

INSTITUT DE GÉOLOGIE, UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL  
CENTRE D'HYDROGÉOLOGIE

## NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DU CANTON DE NEUCHÂTEL

par  
LASZLO KIRALY

AVEC 1 PLANCHE, 6 FIGURES, 1 TABLEAU HORS-TEXTE  
ET 1 CARTE

---

### 1. INTRODUCTION

Le but de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel est de présenter, d'une façon synthétique, les principales caractéristiques des nappes d'eau souterraines les plus importantes du canton. Il s'agit d'une carte de synthèse qui facilite, mais ne remplace pas, les études détaillées dans chaque cas particulier de recherche d'eau. L'établissement de cette carte avait été proposé, encouragé et dirigé par M. le professeur A. Burger qui participa activement à l'élaboration de la légende définitive.

Une bonne partie des documents nécessaires pour l'établissement de la carte (cartes géologiques ou hydrogéologiques inédites) ont été mis à notre disposition par la Commission de la carte géologique suisse, par le Service des ponts et chaussées et par l'Institut de géologie de Neuchâtel. Les renseignements concernant la partie française de la carte nous ont été communiqués par le Service régional Jura-Alpes du BRGM, à Lyon, et la Faculté des sciences de l'Université de Besançon (professeur M. Dreyfuss).

### 2. CONCEPTION GÉNÉRALE DE LA CARTE

« Les buts de la cartographie hydrogéologique sont fonction à la fois du degré de développement des connaissances hydrogéologiques et des besoins d'informations des praticiens... » écrit J. MARGAT (1966).

Le but le plus important de notre carte est la représentation synthétique de la position géographique et de la forme géométrique des principales nappes (réserves) d'eau souterraine du canton, ainsi que la description des caractères physiques les plus importants (perméabilité, porosité) du milieu poreux contenant ces nappes.

La représentation synthétique exige l'emploi de l'échelle 1 : 50 000, à laquelle certains détails ne sont plus représentables.

#### 2.1. Les systèmes d'écoulement

Chaque « nappe » est formée par un ou plusieurs systèmes d'écoulement, caractérisés par

- une région d'exutoire,
- une région d'écoulement,
- une région alimentaire.

Dans la mesure du possible nous avons représenté, pour les systèmes d'écoulement les plus importants, la position géographique de ces trois parties.

*La région d'exutoire* est représentée par

- les lacs,
- les rivières et ruisseaux,
- les sources,
- les puits et autres captages.

L'altitude des exutoires détermine en grande partie l'altitude de la surface de la nappe. Le débit, le régime, le chimisme et la température de l'eau de l'exutoire sont les renseignements les plus importants. Sur la carte générale nous avons représenté le débit et le régime des exutoires ponctuels (sources, captages, puits).

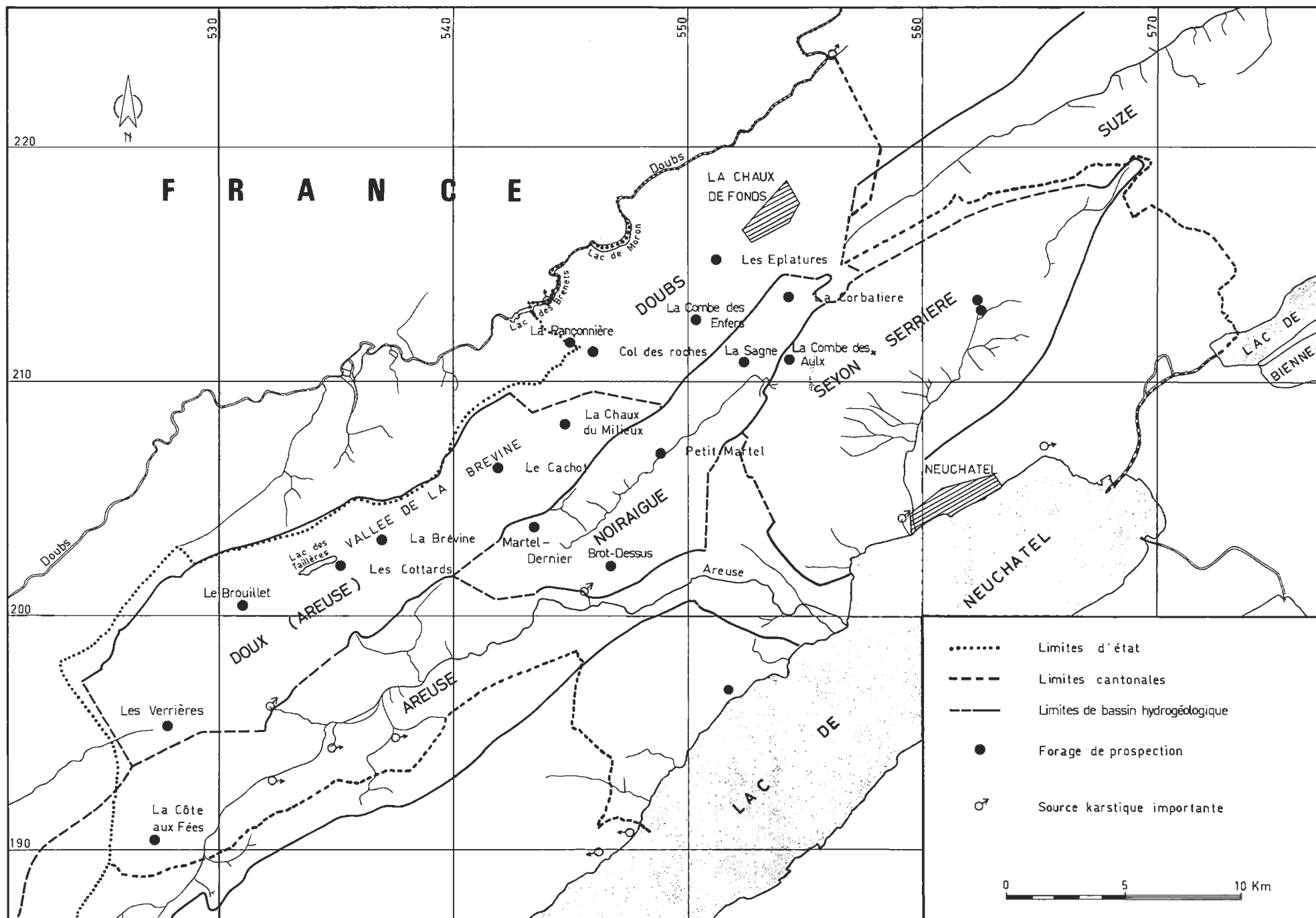


Fig. 1. Bassins hydrogéologiques importants, emplacement des forages profonds dans le canton de Neuchâtel et principales sources karstiques.

La région d'écoulement représente la partie (volume) saturée du milieu poreux : c'est la « nappe » proprement dite. A chaque exutoire appartient une région d'écoulement qui est caractérisée par la vitesse et le sens des écoulements, par la perméabilité et la porosité du milieu poreux saturé. Sur la carte générale nous ne représentons que les limites de la zone saturée ; les renseignements sur la perméabilité et la porosité sont donnés dans la présente notice. La zone saturée est délimitée vers le bas par une limite imperméable et vers le haut par une surface horizontale passant par l'exutoire.

La région d'alimentation d'un système d'écoulement est, généralement, la surface topographique à partir de laquelle les eaux météoriques arrivent à la région d'écoulement. L'extension de la région alimentaire peut être très différente de l'extension de la région d'écoulement. S'il y a infiltration d'eau vers une nappe à partir d'un lac ou d'une rivière, ces derniers sont considérés comme appartenant à la région alimentaire. Sur la carte générale nous n'avons délimité que les régions alimentaires des grandes nappes. L'importance de l'alimentation est fournie par les cartes pluviométriques publiées.

## 2.2. Délimitation des systèmes d'écoulement

A chaque exutoire appartient une région d'écoulement et une région alimentaire (mais une « nappe » peut avoir plusieurs exutoires). Les limites entre les systèmes d'écoulement peuvent être géologiques (séparation par des roches imperméables ou faiblement perméables) ou hydrauliques (séparation des systèmes par une crête de la nappe).

Sur la carte générale, les limites des principaux systèmes d'écoulement sont relativement sûres quand il s'agit de limites géologiques ; elles sont hypothétiques quand il s'agit de limites hydrauliques. Dans les petites nappes du Quaternaire nous avons renoncé à la représentation des limites de la région alimentaire des différents exutoires. Seule la partie saturée (nappe) et l'emplacement des exutoires (sources, captages) sont marqués sur la carte.

Les volumes saturés (nappes) représentés sur la carte ont des limites géologiques (roches peu ou pas perméables) vers le bas et latéralement. Vers le haut ils sont délimités par un plan horizontal passant par l'exutoire principal, car la position moyenne de la surface des nappes n'est pas connue partout. En réalité, l'extension des volumes saturés est légèrement plus grande que celle que nous avons représentée sur la carte.

## 2.3. Ressources exploitables

Sur la carte générale nous n'avons pas représenté explicitement les ressources exploitables des nappes, car la détermination des ressources demande encore des études détaillées dans le cas de chaque nappe.

## 2.4. Qualité des eaux souterraines

La qualité (chimisme, température) n'est pas représentée sur la carte générale.

## 2.5. Vulnérabilité des nappes

La vulnérabilité des nappes (risque de pollution) n'est pas donnée explicitement sur la carte générale, mais elle est facilement déductible des renseignements représentés (zones alimentaires, régions d'écoulement non protégées par une couche imperméable, etc.).

## 3. REPRÉSENTATION DES RENSEIGNEMENTS : LA LÉGENDE

Un de nos principaux problèmes était l'élaboration d'une légende adaptée aux régions calcaires karstifiées et plissées du Jura. Graphiquement, le problème consistait en la représentation de nappes superposées, séparées par des séries marneuses peu ou pas perméables.

Dans une première étape nous avons élaboré une représentation dont le principe est le suivant : les séries imperméables étaient représentées par des couleurs tramées (de plus en plus foncées vers le haut) et les séries réservoirs, par des briques de même couleur que la base imperméable. L'orientation des briques changeait de série en série. Cette carte *lithologique* montrait clairement la succession des différents réservoirs susceptibles de contenir une ou plusieurs nappes.

Pour chaque *réservoir* les systèmes d'écoulement ou nappes devaient être délimités sur une carte structurale séparée, représentant la surface structurale du toit de l'imperméable, où l'on pouvait distinguer :

- la zone de ruissellement souterrain,
- la nappe libre non recouverte,
- la nappe libre recouverte par un imperméable,
- la nappe captive.

