Matériaux pour la Géologie de la Suisse

GÉOPHYSIQUE
No 11

publiés par la Commission Géotechnique Suisse,
Organe de la Société helvétique des sciences naturelles,
subventionné par la Confédération

Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de l'Orbe

par

MICHEL PETCH

En Commission chez Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag Berne,
1970

Offset : Arts graphiques Ere Nouvelle S. A., Lausanne

Préface de la Commission Géotechnique Suisse

A la séance de la Commission du 17 janvier 1970, M. le professeur H. Badoux présenta un manuscrit de son élève M. Michel Petch : « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de l'Orbe ». Il s'agit d'une thèse de doctorat élaborée dans les Instituts de géologie et de géophysique de l'Université de Lausanne sous la direction de MM. les professeurs H. Badoux et C. Meyer de Stadelhofen. L'ouvrage a été accepté pour être publié dans la série « Géophysique ».

La Commission remercie vivement M. Michel Petch de cette contribution intéressante à la recherche hydrogéologique du pays et de sa participation aux frais d'impression.

Le fond du texte et des figures est laissé à la seule responsabilité de l'auteur.

Au nom de la
Commission Géotechnique Suisse

Le président :

Prof. F. de Quervain.

Zurich, mars 1970.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

REMERCIEMENTS 3

INTRODUCTION 9

Première partie

Etude du complexe physique du bassin versant

Chapitre premier

LE BASSIN VERSANT DE LA PLAINE DE L'ORBE 11

A. Situation géographique 11

B. Critères limitatifs choisis pour l'étude du bassin versant 11

C. Subdivisions hydrogéologiques 14

Chapitre II

LES TERRAINS CONSTITUTIFS DU BASSIN 17

A. Stratigraphie 17
  1. Jurassique moyen : le Dogger 17
  2. Jurassique supérieur : le Malm 17
  3. Crétacé 18
  4. Tertiaire 19

B. Distribution des affleurements des terrains secondaires et tertiaires . . . 19

Chapitre III

PROSPECTION GÉOÉLECTRIQUE 23

A. Introduction 23
  1. Choix d'une méthode géophysique 23
  2. Objectifs recherchés par la prospection géoélectrique 23

B. Traîné électrique 23
  1. La carte des résistivités pour AB = 100 m. 23
  2. La carte des résistivités pour AB = 40 m. 25

C. Sondages électriques 26
  1. La carte des isohypses du bedrock de la plaine 26
  2. La carte des isohypses du toit des calcaires 27

D. Conclusions 28

Chapitre IV

LES TERRAINS DU QUATERNAIRE 31

A. Pléistocène 31
  1. Les formations glaciaires visibles à l'affleurement 31
  2. La question du Pléistocène dans la plaine de l'Orbe 31

B. Holocène 32

C. Résumé chronologique de l'histoire de la plaine de l'Orbe 35

Pages

Deuxième partie

Etude hydrométéorologique du bassin versant

Chapitre V

DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES 37

A. Les précipitations atmosphériques 37
  1. Les précipitations totales 37
  2. Le module pluviométrique du bassin total et des bassins partiels principaux 41

B. La température de l'air 46

Chapitre VI

LE RÉGIME DES COURS D'EAU 47

A. Données hydrométriques disponibles 47

B. Définition des bassins versants aux stations limnigraphiques 47
  1. Le bassin versant de l'Orbe à la station des Granges 47
  2. Le bassin versant du Nozon à la station d'Orny 49
  3. Le bassin versant du Talent au moulin de Chavornay 50

C. Analyses des débits des cours d'eau aux stations limnigraphiques . . . 52
  1. Les débits annuels moyens 52
  2. Les débits mensuels 54
  3. Les débits journaliers 54

D. Conclusions et établissement d'un bilan provisoire pour l'ensemble des bassins partiels limitrophes de la plaine de l'Orbe 58

Troisième partie

Hydrologie souterraine

INTRODUCTION 61

Chapitre VII

LES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN VERSANT 63

A. Caractéristiques chimiques 63
  1. Les eaux de la molasse 63
  2. Les eaux des formations morainiques 63
  3. Les eaux des alluvions de la plaine de l'Orbe 63
  4. Corrélations entre la dureté totale et la conductivité électrique . . . 67
  5. Transport des carbonates 67

