Étude géologique et hydrogéologique de la nappe des grès du trias inférieur dans l'est de la France (département de la Meurthe-et-Moselle et des Vosges)

Philippe Dague

▶ **To cite this version:**

Philippe Dague. Étude géologique et hydrogéologique de la nappe des grès du trias inférieur dans l'est de la France (département de la Meurthe-et-Moselle et des Vosges). Sciences de la Terre. Université de Nancy, 1969. Français. NNT : 1969NAFS0045 . tel-02340907

HAL Id: tel-02340907

https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02340907

Submitted on 31 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITÉ NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE SCIENCES

THÈSE

présentée à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR - INGENIEUR

par

Philippe DAGUE

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DE LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFÉRIEUR DANS L'EST DE LA FRANCE

(Département de la Meurthe-et-Moselle et des Vosges)

soutenue publiquement devant la Commission d'Examen le 1er Juillet 1969

JURY :

MM. M. ROUBAULT, Membre de l'Institut — *Président*

P. BLAZY ..... } *Examinateurs*

R. LAUGIER ..... }

J. RICOUR ..... } *Invités*

L. SIMLER ..... }

UNIVERSITE DE NANCY — FACULTE DES SCIENCES

ANNEE SCOLAIRE 1968/69

DOYEN : M. AUBRY

ASSESSEUR : M. GAY

Doyens honoraires : MM. CORNUBERT - ROUBAULT

Professeur honoraires : MM. RAYBAUD - LAFFITTE - LERAY - JOLY - LAPORTE - EICHBORN - CAPELLE - GODEMENT - DUBREIL - L. SCHWARTZ - DIEUDONNE - DE MALLEMAN - LONGCHAMBON - LETORT - DODE - GAUTHIER - GOUDET - OLMER - CORNUBERT - CHAPELLE - GUERIN - WAHL -

Maîtres de Conférences honoraires : MM. LIENHART - PIERRET - Mlle MATHIEU.

PROFESSEURS

MM.	ROUBAULT	Géologie	GAYET	Physiologie
	VEILLET	Biologie Animale	HADNI	Physique
	BARRIOL	Chimie Théorique	* BASTICK	Chimie
	BIZETTE	Physique	DUCHAUFOUR	Pédologie
	GUILLIEN	Electronique	GARNIER	Agronomie
	LEGRAS	Mécanique Rationnelle	MEEL	Chimie Organique Industrielle
	BOLFA	Minéralogie	BERNARD	Géologie Appliquée
	NICLAUSE	Chimie	* CHAMPIER	Physique
	FAIVRE	Physique Appliquée	* GAY	Chimie Biologique
	AUBRY	Chimie Minérale	STEPHAN	Zoologie
	COPPENS	Radiogéologie	* CONDE	Zoologie
	DUVAL	Chimie	* WERNER	Botanique
	FRUHLING	Physique	EYMARD	Calcul Différentiel & Intégral
	HILLY	Géologie	LEVISALLES	Chimie Organique
	LE GOFF	Génie Chimique	FELDEN	Physique
	SUBNER	Physique Expérimentale	* GOSSE	Mécanique Physique
	CHAPON	Chimie Biologique	* DAVOINE	Physique (ENSMIN)
	HEROLD	Chimie Minérale Industrielle	HORN	Physique (1° cycle)
	SCHWARTZ B.	Exploitation Minière	* ROCCI	Géologie
	MALAPRADE	Chimie	*Mme LUMER	Mathématiques
*	MANGENOT	Botanique	DELPUECH	Chimie physique

N...	Chimie Biologie
N...	Mécanique Appliquée
N...	Analyse Supérieure
N...	Méthodes Mathématiques de la Physique
N...	Mécanique Rationnelle

(*) Professeur titulaire à titre personnel

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Mme	BASTICK	Chimie P.C. EPINAL	MM.	FLECHON	Physique P.C.
MM.	GUDEFIN	Physique	Mle	HUET	Mathématiques C.B.G.
	VUILLAUME	Psychophysiologie		VIGNES	Métallurgie
	FRENTZ	Biologie Animale		BALESDENT	Thermodynamique, Chimie Appliquée (ENSIC)
	MARI	Chimie (ISIN)		BLAZY	Minéralogie Appliquée (ENSG)
	AUROUZE	Géologie		JANOT	Physique P.C. EPINAL
	DEVIOT	Physique du Solide		CACHAN	Entomologie Appliquée (ENSA)

MAITRES DE CONFERENCES

MM.	JACQUIN	Pédologie et Chimie agricoles	MM.	BAVEREZ	Chimie (ENSIC)
	MAINARD	Physique M.P.		CHAMBON	Exploitation Minière (Mines)
	MARTIN	Chimie P.C.		HUSSON	Physique (ENSEM)
	PAULMIER	Mécanique Expérimentale		WEISSLINGER	Physique
	PROTAS	Minéralogie		GERL	Physique
	JOZEFOWICZ	Physico-chimie		ROQUES	Chimie Minérale
	JURAIN	Géologie C.B.G.		FERRIER	Mathématiques
	RIVAIL	Chimie Appliquée (CUCES)		N...	Mécanique des fluides (ISIN)
	VILLERMAUX	Génie Chimique		N...	Mécanique (ISIN)
	METCHE	Biochimie appliquée (Brasserie)		N...	Mathématiques
	PAIR	Mathématiques Appliquées		N...	Mathématiques P.C.
	BAUMANN	Physique 1° Cycle		N...	Mathématiques C.B.G.
	DURAND	Physique		N...	Physiologie Animale
	GRANGE	Physique (ISIN)		N...	Mathématiques M.P.
	DEPAIX	Probabilités et Statistiques			

CHARGES D'ENSEIGNEMENTS

MM. AMARIGLIO, COEURE, DAVRAINVILLE, GILORMINI, GIRARDEAU, HILY, MAURIN, NOVERRAZ, OVAERT, RUYER, WEBER.

A V E R T I S S E M E N T

La circulaire du 12 janvier 1962 du Ministère de l'Intérieur (J.O. du 23 janvier 1962) précise les modalités d'intervention des "Comités techniques" chargés sur le plan régional de promouvoir et de coordonner des études générales concernant les problèmes de l'eau.
Dans ce cadre, en 1965, deux conventions de recherche étaient signées entre l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière et les Préfectures du Département de Meurthe-et-Moselle et du Département des Vosges.
Les recherches entreprises.....
"ont porté principalement sur la nappe des Grès du Trias"
"inférieur, dans le but de ménager l'avenir des popula-"
"tions et des industries en exploitant les ressources"
"naturelles en eau avec les deux impératifs suivants : "
" - Etudier les modalités et la répartition des"
"réserves en eau potable et industrielle en fonction des"
"possibilités naturelles de réalimentation ; "
" - S'assurer de la constance de la qualité chi-"
"mique et biologique de l'eau prélevée et des incidences"
"possibles sur la Santé Publique."

Le travail présenté aujourd'hui est le compte-rendu de ces recherches.

S O M M A I R E

UNIVERSITÉ * NANCY 1 * BIBLIOTHÈQUE SCIENCES

pages

AVANT-PROPOS 12

INTRODUCTION 15

I - HISTORIQUE 16

II - CADRE GEOGRAPHIQUE 18

III - CADRE GEOLOGIQUE 20

IV - LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR 20

V - METHODES D'ETUDE 21

A) LA DOCUMENTATION 21

1 - La documentation écrite 21

2 - La documentation lithologique 22

3 - Autres sources de documentation 23

4 - Vérification de la documentation 23

B) ARCHIVAGE ET CONSERVATION DE LA DOCUMENTATION 24

C) SURVEILLANCE GEOLOGIQUE DES FORAGES RECENTS 25

D) LES ESSAIS DE POMPAGE 25

CHAPITRE I

STRATIGRAPHIE DU TRIAS ET DE SON SUBSTRATUM EN LORRAINE 26

I - DESCRIPTION DE LA SERIE TRIASIQUE LORRAINE 27

A) Le socle antétriasique 30

1 - Le socle cristallin ou métamorphique 30

2 - Le Carbonifère 30

3 - Le Permien 31

4 - Répartition des différents éléments constituant le substratum 32

B) Le Trias inférieur ou Buntsandstein 32

1 - Le Grès vosgien 32
2 - Le Conglomérat principal 33
3 - Les Couches intermédiaires 35
4 - Le Grès à Voltzia 37

C) Le Trias moyen : Muschelkalk et Lettenkohle 38

1 - Le Muschelkalk 38
2 - La Lettenkohle 43

D) Le Trias supérieur ou Keuper 44

1 - Le Keuper inférieur 44
2 - Le Keuper moyen 45
3 - Le Keuper supérieur 47
4 - Extension des différents faciès 48

E) La couverture post-triasique 48

II - GEOMETRIE DU RESERVOIR 49

A) Carte structurale et carte des Isopaches des Grès du Trias inférieur 49

B) Carte des isopaches du Grès vosgien 49

III - SURVEILLANCE GEOLOGIQUE DES FORAGES. MISE EN EVIDENCE DES REPERES 54

A) Principes 54

1 - Etude des "cuttings" ou déblais de forage ... 54
2 - Carottage électrique et diagraphie 55

B) Application aux forages à la nappe des Grès du Trias inférieur 56

1 - La Dolomie de Beaumont 56
2 - La Lettenkohle 56
3 - La Zone Limite Violette 59

CHAPITRE II

DONNEES HYDROGEOLOGIQUES 60

I - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'AQUIFERE 61

A) Mesure de la Porosité et de la Perméabilité 61

1 - Résultats 61
2 - Interprétation 64
3 - Corrélation entre porosité et perméabilité 65
4 - Facteurs déterminant la perméabilité 68

B) Estimation de la porosité d'après les diagraphies 70

1 - Principes de la méthode 70
2 - Interprétation 72
3 - Résultats 75

II - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE 76

A) Les essais de pompage en nappe captive 76

1 - Principe de la méthode 76
2 - Interprétation en régime permanent : Equation de Dupuit 77
3 - Interprétation en régime transitoire : Equation de Theis 78

B) Interprétation des essais de pompage antérieurs à 1965 83

1 - Forage de Fontenoy-la-Joute : Essai du 27 mai 1965 83
2 - Forage de Manonviller : Essai du 10 au 13 mai 1962 36
3 - Forage de Charmes : Essai du 9 août 1962 88

C) Interprétation des essais de pompage récents 88

1 - Le matériel mis en oeuvre 88

2 - Résultats des mesures 92

D) Quelques courbes caractéristiques 105

E) Hétérogénéité verticale de l'aquifère 117

1 - Mise en évidence 117

2 - Variations du débit au cours de l'approfondissement d'un forage 120

III - CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE 126

A) Cartes Piézométriques Anciennes 126

B) Présentation d'esquisses au 1/50 000 127

1 - Feuilles de Nancy et Parroy 127

2 - Feuille de Lunéville 127

3 - Feuilles de Nomeny et de Pont-à-Mousson 129

4 - Feuille de Vittel 130

C) Présentation d'une carte générale 130

D) Vitesse de circulation de l'eau 132

CHAPITRE III

CHIMIE DES EAUX 134

I - LES SOURCES ISSUES DES GRES DU TRIAS INFERIEUR 135

A) Méthode d'étude 135

B) Le gîte des sources 136

1 - Les sources associées à des horizons stratigraphiques précis 137

2 - Les autres sources 138

C) Chimie des eaux..... 138

1 - Chimie et bactériologie..... 138
2 - Variations..... 140
3 - Exploitabilité des sources..... 141

II - CHIMIE DES EAUX ISSUES DES FORAGES..... 144

A) pH..... 144

B) Minéralisation totale et Résistivité..... 147

1 - Relation entre les deux paramètres..... 147
2 - Variations horizontales..... 147
3 - Variations verticales..... 149

C) Sulfates et Magnésium 159

1 - Dans les ouvrages de la vallée de la Meurthe.. 159
2 - Dans la région de Vittel et de Contrexéville.. 160
3 - Dans les régions de bizeaux..... 160

D) Calcium..... 162

E) Sodium et Chlorures..... 162

F) Fer..... 164

G) Les gaz dissous..... 166

III - ZONES REGIONALES DE MINERALISATION..... 167

A) Evolution de la chimie des eaux..... 167

B) Les zones régionales de minéralisation..... 169

IV - LES PROBLEMES DE CORROSION..... 172

A) Agressivité des eaux exhaurées..... 172

1 - Mise en évidence..... 172
2 - Les causes..... 173

3 - Les conséquences..... 173
4 - Solution apportée..... 173

B) Attaque du ciment et du tube au niveau des formations salifères..... 174

C) La corrosion électrique..... 177

D) Les remèdes..... 179

CHAPITRE IV

LE PROBLEME DU BILAN 180

I - DONNEES RELATIVES A LA METEOROLOGIE : LES APPORTS..... 183

A) Documentation - Stations météorologiques..... 184

1 - Les stations de l'O.N.M..... 184
2 - Les autres stations..... 184

B) Mise en place d'un réseau d'observation complémentaire..... 187

C) Etude des précipitations..... 188

1 - Variation de la pluviosité avec l'altitude..... 188
2 - Variations saisonnières de la pluviosité..... 191
3 - Variations de la pluviosité avec l'exposition des versants..... 191
4 - Autres facteurs de variation..... 194
5 - Carte des Isohyètes..... 194
6 - Résultats..... 194

D) Etude des Températures..... 197

1 - Variation de la température avec l'altitude... 198
2 - Calcul de l'évapotranspiration..... 200

E) Résultats : Actif du bilan..... 201

II - LES PRELEVEMENTS 202

A) Les prélèvements par les forages 204

1 - La vallée de la Meurthe en amont de Lunéville. 204

2 - Dans la région de Nancy..... 204

3 - Dans les sondages de reconnaissance du Houiller 205

4 - Les forages de la région de Ravenel et de Charmes 205

5 - Dans le sud des Vosges et la région de Vittel-Contrexéville..... 206

6 - Volume total des prélèvements..... 206

B) Ecoulement naturel de la nappe en direction du nord 211

C) Bassins versants hydrogéologiques et bassins versants géographiques..... 212

D) Passif du Bilan..... 213

III - BILAN 214

CONCLUSION 216

ANNEXES

- Principales caractéristiques des forages ayant atteint ou traversé la nappe des Grès du Trias inférieur..... 1

- Bibliographie..... 84

- Esquisses hydrogéologiques au 1/50 000 : Feuilles de Lunéville, Nancy, Nomeny, Parroy, Pont-à-Mousson et Vittel. 92

TABLE DES ILLUSTRATIONS

		pages
Figure n° 1	Carte géographique de la Lorraine	19
Figure n° 2	Tableau des corrélations des différentes nomenclatures du Trias	28-29
Figure n° 3	Tableau des isopaches des Grès du Trias inférieur	50
Figure n° 4	Carte structurale au toit des Grès du Trias inférieur	51
Figure n° 5	Carte des isopaches du Grès vosgien	52
Figure n° 6	La Lettenkohle au forage de Champigneulles	58
Figure n° 7	Répartition statistique des porosités au forage de Nancy-Thermal n° 3	66
Figure n° 8	Répartition statistique des perméabilités au forage de Nancy-Thermal n° 3	66
Figure n° 9	Corrélation entre porosité et perméabilité	67
Figure n° 10	Aspect microscopique des biotites contenues dans le Grès vosgien	69
Figure n° 11	Ciment secondaire calcitique dans le Grès vosgien	69
Figure n° 12	Grains de quartz recristallisés	69
Figure n° 13	Loc sonic et porosité au forage de Nancy-Thermal n° 3	73
Figures n° 14-15	Forage de Fontenoy-la-Joute. Essai de pompage du 27 mai 1965	84-85
Figure n° 16	Forage de Manonviller - Essai de pompage de Mai 1962	87
Figures n° 17-18	Forage de Charmes - Essai de pompage du 9 août 1962	89-90
Figures n° 19 à 28	Essais de pompage récents : courbes interprétatives	97 à 104
Figure n° 29	Forage de Tomblaine n° 2 - Interprétation de l'essai de pompage	106

Figures n° 30 à 37	Courbes caractéristiques	108 à 115
Figure n° 38	Interprétation du débit-mètre continu au forage de Nancy-Thermal n° 3	118
Figure n° 39	Participation de chaque niveau à la production au forage de Nancy-Thermal n° 3	119
Figure n° 40	Interprétation du débit-mètre à Tomblaine	121
Figures n° 41 à 46	Evolution du débit avec la profondeur des ouvrages	121-123 à 125
Figure n° 47	Carte piézométrique de la nappe des Grès du Trias inférieur	131
Figure n° 48	Chimie des eaux des sources - Diagrammes de Schoeller	142
Figures n° 49 à 50	Chimie des eaux des forages - Diagrammes de Schoeller	145-146
Figure n° 51	Relation entre le résidu sec et la résistivité	148
Figure n° 52	Minéralisation de l'eau en fonction de la profondeur au forage de Nancy-Thermal n° 3	158
Figure n° 53	Evolution de la chimie des eaux sous couverture. Diagramme triangulaire $Na^+ + K^+$, Ca^{++}, Mg^{++}	168
Figure n° 54	Carte de la chimie des eaux de la nappe des Grès du Trias inférieur	170
Figure n° 55	Corrosion anodique	178
Figure n° 56	Bilan de la nappe des Grès du Trias inférieur	182
Figure n° 57	Répartition des précipitations en fonction de l'altitude dans les bassins de la Meurthe et de la Moselle	189
Figure n° 58	L'effet de crête et les précipitations	192
Figure n° 59	Pluviosité en fonction de l'altitude dans la Vallée de la Moselle	193
Figure n° 60	Carte de la pluviométrie	195
Figure n° 61	Variation de la température avec l'altitude	199
Figure n° 62	Variation du débit des forages de Nancy-Thermal (1909-1966)	209
Figure n° 63	Réalisation d'un forage à la nappe des Grès du Trias inférieur	220

Avant-Propos

Monsieur le Doyen Marcel ROUBAULT, membre de l'Institut, m'a donné dans l'Ecole qu'il dirige une formation géologique de l'Ingénieur. Il m'a ouvert ensuite les portes des laboratoires qu'il a créés et m'a permis ainsi de réaliser l'étude présentée aujourd'hui. Je le prie de bien vouloir trouver ici l'expression de toute ma gratitude et des mes sentiments les plus respectueux.

Monsieur BLAZY, Directeur-adjoint de l'E.N.S.G., m'a permis de m'initier aux nombreux domaines où ses compétences se manifestent avec beaucoup de dynamisme, recherche, enseignement, administration, relations avec l'industrie. Qu'il en soit cordialement remercié !

La direction effective de mon travail fut confiée à Monsieur LAUGIER, Chef du service hydrogéologique de l'E.N.S.G., puis Professeur à l'Université d'Oran. Il fut toujours un maître soucieux de mon travail et je lui dois de m'avoir enseigné les connaissances solides ainsi que les qualités humaines indispensables à la direction et à la surveillance d'un chantier de travaux publics. Je le prie de bien vouloir trouver ici, l'expression de ma reconnaissance.

Monsieur RICOUR, Ingénieur-géologue en chef au Bureau de recherches géologiques et minières, me fait l'honneur de participer à ce jury. Il a bien voulu se pencher sur mon manuscrit pour y apporter les précisions qui manquaient dans certains domaines. Il m'a permis de m'entretenir ou de bénéficier des conseils avisés de ses collaborateurs et en particulier de MM. BERKALOFF, MARGAT, MINOUX et MONITION.

Monsieur SIMLER, Directeur du Service géologique d'Alsace et de Lorraine m'a conseillé utilement au cours de ces trois années de recherche et je le remercie de l'aide qu'il a pu m'apporter soit directement, soit par l'intermédiaire de ses ingénieurs.

La collaboration avec les collectivités locales m'a permis de mener à bien cette tâche dans les meilleurs conditions scientifiques possibles. Elle s'est concrètisée par la réalisation de quatre forages profonds, ceux de Nancy-Thermal n°3 (1966), d'Einville-au-Jard (1966), de Tomblaine (1968) et du Grand Couronné (1968). Je remercie vivement MM. les Maires et MM. les Conseillers municipaux qui m'ont donné les moyens de développer au cours de ces opérations un important programme de recherche et notamment de diagraphies. Ma reconnaissance va plus particulièrement à la Ville de Nancy à qui je dois un carottage continu du Grès Vosgien à Nancy-Thermal n°3.

Le rassemblement de la documentation et la réalisation des essais de pompage ont été éxécutés grâce à la coopération active de nombreuses personnes parmi lesquelles je voudrais citer les Ingénieurs des services géologiques du Gaz de France et de l'I.F.P., MM. les maires et MM. les secrétaires de mairie de Blâmont, Blainville-sur-l'eau, Fontenoy-la-joute, Manonviller, Martigny-les-bains, Moncel-les-Lunéville et St-Clément, Monsieur le Directeur de l'Hôpital de Ravenel et Monsieur le Directeur des services techniques des grandes Brasseries de Champigneulles.

Une place particulière doit être réservée aux administrations ayant affaire aux problèmes de l'eau et de la géologie :
J'ai rencontré auprès de Monsieur POULLAIN, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur départemental de l'équipement, l'autorité bienveillante qui a toujours bien voulu appuyer mes requêtes et me mettre en relation avec ses collaborateurs les plus qualifiés.

Dans le cadre des Services du Génie rural, des Eaux et des Forêts, le dynamisme et la compétence de Monsieur BRAUN et de Monsieur POUILLE ont pour une grande part contribué à la réalisation de ce travail.

Je remercie Monsieur SAGLIO, Directeur de l'Agence financière du Bassin Rhin Meuse et Monsieur CORDA, Chef du Service régional d'Aménagement des Eaux de Lorraine de m'avoir accordé leur confiance et je les prie de trouver ici l'assurance de mon profond respect.

Enfin, je ne voudrais pas manquer de remercier tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce manuscrit et dont le travail combien discret mais efficace a permis la réalisation technique de ce travail.

****

INTRODUCTION

I - HISTORIQUE

L'Université de Nancy ayant été pourvue depuis les années 1900 d'une chaire de spécialité consacrée à la Géologie de la Lorraine, il se trouve que la plus grande partie de la documentation lithologique et bibliographique régionale se trouve rassemblée dans les murs de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de l'Université de Nancy.

L'histoire et le développement de cette Ecole sont intimement liés à la recherche et la localisation des ressources minérales et aquifères du sous-sol lorrain. L'Ecole prend son essor au début de ce siècle avec les recherches de houille par sondages profonds destinés à préciser l'extension du gisement vers le sud-ouest au toit de l'anticlinal Sarro-Lorrain. Les noms de Nicklès, Joly et Van Werveke sont attachés à cette étude. C'est au cours de ces travaux que l'attention du géologue fut attirée pour la première fois par les manifestations de la nappe artésienne retenue dans les Grès du Trias inférieur.

Le forage de Nancy-Thermal n° 1 achevé en 1909 par la Société Planchin Frères fut le premier ouvrage réalisé dans un but strictement hydrogéologique. Il mit en production l'eau de cette nappe dans le département de Meurthe et Moselle. Grâce au succès de cette entreprise, Planchin s'est vu confier

le cours de forage de l'Institut de Géologie. Ainsi l'Industrie a-t-elle toujours été liée à l'Enseignement par l'intermédiaire de la Recherche.

Sous l'impulsion de Louis GUILLAUME, les forages à la nappe des Grès du Trias inférieur se multiplient, en même temps que la technique de mise en production se précise.

Dans les quinze dernières années, le Service hydrogéologique de l'Ecole de Géologie prend une part active à l'exécution des forages profonds en proposant les programmes de captage et en assurant la surveillance géologique des travaux.

Enfin, la remise à neuf du Musée des Sciences de la Terre de 1954 à 1958, l'inventaire des collections, le reclassement et le transfert des échantillons encore existants des forages ou sondages anciens à la Carothèque de Villers-le-Sec en 1967 - 1968 ont rendu facilement accessible toute la documentation lithologique réunie à ce jour.

La synthèse hydrogéologique consacrée à l'étude de la nappe des Grès du Trias inférieur dans l'est de la France est le résultat du travail des grands maîtres de la Géologie régionale. Ce travail ingrat a consisté à accumuler inlassablement des documents qui, soixante ans plus tard, trouvent enfin une utilisation scientifique.

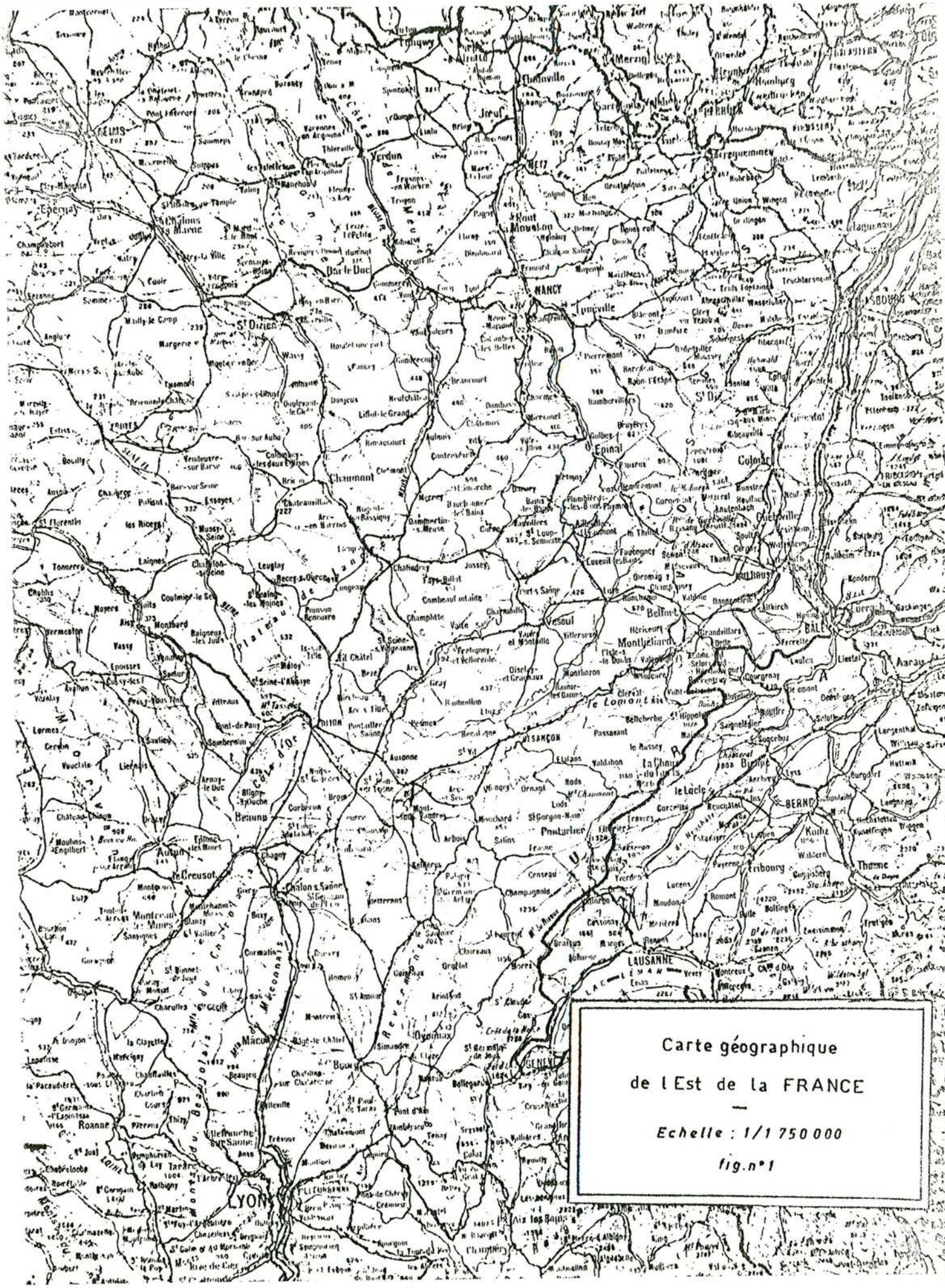
II - CADRE GEOGRAPHIQUE

La Lorraine fait partie de la bordure est du Bassin de Paris. Elle est constituée par l'ensemble des pays qui s'étendent de la crête des Vosges à l'Argonne (fig. n° 1).

Les principaux cours d'eau qui la traversent, la Meuse et la Moselle, se déversent dans la Mer du Nord et non pas dans la Manche comme la Seine qui draine le reste du bassin.

Du point de vue économique, la Lorraine apparaît aujourd'hui avant tout comme une grande région industrielle. L'agriculture semble se tourner vers l'élevage. Elle représente une source de revenus non négligeable.

Les besoins en eau sont importants aussi bien dans les zones industrielles que dans le milieu rural. Si l'industrie lourde est une très grosse consommatrice, elle est aussi à l'origine de pollutions considérables qui condamnent fréquemment la mise en exploitation des nappes superficielles. La solution du captage profond reste souvent le seul recours possible. A l'est du méridien de Nancy, seule la nappe des Grès du Trias inférieur est susceptible de couvrir dans les conditions économiques actuelles, avec un seul forage, les besoins d'une industrie grosse consommatrice d'eau (exemple : Brasserie) ou ceux d'une population de 10 000 à 15 000 personnes à raison de 200 litres par jour et par habitant.


Carte géographique
de l Est de la FRANCE
—
Echelle : 1/1 750 000
fig.n°1

III - CADRE GEOLOGIQUE

La région qui nous intéresse fait partie de la bordure est du Bassin de Paris. Elle est caractérisée schématiquement par un faible pendage des couches vers l'ouest en direction du centre du Bassin. A la faveur de la disposition monoclinale des sédiments, les différentes formations géologiques affleurent en auréoles successives dont l'âge va décroissant de l'est vers l'ouest.

La plus ancienne auréole est celle des Grès du Trias inférieur. Ceux-ci forment les principaux reliefs des Vosges gréseuses et culminent au Mont Donon à l'altitude de 1 008 mètres. Plus à l'ouest, une dépression dominée par la première cuesta du Bassin de Paris correspond au Muschelkalk supérieur calcaire. Le Keuper forme la troisième unité de cet emboîtement.

IV - LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR

La nappe des Grès du Trias inférieur est la plus importante nappe aquifère de l'est de la France.

Le réservoir est constitué par une série gréseuse dont la puissance dépassant 400 mètres à Saverne décroît vers l'Ouest pour devenir nulle au-delà d'une ligne Sainte-Ménehould, Vitry-le-François, Chaumont. La zone d'alimentation coïncide avec la zone d'affleurement des grès. Son altitude relativement élevée est très favorable aux précipitations.

V - METHODES D'ETUDE

A) LA DOCUMENTATION

La documentation réunie à Nancy, dans le cadre de différents laboratoires constituant le département des Sciences de la Terre est accessible sous plusieurs formes :

- des archives manuscrites : rapports concernant la surveillance de travaux de forage, enquêtes géologiques officielles, documents divers.

- une bibliothèque qui possède la plupart des ouvrages fondamentaux : thèses, mémoires et publications consacrés à la Géologie de la Lorraine.

- des collections représentées par des déblais de forage, des carottes et des échantillons divers recueillis lors de l'exécution des travaux confiés à la surveillance du géologue.

1 - La documentation écrite

Sa valeur est incontestable car on y retrouve le style et le caractère des grands géologues comme Joly, Nicklès et Van Werveke dont les noms restent attachés à l'étude de la géologie en divers secteurs de la Lorraine.

Les coupes lithologiques qu'ils nous ont laissées sont décrites avec minutie et il est facile de transcrire en langage moderne les données stratigraphiques anciennes.

Quelques cas restent cependant litigieux. A titre d'exemple, on peut citer le forage de Longwy, objet d'au moins cinq publications successives et toutes contradictoires.

En l'absence d'archives lithologiques, il est strictement impossible de redessiner la coupe exacte de cet ouvrage. Il est à présumer que toutes les imprécisions observées, tous les changements de faciès aberrants et toutes les variations de puissance anormales résultent du fait que le forage a été implanté dans une faille.

Ces circonstances exceptionnelles ne mettent pas en cause la qualité de la plus grande partie de la documentation recueillie depuis près de soixante dix ans.

2 - *La documentation lithologique*

Il s'agit des déblais, carottes et échantillons variés prélevés lors de l'exécution de travaux de reconnaissance ou de forages profonds et conservés par les soins du Service Hydrogéologique de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de l'Université de Nancy.

La plupart de ces documents ne nous concernent pas directement. Ils intéressent le plus souvent le Permien et le Carbonifère qui ont fait l'objet de campagnes de sondages très actives avec une maille serrée, au début de ce siècle.

L'étude des morts terrains en général et celle des Grès du Trias inférieur en particulier a été quelque peu négligée et nous ne pouvons que le déplorer ici. Il faut ajouter que la plupart des forages anciens étaient menés au battage. Il en résulte que les cuttings remontés à la cuiller tous les trois à quatre mètres se présentent sous la forme d'une farine dans laquelle il est pratiquement impossible de reconnaître quelque structure que ce soit. Le seul critère valable que l'on puisse invoquer pour la détermination des grandes coupures stratigraphiques est la couleur. On sait ce que vaut le facteur couleur.

Dans ces conditions, il n'est pas possible de retrouver le détail des formations.

Il n'en demeure pas moins que ces échantillons nous ont permis souvent de préciser une coupe sommairement décrite ou de contrôler des variations a priori anormales de la puissance des formations.

3 - Autres sources de documentation

Nous avons consulté avec profit les archives des Administrations et Sociétés qui s'intéressent de près ou de loin aux travaux souterrains : Service des Mines, Ponts et Chaussées, Génie Rural, Office des Eaux et Forêts, Houillères du Bassin de Lorraine (H.B.L.), Sociétés de forages, etc.

La confrontation des données recueillies avec les fiches établies par le Bureau de Recherches Géologique et Minière (B.R.G.M.) dans le cadre de l'application du Code Minier a permis la rectification réciproque d'un certain nombre d'imprécisions ou d'inexactitudes.

4 - Vérification de la documentation

Certains détails ont été vérifiés dans la mesure du possible sur le terrain. Il s'agit en particulier des points d'implantation des forages qui ont fait l'objet de contrôles systématiques non sans quelque difficulté, car les témoins des travaux de recherches de houille lors des années 1900 - 1910 se font de plus en plus rares.

B) ARCHIVAGE ET CONSERVATION DE LA DOCUMENTATION

Nous avons vu que les données disponibles, pour être en général précises et détaillées, n'en devaient pas moins subir un certain nombre de révisions destinées essentiellement à interpréter les données anciennes à la lumière des travaux récents. La terminologie du Trias a été systématiquement reprise et uniformisée à la suite des travaux de J. RICOUR (1961) et du Colloque sur le Trias de la France et des régions limitrophes (Montpellier 1961).

Tous ces documents, une fois rassemblés et interprétés suivant les normes actuelles, ont été archivés systématiquement. A chaque forage correspond une fiche où sont consignées les principales caractéristiques techniques de l'ouvrage. Les coordonnées du sondage sont précisées par un schéma de situation. Les données hydrogéologiques font l'objet d'une rubrique spécialisée tandis que des feuillets complémentaires annexés à la fiche principale donnent, le cas échéant, une coupe détaillée de l'ouvrage et la composition chimique des eaux qui ont pu être mises en production.

La liste des publications ou des rapports ayant trait au forage en question est annexée au dossier ; la plupart du temps, un micro-film de ces documents y figure.

L'ensemble du fichier représente un volume considérable, et en annexe de ce mémoire, nous ne présenterons que les principales données concernant tous les forages qui ont atteint ou traversé les Grès du Trias inférieur dans les départements de Meurthe et Moselle et des Vosges :

- coordonnées du forage,
- nature de l'ouvrage (reconnaissance, adduction d'eau potable (A.E.P.), pétrole, etc...),
- date d'exécution,
- maître d'oeuvre, entrepreneur et propriétaire,
- coupe sommaire,
- principales caractéristiques hydrologiques, analyses chimiques de l'eau, essais de pompage, régime d'exploitation, etc...

C) SURVEILLANCE GEOLOGIQUE DES FORAGES RECENTS

A partir de 1965, nous avons assuré la surveillance géologique et la réalisation des forages au Grès vosgien exécutés en Meurthe et Moselle. Ce sont :

Nancy-Thermal n° 3
Einville-au-Jard
Tomblaine n° 2
Forage du Syndicat des Eaux du Grand Couronné.

A l'occasion de ces travaux, un programme scientifique important a été développé. Il a apporté de nombreuses précisions relatives au réservoir proprement dit et à la couverture sédimentaire.

D) LES ESSAIS DE POMPAGE

Nous avons interprété dans la mesure du possible les données recueillies au cours des essais de pompage anciens qui avaient été archivés. Le chapitre consacré aux caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère rend compte de ces résultats. Une campagne d'essais complémentaires a été entreprise en collaboration avec le Service Géologique d'Alsace et de Lorraine.

CHAPITRE I

STRATIGRAPHIE DU TRIAS ET DE SON SUBSTRATUM EN LORRAINE

Après avoir pris en considération les observations géologiques de surface telles qu'elles se trouvent résumées dans les travaux de E.M. Müller (1954), J. Perriaux (1961), J. Ricour (1961), et en se réfèrant à la terminologie généralement admise (fig. n° 2) à la suite du Colloque sur le Trias de la France et des Régions limitrophes (Montpellier, 1961), nous insisterons particulièrement sur les facteurs susceptibles d'avoir une influence sur la nappe des Grès du Trias inférieur, sa mise en production et son exploitation.

I - DESCRIPTION DE LA SERIE TRIASIQUE LORRAINE

La Lorraine se trouve située à la bordure ouest d'un vaste ensemble géologique qui s'étend au-delà de la Forêt Noire en Allemagne Centrale jusqu'au Massif Bohémien : La série stratigraphique y est caractérisée par les trois termes suivants :

- Le Trias inférieur ou Buntsandstein, essentiellement gréseux
- Le Trias moyen ou Muschelkalk, gréseux à la base, marneux puis enfin calcaire ; on en isole habituellement la partie supérieure sous le nom de Lettenkohle
- Le Trias supérieur ou Keuper, constitué de sédiments

TABLEAU DE CORRÉLATION DES DIFFÉRENTES NOMENCLATURES DU TRIAS

Nomenclature française et épaisseurs en Lorraine		Série typique de Lorraine	Nouveaux indices proposés	Indices allemands
Jurassique	Rhétien	Marnes de Levallois		Ko2
		Grès et schiste à A. contorta		Ko1
Trias supérieur ou Keuper 220 à 270 m	Keuper supérieur 55 à 60 m	Marnes irisées supérieures 35 à 40 m	t7e	Km5
		Argiles de Chanville 20 m	t7d	Km4
	Keuper moyen 16 à 30 m	Dolomie moellon 0 à 10 m	t7c	Mm3
		Marnes bariolées 1 à 5 m	t7b	Km2
		Grès à roseaux 15 à 55 m		
	Keuper inférieur 150 m	Marnes irisées inférieures 150 m	t7a	Km1
Trias moyen 215 à 285 m	Lettenkohle 20 à 25 m	Dolomie limite 2 à 5 m	t6c	Ku3
		Marnes bariolées et dolomie 15 m	t6b	Ku2
		Dolomie inférieure 5 m	t6a	Ku1
	Muschelkalk supérieur 60 à 65 m	Calcaire à Térébratules 6 m	t5b	t
		Couches à Cératites 45 à 50 m		mo2
		Calcaire à entroques 6 à 8 m	t5a	mo1
	Muschelkalk moyen 80 à 125 m	Calcaires blancs 5 à 15 m	t4	mm2
		Couches grises 60 à 80 m		mm1
		Couches rouges 25 à 50 m		
	Muschelkalk inférieur 70 m	Dolomie à Myophoria orbicularis 4 à 5 m	t3b	g
		Wellenkalk et Wellenmergel 15 m		mu2
		Marnes sableuses à Myacites 30 m		:
		Grès coquillier 20 à 30 m	t3a	mu1
Trias inférieur ou Buntsandstein 450 m	Grès bigarré 100 m	Grès à Voltzia 20 m	t2b	so2
		Couches intermédiaires 60 m maximum	t2a	so1
		Conglomérat principal 25 m maximum	t2P	h
	Grès vosgien 300 à 400 m	Grès vosgien supérieur 150 à 200 m	t1c	sm2
		Grès vosgien inférieur Conglomérat d'Eck 150 à 200 m	t1b	sm1
Permien		Grès d'Annweiler 60 m	t1a	su

Nomenclature allemande pour le faciès lorrain		Trias allemand Pia (1930)	Trias alpin selon Gignoux (1950)
Rote Tone des Rhäts	Oberer Keuper	Rhétien	Rhétien
Sandstein und schwarze Tone des Rhäts			
Steinmergelkeuper	Mittlerer Keuper	Norien	Norien
Rote Mergel			
Hauptsteinmergel, Plattige Dolomit und Zellendolomit		Tuvalien	
Bunte Mergel			
Schilfsandstein		Julien	Carnien
Salzkeuper			
Grenzdolomit (ou) Obere Dolomit	Unterer Keuper	Cordevolien	Ladinien
Bunte Mergel			
Untere Dolomit		Langobardien	
Terebratelkalk	Oberer Muschelkalk		
Nodosusschichten			
Trochitenkalk		Fassanien	
Plattige Dolomiten und Zellenkalk	Mittlerer Muschelkalk (ou) Anhydritgruppe		
Bunte Mergel		Illyrien	Anisien ou Virglorien
Dolomit mit M. orbicularis	Unterer Muschelkalk		
Schaumkalk Wellenkalk		Pelsonien	
Terebratelzone			
Muschelsandstein		Hydaspien	
Voltziensandstein	Oberer Buntsandstein	Scythien ou Werfénien	Werfénien ou Scythien
Zwischenschichten			
Hauptkonglomerat	Mittlerer Buntsandstein		
Vogesensandstein Obere Abteilung			
Vogesensandstein Untere Abteilung Eckesche Konglomerat			
Annweiler Sandstein	Unterer Buntsandstein		

d'origine essentiellement chimique à l'exception du court épisode détritique correspondant au Grès à Roseaux.

Après analyse du socle antétriasique, nous examinerons successivement le Buntsandstein, le Muschelkalk et le Keuper.

A) Le socle antétriasique

Les forages destinés à mettre en production le Grès vosgien sont généralement arrêtés, quand le débit souhaité est obtenu, avant d'avoir atteint le mur de la nappe. Les documents disponibles concernant le socle sont donc rares, généralement anciens et mal répartis. Seuls, les forages de reconnaissance du Houiller et les forages d'A.E.P. de la région de Vittel et de Contrexéville, ceux de Lamarche, Chézeaux et Damblain, permettent de se faire une idée de la nature des éléments constitutifs du socle et de leur répartition.

1 - Le socle cristallin ou métamorphique :

Le grès reposant directement sur le Cristallin peut être observé dans les régions de Vittel et de Plombières. Il s'agit d'une roche de type granitoïde dont la surface d'érosion est souvent arénisée. Au-delà, la roche semble saine et imperméable.

2 - Le Carbonifère :

Au toit de l'anticlinal Sarro-Lorrain, les Grès triasiques reposent directement sur le Carbonifère. Les observations faites en ce sens sont anciennes et manquent de précision. Dans la région de Gironcourt, le Carbonifère reconnu en sondage est recouvert par du Permien.

3 - Le Permien :

Sauf exceptions locales, le Zechstein n'existe pas à l'Ouest du Rhin où le Permien est constitué par des dépôts détritiques d'origines variées. Ce sont des grès rouges violacés à ciment argileux, à grain plus ou moins grossier, des brèches, des coulées rhyolitiques et des tufs volcaniques.

En forage, ces faciès ont été reconnus en particulier à Mont-sur-Meurthe (Grès argileux et passées rhyolitiques), Gironcourt, et à Vittel V (Grès argileux avec coulées basaltiques, G. Minoux, 1958).

On y trouve aussi des niveaux dolomitiques et calcédonieux (coupe de Saint-Jean d'Ormont près de Saint-Dié, G. Choubert et G. Gardet, 1935), mais ils semblent rares. Tous ces dépôts sont généralement peu perméables à moins que la fracturation liée à la présence d'une faille ne favorise les circulations d'eau en grand (Forage de la Société Amos à Raon l'Etape, exploité à 60 m3/h). Si le Permien ainsi caractérisé peut être facilement déterminé, il présente souvent des aspects beaucoup moins francs et la diagnose, qui consiste à placer une coupure entre les Grès permiens et le Grès vosgien, est difficile à faire. Les auteurs qui se sont penchés sur le problème ont proposé des critères tous différents, plus ou moins faciles à mettre en oeuvre, mais dont aucun, considéré seul, n'est satisfaisant.

Néanmoins, il est possible d'arriver indirectement à tracer une limite cartographique approximative entre ces deux formations en tenant compte des affinités du couvert végétal pour tel ou tel sol résultant de l'altération pédologique de la roche mère.

On pourra avoir une idée de la complexité du problème en examinant le site géologique de la Vallée de la Plaine, profonde entaille dans le Grès vosgien entre Raon l'Etape et le Donon, et dont le fond est constitué par du Permien. Il faut faire appel à des critères morphologiques, biologiques et écologiques tels que zones de végétation, couleurs des sols, pentes des versants pour fixer une limite probable entre le Permien et le Trias.

4 - Répartition des différents éléments constituant le substratum :

Il n'est pas possible, dans l'état actuel des reconnaissances géologiques effectuées, de tracer une carte figurant avec une bonne précision la répartition des différentes formations constituant le substratum antétriasique. Néanmoins, il semble que le Permien soit constamment présent au Nord d'une ligne Vittel-Epinal, à l'exception du faîte de l'anticlinal Sarro-Lorrain.

Qu'il s'agisse du Permien ou du socle hercynien proprement dit, on peut considérer le substratum comme pratiquement imperméable.

B) Le Trias inférieur ou Buntsandstein

1 - Le Grès vosgien :

Cette formation a été étudiée en détail à l'affleurement par J. Perriaux (1961).

Le Grès vosgien est un grès rose, localement et irrégulièrement feldspathique, à ciment ferrugineux. Les galets n'y sont pas rares ; ce sont des galets de quartz, de quartzite

ou moins fréquemment de lydiennes. Des galets mous d'argile rouge, provenant du remaniement des lits argileux intercalaires, apparaissent çà et là. Les figures de sédimentation que l'on peut observer sont nombreuses : ripples marks, mud-cracks et autres types de surfaces de dessiccation.

Dans la partie de la Lorraine qui nous occupe, il n'est guère possible de faire de subdivision dans la série gréseuse. Néanmoins, à la lueur de quelques forages de reconnaissance exécutés dans la région (Nancy-Thermal n° 3), on peut préciser que les niveaux conglomératiques sont fréquents, épais, très durs, difficiles à traverser par la sonde et trop hétérogènes pour pouvoir être carottés avec un bon rendement.

Le conglomérat de base du Grès vosgien a été signalé deux fois dans le Massif de la Plaine (E. Kraus, 1925 et Pl. Maubeuge, 1960). Le manque d'affleurement ne permet pas de déterminer son extension.

2 - Le Conglomérat principal :

Ce niveau particulièrement résistant à l'érosion forme de nombreux reliefs pittoresques bien connus des touristes. Sa puissance maximum dépasse une cinquantaine de mètres dans la Région de Saint-Dié, Bruyères et Epinal. Il disparaît complètement au sud-ouest de la région de Vittel-Contrexéville (Forage de Damblain). Il est formé d'éléments variés dont la taille se situe entre quelques centimètres et quelques décimètres. La nature lithologique de ces galets est diverse :

- galets de quartz oude quartzite blanc ou blanc laiteux
- galets de quartzite brun-rouge
- galets de lydiennes noires où l'on signale des graptolites (M. Bleicher, 1901).

La matrice du Conglomérat est habituellement formée de grès rose ou rouge, feldspathique, à grain moyen ou fin. Ce grès ne diffère pas de celui qui constitue le Grès vosgien sous-jacent.

Le Conglomérat principal présente un certain nombre de variations :

- Parfois, comme dans la région de Plombières, le Conglomérat est très dur, très cohérent, car des phénomènes hydrothermaux, associés à des venues d'eaux juvéniles chaudes et chargées en silice, sont venues transformer la matrice, silicifiant l'ensemble des niveaux conglomératiques au contact direct du socle.

- On observe souvent dans le Conglomérat principal des lentilles ou des bancs de 50 cm à 1 m de puissance dont l'extension latérale peut atteindre quelques mètres. Elles sont formées de sédiments gréseux ou, au contraire, argileux, à l'exclusion de tout galet. Ce fait est intéressant à noter car la disparition momentanée des galets dans les déblais de forage ne signifie pas forcément que la base de cette formation soit atteinte.

- Dans la région de Charmes et d'Epinal, à Einville et à Saint-Clément près de Lunéville, on rencontre un Conglomérat principal qui n'est pas cimenté. Il est alors nécessaire de perforer l'aquifère en boue pour tenir les terrains. Cette répartition semble coïncider avec celle des axes anticlinaux définis par R. Laugier (1964).

Si conglomérat et grès ne sont pas cimentés, il faut

équiper le forage de crépines perfectionnées avec un slot (1) très petit. Dans le cas contraire, on peut sans inconvénient laisser le trou nu.

Faute de pouvoir connaître à l'avance avec précision les zones où le grès est mal consolidé, il faut dès le projet de mise en chantier d'un ouvrage prévoir son équipement définitif dans les conditions techniques les plus défavorables. C'est pourquoi tous les forages récents des départements de Meurthe & Moselle et des Vosges sont équipés de crépines.

La division entre Grès vosgien et Conglomérat principal est tout à fait artificielle ; J. Perriaux (1961) a démontré que le Conglomérat principal n'était que le Grès vosgien qui se chargeait en galets, le ciment du Conglomérat étant constitué par un grès identique au Grès vosgien lui-même.

3 - Les Couches intermédiaires :

Elles forment la transition entre le Grès vosgien et le Grès à Voltzia. Leur puissance dans la région de Nancy est de l'ordre de 25 à 35 m. A la base, J. Perriaux (1961) confirme, dans la zone des affleurements, la présence de deux zones violettes décrites en Sarre. Il s'agit de deux bancs de 1 à 2 m de puissance chacun, formés d'une brèche violacée à éléments quartzeux à l'origine, corrodés et épigénisés ensuite à l'état de carbonates et marqués par la concentration épigénitique de la silice sous forme de cornaline rouge-sang.

---

(1) - Rappelons que le slot est le diamètre en millième de pouce de la plus grosse particule sphérique susceptible de passer à travers l'ouverture de la crépine.

E. Müller (1954) considère que ces niveaux pourraient correspondre à des sols fossiles profondément remaniés et épigénisés. Grâce aux forages, il a été possible de confirmer leur extension dans l'est de la France.

La Zone Limite Violette inférieure, immédiatement sus-jacente au Conglomérat principal est un excellent repère en forage ; la Cornaline indique le toit du Conglomérat et la limite inférieure des terrains qu'il convient d'isoler.

La Masse principale des Couches intermédiaires est représentée par une alternance de grès feldspathiques grossiers, avec des lits d'argile rouge ou verte plus ou moins indurée, de dolomie compacte et dure gris-pâle et des niveaux franchement conglomératiques. La plupart de ces couches contiennent des géodes tapissées de cristaux de calcite, de dolomie ou même de gypse. La pyrite est abondante dans ces formations.

Cette description lithologique montre qu'il s'agit d'un dépôt qui garde toujours un caractère local, et dont la genèse est à la fois climatique et détritogène.

Le passage en forage du Grès à <u>Voltzia</u> aux Couches intermédiaires est marqué par l'apparition :

- *des premiers conglomérats,*
- *des premiers bancs de dolomies,*
- *des premiers niveaux d'argile rouge,*

et par un changement général des couleurs qui passent du blanc au rouge.

4 - Le Grès à Voltzia :

L'horizon que l'on désigne sous le nom de Grès à Voltzia a une puissance qui varie entre 20 et 60 m. Dans la région de Nancy, celle-ci est d'environ 45 mètres. Il s'agit d'un ensemble de grès blancs, à granulométrie homogène, micacés et feldspathiques, à grain généralement fin, quelquefois très mal cimentés. Ils contiennent souvent de la pyrite. Le soufre et le fer provenant de l'oxydation de ce minéral se retrouvent dans les sulfates et les oxydes de fer contenus dans les eaux mises en production au niveau du Grès à Voltzia.

Voltzia heterophylla Brong., qui a donné son nom à la formation, est un végétal fréquent dans ces grès, soit à l'état d'empreintes ferrugineuses, soit sous forme de tiges carbonisées qui se repèrent très facilement dans les cuttings.

Intercalées entre les bancs de grès, des lentilles d'argile indurée vert-pâle, de puissance généralement décimétrique, mais pouvant atteindre, dans les cas extrêmes, 2 à 3 mètres d'épaisseur, ont livré des Esthéries au forage de Nancy-Thermal n° 3.

Au forage de Chenevières (M. Clin et R. Laugier, 1954), le Grès à Voltzia montrait un faciès tout à fait anormal représenté par un sédiment essentiellement argileux noirâtre et pyriteux à Estheria et Equisetites d'où les grès sont pratiquement absents.

Cette variation locale de faciès peut être attribuée à un approfondissement local de la zone de dépôt dans l'axe du synclinal de Chenevières.