Nous nous sommes vite rendus compte qu'avec une telle représentation des nappes superposées, il nous faudrait imprimer non pas une seule carte de synthèse, mais un atlas hydrogéologique com-

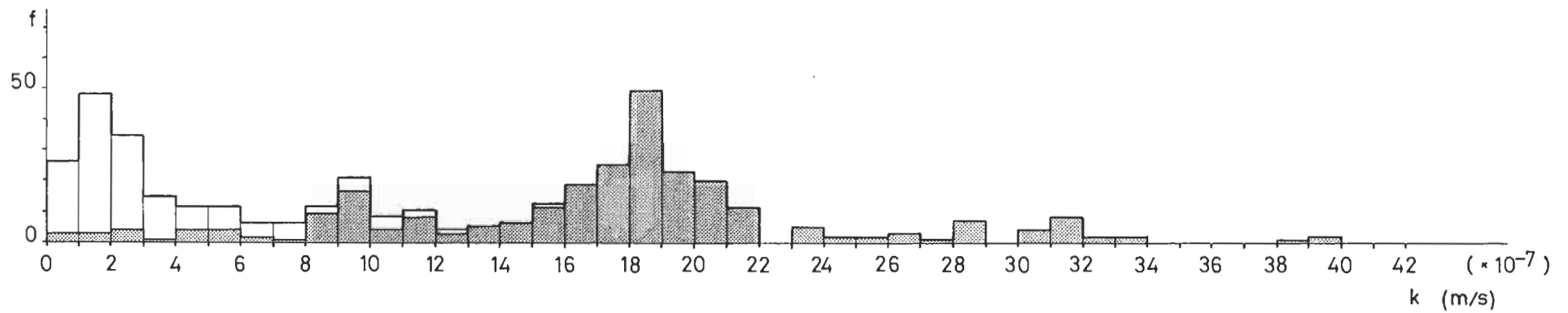


Fig. 2. Distribution des valeurs de perméabilité du Malm mesurées dans les forages par essais d'injection (d'après G. P. SIMEONI).  
 En grisé : mesures dans la vallée de La Brévine (la distribution est approximativement normale).  
 En blanc : mesures dans le synclinal du Locle, dans la vallée des Ponts et dans la région de La Côte-aux-Fées (la distribution est « log-normale »).

prenant plusieurs feuilles. Le dilemme était cruel : une seule carte de synthèse ou un atlas hydrogéologique de plusieurs feuilles ?

Finalement, M. le professeur Burger nous a conseillé de garder l'idée d'une seule carte de synthèse, en sacrifiant les données sur les nappes peu étendues du Crétacé et en simplifiant la carte lithologique de base.

Ainsi, après les simplifications, on ne représente sur la carte de synthèse que les nappes les plus importantes des calcaires karstifiés du Malm et les nappes des roches meubles du Quaternaire, avec la surface structurale du toit de l'Argovien et l'emplacement des principaux exutoires naturels et artificiels.

Ainsi conçue, la carte offre une vue synthétique des principales réserves d'eau souterraine du canton de Neuchâtel.

#### 4. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU MILIEU POREUX : POROSITÉ ET PERMÉABILITÉ DES ROCHES

##### 4.1. Description des réservoirs et des imperméables

La série stratigraphique susceptible de contenir des nappes d'eau souterraine exploitables va du Dogger au Quaternaire. Nous considérons le Lias comme un niveau imperméable, limite des nappes exploitables vers le bas.

Sur la carte lithologique nous avons représenté les réservoirs et les séries imperméables suivantes :

##### *Imperméable du Lias*

##### *Réservoir du Dogger*

Ce réservoir est composé des calcaires et marno-calcaires du Bajocien, du Bathonien et du Callovien. Sa puissance est 200 m en moyenne. Les séquences calcaires du Bathonien sont mieux développées dans les anticlinaux septentrionaux que dans les anticlinaux méridionaux. Le réservoir est pratiquement continu car le Lias n'affleure pour ainsi dire nulle part dans le canton. La porosité efficace est une porosité de fissures et de chenaux. Nous n'avons pas de mesures de porosité, mais d'après les valeurs valables pour les pays calcaires, nous estimons la porosité efficace à environ 3 ‰.

La perméabilité de fissures et de chenaux est très hétérogène et anisotrope dans ces calcaires fissurés. Deux forages, celui de la Rançonnière et celui de la combe des Enfers, pénètrent dans le Dogger ; les essais d'injection indiquent une perméabilité  $K$  de l'ordre de

$$K \approx 10^{-6} \text{ m/s}$$

Toutefois, on peut admettre que la perméabilité régionale est de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s (voir paragraphe 4.2).

##### *Imperméable de l'Argovien-Oxfordien*

Nous admettons que les calcaires et marno-calcaires de l'Argovien et de l'Oxfordien, épais de 150 à 200 m, forment un écran peu perméable séparant le réservoir du Dogger et le réservoir du Malm. La porosité efficace est considérée comme voisine de zéro et la perméabilité est estimée à  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  m/s. C'est une évaluation théorique car nous n'avons pas de mesures.

En pratique, on doit envisager une perméabilité régionale non négligeable au voisinage des accidents tectoniques importants.

##### *Réservoir du Malm*

Il comprend les calcaires du Séquanien, du Kimmeridgien et du Portlandien, épais de 400 m environ. Les calcaires du Malm représentent le réservoir de loin le plus important de tout le Jura neuchâtelois. La porosité efficace est estimée à 4,5 ‰ par TRIPET (1971) dans la zone supérieure des nappes.

Il existe une dizaine de forages dans le Malm du Jura neuchâtelois (fig. 1), avec des essais d'injection indiquant une perméabilité moyenne de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-7}$  à  $10^{-6}$  m/s. SIMEONI (fig. 2) montre que les valeurs de perméabilité sont distribuées lognormalement, ce qui confirme l'opinion générale sur la distribution des perméabilités dans les roches fissurées.

Les valeurs de perméabilité de  $10^{-6}$  m/s à  $10^{-7}$  m/s sont manifestement trop faibles et, d'après les considérations du paragraphe 4.2, la perméabilité, à l'échelle régionale, doit être de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s à  $10^{-4}$  m/s.

##### *Imperméable du Purbeckien*

On admet généralement que les marnes et marno-calcaires du Purbeckien, épais de 20 m en moyenne, forment un écran peu perméable entre le réservoir du Malm et le réservoir du Valangien.

Etant donné l'épaisseur réduite de cette série, on doit admettre que la séparation n'est pas parfaite entre les réservoirs mentionnés. Pour sa perméabilité nous admettons la valeur théorique de  $10^{-8}$  m/s.

#### *Réservoir du Valanginien*

Il comprend les calcaires du Valanginien inférieur et supérieur, épais de 30 à 50 m environ. Dans les rares forages traversant cette série, on a mesuré des perméabilités de 1 à  $6 \cdot 10^{-6}$  m/s. Comme pour les autres réservoirs, nous admettons une porosité efficace de 4,5 ‰ environ et une perméabilité régionale de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s.

#### *Imperméable de l'Hauterivien inférieur*

Les « marnes bleues », épaisses de 15 à 20 m, forment un écran imperméable entre le réservoir du Valanginien et le réservoir de l'Hauterivien supérieur. Perméabilité hypothétique :  $10^{-8}$  m/s environ.

#### *Réservoir de l'Hauterivien supérieur-Urgonien*

Il comprend les calcaires zoogènes de l'Hauterivien (25-60 m) et une épaisseur variable de calcaires en bancs massifs ou finement oolithiques de l'Urgonien.

La porosité semble être supérieure à celle des autres réservoirs, car à la porosité de fissures s'ajouterait encore une porosité d'interstices non négligeable.

Les quelques forages indiquent des perméabilités de  $10^{-6}$  m/s à  $4 \cdot 10^{-6}$  m/s environ, mais nous pensons que la perméabilité régionale est largement supérieure à ces valeurs.

#### *Imperméable du Tertiaire*

Sauf dans le synclinal du Locle - La Chaux-de-Fonds, le Tertiaire est formé par la Molasse marneuse ou marno-gréseuse que nous considérons comme peu perméable :  $K = 10^{-7}$  m/s à  $10^{-8}$  m/s environ. La porosité efficace est, vraisemblablement, une porosité de fissures avec une valeur de quelques pour-mille.

#### *Réservoir du Tertiaire*

Il s'agit des calcaires lacustres consolidés, fissurés et karstifiés de l'Oehningien qui forment un réservoir important dans le synclinal du Locle et de La Chaux-de-Fonds.

L'épaisseur totale de la série est de près de 150 m, mais des intercalations marneuses subdivisent la série en plusieurs réservoirs superposés de moindre importance (KUBLER 1962).

D'après les pompages effectués dans le puits des Envers (Le Locle), la perméabilité des calcaires lacustres de l'Oehningien moyen est d'environ  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s. Cette valeur peut être considérée comme étant celle de la perméabilité régionale.

#### *Roches meubles du Quaternaire*

Dans les roches meubles du Quaternaire, nous avons distingué trois classes de perméabilité :

1. Perméable :  $K = 10^{-1}$  m/s à  $10^{-4}$  m/s
2. Moyennement perméable :  $K = 10^{-4}$  m/s à  $10^{-6}$  m/s
3. Peu ou pas perméable :  $K = 10^{-6}$  m/s à  $10^{-8}$  m/s

La porosité efficace de ces roches varie entre 3 ‰ et 15 ‰ environ.

#### **4.2. Remarques sur la perméabilité régionale des calcaires : effet d'échelle**

Les valeurs de perméabilité obtenues dans les sondages se situent entre  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s environ pour les calcaires du Mésozoïque. On montre très simplement qu'à l'échelle du bassin, la perméabilité doit être largement supérieure à ces valeurs :

L'alimentation naturelle du synclinal de La Brévine exige qu'un débit moyen d'au moins  $1,5$  m<sup>3</sup>/s quitte celui-ci, par un seuil souterrain, vers la source de l'Areuse. Admettons que la largeur de ce seuil soit d'environ 2 km. Pour que ce débit de  $1,5$  m<sup>3</sup>/s puisse quitter le synclinal, il faut que la perméabilité soit supérieure à  $10^{-4}$  m/s, même si l'on admet des gradients de 10 ‰ (!) dans la région du seuil, ce qui est très peu probable.

TRIPET (1971) a dû admettre, pour son modèle électrique de la vallée de La Brévine, une perméabilité moyenne de  $10^{-3}$  m/s pour qu'il obtienne un débit raisonnable à l'exutoire.

