- 19 Numéro d'ordre des stations d'observation à l'intérieur d'un km<sup>2</sup> du système de coordonnées de la carte nationale, voir registre OEHE/Géologie
- Forage se trouvant à une distance de 50 m de la ligne de profil
- Faillle - chevauchement
- Chevauchement avec zone broyée
- Profil stratigraphique et lithologique

Quaternaire		a: alluvions récentes	
		t: anciennes terrasses de la Birse	
Tertiaire	Tortonien	Calcaire du Golat	T
	Helvétien	Grès	H
	Burdigalien	Conglomérat polygénique	B
Oligocène	Stampien	Grès coquiller	D
		Molasse alsacienne	M
		Gompholite d'Ajoie	Ga
		Sidérolithique	S
Eocène		Portlandien	P
		Kimméridgien	K+S
		«Séquenien»	
		«Argovien sup., Couches d'Effingen»	As
		«Argovien inf. c. de Birmensdorf.»	Ai
Secondaire		«Oxfordien»	O
		Dogger	D

- T: Grès marneux avec quelques niveaux calcaires
- H: Conglomérats polygéniques à ciment marneux et gréseux, grès marneux
- B: Grès et marnes avec quelques bancs à coquilles
- D: Calcaires d'eau douce avec intercalations marnées abondantes, parfois dominantes
- M: Marnes ± gréseuses
- Ga: Conglomérat à galets calcaires et ciment marneux peu abondant
- S: Argiles résiduelles à «bolus» ou sable de quartz
- P: Calcaires bien lités, parfois plaquetés
- K+S: Calcaires massifs, bancs souvent épais, niveaux marnocalcaires et marneux à la base
- As: Marno-calcaires
- Ai: Calcaires avec petites intercalations marnées
- O: Marnes et marnes argileuses
- D: Marnes et calcaires

- Perméabilités
- Aquiclude
  - Généralement aquiclude, mais lacunes possibles
  - Alternance de niveau calcaires et marneux perméabilité karstique peu développée mais non négligeable
  - Perméabilité karstique bien développée



Autres cartes de cette région, voir texte  
 Réalisation, cartographie: Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne  
 P. Eichwald, P. Kunz  
 Texte: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Berne  
 Réprographie, impression: Aerni-Leuch AG, Berne  
 Collaboration cartographie:  
 D. Hofstetter, cartographe, Rossens  
 Reproduit avec l'autorisation du Service topographique fédéral du 31.12.77  
 Toute reproduction et utilisation ultérieure de la carte ainsi que d'extraits de cette carte doit être autorisée par la DTEE  
 Edition 1977



Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne (OEHE)



# Données pour l'aménagement en eau potable du canton de Berne

## Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes 1:50000

### Distribution hypsographique

Direction: Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne

Exécution: B. Schindler, Hydrogéologue diplômé, Prêles