UNIVERSITE NANCY 1 BIBLIOTHEQUE SCIENCES

C) Le Trias moyen : Muschelkalk et Lettenkohle

1 - Le Muschelkalk :

Le Muschelkalk est divisé en 3 unités :

- Le Muschelkalk inférieur ou Muschelsandstein ou Grès coquillier ;
- Le Muschelkalk moyen ou Anhydrit-Grupp ou Muschelkalk marneux ;
- Le Muschelkalk supérieur ou Hauptmuschelkalk ou Muschelkalk calcaire.

La base de ce système est déterminée par l'apparition des faciès gréseux francs et la disparition complète des évaporites.

Le toit se reconnaît particulièrement bien en forage puisqu'il correspond à l'apparition de la réaction positive immédiate des déblais de forages ou des carottes à l'action de l'acide chlorhydrique.

a) Le Muschelkalk inférieur de faciès germanique typique comprend :

- le Grès coquillier à la base ;
- le Wellenkalk ;
- les Marnes à Myacites ;
- la Dolomie à Myophoria orbicularis au sommet.

Dans la zone qui nous intéresse, la transgression de la Mer Germanique est moins avancée et seul le faciès "Grès coquillier" est bien représenté. D'après les carottes que nous

avons pu examiner avec J.P. Destombes et J. Ricour à l'occasion des travaux de reconnaissance du Gaz de France sur la culmination de Velaine-sous-Amance, le "Grès coquillier" puissant de 12 à 15 m apparaît comme une entité bien caractérisée. Ce niveau ressort également sur les diagraphies électriques : l'alternance des couches gréseuses résistantes et des couches marneuses conductrices est en effet le meilleur critère que l'on puisse appliquer à sa détermination.

Il faut y ajouter la présence de fins lits de mica sur les surfaces de stratification et l'absence d'évaporites qui restent confinées dans les termes supérieurs de la série. Les indices d'huile y sont fréquents. La partie inférieure de cette formation est notablement plus gréseuse que le sommet : pour les besoins de notre étude et pour ceux du Gaz de France, nous avons été amenés à distinguer :

- un Muschelkalk inférieur, essentiellement argileux,

- un Muschelkalk inférieur, franchement gréseux sous-jacent, qui, si l'on raisonne uniquement en terme de réservoir ou de roche-magasin, jouit des mêmes propriétés que les Grès du Trias inférieur.

Le passage entre les deux niveaux est progressif et il est difficile de fixer avec précision la limite supérieure stricte du réservoir.

b) <u>Le Muschelkalk moyen ou Muschelkalk marneux</u> :

<u>Les Couches rouges</u>

La base du Muschelkalk moyen est représentée par les Couches rouges constituées par 16 mètres environ de marnes versicolores ou rouges plus connues sous le nom d'Argiles de Pexonne auct.

Les Couches grises

Leur puissance est assez constante et reste comprise entre 40 et 50 m en Lorraine. Ce sont des marnes grises ou noires, anhydritiques et dolomitiques, de faciès marin. Elles renferment des niveaux oolithiques silicifiés (Van Werveke, 1907, B. Haguenauer, 1961). On y exploite des niveaux de sel gemme dans la région de Sarralbe.

Les Couches blanches

Il s'agit d'un niveau blanc de 5 à 7 mètres d'épaisseur, d'aspect crayeux, très friable. On y trouve souvent des silex noirs à cortex blanc.

Cet horizon se repère très facilement en forage, non seulement par sa couleur, mais par la baisse brutale du rapport Calcium/Magnésium de ce sédiment qui fait suite au Calcaire à Entroques.

c) Le Muschelkalk supérieur ou Muschelkalk calcaire :

Le Muschelkalk calcaire puissant de 60 à 70 m est caractérisé par une sédimentation rythmique dont la séquence fondamentale, comprise entre 2 joints de sédimentation ou diastème, décrite par B. Haguenauer (1961) est la suivante :

Début d'une séquence

2 - .....
1 - Calcarénite bleue spathique

——— Diastème ———

Séquence complète

5 - Calcaire argileux compact
4 - Calcaire noduleux
3 - Argilite
2 - Calcaire gréseux
1 - Calcarénite bleue spathique

——— Diastème ———

Sommet d'une séquence

5 - Calcaire argileux compact
4 - .....

Suivant le développement de tel ou tel terme de la séquence, on distingue trois faciès qui sont : (de haut en bas)

- *Le Calcaire à Térébratules,*
- *Les Couches à Cératites*
- *Le Calcaire à Entroques.*

Le Calcaire à Entroques : sa puissance est de l'ordre de 6 à 8 m en forage dans la région de Lunéville. Il s'agit d'un faciès périrécifal, calcarénite oolithique, coquillière et à entroques.

Les Couches à Cératites, dont la puissance est comprise entre 40 et 65 mètres doivent leur nom aux nombreux représentants du genre Cératites qu'elles recèlent. Elles sont représentées par une alternance de bancs calcaires et de bancs marneux dont la répartition répond exactement à la définition de la séquence fondamentale.

Le Calcaire à Térébratules n'est qu'un faciès local de la partie supérieure des Couches à Cératites, puissante de 6 à 8 m. Il est caractérisé par la présence de nombreux Brachiopodes appartenant, entre autres, au genre Coenothyris.

Variations latérales des faciès du Muschelkalk

Le gîte de sel de Sarralbe disparaît en Meurthe et Moselle au sud de la Vallée de la Meurthe.

D'autres variations latérales de faciès peuvent être signalées. Elles concernant principalement le Muschelkalk calcaire qui tend de plus en plus à prendre un faciès gréseux au fur et à mesure que l'on se dirige vers les rivages du seuil Luxembourgeois.

Vers le sud, en direction des hauts fonds correspondant au seuil Morvano-Vosgien, on constate que la dolomitisation se développe et envahit tout le Muschelkalk calcaire.

La nappe du Muschelkalk

Cette nappe qui reste peu étudiée se manifeste :

- lors des travaux de forage par des pertes totales d'injection qui surviennent en général au toit du Muschelkalk calcaire (Forage d'Einville, 1966) ou à la base du Calcaire à Entroques (Forage des Grandes Brasseries de Charmes) ;

- par des émergences naturelles telle la source de la Laxière sur le territoire de la commune de Laneuveville-au-Bois, près de Lunéville.

La composition de son eau répond aux données ci-dessous (analyse physicochimique de l'eau du forage de Charmes, profondeur 70 m, communiquée par l'Institut de Recherches Hydrologiques de Nancy) :

pH	:	6,72
Résistivité	:	379 Ohm.cm
Résidu sec	:	2971 mg/l
Dureté totale	:	199,2 mg/l

HCO_3^-	: 329	mg/l	Ca^{++}	: 560	mg/l
SO_4^{--}	: 1617	mg/l	Mg^{++}	: 144	mg/l
Cl^-	: 25	mg/l	Na^+	: 17	mg/l
SiO_3^{--}	: 11,5	mg/l	K^+	: 4	mg/l

Il s'agit d'une eau très minéralisée, sulfatée, calcique et magnésienne, du type de l'eau minérale de Vittel issue de la même nappe par l'intermédiaire de fissures naturelles.

Son exploitation pour des besoins industriels limités n'a jamais été envisagée et son incidence sur la bonne marche des chantiers de forage profond ne doit pas être sous-estimée.

2 - La Lettenkohle :

Cette subdivision du Trias en raison de sa puissance relativement faible, inférieure à 16 m aux environs de Nancy, est difficile à mettre en évidence et surtout à détailler sur les déblais de forage.

Les affleurements sont rares, mais plusieurs ont été particulièrement bien décrits (M.A. Braconnier, 1879, G. Wild, 1959).

a) La Dolomie inférieure est en général très mince (2 à 4 m) et contient souvent des débris organiques que l'on peut attribuer à des vertébrés : écailles, os ou vertèbres de poissons. Le passage entre la Dolomie inférieure et le Muschelkalk calcaire est marqué par l'élévation brutale de la teneur en Calcium de la roche.

b) Les Marnes à plantes atteignent dans la région de Nancy une puissance d'une dizaine de mètres ; celle-ci augmente sensiblement en direction du Luxembourg et l'on passe à des faciès gréseux ou argilogréseux (sondage de Longwy).

c) La Dolomie supérieure peut être observée à Lunéville au Moulin de Xerbéviller. Elle y est formée de 6 à 7 m de calcaire dolomitique dur, jaune, avec quelques intercalations de marnes et de marnolites jaunes à l'affleurement.

On remarquera dans cette description l'absence d'anhydrite, dissoute à l'affleurement.

D) Le Trias supérieur ou Keuper

Le Keuper est compris entre le Rhétien qui le surmonte et dont l'appartenance au Lias ou au Trias est controversée, et la Lettenkohle parfois rattachée au Muschelkalk. Dans la région de Nancy, sa puissance totale est supérieure à 300 m. Il est divisé en 3 parties :

- *Le Keuper inférieur marneux, qui renferme la formation salifère, à la base,*
- *Le Keuper moyen argilogréseux et dolomitique,*
- *Le Keuper supérieur marneux et dolomitique, au sommet.*

1 - Le Keuper inférieur :

Sa puissance varie en fonction de l'épaisseur des couches d'évaporites. Elle est de 225 m, dont 70 mètres de sel massif, répartis sur plusieurs bancs, au forage de Nancy-Thermal n° 3 et de 150 m environ au forage d'Einville-au-Jard, là ou le Keuper inférieur à l'affleurement est dépourvu d'évaporites.

La puissance totale des marnes qui constituent cette formation est donc à peu près constante et voisine de 150 m.

La formation salifère proprement dite repose sur 30 à 40 m de marnes versicolores.

Sa limite supérieure est marquée par 40 à 50 m de

marnes, noires et anhydritiques en tête, puis versicolores.

2 - Le Keuper moyen comprend :

- Le Grès à Roseaux à la base : 5 à 9 mètres environ, parfois plus,
- Les Marnes intercalaires : 0,50 à 2,00 m en général,
- La Dolomie de Beaumont au sommet : 8 à 10 m en forage.

a) Le Grès à Roseaux :

Il s'agit d'une formation argilo-gréseuse dont la puissance dépasse rarement 8 à 9 m. Ses variations de faciès sont nombreuses et difficilement prévisibles (C. Palain, 1966). Des marnes rouges chocolat, toujours micacées et dépourvues d'évaporites ont été mises en évidence dans le périmètre de la concession salifère de la Madeleine, à l'est de Nancy (R. Laugier, inédit). Dans la région de Parroy (Cl. Marchal et B. Maréchal, carte géologique au 1/50 000 à paraître), le Grès à Roseaux se présente avec une puissance supérieure à 10 m et un faciès gréseux franc rappelant à s'y méprendre le Buntsandstein : c'est le "Grès bigarré du Keuper" des anciens auteurs.

Des bancs de lignite sont exploités dans le Grès à Roseaux près de Norroy, Gironcourt-sur-Vraine et Morhange.

La flore du Grès à Roseaux est abondante : ce sont des Equisetites, Ptérophyllum et Calamites ; la faune par contre est très pauvre et se réduit à des écailles de poissons, des Esthéries, quelques gastéropodes et lamellibranches (R. Laugier, 1961), des os craniens de Labyrinthodontes

(Lebrun, 1858) et des ossements de Metiopias sp. (G. Corroy, 1928).

b) Les Marnes intercalaires :

Elles sont représentées par quelques bancs marneux feuilletés ou à cassure conchoïdale. Ce sont des marnes versicolores déposées probablement dans les mêmes conditions que celles du Keuper.

c) La Dolomie de Elie de Beaumont :

C'est un horizon repère que l'on suit de manière très précise dans tout le centre et le sud de la Lorraine (F. Baroz, 1967), par le relief qu'elle détermine en affleurement et par sa dureté caractéristique en forage.

En forage, sous une couverture sédimentaire dépassant 80 m, on distingue, de haut en bas :

- 1 à 3 mètres d'anhydrite massive, blanche ou crème, toujours très dure,
- 4 mètres environ de Dolomie blanche, homogène à cassure esquilleuse,
- 3 mètres de Dolomie gris fumée.

A l'affleurement, on y observe de petites géodes ou même des fissures remplies d'anhydrite qui, après dissolution, facilitent la circulation des eaux et le travail de l'érosion. C'est ainsi que, sous faible couverture, la Dolomie de Elie de Beaumont n'est représentée que par 4 à 5 mètres de sédiments diaclasés, fortement altérés ou remaniés.

3 - Le Keuper supérieur est limité :

- à sa partie inférieure par la Dolomie de Elie de Beaumont,
- à sa partie supérieure, par les derniers bancs des Grès infraliasiques, souvent caractérisés par un conglomérat de base bien développé.

Il est généralement azoïque à l'exception de quelques fossiles difficilement déterminables, issus des niveaux dolomitisés.

Les Marnes versicolores qui apparaissent entre les Grès rhétiens et la Dolomie de Beaumont ne sont pas aussi homogènes que l'on pourrait le croire a priori et la série stratigraphique se subdivise ainsi :

- à la base, 8 à 12 mètres d'argiles brun chocolat, dites Argiles de Chanville riches en gypse. Elles se distinguent facilement des niveaux supérieurs par leur couleur et par leur pauvreté en carbonate qui les classe parmi les argiles au sens strict du terme.

- ensuite, on trouve un ensemble dolomitique gris, verdâtre ou brun-rouge, de 4 à 5 m de puissance, dit Dolomie silicifiée. Ce sont des lentilles dolomitiques plissotées avec des lits d'argile verte intercalaire. Elles recèlent des sphérolites d'aspect pseudo-oolithique, des concrétions ou des nodules calcédonieux, orange-rouge ou rouge-brique qui ne manquent pas d'attirer l'attention dans les déblais de forage.

Des fossiles ont été signalés dans cette formation (B. Maréchal, 1966). Il s'agit probablement de lamellibranches dont la détermination reste hypothétique.

- en tête, 30 à 35 m de marnes rouges ou vertes, souvent noires en tête, forment les Marnes versicolores du Keuper supérieur, proprement dites.

4 - Extension des différents faciès :

Le Keuper se présente au foreur comme une série marneuse très puissante dans laquelle un certain nombre de couches d'évaporites éminemment solubles viennent quelque peu compliquer la tâche. Le gîte de sel est limité à l'est par la zone des affleurements. Vers l'ouest, au contraire, son extension, probablement considérable, a été entrevue grâce à un certain nombre de forages pétroliers qui ont recoupé en profondeur les couches salées.

E) La couverture post-triasique

Nous ne l'étudierons pas ici, son influence sur l'exploitation et la chimie des eaux de la nappe des Grès du Trias inférieur étant pratiquement nulle.

II - GEOMETRIE DU RESERVOIR

Les trois cartes présentées ci-après résument la géométrie du réservoir triasique.

A) Carte structurale et carte des isopaches des Grès du Trias inférieur

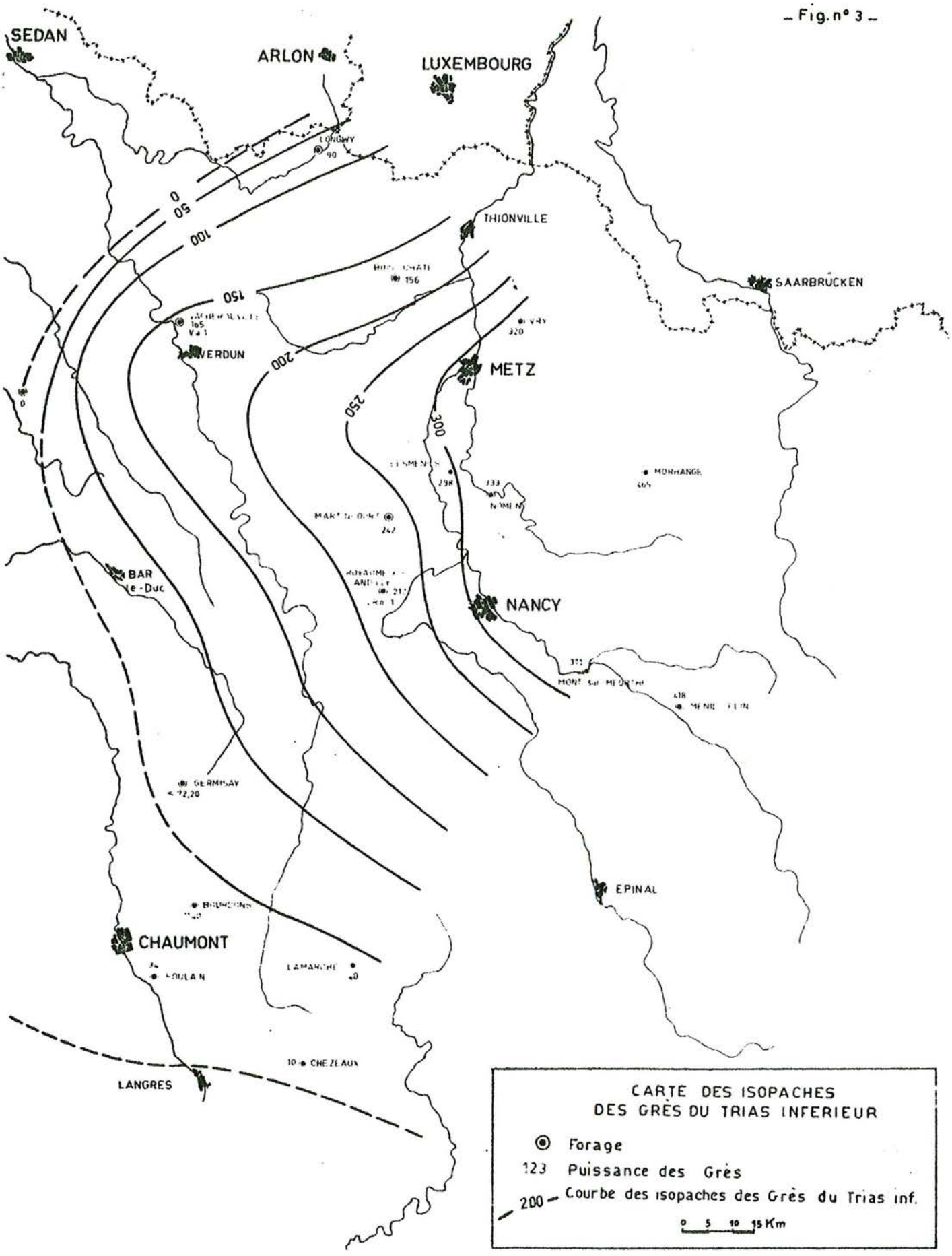
La carte des isopaches des Grès du Trias inférieur (fig. n° 3) montre une diminution générale de puissance de la série gréseuse de l'est vers l'ouest. Dans cette direction, les grès prennent des faciès indifférenciés, se biseautent et disparaissent au delà d'une ligne approximative Ste-Ménéhould, Vitry-le-François, Bar-sur-Aube, Chaumont. L'influence de la tectonique profonde est peu marquée.

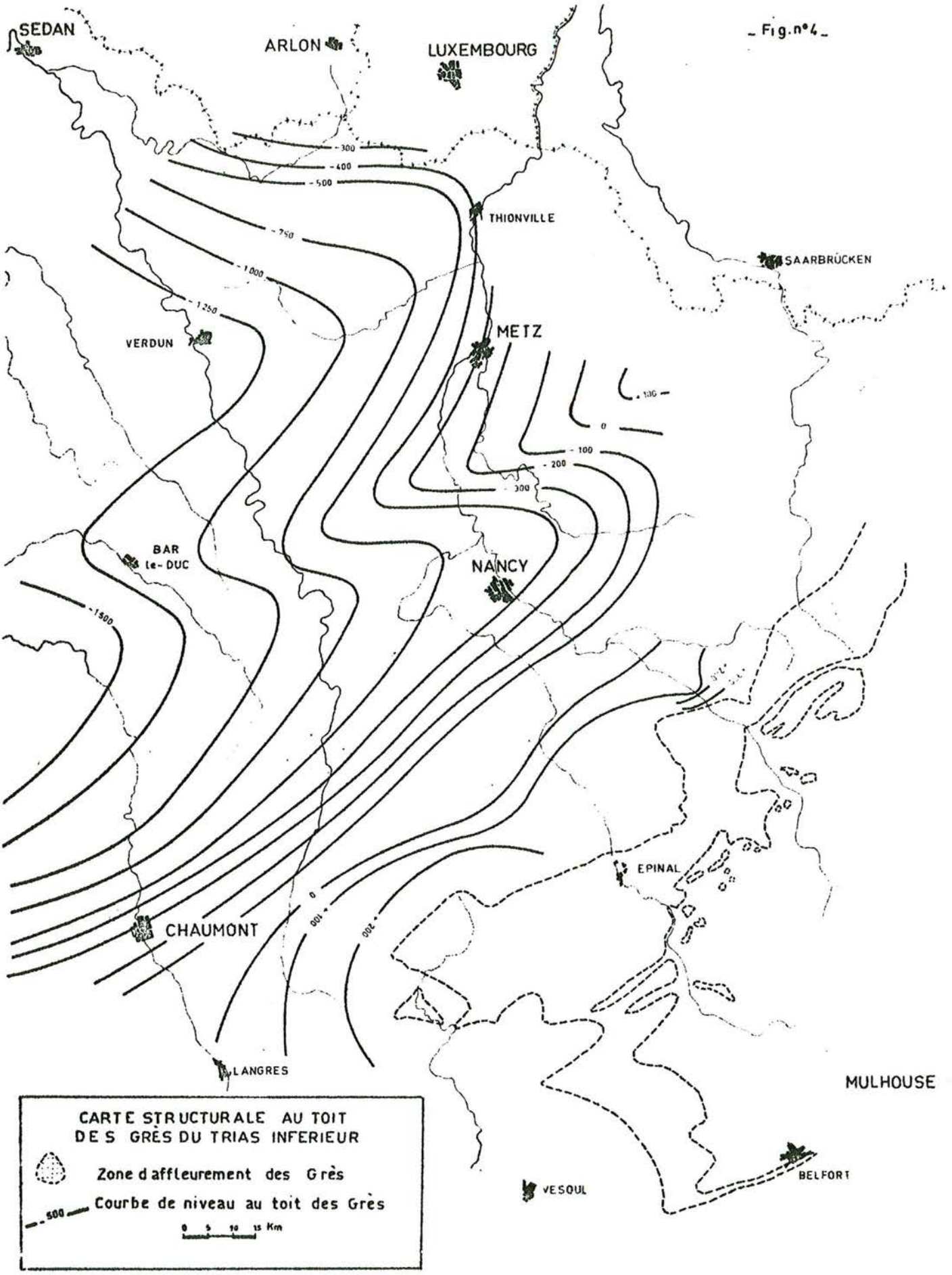
Sur la carte structurale (fig. n° 4), l'anticlinal sarro-lorrain se dessine parfaitement au toit des Grès du Trias inférieur qui s'enfoncent rapidement en direction du centre du Bassin de Paris.

B) Carte des isopaches du Grès vosgien (fig. n° 5)

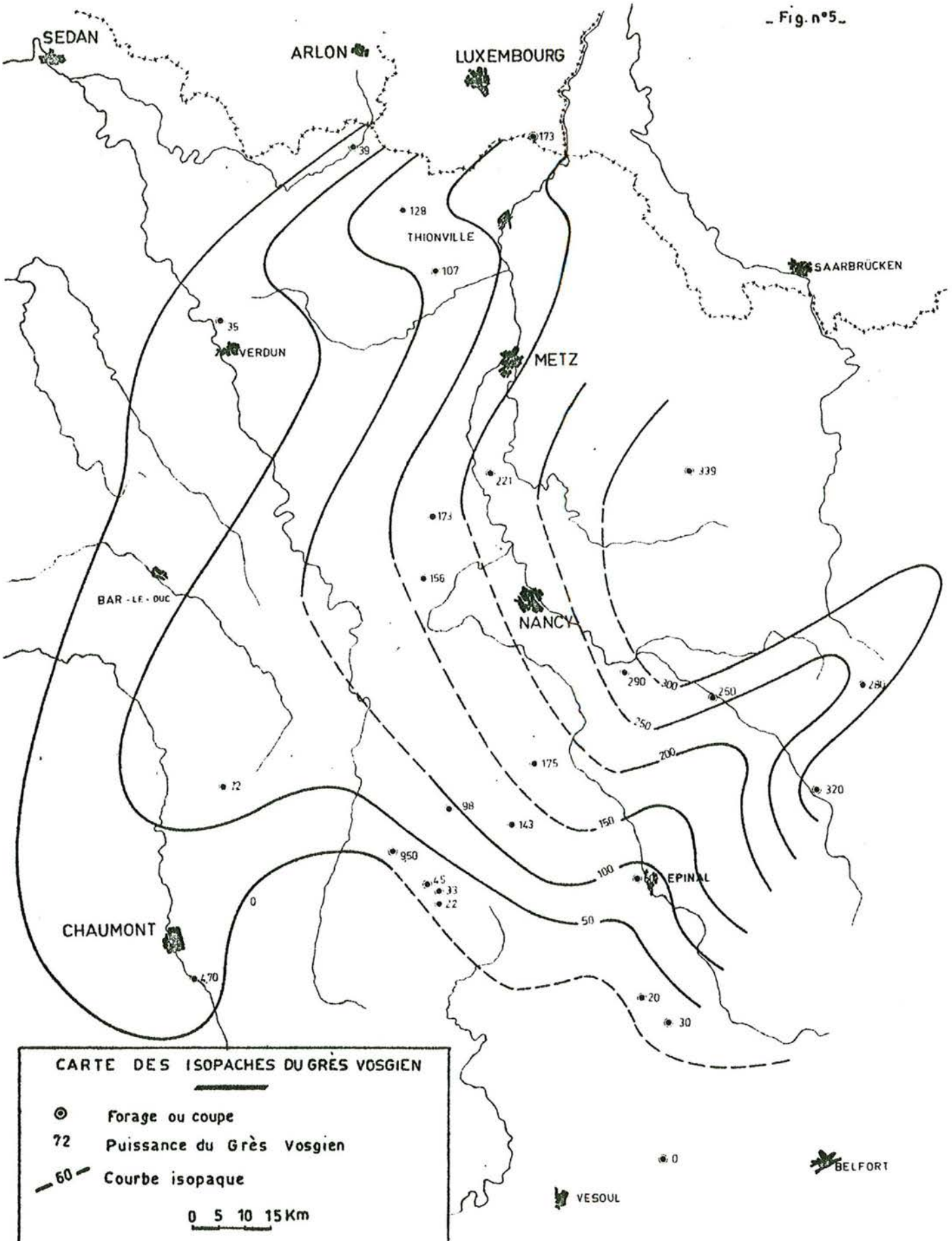
La puissance de la formation (Conglomérat principal compris) qui dépasse 300 m décroit depuis le Donon, de l'est vers l'ouest pour devenir nulle au-delà d'une ligne Verdun-Bar-le-Duc - Chaumont.

– Fig. n° 3 –


SEDAN
ARLON
LUXEMBOURG
LONGWY
90
0
50
100
150
200
250
300
THIONVILLE
156
SAARBRÜCKEN
VERDUN
165
320
METZ
0
298
333
MORHANGE
465
242
BAR
le-Duc
NANCY
371
418
GERMISAY
< 72,20
EPINAL
CHAUMONT
LAMARCHE
40
10 CHEZEAUX
LANGRES
CARTE DES ISOPACHES
DES GRÈS DU TRIAS INFERIEUR
Forage
123 Puissance des Grès
200 Courbe des isopaches des Grès du Trias inf.
0 5 10 15 Km


- Fig.n°4 -
SEDAN
ARLON
LUXEMBOURG
THIONVILLE
SAARBRÜCKEN
METZ
VERDUN
BAR le-DUC
NANCY
EPINAL
CHAUMONT
LANGRES
MULHOUSE
VESOUL
BELFORT
-300
-400
-500
-750
-1000
-1250
-1500
100
0
-100
-200
-300
CARTE STRUCTURALE AU TOIT DES GRÈS DU TRIAS INFERIEUR
Zone d'affleurement des Grès
Courbe de niveau au toit des Grès
500
0 5 10 15 Km

- Fig. n°5 -



CARTE DES ISOPACHES DU GRÈS VOSGIEN

◎ Forage ou coupe

72 Puissance du Grès Vosgien

60 Courbe isopaque

0 5 10 15 Km

Vers le sud, le Grès vosgien se biseaute et disparaît en direction du seuil de Langres.

C'est ainsi que sa puissance est de :

- *20 à 30 m dans la région de Vittel-Contrexéville,*
- *4,70 m au forage de Foulain au sud-est de Chaumont,*
- *2,50 m à Martigny-les-Bains.*

Il est absent aux forages de Chézeaux, Damblain et Lure où les Grès présentent un faciès indifférencié.

L'axe tectonique anticlinal Epinal-Raon-l'Etape-Le Donon est marqué par un amincissement local de la série, ceci prouve que les grands axes tectoniques de la Lorraine ont joué de tout temps et influencé la sédimentation. L'absence de forages traversant toute la série gréseuse ne permet pas de se faire une idée exacte de la puissance du Grès vosgien dans l'axe synclinal de Sarreguemines.

III - SURVEILLANCE GEOLOGIQUE DES FORAGES. MISE EN EVIDENCE DES REPERES

Le carottage mécanique des formations géologiques traversées par un sondage est un travail coûteux ; il ne peut se justifier que par la nécessité de procéder à des opérations déterminées sur des échantillons de grande dimension non remaniés : mesures de porosité, de perméabilité, essais géotechniques, etc...

Il n'est pas pensable, économiquement, dans le domaine du forage d'eau, de carotter de façon continue ou même partielle, un sondage de 800 m de profondeur ; aussi, le géologue a-t-il dû mettre au point un certain nombre de techniques de contrôle permettant de préciser la position des repères stratigraphiques. Les unes sont très générales, tel l'enregistrement de diagraphies, d'autres ont été adaptées à la géologie et à la stratigraphie de la couverture sédimentaire lorraine ; elles concernent la mise en évidence de faciès ou de minéraux caractéristiques d'un niveau connu.

A) Principes

1 - Etude des "cuttings" ou déblais de forage :

La boue injectée dans le puits par l'intermédiaire du train de tiges (garniture) remonte dans l'espace annulaire compris entre la paroi de l'ouvrage et la garniture après avoir

refroidi et lubréfié l'outil. Un autre rôle lui est assigné, celui d'entraîner et de remonter les débris arrachés au terrain par le trépan. Ce sont ces débris, encore appelés "cuttings" ou déblais de forage que le géologue recueille sur un tamis vibrant qui sépare la boue des produits solides. Ces cuttings font l'objet d'un examen détaillé après débourbage complet, lavage éventuel à l'acide et séchage.

On comprendra facilement que ces cuttings, prélevés mètre par mètre, peuvent donner une idée de la nature des terrains traversés, mais les particules remontent à des vitesses différentes suivant leur forme et leur volume, respectant en cela la loi de Stokes. Des retombées, que l'on peut assimiler à de petits éboulements, se produisent, mélangeant les débris en provenance de l'outil à ceux qui "retombent" des niveaux supérieurs. Autrement dit, l'apparition d'un minéral ou d'un faciès est seul significatif, toute réapparition pouvant être le fait des retombées. e prélèvement mètre par mètre des cuttings permet d'établir au cours de l'avancement du chantier une coupe lithologique et stratigraphique de l'ouvrage. Une précision de l'ordre de un à deux mètres peut être atteinte grâce à des corrections tenant compte de la vitesse de circulation de la boue dans le puits et par un examen minutieux des échantillons.

2 - Carottage électrique et diagraphie :

L'enregistrement de diagraphies consiste à mesurer en continu un paramètre caractéristique du terrain : sa résistivité, sa radioactivité naturelle ou induite, etc...

Les diagrammes obtenus, encore appelés "logs" permettent de préciser à quelques centimètres près la position d'un

banc déterminé, du toit ou du mur d'une formation, d'un repère aux caractéristiques connues.

B) Application aux forages à la nappe des Grès du Trias inférieur

Trois repères jouent un rôle fondamental dans la réalisation d'un forage au Grès vosgien et doivent être reconnus sur le chantier dès qu'ils sont atteints. Ce sont :

- La Dolomie de Elie de Beaumont au-dessous de laquelle on rencontrera le Keuper inférieur salifère qu'il faut forer en boue saturée salée.

- La Lettenkohle, mur du Keuper salifère et cote du sabot de la première colonne de tube destinée à protéger le reste de l'ouvrage de l'influence des formations salifères.

- La Zone Limite Violette inférieure, toit du Conglomérat principal et sabot de la deuxième colonne de tubes (voir fig. n° 63 la coupe schématique d'un forage au Grès vosgien).

1 - La Dolomie de Beaumont est le repère le plus facile à mettre en évidence. Le foreur se rend immédiatement compte de sa présence car il s'agit d'un horizon d'une dureté exceptionnelle en Lorraine. En cuttings, le chapeau d'anhydrite et la dolomie se présentent sous forme de débris blancs à éclat résineux et à cassure esquilleuse. Elle annonce le sel du Keuper qui apparaît une cinquantaine de mètres plus bas.

2 - La Lettenkohle est beaucoup plus difficile à identifier sur les déblais de forage. Elle est caractérisée par deux bancs dolomitiques d'épaisseur métrique qui peuvent

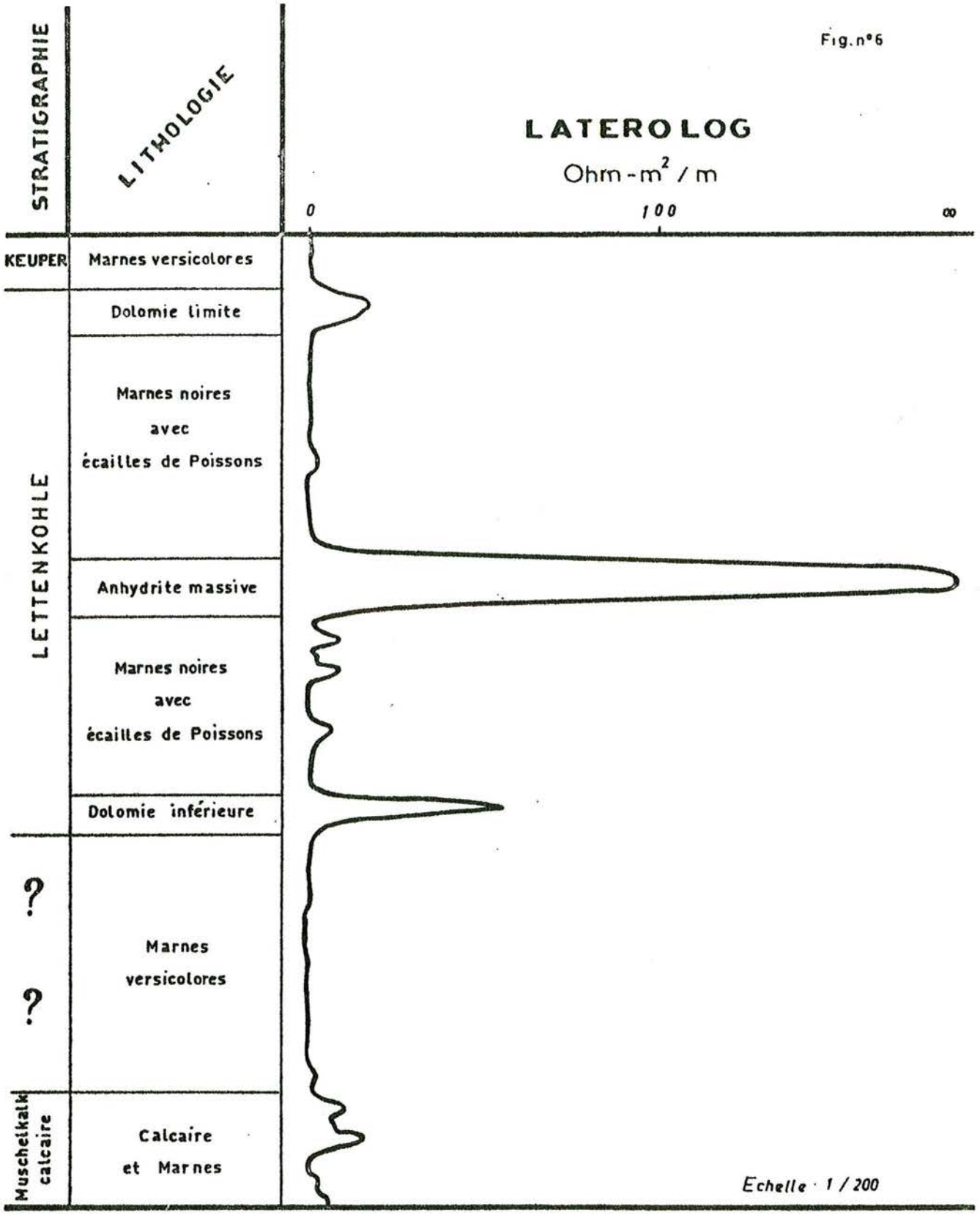
apparaître dans les cuttings soumis à un examen minutieux. La mesure des vitesses d'avancement est un auxiliaire précieux pour déterminer ce niveau repère. Seul 'enregistrement a posteriori de diagraphies électriques (Laterolog 3) permet un calage rigoureux de la stratigraphie.

Les observations que nous avons pu faire, tant à partir des diagraphies qu'au vu des cuttings, ne semblent pas coïncider avec les descriptions classiques de la Lettenkohle.

Nous observons de haut en bas (fig. n° 6) dans tous les ouvrages compris dans la zone délimitée par Lunéville, Charmes, Nancy et Champigneulles, les horizons suivants :

- *1,50 m : dolomie*
- *8 m : marnes noires avec écailles de poisson*
- *2 m : anhydrite massive*
- *7 m : marnes noires avec écailles de poisson*
- *1 m : dolomie*
- *9 m : marnes versicolores.*

Autrement dit, la Lettenkohle des auteurs semble représentée par des marnes noires que l'on peut identifier aux Marnes à Plantes encadrées par deux bancs de dolomie représentant respectivement la Dolomie limite et la Dolomie inférieure. Il reste 9 mètres de marnes versicolores de type Keuper comprises entre la Lettenkohle, décrite par les auteurs, et le Muschelkalk calcaire proprement dit. L'attribution stratigraphique de ce niveau reste à faire et ne pourra être discutée en toute rigueur que si l'on dispose de carottages mécaniques continus.



La Lettenkohle au forage des Grandes Brasseries de Champigneulles

Lithologie et log électrique

3 - La Zone Limite Violette :

Le toit de la nappe à capter est constitué par le Conglomérat principal surmonté par la Zone Limite Violette. C'est ce niveau qu'il s'agit d'identifier avec précision.

Trois critères s'offrent au géologue, ce sont :

- La forme et la couleur des quartz : ces derniers voient leur granulométrie augmenter au voisinage du conglomérat. De plus, ils se teintent pour acquérir des couleurs remarquables jaune-citron ou vert-olive.

- La présence de cornaline rouge caractéristique de la Zone Limite Violette.

- Le passage de un ou deux mètres d'argile violette correspondant à la Zone Limite Violette.

Connaissant la série stratigraphique, ses particularités locales et ses principaux repères, il peut sembler facile d'assurer la surveillance géologique d'un forage à la nappe des Grès du Trias inférieur. Cependant la présence du géologue est toujours requise à tout moment sur le chantier, de jour comme de nuit. Il doit assumer la responsabilité de déterminer sur le champ les cotes de tubage et de cimentation, au vu des déblais recueillis mètre par mètre sur la plateforme de sondage. Il s'agit maintenant d'une opération de routine que nous pensons avoir fondée sur des bases solides.

CHAPITRE II

DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

I - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'AQUIFERE

Antérieurement à 1965, aucun chiffre concernant les caractéristiques physiques de l'aquifère n'était disponible en dehors de la zone des affleurements.

Les principales données quantitatives concernant la perméabilité et la porosité ont été recueillies au forage de Nancy-Thermal n° 3. Elles consistent :

- en des mesures directes de porosité et de perméabilité effectuées sur des carottes,
- en un carottage nucléaire et sonic continu de la formation.

A) Mesure de la Porosité et de la Perméabilité

1 - Résultats :

- Le tableau ci-après résume les mesures qui ont été faites systématiquement sur des plugs prélevés tous les mètres de 735,40 à 860 m de profondeur.

NANCY-THERMAL N° 3

Analyse de carottes

N°	Profondeur en Mètres	Perméabilité en Milli-darcys	Porosité en Pourcentage
1	747	46	13
2	748	580	12
3	749	5	8
4	750,80	3 900	15
5	751,50	1 100	13
6	756,40	10	12
7	757,30	< 0,1	10
8	760	210	10
9	762	57	15
10	763	19	11
11	765	15	15
12	766,50	2 200	17
13	768	790	31
14	769,50	580	27
15	770,50	270	14
16	771,50	0,6	8
17	772,30	285	15
18	773	1 100	16
19	774	580	20
20	775	3 200	19
21	776	1,6	8
22	778	7 000	26
23	780	< 0,1	3
24	781,50	< 0,1	3
25	783	2 900	20
26	785	4 200	22
27	787	5 300	19
28	787,50	1 200	16
29	788,50	790	19
30	789	< 0,1	4
31	790,60	2 200	21
32	792	5 300	22
33	793	2 370	16
34	794,30	1 150	19
35	797	7 900	22
36	798	900	13
37	799	330	9
38	800,38	3 400	18
39	801	9,9	11
40	802	3 250	20

NANCY-THERMAL N° 3

Analyse de carottes

N°	Profondeur en Mètres	Perméabilité en Milli-darcys	Porosité en Pourcentage
41	803	5 300	12
42	804	930	15
43	805	450	14
44	807	2 050	7
45	808,45	105	12
46	809,30	1 500	18
47	810	79	13
48	811	2 920	16
49	812	520	5
50	813	640	20
51	815	0,8	5
52	816	3,3	10
53	817	280	13
54	818	4 900	19
55	819	2 300	18,5
56	820,50	670	16
57	824	780	22,60
58	825	3 200	20,09
59	826,30	2 250	25
60	827	760	12,3
61	828	3 200	23,2
62	829,30	18	13,6
63	830	4 100	10,01
64	831	160	18,2
65	832	145	26
66	832,80	600	7,9
67	835	51	9
68	837	1 450	23,9
69	838	1 800	21,1
70	839	1 750	20,09
71	840	48	15,05
72	842	2 500	22,50
73	844	57	13,90
74	851	2 300	22,50
75	854	550	21,9
75 bis	856,50	450	21,9
76	857	300	20
77	858	1 900	22,50
78	860	600	22,10
79	906	3 000	20,09
80	907	1 400	22,02

- Le paramètre mesuré est la perméabilité horizontale. Elle est exprimée en millidarcys. Rappelons que le darcy, unité pratique, vaut $0,987 \times 10^{-8}$ perm (unité CGS). Il représente la perméabilité d'un milieu où 1 cm^3/s d'un fluide d'une viscosité de 1 centipoise s'écoule à travers une section de 1 cm^2 sous un gradient de pression de 1 atm par cm (1 atm = 1,013 bar). Quand ce fluide est de l'eau, on peut écrire :

$$1 \text{ darcy} = 0,987.10^{-8} \text{ perm} = 0,96.10^{-3} \text{ cm/s} = 0,96.10^{-5} \text{ m/s}$$

- La porosité est définie par la porosité ouverte, correspondant aux vides communiquant entre eux, vides occlus exclus.

Elle s'exprime en pourcentage de vide par rapport au volume total de l'échantillon.

2 - Interprétation :

Le très mauvais rendement du carottage nous prive de la possibilité de nous faire une idée exacte de la répartition des couches perméables et imperméables ainsi que des variations de la porosité. En effet, il est certain que ce sont les couches les moins consolidées, donc les plus poreuses et les plus perméables, qui n'ont pas été récupérées.

La tentative d'intégration statistique des résultats obtenus ne peut donc être considérée que comme un essai visant à déterminer un minorant aux valeurs moyennes de la porosité et de la perméabilité.

- *Porosité : nous avons tracé la courbe permettant d'obtenir en pourcentage le nombre d'échantillons ayant une porosité inférieure à une porosité donnée (fig. n° 7). Elle traduit une distribution assez homogène qui semble respecter la loi de Gauss. La porosité moyenne du Grès vosgien serait de 16,5 %.*

- *Perméabilité : un mode de représentation identique à celui adopté pour les porosités a permis de figurer la répartition des perméabilités. Il ne met en évidence aucune loi de distribution simple (fig. n° 8).*

Les résultats obtenus sont compris entre des valeurs exprimant une perméabilité nulle (inférieure à 0,1 millidarcy) et des valeurs exceptionnelles atteignant 5 000, 6 000 et même 7 400 millidarcys (soit 5.10^{-5} à 7.10^{-5} m/s).

3 - Corrélation entre porosité et perméabilité :

Chaque plug est représenté sur le graphique n° 9 par un point figuratif dont les coordonnées correspondent aux valeurs de la porosité et de la perméabilité.

Aucune relation n'apparaît clairement. Les perméabilités élevées correspondent généralement aux porosités supérieures à 15 %. Mais ce n'est pas toujours le cas : la porosité de la roche n'est pas le seul facteur qui intervient pour déterminer la perméabilité.

La discontinuité de l'échantillonnage n'a pas permis d'analyser la séquence sédimentaire correspondant au dépôt d'un banc de grès. Il est possible qu'une loi reliant porosité et perméabilité se dégagerait en considérant tous les termes

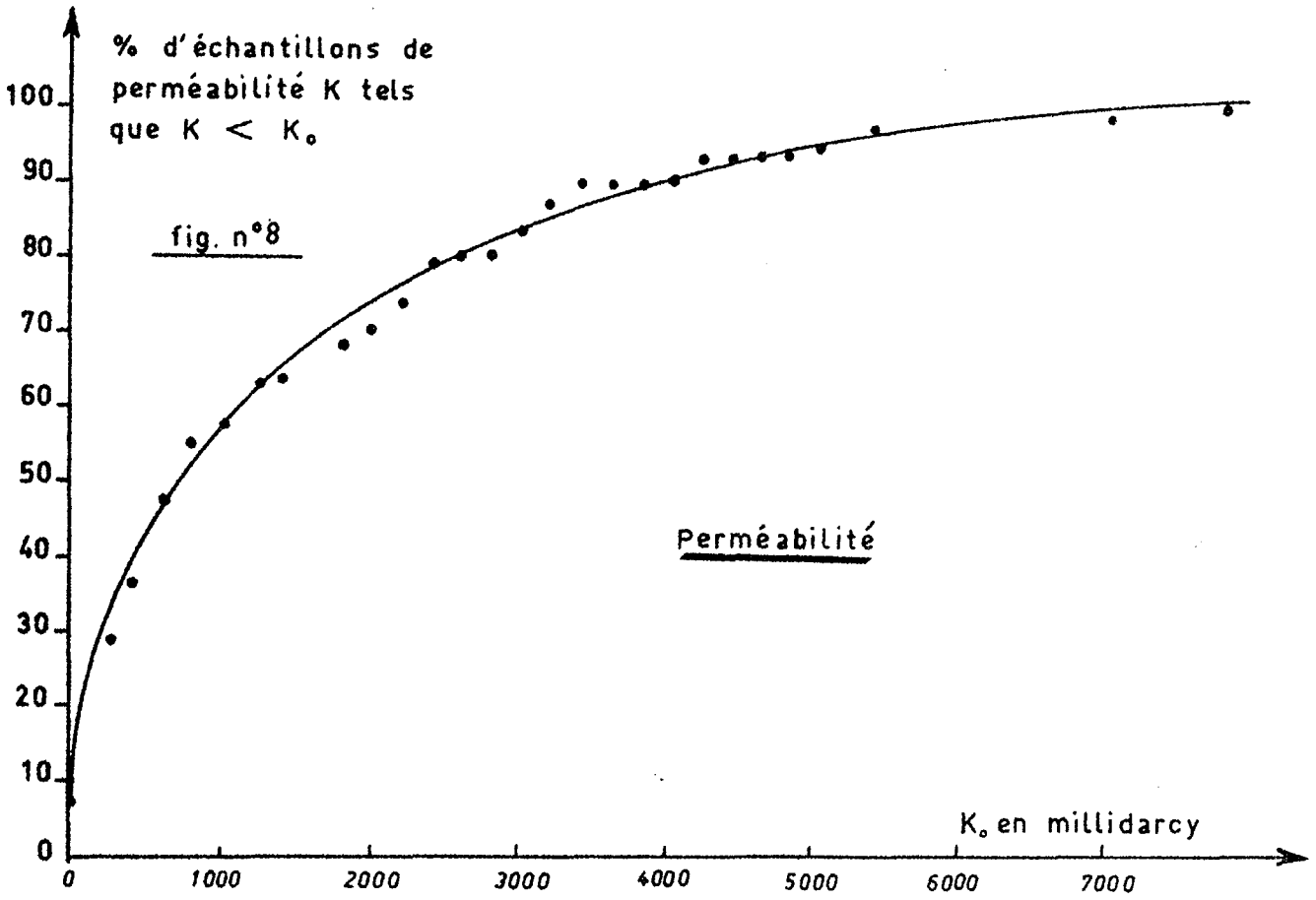


fig. n°8

Perméabilité

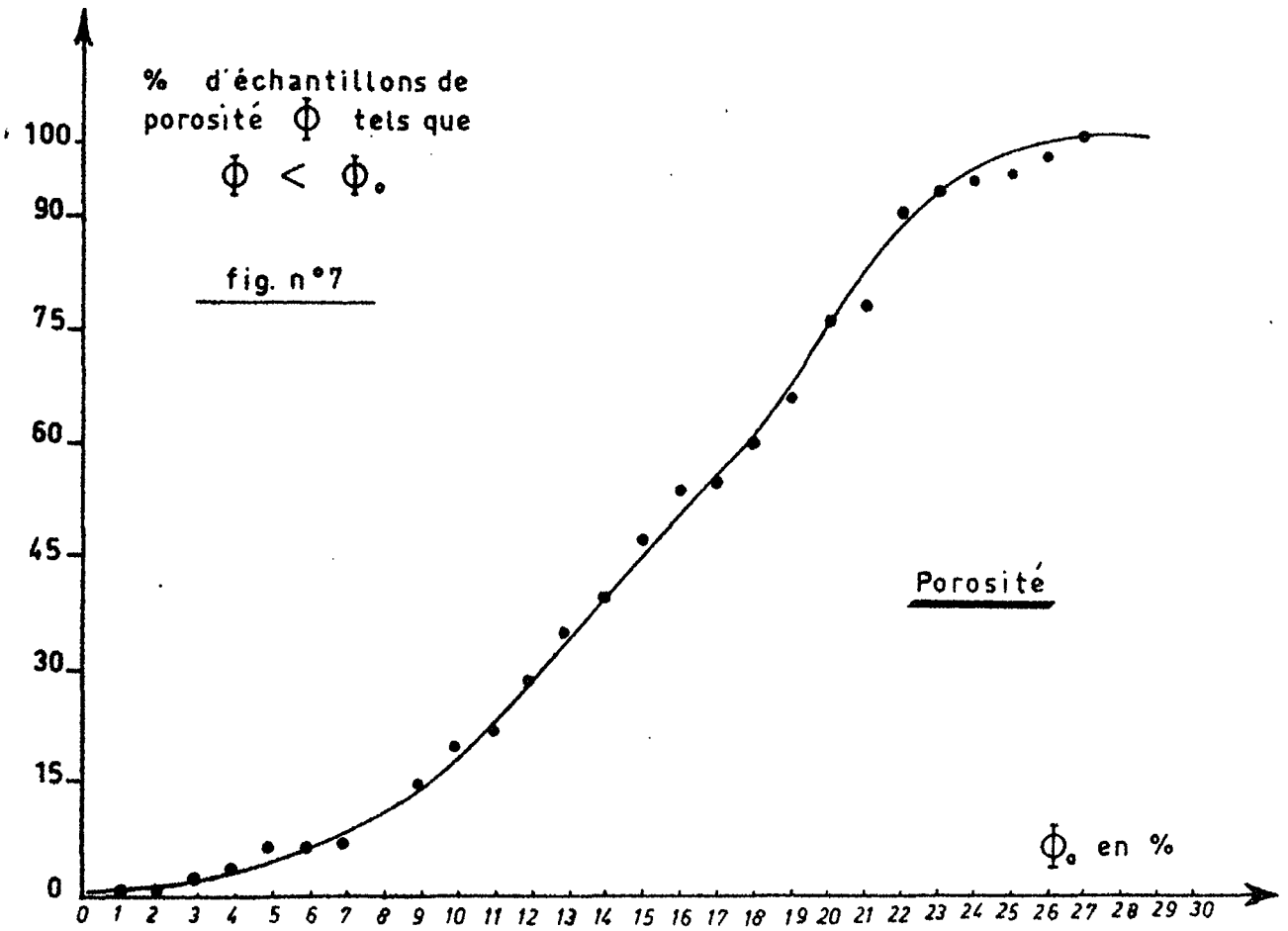
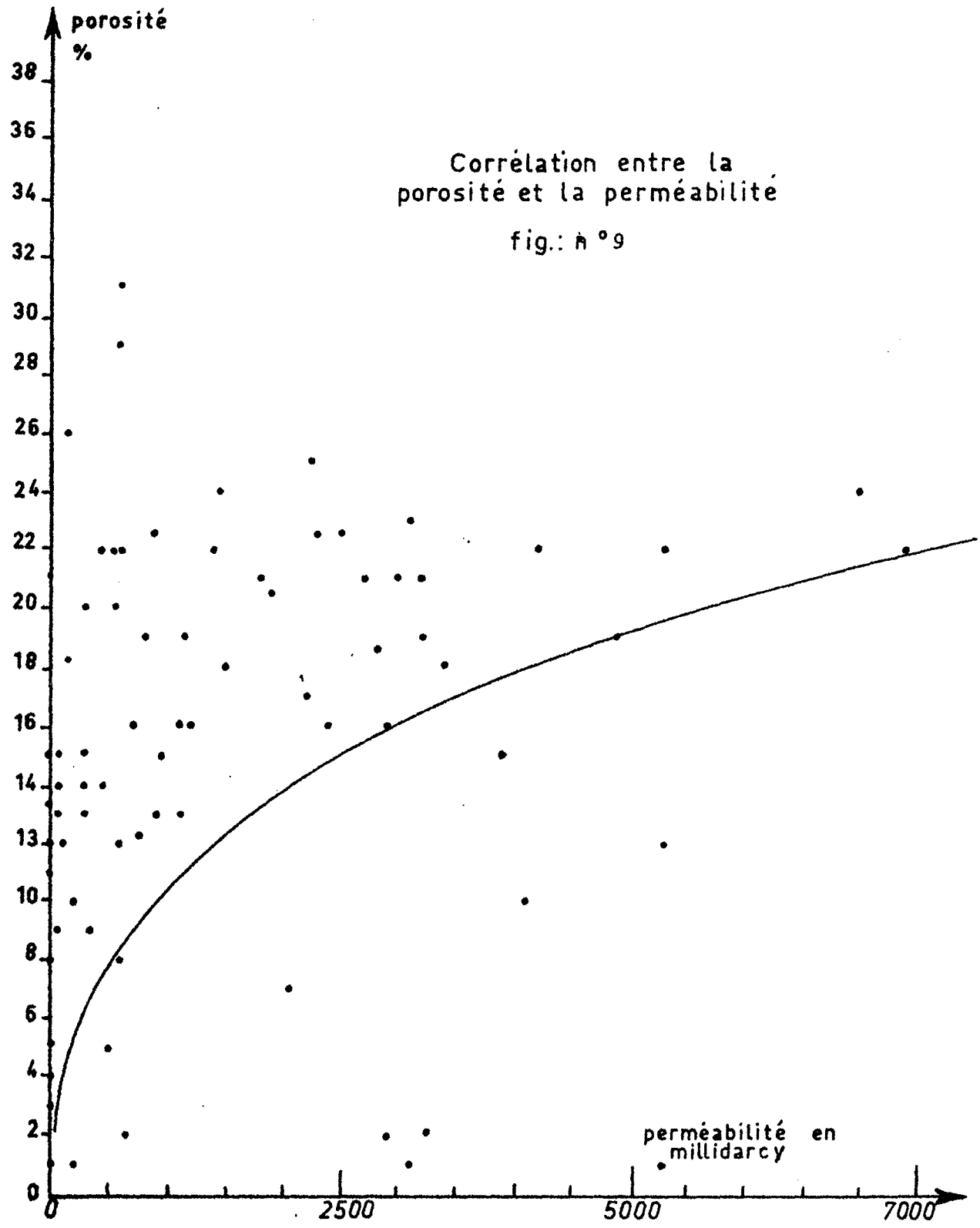


fig. n°7

Porosité



Corrélation entre la porosité et la perméabilité

fig.: n °9

homologues de chacune des séquences observées. Malheureusement, aucune observation dans ce sens n'a pu être faite sur les carottes disponibles.