Récemment, nous avons simulé la nappe du synclinal de La Brévine par un modèle mathématique à éléments finis. Si la perméabilité est admise comme homogène, elle doit être voisine de  $10^{-3}$  m/s, ce qui confirme les résultats de TRIPET. Pour rendre la perméabilité hétérogène, nous avons introduit un réseau de chenaux karstiques très perméable dans le modèle mathématique, tout en abaissant la perméabilité des parties se situant entre les chenaux. Avec un réseau karstique relativement lâche (grandeur de maille : 2 à 4 km), nous avons pu abaisser la perméabilité des parties peu karstifiées jusqu'à  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s environ, tout en obtenant le même débit à l'exutoire qu'avec une

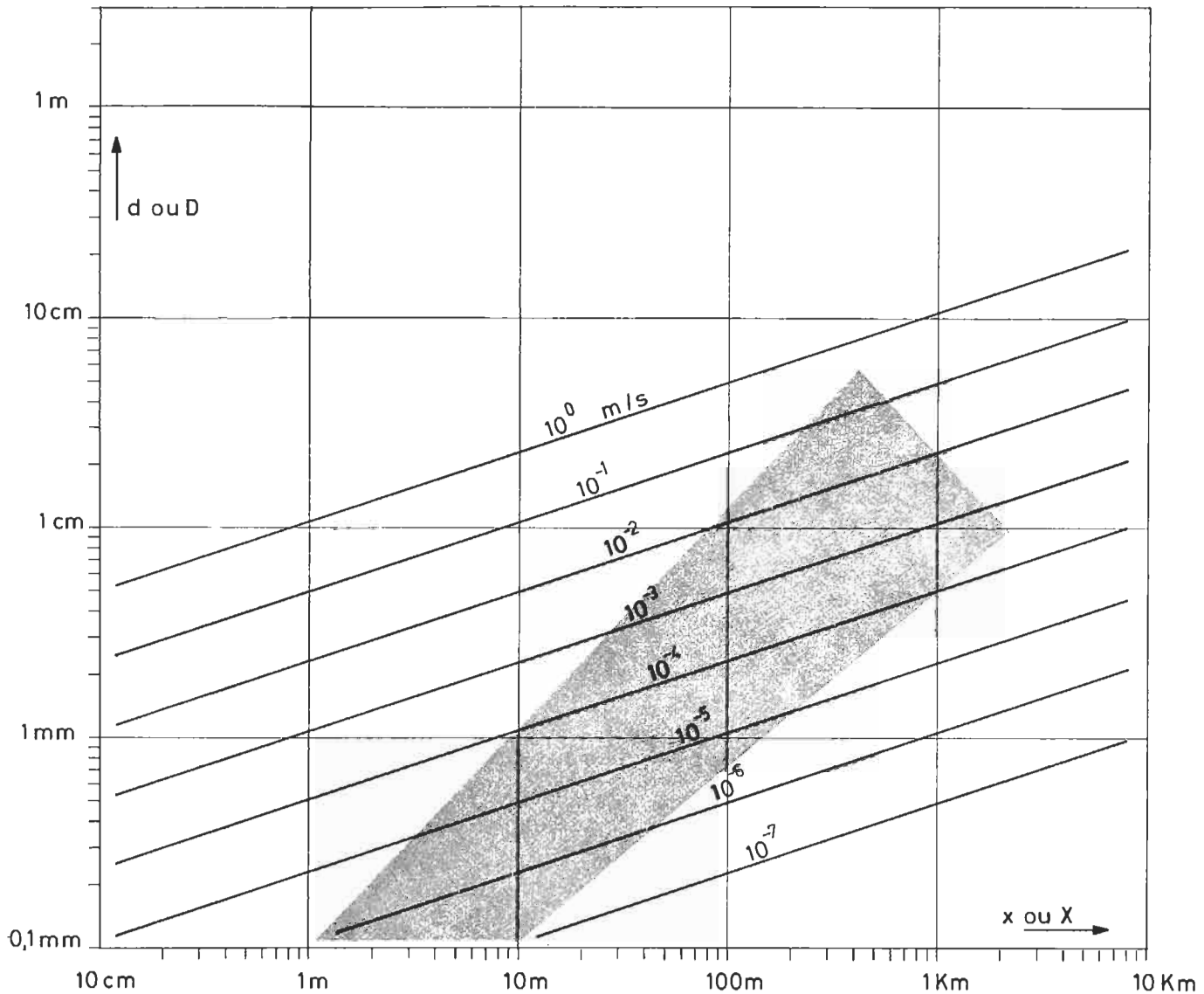


Fig. 3. Effet d'échelle sur la perméabilité de fissures.

perméabilité homogène de  $10^{-3}$  m/s. En augmentant la densité du réseau karstique (grandeur de maille:  $\sim 1$  km ou moins), on peut diminuer la perméabilité des parties peu karstifiées jusqu'à  $10^{-6}$  m/s environ et obtenir le même débit à la sortie qu'avec une perméabilité homogène de  $10^{-3}$  m/s.

Ces résultats expliquent la contradiction apparente entre les faibles valeurs de la perméabilité mesurées dans les forages (de l'ordre de  $10^{-7}$  m/s à  $10^{-6}$  m/s) et la grande valeur de la perméabilité moyenne régionale que l'on doit admettre (de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s) pour expliquer les grands débits et les gradients relativement faibles régnant dans les synclinaux du Malm.

En effet, l'introduction d'un réseau karstique très perméable et dense dans un milieu poreux peu perméable donne au bassin une perméabilité moyenne régionale assez élevée. Or, le volume du réseau très perméable est beaucoup plus petit que le volume de roche peu perméable et la probabilité pour qu'un forage tombe dans le réseau karstique est beaucoup plus faible que la probabilité pour que le forage traverse un volume peu perméable. Par conséquent, il est assez normal que la plupart des forages donne des valeurs de perméabilité très faible, alors qu'à l'échelle kilométrique la perméabilité moyenne est 1000 à 10 000 fois plus grande.

L'effet d'échelle sur la perméabilité des roches fissurées et karstifiées est représenté par les figures 3 et 4. Nous avons montré (KIRALY 1969) que le tenseur de perméabilité  $K$  des roches fissurées et karstifiées pouvait être calculé par

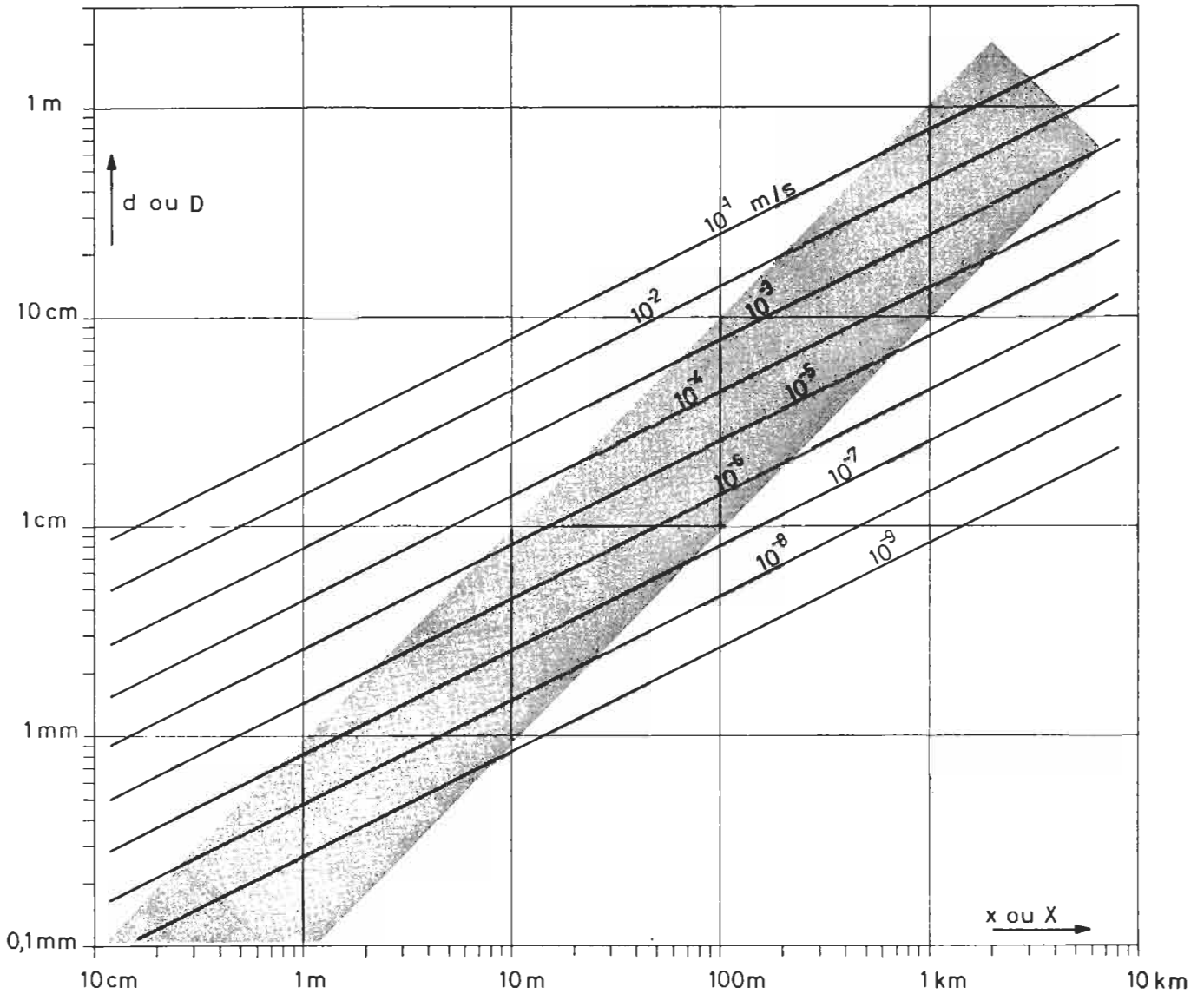


Fig. 4. Effet d'échelle sur la perméabilité de chenaux.

$$K = \frac{g}{12\nu} \sum_{i=1}^N f_i d_i^3 [I - \vec{n}_i \otimes \vec{n}_i]$$

si l'écoulement se fait dans le plan des fissures et par

$$K = \frac{g}{128\nu} \sum_{i=1}^N F_i D_i^4 [\vec{m}_i \otimes \vec{m}_i]$$

si l'écoulement se fait surtout dans des intersections de fissures ou dans des chenaux karstiques.