B. Quelques observations générales sur les phénomènes karstiques 74
  1. Le bassin de l'Orbe 74
  2. Le bassin du Nozon 77
  3. Le bassin du Bey-Mujon 77

C. Les eaux des terrains molassiques et quaternaires des versants de la plaine de l'Orbe 80

Pages

Chapitre VIII

HYDROLOGIE DES ALLUVIONS DE LA PLAINE DE L'ORBE 81

A. *La carte des courbes isopièzes et d'égales fluctuations du niveau piézométrique* 81

B. *Interprétation des surfaces piézométriques et mécanisme des nappes* . . 81
  1. Partie amont de la plaine 81
  2. Partie médiane de la plaine 84
  3. Partie aval de la plaine 88

BIBLIOGRAPHIE 93

CARTES GÉOLOGIQUES CONSULTÉES 95

Planches hors texte

1. Bassin versant de la plaine de l'Orbe. Carte géologique schématique.
2. Bassin versant de l'Orbe. Carte structurale du toit de l'Argovien.
3. Résumé lithostratigraphique du bassin versant de l'Orbe, ère secondaire, système jurassique.
4. Résumé lithostratigraphique du bassin de l'Orbe. Système crétacé — Paléogène — Néogène.
5. Etude géophysique. Carte des résistivités apparentes. AB = 100.
6. Etude géoélectrique. Carte des isohypses du substratum rocheux.
7. Etude géoélectrique. Carte des isohypses du toit des calcaires crétacés.
8. Etude géologique. Répartition des alluvions graveleuses.
9. Etude géologique. Répartition de la tourbe.
10. Bassin versant de la plaine de l'Orbe. Carte pluviométrique.
11. Analyse des précipitations mensuelles en huit stations pour la période de 30 ans (1936-1966).
12. Répartition statistique des précipitations mensuelles.
13. Répartition par bassin versant des précipitations annuelles sous forme de lame d'eau.
14. Etude hydrologique, courbes isopièzes.
15. Etude hydrologique, courbes d'égale hauteur de fluctuations de la surface piézométrique.

Introduction

Lorsque cette étude a été entreprise, en 1964, il s'agissait de définir le régime hydrologique de la plaine de l'Orbe et d'établir, si possible, son bilan hydrique. Il fallait donc comprendre, d'une part, le mécanisme qui règle les apports hydriques des bassins versants latéraux dans la plaine, connaître, d'autre part, la nature physique et le comportement hydrologique du remplissage de cette plaine.

Nous nous bornerons à présenter les principaux résultats de ce travail dont la première partie est tout naturellement consacrée à l'étude du complexe physique du bassin versant dont la plaine de l'Orbe est tributaire. Toutefois, bien que sous sa forme originale l'analyse des caractéristiques physiques — forme, relief, réseau de drainage, couverture végétale — de chacun des bassins partiels ait fait l'objet d'un traitement détaillé, il n'en sera guère fait mention ici, pas plus que des réactions de ces bassins vis-à-vis des facteurs hydropluviométriques auxquels ils ont été et sont encore soumis. En effet, l'hétérogénéité lithologique et structurale élevée, ajoutée à la très faible densité des observations hydrométriques, ne permet pas d'établir, comme nous l'espérions, des modèles hydrologiques à la manière de ceux définis par quelques auteurs déjà, dans des régions il est vrai plus homogènes et mieux équipées. Il arrive cependant que certaines corrélations semblent exister, notamment dans les bassins molassiques, mais rien ne permet, à l'heure actuelle, de les vérifier. Cet essai ne constitue donc qu'une première étape, d'interprétation encore très difficile, voire impossible, dans la connaissance des phénomènes hydrologiques de ces bassins. De plus, en renonçant à établir ces modèles, nous nous privons des données fondamentales du bilan de la plaine. Seuls des ordres de grandeurs ont pu être fixés et seront discutés dans la partie consacrée au bilan hydrologique.

Une place plus importante est dévolue cependant aux caractéristiques des terrains constitutifs du bassin, à la nature lithologique du remplissage quaternaire de la plaine, à celle de son bedrock et à la profondeur de ce dernier. Cette étude a été possible grâce à l'analyse comparative des résultats obtenus par les méthodes de prospection géoélectrique et des relevés des carottes des forages récents.