4 - Facteurs déterminant la perméabilité :

Nous avons mis en évidence au moins trois facteurs qui, en plus de la porosité ouverte, modulent la perméabilité. Il s'agit :

- *de la granulométrie,*
- *de la nature du ciment,*
- *des recristallisations secondaires.*

Granulométrie :

Les échantillons dont la perméabilité est inférieure à 0,1 millidarcy présentent tous une granulométrie très fine. Si la morphologie des grains de quartz n'y est pas différente de celle que l'on observe dans l'ensemble du massif gréseux, on y trouve en plus des éléments détritiques isogranulaires de nature minéralogique différente : micas, probablement biotites. Celles-ci apparaissent cependant altérées et souvent décolorées au microscope en lumière dite naturelle (fig. n° 10). Ce phénomène exprime le départ du fer que l'on retrouve en plus ou moins grande abondance dans l'eau produite.

Ciment :

Les échantillons les plus poreux et les plus perméables sont généralement friables, à granulométrie plutôt grossière. Si nous restons cependant dans la classe des échantillons qui présentent ces caractéristiques granulométriques, nous constatons que certains d'entre eux, beaucoup

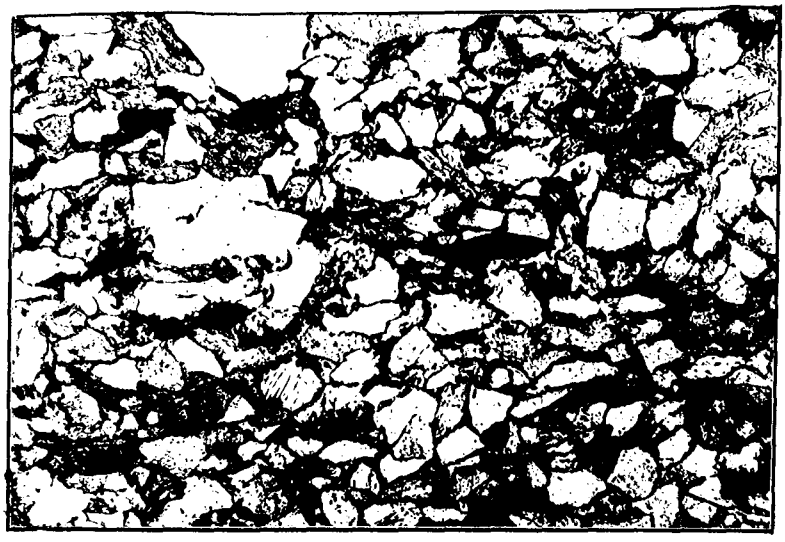


Fig. n° 10 - L.N., x 100.
Biotites du Grès Vosgien

Fig. n° 11 - L.N., x 100
Ciment secondaire calcitique du Grès Vosgien

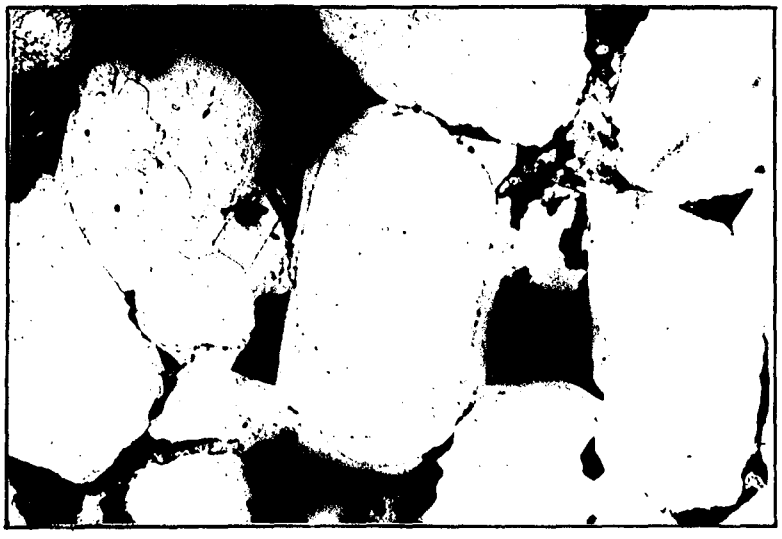


Fig. n° 12 - L.N., x 100
Grains de Quartz recristallisés

moins poreux et perméables, semblent mieux cimentés. Les observations macroscopiques ont été confirmées par l'observation microscopique qui fait apparaître souvent un ciment secondaire tardif, calcitique (fig. n° 11) ou bien des cristaux de dolomie épigénétique, preuve de remaniements chimiques intenses dans la formation et en particulier dans son ciment.

Recristallisations :

De la même manière, on observe des quartz bipyramidés qui se sont développés dans la roche à partir des grains de quartz arrondis qui figurent encore à l'état de fantômes (fig. n° 12).

B) Estimation de la porosité d'après les diagraphies

1 - Principes de la méthode (1) :

- Log sonic : Dans le cas des formations gréseuses bien consolidées, à porosité intergranulaire, Wyllie a établi la formule expérimentale suivante :

$$\Delta t_{log} = \Phi \Delta t_{fluide} + (1 - \Phi) \Delta t_{matrice}$$

soit

$$\Phi = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{matrice}}{\Delta t_{fluide} - \Delta t_{matrice}}$$

---

(1) d'après Schlumberger - Log Interpretation Principles - Paris 1966.

Dans cette formule :

ϕ *est la porosité en pourcentage,*

Δt_{log} *est le temps de parcours lu sur le log sonic en micro-seconde (*μ *s) par pied* (*)

$\Delta t_{matrice}$ *est le temps de parcours dans la matrice, soit 52 à 55* μ*s dans les grès, soit une vitesse de 18 000 à 19 000 pieds/seconde.*

Δt_{fluide} *vaut environ 190* μ*s correspondant à une vitesse du son dans le fluide de 5 300 pieds/seconde. Cette vitesse, dans les grès bien consolidés, ne semble pas varier de manière significative avec le fluide imprégnant la formation.*

Un abaque permet d'obtenir simplement ϕ *à partir de* Δt_{log}.

- Log neutron : Une source radioactive Radium-Beryllium ou Américium-Curium émet des neutrons rapides. Ces derniers entrent en collision avec les noyaux de la formation.

Le ralentissement des neutrons rapides est dû principalement aux rencontres avec les noyaux légers (hydrogène), les noyaux lourds ayant peu d'influence. Après un ralentissement suffisant, les neutrons, devenus neutrons thermiques, continuent à se déplacer et à rencontrer des atomes, mais sans perdre d'énergie. Ils sont finalement absorbés par des noyaux, en général d'hydrogène, avec émission de rayons gamma de capture. Ce rayonnement fait l'objet de la mesure. Comme le ralentissement et l'absorption des neutrons sont dûs

---

(*) 1 pied = 304,8 mm

principalement à la présence d'atomes d'hydrogène, la réponse du Log neutron est d'abord fonction de la quantité d'hydrogène par unité de volume dans le voisinage immédiat de la sonde.

L'eau qui remplit les pores de la roche est le seul matériau présent renfermant de l'hydrogène.

La quantité d'hydrogène contenue par unité de volume de la formation est donc proportionnelle à la porosité. Il est alors possible d'évaluer la porosité à partir d'un log neutron.

Des abaques traduisent la relation expérimentale qui existe entre la lecture sur le log neutron et la porosité. Ils tiennent compte de plusieurs facteurs :

- *la salinité et la densité de l'eau ou de la boue de forage,*
- *le diamètre de perforation.*

Tous les phénomènes liés à une émission radioactive relèvent de lois statistiques. Pour obtenir une mesure moyenne, il est nécessaire d'utiliser une constante de temps, d'une durée de 3 à 4 secondes avec une vitesse d'enregistrement ne dépassant pas 1 pied par constante de temps ; la limite de la résolution verticale de la sonde est de 1 pied.

2 - Interprétation :

Le log sonic est étalonné en micro-secondes. Nous avons superposé à cette graduation une échelle donnant directement les porosités (fig. n° 13). Le log neutron est plus

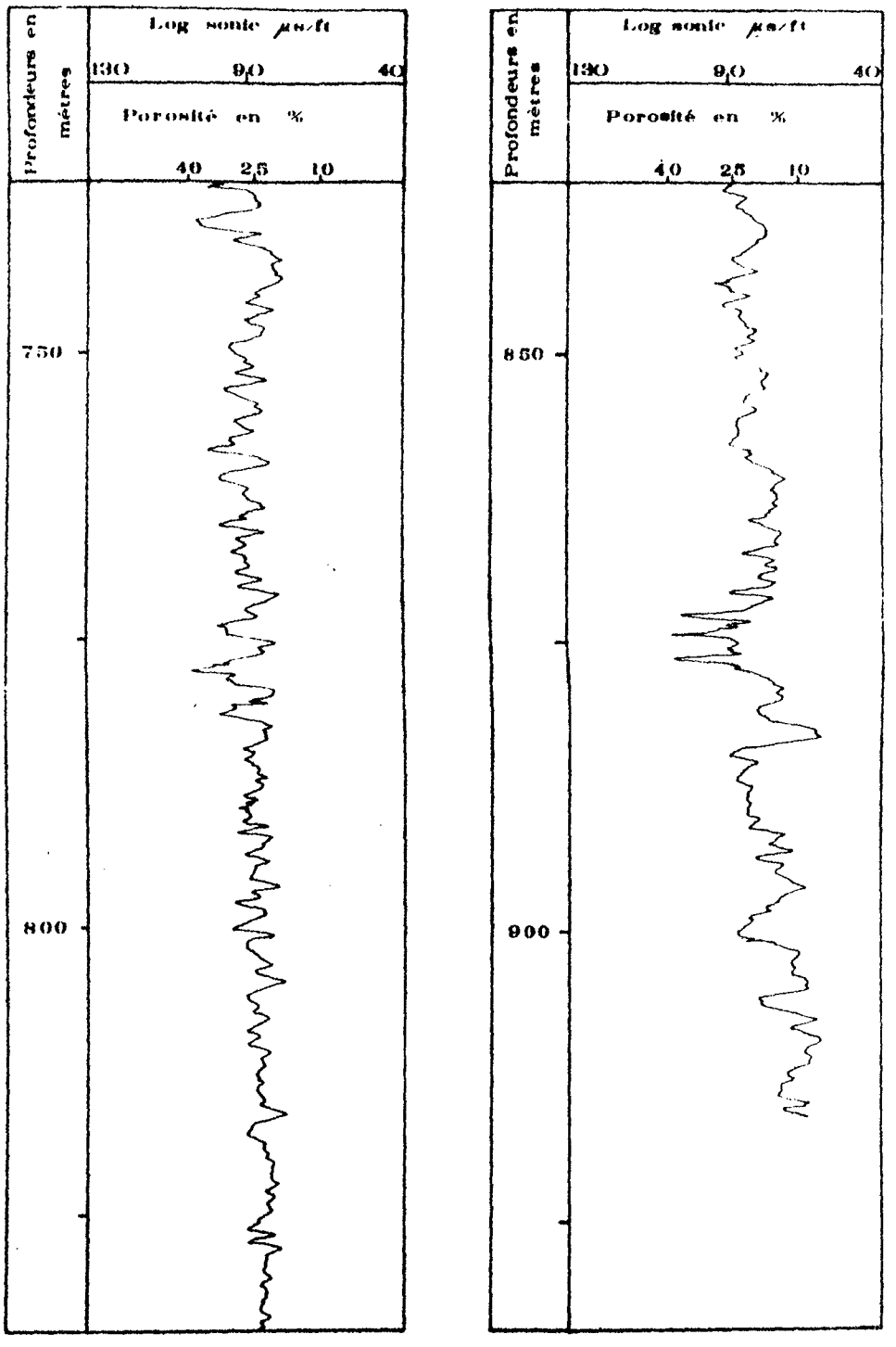


Fig 11 :LOG SONIC ET POROSITE AU FORAGE DE NANCY THERMAL 3

difficile à interpréter quantitativement en raison des nombreux paramètres qu'il faut faire intervenir pour corriger la lecture. Néanmoins, on constate en superposant les logs sonic et neutron que toutes les variations enregistrées vont dans le même sens.

Les résultats de ces interprétations sont les suivants :

- Diminution générale de la porosité moyenne à partir de 734,50 m, (base du Conglomérat principal et sabot de la colonne tubée) jusqu'au fond. Cette décroissance n'est cependant pas régulière et justifie les coupures suivantes :

- *de 734,50 m à 787 m : zone de très forte porosité surtout en tête. La moyenne des valeurs observées est de 25 % mais de nombreux bancs sont caractérisés par des porosités pouvant atteindre et même dépasser 30 % ;*
- *de 787 à 840 m : zone de porosité plus faible, comprise entre 16 et 25 % ;*
- *de 840 à 850 m : zone de porosité un peu plus élevée que la zone précédente, dépassant en quelques points 25 % ;*
- *de 850 à 880 m : zone où la porosité peut atteindre les plus fortes valeurs, comprises entre 25 et 37 % ;*
- *de 880 m au fond : zone où la porosité décroît très irrégulièrement pour atteindre des valeurs inférieures à 7 et 5 % à la base de la formation.*

- Le "caving" de la formation (diamètre du trou supérieur au diamètre de l'outil) se manifeste en général dans les zones les plus poreuses ce qui confirme le fait que les échantillons les plus poreux sont les plus friables et n'ont pas été conservés au carottage. Les valeurs élevées de la porosité déduitesdu log sonic rendent compte de ce phénomène.

3 - Résultats :

Malgré son apparente continuité, le Grès vosgien est un aquifère très hétérogène et les paramètres qui définissent porosité et perméabilité sont extrêmement variables. Ses caractéristiques physiques sont néanmoins le plus souvent excellentes et il n'est pas exceptionnel de rencontrer des perméabilités dont les valeurs s'expriment non plus en millidarcys, mais en un nombre entier de darcys.

La porosité moyenne est de 16,5 % mais peut atteindre et dépasser 25 %.

II - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE

A) Les essais de pompage en nappe captive

1 - Principe de la méthode :

La mesure des caractéristiques hydrodynamiques d'un aquifère ne peut se faire que par la mise en oeuvre d'expériences visant à mettre ce dernier en production tout en contrôlant les variations de débit et de niveau de l'eau: Ce sont les essais de pompage. Ils ont pour but de définir deux paramètres, qui suffisent à déterminer la nappe en un point donné, la transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement ou "storativity" S.

T est défini par la relation $T = Ke$, produit de la perméabilité moyenne K au point de mesure par e, puissance de l'aquifère.

Soit : $T\ m^2/s = K\ m/s \times e\ m$.

S, dans le cas d'une nappe captive, représente le volume d'eau libéré par un prisme vertical de 1 m^2 de section pour une baisse du niveau de l'eau de 1 m. C'est un coefficient sans dimension.

2 - *Interprétation en régime permanent :*
Equation de Dupuit

L'équation s'écrit : $Q = \frac{2\pi T \Delta}{Log\ R/r}$ *(1)*

Q : Débit de pompage en m^3/s
T : Transmissivité en m^2/s
Δ *: Rabattement en mètre*
R : Rayon d'action du puits en mètre
r : Rayon du forage en mètre.

La courbe caractéristique d'un puits est la courbe qui donne le rabattement dans un forage supposé en régime permanent en fonction du débit d'eau prélevé : soit $\Delta = BQ$ *(2)*

Le débit spécifique du puits correspond au débit fourni par mètre de rabattement, soit 1/B. Il s'exprime en $m^3/s/m$ *ou plus généralement en* $m^3/h/m$.

Si l'on associe les équations (1) et (2), on en tire :

$$B = \frac{Log\ R/r}{2\pi T}$$

Si l'on suppose $\frac{Log\ R/r}{2\pi} = 1$ *, il en résulte que :*

$$B = \frac{1}{T} \quad ou \quad T = \frac{1}{B}$$

C'est dire que le débit spécifique d'un forage est une mesure approchée de la transmissivité T.

3 - Interprétation en régime transitoire :

a) Equation de Theis

Dans le cas d'un aquifère captif, non réalimenté, d'extension latérale infinie, homogène, isotrope, initialement au repos, d'épaisseur constante, capté sur toute sa hauteur et soumis à un pompage à débit constant, on démontre que :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \left[- Ei \left(- \frac{r^2 S}{4Tt} \right) \right]$$

C'est l'équation de Theis dont les paramètres sont :

Δ : rabattement en mètre
Q : débit en m^3/s
T : transmissivité en m^2/s
r : rayon du forage ou distance du point d'observation (piézomètre) au lieu du pompage.
S : coefficient d'emmagasinement
t : temps en seconde
Ei : est le symbole de la fonction exponentielle intégrale.

b) Résolution par la méthode approximative de Jacob : abaissement du niveau piézométrique

La fonction Ei admet un développement limité qui peut être réduit avec une erreur négligeable à ses premiers termes si t est suffisamment long.

L'équation de Theis se réduit alors à :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \left(- 0,5772 - \log \frac{r^2 S}{4 Tt}\right)$$

ou $$\frac{\Delta}{Q} = \frac{0,183}{T} \left(\log \frac{2,25\ T}{S} + \log \frac{t}{r^2}\right)$$

Si l'on pompe à un régime constant Q, les points représentatifs de la fonction $\frac{\Delta}{Q} = f\ (\log t)$ *s'alignent suivant une droite sur un diagramme en coordonnées semi-logarithmiques. La pente de cette droite est* $c = \frac{0,183}{T}$, *c étant l'accroissement de* $\frac{\Delta}{Q}$ *dans un cycle log t.*

C'est dire que l'on obtient la transmissivité :

$$T : \frac{0,183}{c}$$

Considérons maintenant le point d'intersection de la droite avec l'axe des abscisses.

On a alors $\frac{\Delta}{Q} = c$, *c'est dire que :*

$$\log \frac{2,25\ T}{S} + \log \frac{to}{r^2} = 0$$

ou $$to = \frac{Sr^2}{2,25\ T}$$

soit $$S = 2,25 \frac{T\ to}{r^2}$$

On obtient donc la valeur de S en observant le rabattement de la nappe dans un piézomètre situé à la distance r du forage.

c) Résolution par la méthode approximative de Jacob : remontée du niveau piézométrique

L'arrêt de pompage équivaut à une poursuite du pompage auquel on superposerait l'injection d'un débit (-Q) égal au débit pompé (+Q). Additionnons ces deux débits, soit to le temps écoulé entre le début et l'arrêt du pompage et t le temps courant depuis l'arrêt du pompage.

Poursuite du pompage : $\frac{\Delta 1}{Q} = \frac{0,183}{T} (\log to + t) + b$

+ Injection : $\frac{\Delta 2}{-Q} = \frac{0,183}{T} (\log t) - b$

= Résultante : $\frac{\Delta}{Q} = \frac{0,183}{T} (\log \frac{t + to}{t})$

L'interprétation sur un diagramme semi-logarithmique avec

$$\Delta = f (\log \frac{to}{t} + 1)$$

se fait de la même manière que précédemment et l'on tire :

$$T = \frac{0,183\ Q}{c}$$

d) Méthode approximative de Houpeurt Pouchan : Remontée du niveau piézométrique

On suppose to très grand par rapport à t

C'est dire que $\log \frac{t + to}{t} \simeq \log \frac{to}{t} \simeq \log t + cste$

L'équation de Jacob devient donc $\frac{\Delta}{Q} = -\frac{0,183}{T} \log t + cste$

et la résolution graphique donne de la même manière :

$$T = \frac{0,183\ Q}{c}$$

Remarque :

La transmissivité T s'obtient aussi bien par des observations dans un piézomètre que par l'étude des variations du niveau de l'eau dans le forage lui-même.

En ce qui concerne la détermination de S, il est nécessaire de connaître r, distance du point d'observation au forage. La mesure du niveau de l'eau se faisant dans le forage lui-même, le rayon du forage est assimilé à r. Cette méthode ne permet pas d'accéder à S avec une précision satisfaisante du fait des pertes de charge au niveau des crépines et du remaniement du terrain au voisinage du puits.

e) Résolution par la méthode graphique de Wenzel, dite méthode d'identification

La formule de Theis s'écrit :

$$\Delta = \frac{Q}{4\ t} \left[- Ei - \left(\frac{r^2\ S}{4\ T\ t} \right) \right]$$

On pose $u = \frac{r^2\ S}{4\ Tt}$ et $W(u) = Ei - \left(\frac{r^2\ S}{4\ Tt}\right)$

La nouvelle fonction W (u) ainsi définie a été tabulée par Theis et sa représentation en coordonnées bilogarithmiques se traduit par une courbe appelée courbe type.

On obtient la courbe expérimentale en traçant à une même échelle les variations de Δ/Q en fonction de $\frac{r^2}{t}$

La courbe type et la courbe expérimentale se trouvent décalées de $\frac{S}{4T}$ suivant l'axe des abscisses et $4\pi T$ suivant l'axe des coordonnées.

La superposition des deux courbes permet de calculer facilement S et T.

f) Equation de Jacob et Lohmann

La formule de Theis définit le rabattement dans un puits à débit constant. Jacob et Lohmann ont établi de la même manière une formule qui donne le débit artésien d'un forage à rabattement constant (artésianisme libre) en fonction du temps.

$$Q = \frac{\Delta}{2\,T}\; G\,(\alpha)$$

$G\,(\alpha)$ est une fonction connue et tabulée comme W (u).

La résolution graphique de l'équation de Jacob et Lohmann conduit à déterminer les valeurs de T et de S par une méthode graphique identique à la méthode graphique de Wenzel.

Remarque :

Y. Emsellem (1965) repris ensuite par F. Langenfeld et P. Ungemach (1967) introduisent une transformation de la courbe standard en posant :

- dans le cas de la formule de Theis :

$$E(z) = \frac{W(u)}{4\pi} \quad \text{et} \quad z = \frac{1}{4u}$$

- dans le cas de la formule de Jacob et Lohmann :

$$F(\alpha) : \frac{1}{2\pi G(\alpha)} \qquad \text{et } \alpha = z$$

La résolution graphique s'en trouve simplifiée puisque la courbe expérimentale se résume à $\log \frac{\Delta}{Q} = f(\log t)$ *et supprime le calcul fastidieux de* $\frac{1}{t}$ *ou* $\frac{r^2}{t}$.

B) Interprétation des essais de pompage antérieurs à 1965

1 - Forage de Fontenoy-la-Joute - Essai du 27 mai 1965 :

L'interprétation a été faite sur un essai ancien et seule la courbe de remontée est susceptible de fournir des résultats interprétables par la méthode de Jacob (fig. n° 14) et par la méthode de Houpeurt Pouchan (fig. n° 15).

Dans les deux cas, on trouve deux valeurs de T identiques :

$T_1 = 0{,}76.10^{-3}\ m^2/s$ *pour* $t < 6\,000$ *secondes,*

$T_2 = 1{,}2.10^{-3}\ m^2/s$ *pour* $t > 6\,000$ *secondes.*

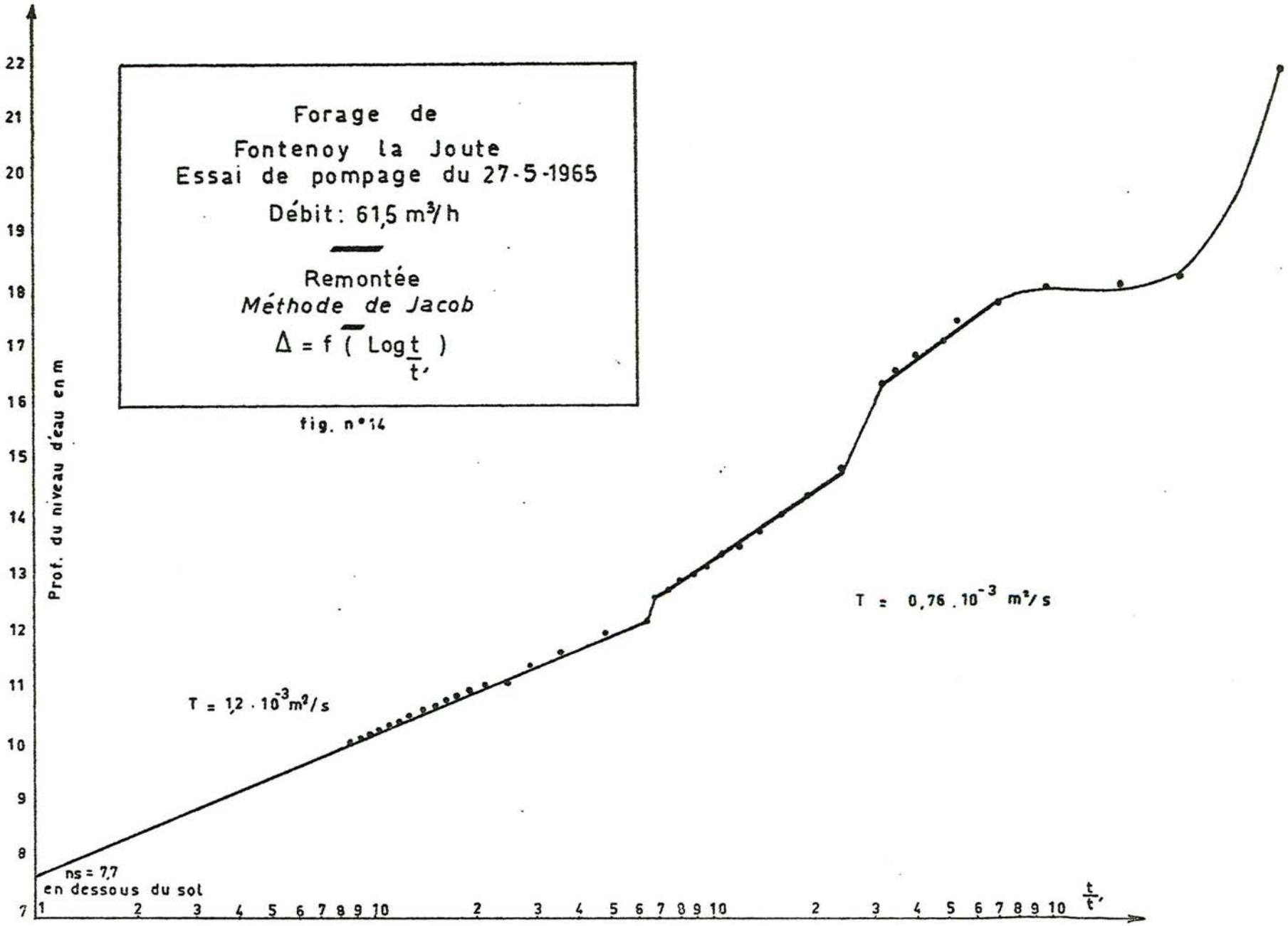

Forage de
Fontenoy la Joute
Essai de pompage du 27-5-1965
Débit: 61,5 m³/h
Remontée
Méthode de Jacob
Δ = f (Log t/t')
Prof. du niveau d'eau en m
T = 1,2 . 10⁻³ m²/s
T = 0,76 . 10⁻³ m²/s
ns = 7,7
en dessous du sol
t/t'

fig. n°14

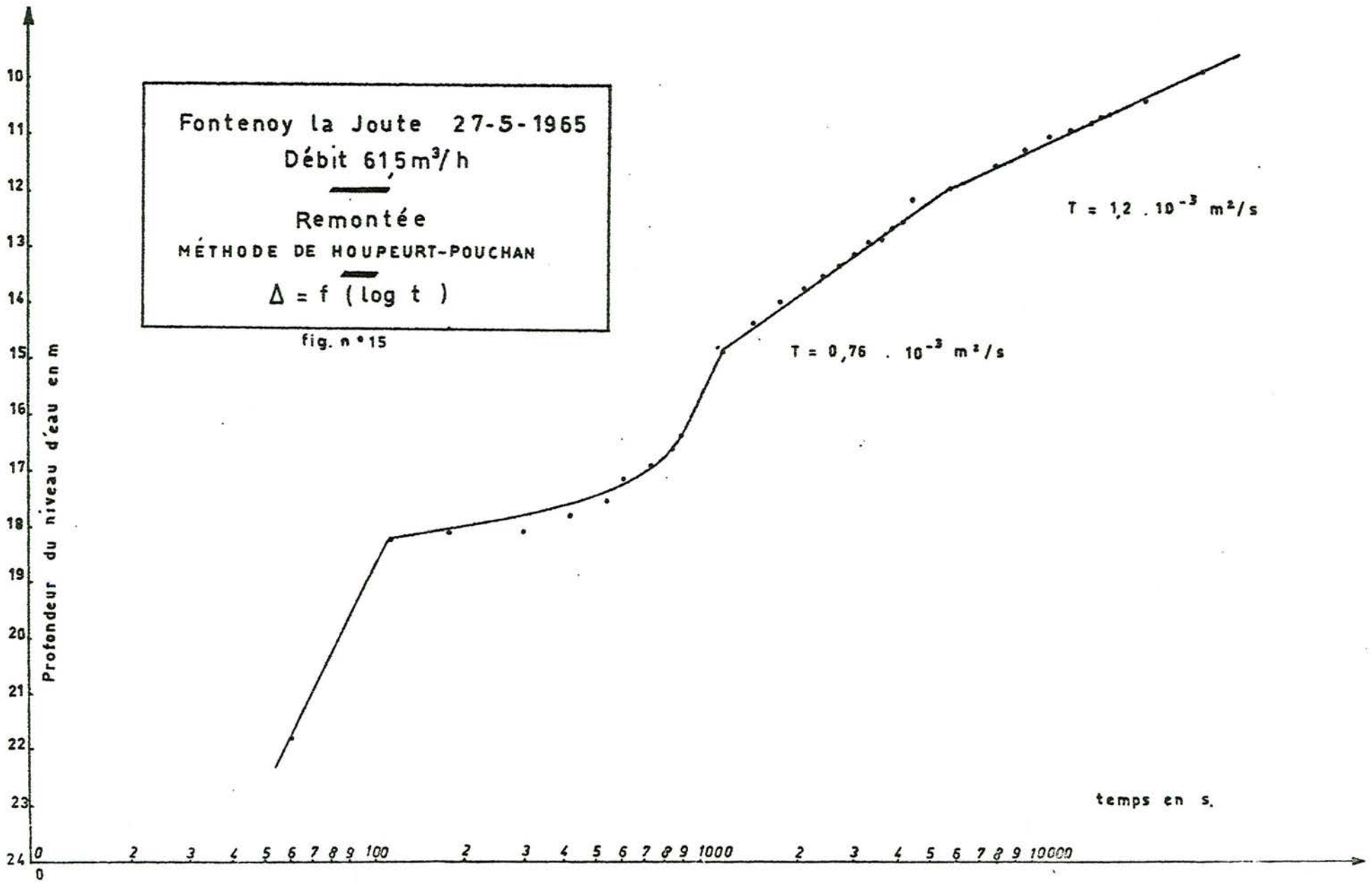

Fontenoy la Joute 27-5-1965
Débit 61,5 m³/h
Remontée
MÉTHODE DE HOUPEURT-POUCHAN
Δ = f (log t)
T = 1,2 . 10⁻³ m²/s
T = 0,76 . 10⁻³ m²/s
Profondeur du niveau d'eau en m
temps en s.
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
0
0 2 3 4 5 6 7 8 9 100 2 3 4 5 6 7 8 9 1000 2 3 4 5 6 7 8 9 10000

fig. n° 15

La première valeur T_1, la plus faible, correspond à une mesure au voisinage du forage. La seconde T_2 apparaît au bout de 6 000 secondes. En supposant pour l'aquifère des valeurs de S comprises entre 10^{-5} et 10^{-3}, la solution de continuité dans l'aquifère se trouve à une distance :

$$r = 1{,}5\sqrt{\frac{Tt}{S}}, \text{ c'est-à-dire comprise entre :}$$

$$r = 1{,}5\sqrt{\frac{10^{-3} \times 6\ 000}{10^{-3}}} \quad \text{et} \quad r = 1{,}5\sqrt{\frac{10^{-3} \times 6\ 000}{10^{-5}}}$$

soit r = 120 mètres et r : 1 200 mètres.

C'est dire qu'entre 120 et 1 200 mètres du forage se trouve probablement une faille. Elle favorise les circulations d'eau et draine l'aquifère en direction du forage. La carte géologique de Lunéville au 1/50 000 (R. Laugier, 1967) confirme cette hypothèse.

2 - Forage de Manonviller - Essai du 10 au 13 mai 1962 :

L'abaissement du niveau piézométrique étudié selon la méthode approximative de Jacob donne deux valeurs de la transmissivité (fig. n° 16).

$$T_1 = 2{,}3.10^{-3}\ m^2/s$$

$$T_2 = 5{,}4.10^{-3}\ m^2/s$$

Là aussi, la présence d'une faille drainant l'aquifère au bénéfice du forage est possible.

Forage de Manonviller

Essai de pompage du 10 au 13 Mai 1962

Débit : 182 m^3/h

Abaissement

Méthode de Jacob

$\Delta = f(\log t)$

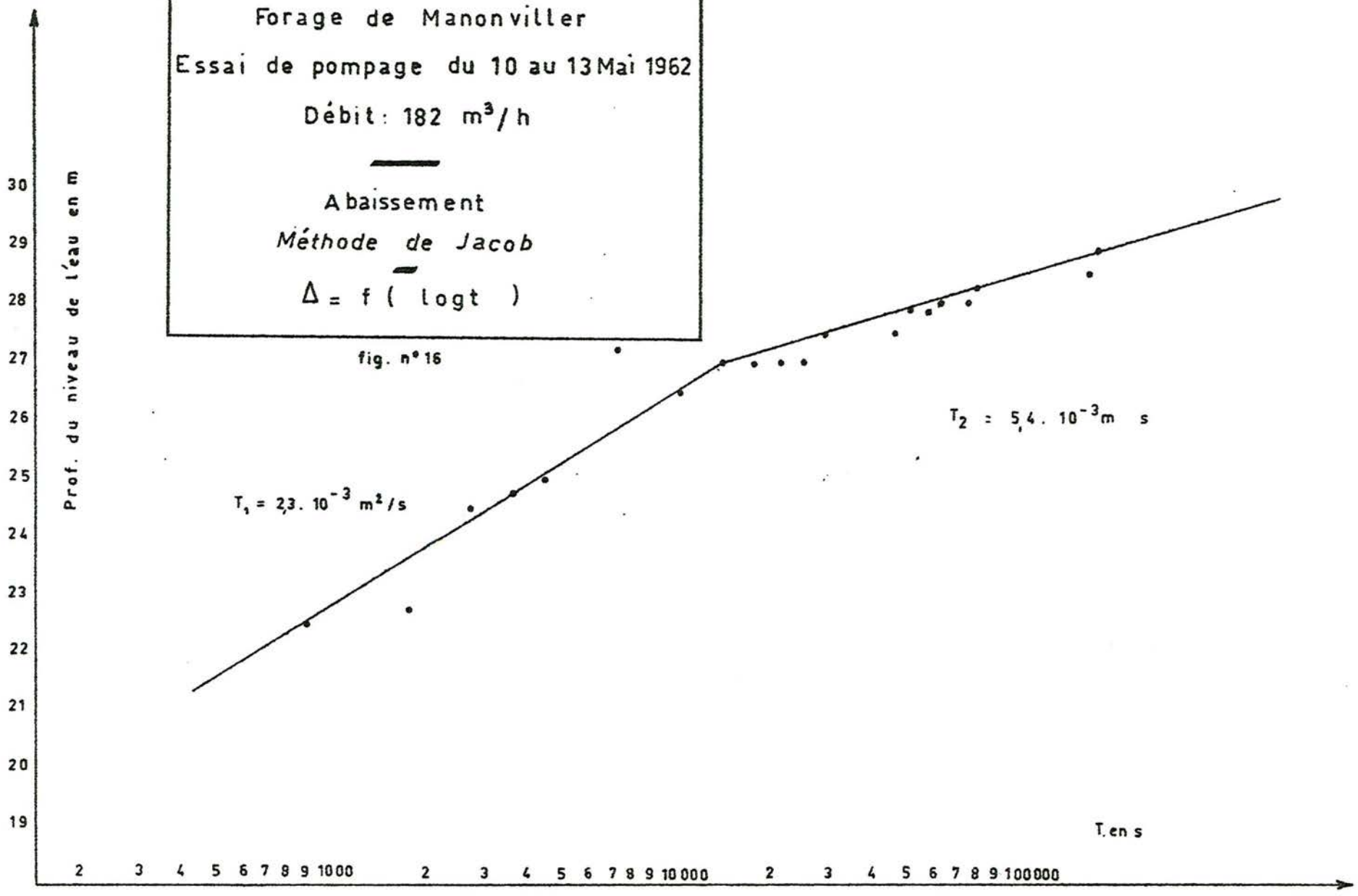


fig. n° 16

3 - Forage de Charmes - Essai du 9 août 1962 :

La remontée du niveau d'eau a été étudiée par les méthodes de Jacob et de Houpeurt Pouchan (fig. n° 17 et 18).

La première donne deux transmissivités voisines :

$T_1 = 2,18.10^{-4}\ m^2/s$

$T_2 = 1,7.10^{-4}\ m^2/s$

La seconde méthode donne : $T = 2,34.10^{-4}\ m^2/s$

Nous retiendrons donc pour T la valeur moyenne de $2,2.10^{-4}\ m^2/s$.

C) Interprétation des essais de pompage récents

Ces essais ont été réalisés en 1967-68 en collaboration avec le Service Géologique d'Alsace et de Lorraine.

1 - Le matériel mis en oeuvre :

Les trois variables qui font l'objet de mesure pendant un essai de pompage sont :

- le temps,
- les débits,
- le niveau de l'eau dans le puits ou la pression en tête de l'ouvrage.

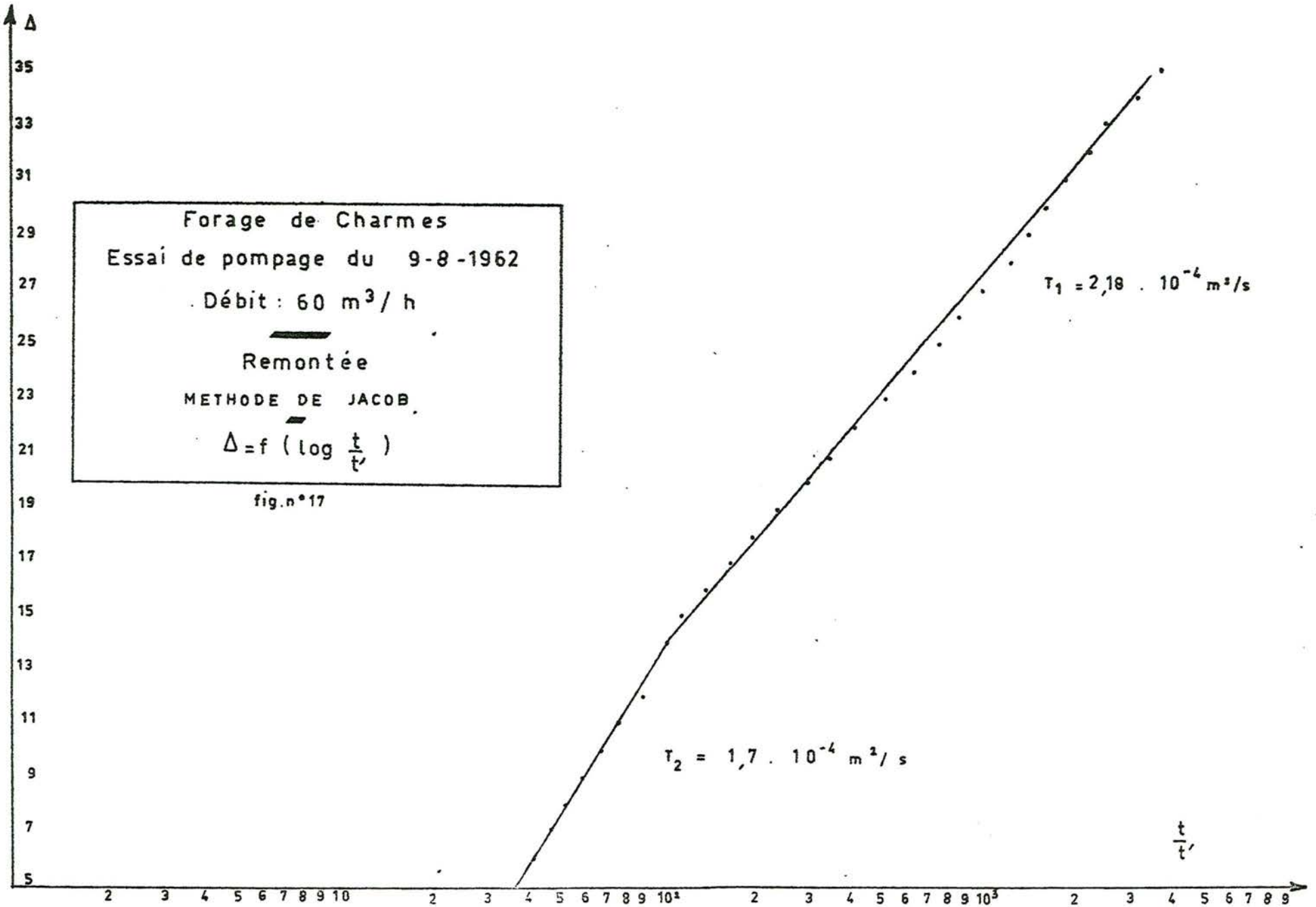

Δ
35
33
31
29
27
25
23
21
19
17
15
13
11
9
7
5
Forage de Charmes
Essai de pompage du 9-8-1962
. Débit : 60 m³/ h
Remontée
METHODE DE JACOB
Δ = f (log t/t')
T1 = 2,18 . 10⁻⁴ m²/s
T2 = 1,7 . 10⁻⁴ m²/ s
t/t'
2 3 4 5 6 7 8 9 10 2 3 4 5 6 7 8 9 10¹ 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9

fig.n°17

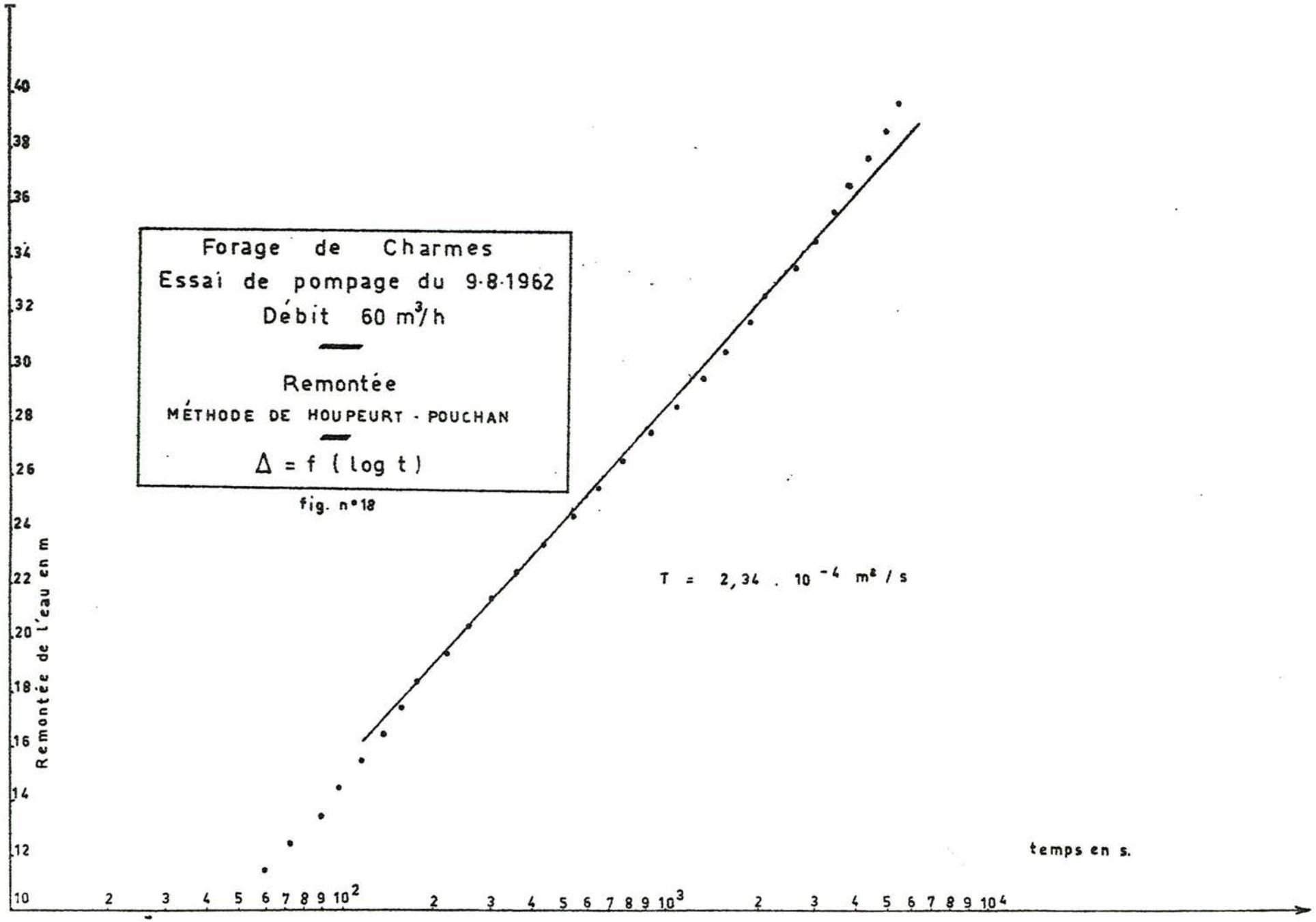

Forage de Charmes
Essai de pompage du 9-8-1962
Débit 60 m³/h
Remontée
MÉTHODE DE HOUPEURT - POUCHAN
Δ = f (log t)
T = 2,34 . 10⁻⁴ m² / s
Remontée de l'eau en m
temps en s.
10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40
2 3 4 5 6 7 8 9 10² 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴

fig. n°18

a) Mesure des temps :

Au début de l'essai, il est nécessaire de procéder à des mesures régulières toutes les 60 secondes. Un chronomètre permet de réaliser ces opérations avec le maximum de précision.

L'équation de Jacob : $\Delta = \frac{0,183\ Q}{T} \log \frac{2,25\ Tt}{Sr^2}$

admet une dérivée en $\frac{1}{t}$.

C'est dire que l'erreur de mesure varie avec le temps comme $\frac{1}{t}$ *. Elle décroît très rapidement et après une heure de pompage, on peut considérer avec raison que la précision donnée par une montre ordinaire suffit à la poursuite de l'expérience.*

Si plusieurs opérateurs doivent intervenir, il est nécessaire de procéder à la synchronisation des appareils de mesure des temps.

b) Mesure des débits :

Les mesures de débit ont été effectuées avec des bacs tarés de 100 à 200 litres environ. La précision de la méthode est bonne pour des débits ne dépassant pas 50 m^3/h.

Dans beaucoup de cas, nous avons été amenés à utiliser les compteurs installés dans les stations de pompage. Dans la mesure du possible, nous avons contrôlé l'étalonnage de ces compteurs. Ils se sont tous révèlés exacts à moins de 10 % près.

c) Mesure des niveaux piézométriques :

- Pression : dans le cas de forages artésiens, la pression en tête de l'ouvrage a été mesurée à l'aide d'un manomètre à mercure. La précision de lecture équivaut à environ 5 cm d'eau.

- Rabattement : dans le cas de forages non artésiens, nous avons fait usage de sondes électriques. La précision de l'appareil peut être estimée à quelques centimètres à condition que la mesure se fasse toujours de la même manière, c'est-à-dire en montant ou en descendant la sonde. Il y a lieu d'étalonner l'électrode avant chaque essai en fonction de la résistivité propre de l'eau du forage.

2 - Résultats des mesures :

Les essais de pompage ont porté sur les forages d'Einville-au-Jard, Chenevières, Fontenoy-la-Joute, Blâmont, Nancy-Thermal et Champigneulles en Meurthe et Moselle, Ravenel et Martigny-les-Bains dans le département des Vosges.

Pour chaque essai, plusieurs paliers de débit ont été exécutés et interprétés par les différentes méthodes exposées au début de ce chapitre.

a) Forage de Fontenoy-la-Joute (4 au 10 Janvier 1968)

Phase	*Méthode de Jacob*	*Méthode d'identification*
Abaissement	$T = 9,51 \times 10^{-4}\ m^2/s$	$T = 6 \times 10^{-4}\ m^2/s$*
Remontée	$T = 1,2 \times 10^{-3}\ m^2/s$	$T = 7 \times 10^{-4}\ m^2/s$*

La méthode d'identification fournit une valeur de T légèrement inférieure à celle trouvée par la méthode de Jacob. Cette observation pourrait confirmer la possibilité d'une réalimentation latérale par les failles déjà évoquées à propos des essais anciens.

Valeur moyenne retenue : $T = 10^{-3}\ m^2/s$.

---

* *Les transmissivités marquées d'un astérisque correspondent aux essais dont les courbes interprétatives font l'objet de reproductions ci-après (fig. n° 19 à 28).*

b) Forage de la Base Aérienne de Chenevières

Essai n°	Méthode approximative de Jacob	Méthode d'identification
1 Abaissement	$T = 2,3 \times 10^{-3}$ m²/s	
1 Remontée	$T = 3,9 \times 10^{-3}$ m²/s $4,5 \times 10^{-3}$ m²/s	
2 Abaissement	$T = 2,8 \times 10^{-3}$ m²/s	$T = 10^{-3}$ m²/s
2 Remontée	$T = 4,2 \times 10^{-3}$ m²/s $2,8 \times 10^{-3}$ m²/s (1)	
3 Abaissement	$T = 6,3 \times 10^{-3}$ m²/s*	
3 Remontée	$T = 6,3 \times 10^{-3}$ m²/s*	

(1) Variante Houpeurt Pouchan.

Trois essais consécutifs ont été exécutés pour des valeurs croissantes du débit. La valeur moyenne de T croît au cours de ces essais. Ce phénomène peut être interprété comme un développement de l'ouvrage resté longtemps inexploité.