- $f_i$  et  $F_i$  = fréquence des fissures ou des chenaux  
 $d_i$  et  $D_i$  = ouverture des fissures ou diamètre des chenaux  
 $\vec{n}_i$  et  $\vec{m}_i$  = normale des fissures ou orientation des chenaux  
 $I$  = matrice « unité »  
 $\nu$  = viscosité cinématique de l'eau  
 $g$  =  $9,81 \text{ ms}^{-2}$

S'il s'agit d'un réseau de fissures mutuellement perpendiculaires (ou d'un réseau de chenaux mutuellement perpendiculaires) et également développées, la perméabilité est isotrope et sa valeur est donnée par :

$$K = 0,82 \cdot 10^6 \cdot f \cdot d^3 \quad \text{pour les fissures}$$

et 
$$K = 0,24 \cdot 10^6 \cdot F \cdot D^4 \quad \text{pour les chenaux.}$$

La distance mutuelle (« maille » du réseau) est  $x = 1/f$  pour les fissures et  $X = 1/\sqrt{F}$  pour les chenaux. A chaque réseau caractérisé par les valeurs  $\{x, d\}$  ou  $\{X, D\}$  appartient une valeur de perméabilité  $K$ . Sur un diagramme :  $\log d$  versus  $\log x$  (ou  $\log D$  versus  $\log X$ ), les perméabilités constantes peuvent être représentées par des droites (voir figures 3 et 4). En effet, pour une perméabilité constante  $K$ , on a :

$$\log d = A + \frac{1}{3} \cdot \log x \quad \text{et}$$

$$\log D = B + \frac{1}{2} \cdot \log X$$

$$\text{avec } A = \frac{1}{3} \log \left( \frac{K}{0,82 \cdot 10^6} \right) \quad \text{et} \quad B = \frac{1}{4} \log \left( \frac{K}{0,24 \cdot 10^6} \right)$$

Nous pensons qu'il y a dans la nature une suite de réseaux emboîtés, la grandeur de la maille allant de quelques centimètres (réseau de fissures à l'intérieur d'un banc) à quelques dizaines de kilomètres (réseau des grands décrochements dans le Jura). Pour chaque grandeur de maille l'ouverture des fissures ( $d$ ) ou des chenaux ( $D$ ) est distribuée autour d'une valeur centrale définie par les fonctions « moyennes » :

$$\log d = f_1(\log x) \quad \text{pour les fissures}$$

$$\log D = f_2(\log X) \quad \text{pour les chenaux.}$$

Les valeurs de perméabilité  $K$  définies par les paires  $\{x, d\} \in f_1$  ou  $\{X, D\} \in f_2$  sont les perméabilités les plus probables pour les grandeurs de maille  $x$  et  $X$ .

Nous ne disposons pas encore de statistiques sérieuses sur la distribution empirique de l'ouverture des fissures en fonction de la grandeur de maille de celles-ci, mais nous pensons que dans les calcaires karstifiés du Jura neuchâtelois la « pente moyenne » de la fonction  $f_1$  est plus forte que  $\frac{1}{3}$  et que la « pente moyenne » de la fonction  $f_2$  est supérieure à  $\frac{1}{2}$ . Sur les diagrammes des figures 3 et 4 nous avons délimité deux zones qui devraient contenir, à notre avis, le graphe des fonctions  $f_1$  et  $f_2$ . On voit clairement que les perméabilités se trouvant dans les zones délimitées augmentent si l'on augmente l'ordre de grandeur de l'étendue de roche considéré : à l'échelle décimétrique la perméabilité moyenne est beaucoup plus faible qu'à l'échelle kilométrique. Avec l'augmentation de la karstification les « fonctions moyennes »  $\log d = f_1(\log x)$  ou  $\log D = f_2(\log X)$  auront une « pente » plus forte ou seront décalées vers « le haut ».

Au surplus, les forages ont mis en évidence le phénomène général de la décroissance de la perméabilité avec la profondeur, à partir de la zone de battement des nappes.

Personnellement, nous pensons que le diagramme de la figure 4 (écoulement dans les chenaux et les intersections de fissures) décrit mieux la situation réelle que le diagramme de la figure 3 (écoulement dans le plan des fissures). Cet effet d'échelle sur la perméabilité est une des caractéristiques hydrogéologiques les plus importantes des calcaires fissurés et karstifiés du Jura neuchâtelois.

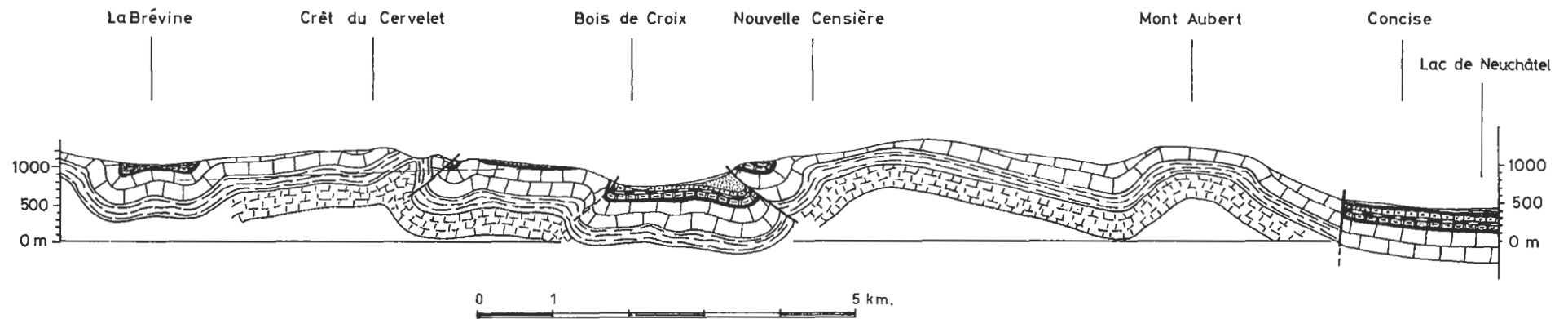
### 4.3. Forme géométrique des principaux réservoirs

La forme du réservoir du *Malm* est donnée par la surface structurale de la limite Argovien-Séquanien, représentée sur la carte hydrogéologique par des courbes de niveau. Dans les grands synclinaux et en bordure du Jura, où cette surface structurale est inférieure au niveau des principales zones d'exutoires superficielles (Doubs, Areuse, lac de Neuchâtel, Thielle) et souterraines (Bois de l'Halle pour le synclinal de La Brévine), nous admettons que le réservoir est saturé jusqu'au niveau des exutoires, au moins.

Le réservoir du *Malm* est largement ouvert aux infiltrations : les couches imperméables ne le recouvrent qu'au fond des synclinaux et en bordure du Jura. Il est relativement continu dans le Jura neuchâtelois : il n'est interrompu que par les grands anticlinaux où l'Argovien affleure et par

|             |  |                                   |  |                           |
|-------------|--|-----------------------------------|--|---------------------------|
| Quaternaire | Glaciaire & Postglaciaire                | Alluvions<br>Moraine<br>Eboulis   |  | Perméabilité variable     |
| Tertiaire   | Aquitaniens<br>Burdigaliens              | Marnes<br>Grès                    |  | Imperméable               |
| Secondaire  | Urgonien & Hauterivien supérieur         | Calcaire                          |  | Perméable                 |
|             | Hauterivien inférieur                    | Marnes                            |  | Imperméable               |
|             | Valanginien                              | Calcaire                          |  | Perméable                 |
|             | Purbeckien                               | Marnes                            |  | Imperméable               |
|             | Portlandien<br>Kimmeridgien<br>Séquanien | Calcaire                          |  | Perméable                 |
|             | Argovien                                 | Calcaire marneux<br>Marnocalcaire |  | Imperméable               |
|             | Callovien<br>Bathonien<br>Bajocien       | Calcaire & Marnocalcaire          |  | Perméable & peu perméable |

Fig. 5. Coupe géologique schématique à travers le Jura neuchâtelois (d'après G. P. SIMEONI).



quelques grands chevauchements et décrochements. La coupe géologique schématique de la figure 5 montre les ondulations de ce réservoir entre la vallée de La Brévine et le lac de Neuchâtel.

Le réservoir du *Valanginien* est très discontinu et n'existe qu'au fond des synclinaux et en bordure du Jura (voir aussi la coupe géologique de la figure 5). Mis à part la bordure SE du Jura, la surface d'infiltration directe de ce réservoir est très faible.

L'extension du réservoir de l'*Hauterivien supérieur-Urgonien* est encore plus faible que celle du *Valanginien* : il n'existe qu'au fond des synclinaux et en bordure du Jura.

Les craies lacustres de l'*Oehningien* ne jouent de rôle hydrogéologique important que dans le synclinal du Locle et de La Chaux-de-Fonds. En gros, elles forment une large cuvette, mais leur structure est très compliquée dans le détail (B. KUBLER 1962) : elles sont très plissées et faillées.

Les principaux réservoirs du Quaternaire sont formés par des alluvions (et dépôts fluvio-glaciaires) graveleuses. L'épaisseur de ces réservoirs est très variable : il s'agit de paquets de graviers de forme irrégulière, souvent lenticulaire, encaissés dans des moraines et des sédiments faiblement perméables.

## 5. COMPOSITIONS MINÉRALOGIQUES ET CHIMIQUES DES ROCHES

(par F. PERSOZ et B. KUBLER)

Les données minéralogiques et pétrographiques de la planche 1 ont été recueillies sur la base d'un échantillonnage statistique dans les formations du Jura méridional neuchâtelois (région de Neuchâtel, gorges de l'Areuse, Val-de-Travers). Les résultats de l'analyse chimique (342 éch.) sont beaucoup moins nombreux que ceux de l'analyse minéralogique (584 éch.). Dans quelques formations (marquées d'un \* dans la table) les moyennes et leur estimée de l'écart-type ne portent que sur les analyses d'un seul forage ou d'une seule coupe. Dans les autres formations, ces deux paramètres représentent les valeurs moyennes pondérées de plusieurs coupes ou forages. Dans les deux cas, la variance a été corrigée par le facteur  $N/N - 1$ .

Les teneurs en quartz, dolomite, résidu insoluble (RI) et en oxydes représentent des pour-cents absolus de la roche totale ; celles en chlorite, kaolinite, illite, montmorillonite et interstratifiés sont exprimées en pour-cents relatifs de la somme des phyllites.

Les analyses minéralogiques ont été obtenues par diffraction X : le quartz, la dolomite par la méthode des poudres (PERSOZ 1969) ; l'erreur relative est d'environ  $\pm 7\%$  (2 s), les phyllites par la méthode des préparations orientées (KUBLER 1967).

Les analyses chimiques ont été faites sur la phase soluble des roches (attaque de 1 g par 20 ml d'HCl 1 N à chaud pendant 20 mn, ramené à 100 ml). Les éléments ont été dosés par absorption atomique.

### Commentaires

Dans toutes les formations, à l'exception du Kimmeridgien supérieur, du Portlandien et du Purbeckien, où il est néoformé en grande partie, le quartz est de nature détritique ; les diamètres dépassent rarement  $100\mu$ . La dolomite est sous forme de petits rhomboèdres dont les dimensions varient entre 10 et  $40\mu$ . Il s'agit de dolomites idéales, calciques ou de ferro-dolomite.

Parmi les phyllites, la susceptibilité au gonflement et la capacité d'échange est maximum pour les smectites, plus faibles pour les interstratifiés et faible pour les illites. La cristallinité de ces dernières est nettement meilleure dans les formations du Crétacé que dans celles du Jurassique.