La deuxième partie comprend pour sa part un commentaire succinct des principaux paramètres hydropluviométriques et climatologiques étudiés dans le bassin. Elle se termine par une estimation des paramètres essentiels du bilan de chaque bassin partiel et du bassin total.

Dans la troisième partie, enfin, sont résumées les observations concernant le régime hydrologique de la plaine et les conclusions que l'on peut en tirer.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DU COMPLEXE PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT

Chapitre premier

Le bassin versant de la plaine de l'Orbe

A. Situation géographique

Le bassin versant de l'Orbe couvre une vaste région comprenant la majeure partie du Jura vaudois et le nord-ouest du Gros-de-Vaud. Ses coordonnées géographiques sont 6° 03' - 6° 43' longitude est et 46° 28' - 46° 49' latitude nord.

La plaine de l'Orbe s'étend du horst de calcaires crétaciques du Mormont au sud, aux rives méridionales du lac de Neuchâtel au nord. Son aire de drainage constitue le seul bassin vaudois de quelque importance soumis à deux régimes hydrologiques aussi fondamentalement différents que les régimes karstiques et molassiques. Cette hétérogénéité provient du groupement en un seul bassin de trois régions géographiques et géologiques bien distinctes (cf. planche No 1) :

- *le Plateau molassique vaudois,* au sud-est, où, sous une couverture morainique d'importance très variable, vient la série tertiaire détritique marno-gréseuse de la molasse qui recouvre en profondeur les calcaires secondaires. L'épaisseur de ce complexe, d'âge miocène à l'est et oligocène à l'ouest, décroit rapidement d'est en ouest ;
- *la dépression synclinale complexe du pied du Jura et de la plaine de l'Orbe* s'étend, pour sa part, au nord-ouest de l'axe anticlinal faillé Mormont - Yvonand jusqu'à l'accident du Suchet, qui marque la disparition des plis jurassiens vers l'est. Cette zone synclinale est affectée de nombreuses complications tectoniques dont les plus importantes, du point de vue hydrologique, sont la faille d'Orbe et le dôme anticlinal crétacé du Mont-de-Chamblon. La molasse oligocène forme le remplissage du synclinal de la plaine de l'Orbe, mais deux kilomètres à l'ouest de la faille d'Orbe, elle fait place aux calcaires crétacés à faible pendage vers le sud-est ;
- *le segment du Jura plissé* drainé par l'Orbe, enfin, à l'ouest, comporte deux zones tectoniquement très dissemblables : une zone méridionale à fractures essentiellement longitudinales et une zone septentrionale à dislocations généralement transversales ou obliques. Les plis, qui affectent là le Jurassique et le Crétacé, ont une direction axiale sud-ouest - nord-est et leurs amplitudes décroissent régulièrement du sud-est au nord-ouest.