Valeur retenue : $T = 6,3 \times 10^{-3}$ m²/s

c) Forage d'Einville-au-Jard (10 octobre au 14 novembre 1967)

Essai n°	Méthode de Jacob T en m^2/s	Méthode de Houpeurt Pouchan T en m^2/s	Méthode d'identification T en m^2/s
1 Abaissement	$2,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	
1 Remontée	$3,6 \times 10^{-3}$		
2 Abaissement	$3,2 \times 10^{-3}$*		
2 Remontée	$3,2 \times 10^{-3}$*		
3 Abaissement	$7,6 \times 10^{-3}$	$3,8 \times 10^{-3}$	
3 Remontée	$3,5 \times 10^{-3}$		
4 Essai à Rabattement constant	$3,4 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$

Il a été possible d'entreprendre des essais de longue durée sur ce forage artésien qui n'était pas encore rattaché au réseau.

Valeur moyenne retenue : $T = 3,2 \times 10^{-3}$ m^2/s

d) Forage de Martigny-les-Bains (8 au 20 novembre 1967)

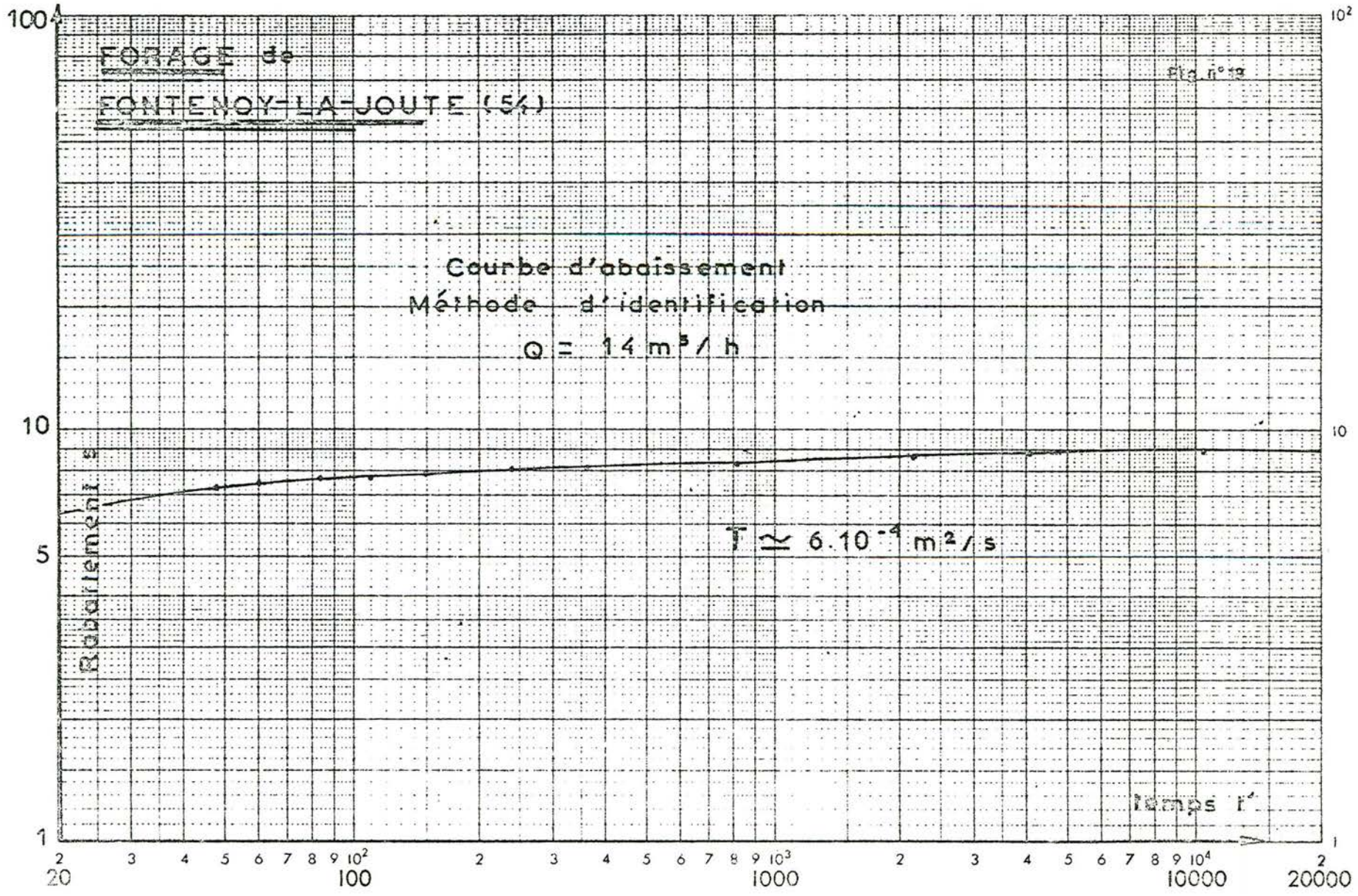
Essai	Méthode de Jacob	Méthode de Houpeurt Pouchan
1° Palier	$T = 8,6 \times 10^{-4}$ m^2/s *	
2° Palier	$T = 8,5 \times 10^{-4}$ m^2/s *	
3° Palier	$T = 8,8 \times 10^{-4}$ m^2/s *	
Remontée	$T = 8,6 \times 10^{-4}$ m^2/s	$T = 8,55 \times 10^{-4}$ m^2/s

Valeur moyenne retenue : $T = 8,6 \times 10^{-4}$ m^2/s.

e) Forage de Ravenel (27 novembre au 5 décembre 1967)

Essai	Méthode de Jacob	Méthode d'identification
Abaissement	$9,9 \times 10^{-3}$ m^2/s	$7,3 \times 10^{-5}$ m^2/s T $2,5 \times 10^{-4}$ m^2/s
Remontée	$9,9 \times 10^{-3}$ m^2/s	

L'interprétation de l'essai de pompage par la méthode de Jacob conduit à des valeurs de T beaucoup plus fortes que celles que l'on observe dans la plupart des autres forages.


FORAGE de
FONTENOY-LA-JOUTE (5%)
Fig. n° 13
Courbe d'abaissement
Méthode d'identification
Q = 14 m³/h
T ≃ 6.10⁻⁴ m²/s
Rabattements s
Temps t'
100
10
5
1
10²
10
1
2 3 4 5 6 7 8 9 10² 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴ 2
20 100 1000 10000 20000

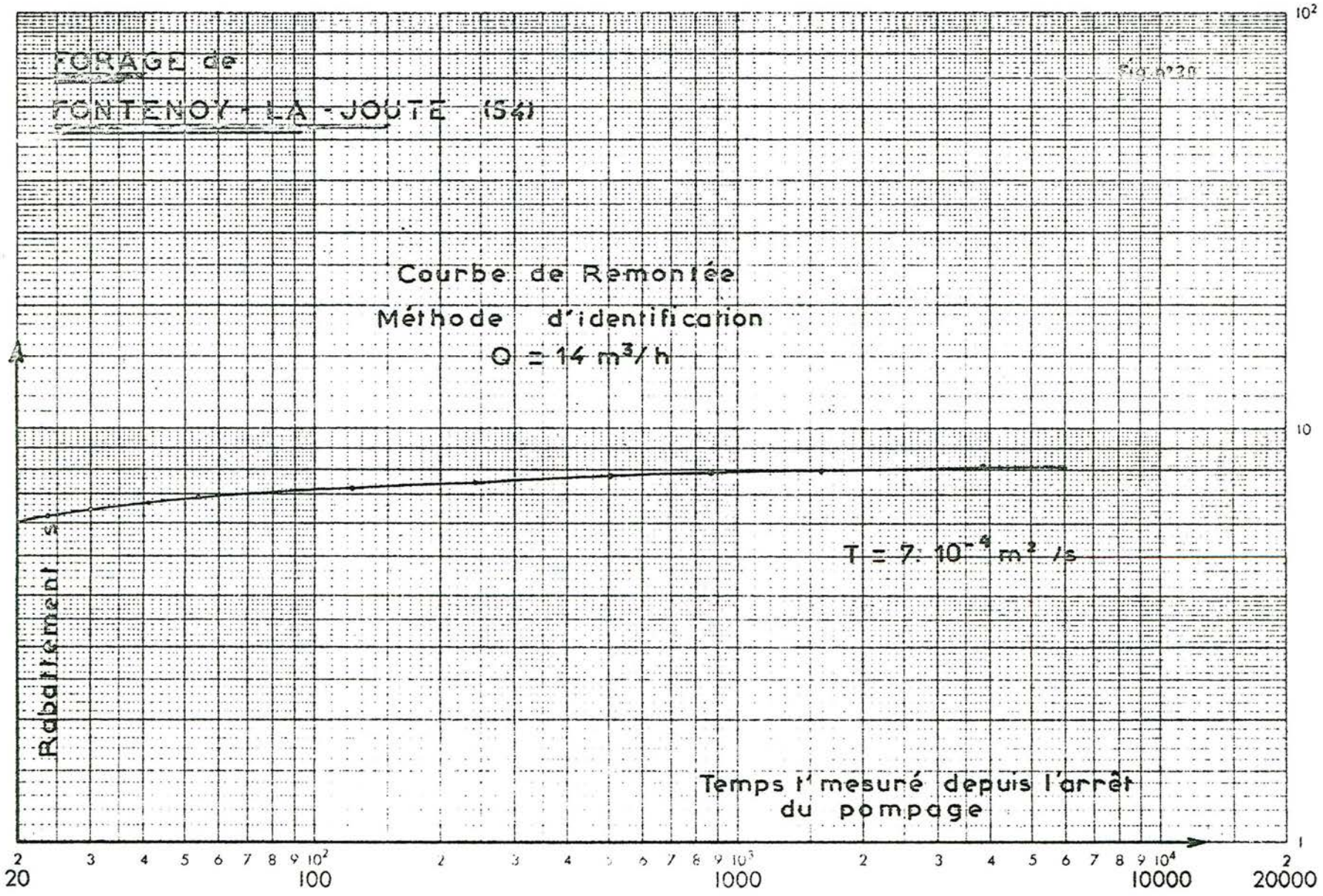

FORAGE de
FONTENOY-LA-JOUTE (54)
Courbe de Remontée
Méthode d'identification
Q = 14 m³/h
T = 7.10⁻⁴ m²/s
Rabattement s
Temps t' mesuré depuis l'arrêt du pompage
10²
10
1
2
20
3
4
5
6
7
8
9
10²
100
2
3
4
5
6
7
8
9
10³
1000
2
3
4
5
6
7
8
9
10⁴
10000
2
20000

Fig. n° 21

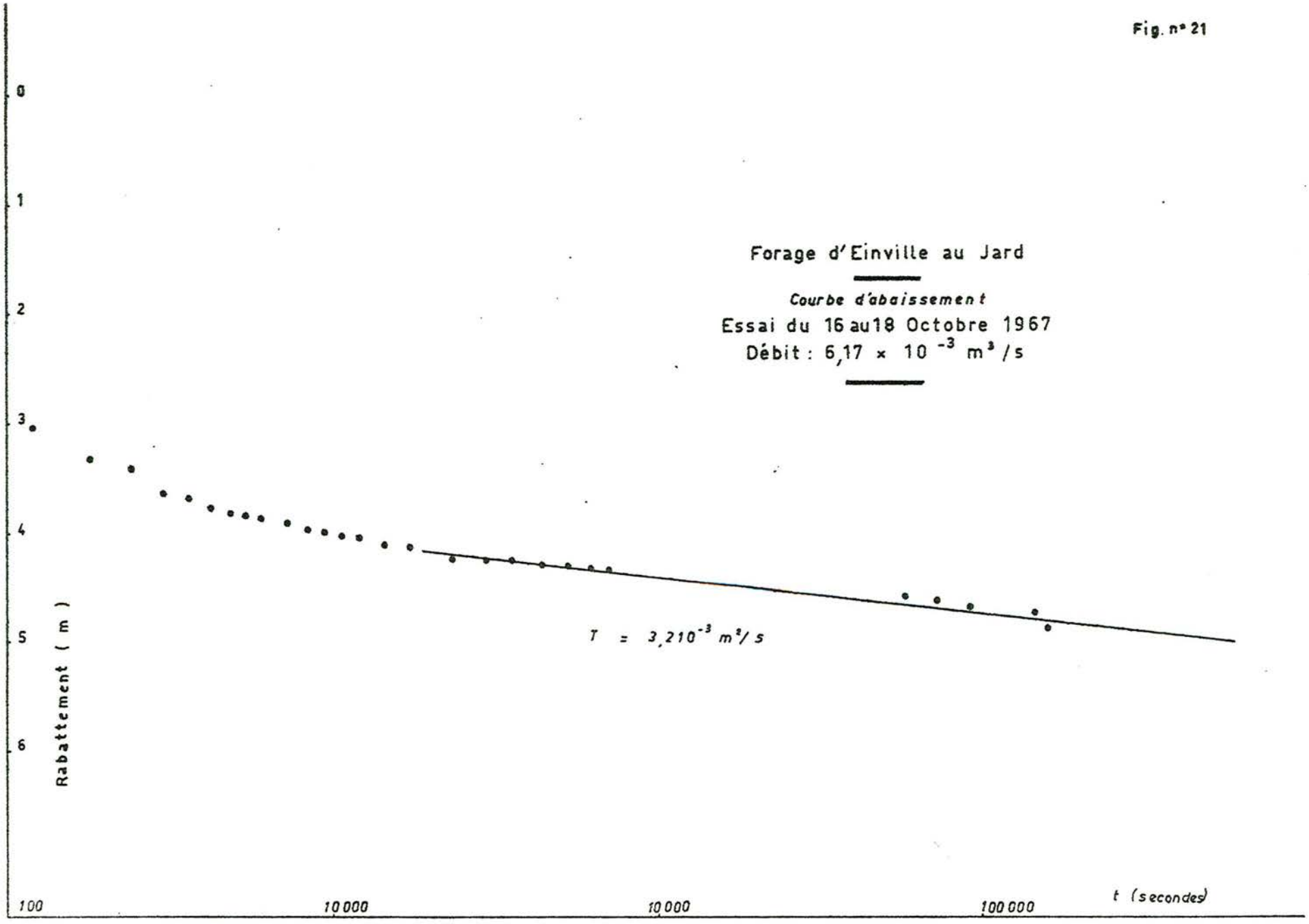

Forage d'Einville au Jard
Courbe d'abaissement
Essai du 16 au 18 Octobre 1967
Débit : 6,17 × 10 -3 m³/s
T = 3,2 10-3 m²/s
Rabattement (m)
0
1
2
3
4
5
6
100
10 000
10 000
100 000
t (secondes)

Fig.n° 22

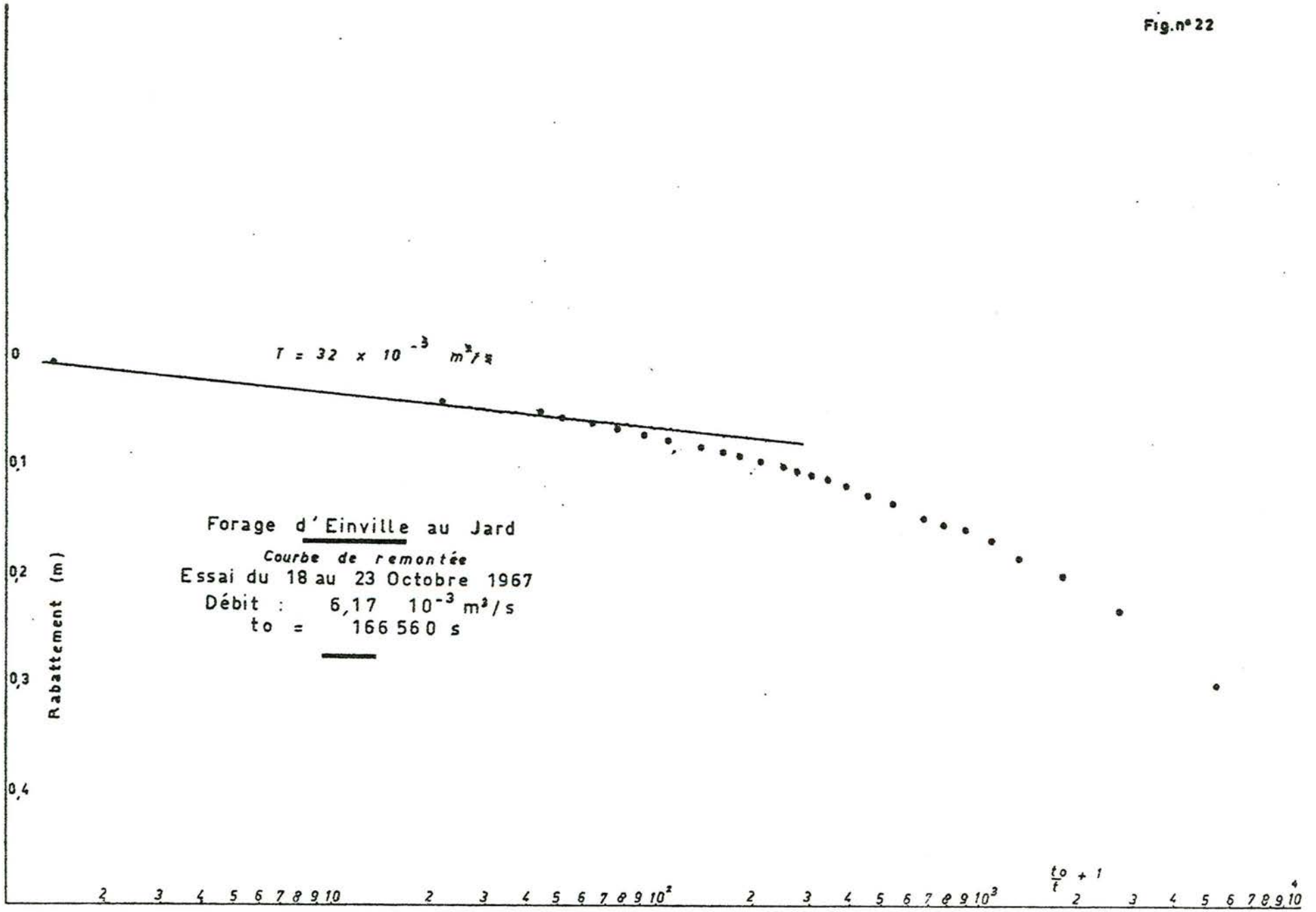
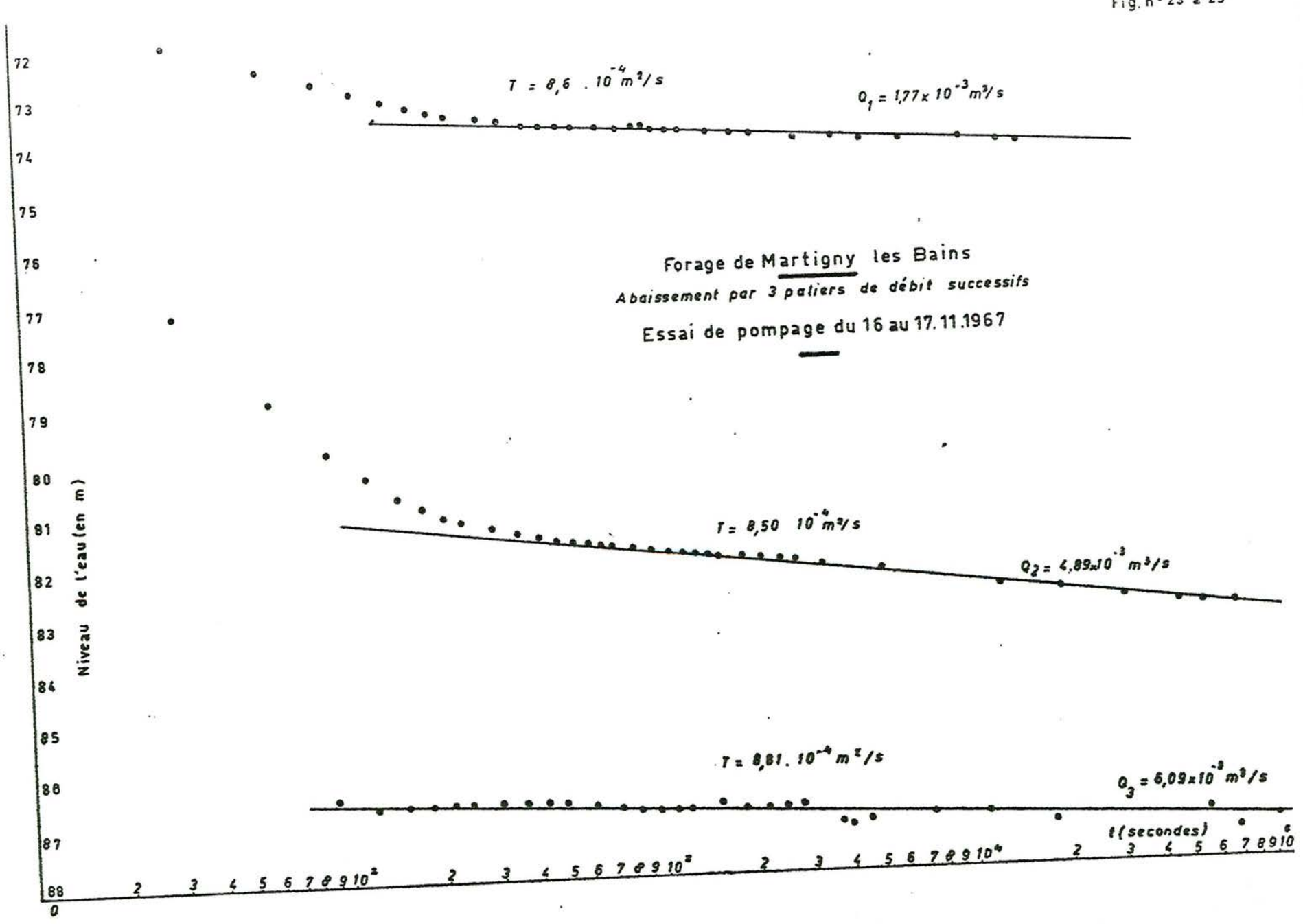

T = 32 x 10⁻³ m²/s
Forage d'Einville au Jard
Courbe de remontée
Essai du 18 au 23 Octobre 1967
Débit : 6,17 10⁻³ m³/s
to = 166 560 s
Rabattement (m)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
2 3 4 5 6 7 8 9 10 2 3 4 5 6 7 8 9 10² 2 3 4 5 6 7 8 9 10³
to/t + 1
2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴

Fig. n° 23 à 25


Forage de Martigny les Bains
Abaissement par 3 paliers de débit successifs
Essai de pompage du 16 au 17.11.1967
T = 8,6 . 10⁻⁴ m²/s
Q1 = 1,77 x 10⁻³ m³/s
T = 8,50 10⁻⁴ m²/s
Q2 = 4,89x10⁻³ m³/s
T = 8,81 . 10⁻⁴ m²/s
Q3 = 6,09x10⁻³ m³/s
Niveau de l'eau (en m)
t (secondes)
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
0
2 3 4 5 6 7 8 9 10²
2 3 4 5 6 7 8 9 10³
2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴
2 3 4 5 6 7 8 9 10⁵

Forage de Chenevières

Courbe d'abaissement

Essai du 7 au 10 Novemb. 1967

Débit : 19,7 × 10^{-3} m^3/s

Fig. n° 26

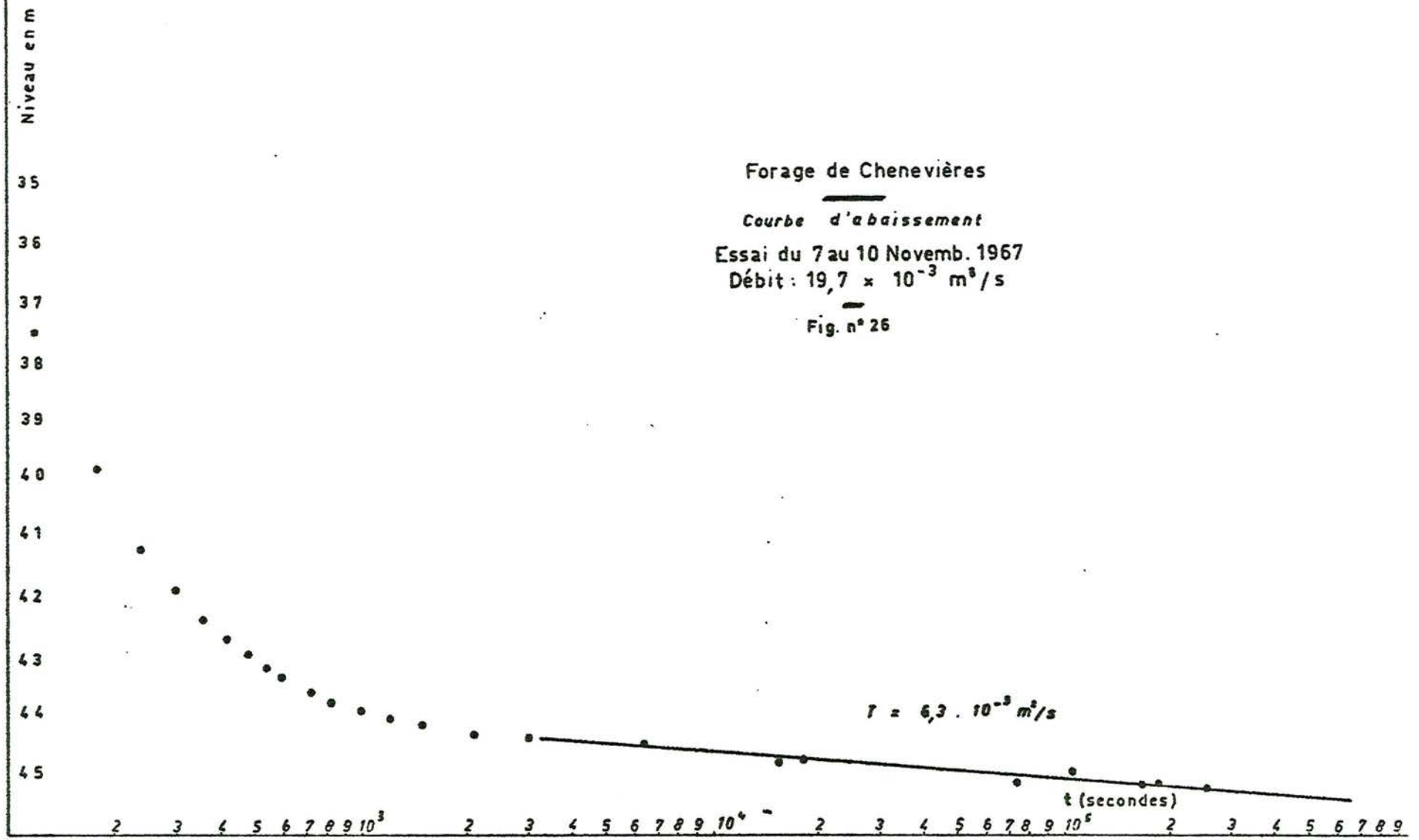
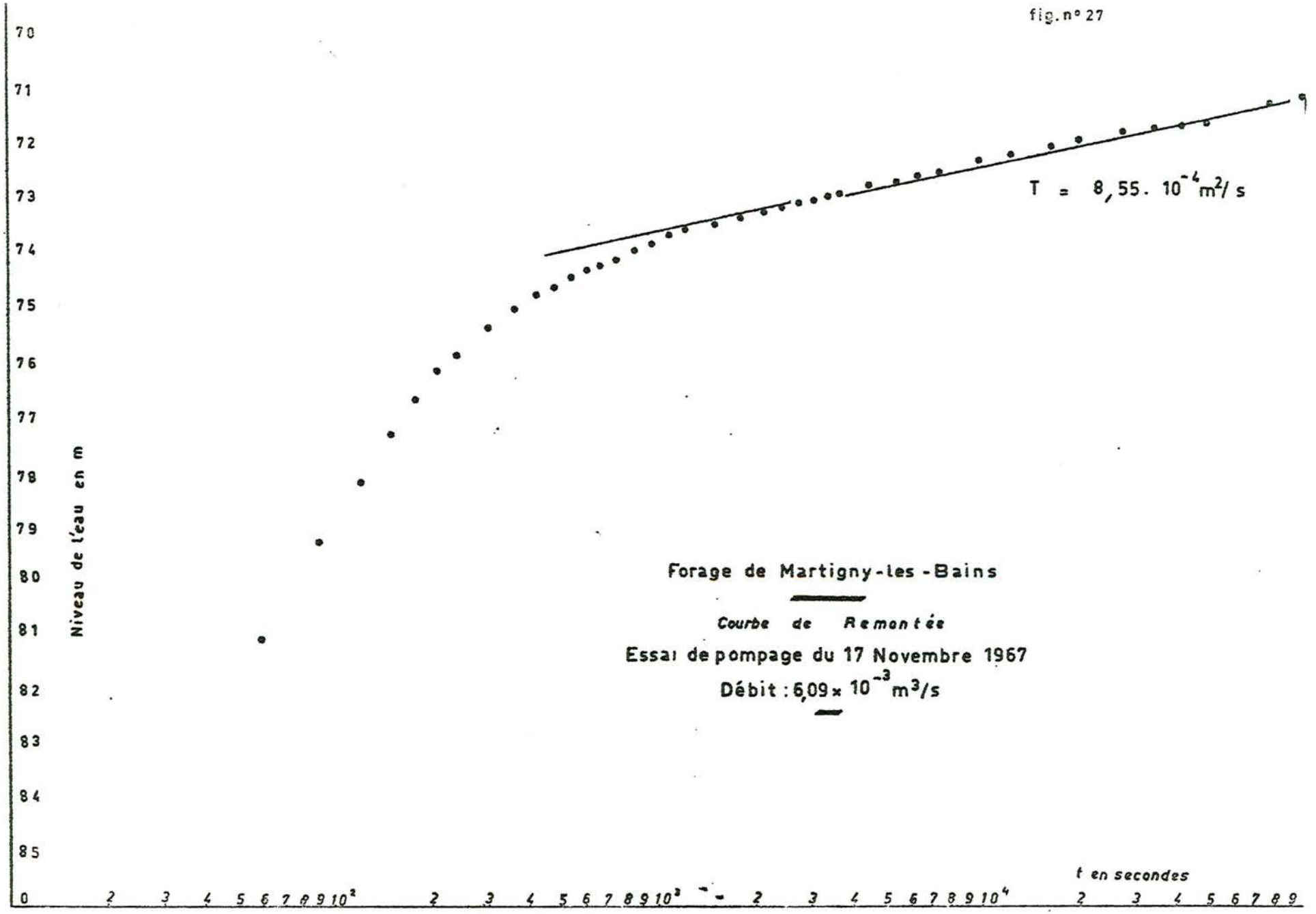
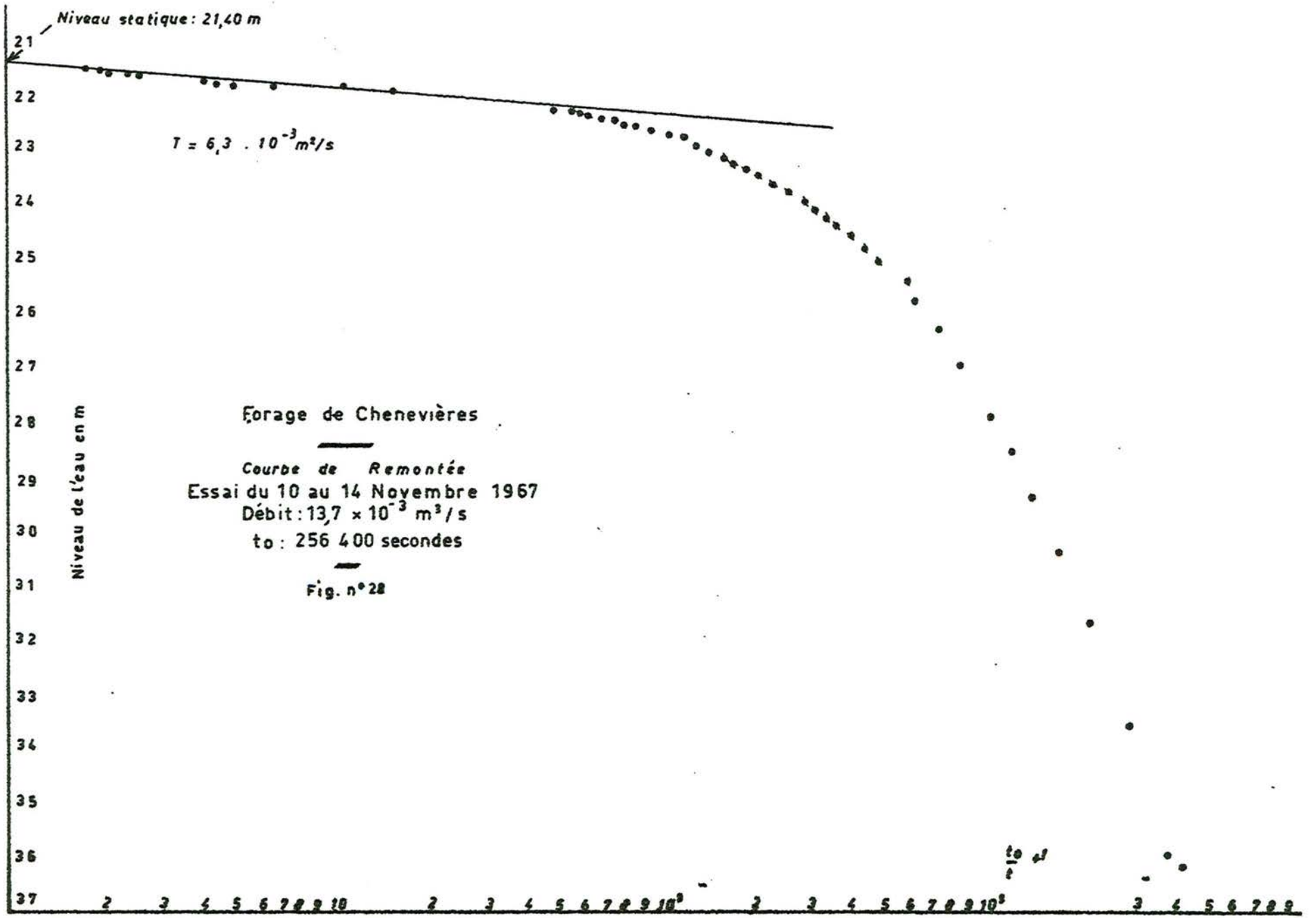


fig. n° 27


70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
Niveau de l'eau en m
T = 8,55. 10⁻⁴ m²/s
Forage de Martigny-les-Bains
Courbe de Remontée
Essai de pompage du 17 Novembre 1967
Débit : 6,09 × 10⁻³ m³/s
t en secondes
0 2 3 4 5 6 7 8 9 10² 2 3 4 5 6 7 8 9 10³ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴ 2 3 4 5 6 7 8 9



Forage de Chenevières

Courbe de Remontée

Essai du 10 au 14 Novembre 1967

Débit : 13,7 × 10^{-3} m^3/s

to : 256 400 secondes

Fig. n° 28

La méthode de l'identification donne une valeur plus satisfaisante compte-tenu de réalimentations probables par l'intermédiaire de failles connues et inconnues dans le voisinage de l'ouvrage.

f) Forage de Tomblaine n° 2

Un heureux concours de circonstances a voulu que les travaux de remise en état du forage de la Base Aérienne d'Essey-les-Nancy coïncident avec la mise en service du nouveau forage de Tomblaine distant d'environ 1 000 m.

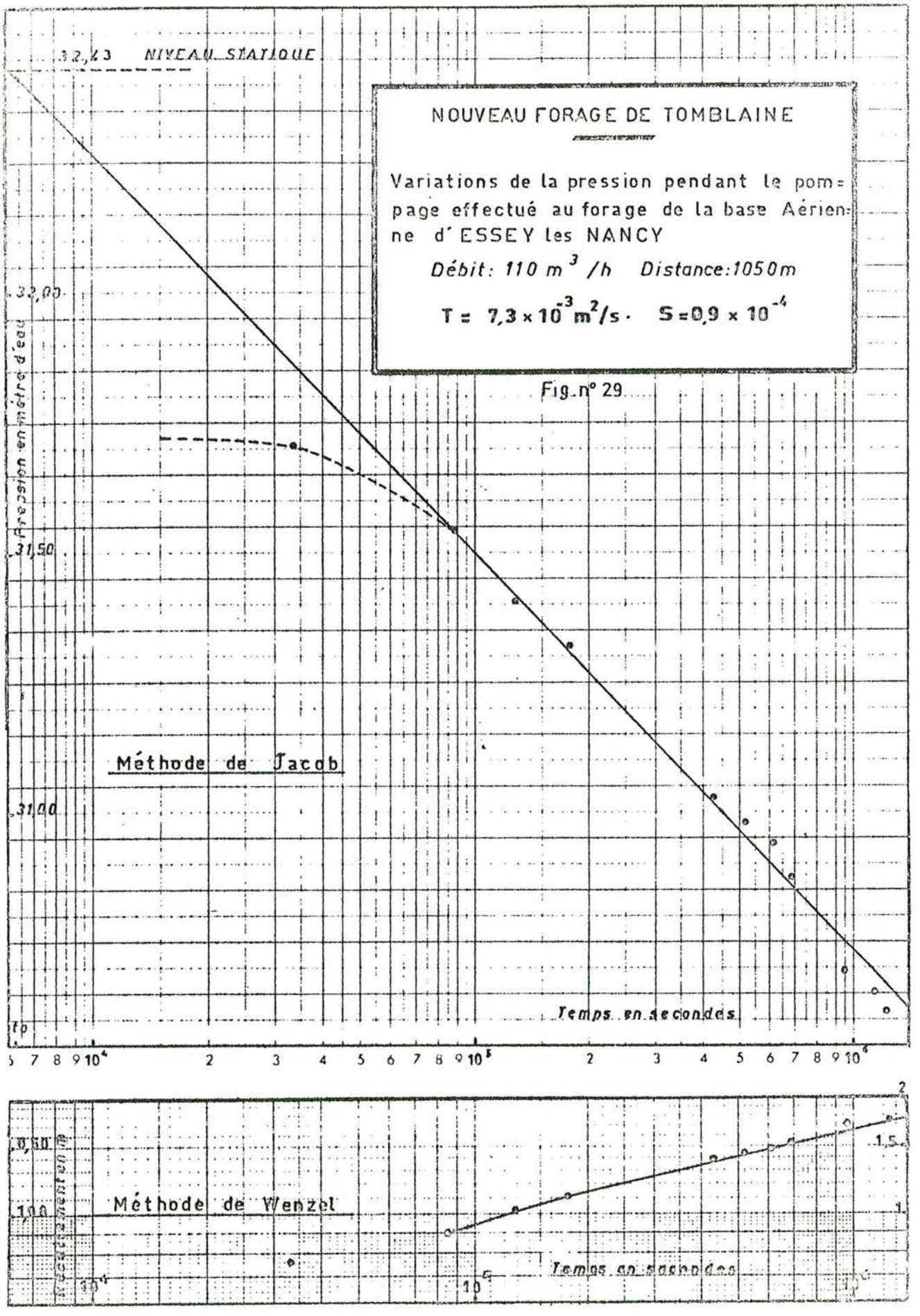
Nous avons observé la baisse du niveau statique à Tomblaine, considéré comme piézomètre à l'ouverture du forage d'Essey avec un débit de 110 m^3/h.

Les courbes ci-après permettent de calculer une transmissivité $T = 7,3 \times 10^{-3}$ m^2/s et surtout, pour la première fois dans les Grès du Trias inférieur en nappe captive, un coefficient d'emmagasinement $S = 0,9 \times 10^{-4}$ (fig. n° 29).

D) Quelques courbes caractéristiques

On appelle courbe caractéristique la courbe qui joint les points représentant le débit obtenu en fonction du rabattement dans un puits en cours de pompage.

Cette courbe est généralement une droite si l'on se trouve en-dessous du débit critique de l'ouvrage et si l'on fait abstraction des pertes de charge.


32,43 NIVEAU STATIQUE
NOUVEAU FORAGE DE TOMBLAINE
Variations de la pression pendant le pompage effectué au forage de la base Aérienne d'ESSEY les NANCY
Débit: 110 m³/h Distance: 1050m
T = 7,3 × 10⁻³ m²/s · S = 0,9 × 10⁻⁴
Fig. n° 29
32,00
31,50
31,00
Méthode de Jacob
Temps en secondes
tp
5 7 8 9 10⁴ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁵ 2 3 4 5 6 7 8 9 10⁶
0,50
1,00
Méthode de Wenzel
Temps en secondes
10⁴
10⁵
2
1,5
1

L'absence de stabilisation réelle observée pendant les essais de pompage conduit à adopter comme niveau piézométrique, correspondant à un débit donné, le niveau qui ne varie plus que faiblement en fin de pompage. Ce sont ces courbes que nous présentons ci-après (fig. n° 30 à 37).

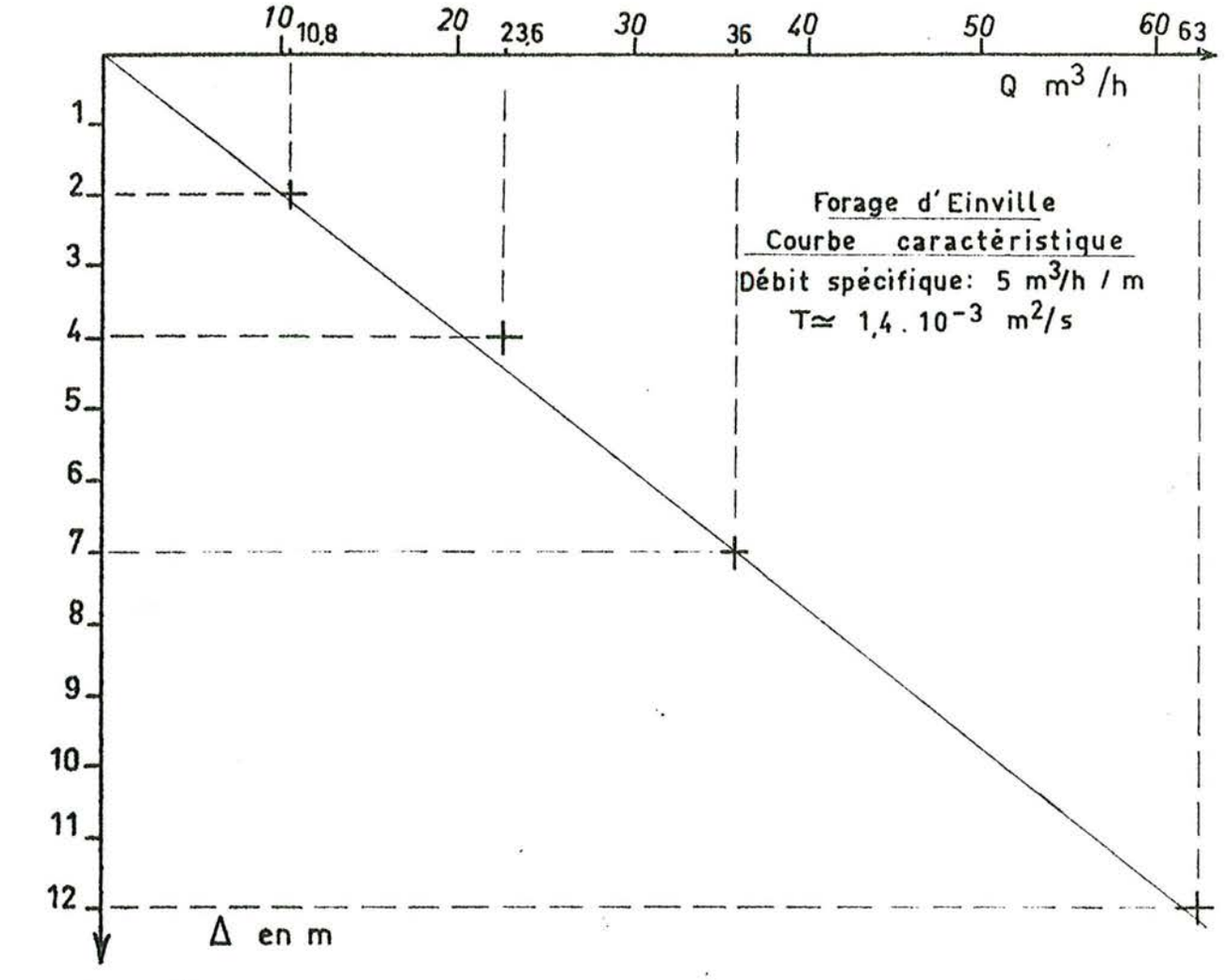
Ces courbes, malgré leur absence de base théorique, présentent un intérêt pratique pour l'utilisateur du point d'eau puisqu'elles permettent de calculer approximativement la hauteur de refoulement de la pompe à installer en fonction du débit souhaité.

Aussi est-il intéressant de rechercher la corrélation qui existe entre le débit spécifique exprimé en m^3/h par mètre de rabattement ou en m^2/s et la transmissivité T exprimée en m^2/s.

Rappelons que ces deux termes peuvent être considérés comme égaux à condition de faire l'approximation $\frac{2\pi}{\text{Log } R/r} = 1$, *que rien ne justifie, en théorie.*

Le tableau (page 116)rend compte de la précision de cette méthode.

Fig. n° 30


10
10,8
20
23,6
30
36
40
50
60
63
Q m³/h
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Δ en m
Forage d'Einville
Courbe caractéristique
Débit spécifique: 5 m³/h / m
T≃ 1,4 . 10⁻³ m²/s

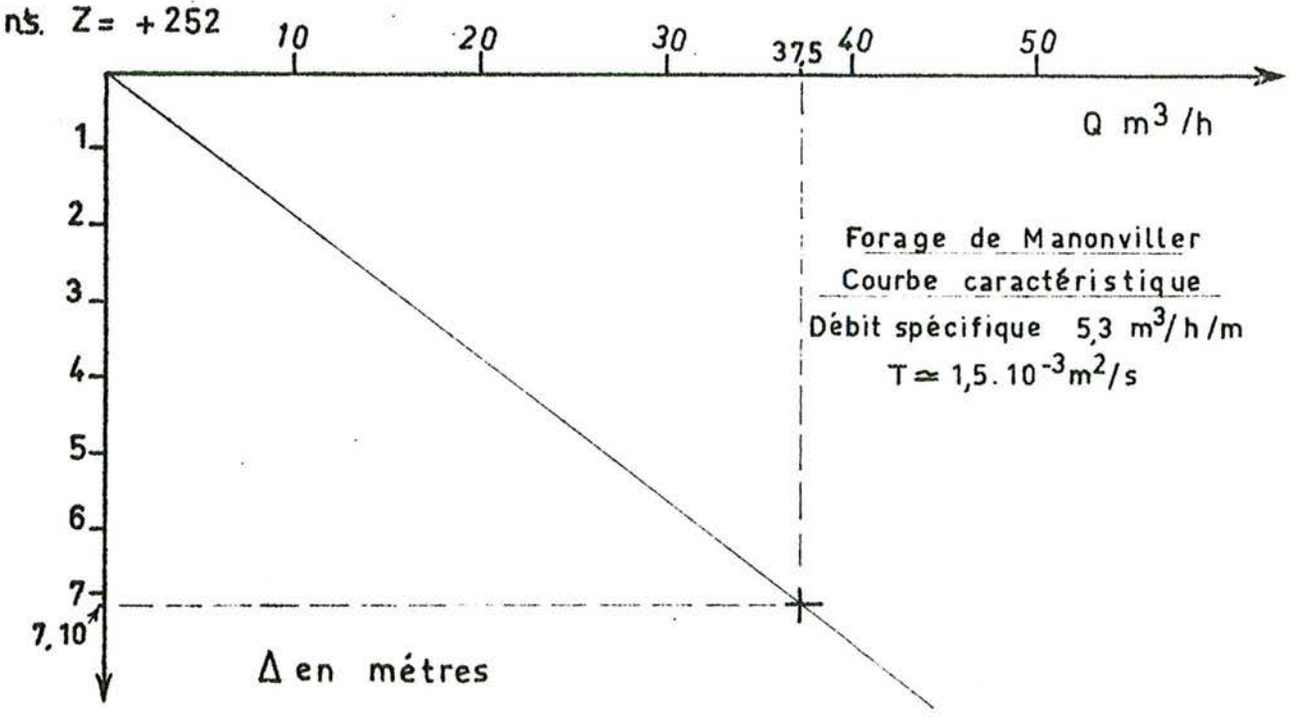
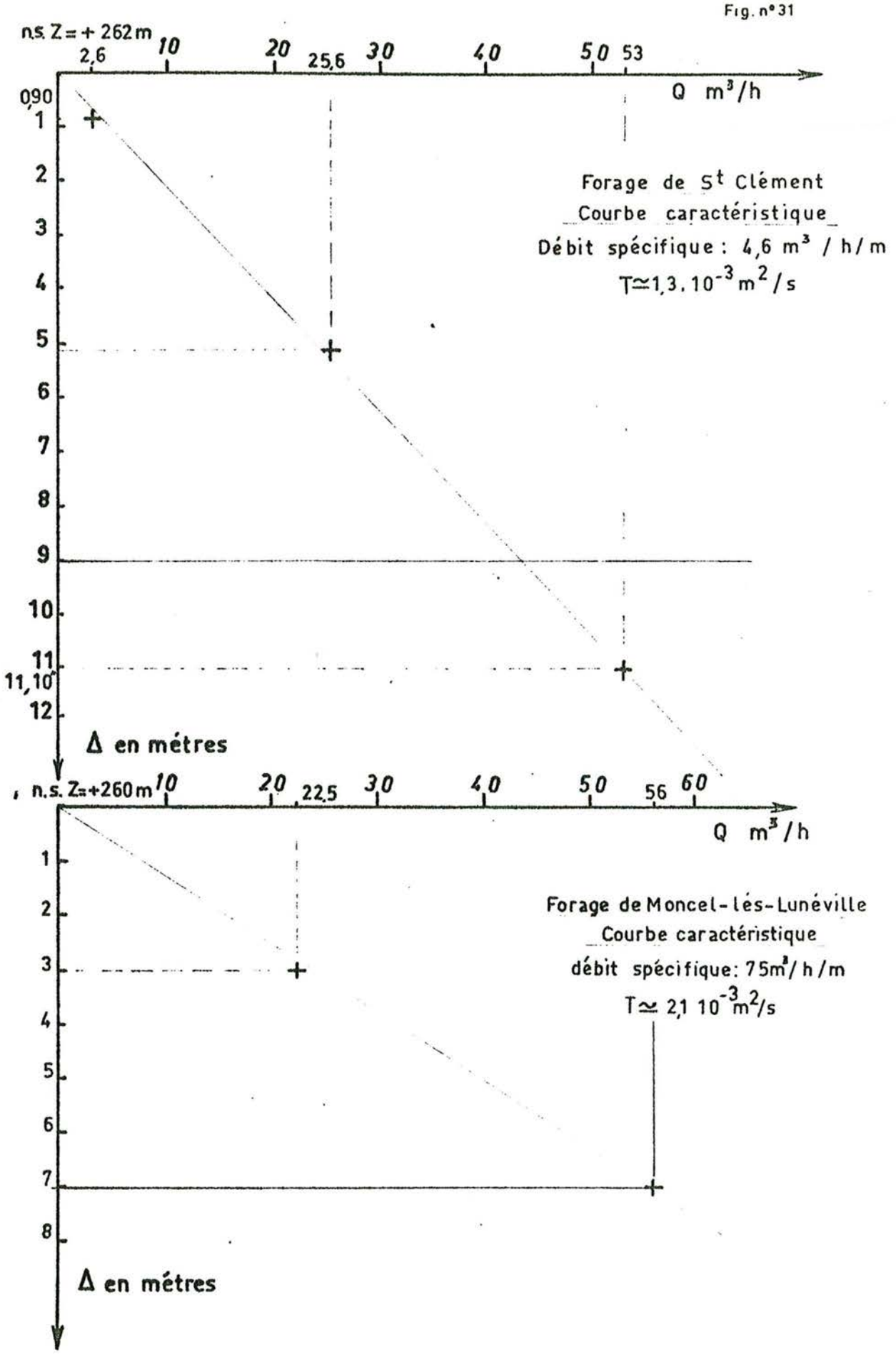

n.s. Z = +252
10
20
30
37,5
40
50
Q m³/h
1
2
3
4
5
6
7
7,10
Δ en mètres
Forage de Manonviller
Courbe caractéristique
Débit spécifique 5,3 m³/h/m
T≃ 1,5.10⁻³m²/s