Les valeurs en oxydes, de par la méthode d'attaque chimique utilisée, correspondent à ce qui peut être lessivé au maximum lors de la dissolution des calcaires, marno-calcaires et dolomie dans le Karst jurassien. Certains cations sont liés essentiellement à la phase carbonatée (CaO, MgO, MnO), d'autres à la phase silicatée ( $K_2O$ ,  $Na_2O$ , FeO), d'autres enfin aux sulfates (SrO). Le fer dans certaines formations (Pierre jaune de Neuchâtel, Calcaire roux, Dalle nacrée) provient en grande partie des oxydes et hydroxydes plus ou moins amorphes, parfois des ferro-dolomites).

La porosité de matrice mesurée sur échantillons est, comme d'habitude dans les roches carbonatées, très faible dans les faciès fins, sublithographiques ou micritiques (inférieure à 1%). Les calcarénites, biocalcarénites, bref les calcaires de haute énergie, peuvent atteindre des porosités de l'ordre de 10%.

Les perméabilités, mesurées sur échantillons, atteignent quelques millidarcy, dans les faciès agités. Dans les faciès fins, la compaction est en général telle qu'elle n'a pas pu être mesurée.

Les données de la planche 1 fixent les ordres de grandeur des caractères considérés. Elles ne sont pas encore applicables systématiquement en raison du nombre trop petit d'analyses et de la variance souvent élevée à l'intérieur des formations.

Ces recherches ont fait l'objet d'un subside du Fonds national suisse de la recherche scientifique. Nous en remercions vivement cette institution.

## 6. NAPPES IMPORTANTES, PRINCIPAUX SYSTÈMES D'ÉCOULEMENT ET EXUTOIRES

**6.1. Système d'écoulement de la source de l'Areuse**

Le bassin de la source de l'Areuse a fait l'objet d'une étude détaillée dont les résultats sont consignés dans la thèse de TRIPET (1971). La source (altitude 793 m) représente l'exutoire de deux nappes situées dans le Malm des synclinaux de La Brévine et des Verrières. La nappe de La Brévine se déverse dans le synclinal des Verrières par un seuil souterrain (région du Bois de l'Halle). Le niveau de la nappe est supérieur à 1000 m dans le synclinal de La Brévine et supérieur à 800 m dans le synclinal des Verrières. L'amplitude des oscillations du niveau est supérieure à 50 m.

La superficie du bassin d'alimentation de la source couvre environ 130 km<sup>2</sup> ; le débit moyen de celle-ci est de 4,72 m<sup>3</sup>/s et ses extrêmes : 0,27 à 50 m<sup>3</sup>/s.

La lame d'eau moyenne tombée sur le bassin s'élève à 1531 mm, le déficit d'écoulement étant de 333 mm. Le coefficient d'emmagasinement du réservoir est estimé à 4,5 ‰. La source est en relation directe avec les pertes et emposieux de la vallée de La Brévine.

D'après les mesures de niveau d'eau dans les forages existants, il apparaît que le gradient moyen (pente de la nappe) est relativement faible, de l'ordre de quelques pour-mille.

**6.2. Système d'écoulement de la source de la Noiraigue**

La source de la Noiraigue (altitude : 750 m) représente l'exutoire d'une nappe située dans le réservoir du Malm du synclinal de la vallée des Ponts. Le débit moyen en est de 2,02 m<sup>3</sup>/s et les extrêmes : 0,17 à 14 m<sup>3</sup>/s. La surface alimentaire couvre 68 km<sup>2</sup> environ. La source est en relation avec les pertes et emposieux de la vallée des Ponts.

Le niveau de la nappe, mesuré dans les forages, est supérieur à 800 m dans le Malm, avec des variations de quelques dizaines de mètres.

La limite E de la nappe est probablement une limite hydraulique. Les perméabilités mesurées dans les forages sont inférieures à celles mesurées dans la vallée de La Brévine.

**6.3. Système d'écoulement de la source de la Serrière**

Bien qu'elle sorte des terrains crétacés, la source de la Serrière (altitude : 470 m) est l'exutoire d'une nappe située dans les calcaires du Malm du synclinal du Val-de-Ruz. Cette nappe communique avec la nappe du Malm s'étendant au pied du Jura.

La surface du bassin de la source s'élève à 80 km<sup>2</sup>, dont 30 km<sup>2</sup> sont occupés par le noyau synclinal de tertiaire et de quaternaire imperméable, que draine superficiellement le Seyon.

Le débit moyen de la source est d'environ 2,2 m<sup>3</sup>/s (maximum : 12 m<sup>3</sup>/s ; minimum : 0,4 m<sup>3</sup>/s). Dans un forage, implanté par L. Mornod entre Chézard et Dombresson (forage du Torrent), le niveau de la nappe s'établit à 600-610 m d'altitude, avec des variations dépassant 150 m. Le gradient moyen de la nappe est probablement supérieur à 1‰.

**6.4. Nappe du synclinal du Locle - La Chaux-de-Fonds**

La nappe d'eau souterraine située dans le Malm de ce synclinal occupe un réservoir structurellement fermé. Cependant, les essais de coloration et les mesures de niveau de la nappe dans les forages indiquent que celle-ci est en relation avec le Doubs, représentant son niveau de base, malgré la présence de l'anticlinal de Pouillerel dans lequel l'Argovien forme normalement une barrière. La traversée de l'anticlinal est facilitée par le fait qu'il se trouve justement dans la zone de transition rapide entre les marnocalcaires de l'Argovien et le faciès calcaire zoogène du Rauracien. Les marnes oxfordiennes sont encore trop peu développées pour empêcher une communication entre le Malm et le Dogger. La continuité hydraulique du synclinal du Locle et de La Chaux-de-Fonds avec le Doubs est donc assurée par les accidents tectoniques mineurs qui interrompent la continuité des fragiles niveaux imperméables de l'anticlinal de Pouillerel.

Plusieurs décharges localisées s'échelonnent le long du Doubs : les sources de l'Arvoux (sous-lacustre), de Moron, du Torret (temporaire), la source « polluée » (par des égouts de La Chaux-de-Fonds), les sources de la Rasse et du bas de la combe de la Ronde.

Dans le synclinal, la nappe oscille entre 880 et 970 m (MATTHEY et SIMEONI 1971). A l'W, les relations avec la nappe du synclinal de La Brévine sont mal élucidées : il doit exister entre les deux une limite géologique à faible perméabilité.

**6.5. Nappe du Malm le long du pied du Jura**

Le réservoir du Malm plonge sous le Crétacé et le Tertiaire, le long du pied du Jura. La nappe qu'il contient se décharge en plusieurs sources de moyenne importance, à travers le Crétacé. Plusieurs de ces dernières pourraient avoir une alimentation mixte, du Malm et du Crétacé. Certaines d'entre elles sont temporaires : sources du Merdasson supérieur (580 m) ; source inférieure de Combe-Garot (590 m) ; source du Biaud, à Bevaix (580 m) ; source de la Diaz, à Concise (450 m). Le forage artésien

effectué par Mornod, à Treytel, à l'O de Bevaix (pression artésienne : 50-60 m, débit : 2000-3000 l/mn) pénètre dans le réservoir du Malm, captif sous le Crétacé.

#### **6.6. Nappe du Malm du Val-de-Travers**

Le réservoir synclinal du Malm se décharge par des sources échelonnées le long du bord S de la vallée : source des Raies, à Buttes ; source de la Raisse, à Fleurier ; source de la Sourde, à Môtiers ; source de Champ-du-Moulin. Leur zone alimentaire est constituée par le flanc N du complexe anticlinal le Soliat-le Chasseron.

Les eaux du flanc septentrional du synclinal du Val-de-Travers émergent en deux groupes de sources : les sources du Pont-de-la-Roche, jaillissant sur les deux rives de l'Areuse et les sources temporaires du Crêt-de-l'Anneau, sur la rive gauche.

#### **6.7. Nappes et exutoires du Crétacé**

Nous connaissons assez mal les nappes situées dans les réservoirs du Crétacé. Les exutoires les plus importants se situent en bordure du Jura, où les réservoirs du Crétacé jouent un rôle hydrogéologique important, en particulier du fait des zones d'affleurement étendues des calcaires Valanginiens.

Sur la carte hydrogéologique nous avons représenté une série d'exutoires par lesquels les nappes du Crétacé se déversent : Le Landeron, Cressier, Cornaux, Saint-Blaise (sources du Vigner), Bôle (Merdasson inférieur), Gorgier (source des Tannes), Saint-Aubin. Il faut mentionner encore, sur le littoral, la source de la Raisse entre Vaumarcus et Concise.

Dans la vallée de l'Areuse, les principaux exutoires des nappes du Crétacé sont : la source des Grandes-Fontaines (Travers), la source du Loclat à l'W de Travers et une série de sources sur les deux rives de la rivière, s'étendant depuis Champ-du-Moulin jusqu'à Combe-Garot.

Le petit synclinal Crétacé des Brenets détermine un alignement de sources entre les Goudebas et la route Les Brenets - Le Locle.

Dans le Val-de-Ruz, il faut mentionner la source du Seyon, la source des Montres aux Prés-Royer (source temporaire) et les sources d'Hauterive à Valangin.

#### **6.8. Nappes de l'Oehningien**

Dans la région du Locle, la nappe d'eau souterraine de l'Oehningien a pour exutoires une cinquantaine de captages, puits et galeries. Le débit total de ces captages varie entre 3200 et 17 000 l/mn.

Dans la région de La Chaux-de-Fonds, l'exutoire principal de la nappe de l'Oehningien est la source de la Ronde, dont le débit peut dépasser 1000 l/mn.

#### **6.9. Nappes du Quaternaire**

Les nappes du Quaternaire sont, à quelques rares exceptions, des nappes libres de faible puissance mais d'une productivité importante. Elles sont localisées dans des alluvions fluvioglaciaires et récentes.

##### *Littoral*

Nappe du delta de l'Areuse : elle occupe une étendue de 4,2 km<sup>2</sup>. Le terrain aquifère est d'épaisseur inégale (15 à 20 m au maximum) et hétérogène, du fait d'une structure deltaïque bien marquée. Elle est abondamment irriguée par l'Areuse et ses dérivations industrielles, alors que la Molasse encaissante ne lui fournit que de faibles apports épidermiques.

Nappe de Perreux à Bevaix : elle est contenue dans les graviers fluvioglaciaires disposés en glacis le long du pied du Jura. Elle affleure le long du bord aval de cette formation en donnant naissance à une zone marécageuse qui fournit un abondant débit aux drainages artificiels.

Cônes de déjections : de nombreux cônes de déjections, généralement d'alluvions fluvioglaciaires, jalonnent le bord du lac de Neuchâtel et de la plaine de la Thielle. En dépit de leur extension limitée, ils sont fréquemment perméables et productifs. Ceux qui sont en contact avec le lac sont réalimentés par celui-ci en cas de pompage abaissant suffisamment le niveau piézométrique.