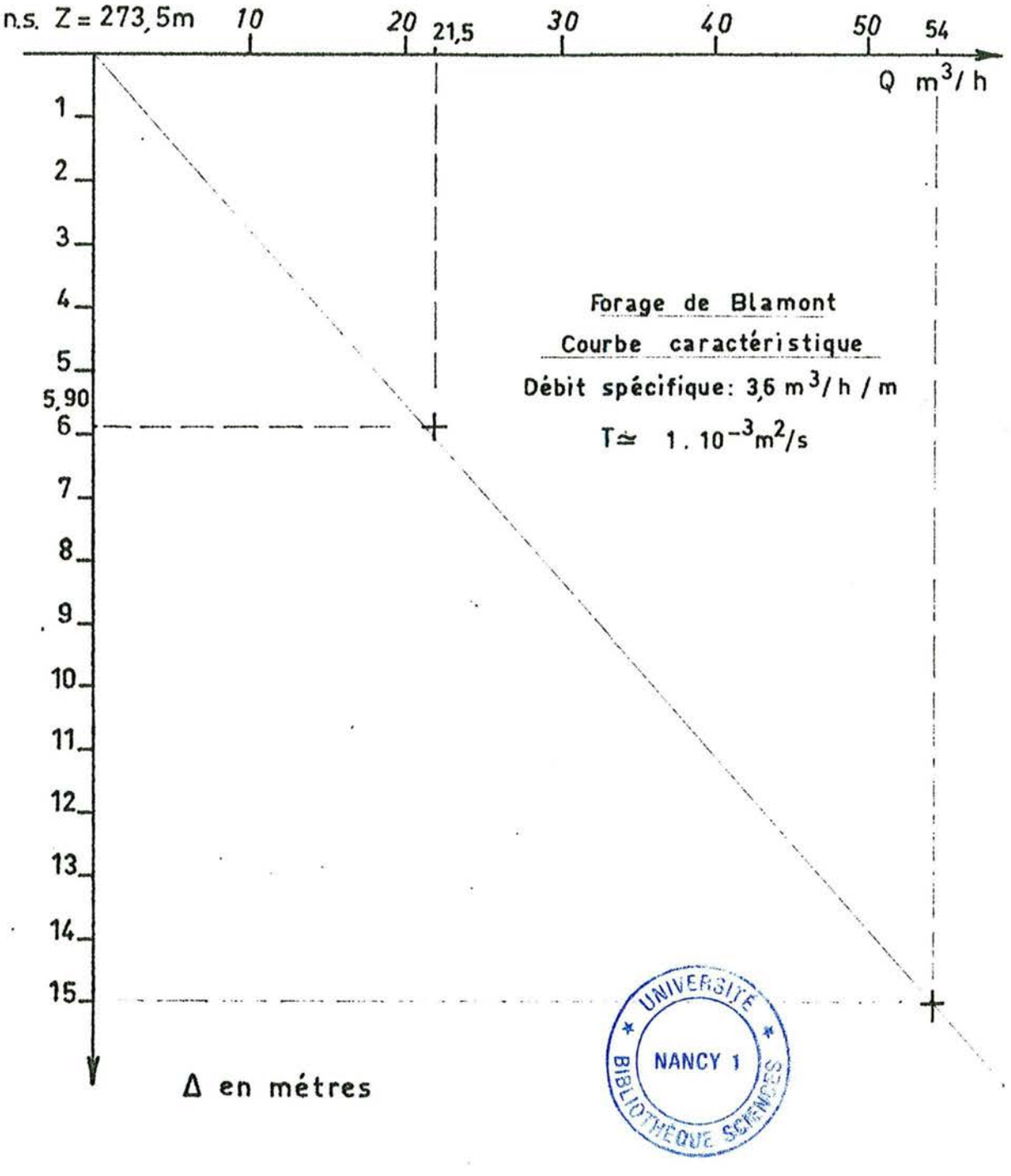
Fig. n° 31



Forage de St Clément
Courbe caractéristique
Débit spécifique : 4,6 m³ / h / m
$T \simeq 1,3.10^{-3} m^2/s$

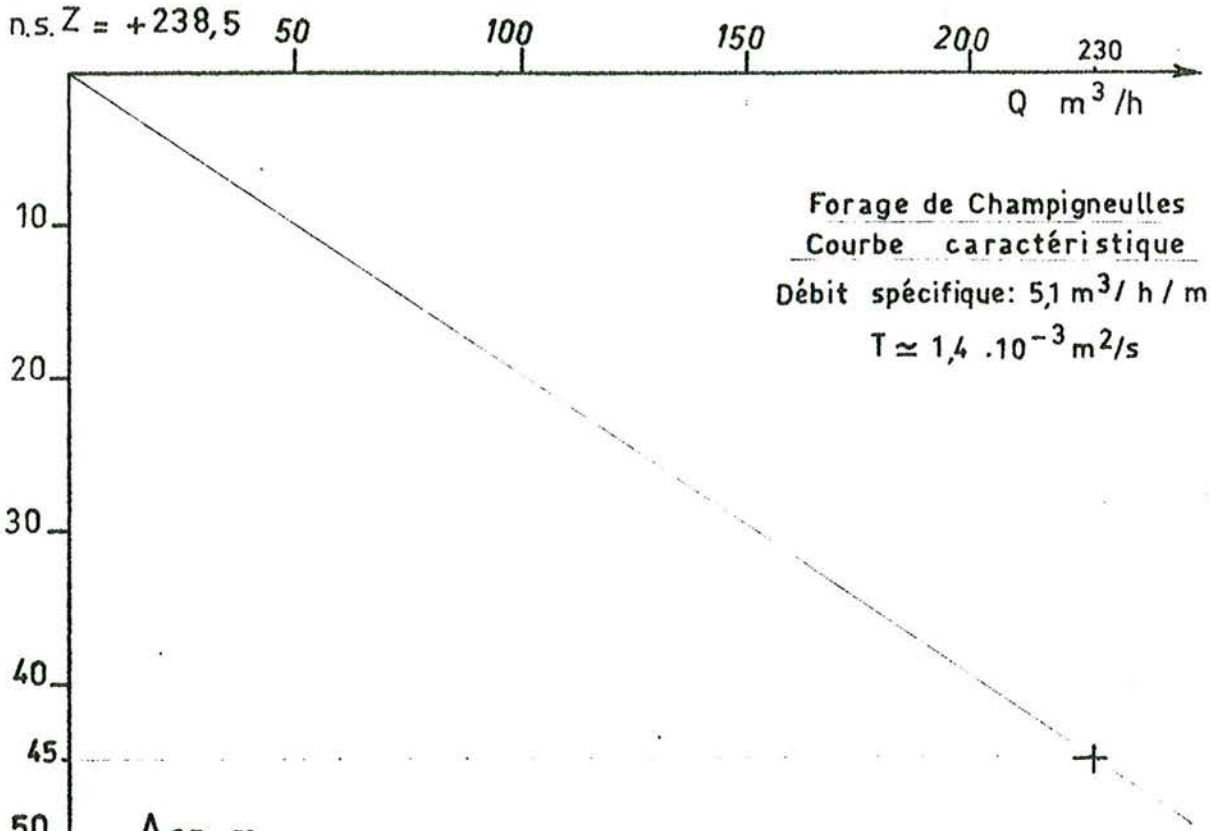
Forage de Moncel-lés-Lunéville
Courbe caractéristique
débit spécifique: 75m³/ h / m
$T \simeq 2,1\ 10^{-3} m^2/s$

Fig. n° 32

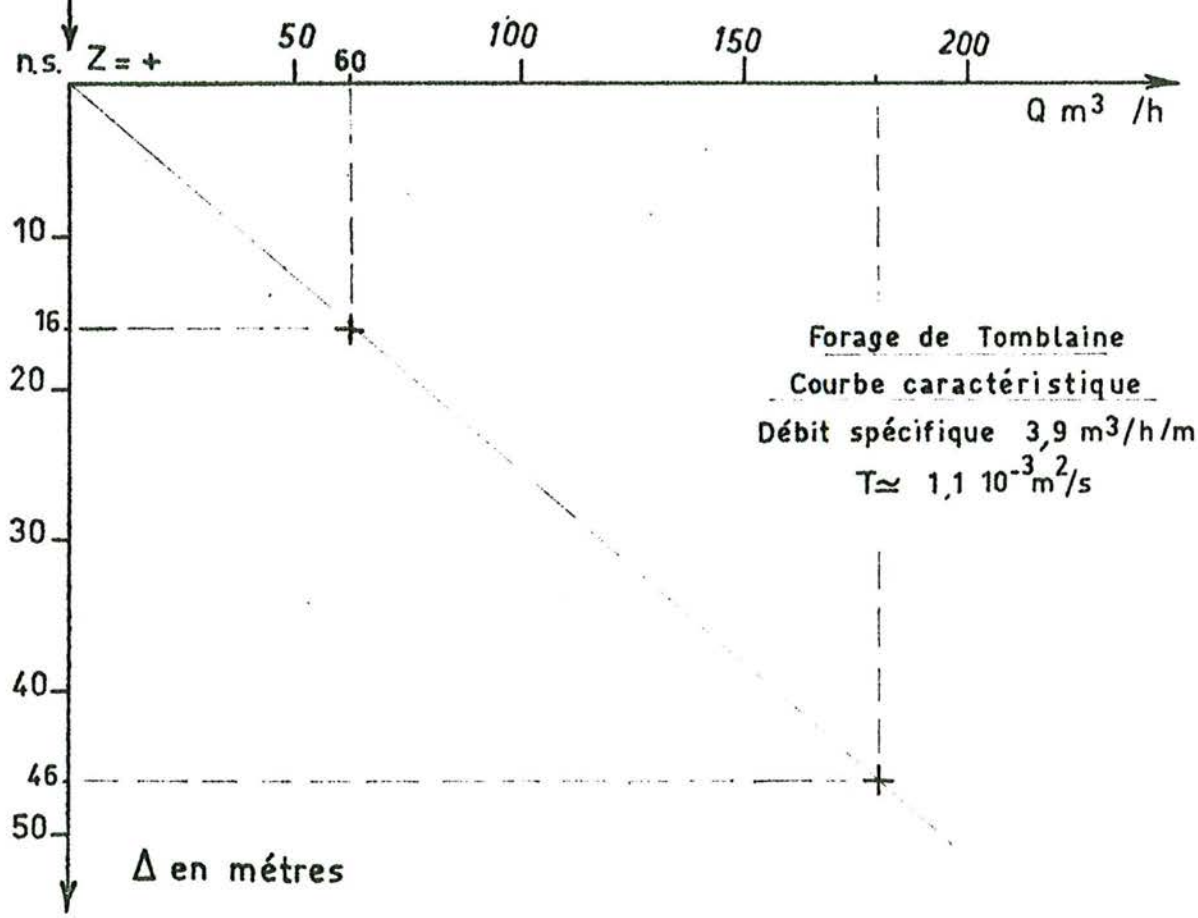


UNIVERSITÉ NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE SCIENCES

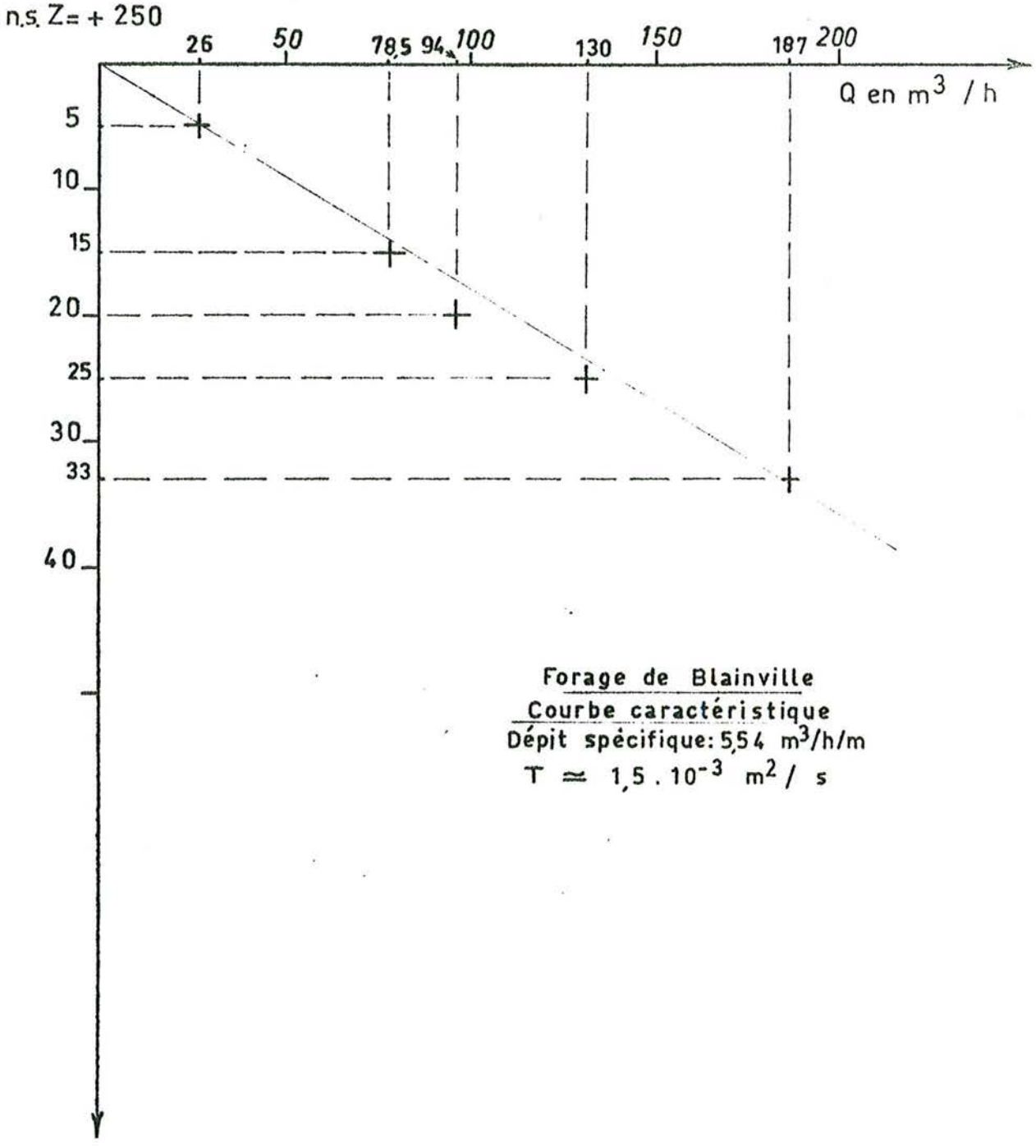
Fig n°33



Forage de Champigneulles
Courbe caractéristique
Débit spécifique: 5,1 m^3/ h / m
$T \simeq 1,4 .10^{-3} m^2/s$

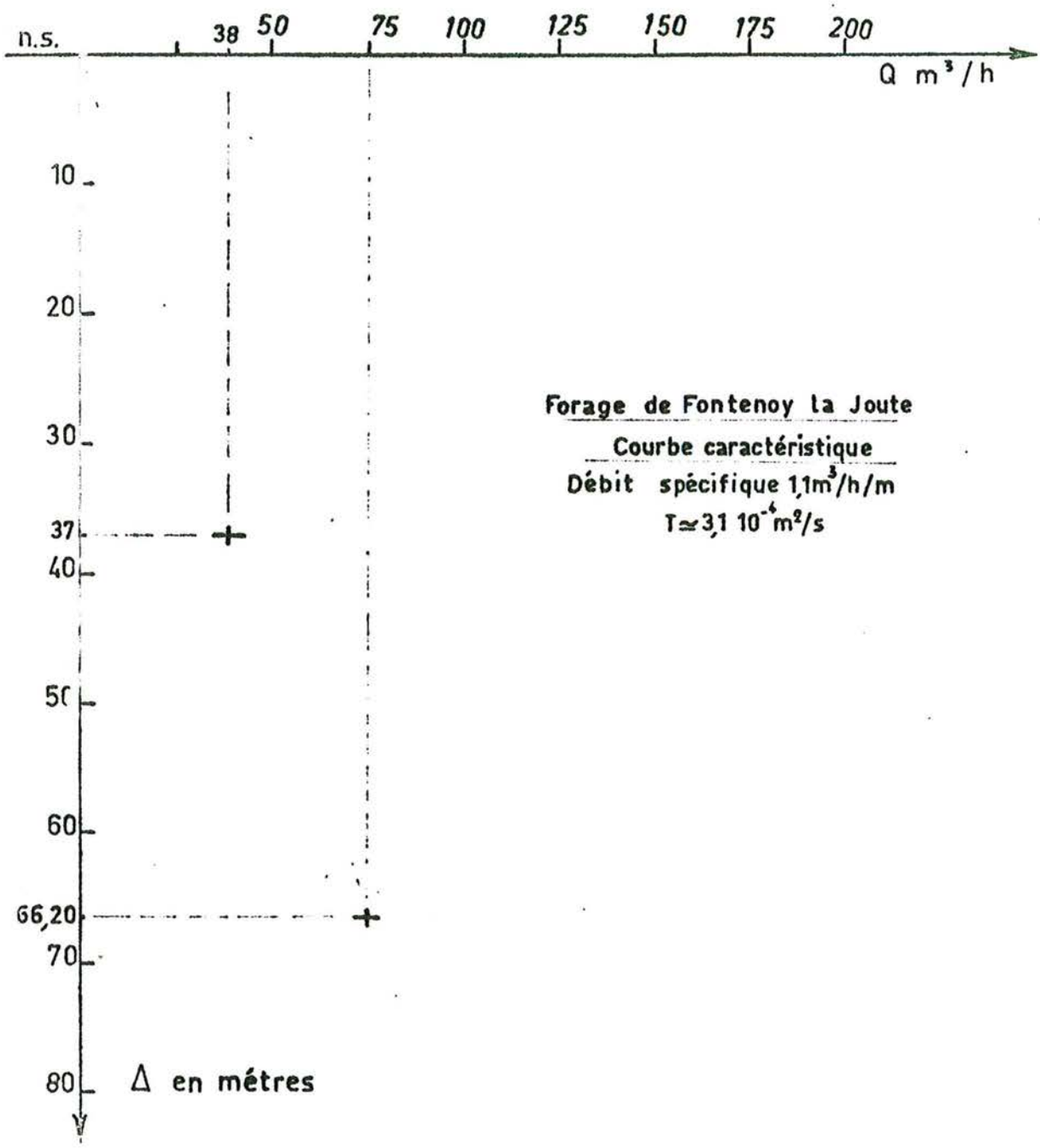


Forage de Tomblaine
Courbe caractéristique
Débit spécifique 3,9 $m^3/h/m$
$T \simeq 1,1\ 10^{-3} m^2/s$



Forage de Blainville
Courbe caractéristique
Dépit spécifique: 5,54 $m^3/h/m$
$T \simeq 1,5 . 10^{-3}$ m^2 / s

Fig. n° 35

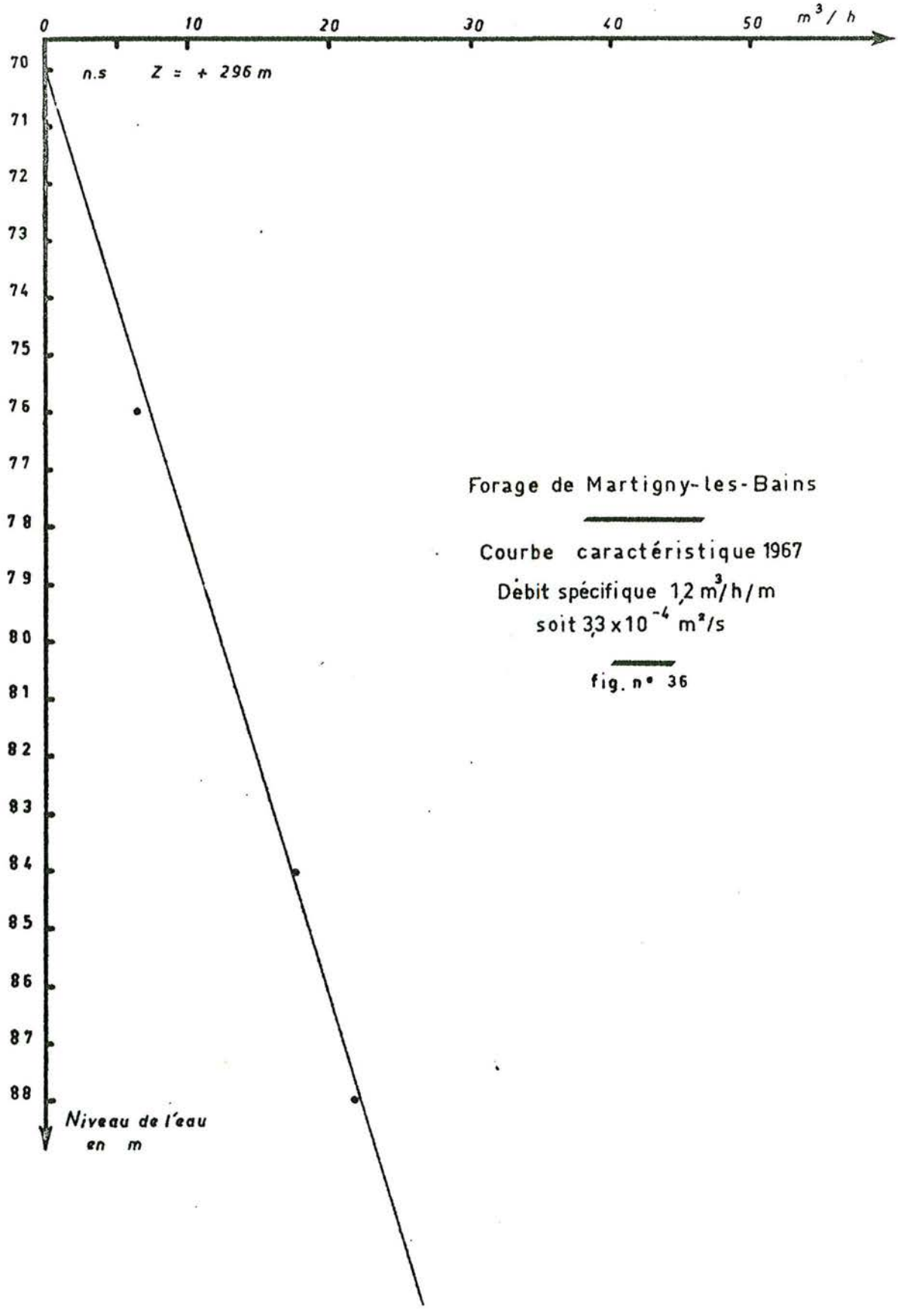


Forage de Fontenoy la Joute

Courbe caractéristique

Débit spécifique 1,1 $m^3/h/m$

$T \simeq 3{,}1\ 10^{-4}\ m^2/s$



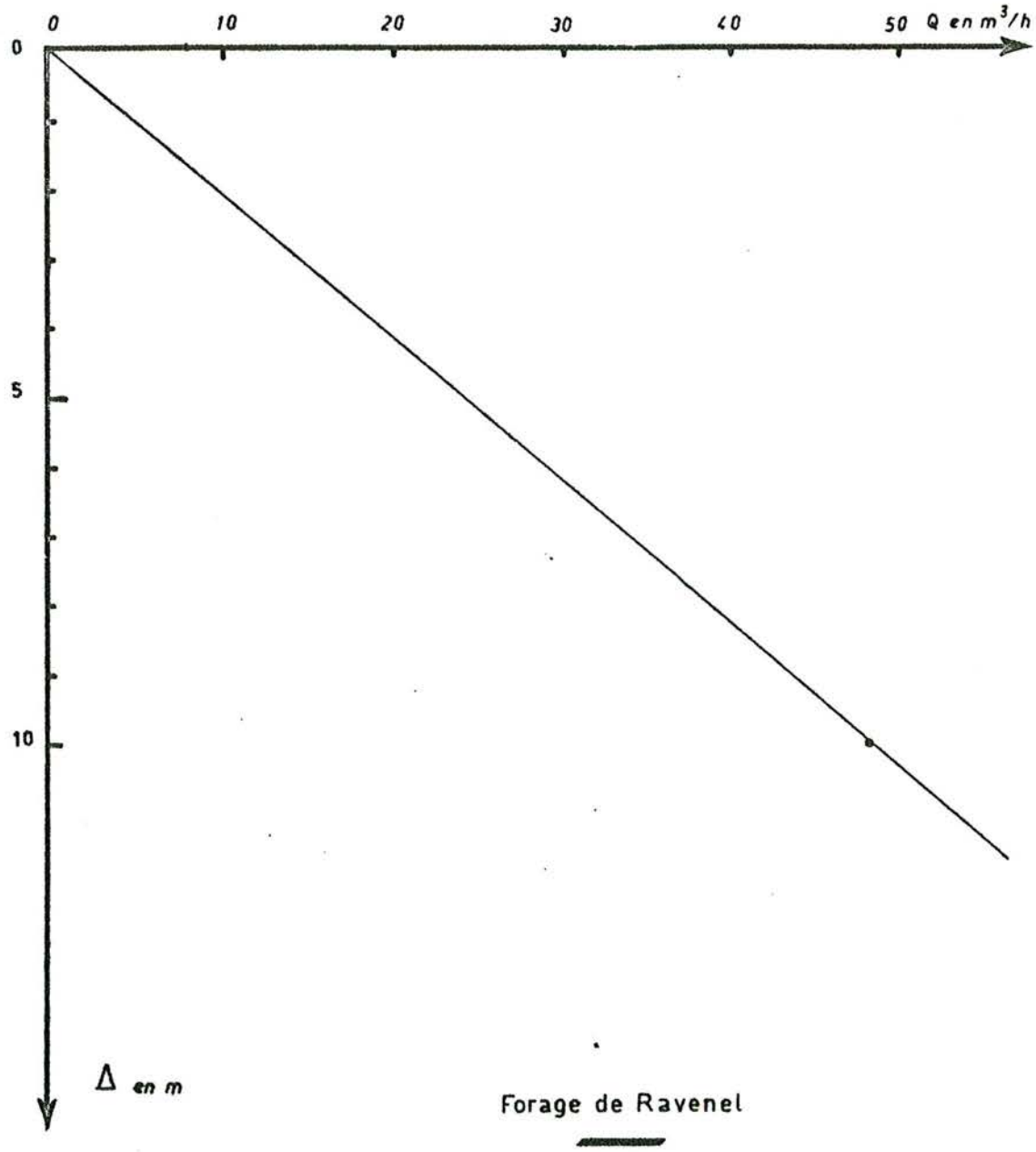
Forage de Martigny-les-Bains

Courbe caractéristique 1967

Débit spécifique 1,2 $m^3/h/m$

soit $3,3 \times 10^{-4}$ m^2/s

fig. n° 36



Forage de Ravenel

Courbe caractéristique 1967

Débit spécifique 4,8 $m^3/h/m$

soit $1,3 \times 10^{-3}$ m^2/s

fig. n° 37

Forage	Débit caractéristique		Transmissivité
	$m^3/h/m$	m^2/s	m^2/s
BLAINVILLE	5,5	$1,5 \times 10^{-3}$	
BLAMONT	3,6	1×10^{-3}	1 à 5×10^{-3}
CHAMPIGNEULLES	5,1	$1,4 \times 10^{-3}$	
CHARMES			$2,3 \times 10^{-4}$
EINVILLE	5	$1,4 \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-3}$
FONTENOY-LA-JOUTE	1,1	$3,1 \times 10^{-4}$	1×10^{-3}
MANONVILLERS	5,3	$1,5 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-3}$
MARTIGNY-LES-BAINS	1,2	$3,3 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-4}$
MONCEL-LES-LUNEVILLE	7,5	$2,1 \times 10^{-3}$	
NANCY-THERMAL N° 3			
RAVENEL	4,8	$1,3 \times 10^{-3}$	$7,3 \times 10^{-5} < T < 2,5 \times 10^{-4}$
SAINT-CLEMENT	4,6	$1,3 \times 10^{-3}$	
TOMBLAINE N° 1	3,9	$1,1 \times 10^{-3}$	
TOMBLAINE N° 2	8	$2,2 \times 10^{-3}$	$7,3 \times 10^{-3}$

E) Hétérogénéité verticale de l'aquifère

1 - Mise en évidence :

Les mesures de perméabilité et de porosité, l'enregistrement des logs sonic et neutron mettent en évidence des variations importantes des paramètres physiques de l'aquifère. Afin de faire la corrélation entre les zones perméables et leur participation à la production d'eau, il a été procédé sur le forage de Nancy-Thermal n° 3 par la S.P.E. Schlumberger à l'enregistrement d'un log de production appelé "débit-mètre continu". La sonde est constituée par un micromoulinet qui mesure la vitesse du courant d'eau dans le forage ouvert. Moyennant plusieurs corrections tenant compte du diamètre du trou et de la vitesse de translation de l'appareil, on lit sur un abaque le débit d'eau dans le forage ouvert à une profondeur donnée. On en déduit la participation de chaque niveau à la production d'eau.

C'est ce que traduit le graphique ci-après (fig. n° 38) sur lequel sont portés :

- en abscisses, le débit à la profondeur de la mesure, en pourcentage du débit total.
- en ordonnées, les profondeurs.

Le graphique n° 39 représente, toujours en fonction de la profondeur, la participation à la production de chaque tranche de grès, de 10 m en 10 m.

Il apparaît immédiatement que le Grès vosgien est un aquifère très hétérogène.

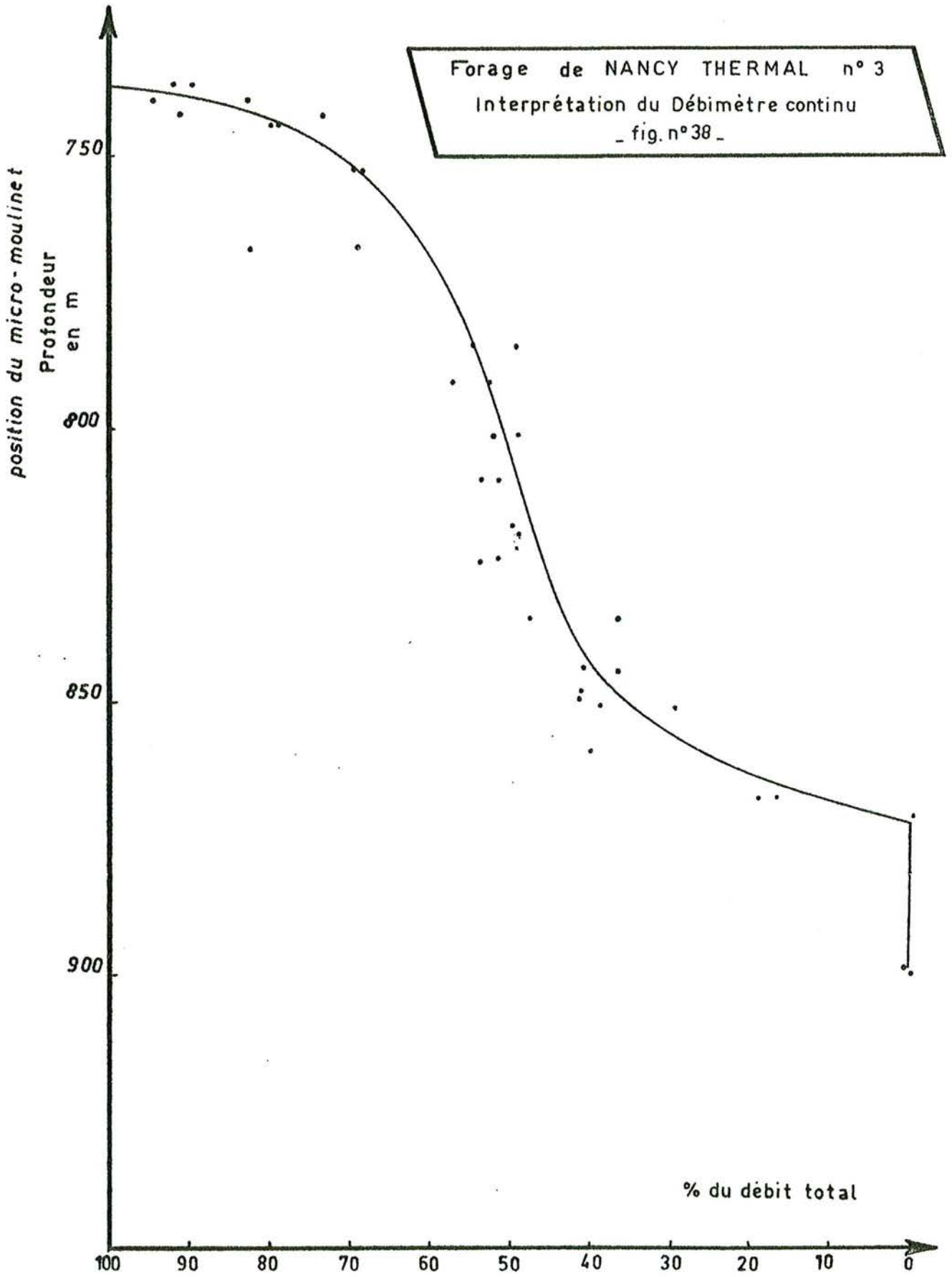
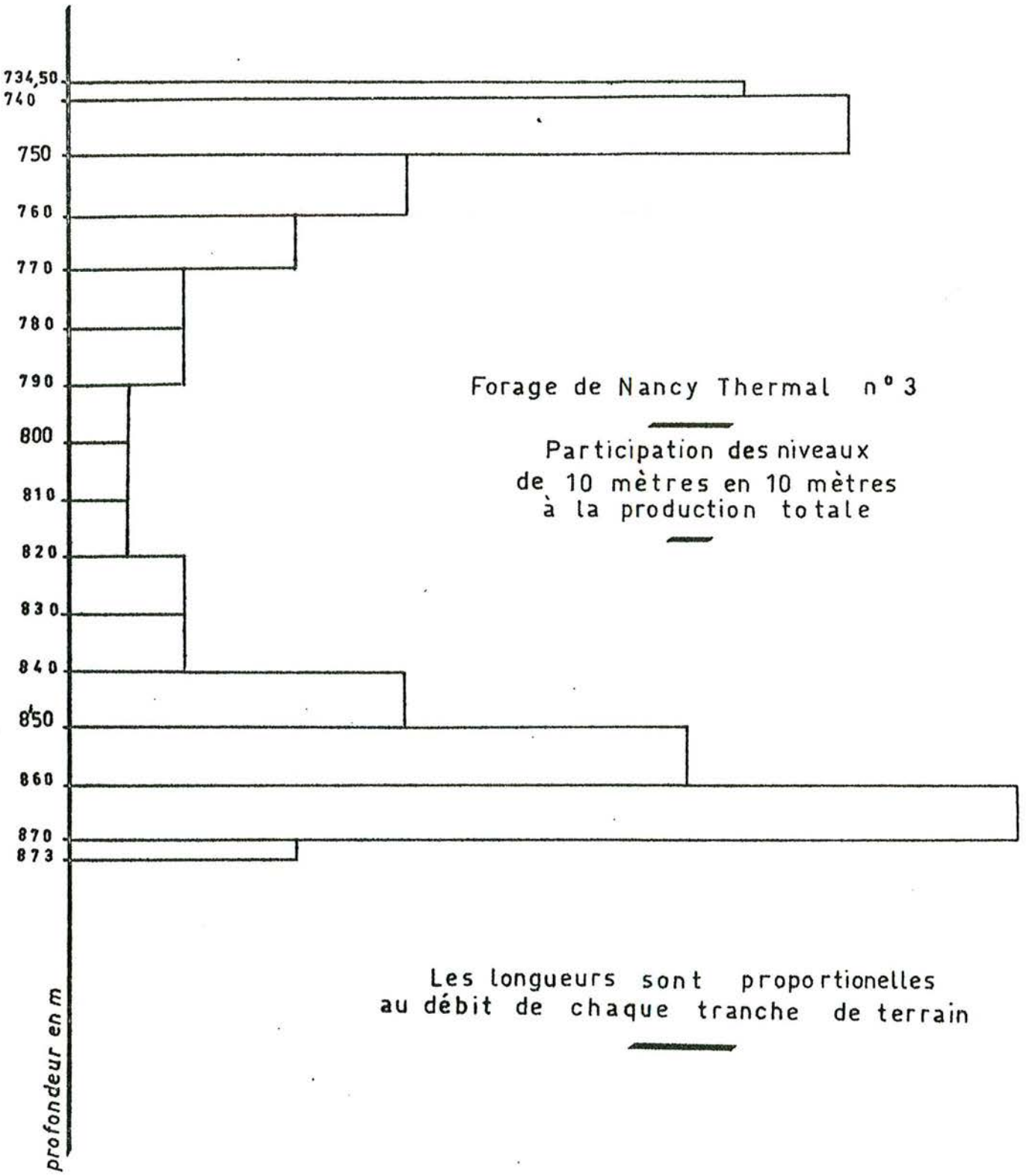

Forage de NANCY THERMAL n° 3
Interprétation du Débimètre continu
_ fig. n° 38 _
position du micro-moulinet
Profondeur en m
750
800
850
900
% du débit total
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

fig. n° 39



Forage de Nancy Thermal n° 3

Participation des niveaux
de 10 mètres en 10 mètres
à la production totale

Les longueurs sont proportionelles
au débit de chaque tranche de terrain

Les zones productrices, telles qu'elles ont été observées au forage de Nancy-Thermal n° 3 se répartissent ainsi :

- *de 734,50 m à 750 m : 28 % de la production totale*
- *de 750,00 m à 800 m : 20 % de la production totale*
- *de 800,00 m à 850 m : 17 % de la production totale*
- *de 850,00 m à 870 m : 35 % de la production totale*
- *de 870,00 m à 900 m : 0 % de la production totale.*

Cette répartition coïncide assez exactement avec celle des zones que nous avons définies en considérant les variations de porosité et de perméabilité.

On observe une zone très aquifère jusqu'à 750 m qui correspond à la base du Conglomérat principal, puis une zone de 750 à 800 m où la production décroît rapidement. Cette dernière reste faible jusqu'à 850 m où l'on rencontre à nouveau une importante venue d'eau, mais le grès ne fournit aucun débit appréciable en-dessous de 870 m de profondeur.

La même opération a été effectuée au forage de Tomblaine n° 2. Elle montre comme à Nancy-Thermal que les niveaux de tête immédiatement en-dessous du Conglomérat principal semblent assurer à eux seuls la majeure partie de la production (fig. n° 40).

2 - *Variations du débit au cours de l'approfondissement d'un forage :*

On constate généralement au cours de l'approfondissement d'un forage une augmentation du débit dans le cas d'un

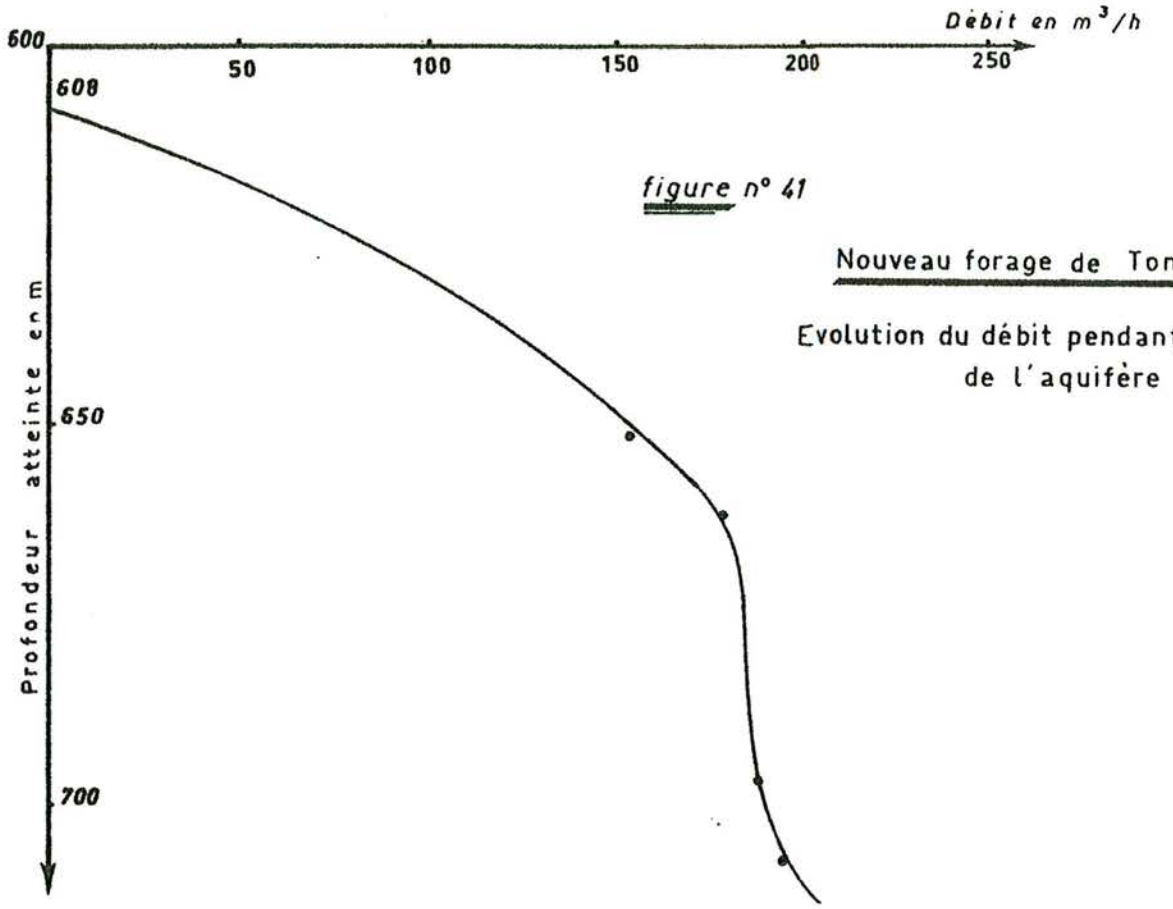


figure n° 41

Nouveau forage de Tomblaine

Evolution du débit pendant le forage de l'aquifère

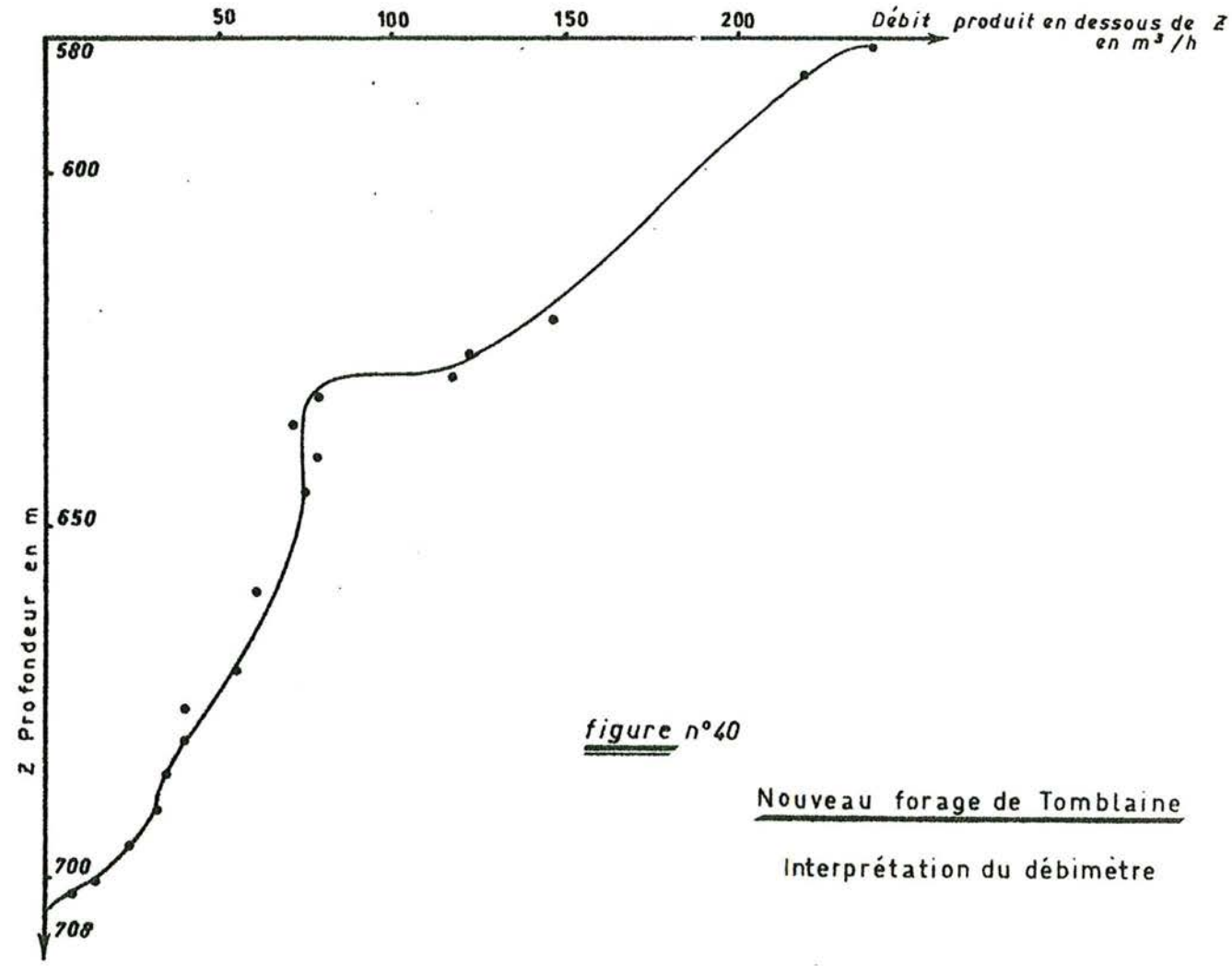


figure n°40

Nouveau forage de Tomblaine

Interprétation du débimètre

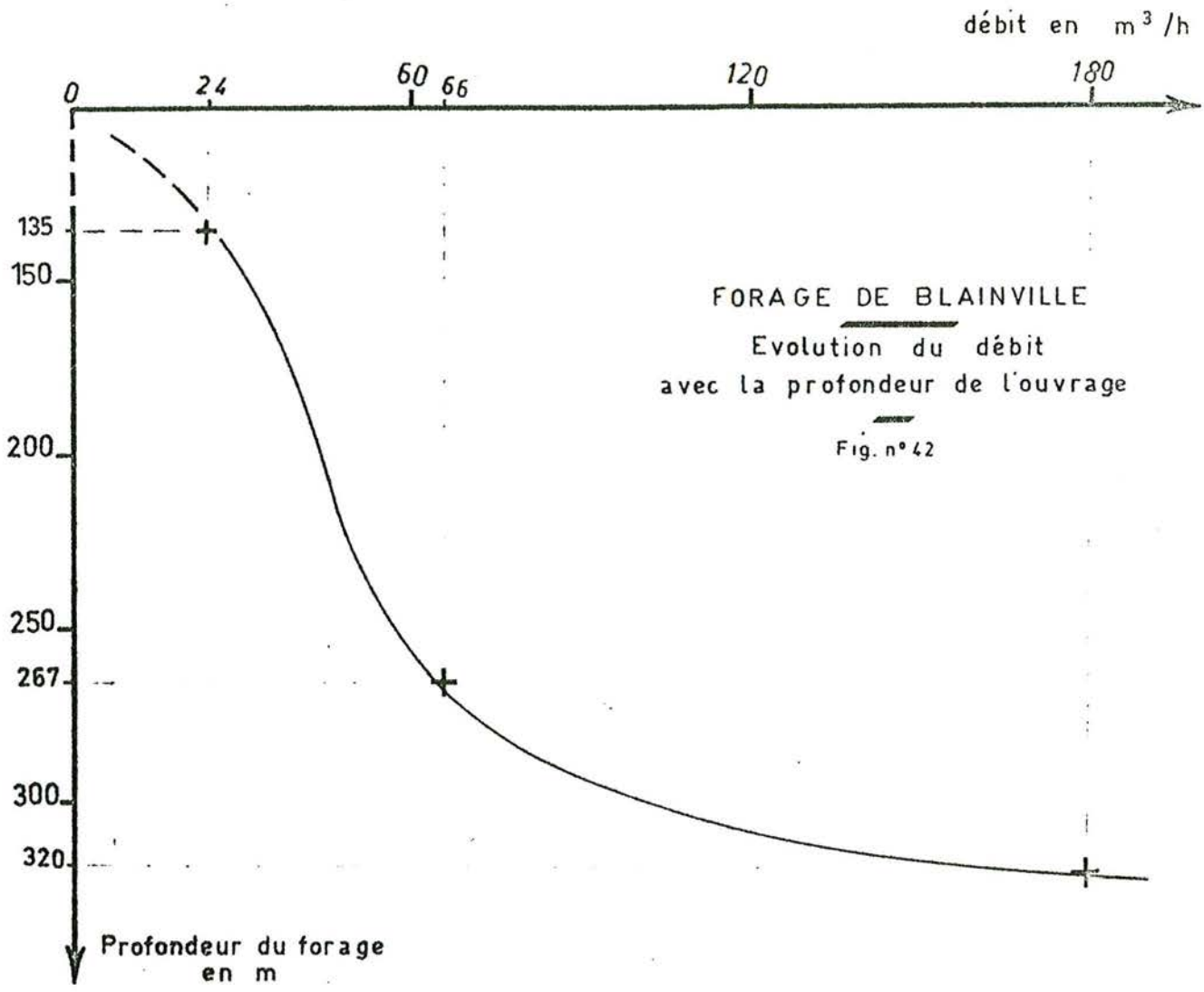
forage artésien ou du débit spécifique si l'on doit mettre le forage en production par pompage.

Plusieurs formules théoriques sont proposées. Elles donnent les variations des paramètres en fonction du rapport entre l'épaisseur perforée et la puissance de l'aquifère.

En fait les variations telles que nous avons pu les reconstituer pour les forages de Champigneulles, Essey-les-Nancy, Chenevières, Blainville et Tomblaine n° 2 sont très aléatoires (schémas ci-après, fig. n°41 à 46).Certains niveaux se révèlent très aquifères tandis que d'autres ne livrent pratiquement pas d'eau.

L'absence de mesures continues en dehors des ouvrages de Nancy-Thermal n° 3 et de Tomblaine, ne permet pas de se faire une idée précise de la répartition de ces niveaux et en particulier de leur position stratigraphique par rapport au Conglomérat principal.

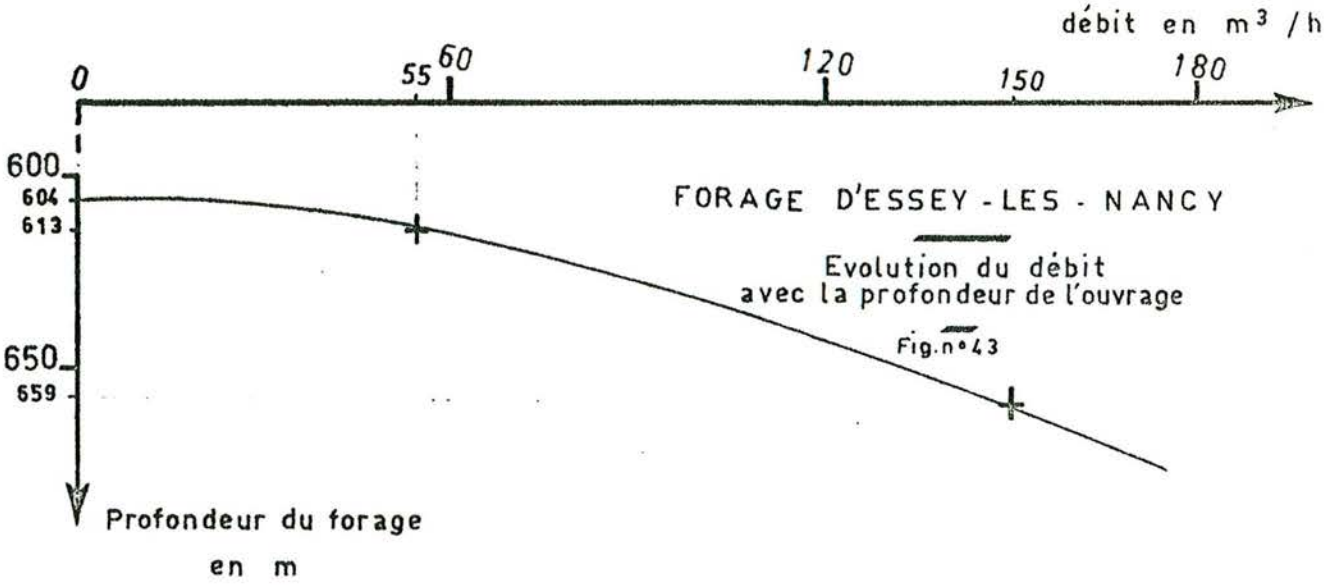
La mise en oeuvre systématique du débitmètre continu dans les chantiers en cours de préparation en Meurthe-et-Moselle (Blâmont, Saint-Nicolas-de-Port) permettra d'avoir une vue plus juste de ce phénomène. Ces opérations permettent en outre de ne crépiner que les zones franchement aquifères et de disposer une colonne de tubes pleins au droit des formations reconnues stériles.



FORAGE DE BLAINVILLE

Evolution du débit avec la profondeur de l'ouvrage

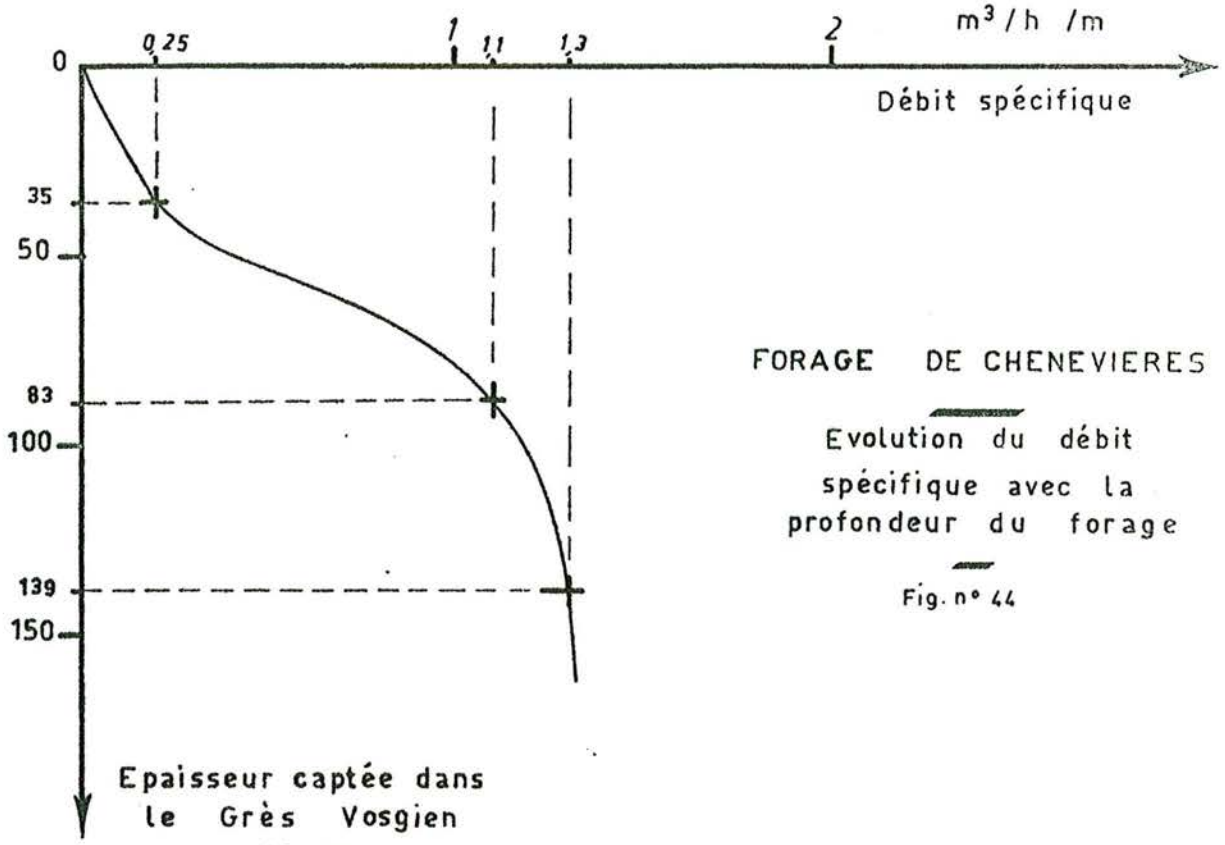
Fig. n° 42



FORAGE D'ESSEY-LES-NANCY

Evolution du débit avec la profondeur de l'ouvrage

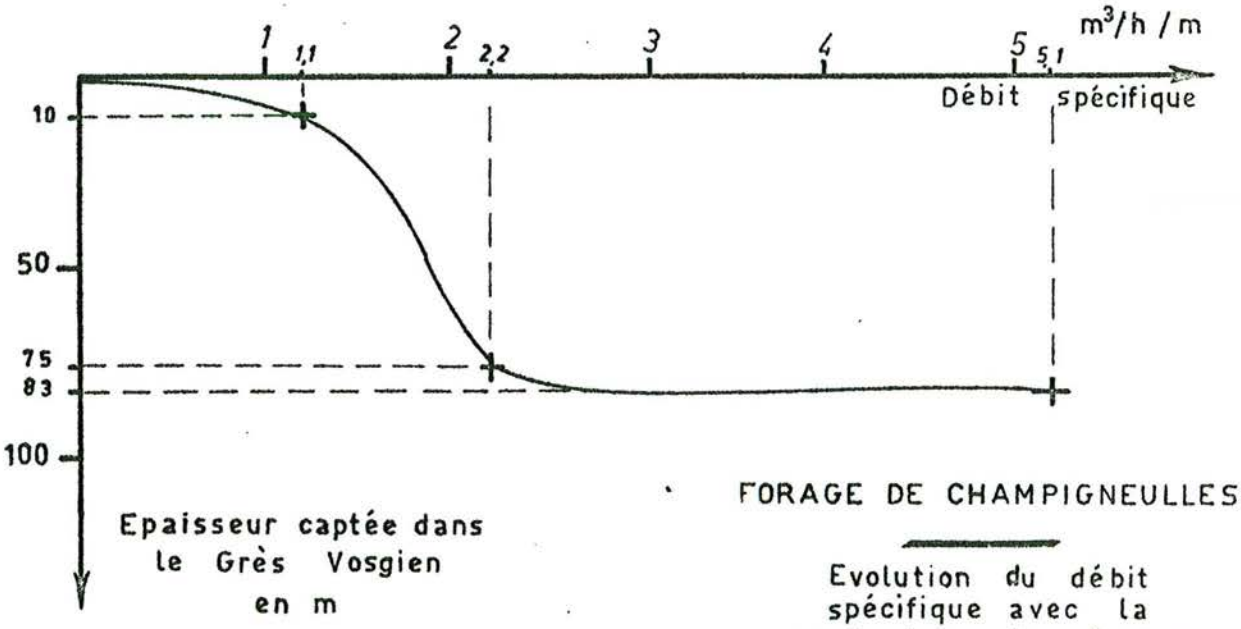
Fig. n° 43



FORAGE DE CHENEVIERES

Evolution du débit spécifique avec la profondeur du forage

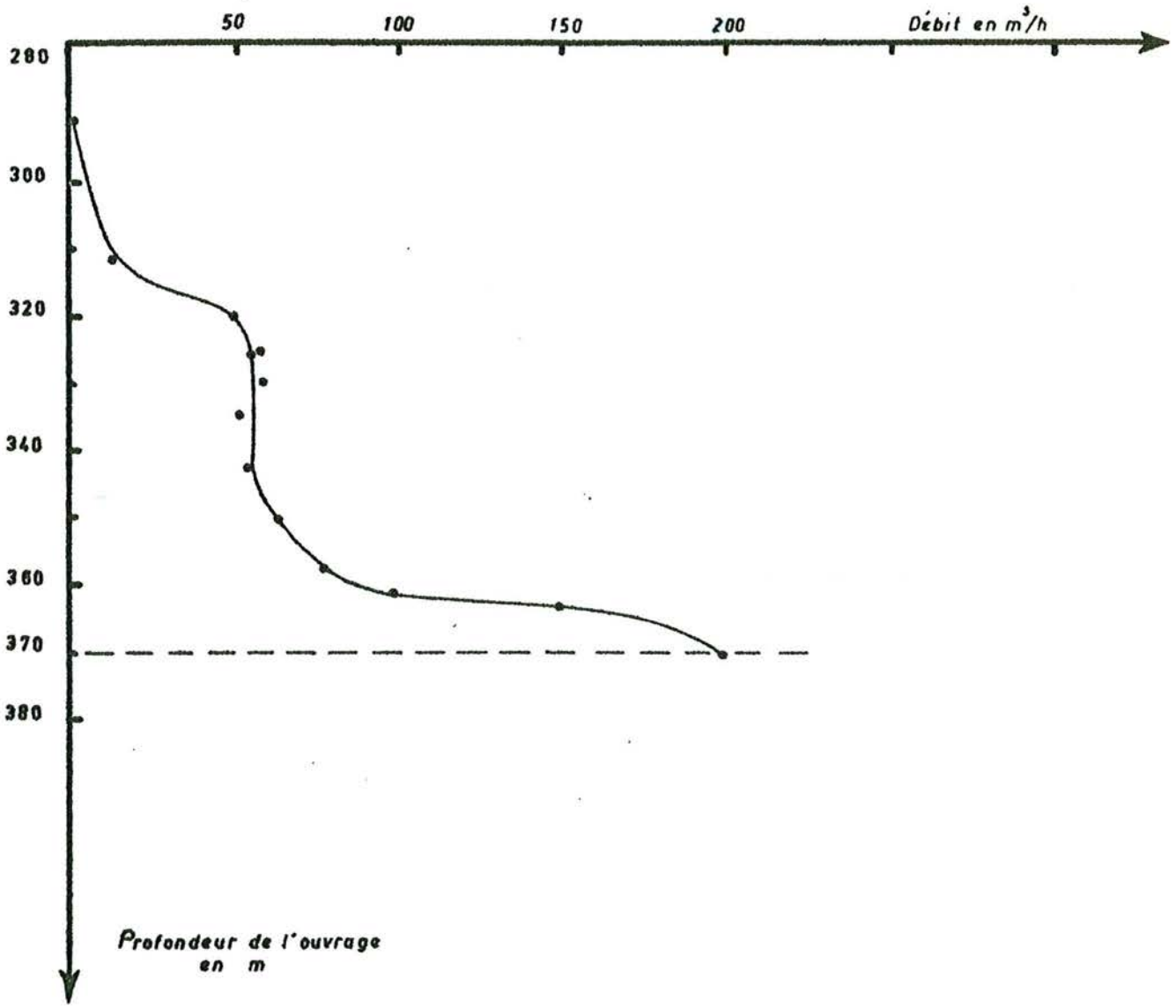
Fig. n° 44



FORAGE DE CHAMPIGNEULLES

Evolution du débit spécifique avec la profondeur du forage

Fig. n°45



Forage de Moncel les Lunéville

Evolution du débit avec
la profondeur de l'ouvrage

fig. n° 46

III - CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE

A) Cartes Piézométriques anciennes

Plusieurs cartes piézométriques de la nappe des Grès du Trias inférieur ont été présentées dans le passé. La comparaison de ces documents permet d'en faire la critique.

Les divergences sont flagrantes, les points communs très rares. Plusieurs faits sont à l'origine de ces incertitudes. Ce sont :

- l'imprécision des mesures de niveau statique dans les forages pétroliers. Pour les Compagnies pétrolières, tout arrêt de chantier se solde par une perte d'argent et de temps. Une stabilisation parfaite, sans intérêt pour les exploitants, ne peut dont être observée.

- la difficulté d'obtenir un niveau stabilisé dans les forages A.E.P. ; il est très difficile d'interrompre la distribution d'eau potable pendant un laps de temps suffisant pour enregistrer une stabilisation effective.

- l'impossibilité d'éliminer l'influence des forages trop rapprochés qui exhaurent de l'eau à plus ou moins grande distance (région de Vittel-Contrexéville).

- l'absence complète de points d'observation dans les zones à densité d'exploitation nulle.

L'imprécision de ces mesures jointe à leur dispersion dans le temps et dans l'espace contribue à donner à toute tentative dans le tracé de courbes isopiézométriques le caractère d'une hypothèse de travail plutôt que celui d'une certitude.

B) Présentation d'esquisses au 1/50 000

Si le dessin d'une carte à l'échelle de la région est du domaine de l'interprétation, il est possible de présenter, dans certaines zones favorisées, l'allure générale des courbes isopiézométriques à l'échelle du 1/50 000. C'est ce que nous avons voulu faire dans les esquisses hydrogéologiques présentées en annexes.

1 - Feuilles de Nancy et Parroy :

Les courbes isopiézométriques sont orientées généralement est-ouest. La courbe + 245 m divise grossièrement les deux feuilles en deux parties égales.

La pente de la nappe dans cette zone est voisine de 1/1 000 en direction du nord.

2 - Feuille de Lunéville :

Le niveau statique de la nappe s'abaisse en direction du nord-ouest, depuis la zone des affleurements de Grès dans la région de Baccarat jusqu'à Lunéville. A cet abaissement général vers le nord-ouest se superpose un bombement dont l'axe coïncide avec celui de la vallée de la Meurthe, moulé

sur la faille majeure du même nom. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées quant à l'origine de cette ride :

- il ne s'agit pas d'une zone où la nappe pourraît être réalimentée par la Meurthe ; en effet, dans l'axe de la vallée, le niveau statique se situe toujours au-dessus du niveau du sol naturel.

- une seconde hypothèse conduirait à en rechercher les causes dans une modification du régime hydrodynamique de la nappe en liaison avec les conditions particulières d'écoulement dues à la faille de la Meurthe.

- cette même faille pourrait aussi intervenir d'une autre manière, en créant une zone de microfracturation assez étendue pour que son influence sur les forces capillaires soit assez importante pous se faire sentir à l'échelle de la carte.

Toutes ces hypothèses semblent problèmatiques et nous en retiendrons surtout deux autres :

- la faille de la Meurthe joue le rôle d'un écran et sépare deux bassins hydrogéologiques différents. Il n'est plus alors nécessaire de tracer les courbes isopiézométriques d'une manière continue.

- la faille de la Meurthe facilite au contraire les circulations. Elle correspondrait alors à une zone où l'eau serait caractérisée par une moindre minéralisation et une moindre densité, surtout dans les niveaux profonds non captés. La faible densité entraîne un niveau piézométrique plus élevé

dans les forages. La connaissance des teneurs en sels dissous, donc des densités, sur toute la puissance de l'aquifère permettrait seule de vérifier cette dernière hypothèse et de tracer une carte potentiométrique où les anomalies de la carte piézométrique n'apparaîtraient plus.

3 - Feuilles de Nomeny et de Pont-à-Mousson :

Les seuls points d'observation de la nappe dans cette zone sont constitués par les anciens forages de recherche du Houiller, rebouchés depuis longtemps. Aucune mesure piézométrique n'a été conservée dans les archives et seul le débit artésien peut donner une idée de la piézométrie. Nous avons donc choisi de caractériser chaque forage par son débit rapporté à l'unité de puissance de l'aquifère, soit D ce coefficient.

$$D = \frac{\text{Débit artésien}}{\text{Puissance de l'aquifère}}$$

REMARQUE :

Cette expression n'a de sens et ne peut donner une idée des caractéristiques de l'aquifère que parce que la cote N.G.F. de l'orifice des forages est sensiblement la même dans toute la région étudiée.

Le tracé des courbes d'égale valeur de D se moule remarquablement sur l'anticlinal sarro-lorrain qui a certainement joué un rôle non seulement dans l'épaisseur du dépôt sédimentaire, mais aussi dans sa granulométrie et dans sa nature.

Les cartes de Pont-à-Mousson et de Nomeny que nous présentons en annexe traduisent l'influence de ces facteurs tectoniques et sédimentologiques sur la nappe des Grès du Trias inférieur.

4 - Feuille de Vittel :

Les données relatives à cette zone sont tirées pour la plupart des observations publiées par G. Minoux.

La densité des forages en exploitation est telle dans cette zone qu'il est très difficile de se faire une idée du niveau piézométrique réel de la nappe.

Néanmoins, il semble que l'on observe un affaissement rapide et régulier de la nappe qui serait de l'ordre de 1 à 2 mètres par an. Le cartouche annexé à la feuille de Vittel représente ce phénomène.

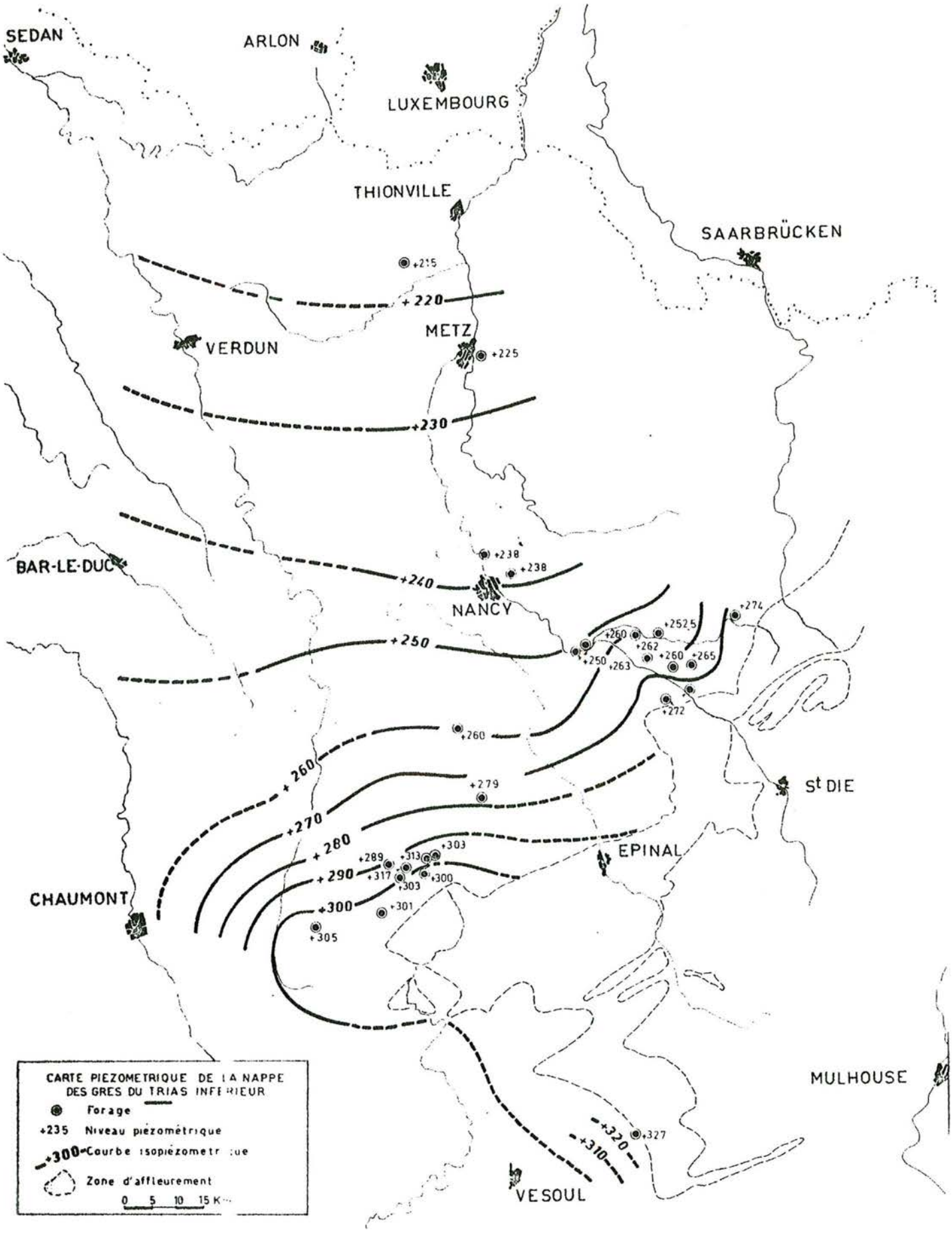
C) Présentation d'une carte générale

Une carte au 1/1 000 000 résume les données acquises sur tous les forages que nous avons pu observer (fig. n° 47).

La plupart des niveaux piézométriques figurés sont les niveaux piézométriques de la nappe à l'origine, c'est à dire à la mise en service du forage. Dans certains zones, telle la région de Vittel-Contrexéville, on a enregistré d'importantes variations.

Le problème des limites de l'aquifère reste posé. On peut considérer comme nous l'avons fait que nous avons affaire à une nappe appuyée, c'est-à-dire que les courbes

Fig n° 47


SEDAN
ARLON
LUXEMBOURG
THIONVILLE
SAARBRÜCKEN
VERDUN
METZ
BAR-LE-DUC
NANCY
St DIE
EPINAL
CHAUMONT
MULHOUSE
VESOUL
+215
+220
+225
+230
+238
+240
+250
+260
+262
+263
+265
+272
+274
+279
+289
+290
+300
+301
+303
+305
+310
+313
+317
+320
+327
CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR
Forage
+235 Niveau piezométrique
+300 Courbe isopiézométrique
Zone d'affleurement
0 5 10 15 K

isopiézométriques sont perpendiculaires à la ligne que nous avons définie comme la limite présumée de l'aquifère.

Cette hypothèse simplificatrice est sans doute celle qui convient le mieux à la réalisation d'un modèle analogique de la nappe. Elle est cependant la moins probable. La carte potentiométrique présentée par les pétroliers, et qui met en évidence un gradient en direction des centres du Bassin de Paris, doit être prise en considération, au moins à titre d'hypothèse.

D) Vitesse de circulation de l'eau

La carte piézométrique montre que la circulation de l'eau se fait depuis les affleurements gréseux en direction du nord-ouest puis du nord.

L'exutoire naturel de la nappe se trouve situé au nord de la région qui fait l'objet de cette étude. Il est constitué par la Moselle et par la Sarre.

La vitesse de circulation de l'eau (vitesse de Darcy), si l'on se réfère à une pente i, de l'ordre de 1/1 000 et à une perméabilité K voisine de 10^{-3} cm/s dans les niveaux les plus perméables est :

$$V = i \times K = \frac{1}{1\,000} \times 10^{-3} = 10^{-6} \text{ cm/s soit } 0{,}30 \text{ m/an}$$

La vitesse réelle de circulation, si l'on considère une porosité moyenne de 16 %, est de $\frac{0{,}30 \times 100}{16} = 1{,}90$ *m/an.*

La durée du parcours de l'eau entre les Vosges et Nancy, soit une distance de 50 km en suivant la pente de la nappe, serait donc de l'ordre de 25 000 ans.

Une campagne de mesures radio-chronologiques par la méthode du C_{14} en cours permettra de préciser ce chiffre et fera l'objet d'une publication ultérieure.

CHAPITRE III

CHIMIE DES EAUX

La mise en exploitation de la nappe des Grès du Trias inférieur ne va pas sans poser de nombreux problèmes concernant la bonne tenue des équipements : captages, conduites, réservoirs d'une part, et relevant de l'hygiène et de la santé publique, d'autre part. Tous sont en relation avec la CHIMIE DES EAUX.

Nous nous attacherons à décrire successivement la composition minéralogique des eaux des sources et des forages en fonction de leur distance aux affleurements. Nous chercherons ensuite à établir les relations qui existent entre le niveau capté dans les grès, les grandes lignes de la tectonique régionale et la chimie des eaux.

I - LES SOURCES ISSUES DES GRES DU TRIAS INFERIEUR

A) Méthode d'étude

Les sources des Grès du Trias inférieur et du Grès vosgien en particulier sont extrêmement nombreuses ; on dénombre plus de 500 sources pérennes dans le Massif gréseux compris entre la vallée de la Plaine et celle du Rabodeau. Il est donc illusoire de tenter d'en faire un inventaire systématique, travail analytique important certes, mais dont le peu de résultat que l'on peut en attendre n'est pas à la

mesure des moyens à mettre en oeuvre.

Nous avons substitué à la notion d'inventaire systématique celle d'échantillonnage, en ne considérant, dans un secteur donné, que :

- *les sources déjà captées au bénéfice d'une communauté rurale ou urbaine ;*
- *les sources présentant un intérêt d'ensemble, stratigraphique, hydrologique ou hydrogéologique.*

Nous avons établi, dans la zone d'affleurement des Grès, une série de profils géologiques et hydrogéologiques appuyés sur un relevé stratigraphique précis, avec, pour chaque point d'eau, un contrôle sommaire des caractéristiques essentielles, à savoir :

- *débit*
- *température*
- *pH*
- *résistivité*
- *dureté.*

Nous argumenterons sur ces données.

B) Le gîte des sources

La très grande dispersion des sources à différents niveaux de la série stratigraphique ne permet pas a priori de dégager la ou les lois de répartition des émergences de la zone d'extension des Grès.

Les éboulis, dont l'épaisseur dépasse souvent une dizaine de mètres, masquent généralement l'émergence réelle de l'eau. Celle-ci voit sa minéralogie primitive évoluer sensiblement pendant un parcours assez long dans des matériaux remaniés.

1 - Les sources associées à des horizons stratigraphiques précis se présentent :

- au contact du Grès vosgien et du Grès permien ou du substratum antétriasique,
- au toit du Conglomérat principal.

- Les sources du toit du Permien sont en général masquées par des éboulis. Elles se situent à la rupture de pente qui caractérise le passage du Grès vosgien bien consolidé au Permien argileux ; celui-ci offre des reliefs beaucoup plus atténués.

En général, le griffon de la source ne se situe pas strictement au contact géologique, mais quelque peu en-dessous, dans le Permien lui-même. On est en bon droit de penser qu'il s'agit d'une eau collectée et drainée par des fissures du substratum imperméable.

- Les sources du Conglomérat principal prennent naissance grâce à la Zone Limite Violette inférieure, base des Couches intermédiaires recouvrant immédiatement le Conglomérat.

Nos observations ne nous ont pas permis de retrouver la ligne de source décrite par les anciens auteurs au pied

de ce Conglomérat. Or, on sait depuis J. Perriaux qu'aucun horizon argileux ne vient apporter de solution de continuité entre Conglomérat principal et Grès Vosgien. Là encore, il faut peut-être faire appel à la fracturation en grand du Conglomérat, beaucoup plus importante que celle des grès sous-jacents. Ces fissures vont s'ouvrir à la base de la formation. Elles drainent les platières humides et marécageuses qui couronnent ces affleurements, donnant l'illusion d'émergences issues réellement du Conglomérat.

2 - Les autres sources sont réparties au hasard dans la série gréseuse et leur gîte est lié :

- soit à la présence d'un niveau conglomératique moins perméable ou d'un banc argileux dont la morphologie est en fait lenticulaire à l'échelle de la formation. L'écran qui résulte de leur existence donne naissance à une nappe suspendue.

- soit à des conditions tectoniques particulières : fissures, fractures ou failles favorisant la circulation de l'eau qui se trouve drainée vers un exutoire naturel, sans rapport direct avec la stratigraphie.

C) Chimie des Eaux

1 - Chimie et bactériologie :

L'eau du Grès vosgien est réputée pour sa grande pureté, sa très faible minéralisation et sa bonne qualité bactériologique, dues à l'excellente protection offerte par la forêt et à la nature gréseuse du réservoir.

Sa composition minéralogique est à peu près constante dans toute la zone des affleurements. L'analyse reproduite ci-dessous peut être considérée comme représentative de l'ensemble des sources du Grès vosgien proprement dit. (1)

		Eau brute		Essai au marbre
Température	:	12°	C	
pH	:	5,90		8,05
Résistivité à 20°	:	24 500	Ohm.cm	6 650 Ohm.cm
Résidu sec	:	38	mg/l	
Dureté totale	:	1,5°	tH	8,0° tH
CO_2 des bicarbonates	:	10 mg/l		
CO_2 agressif	:	29 mg/l		

Anions		Cations	
HCO_3^-	: 18 mg/l	Ca^{++}	: 4 mg/l
SO_4^{--}	: 5 mg/l	Mg^{++}	: 1 mg/l
Cl^-	: 3 mg/l	Fe^{++}	: 0,06 mg/l
NO_3^-	: 1 mg/l		

(1) *Analyse chimique de l'eau de la source de Dremonrupt - Commune d'Allarmont 6 Octobre 1958 (communiquée par l'Institut de Recherches Hydrologiques de Nancy).*

Nous avons souligné les caractères essentiels de cette eau :

- *faible minéralisation se traduisant par un résidu sec très bas et par une résistivité très élevée ;*
- *pH situé nettement dans la zone acide, associé à la présence de CO_2 libre agressif ;*
- *dureté faible.*

L'eau des sources du Grès vosgien est donc une eau douce, hypominéralisée, acide et agressive. Nous verrons les conséquences qu'il faut tirer de ce fait quant à la mise en exploitation des sources.

2 - Variations :

Nous avons pu mettre en évidence des modifications de la chimie des eaux grâce à l'observation d'un certain nombre de profils géologiques et hydrogéologiques. Elles sont faibles et se situent à la limite du pouvoir de résolution des méthodes mises en oeuvre sur le terrain.

En descendant la série des Grès depuis le Conglomérat principal jusqu'au Permien, on observe :

- *une élévation du pH se déplaçant vers le point de neutralité ;*
- *une augmentation de la dureté ;*
- *une diminution de la résistivité, donc une augmentation de la minéralisation totale.*

Cette évolution est particulièrement nette au voisinage du contact avec le Permien. La mise en parallèle des eaux issues de la masse moyenne du Grès vosgien avec celles produites par la masse inférieure au toit du Permien traduit bien cette variation.

		Grès vosgien	Toit du Permien
pH	:	5,90	7,30
Résistivité	:	24 500 Ohm.cm	3 448 Ohm.cm
Résidu sec	:	38 mg/l	194 mg/l
Dureté totale	:	1,5° tH	16,4°tH
CO_2 agressif	:	29 mg/l	7 mg/l

La figuration par la méthode des diagrammes de Schoeller d'analyses d'eau issues des deux niveaux donne une autre représentation de ces variations (fig. n° 48).

L'eau des sources du Grès bigarré (Grès à Voltzia et Couches intermédiaires) est généralement chargée en sulfates (SO_4^{--}) et en fer (Fe^{++}) résultant de l'oxydation de la pyrite que cet horizon contient en abondance.

Leur importance pratique en vue de réaliser une A.E.P. est négligeable. Seules quelques communes privées d'autres ressources doivent se contenter de ces sources d'approvisionnement médiocres.

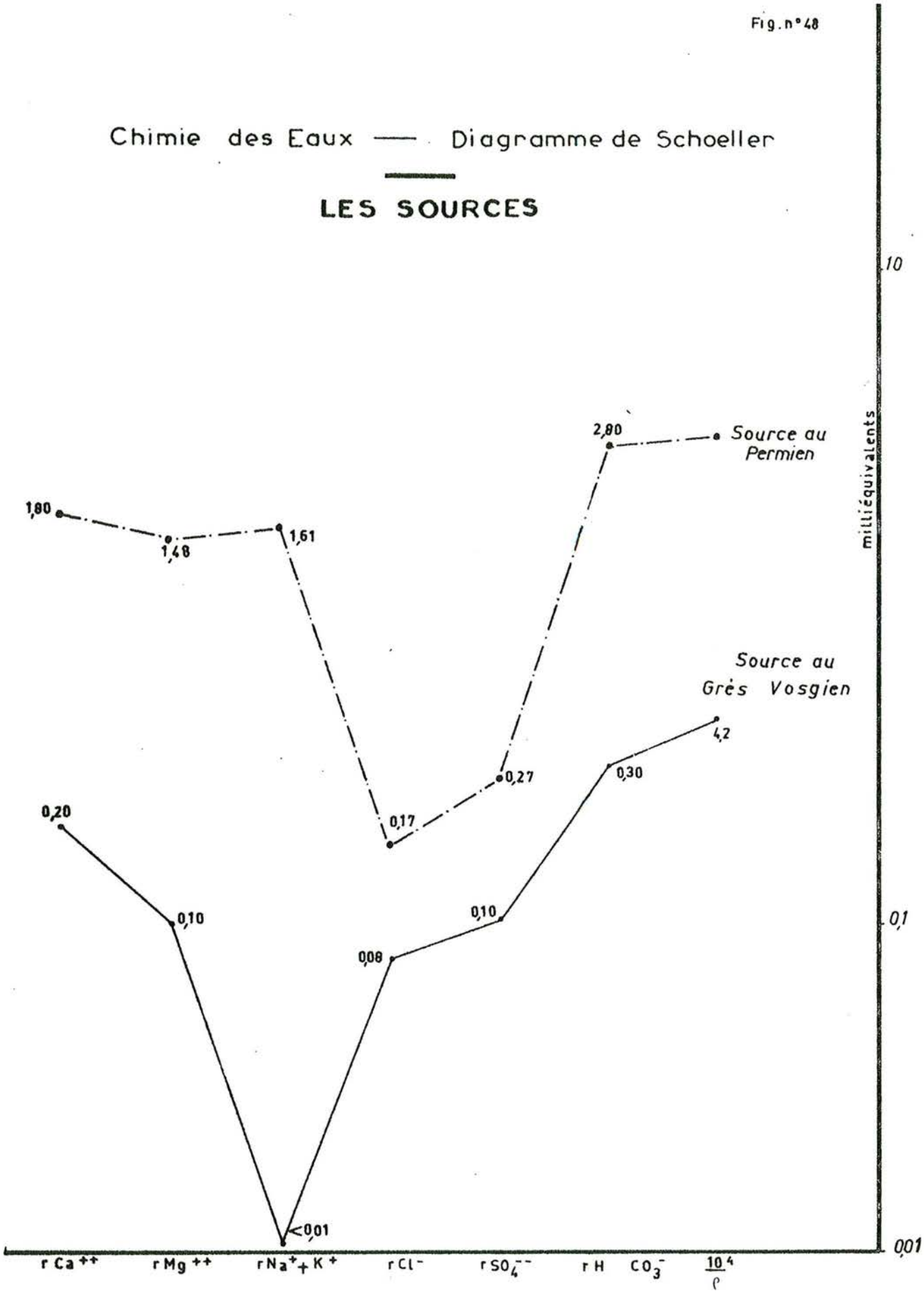
3 - Exploitabilité des sources :

L'eau des sources du Grès vosgien est essentiellement hypominéralisée et agressive. Le risque de corrosion des

Fig. n° 48

Chimie des Eaux — Diagramme de Schoeller

LES SOURCES



conduites et des réservoirs impose pour leur réalisation l'emploi de matériaux résistants : ciments de laitier ou ciments alumineux, aciers inoxydables, polymères synthétiques, etc.

Chaque réseau de distribution doit être doté, en tête, d'une station de neutralisation pour effacer le caractère agressif de l'eau.

Il n'en reste pas moins que la résolution des problèmes relatifs à la distribution de l'eau du Grès vosgien nécessiterait la mise en oeuvre de moyens importants. Les cas de saturnisme déclarés restent fréquents dans le département des Vosges ; le besoin d'un service régional s'occupant de l'entretien et de la régénération des installations de neutralisation se fait impérieusement sentir.

II - CHIMIE DES EAUX ISSUES DES FORAGES

Alors que la minéralogie de l'eau des sources du Grès vosgien est sensiblement constante sur un très vaste territoire, l'eau des forages présente des caractéristiques très différentes en fonction de la situation géographique et géologique du point de prélèvement.

Nous étudierons successivement les principaux traits physico-chimiques de l'eau issue des forages aux Grès du Trias inférieur et chercherons, quand cela est possible, à établir une relation entre les variations de certains paramètres et les principaux traits de la géologie régionale : sédimentologie, stratigraphie, tectonique locale ou régionale. Les figures n° 49 et 50 représentent la minéralisation des eaux suivant la méthode des diagrammes logarithmiques de Schoeller.

A) pH

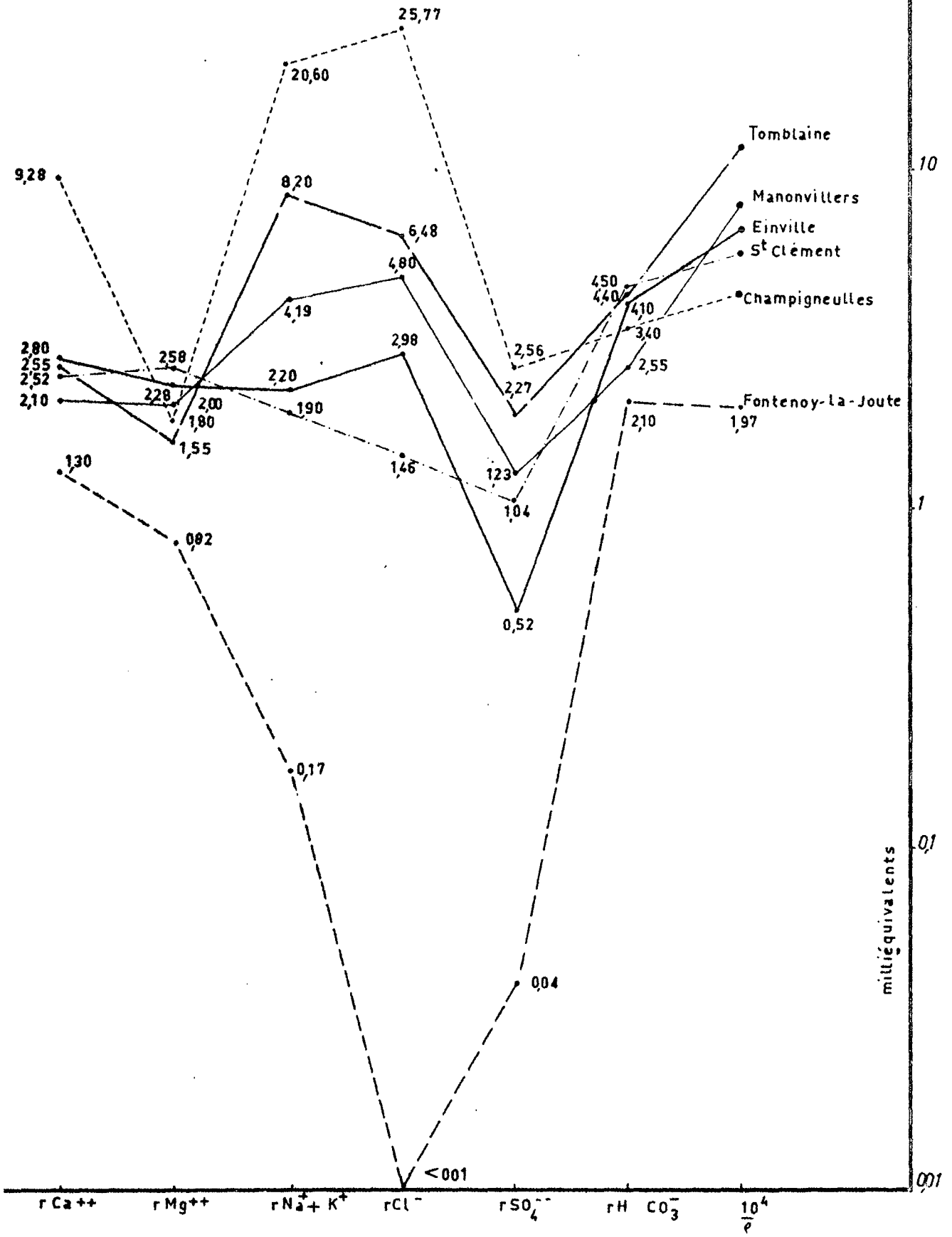
Si l'on veut bien faire exception des quelques forages situés très près de la zone des affleurements comme Fontenoy-la-Joute, tous les pH sont compris entre 7,10 et 7,70 et, à moins de 10^{-7} près, il n'est pas possible de mettre en évidence des variations significatives de ce paramètre.

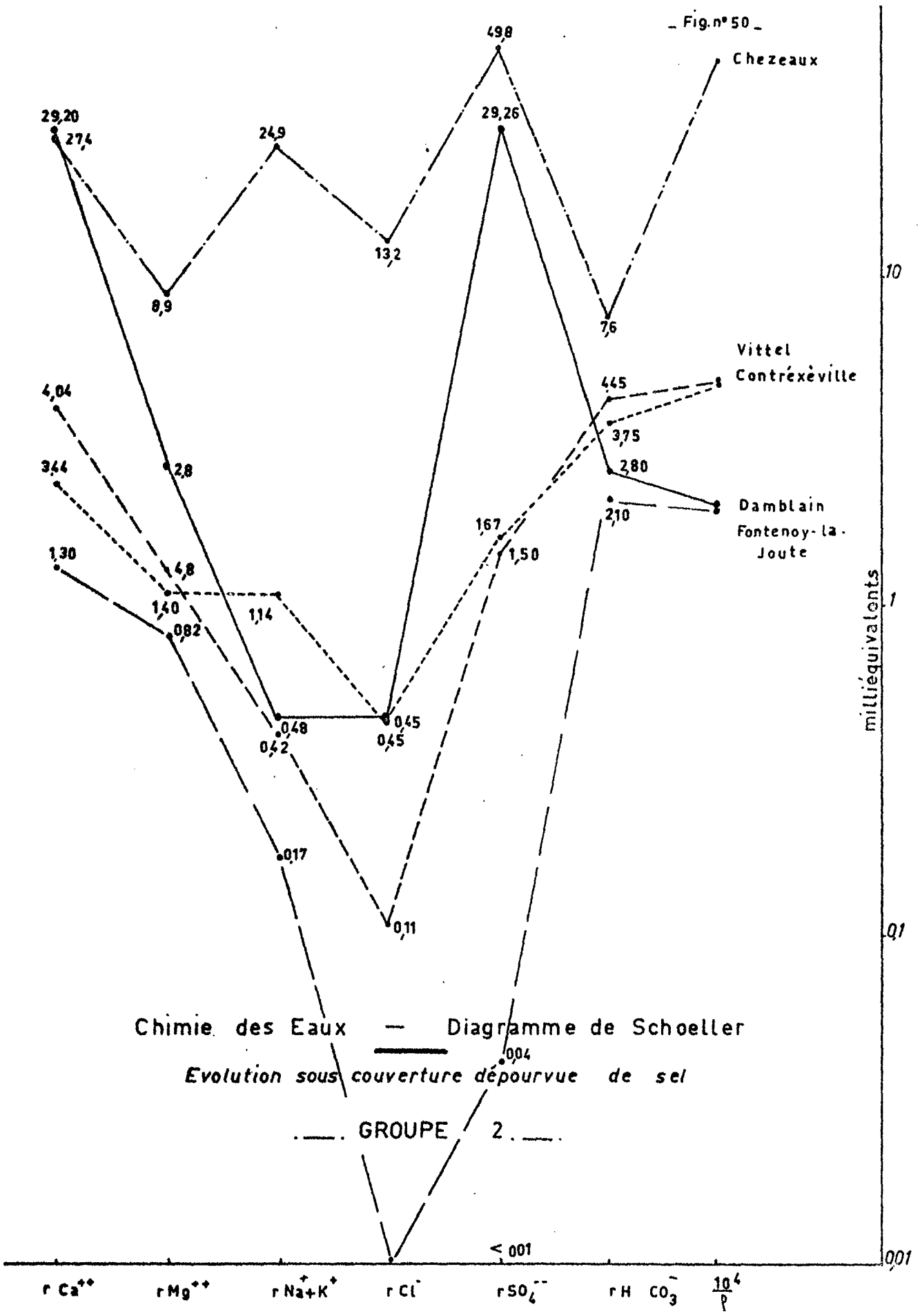
Chimie des eaux — Diagramme de Schoeller

Fig.n°49

Evolution sous couverture contenant du sel

(GROUPE 1)





Chimie des Eaux — Diagramme de Schoeller

Evolution sous couverture dépourvue de sel

GROUPE 2

B) Minéralisation totale et Résistivité

1 - Relation entre Minéralisation totale et Résistivité :

Les deux critères sont étroitement associés puisque la résistivité d'une eau est inversement proportionnelle à la quantité d'ions en solution qu'elle renferme. Nous avons pu mettre en évidence en ce qui concerne les forages au Grès vosgien une relation linéaire entre résidu sec et Résistivité (fig. n° 51).

Elle se traduit par la formule suivante :

$$R = 1\,348 - \frac{6}{11}\,\rho$$

dont les paramètres sont :

R = résidu sec en mg/l

ρ = résistivité en ohm . cm .

Il serait illusoire d'étendre cette relation à des eaux dont la minéralisation est faible et dont la résistivité est élevée ; dans ces conditions, la loi n'est plus linéaire et ne répond plus à une formule simple.

2 - Variations horizontales :

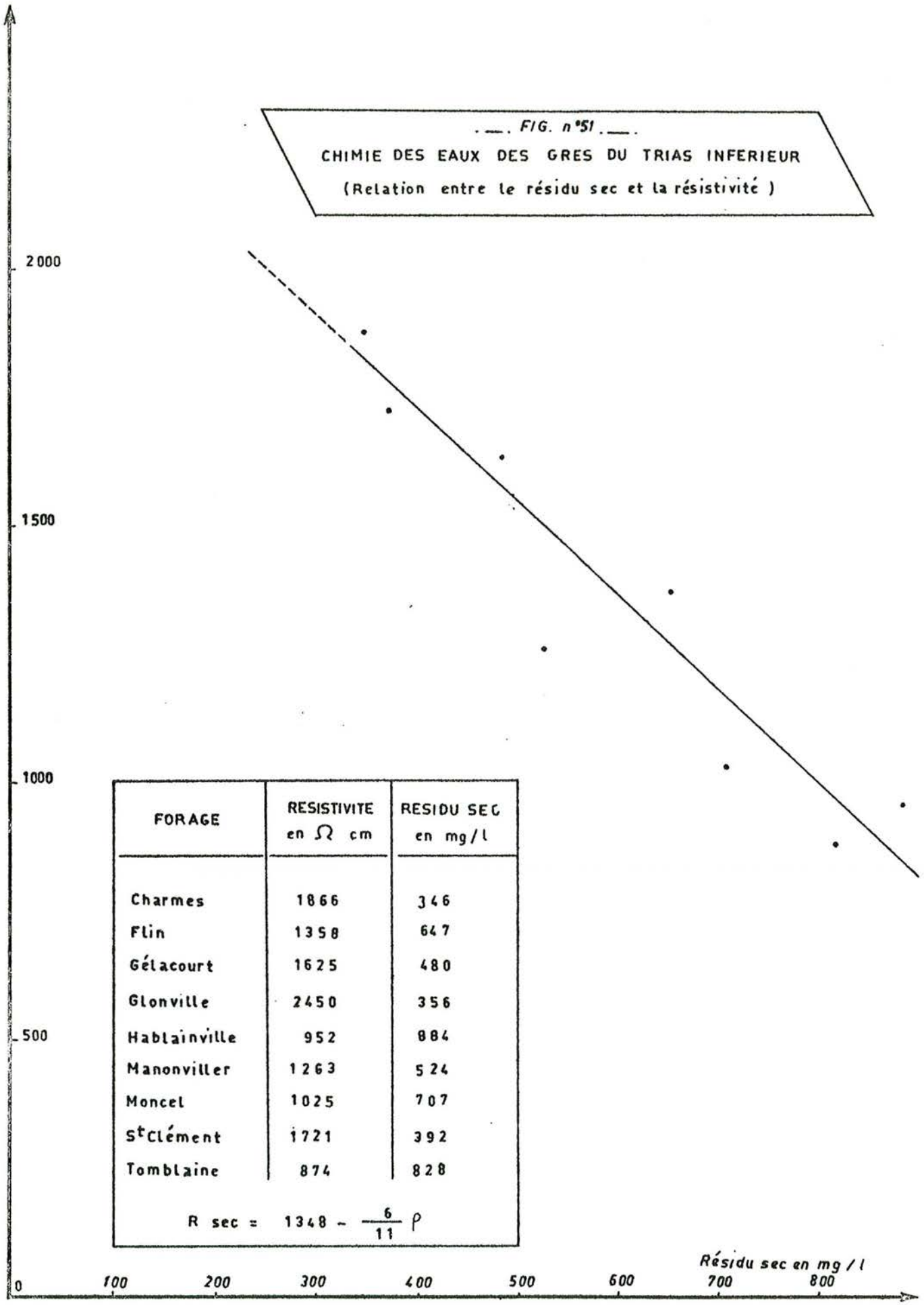
Le résidu sec croît depuis les affleurements jusque dans les zones les plus éloignées où le grès est encore exploité.

C'est ainsi qu'un forage tel que celui qui alimente

. — . FIG. n°51 . — .

CHIMIE DES EAUX DES GRES DU TRIAS INFERIEUR

(Relation entre le résidu sec et la résistivité)



FORAGE	RESISTIVITE en Ω cm	RESIDU SEC en mg/l
Charmes	1866	346
Flin	1358	647
Gélacourt	1625	480
Glonville	2450	356
Hablainville	952	884
Manonviller	1263	524
Moncel	1025	707
St Clément	1721	392
Tomblaine	874	828

$$R_{sec} = 1348 - \frac{6}{11}\rho$$

Fontenoy-la-Joute produit une eau dont les caractéristiques sont très voisines de celles des sources du Grès vosgien. Le résidu sec ne dépasse pas 125 mg/l. Si l'on descend la vallée de la Meurthe, on trouve successivement les forages de

- *Flin : 647 mg/l*
- *Moncel-les-Lunéville : 707 mg/l*
- *Tomblaine : 828 mg/l.*

Plus à l'ouest encore, la minéralisation totale des eaux de Nancy-Thermal dépasse 5 g/l.

3 - Variations verticales au forage de Nancy-Thermal n°3

Ce phénomène a été observé de longue date puisque Van Werveke note des variations importantes de la minéralisation de l'eau de certains forages implantés sur l'anticlinal sarro-lorrain. Le tableau ci-dessous résume ces données :

FORAGES	Résidu sec en g/l	
	minimum	maximum
Eply	2,540	4,150
Lesménils	2,827	7,178
Château de Dombasle	4,188	4,618

La mise en oeuvre d'un micromoulinet au forage de Nancy-Thermal n° 3 a mis en évidence des variations importantes de la participation de chaque niveau à la production

d'eau totale. (Voir Chapitre II, fig n° 38). Dans ces conditions, il était intéressant de savoir si ces niveaux hydrodynamiquement individualisés pouvaient aussi être caractérisés par la chimie des eaux qu'ils produisaient.

C'est dans ce but que quatre prélèvements ont été réalisés aux profondeurs de 900 m, 850 m, 800 m et 750 m dans le puits tubé et cimenté jusqu'à 734,50 m, le Grès étant découvert entre 734,50 m et 923 m. Un cinquième prélèvement en surface correspond à l'eau qui aurait été prélevée à 734,50 m de profondeur, sabot de la colonne tubée.

Cet échantillonnage a été effectué par la Société de Prospection Electrique Schlumberger grâce à des flacons de prélèvement descendus par l'intermédiaire d'un câble et dont l'ouverture, le remplissage et la fermeture étaient commandés depuis la surface quand la profondeur souhaitée était atteinte.

Les résultats des analyses sont rapportés dans le tableau ci-après .

Déterminations	N° 1 à -900m à 15h30	N° 2 à -850m à 20h00	N° 3 à -800m à 21h00	N° 4 à -750m à 22h20	N° 5 en surface à 9h15
Résistivité (ohm.cm)	48	55	60	71	85
Fer (Fe^{++}) (mg/l)	6,84	7,12	5,24	4,60	4,08
Chlorures (Cl^{-}) (mg/l)	8100	7100	6500	5400	4400
Sulfates (SO_4^{--}) (mg/l)	168	156	131	123	119
Dureté totale (degrès français)	392	347	314	266	220
Calcium (Ca^{++}) (mg/l)	1440	1288	1152	976	800
pH	7,30	7,20	7,10	7,15	6,40
Sodium (Na^{+}) (mg/l)	3160	2750	2420	1960	1720
Potassium (K^{+}) (mg/l)	111	96	95	81	71,5

Si le volume restreint des échantillons (330 cm^3) n'a pas permis de faire des analyses chimiques complètes, les données recueillies ont pu être complétées en calculant le résidu sec comme le montre le tableau ci-après où figurent :

Colonne n° 1 :
Profondeur de prélèvement en mètre ;

Colonne n° 2 :
Résistivité mesurée sur l'échantillon ;

Colonne n° 3 :
Résidu sec estimé en Nacl d'après "Log Interpretation Charts - Schlumberger". Il exprime la minéralisation d'une eau supposée exclusivement chargée en NaCl ayant la même résistivité que l'eau de l'échantillon qui contient bien d'autres ions en solution.

Colonne n° 4 :
Minéralisation corrigée en g/l : La valeur obtenue dans la colonne 3 est une valeur approchée. Tous les paramètres de l'échantillon prélevé en surface sont connus. Celui-ci est équivalent à un échantillon prélevé à la profondeur de 734,50 m. Il a donc été possible d'introduire un coefficient de correction que nous supposerons linéaire. Nous l'appliquerons aux autres résidus secs exprimés en équivalents NaCl. Le résidu sec calculé pour l'échantillon de surface étant de 7,3 g/l et le résidu sec mesuré étant de 8,3 g/l, le coefficient de correction est $K = \frac{8,3}{7,3}$. *Il suffit alors d'appliquer aux autres*

résidus secs calculés ce facteur correctif $K = \frac{8,3}{7,3}$ pour obtenir la minéralisation totale corrigée qui doit s'approcher beaucoup du résidu sec exact.

Profondeur du Prélèvement	Résistivité mesurée Ohm . cm	Minéralisation totale exprimée en g/l de Nacl	Minéralisation corrigée exprimée en g/l
1	2	3	4
734,5	85	7,3	8,3
750,00	71	8,5	9,7
800,00	60	10	11,4
850,00	55	11	12,5
900,00	48	13,6	15,5

Interprétation : L'échantillon prélevé en trou ouvert à une profondeur donnée dans l'aquifère est un mélange des eaux de qualité chimique différente, produites par les horizons sous-jacents. En d'autre terme, sa minéralisation représente la moyenne des minéralisations des eaux produites par chaque niveau, pondérée par la valeur du débit. Les débits sont connus grâce au débit-mètre, ainsi que la minéralisation moyenne calculée pour 5 niveaux différents. On en déduit facilement la minéralisation moyenne de l'eau issue des niveaux compris entre deux cotes de prélèvement successives. Elle ressort du tableau ci-après où les colonnes ont la signification suivante :

Colonne n° 1 :

Profondeur du prélèvement en mètre.

Colonne n° 2 :

Résidu sec du prélèvement à la profondeur Zn soit R_{zn} *en g/l ;*

Colonne n° 3 :

Débit mesuré à la profondeur Z_n *soit* Q_{zn} *en pourcentage du débit total ;*

Colonne n° 4 :

Débit calculé entre les profondeurs Z_n *et* Z_{n+1} *;*
soit $Q_{zn,zn+1} = Q_{zn+1} - Q_{zn}$

Colonne n° 5 :

Minéralisation moyenne de l'eau produite entre les profondeurs Z_n *et* Z_{n+1} *soit :*

$$R_{zn,zn+1} = \frac{Q_{zn+1}\ R_{zn+1} - Q_{zn}\ R_{zn}}{Q_{zn,zn+1}} \text{ en g/l}$$

Profondeur Z_n en m	Résidu sec du prélèvement à la prof. Z_n en g/l	Débit mesuré en Zn enpourcentage	Débit calculé entre Z_n et Z_{n+1} enpourcentage	Minéralisation de l'eau produite entre Z_n et Z_{n+1} en g/l
1	2	3	4	5
Z_5 = 734,50	8,3	100		
			28	4,7
Z_4 = 750	9,7	72		
			20	5,25
Z_3 = 800	11,4	52		
			17	9,15
Z_2 = 850	12,5	35		
			35	12,5
Z_1 = 900	15,5	0		
			0	15,5
Z_0 = 923	15,5	0		

Il apparaît que la minéralisation des eaux de la nappe du Grès vosgien observée au forage de Nancy-Thermal n° 3 croît avec la profondeur. Elle est de 4,7 g/l à la base même du Conglomérat principal et atteint 15,5 g/l dans les niveaux très peu aquifères des conglomérats de base de la formation.