##### *Val-de-Travers*

Un épandage d'alluvions perméables occupe le talweg entre Buttes et Boveresse. La nappe qu'il contient est importante malgré l'épaisseur modérée de l'aquifère : 10-12 m au maximum. La décharge naturelle, près de Boveresse, a un débit variant entre 150 et 800 l/s. L'alimentation se fait, d'une part, par les calcaires encaissants du synclinal et, d'autre part, par l'Areuse et ses canaux. Ces deux sources d'alimentation expliquent la variabilité du débit de la nappe.

##### *Val-de-Ruz*

La nappe des Prés-Royer comporte un étage libre, occupant des alluvions fluvioglaciaires épaisses de 5 à 12 m. La ressource moyenne en est de 1400 l/mn. Un niveau artésien de 2 m d'épaisseur

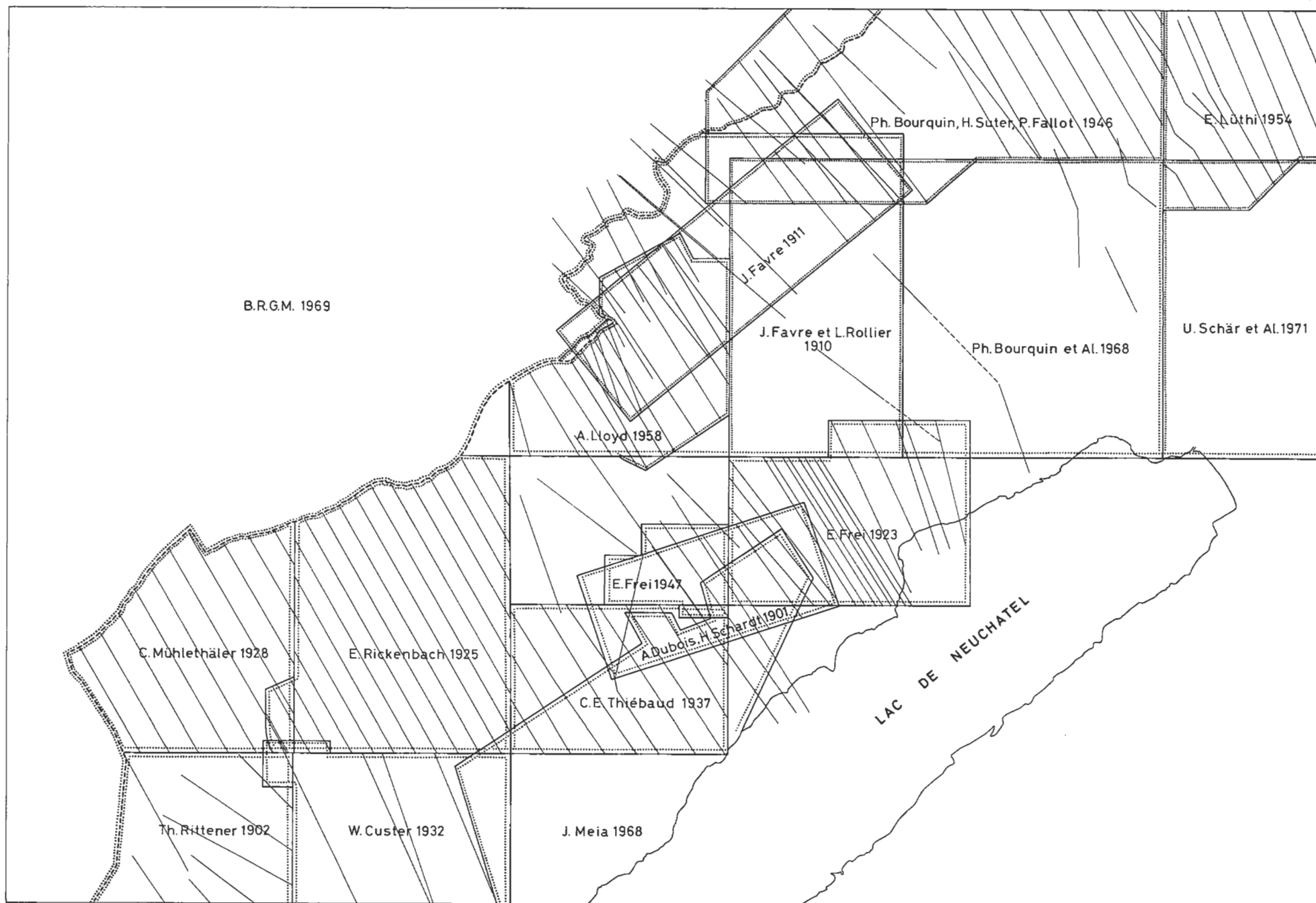


Fig. 6. Cartes et coupes géologiques utilisées.

existe au sein de la moraine sous-jacente, entre 20 et 25 m de profondeur. Sa productivité, encore mal connue, est importante.

A l'W du Val-de-Ruz, d'importants dépôts d'alluvions fluvioglaciaires hétérogènes abritent des nappes locales (Paulières, Sorgereux). Ces dépôts sont encore mal explorés. Il semble qu'ils soient drainés souterrainement (en partie du moins) par les calcaires crétacés du bord méridional du synclinal.

#### *Plateau de Lignièrès*

Une vaste zone d'épandage d'alluvions fluvioglaciaires s'étale à l'issue de la Combe des Prés-de-Lignièrès. Ces dépôts sont aquifères mais leur perméabilité est faible.

#### *Vallée de La Sagne*

Un grand cône de déjections aquifère, à faible perméabilité, s'étale à l'issue de la Combe-des-Quignets. Il alimente notamment la source captée pour l'approvisionnement du village de La Sagne.

#### *Vallée du Doubs*

Un important remblayage d'alluvions, très probablement à haute perméabilité, occupe la section inférieure de la Combe-de-Biaufond. Non encore explorées, elles contiennent probablement une nappe très productive, alimentée par les calcaires encaissants.

### 7. DOCUMENTS CONSULTÉS

La figure 6 montre l'extension des cartes géologiques et l'emplacement des coupes géologiques que nous avons consultées pour établir la carte lithologique et pour construire la surface structurale de l'Argovien. La surface structurale de l'Argovien dans le canton de Neuchâtel est présentée dans une publication séparée (KIRALY 1969b), où l'on trouve une liste détaillée des documents consultés pour son établissement.

Tableau hors texte. Valeurs numériques caractéristiques des roches et des eaux souterraines. Ces valeurs nous ont été fournies par :

- F. Persoz et B. Kubler pour la composition chimique et minéralogique des roches ;
- J.-J. Miserez pour le chimisme des eaux souterraines ;
- G. P. Simeoni pour les perméabilités mesurées dans les forages ;
- A. Burger et J.-P. Tripet pour les coefficients d'emmagasinement dans les calcaires ;
- L. Kiraly pour les fréquences des fissures dans les calcaires du Malm.

Dans ce tableau, le nombre de mesures est désigné par « N », la moyenne arithmétique par « X » et l'écart-type par « s ».

Une grande partie des variables n'est pas distribuée selon la distribution « normale ».

## BIBLIOGRAPHIE

- BELL, E. — (1931). Monographie de la vallée du Doubs (entre Les Brenets et Biaufond). *Bull. Soc. neuchâtel. Géogr.* 40 : 5-133, 26 fig., 2 pl.
- BISCHOFF, G. O. — (1959a). Strukturkarte der Argovienoberfläche südlich La Chaux-de-Fonds (inédate).  
— (1959b). Strukturkarte der Argovienoberfläche nördlich La Chaux-de-Fonds (inédate).
- BOURQUIN, Ph., FALLOT, P. et SUTER, H. — (1946). Atlas géologique de la Suisse, 1 : 25 000, feuille N° 15 : Biaufond, Les Bois, La Ferrière, Saint-Imier. Notice explicative. 56 pp., 7 fig., 6 pl.
- BURGER, A. — (1959). Hydrogéologie du bassin de l'Areuse. *Bull. Soc. neuchâtel. Géogr.* 52 (1), 304 pp.  
— (1963). Répercussions et enseignements de la sécheresse de 1962 sur l'approvisionnement du canton en eau potable. *Rapport à la Commission cantonale des Eaux.* 47 pp., 15 fig. (Département des travaux publics, Neuchâtel).
- CUSTER, W. — (1928). Etude géologique du pied du Jura vaudois. *Mat. Carte géol. Suisse* 89 (N. S.), 72 pp., 6 fig., 2 pl.
- FAVRE, J. — (1911). Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. *E. G. H.* 11 (4) : 369-475, 36 fig., 5 pl.
- FREI, E. — (1925). Zur Geologie des südöstlichen Neuenburger Jura, insbesondere des Gebietes zwischen Gorges de l'Areuse und Gorges du Seyon. *Mat. Carte géol. Suisse* 55 (N. S.) : X + 99 pp., 17 fig., 3 pl.
- KIRALY, L. — (1969a). Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. *Eclogae Géol. Helv.* 62 (2) : 623-629.  
— (1969b). Bref commentaire à la carte structurale de la surface Argovien-Séquanien dans le canton de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 92 : 71-73.
- KUBLER, B. — (1962). Etude de l'Oehningien (Tortonien) du Locle (Neuchâtel, Suisse). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 85 : 5-42.  
— (1967). Stabilité et fidélité de mesures simples sur les diagrammes de rayons X. *Bull. Groupe Franc. des Argiles* 19 (1).
- LLOYD, A. — (1959). Geology of the region between Le Locle and Les Ponts-de-Martel. (Rapport inédit : 43 pp., 8 fig. et pl.)
- LÜTHI, E. — (1954). Geologische Untersuchungen im Gebiete zwischen Tessenberg und St. Immortal (Bernier Jura). 47 pp., 3 fig., 1 pl., *Burgdorf* (Buchdruckerei E. Baumgartner).
- MARGAT, J. — (1966). La cartographie hydrogéologique. *Chronique d'Hydrogéologie* N° 9 : 7-32.
- MARGOT, J.-M. — (1962). Carte structurale de la surface de l'Argovien du bassin de l'Areuse (inédate).
- MATHEY, B. et SIMEONI, G.-P. — (1971). Fluctuation du niveau piézométrique dans les réservoirs calcaires du Jura neuchâtelais. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 94 : 115-118.
- MEIA, J. — (1964). Carte structurale de l'Argovien de la chaîne Tête-de-Ran - Mont-d'Amin (inédate).  
— (1967). Carte structurale de l'Argovien du Mont-Aubert (inédate).
- MÜHLETHALER, Ch. — (1932). Etude géologique de la région des Verrières (canton de Neuchâtel). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 56 : 121-300, 17 fig., 1 pl.
- PERSOZ, F. — (1967). Carte structurale de l'Argovien : Chaumont-Chasseral, Châtoillon (inédate).  
— (1969). Fidélité de l'analyse quantitative des poudres de roches par diffraction X. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA* 3 (2).
- RICKENBACH, E. — (1925). Description géologique du Val-de-Travers entre Fleurier et Travers. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 50 : 1-76, 1 carte géol., nb. coupes.
- RITTENER, Th. — (1902). Etude géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Sainte-Croix et Baulmes. *Mat. Carte géol. Suisse* 13 (N. S.) : VI + 116 pp., 23 fig., 1 carte géol.
- SCHWAAR, D. — (1960). Carte structurale de la surface supérieure de l'Argovien dans la région du Locle (inédate).
- SCHAER, J.-P. — (1955). Coupe de l'anticlinal de Chaumont (inédate, travail de licence).
- SUTER, H. — (1936). Geologische Beschreibung der Kartengebiete Les Bois und Saint-Imier im Berner Jura. *Mat. Carte géol. Suisse* 72 (N. S.) : 39 pp., 5 fig., 1 pl.  
— (1937). Zur Geologie der westlichen Tête-de-Ran-Kette. *E. G. H.* 30 (1) : 25-34.
- TRIPET, J.-P. — (1971). Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse. Thèse, Université de Neuchâtel.