Application pratique : La minéralisation moyenne de l'eau du forage de Nancy-Thermal n° 3 produite par les niveaux compris entre les profondeurs de 734,50 m et de 924,50 m était de 8,3 g/l.

On pouvait espérer, en éliminant par cimentation les eaux de la base de la formation, améliorer considérablement la qualité chimique de l'eau exhaurée comme le laisse prévoir le tableau ci-après. Nous y avons figuré :

Colonne n° 1 :
Profondeur Z_n ;
Colonne n° 2 :
Identique à la colonne n° 4 du tableau précédent ;
Colonne n° 3 :
Identique à la colonne n° 5 du tableau précédent ;
Colonne n° 4 :
Minéralisation de l'eau produite après la pose d'un bouchon de ciment obturant le fond jusqu'à la profondeur Z_n, soit Rb_{zn}.

La relation de récurrence qui permet de calculer Rb_{zn} est :

$$Rb_{zn} = \frac{Rb_{zn-1} - R_{zn,zn-1} \times Q_{zn,zn-1}}{100}$$

La valeur connue de Rb_{zn} correspondant à la minéralisation moyenne de l'eau produite entre 734,50 et 924 m, soit 8,3 g/l, est le point de départ de ce calcul.

Profondeur Z_n	*Débit calculé entre Z_n et Z_{n+1}*	*Minéralisation de l'eau produite entre Z_n et Z_{n+1}*	*Minéralisation de l'eau produite après pose d'un bouchon à la profondeur Z_n*
1	*2*	*3*	*4*
Z_5 = 734,50			
	28 %	4,7 g/l	
Z_4 = 750			4,7 g/l
	20 %	5,25g/l	
Z_3 = 800			4,9 g/l
	17 %	9,15g/l	
Z_2 = 850			6,04 g/l
	35 %	12,5 g/l	
Z_1 = 900			8,3 g/l
	0 %	15,5 g/l	
Z_0 = 924			

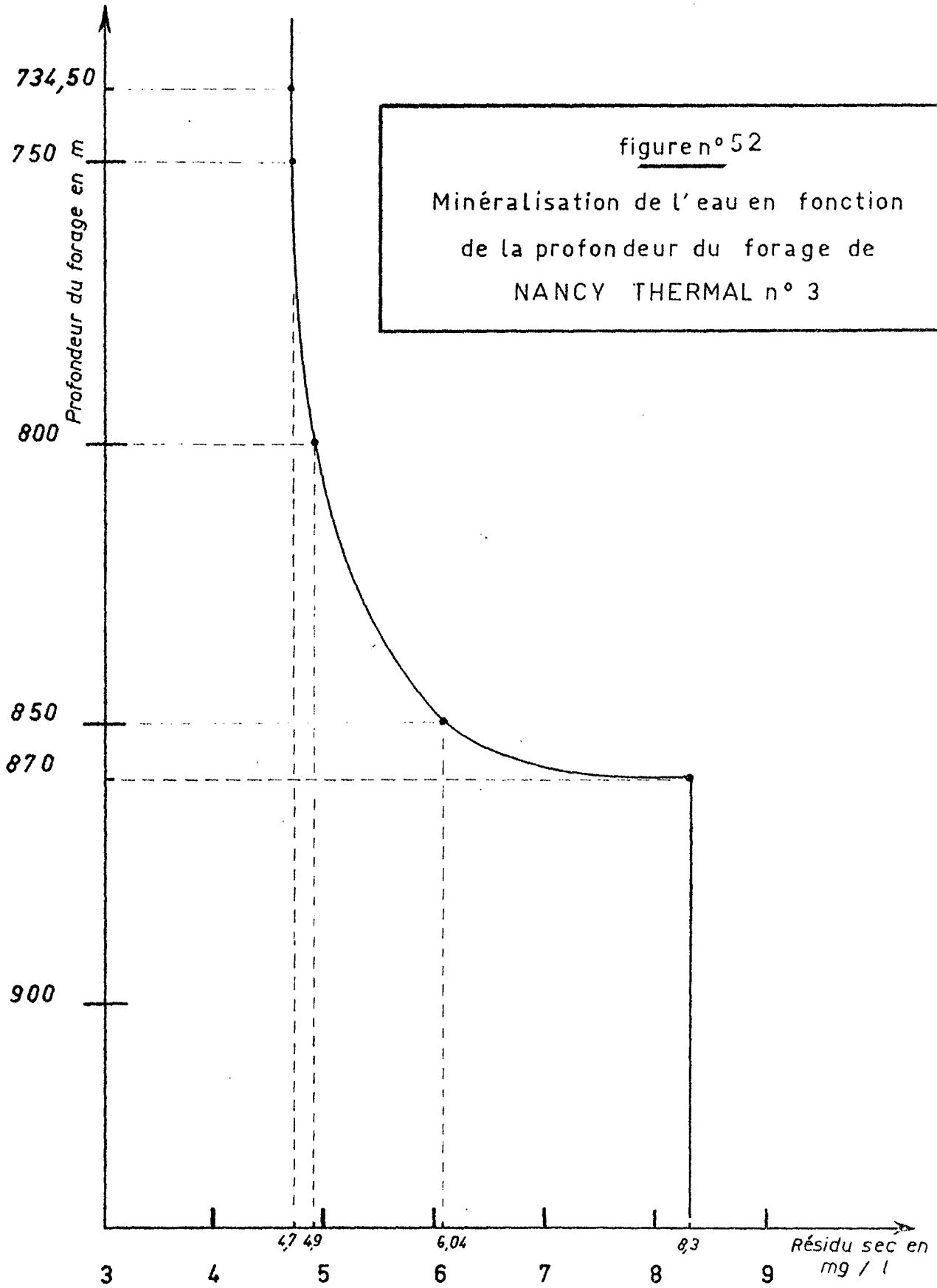
Un graphique donnant la minéralisation de l'eau produite en fonction de la profondeur du forage ou du bouchon de ciment résume ce tableau (fig. n° 52).

En définitive, le fond de l'ouvrage a été cimenté entre les profondeurs de 924 et de 855,25 m, compromis entre une minéralisation moyenne et une perte de débit assez faible.

Fig n° 52

figure n° 52

Minéralisation de l'eau en fonction de la profondeur du forage de NANCY THERMAL n° 3



Après opération, les modifications constatées se sont matérialisées par les résultats d'une nouvelle analyse chimique reproduite ci-dessous :

A N A L Y S E	avant cimentation	après cimentation
pH	7,08	7,0
Résistivité (Ohm.cm)	85	135
Résidu sec (mg/l)	8 320	5 037
Dureté (degrés français)	218,4	134,0
HCO_3^- (mg/l)	189	195
SO_4^{--} (mg/l)	115	119
Cl^- (mg/l)	4 450	2 650
Ca^{++} (mg/l)	812	475
Mg^{++} (mg/l)	37,5	37
Na^+ (mg/l)	2 000	1 208
K^+ (mg/l)	70	52

(d'après les analyses de l'Institut de Recherches Hydrologiques de Nancy).

C) Sulfates et Magnésium

1 - Dans les ouvrages de la vallée de la Meurthe, les teneurs peu élevées en Mg^{++} et SO_4^{--} semblent varier dans le même sens. Une mise en solution du Magnésium contenu sous forme de très rares cristaux de dolomie au sein même du grès serait à l'origine de ce phénomène. Il en serait de même

pour le soufre, résultat de l'oxydation de la pyrite.

Entre Nancy et la zone des affleurements, les variations sont faibles comme le montre le tableau ci-dessous :

FORAGE	Sulfates SO_4^{--} en mg/l	Magnésium Mg^{++} en mg/l
Nancy-Thermal	115	37
Essey-les-Nancy	112	19
Manonvillers	59	24
Fontenoy-la-Joute	25	28

N.B. : Les variations verticales des teneurs en ces deux éléments sont nulles au forage de Nancy-Thermal n° 3.

2 - Dans la région de Vittel et Contrexéville, on assiste, du fait de l'exploitation intensive de la nappe, à un lessivage complet de l'aquifère. Il se traduit, en chaque point de prélèvement, par une baisse lente mais certaine du taux des sulfates (Observations de G. Minoux).

3 - Les régions de biseaux et les forages de Chezeaux et Damblain :

Dans la zone de Nancy, la puissance de la série gréseuse était telle que la chimie des terrains encaissants n'avait guère d'influence sur la minéralisation en Mg^{++} et SO_4^{--}. Il n'en est plus de même dans les zones de biseaux. Les analyses chimiques de l'eau des forages de Chezeaux et

de Damblain, reproduite ci-après, en témoignent.

Forage / Analyse	Forage de Chezeaux	Forage de Damblain	
		Avant traitement	Apres passage sur une résine échang. d'ions
pH	6,9	7,10	6,75
Résistivité (Ohm.cm)	220	477	
Dureté totale (degrés français)	181,5	160,6	7,2
Résidu sec (mg/l)		2 490,0	
Ca^{++} (mg/l)	548	587	26,5
Mg^{++} (mg/l)	106	34	1
Na^{+} (mg/l)	560	11	1,5
K^{+} (mg/l)	21,5		0
SO_4^{--} (mg/l)	2 350	1 405	1
Cl^{-} (mg/l)	470	16	2
HCO_3^{-} (mg/l)	461	162	85,5
Fer (mg/l)		0,26	0,07

La présence d'anhydrite, de gypse et de dolomie extrêmement abondants tant dans les terrains encaissants que dans le ciment du grès lui-même semble être le principal responsable de la teneur élevée en Sulfate et en Magnésium.

Remarque : L'eau du forage de la base aérienne de Damblain est utilisée après traitement sur des résines échangeuses d'ions. Le coût élevé de cette opération ne permet pas d'envisager l'application à des usages civils.

D) Calcium

Pratiquement absent dans l'eau des sources issues du Grès vosgien, le calcium est toujours présent en petite quantité dans l'eau exhaurée par les forages. La teneur en Ca^{++} semble croître régulièrement avec la minéralisation totale.

Les analyses chimiques donnent les chiffres suivants :

FORAGE	Ca^{++} en mg/l	Dureté totale en dègrés français	Résidu sec en mg/l
Nancy-Thermal	812	134,0°	5 037
Champigneulles	185	55,4°	2 200
Tomblaine	51,0	19,5°	828,0
Manonvillers	42	20,5°	524,0
Fontenoy-la-Joute	29,0	10,7°	135
Source du grès vosgien	4,0	1,5	38

E) Sodium et Chlorures

La minéralisation en Na^{+} et Cl^{-} en fonction de la distance aux affleurements évolue suivant deux modes différents :

- *Il semble que l'on puisse mettre en évidence une variation régulière identique à celle des sulfates et du magnésium. Elle résulte de mises en solution d'éléments contenus dans l'aquifère lui-même ou dans sa couverture.*

Pour les forages de la vallée de la Meurthe, on observe cette augmentation régulière, de l'est vers l'ouest, jusque dans la région de Nancy et plus précisément jusqu'au forage d'Essey-les-Nancy.

Forage	*Sodium* Na^+ *en mg/l*	*Chlorure* Cl^- *en mg/l*
Fontenoy-la-Joute	*1,6*	*0*
Saint-Clément	*43*	*52*
Bienville-la-Petite	*46*	*106*
Essey-les-Nancy	*236*	*314*

- *Une solution de continuité apparaît, orientée suivant l'axe de la vallée de la Meurthe dans la région de Nancy. Elle correspond à une élévation brutale des teneurs en* Na^+ *et* Cl^- *entre les forages situés de part et d'autre de la Meurthe, Essey-les-Nancy, Tomblaine et Agincourt d'une part, Nancy-Thermal n° 3 et Champigneulles d'autre part :*

Forage	Sodium Na^+ en mg/l	Chlorure Cl^- en mg/l
Essey-les-Nancy	236	314
Agincourt	206	230
Tomblaine	213	285
Nancy-Thermal n° 3	1 208	2 650
Champigneulles	456	940

F) Le Fer

L'importance de cet élément est considérable. Sa présence en plus ou moins grande quantité peut compromettre l'exploitation de la nappe dans des conditions techniques et économiques acceptables. Une première observation doit être faite. Elle est essentiellement valable pour les forages anciens : ceux-ci produisent toujours du fer. Il est probable qu'une proportion non négligeable sinon la presque totalité de celui-ci provient des tubages, corrodés par les eaux chargées en HCO_3^- et en CO_2 libre agressif. Rappelons à ce propos la disparition partielle du tube du forage de Nancy-Thermal n° 2.

Remarquons simplement que le "casing" d'un forage tel que celui de Nancy-Thermal pèse environ 40 tonnes et que la quantité de fer exhaurée en 25 ans, au rythme de 1,5 mg par litre et 80 m^3/h ne représente guère plus de 25 tonnes. Il est donc inutile de rechercher l'origine du fer dans l'aquifère, le tube lui-même en constitue une réserve suffisante.

La teneur en fer de l'eau du forage de Nancy-Thermal n° 3 était de 4 à 7 mg/l lors des prélèvements par la SPE Schlumberger en octobre 1966. Elle est tombée à 0,37 mg/l dans une analyse exécutée en décembre 1966 après élimination du fer présent dans le trou sous forme de fragments métalliques arrachés à l'outil de forage, d'oxydes recouvrants le casing, etc.

Le même phénomène a pu être observé au forage d'Einville :

Date de l'analyse	*4-10-66*	*21-10-66*	*1967*
Fe^{++} *en mg/l*	*0,36*	*0,48*	*0,05*

Il ne faudrait certainement pas conclure à l'absence complète de fer dissous dans les conditions naturelles du gîte de la nappe. Malgré l'absence de données comparables, il semble que la quantité de fer présente dans l'eau des forages récents, équipés en acier semi-inoxydable et ne captant que les eaux du Grès vosgien proprement dit, soit inférieure à celle que l'on peut observer dans les forages anciens qui prennent leurs eaux à la fois dans le Grès à Voltzia et les Couches intermédiaires.

Le fer propre à la nappe pourrait avoir deux origines :

- *l'oxydation des pyrites qui libère non seulement des sulfates mais aussi du fer ;*
- *le départ du fer des biotites qui apparaissent souvent décolorées en lame mince avec du fer dans les*

clivages (voir fig. n° 11, p. 69).

Le premier phénomène rend compte de la présence du fer dans le Grès à Voltzia où la pyrite se distribue de manière assez homogène. Le second serait relatif au Grès vosgien proprement dit. Les irrégularités de la sédimentation détritique et de celle des micas en particulier expliquent les variations de la teneur en fer des eaux produites dans les différents forages.

G) Les gaz dissous

Les données relatives aux gaz dissous sont peu abondantes. Une analyse ancienne au forage de Nancy-Thermal n° 1, effectuée vers 1910, donne les proportions suivantes :

Azote	:	96,36 %
Gaz Carbonique libre	:	1,75 %
Argon	:	1,29 %
Helium	:	0,60 %

Il n'apparaît pas d'oxygène dans cette analyse. Ce déficit explique la précipitation du fer ferreux en fer ferrique quand l'eau arrive au contact de l'air.

Le gaz carbonique libre est toujours présent en faible quantité et confère à l'eau, avec l'ion Cl^-, son caractère agressif.

UNIVERSITÉ NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE SCIENCES

III - ZONES REGIONALES DE MINERALISATION

A) Evolution de la chimie des eaux

Nous avons reporté sur un diagramme triangulaire les teneurs relatives en milliéquivalents Ca^{++}, Mg^{++} et $Na^{+} + K^{+}$ des eaux issues des forages (fig. n° 53). Aucune solution de continuité n'apparaît entre les points représentatifs des eaux issues du Grès à Voltzia et des Couches intermédiaires et de celles issues exclusivement du Grès vosgien.

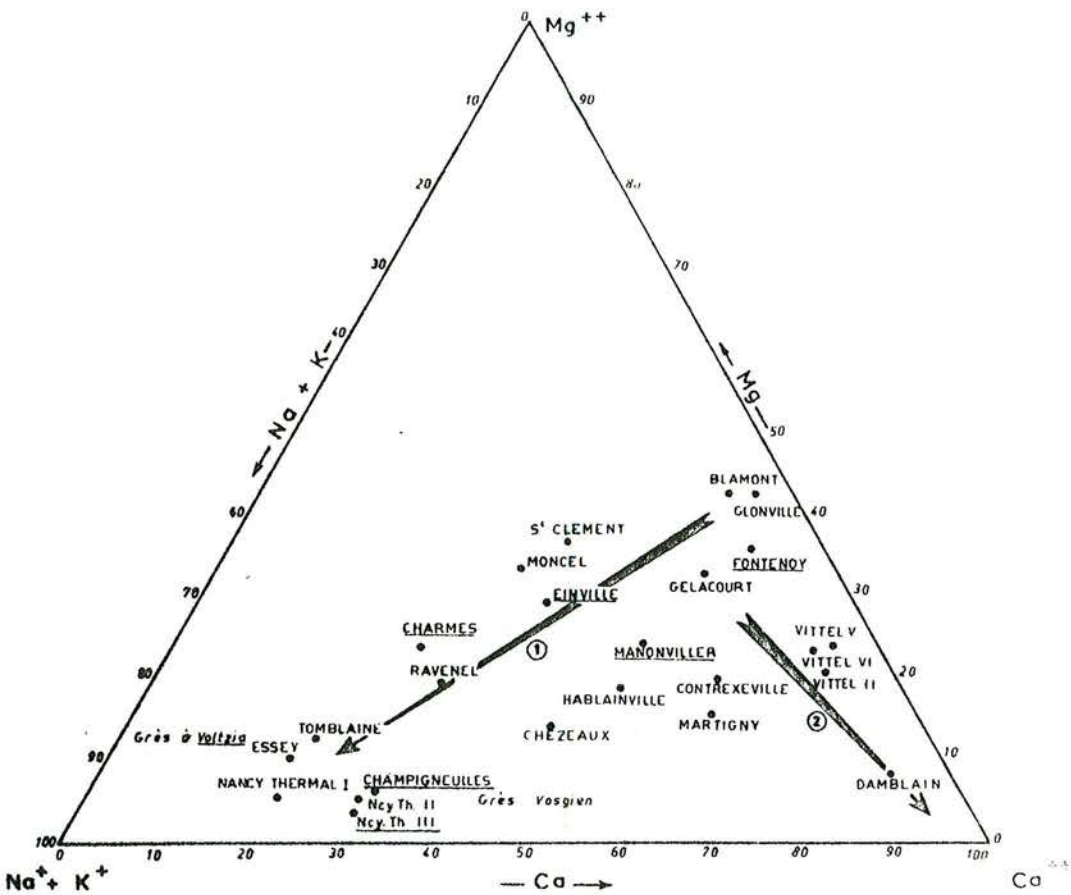
Si aucun critère de cette nature ne peut être mis en évidence, il apparaît néanmoins que l'on peut individualiser deux groupes de forages correspondant à deux modes d'évolution de la chimie des eaux en fonction de la distance aux affleurements

- Le premier groupe comprend les forages suivants (groupés en fonction de leur distance aux affleurements en commençant par les plus rapprochés)

  . Blâmont, Fontenoy-la-Joute, Gelacourt, Glonville ;
  . Einville, Hablainville, Manonvillers, Moncel-les-Lunéville, Saint-Clément ;
  . Charmes, Ravenel ;
  . Champigneulles, Essey-les-Nancy, Nancy-Thermal, Tomblaine.

Fig. n° 53 DIAGRAMME TRIANGULAIRE

Ca^{++} _ Mg^{++} _ Na^{+} + K^{+}



EVOLUTION DE LA CHIMIE DES EAUX EN FONCTION DE LA DISTANCE AUX AFFLEUREMENTS

① sous couverture contenant du sel

② sous couverture exempte de sel

EINVILLE Forage ne captant que la zone du Grès Vosgien

- Le second groupe est constitué par les forages de

. Blâmont, Fontenoy-la-Joute, Glonville ;
. Contrexéville, Vittel, Montigny ;
. Damblain.

Les forages du premier groupe sont caractérisés par une couverture contenant du sel. La chimie de leurs eaux évolue vers le pôle alcalin au fur et à mesure que l'on s'éloigne des affleurements.

Dans le second cas, elle tend vers le pôle calcique, la couverture étant dépourvue de Sodium et de Potassium, exprimés sous forme d'évaporites.

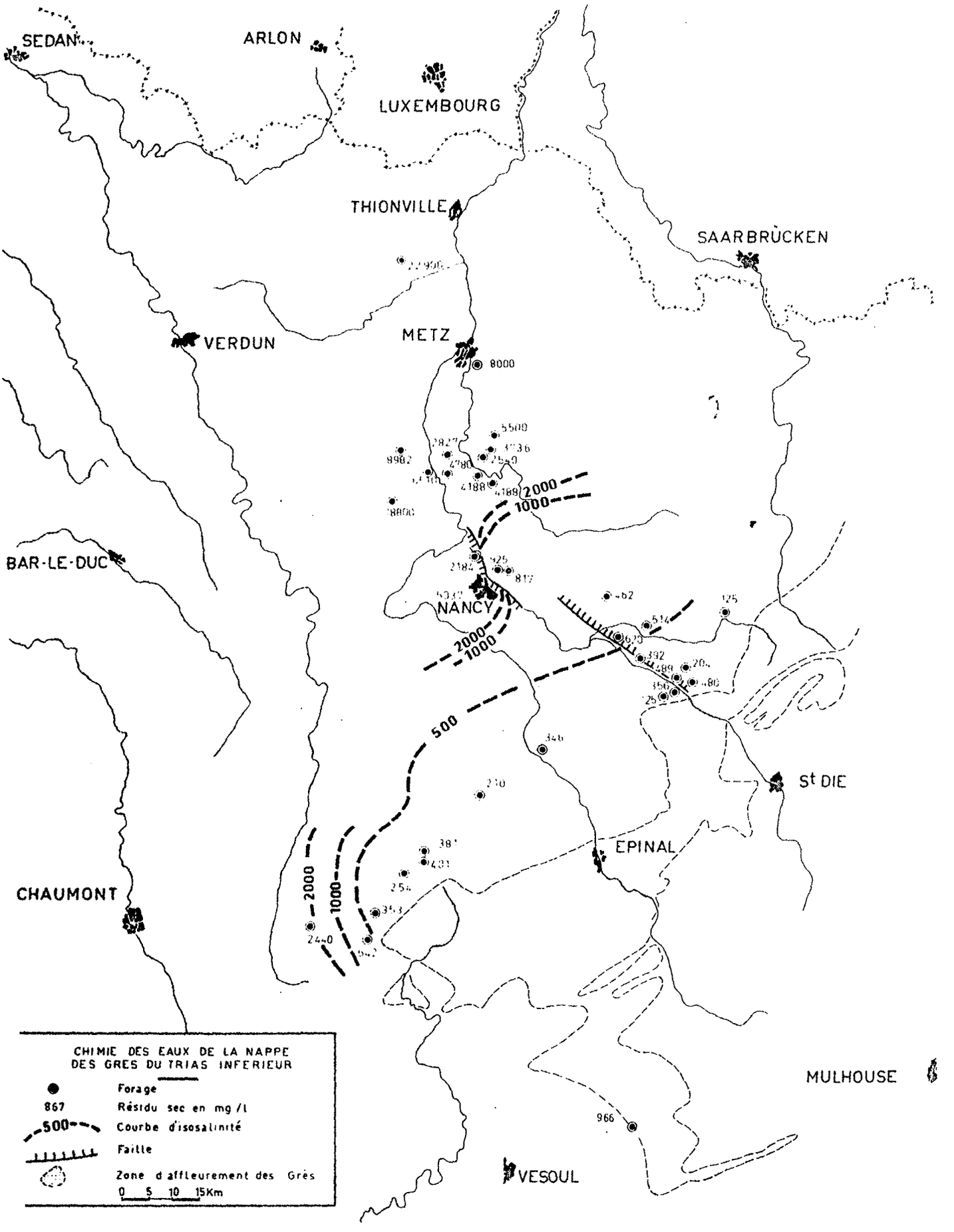
B) Les zones régionales de minéralisation

Nous avons distingué cinq zones dans lesquelles la minéralisation de l'eau des Grès du Trias inférieur va croissant (fig. n° 54).

- La première zone, à l'intérieur de laquelle le résidu sec de l'eau ne dépasse pas 0,5 mg/l correspond à la zone des affleurements. Elle se prolonge vers l'ouest par le domaine où la couverture sédimentaire ne dépasse pas une cinquantaine de mètres.

- La plupart des forages sont implantés dans la deuxième zone. Celle-ci est définie par une minéralisation globale comprise entre 0,5 et 1 g/l. Dans la région de Nancy, elle est limitée strictement vers l'ouest par la faille de la Meurthe. Son extension vers le nord reste plus imprécise.

fig.n°54


SEDAN
ARLON
LUXEMBOURG
THIONVILLE
SAARBRÜCKEN
VERDUN
METZ
8000
BAR-LE-DUC
NANCY
2000
1000
500
St DIE
EPINAL
CHAUMONT
MULHOUSE
VESOUL
966
CHIMIE DES EAUX DE LA NAPPE
DES GRES DU TRIAS INFERIEUR
Forage
867 Résidu sec en mg/l
500 Courbe d'isosalinité
Faille
Zone d affleurement des Grès
0 5 10 15Km

- *Dans la troisième zone, l'eau du Grès vosgien reste exploitable pour des besoins particuliers : industriels, sportifs, etc. Le secteur s'étend à l'ouest de la faille de la Meurthe et on y trouve les forages de Nancy-Thermal et de Champigneulles. Le résidu sec des eaux y est compris entre 1 et 5 g/l.*

- *La quatrième zone est caractérisée par une minéralisation supérieure à 5 g/l. Elle correspond au toit de l'anticlinal sarro-lorrain et se développe au nord de ce dernier. (forages de Metz, du Bois Chaté et de Mondorf).*

- *Les zones de biseaux où la minéralisation peut être très élevée ont été reconnues par quelques forages de reconnaissance (Chezeaux, par exemple) et par les forages pétroliers exécutés à l'ouest du département de Meurthe et Moselle.*

IV - LES PROBLEMES DE CORROSION

Toutes les variations brutales de la minéralisation des eaux exhaurées par un forage et constatées à ce jour n'ont eu qu'une seule et même origine, dûment vérifiée : la corrosion du tubage.

Plusieurs mécanismes sont à mettre en cause pour en trouver l'origine. Ce sont :

- l'action agressive des eaux,
- l'attaque du ciment et du tube au niveau des terrains salifères,
- les phénomènes de corrosion anodique.

A) Agressivité des eaux exhaurées

1 - Mise en évidence :

Elle se traduit sur un forage comme celui de Nancy-Thermal n° 2, équipé en 1940, par la disparition totale en 25 ans du tubage en acier APS 10. Ce phénomène a été constaté en 1964 lors d'un contrôle par télévision industrielle. Seule la gaine de ciment mise en place à l'extrados du tube maintenait le trou ouvert. C'est à la suite de la mise en évidence de cette situation précaire que le programme de forage du puits

de Nancy-Thermal n° 3 a été décidé.

2 - Les causes :

Les causes de cette corrosion peuvent être recherchées dans l'agressivité naturelle de l'eau du Grès vosgien vis-à-vis des aciers ordinaires et même des aciers semi inoxydables comme ceux de la série APS. Le gaz carbonique libre, agressif, et l'ion Cl^-, sont les principaux responsables de cette attaque.

3 - Les conséquences :

La première est une disparition à plus ou moins brève échéance du tubage. La seconde, plus grave, se traduit par le fait que, dès la mise en production, on constate une présence anormale de fer dans l'eau exhaurée, fer que l'on peut attribuer, au moins en partie, à l'attaque du tubage par l'eau des grès.

4 - Solution apportée :

Il est indispensable de prévoir dans tout nouveau forage au Grès vosgien un tube et une crépine susceptibles de résister à l'action agressive de l'eau produite. L'emploi d'acier inoxydable passive, type APS 20 pour les crépines, d'acier de type Chromesco 3 pour les tubages, permet de présager pour l'avenir une meilleure tenue des ouvrages.

B) L'attaque du ciment et du tube au niveau des formations salifères

1 - Mise en évidence :

Au début de l'année 1965, la Municipalité de Tomblaine recevait plusieurs réclamations de la part des usagers du réseau d'A.E.P. L'eau distribuée accusait une saveur salée très nette. La minéralisation était essentiellement due à du chlorure de sodium. Une détérioration du tube au niveau du gîte de sel du Keuper, permettant des dissolutions, était probable. Elle était confirmée le 27 mars 1965 grâce à un contrôle par télévision. La photo prise à la profondeur de 273,50 m montre la perforation que l'on peut observer dans le tubage et l'arrivée d'un courant de saumure qui vient se mélanger à l'eau issue des Grès du Trias inférieur.

2 - Les causes :

Il faut envisager successivement l'attaque du ciment et celle du tube. Il est possible d'envisager une discontinuité de la gaine de ciment, mais il est plus probable que la tenue du ciment en milieu salin soit à mettre en cause. En effet, en présence de gypse, un ciment Portland ne peut pas faire prise et se transforme en une masse blanche pulvérulante, encore appelée sel de Candlot, redouté à juste titre par les entrepreneurs de Travaux Publics.

Le sel de Candlot cristallise en longues aiguilles avec une très grande pression de cristallisation. Si sa formation a lieu après la prise du ciment, celui-ci est réduit en poudre. Si l'on a soin d'ajouter du gypse au coulis de ciment, la réaction se produit avant que le ciment n'ait durci et les cristaux de sel de Candlot se comportent comme une

charge inerte.

Après désagrégation et disparition de la gaine de ciment, le tubage n'est plus protégé et son attaque en milieu saumuré peut se faire rapidement.

3 - Conséquences :

Un courant d'eau circulant entre le tube et le terrain va se saturer au contact des terrains salifères et revient minéraliser les eaux en provenance des Grès du Trias inférieur. Au cours de l'été 1966, le résidu sec des eaux exhaurées à Tomblaine dépassait 10 et même 20 g/l, circonstances qui conduisirent à mettre hors service le forage et à le cimenter complètement.

4 - Solution apportée :

Elle réside d'abord dans l'emploi d'un ciment capable de faire prise en milieu saturé en chlorure de sodium et en gypse. On peut faire appel à des ciments sursulfatés ou à des ciments de laitier au clinker, utilisés couramment pour les travaux à la mer et les fondations en terrain gypseux. On peut aussi faire usage d'un ciment à prise rapide HRI fabriqué non pas avec de l'eau mais avec de la saumure pour éviter toute dissolution de sel lors de l'injection du coulis.

La cimentation doit être réalisée dans les meilleures conditions possibles avec le maximum de rapidité. En effet, les turbulences qui se créent lors de la remontée du coulis de ciment entre le terrain et le tube sont d'autant plus fortes que le débit des pompes est plus important. On évite

ainsi les désastreux phénomènes de "Channelling" où l'on voit le ciment circuler dans un étroit chenal à travers la boue sans jamais la chasser complètement.

Dans ces conditions, il est souhaitable de faire appel à des unités mobiles, spécialisées dans la cimentation des forages pétroliers, équipées de pompes à très gros débit et dotées d'un dispositif automatique de conditionnement du coulis de ciment.

Cette cimentation doit faire l'objet de contrôles très stricts. En France et pour la première fois dans le domaine du forage d'eau, nous avons fait appel à la Société Schlumberger pour enregistrer un CBL (Ciment Bond Log).

Le principe de la mesure est le suivant : Un vibreur contenu dans la sonde descend dans le puits. Il émet régulièrement un signal d'amplitude constante. Celui-ci est capté par un récepteur situé quelques mètres en dessous, après avoir parcouru le tubage, dans l'espace compris entre émetteur et récepteur. On mesure l'amplitude du signal reçu. Si le tube est bien cimenté, il vibre peu et l'amplitude du signal est faible ; dans le cas contraire, cette dernière atteint des valeurs beaucoup plus élevées. On reconnaît ainsi avec précision les zones à reprendre et à compléter.

Une autre méthode, mise au point en URSS, consiste à adjoindre au coulis de ciment un traceur radioactif. Après la prise, le triple enregistrement focalisé suivant trois directions à 120° l'une de l'autre d'un Gamma-ray rend compte de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité de l'anneau de ciment qui entoure le tubage.

C) La corrosion électrique

1 - Mise en évidence :

Chaque couche de terrain se comporte comme un élément de pile doté d'une force électromotrice mesurable : il s'agit des enregistrements de polarisation spontanée généralement effectués en même temps que les mesures de résistivité.

Ces courants ne représentent que de faibles potentiels, mais il est indispensable de les prendre en considération à cause de leur action lente mais continue.

2 - Les causes :

Le mécanisme de l'agression est simple : il résulte d'une migration d'ions le long des lignes de courant aboutissant à la destruction partielle ou totale de certaines zones jouant le rôle d'anode (fig. n° 55).

3 - Les conséquences :

Il est permis de supposer que les perforations observées sur un forage tel que celui d'Essey-les-Nancy, après moins de 7 ans d'exploitation, sont dues d'abord à une corrosion électrochimique favorisée par le fait que le tube était constitué d'éléments en acier au cuivre et d'éléments en acier ordinaire. La faible différence de potentiel de l'ordre de quelques dixièmes ou de quelques centièmes de volt créée entre les deux métaux a suffi à mettre en route la corrosion et à provoquer au bout d'un laps de temps relativement court la mise hors service de l'ouvrage.

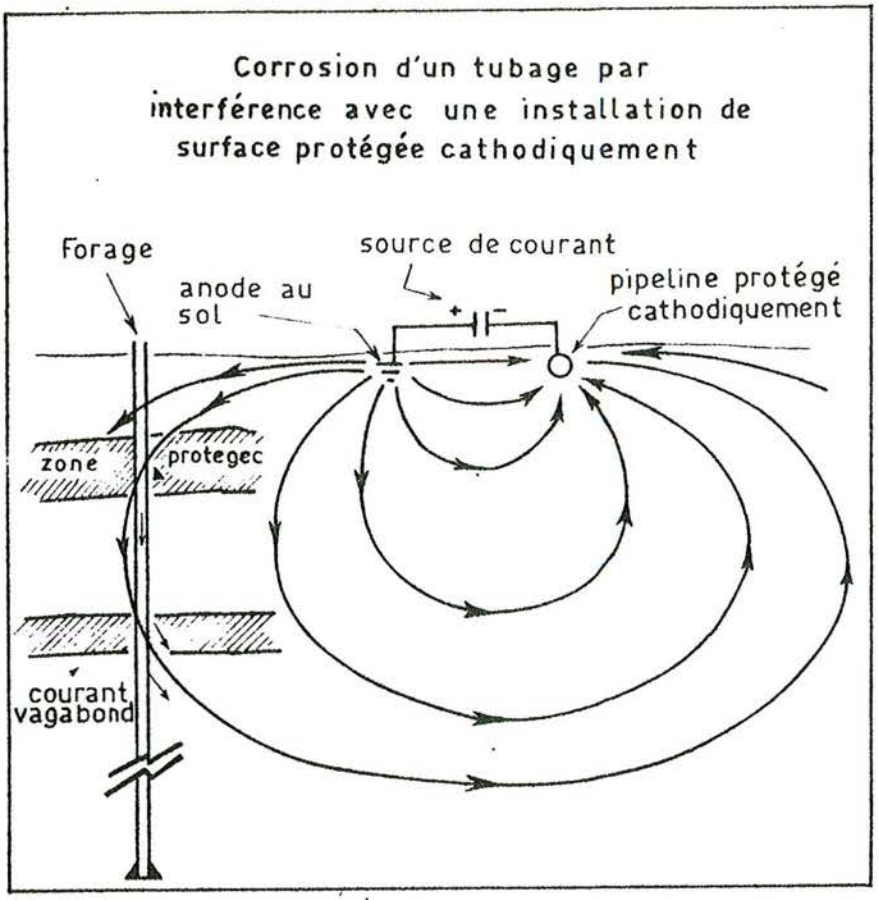
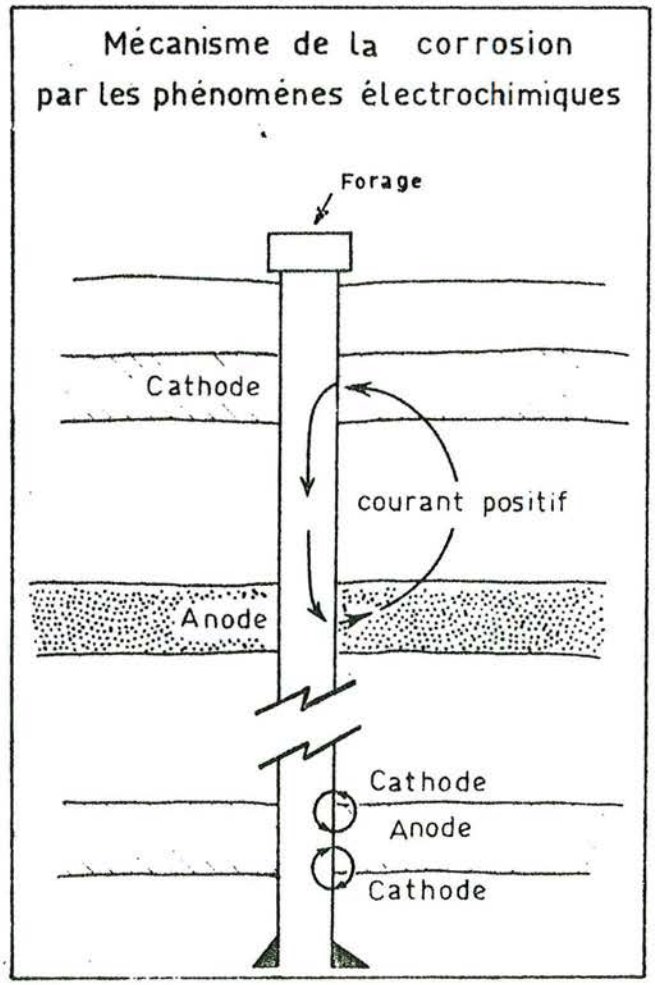


Fig. n° 55



D'après J.M Kilpatrick et L.V. Colling

4 - Solution proposée :

Elle est bien connue dans le cas des conduites de subsurface. Elle consiste à mettre en place un dispositif de protection cathodique doté d'un générateur ou d'électrodes perdues. Dans les deux cas, l'application au forage pose de nombreux problèmes relatifs d'une part à la mise en relation du tubage et des électrodes ou du générateur et d'autre part au remplacement de l'un ou de l'autre de ces deux éléments.

D) Les remèdes :

L'emploi d'acier ou de ciments spéciaux dans l'équipement des forages destinés à capter la nappe des Grès du Trias inférieur s'avère absolument indispensable pour assurer leur protection contre les agents agressifs. Un contrôle très strict de leur mise en oeuvre doit se faire au fur et à mesure de l'avancement du chantier afin d'adapter chaque opération aux conditions particulières imposées par la géologie régionale.

CHAPITRE IV

LE PROBLEME DU BILAN

La carte que nous présentons (fig. n° 56) définit, à l'échelle du 1/500 000, la zone dont nous déterminerons le bilan. Elle recouvre les départements de Meurthe et Moselle et des Vosges.

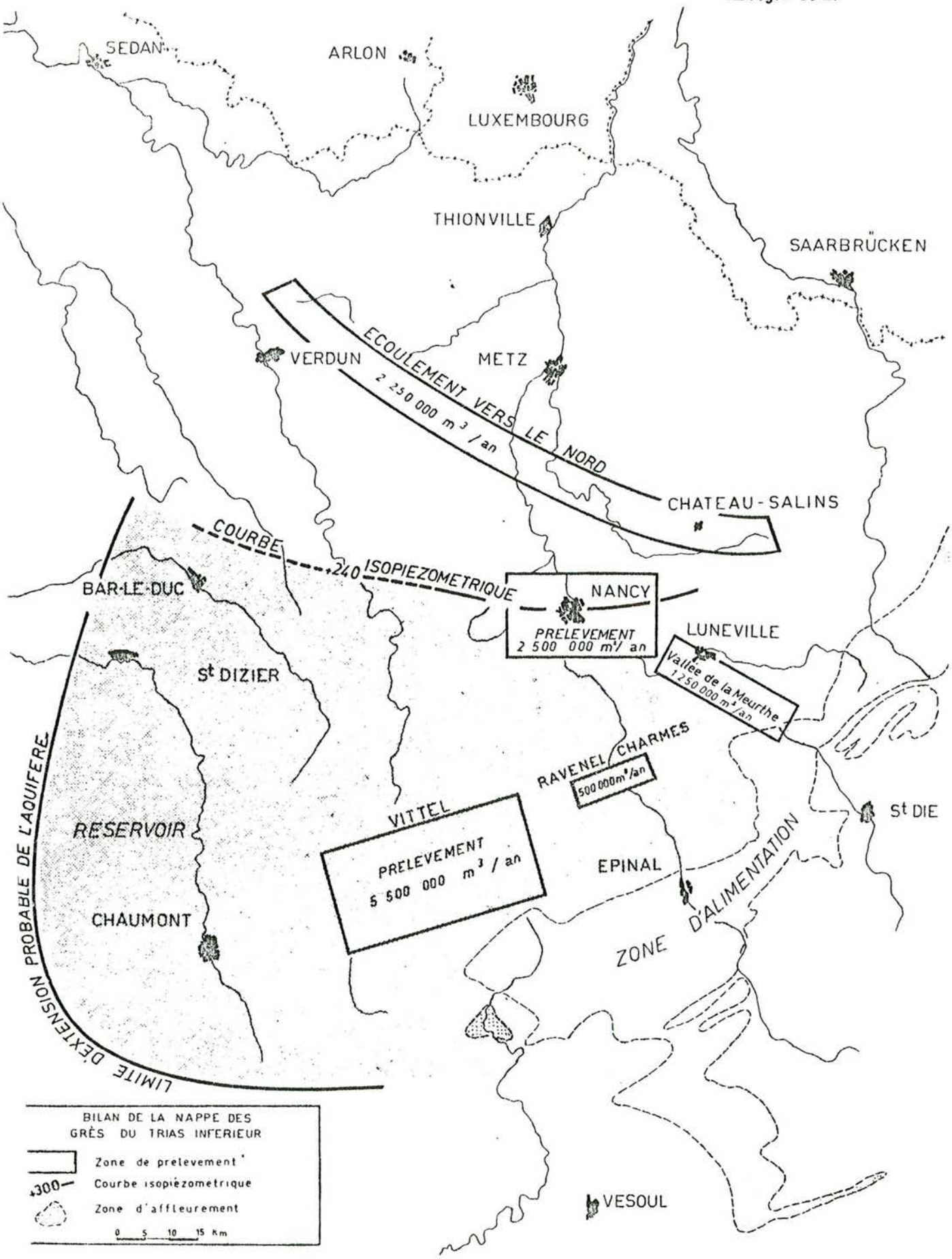
Les limites ouest, sud et est du réservoir sont constituées par les limites naturelles d'extension des Grès du Trias inférieur, limites stratigraphiques à l'ouest et au sud, limite d'érosion à l'est de la zone des affleurements. En direction du nord, nous avons choisi une limite artificielle, la courbe isopiézométrique + 240 m, au-delà de laquelle il n'existe plus de points de prélèvement importants en Meurthe et Moselle.

Le volume total du réservoir est d'environ 3 000 km^3, ce qui, compte tenu d'une porosité moyenne de l'ordre de 20% représente 600 milliards de m^3 d'eau.

Cette eau circule, et elle est renouvelée :

- <u>A l'actif du bilan</u>, les apports sont représentés essentiellement par les précipitations dans la zone des affleurements. La première partie de ce chapitre consacrée à la météorologie nous conduira à donner une estimation de cet actif.

— Fig. n°56 —.


SEDAN
ARLON
LUXEMBOURG
THIONVILLE
SAARBRÜCKEN
VERDUN
METZ
ECOULEMENT VERS LE NORD
2 250 000 m³ / an
CHATEAU-SALINS
COURBE 240 ISOPIEZOMETRIQUE
BAR-LE-DUC
NANCY
PRELEVEMENT
2 500 000 m³/ an
LUNEVILLE
Vallée de la Meurthe
1 250 000 m³/an
St DIZIER
RAVENEL/CHARMES
500 000m³/an
St DIE
VITTEL
PRELEVEMENT
5 500 000 m³ / an
EPINAL
RESERVOIR
CHAUMONT
ZONE D'ALIMENTATION
LIMITE D'EXTENSION PROBABLE DE L'AQUIFERE
VESOUL
BILAN DE LA NAPPE DES GRÈS DU TRIAS INFERIEUR
Zone de prelevement
+300 Courbe isopiézometrique
Zone d'affleurement
0 5 10 15 Km

- *Au passif, nous pouvons inscrire trois facteurs différents ; ce sont :*

  . *les prélèvements sur les forages,*

  . *l'écoulement naturel de la nappe en direction du nord, drainée au-delà de la frontière française par la Moselle et la Sarre,*

  . *le drainage entretenu par la Saône et ses affluents.*

Le problème abordé ne peut être résolu que par l'intégration de nombreux paramètres. Nous étudierons en détail deux des plus importants qui sont : le volume des précipitations et la répartition des températures.

I - DONNEES RELATIVES A LA METEOROLOGIE : LES APPORTS

Alors que la plus grande partie du Bassin de Paris bénéficie d'un climat de type océanique tempéré et doux, le revers ouest des Vosges et le plateau lorrain présentent un certain nombre de caractères originaux qui annoncent le régime continental contrasté qui sévit dans le bassin effondré de la Plaine du Rhin.

En fonction des moyens dont nous disposons en vue de mener à bien cette étude, nous analyserons successivement les éléments relatifs :

- *aux précipitations,*
- *aux températures,*
- *au régime des vents.*

A) Documentation - Stations météorologiques

Les renseignements que l'on peut recueillir proviennent de sources diverses dont l'intérêt est variable : ce sont :

- les stations de l'Office National de Météorologie (O.N.M.)
- les autres stations.

1 - Les stations de l'O.N.M. :

Elles sont installées dans des centres importants (aérodrome) et entretenues par des techniciens spécialisés. La valeur de la documentation ainsi collectée peut difficilement être mise en cause ; elle est adaptée à une activité de service conçue à l'échelle de la France. Il existe trois stations, régulièrement surveillées dans l'ensemble de notre région économique (Nancy-Tomblaine, Langres et Saint-Dizier). Elles ne sont pas assez nombreuses pour permettre d'établir un bilan précis de la pluviométrie adapté aux conditions de notre étude.

2 - Les autres stations :

En dehors de ces stations, il existe d'autres sources d'information :

- Certaines administrations tels la Direction départementale de l'Agriculture (Services du Génie Rural, des Eaux et des Forêts), le Ministère de l'Equipement (Service de la Navigation) et l'Electricité de France (Services de la

Circonscription électrique) disposent souvent de leur propre réseau,

- Les Gendarmeries qui ont mission d'entretenir un pluviomètre et le font parfois,

- Les collaborateurs bénévoles.

Ces observations sont rassemblées en partie par l'O.N.M., mais la qualité et surtout la continuité des informations ainsi recueillies ne sont pas parfaites. Il est en effet difficile d'exiger de la part de collaborateurs bénévoles ou de personnel non spécialisé le travail assidu et désintéressé d'un technicien qualifié qui serait, lui, normalement rémunéré. C'est ainsi que le relevé d'un pluviomètre n'est pas souvent assuré pendant la période des vacances scolaires.

Dans ces conditions, il est rare de pouvoir disposer de séries de mesures continues s'étalant sur une période de plusieurs dizaines d'années. De plus, il apparaît qu'à l'heure actuelle le nombre des stations est sans cesse décroissant.

Ainsi, pour la période 1901-1930, il existait en Meurthe et Moselle 31 pluviomètres (1) *pour lesquels on*

---

(1) *Aboncourt, Allain, Amance, Baccarat, Bayon, Blâmont, Briey, Champigneulles, Croismare, Einville-au-Jard, Foug, Frouard, Haroué, Hussigny-Godbrange, Lunéville, Maxéville, Moncel-sur-Seille, Moriviller, Moyen, Nancy, Neuves-Maisons, Nomeny, Parroy, Pexonne, St-Nicolas-de-Port, Serres, Tomblaine, Toul, Vaudémont, Vézelise, Villey-Saint-Etienne.*

pouvait établir une moyenne trentenaire, contre 6 pour la période 1921-1950 (2).

La situation est comparable dans les autres départements de la région comme le montrent les tableaux ci-dessous :

STATIONS REGIONALES PARTICIPANT A L'ETABLISSEMENT DE LA MOYENNE TRENTENAIRE

PERIODE / DEPARTEMENT	1901-1930	1921-1950
Meurthe et Moselle	31	6
Meuse	19	7
Haute-Marne	?	7
Vosges	30	8

ETAT DU RESEAU D'OBSERVATION DES PRECIPITATIONS EN 1961

(d'après le Bulletin pluviométrique mensuel édité par la Direction de la météorologie nationale).

DEPARTEMENTS	Stations de l'O.N.M.	Stations entretenues par des collaborateurs bénévoles	Superficie en km^2	Densité du réseau en station pour 100 km^2
Haute-Marne	2	29	6257	0,464
Meurthe-&-Moselle	2	16	5280	0,303
Meuse	0	18	6241	0,288
Vosges	0	18	5903	0,305
TOTAL	4	81	23681	0,342

(2) Longuyon, Lunéville, Maidières (Pont-à-Mousson), Nancy-Tomblaine, Pierre-Percée et Toul.

B) Mise en place d'un réseau d'observation complémentaire

Devant l'insuffisance de l'infrastructure actuelle, eu égard aux besoins et devant l'impérieuse nécessité d'y remédier -les circonstances des études en cours y aidant- nous avons envisagé en association avec la Direction Départementale de l'Equipement des Vosges, de compléter le réseau pluviométrique.

En effet, le service des Ponts-et-Chaussées ne disposait pas, jusqu'à présent, d'un système efficace d'annonces des crues. La connaissance précise, au jour le jour et même d'heure en heure, de la conjoncture météorologique et de son évolution constitue la première maille de système d'alerte.

De même, l'étude de la réalimentation de la nappe des Grès du Trias inférieur impose la connaissance de la moyenne annuelle des précipitations.

Dans ce double but, nous avons désiré compléter le réseau de pluviomètres en resserrant la maille d'observation.

Cette opération est en cours actuellement, les pluviomètres ayant été fournis à l'Administration. Plusieurs années d'observation seront nécessaires pour obtenir des résultats cohérents éliminant les lacunes d'information.

C) Etude des précipitations

1 - Variation de la pluviosité avec l'altitude :

Dans une première approche du problème, nous avons porté sur un graphique :

- en abscisse : la moyenne annuelle des précipitations en un point donné ;
- en ordonnée : l'altitude de la station (fig. n° 57)

Il apparaît que la pluviosité croît régulièrement en fonction de l'altitude et nous proposons la formule linéaire suivante :

$$P = \frac{11}{4} A + 185$$

Les paramètres sont :

P = Pluviosité exprimée en mm/an
A = Altitude en m (N.G.F.)

Expérimentalement, il apparaît que cette distribution répondant à une loi linéaire ne doit pas être étendue à des altitudes supérieures à 600 m. En effet, le maximum de précipitations, voisin de 2 000 mm d'eau par an, ne peut être observé qu'en des stations très localisées (ex : le Thillot ou le Lac d'Alfeld). Il semble qu'au-dessus de 600 m la pluviosité n'augmente plus et se stabilise autour de 1 800 mm.

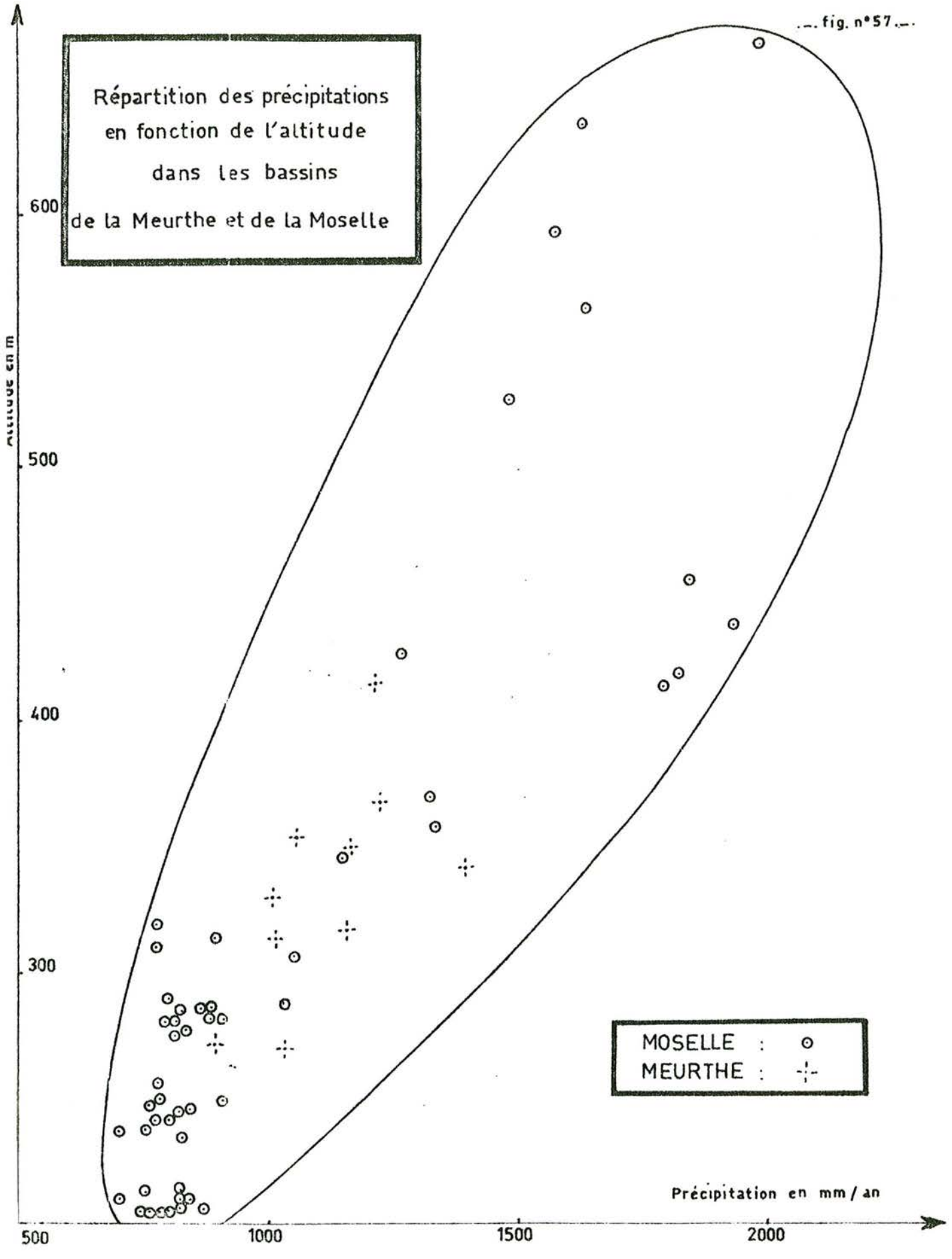


fig. n°57
Répartition des précipitations
en fonction de l'altitude
dans les bassins
de la Meurthe et de la Moselle
Altitude en m
600
500
400
300
MOSELLE :
MEURTHE :
Précipitation en mm / an
500
1000
1500
2000

On peut tenter d'expliquer ce phénomène en considérant que les perturbations d'origine océanique perdent de leur importance et de leur potentiel au fur et à mesure qu'elles s'avancent en direction de la ligne des crêtes. Si l'augmentation d'altitude compense en partie ce déficit, il n'en est pas moins vrai que l'onde de pluie n'augmente plus au-dessus de 600 m.

Le tableau ci-dessous résume ces données pour la zone située à plus de 200 m d'altitude.

Altitude en mètre	*Pluviosité moyenne annuelle en mm d'eau par an*
200 à 300	*700 à 850*
300 à 400	*850 à 1 190*
400 à 500	*1 190 à 1 450*
500 à 600	*1 450 à 1 800*
> à 600	*1 800 à 2 000*

Nous avons également projeté la valeur numérique des relevés suivant un axe orienté NW-SE empruntant la vallée de la Meurthe, jalonné par les stations de Nancy, Saint-Nicolas de Port, Lunéville, Baccarat, Raon-l'Etape, Saint-Dié, Saulcy-sur-Meurthe, prolongé dans les Hautes Vosges par les stations de Retournemer et de la Schlucht et sur le versant alsacien (Stations de Munster et de Colmar).

Cette coupe (fig. n° 58) montre que l'onde maximum de pluie ne coïncide pas exactement avec la ligne des crêtes ; en fait, elle la précède. C'est ainsi que la Schlucht (altitude 1 154 m) reçoit 1 526 mm d'eau par an en moyenne tandis que la station de Retournemer (altitude 780 m) en enregistre 1 939 mm.

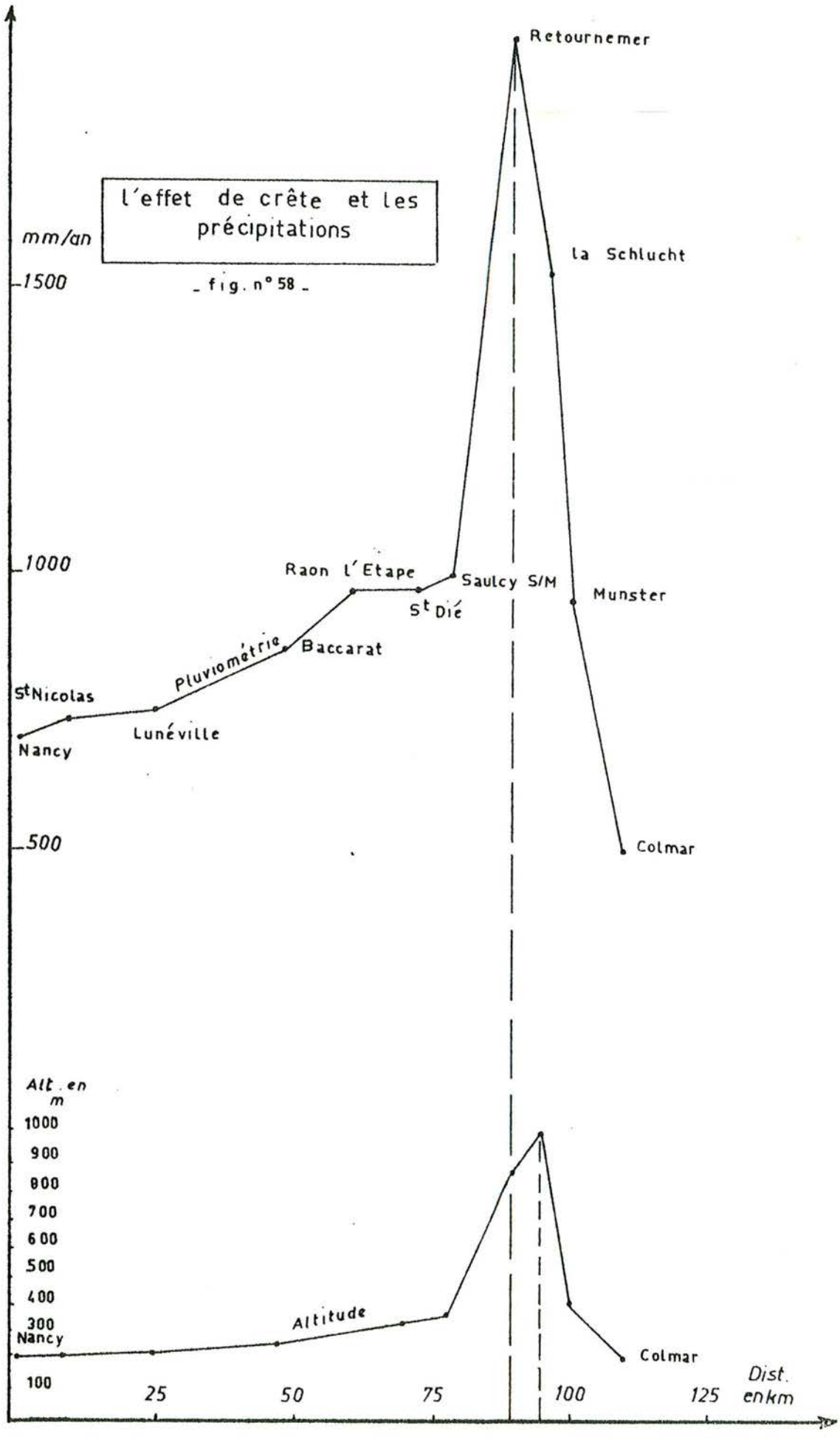
Ce phénomène semble être général puisqu'on peut l'observer également dans la vallée de la Moselle comme le prouve le graphique ci-après (fig. n° 59). Le col de Bussang, (altitude 740 m) reçoit 1 580 mm d'eau par an tandis que Le Thillot (alt. 494 m) en enregistre 1 913 mm.

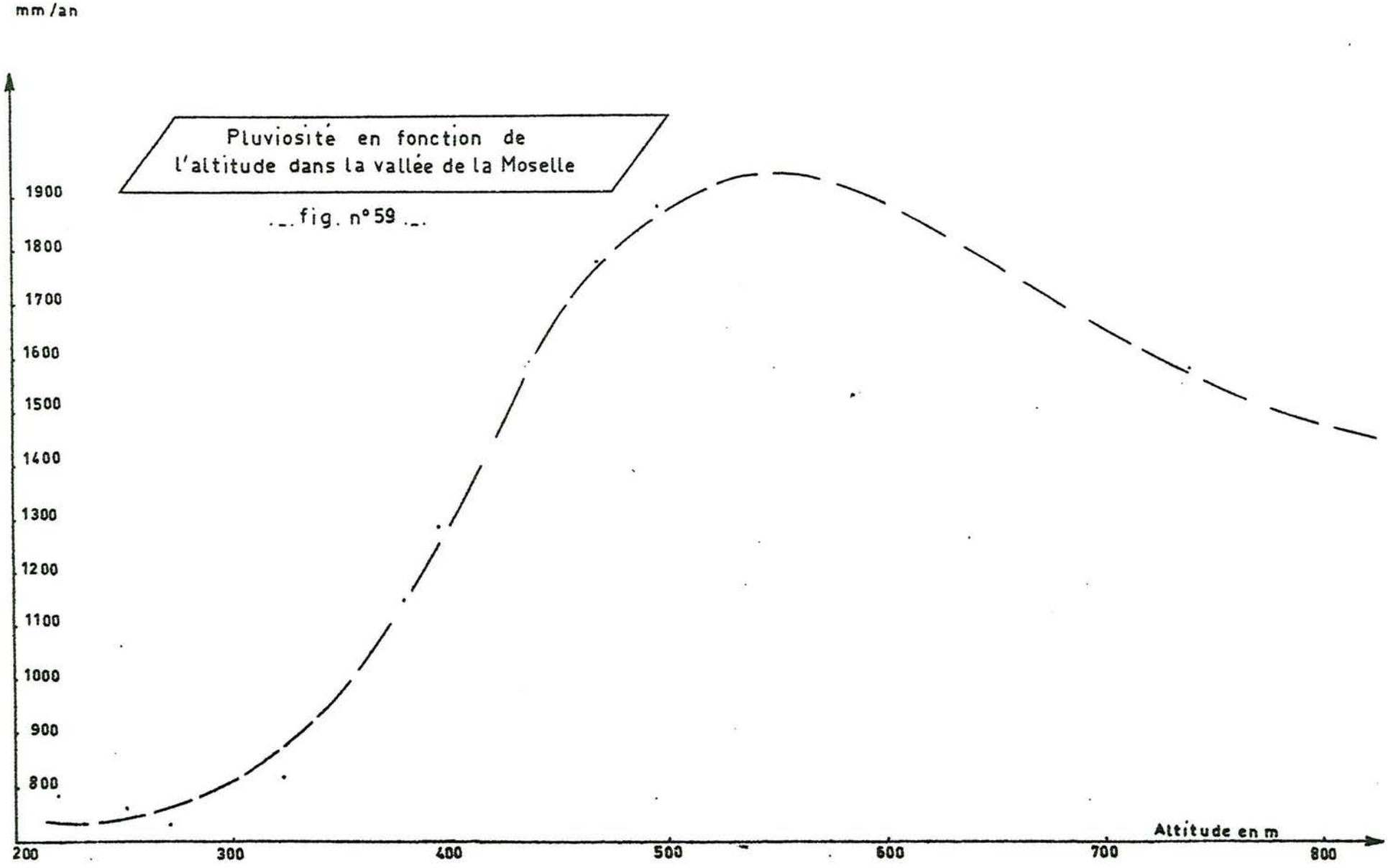
2 - Variations saisonnières de la pluviosité :

A l'ouest de la ligne de crête des Vosges, les pluies sont bien réparties sur l'ensemble de l'année. Un minimum, peu prononcé, caractérise les mois de janvier à avril en Lorraine et de juillet et août dans les Hautes Vosges. Ils correspondent aux étiages d'été et d'hiver. Ces variations ne présentent guère d'importance en ce qui concerne la réalimentation des nappes.

3 - Variations de la pluviosité avec l'exposition des versants :

La courbe-enveloppe des points représentant les précipitations moyennes annuelles en fonction de l'altitude, est plus ouverte dans sa partie supérieure qu'elle ne l'est à sa partie inférieure. Ceci traduit le fait que la dispersion des mesures croît avec l'altitude. Ce phénomène est à mettre au compte de l'exposition des versants qui joue un rôle de plus


l'effet de crête et les précipitations
- fig. n° 58 -
mm/an
1500
1000
500
Retournemer
la Schlucht
Munster
Colmar
Saulcy S/M
St Dié
Raon l'Etape
Baccarat
Pluviométrie
St Nicolas
Lunéville
Nancy
Alt. en m
1000
900
800
700
600
500
400
300
100
Altitude
Nancy
Colmar
25
50
75
100
125
Dist. en km


mm /an
Pluviosité en fonction de
l'altitude dans la vallée de la Moselle
fig. n° 59
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
200
300
400
500
600
700
800
Altitude en m

en plus important au fur et à mesure que l'on s'élève le long des pentes.

4 - Autres facteurs de variation :

L'orientation des vallées par rapport à la direction des vents dominants joue aussi un grand rôle : la vallée de l'Augronne, orientée NE-SW, s'ouvre face aux vents dominants et de ce fait, on observe à la station de Plombières (altitude 430 m) un total de précipitations de 1 472 mm par an, bien supérieur à la normale régionale définie précédemment qui n'atteint que 1 200 mm environ.

La vallée de la Plaine est un exemple du même ordre et l'on relève à Vexaincourt (alt. 376 m) 1 475 mm d'eau par an.

5 - Carte des Isohyètes :

En rassemblant les données concernant les moyennes trentenaires, nous avons tracé la carte des isohyètes dans une zone recouvrant largement les affleurements de Grès (fig. n° 60).

Sur cette carte, conçue à petite échelle, le tracé des courbes d'égale pluviosité se moule avec fidélité sur le relief.

6 - Résultats :

- On constate sur la carte des isohyètes que la majeure partie de la superficie occupée par les Grès bénéficie d'une pluviosité de l'ordre de 1 000 mm, soit 1 m d'eau par an.

CARTE DE PLUVIOMETRIE

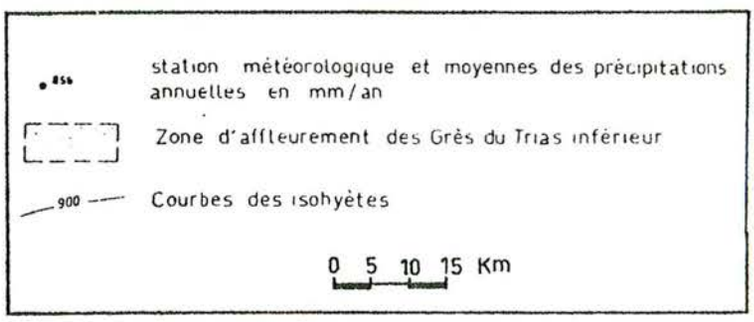
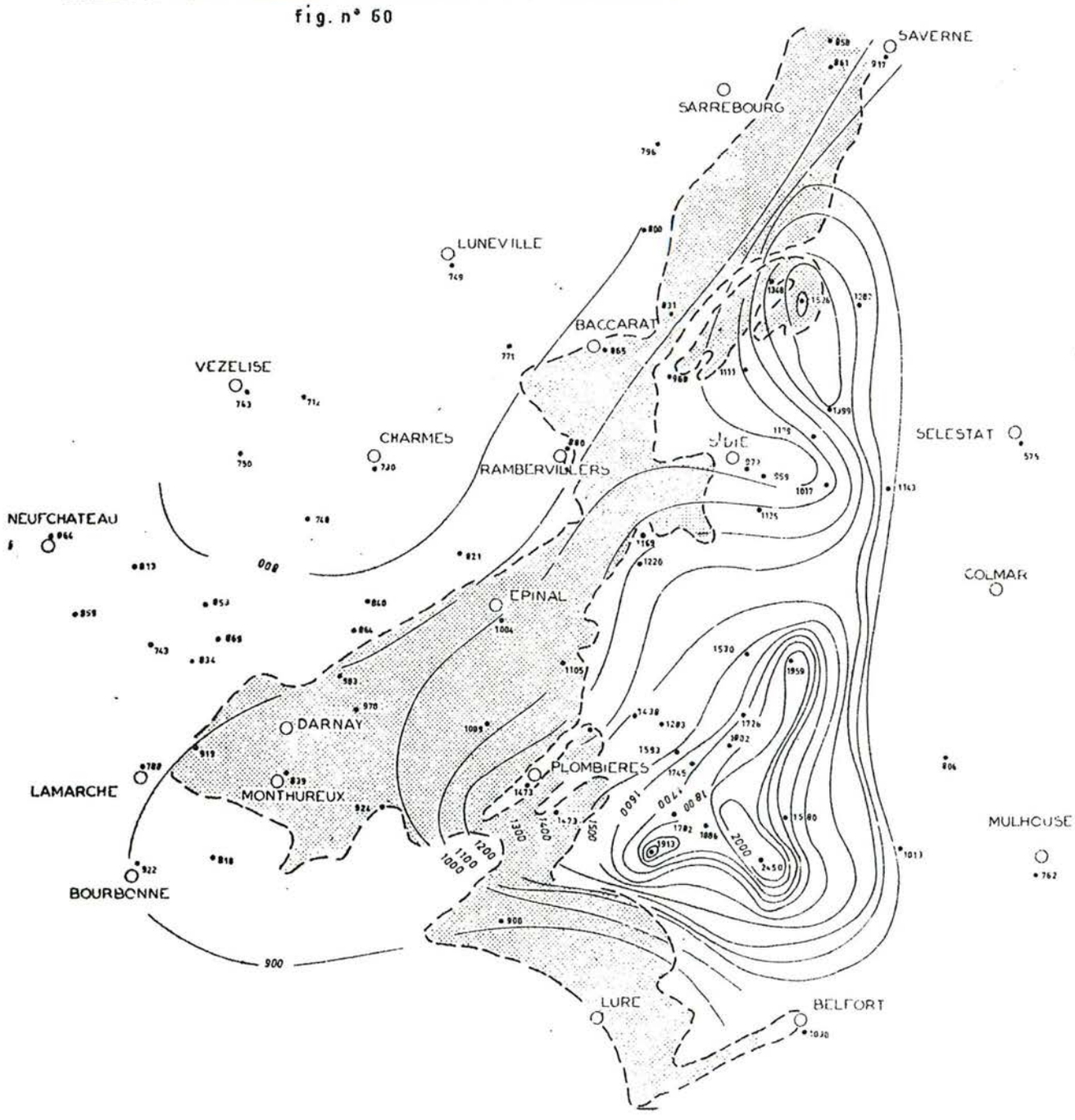


fig. n° 60



Si l'on considère que cette surface est de l'ordre de 2 000 Mm^2 (1), la quantité d'eau reçue annuellement est de 2 000 x 10^6 x 1 = 2 000 Mm^3.

- On peut opérer d'une manière identique mais plus précise en procédant au même calcul, mais en considérant cette fois des tranches successives d'altitude.

ALTITUDE en m	Superficie en km^2	Précipitations en mm/an	Volume total des précipitations en M m^3/an
200 à 300	243	775	188
300 à 400	1 310	1 020	1 336
400 à 500	405	1 320	536
500 à 600	33	1 625	53
TOTAL	1 991		2 113

Soit, pour une superficie totale de 1 991 km^2, un volume d'eau de 2 113 M m^3, résultat très voisin du précédent.

- Une troisième méthode consiste à mesurer sur la carte des isohyètes chacune des surfaces comprises entre deux courbes d'égale pluviosité. On affecte ensuite cette surface d'une pluviosité égale à la moyenne des pluviosités figurant sur les isohyètes limitant le domaine considéré.

---

(1) M est l'abréviation de million.

Tranche pluviométrique mm/an	Surface km^2	Moyenne mm/an	P Mm^3
800 - 900	800	850	680
900 - 1 000	864	950	820
1 000 - 1 100	552	1 050	579
1 100 - 1 200	184	1 150	211
1 200 - 1 300	112	1 250	140
1 300 - 1 400	64	1 350	86
1 400 - 1 500	40	1 450	58
TOTAL	2 616		2 574

Le calcul conduit à estimer à 2 574 M m^3 le volume total des précipitations. L'écart observé avec les résultats précédents de l'ordre de 20 % peut être imputé au manque de précision dans la cartographie des affleurements de grès à petite échelle.

Les trois méthodes conduisant à des résultats voisins, on peut estimer que le volume total de l'eau tombant sur les affleurements est de l'ordre de 2 000 M m^3.

D) Etude des Températures - Volume de l'eau distraite par évapotranspiration

Nous nous intéresserons aux températures et à leurs variations car :

- elles sont l'élément fondamental du calcul approché de l'évapotranspiration ;

- *les très basses températures bloquent l'infiltration et le ruissellement pendant la période de gel hivernal.*

1 - *Variations de la température avec l'altitude (fig. n° 61) :*

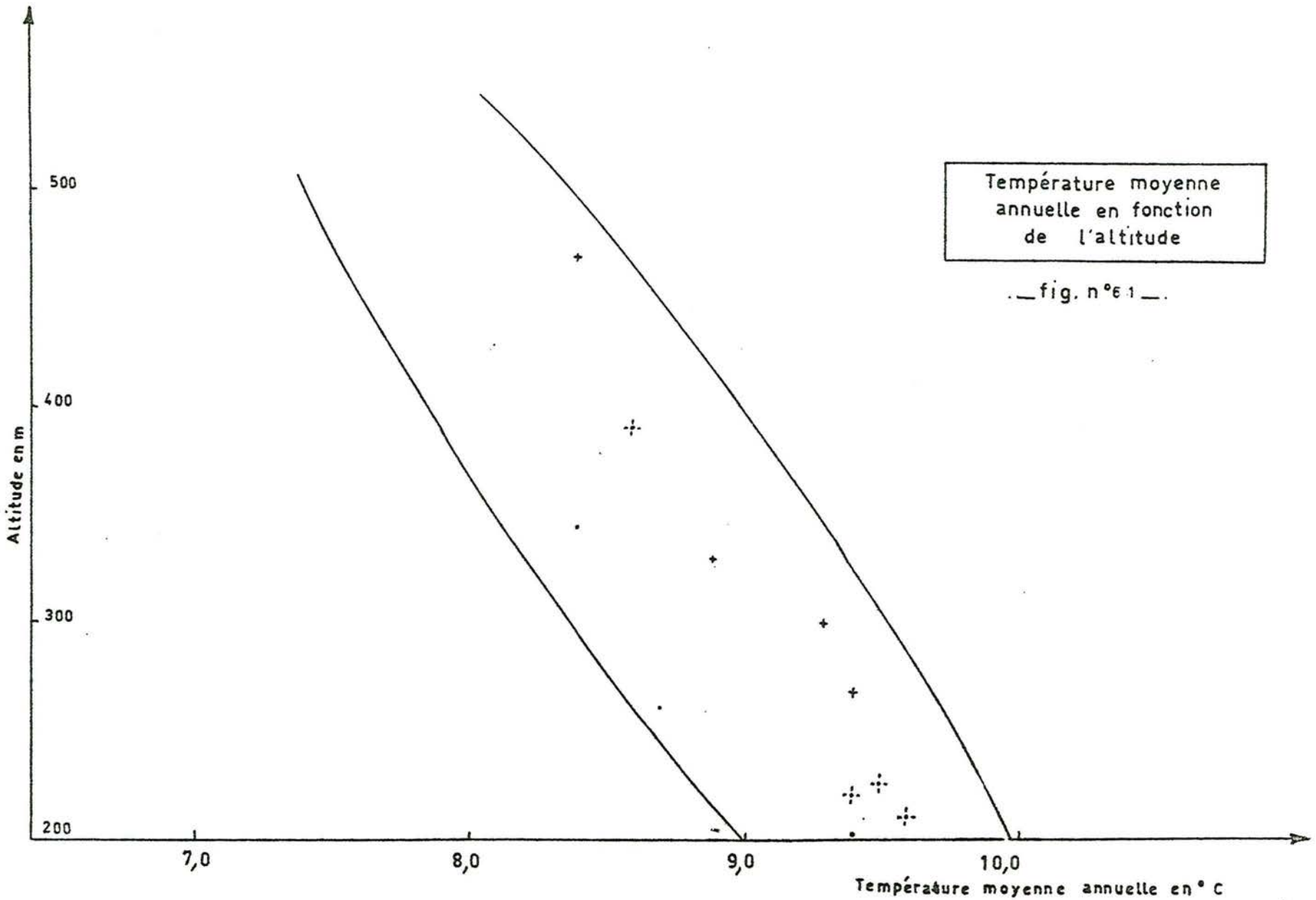
Nous avons établi une formule linéaire approchée valable entre 200 et 1 000 mètres d'altitude et que l'on peut encore étendre jusqu'à 1 200 m avec une approximation admissible. Elle sert à calculer la moyenne :

$$T = 10,54 - 4,7 \frac{A}{1000}$$

T représente la température moyenne annuelle en degrès Celsius et A, l'altitude en mètres.

Le tableau ci-dessous résume les données pour la zone située à plus de 200 m d'altitude.

Altitude (en m)	*Température moyenne annuelle (°C)*
200 à 300	9,4
300 à 400	8,9
400 à 500	8,3
500 à 600	7,9
600 à 700	7,5
700 à 800	7,0
800 à 900	6,5
900 à 1 000	6,1
1 000 à 1 200	5,6



Température moyenne annuelle en fonction de l'altitude

. — fig. n° 61 — .

2 - Calcul de l'évapotranspiration :

Dans le cas d'un bassin versant vaste, varié du point de vue relief et occupation du sol et situé en zone tempérée, toutes conditions remplies par la zone que nous étudions, on considère généralement que l'on peut appliquer la formule de TURC

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

E : Evapotranspiration en mm d'eau par an

P : Précipitation moyenne annuelle en mm d'eau par an

L : $300 + 25\ T + 0,05\ T^3$

T : Température moyenne annuelle en degrès Celsius.

Le tableau ci-dessous résume par tranches d'altitude le volume d'eau évapotranspiré annuellement.

ALTITUDE en m	Précipitation en mm/an	Superficie en km^2	Température en °C	Evapo-transpiration en M m^3
200 à 300	775	243	9,4	95
300 à 400	1 020	1 310	8,9	655
400 à 500	1 320	405	8,3	291
500 à 600	1 625	33	7,9	27
TOTAL		1 991		1 068

Soit 1 068 Mm^3 par an pour une superficie de 1 991 km^2.

Nous savons qu'il est tombé environ 2 000 M m^3 d'eau, il disparaît 50 % de ce volume par évapotranspiration.

E) Résultats : Actif du bilan

50 % du volume des précipitations, soit 1 000 M m^3 arrivent au sol dans la zone des affleurements. Ils peuvent soit ruisseler, soit s'infiltrer.

On considère généralement que 50 % de l'eau ruisselle et que 50 % s'infiltre si le sol n'est pas saturé.

Il en résulte que l'on dispose d'un volume de 500 M m^3 d'eau par an pour réalimenter la nappe des Grès du Trias inférieur.

Remarque :

Ce volume est un volume théorique définissant les possibilités superficielles de réalimentation de la nappe. Si la nappe est saturée, il est bien évident que l'eau ruissellera sans s'infiltrer ; de même, cette infiltration ne sera possible qu'autant que les conditions locales de perméabilité de la roche le permettent. Une étude expérimentale précise, coûteuse et prolongée serait nécessaire pour préciser les résultats que nous proposons. En tout état de cause, il est fort probable que le volume qui s'infiltre réellement est bien inférieur au volume théoriquement possible.

II - LES PRELEVEMENTS

Nous nous sommes intéressés aux prélèvements réalisés à partir des forages, à l'exclusion de quantités d'eau qui s'écoulent des sources captées ou non dans la zone des affleurements.

Une enquête reposant sur l'envoi d'un questionnaire détaillé à tous les utilisateurs de la nappe des Grès du Trias inférieur, suivie d'une vérification sur place des renseignements obtenus, a permis de se faire une idée du volume d'eau exhauré par les forages. Le résultat que nous présenterons ci-dessous reste néanmoins encore imprécis pour plusieurs raisons :

- toutes les stations de pompage ne sont pas équipées de compteurs totalisateurs et, dans ces conditions, on peut seulement avoir une idée du débit exhauré, en cumulant les temps de pompage et en tenant compte du débit de la pompe, ou en se référant à la consommation d'électricité. La généralisation des systèmes de jauge coupant automatiquement les pompes quand les réservoirs sont pleins ne simplifie pas le problème. La comparaison du chiffre obtenu avec celui calculé, eu égard à la population et au cheptel de la commune considérée, est un excellent moyen de vérification.

- beaucoup de forages sont artésiens. En général, le trop plein de l'écoulement, en dehors des heures de pompage, est envoyé directement à l'égout. Le compteur, quand il existe, ne totalise que l'eau introduite dans le réseau et traitée en vue de sa distribution.

Là aussi, il faut tenir compte des heures de pompage et ajouter au prélèvement réellement utilisé l'eau qui s'écoule en pure perte en dehors de ces périodes.

La proportion d'eau ainsi perdue est considérable comme le montre le tableau suivant :

FORAGE	Pourcentage d'eau inutilisée
Blâmont	50 %
Manonviller	50 %
Moncel-les-Lunéville	90 %
Saint-Clément	90 %
Ménil-Flin	100 %
Mont-sur-Meurthe	100 %

On pourrait songer à remédier à cette situation en vannant le forage. Cette solution a été adoptée pour les ouvrages les plus récents. Néanmoins, il est certain que des forages tels que ceux de Moncel-les-Lunéville ou de Saint-Clément datant d'il y a trente ans sont dans un état de vétusté tel que leur tubage ne résisterait pas aux variations de pression répétées imposées par des manoeuvres quotidiennes.

A) Les prélèvements par les forages

1 - La vallée de la Meurthe en amont de Lunéville :

Dix forages d'A.E.P. et un sondage foncé en vue de reconnaître la houille en 1890, toujours artésien (Ménil-Flin), se trouvent dans cette région. Les prélèvements annuels sont les suivants :

FORAGE	Débit en m^3/an
Ménil-Flin	175 000
Gélacourt	4 000
Saint-Clément	235 000
Moncel-les-Lunéville	260 000
Flin	12 000
Hablainville	20 000
Glonville	80 000
Merviller	10 000
Chenevières	ε
Manonvillers	450 000
Fontenoy-la-Joute	12 000
TOTAL	1 258 000

2 - Dans la région de Nancy :

Cinq forages mettent en production la nappe des Grès du Trias inférieur dans la zone urbaine de Nancy. Les débits annuels prélevés dans chacun des points sont les suivants :

FORAGE	Débit en m^3/an
Nancy-Thermal.....	530 000
Tomblaine.....	800 000
Essey-les-Nancy.....	550 000
Champigneulles.....	550 000
Agincourt.....	000 000
TOTAL.....	2 430 000

3 - Dans les sondages de reconnaissance du Houiller (Région de Pont-à-Mousson) :

Des débits artésiens considérables ont été enregistrés lors des travaux de forage entre 1905 et 1912.

La plupart de ces ouvrages ont disparu, leur orifice s'étant refermé naturellement. Il n'est cependant pas interdit de penser que cette obturation n'est pas complète. Des communications restent possibles entre les horizons gréseux et les niveaux perméables sus ou sous-jacents.

Aucune estimation du débit n'est possible, mais les anomalies qui pourraient être notées lors de la mise en modèle de la nappe permettront peut-être de se faire une idée de l'importance du phénomène.

4 - Les forages de la région de Ravenel et de Charmes :

Les deux principaux ouvrages sont ceux de Ravenel et de Charmes. Le premier est exploité au rythme de 240 000 m^3/an

et le second à environ 200 000 m^3/an, soit au total : 440 000 m^3/an. Nous ne prendrons pas en considération un certain nombre de forages d'intérêt secondaire, comme ceux de Ville-sur-Illon. Les débits prélevés dans ces puits sont pratiquement négligeables.

FORAGE	Débit en m^3/an
Ravenel.....	240 000
Charmes.....	200 000
TOTAL.....	440 000

5 - Dans le sud des Vosges et la région de Vittel-Contrexéville :

Cette zone, où le grès se biseaute et voit sa puissance décroître pour atteindre environ 70 à 80 m, est exploitée intensivement. D'après G. Minoux, les prélèvements dans cette région seraient de l'ordre de 5 500 000 m^3/an.

6 - Volume total des prélèvements :

Le total des prélèvements d'eau effectués par l'intermédiaire de forages dans la nappe des Grès du Trias inférieur dans les départements de Meurthe et Moselle et des Vosges est le suivant :

REGION	Prélèvements en m^3/an
La vallée de la Meurthe en amont de Lunéville.....	1 258 000
La Région urbaine de Nancy.....	2 430 000
Ravenel et Charmes.....	440 000
Le sud des Vosges et la région de Vittel-Contrexéville.....	5 500 000
TOTAL.....	9 628 000

Remarque :

La concentration des points d'exploitation appelle à un certain nombre de remarques concernant l'abaissement du niveau piézométrique de la nappe dans le temps.

Région de Vittel-Contrexéville :
Pour une réalimentation estimée à 22 000 m^3/j, les volumes d'eau exhaurés quotidiennement sont supérieurs à 15 000 m^3/j. L'abaissement atteint plusieurs mètres par an. Jusqu'à présent, aucun équilibre ne semble atteint et à moins de provoquer une réalimentation artificielle en barrant le cours des ruisseaux qui drainent les affleurements en direction de la Saône, la situation ne pourra que se détériorer davantage.

Région de Nancy :
Le problème n'est pas aussi crucial que dans la région de Vittel. On observe cependant des diminutions dans le débit des forages artésiens. C'est ainsi que le débit du forage de Nancy-Thermal était de 108 m^3/h en 1909, de 80 m^3/h en 1940 et de 65 m^3/h environ en 1966.

Il est probable que cette baisse de débit ne correspond pas seulement à une baisse du niveau de la nappe.

On sait, en effet, que dans le cas d'un forage en artésianisme libre, le rabattement peut être considéré comme constant, le débit Q répond alors à l'équation de Jacob et Lohman :

$$Q = 2\pi T\, s\, G(\alpha)$$

Q : débit en m^3/h
s : rabattement en m
T : transmissivité en m^2/s
G (α) est une fonction connue et tabulée. Elle admet moyennant certaines approximations un développement limité de la forme :

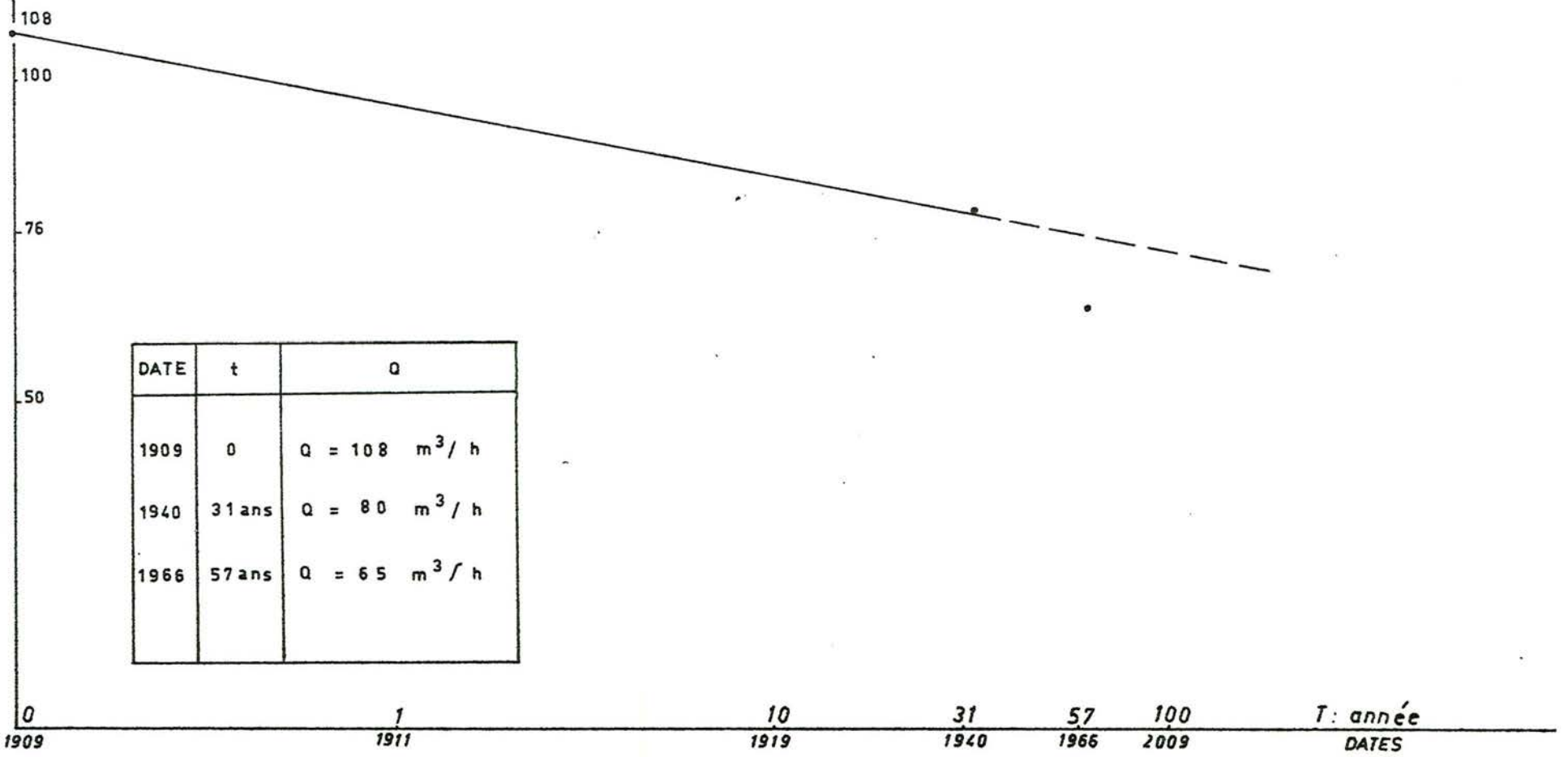
$$Q = a \log t + b$$

t étant le temps écoulé depuis le début de l'artésianisme.

Les variations de débit des forages de Nancy-Thermal semblent répondre à cette loi puisque la courbe débit en fonction du logarithme du temps est approximativement une droite (voir fig. 62). Le décrochement observé vers l'année 1940 correspond probablement à la mise en service du forage de Tomblaine.

Ce phénomène naturel contre lequel il est impossible de lutter ne doit pas être négligé. En particulier, le débit que l'on peut espérer mettre en production dans un forage destiné à remplacer en un même lieu un ouvrage vétuste ne doit pas être surestimé.

Variation du débit des forages de NANCY THERMAL (1909 - 1966)



DATE	t	Q
1909	0	Q = 108 m^3/ h
1940	31 ans	Q = 80 m^3/ h
1966	57 ans	Q = 65 m^3/ h

On peut également avoir une idée de la vitesse d'abaissement de la nappe dans la région de Nancy en comparant le forage de Tomblaine mis en service en 1938 et celui que nous avons exécuté en 1968.

Le niveau piézométrique s'établissait, en 1938, vers la cote + 252 m NGF tandis qu'il se stabilise à + 232 m en 1968.

L'abaissement ainsi mis en évidence est de l'ordre de 0,70 m/an. Ce chiffre n'est pas à comparer avec les quelques dizaines de mètres dont il faut relever l'eau par pompage pour assurer une distribution gravitaire dans toutes les parties de la commune.

Les conséquences économiques de ce phénomène sont négligeables.

B) Ecoulement naturel de la nappe en direction du nord

Nous avons limité notre étude aux départements de Meurthe et Moselle et des Vosges. L'aquifère ne se limite pas à ces deux départements.

Il est donc intéressant de connaître le volume d'eau qui s'écoule naturellement en direction du Nord.

Considérons la ligne isopiézométrique qui passe par Nancy, longue d'environ 150 km.

Au-delà, il n'existe plus de points de prélèvement importants en Meurthe et Moselle.

Calculons le volume d'eau qui s'écoule à travers une section verticale de l'aquifère suivant cette courbe isopiézométrique avec les approximations suivantes :

- la pente de l'aquifère est : $i = 5/10\ 000$;
- nous considérerons une valeur moyenne de $T = 10^{-3} m^2/s$

Dans ces conditions, le débit qui s'écoule à travers la surface définie précédemment est :

$$Q = T \times i \times L$$

$$Q = 10^{-3} \times \frac{5}{10\ 000} \times 150\ 000 = 0,075\ m^3/s$$

$$Q \# 2,25 \text{ millions } m^3/an$$

L'erreur qui entache ce résultat résulte de l'imprécision avec laquelle la transmissivité est connue. Ce débit ne peut être considéré que comme une indication très générale et reste susceptible de variations du simple au décuple.

C) Bassins versants hydrogéologiques et bassins versants géographiques

La superficie d'affleurement des Grès du Trias constitue un vaste ensemble géologique et une unité hydrogéologique.

Trois bassins versants géographiques se partagent cette surface. Ce sont ceux de la Moselle, de la Meurthe et de la Saône.

Le cours des deux premières rivières est conforme au pendage des couches de terrain. La Saône au contraire entaille profondément le massif gréseux qui se trouve drainé à contre-pendage. La carte de Vittel au 1/50 000 est particulièrement représentative de ce phénomène : (voir annexe). La zone de réalimentation de la nappe se trouve limitée vers le SE par une faille majeure qui abaisse le Muschelkalk au contact du socle, créant ainsi une solution de continuité dans l'aquifère.

Ceci réduit déjà considérablement les possibilités de réalimentation.

De plus, il existe une série de petits ruisseaux, affluents de la Saône, à savoir :

- *le ruisseau de Chanau,*
- *le ruisseau du Grand Breuil,*
- *le ruisseau du Bois le Comte,*
- *le ruisseau des Ailes,*
- *le ruisseau de Gras.*

Tous, orientés NW-SE, drainent la surface des grès à contre-pendage, privant ainsi la nappe d'une grande partie de ses ressources. Une étude précise ne pourrait être entreprise que grâce à l'implantation de stations de jaugeage à l'exutoire des grès afin de préciser le volume d'eau qui est drainé par la Saône.

D) Passif du bilan

Les postes du bilan concernant le drainage par les rivières sont inconnus. Le volume de l'écoulement de la nappe en direction du nord (2,25 M m^3) et celui des prélèvements dans les forages (10 M m^3) peuvent seuls être estimés.

III - BILAN

Un certain nombre des éléments du bilan de la nappe des Grès du Trias ne sont pas déterminables dans l'état actuel des réseaux d'observation météorologique et hydrométrique. Néanmoins, il est possible de préciser qu'un volume d'eau d'environ 500 M m^3 s'infiltre ou peut s'infiltrer dans la zone des affleurements.

Il reste cependant probable que seule la zone des Grès située au nord du parallèle de Vittel participe activement à la réalimentation. Au sud de cette limite, le drainage par la Saône, la diminution rapide de la puissance du réservoir inhibent toute réalimentation efficace.

L'écoulement naturel de la nappe vers le nord a été estimé en première approximation à 2,25 M m^3.

Ce chiffre est faible par rapport aux prélèvements qui dépassent 10 M m^3 dans nos deux départements.

C'est dire que la nappe peut être considérée à l'échelle d'une centaine d'années comme un système ouvert dans lequel aucun apport ne vient renouveler les réserves dans lesquelles on puise.

Une politique rationnelle d'exploitation voudrait que l'on ait recours à cette nappe seulement après avoir envisagé et rejeté tous les autres modes d'alimentation en eau possibles.

CONCLUSION

De 1965 à 1968, quatre forages profonds (400 m à 1 000 m) destinés à mettre en production la nappe des Grès du Trias inférieur ont été exécutés dans le Département de Meurthe-et-Moselle.

Nous avons assuré la direction scientifique et technique de ces chantiers.

L'examen approfondi des déblais de forage, l'emploi systématique de la géophysique avec l'enregistrement de diagraphies, la mise en oeuvre d'essais de pompage prolongés ont permis de résoudre de nombreux problèmes concernant :

- *l'hydrogéologie de la nappe,*
- *ses caractéristiques physico-chimiques,*
- *la technologie des ouvrages de captage.*

I - HYDROGEOLOGIE

Des essais de pompage ont conduit à une estimation précise de la transmissivité de l'aquifère qui est voisine de 10^{-3} m^2/s et à une évaluation du coefficient d'emmagasinement qui serait de l'ordre de 10^{-4}. Les enregistrements de "Flowmètre continu" (micromoulinet) ont contribué à la mise en évidence de l'hétérogénéité verticale de l'aquifère. Ils ont montré que les niveaux les plus intéressants à exploiter sont

le Conglomérat principal et les Grès immédiatement sous-jacents.

Des mesures de porosité et de perméabilité sur carottesconfirment cette interprétation.

La carte piézométrique proposée a permis d'estimer la valeur moyenne du gradient hydraulique de l'écoulement et de se faire une idée du temps de parcours de l'eau entre la zone d'alimentation de la nappe et la région de Nancy, soit environ 25 000 ans.

Dans cette région, l'abaissement du niveau de la nappe du fait de l'exploitation est voisin de 0,60 m/an.

II - CHIMIE DES EAUX

Nous proposons une carte géochimique représentant les variations horizontales de la minéralisation totale. Deux types d'évolution de la Chimie des Eaux en fonction de la distance aux affleurements ont été mis en évidence suivant que la couverture sédimentaire contient ou ne contient pas d'évaporites exprimées.

Les variations verticales ont aussi fait l'objet d'études systématiques : Des prélèvements effectués dans un même forage à différents niveaux de l'aquifère ont montré que la minéralisation augmente avec la profondeur.

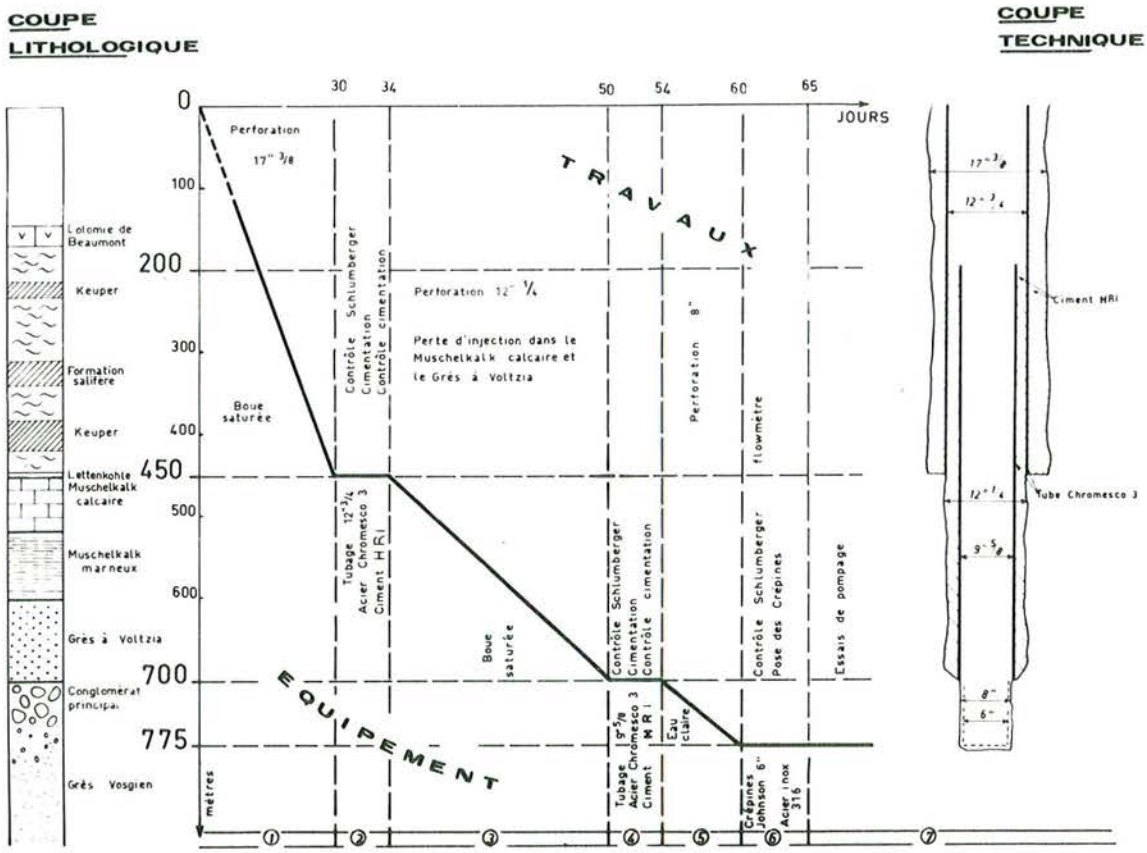
III - TECHNOLOGIE DES FORAGES

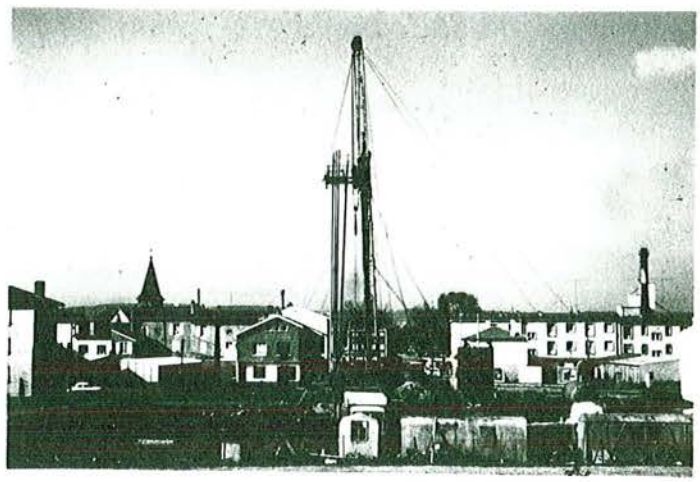
- Contrôle stratigraphique : L'emploi des diagraphies lithologiques (Laterolog 3 et Gamma-ray-Neutron) ont apporté un renouveau dans la connaissance stratigraphique de la Lorraine et plus particulièrement dans l'observation des bancs repères tels que les faciès oolithiques silicifiés des Couches grises du Muschelkalk, la Lettenkohle, le Gîte de sel du Keuper inférieur et la Dolomie de Elie de Beaumont.

- Equipement des puits : La présence de sel gemme dans le Keuper inférieur pose des problèmes relatifs à la pérennité des ouvrages. Seule une cimentation parfaite peut isoler le tube et le protéger de la corrosion extérieure. Des essais ont été effectués avec différents types de ciment. Des contrôles ont été réalisés par la méthode du "Cement Bond Log". Les résultats obtenus ont permis de mettre au point la méthode de travail que nous présentons sur le diagramme ci-après (fig. n° 63), log d'avancement où figurent toutes les indications utiles concernant la stratigraphie, les matériaux mis en oeuvre et les contrôles à effectuer.

Fig. n° 63

PROGRAMME TYPE DE REALISATION D'UN FORAGE AU GRES VOSGIEN





LE NOUVEAU FORAGE DE TOMBLAINE

IV - PERSPECTIVES D'AVENIR

A moyen terme, l'exploitation de la nappe des Grès du Trias inférieur ne pose guère de problèmes. Les baisses de niveau enregistrées sont faibles et l'on devrait s'acheminer progressivement vers une stabilisation à condition de ne pas multiplier inconsidérément les points de prélèvement. Aucune dégradation de la qualité chimique des eaux n'a été enregistrée dans les forages d'adduction d'eau potable et notamment dans celui qui alimente la Commune de Tomblaine, très proche de la zone minéralisée.

Il est plus difficile de se prononcer, avec les moyens mis à notre disposition, sur l'évolution à long terme de la nappe. Les possibilités réelles de réalimentation sont limitées par les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir. L'estimation de la vitesse de circulation de l'eau entre les Vosges et Nancy sera bientôt précisée par une compagnie de mesures radiochronologiques par la méthode du C_{14} et fera l'objet d'une communication ultérieure. En tout état de cause, il est certain qu'à l'échelle de la dizaine, voire même de la centaine d'années, la réalimentation ne joue pratiquement aucun rôle.

La carte piézométrique de la nappe que nous proposons ne donne qu'une vue statique de l'aquifère. Seul un modèle analogique, électrique ou mieux mathématique, sera susceptible, dans l'avenir, de fournir des indications précises sur

l'évolution de la nappe dans le temps en fonction du volume et de la répartition des prélèvements.

En attendant, il serait souhaitable que, dès maintenant, l'exploitation de la nappe des Grès du Trias inférieur fasse l'objet d'une réglementation conçue à l'échelle régionale visant à empêcher la prolifération anarchique des point de captage. Elle devrait permettre à une Commission de techniciens qualifiés, investie des pouvoirs nécessaires, de juge et de décider du bien fondé des demandes de mise en service d'un nouveau forage afin de préserver le bien commun.

NOM DE L'ETUDIANT : DAGUE Philippe

Nature de la thèse: Docteur-Ingénieur.

Vu, Approuvé
et Permis d'Imprimer
NANCY, le 19 Juin 1969

Le Doyen :

J.AUBRY