| STRATIGRAPHIE                              |                       |                       | MINERALOGIE        |          |            |            |             |          |                   |                   | CHIMIE DES ROCHES |       |          |          |          |                       |                      | CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    | PERMEABILITE DES CALCAIRES DANS LES FORAGES (en m/s · 10 <sup>-7</sup> ) |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      | FISSURATION [fiss/m] |        |           |          |
|--|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------|------------|------------|-------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|----------|----------|----------|-----------------------|----------------------|------------------------------|----|------------------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|------|----|--|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|--------|-----------|----------|
| COUPE STRATIGRAPHIQUE DU JURA NEUCHATELOIS | FORMATIONS            | EPAISSEUR MOYENNE -m- | RESIDU INSOLUBLE % | QUARTZ % | DOLomite % | CHLORITE % | KAOLINITE % | ILLITE % | MONTMORILLONITE % | INTERSTRATIFIES % | CaO %             | MgO % | Sr O g/t | Mn O g/t | Fe O g/t | Na <sub>2</sub> O g/t | K <sub>2</sub> O g/t | FORAGES                      |    |                  |              |               |                       |                       | SOURCES               |                      |                     |                                    |                      |      |    | PERMEABILITE DES CALCAIRES DANS LES FORAGES                              |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      | FISSURATION [fiss/m] |        |           |          |
|  |                       |                       |                    |          |            |            |             |          |                   |                   |                   |       |          |          |          |                       |                      | T °C                         | pH | pCO <sub>2</sub> | D. Tot. mg/l | D. Temp. mg/l | Ca <sup>++</sup> mg/l | Mg <sup>++</sup> mg/l | Sr <sup>++</sup> mg/l | Na <sup>+</sup> mg/l | K <sup>+</sup> mg/l | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l | Cl <sup>-</sup> mg/l | T °C | pH | pCO <sub>2</sub>   | D. Tot. mg/l | D. Temp. mg/l | Ca <sup>++</sup> mg/l | Mg <sup>++</sup> mg/l | Sr <sup>++</sup> mg/l | Na <sup>+</sup> mg/l | K <sup>+</sup> mg/l | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l | Cl <sup>-</sup> mg/l | BREVINE              | CACHOT | CLEF D'OR | COTTARDS |
|  | MIOCENE INF.          | 30                    | 26                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 18                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | OLIGOCENE             | 120                   | 4.5                | 1.9      | —          | 3.9        | 33.8        | 25.0     | 34.0              | 1.3               | 51.6              | 0.13  | 121      | 353      | 1270     | 76                    | 299                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | EOCENE                | 5                     | 54                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 24                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | CENOMANIAN            | 12                    | 11.4               | 7.8      | —          | 3.2        | 10.7        | 41.8     | 39.0              | 7.8               | 47.3              | 0.25  | 150      | 378      | 4166     | 84                    | 579                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | ALBIEN                | 25                    | 45                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 26                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | APTIEN                | 15                    | 45                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 26                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | URGONIEN              | 24                    | 30.6               | 13.0     | 4.0        | 2.6        | 15          | 24.8     | 68.8              | 2.6               | 36.3              | 1.24  | 438      | 204      | 5321     | 355                   | 1626                 |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | HAUTERIVIEN SUPERIEUR | 50                    | 4                  |          |            |            |             |          |                   |                   | 4                 |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | HAUTERIVIEN INF.      | 20                    | 27.3               | 9.0      | 11.7       | 1.2        | 16.2        | 15.7     | 65.0              | 15                | 34.6              | 3.20  | 245      | 493      | 10093    | 254                   | 1166                 |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | VALANGINIEN SUP.      | 13                    | 130                | 7.0      | 6.4        | 2.8        | 15.7        | 12.2     | 28.2              | 2.6               | 9.6               | 1.38  | 13       | 77       | 5097     | 99                    | 934                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | VALANGINIEN INF.      | 50                    | 70                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 36                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | PURBECKIEN            | 18                    | 6.7                | 3.4      | 1.2        | 7.9        | 29.8        | 38.2     | 20.5              | 3.5               | 49.7              | 0.48  | 300      | 263      | 2233     | 140                   | 496                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | PORTLANDIEN           | 90                    | 10.5               | 5.4      | 3.2        | 7.4        | 20.1        | 19.6     | 23.4              | 5.3               | 8.6               | 0.49  | 121      | 216      | 2072     | 95                    | 770                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | KIMMERIDGIEN          | 180                   | 34                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 29                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  |                       |                       | 11.5               | 3.5      | 23.9       | 5.2        | 6.1         | 59.0     | 21.4              | 6.2               | 42.8              | 3.61  | 5359     | 205      | 2535     | 229                   | 503                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | SEQUANIEN             | 110                   | 147                |          |            |            |             |          |                   |                   | 72                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  |                       |                       | 3.1                | 1.1      | 31.9       | 7.2        | 21.2        | 44.6     | 14.8              | 5.0               | 44.5              | 7.96  | 312      | 100      | 819      | 306                   | 417                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | ARGOVIEN              | 200                   | 38                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 38                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  |                       |                       | 1.2                | tr.      | 4.7        | 8.8        | 23.9        | 54.5     | 5.0               | 7.6               | 52.4              | 1.13  | 249      | 69       | 253      | 154                   | 182                  |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  | OXFORDIEN             | 2                     | 26                 |          |            |            |             |          |                   |                   | 26                |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
| 3.5  |                       |                       | 1.6                | tr.      | 8.7        | 25.9       | 47.0        | 2.6      | 15.6              | 51.7              | 0.56              | 257   | 96       | 2114     | 314      | 342                   |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
| CALLOVIEN                                  | 60                    | 32                    |                    |          |            |            |             |          |                   | 32                |                   |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  |                       | 37.8                  | 14.6               | 2.8      | 13.0       | 23.0       | 52.1        | tr.      | 10.6              | 31.3              | 1.03              | 556   | 346      | 8349     | 395      | 1860                  |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
| BATHONIEN                                  | 60                    | 77                    |                    |          |            |            |             |          |                   | 28                |                   |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  |                       | 6.5                   | 2.8                | 3.4      | 15.1       | 8.1        | 52.4        | 15.0     | 7.6               | 49.9              | 0.94              | 633   | 855      | 8646     | 337      | 577                   |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
| BAJOCIEN                                   | 40                    | 31                    |                    |          |            |            |             |          |                   | 9                 |                   |       |          |          |          |                       |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |
|  |                       | 14.0                  | 5.3                | 4.0      | 14.1       | 39.1       | 34.7        | 3.5      | 3.1               | 46.5              | 0.72              | 403   | 167      | 5567     | 489      | 1493                  |                      |                              |    |                  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |      |    |  |              |               |                       |                       |                       |                      |                     |                                    |                      |                      |        |           |          |

# Carte hydrogéologique du Canton de Neuchâtel

1 : 50 000

## FORMATIONS GÉOLOGIQUES - PROPRIÉTÉS DES AQUIFÈRES

| STRATIGRAPHIE         | LITHOLOGIE                          | PERMÉABILITÉ     | RESSOURCES EN EAU                             |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------|---|
| Quaternaire           | alluvions récentes + fluvioglacière | élevée           | élevées<br>moyennes - faibles<br>inexistantes |
|                       |                                     | moyenne          |   |
|                       |                                     | faible           |   |
|                       | éboulis                             | élevée           |   |
|                       | couches d'altération                | moyenne - faible |   |
|                       | tourbe (T)                          | moyenne          |   |
|                       | moraines                            | élevée - moyenne |   |
| faible                |                                     |                  |   |
| Oligocène<br>Miocène  | calcaires                           | moyenne          | élevées - faibles                             |
|                       | grès, argiles                       | faible           |   |
| Crétacé<br>Jurassique | calcaires calcaires marneux         | élevée - moyenne | (nappe du Malm) élevées                       |
|                       | marnes marno-calcaires              | faible           |   |

## Eaux souterraines

### I. INDICATIONS RELATIVES AUX EAUX SOUTERRAINES

- Limite structurale des principaux bassins karstiques
- Idem, hypothétique
- Limite de la nappe captive du Malm

### II. SOURCES NON CAPTÉES

| RÉGIME<br>Débit moyen l/s | temporaire | pérenne              |                      |
|---------------------------|------------|----------------------|----------------------|
|                           |            | Variabilité > 1 : 10 | Variabilité < 1 : 10 |
| 0-1                       |            |                      |                      |
| 1-10                      |            |                      |                      |
| 10-100                    |            |                      |                      |
| 100-1000                  |            |                      |                      |
| > 1000                    |            |                      |                      |

- Source à régime et débit inconnus

### III. SOURCES CAPTÉES

| RÉGIME<br>Débit moyen l/s | temporaire | pérenne              |                      |
|---------------------------|------------|----------------------|----------------------|
|                           |            | Variabilité > 1 : 10 | Variabilité < 1 : 10 |
| 0-1                       |            |                      |                      |
| 1-10                      |            |                      |                      |
| 10-100                    |            |                      |                      |
| 100-1000                  |            |                      |                      |
| > 1000                    |            |                      |                      |

- Source captée à régime et débit inconnus
- Galerie de captage (débit selon symbole rattaché)

### IV. PUIITS

| RÉGIME<br>Débit moyen l/s | TYPE | artisanaux | filtrants forés | à drains rayonnants |
|---------------------------|------|------------|-----------------|---------------------|
|                           |      |            |                 |                     |
| 1-10                      |      |            |                 |                     |
| 10-100                    |      |            |                 |                     |
| Inconnu                   |      |            |                 |                     |

## SYMBOLES SPÉLÉOLOGIQUES

- Grotte
- Groupe de grottes
- Gouffre
- Groupe de gouffres

## OUVRAGES

- Citerne ou réservoir
- Forage de prospection hydrogéologique
- Tunnel dérivant de l'eau souterraine

## SYMBOLES GÉOLOGIQUES

### Contact géologique :

- Observé
- Supposé
- Décoiffement

### Décrochement, faille, chevauchement :

- Observé
- Supposé
- Isohypse du toit de l'Argovien

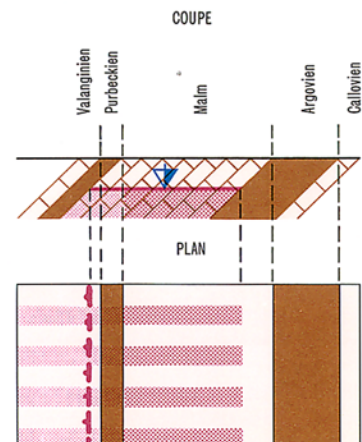
### Décrochement, faille, chevauchement au niveau du toit de l'Argovien :

- Probable
- Hypothétique

## EAUX DE SURFACE

- Cours d'eau pérenne ou temporaire
- Perte dans les calcaires
- Lac

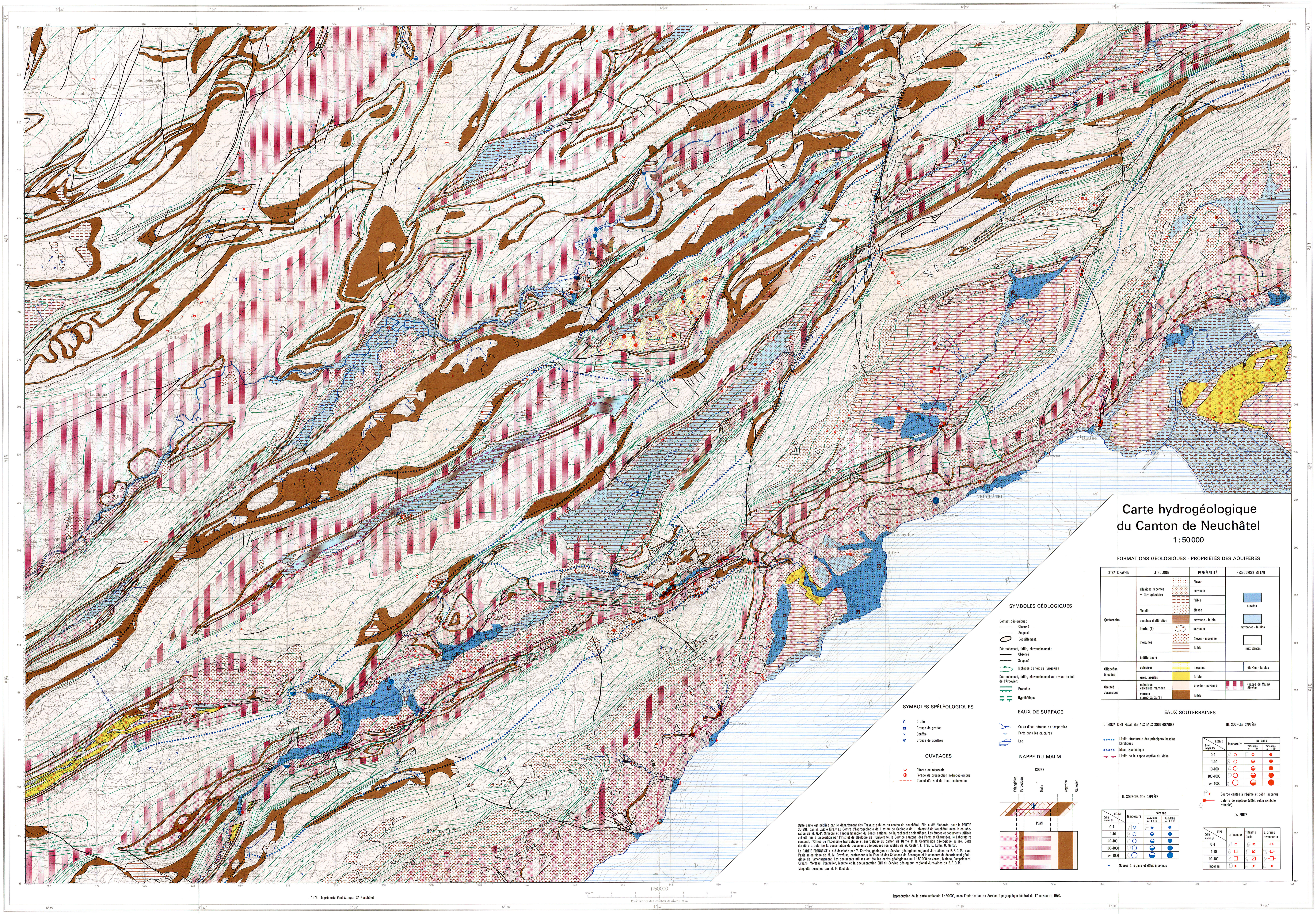
## NAPPE DU MALM



Cette carte est publiée par le département des Travaux publics du canton de Neuchâtel. Elle a été élaborée, pour la PARTIE SUISSE, par M. Laszlo Kiraly au Centre d'hydrogéologie de l'Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel, avec la collaboration de M. G.-P. Siméoni et l'appui financier du Fonds national de la recherche scientifique. Les études et documents utilisés ont été mis à disposition par l'Institut de Géologie de l'Université, le Service cantonal des Ponts et Chaussées, le Laboratoire cantonal, l'Office de l'Economie hydraulique et énergétique du canton de Berne et la Commission géologique suisse. Cette dernière a autorisé la consultation de documents géologiques non publiés de W. Custer, E. Frei, E. Lüthi, U. Schär.

La PARTIE FRANÇAISE a été dessinée par Y. Kerrien, géologue au Service géologique régional Jura-Alpes du B. R. G. M. avec l'avis scientifique de M. M. Dreyfuss, professeur à la Faculté des Sciences de Besançon et le concours du département géologique de l'Aménagement. Les documents utilisés ont été les cartes géologiques au 1 : 50 000 de Verceul, Maîche, Damprichard, Ornans, Morteau, Pontarlier, Mouthe et la documentation ERH du Service géologique régional Jura-Alpes du B. R. G. M.

Maquette dessinée par M. F. Bochsler.



# Carte hydrogéologique du Canton de Neuchâtel 1:50000

FORMATIONS GÉOLOGiques - PROPRIÉTÉS DES AQUIFÈRES

| STRATIGRAPHIE        | LITHOLOGIE                            | PÉRMEABILITÉ     | RESSOURCES EN EAU       |
|----------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------|
| Quaternaire          | alluvions récentes + fluvio-glaciaire | élevée           | élevées                 |
|                      | rochers                               | moins            |                         |
|                      | éboulis                               | faible           | élevées                 |
|                      | craie d'alluvion                      | élevée - moyenne |                         |
| Morb (T)             | marais                                | élevée - moyenne | élevées - faibles       |
|                      | indifférencié                         | faible           | insaisissables          |
| Oligocène - Miocène  | calcaires                             | moins            | élevées - faibles       |
|                      | grès, argiles                         | faible           |                         |
| Crétacé - Jurassique | calcaires                             | élevée - moyenne | (nappe de Malm) élevées |
|                      | marne-marne-calcaires                 | faible           |                         |

## SYMBLES GÉOLOGiques

- Contact géologique:  
 Observé: —  
 Supposé: - - -  
 Découffement: - - - -  
 Décrochement, faille, chevauchement:  
 Observé: ———  
 Supposé: - - - -  
 Isohyse du toit de l'Argovien: ———  
 Décrochement, faille, chevauchement au niveau du toit de l'Argovien: ———  
 Probable: ———  
 Hypothétique: ———

## SYMBLES SPÉOLOGiques

- Grotte  
 Groupe de grottes  
 Grotte  
 Groupe de grottes

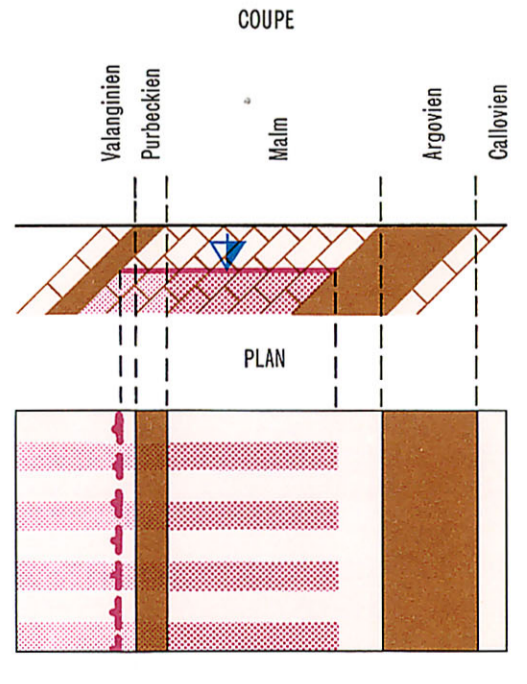
## OUVRAGES

- Citernes ou réservoirs  
 Forage de prospection hydrogéologique  
 Tunnel dérivé de l'eau souterraine

## Eaux de Surface

- Cours d'eau pérenne ou temporaire  
 Perle dans les calcaires  
 Lac

## NAPPE DU MALM



## Eaux Souterraines

**I. INDICATEURS RELATIFS AUX EAUX SOUTERRAINES**

●●●● Limite structurale des principaux bassins karstiques  
 ●●●● Idem, hypothétique  
 ——— Limite de la nappe captive de Malm

**II. SOURCES NON CAPTÉES**

| hauteur moyenne (m) | température | température moyenne (°C) | température moyenne (°C) |
|---------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| 0-1                 | ○           | ○                        | ○                        |
| 1-10                | ○           | ○                        | ○                        |
| 10-100              | ○           | ○                        | ○                        |
| 100-1000            | ○           | ○                        | ○                        |
| > 1000              | ○           | ○                        | ○                        |

● Source captée à régime et débit incertain  
 ● Source captée à régime et débit incertain

**III. SOURCES CAPTÉES**

| hauteur moyenne (m) | température | température moyenne (°C) | température moyenne (°C) |
|---------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| 0-1                 | ○           | ○                        | ○                        |
| 1-10                | ○           | ○                        | ○                        |
| 10-100              | ○           | ○                        | ○                        |
| 100-1000            | ○           | ○                        | ○                        |
| > 1000              | ○           | ○                        | ○                        |

● Source captée à régime et débit incertain  
 ● Source captée à régime et débit incertain

**IV. PLUETS**

| hauteur moyenne (m) | type | à drains | à drains |
|---------------------|------|----------|----------|
| 0-1                 | ○    | ○        | ○        |
| 1-10                | ○    | ○        | ○        |
| 10-100              | ○    | ○        | ○        |
| > 1000              | ○    | ○        | ○        |

● Source à régime et débit incertain  
 ● Source à régime et débit incertain