B. Critères limitatifs choisis pour l'étude du bassin versant

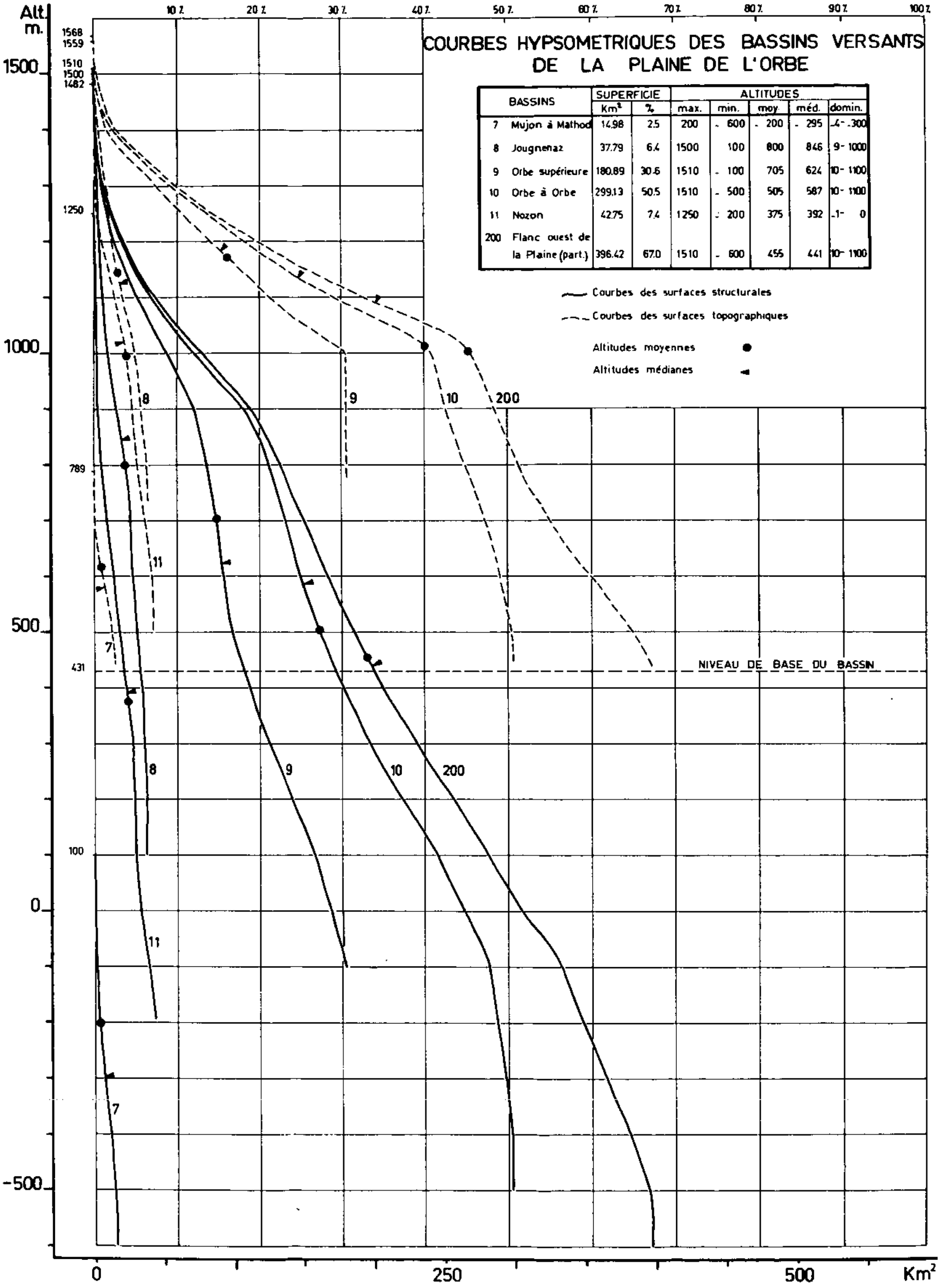
L'importance relative du drainage superficiel et souterrain de l'impluvium de la plaine de l'Orbe est fonction des conditions géologiques, de sorte que les lignes de partage réel des eaux n'y sont pas toujours déterminées par l'orographie.

1. Région du Jura plissé. Le sous-sol y est constitué par de puissantes séries de calcaires fissurés et perméables en grand, recoupées d'intercalations plus marneuses d'importance variable. Les formations marneuses les plus importantes sont du point de vue hydrogéologique :

- les marnes de l'Hauterivien inférieur (40 m. d'épaisseur) et
- les marnes et marno-calcaires du Séquanien inférieur et de l'Argovien (environ 200 m. d'épaisseur).

Cette région caractérisée par sa morphologie karstique représente plus de la moitié du bassin versant (59 %). Là, les lignes de partage des eaux souterraines dépendent pour une bonne part de l'allure du

Figure No 1



COURBES HYPSOMETRIQUES DES BASSINS VERSANTS DE LA PLAINE DE L'ORBE

BASSINS		SUPERFICIE		ALTITUDES				
		Km²	%	max.	min.	moy.	méd.	domin.
7	Mujon à Mathod	14.98	2.5	200	- 600	- 200	- 295	-4- -300
8	Jougnenaz	37.79	6.4	1500	100	800	846	9- 1000
9	Orbe supérieure	180.89	30.6	1510	- 100	705	624	10- 1100
10	Orbe à Orbe	299.13	50.5	1510	- 500	505	587	10- 1100
11	Nozon	42.75	7.4	1250	- 200	375	392	-1- 0
200	Flanc ouest de la Plaine (part.)	396.42	67.0	1510	- 600	455	441	10- 1100

Courbes des surfaces structurales
Courbes des surfaces topographiques
Altitudes moyennes ●
Altitudes médianes
Alt. m.
1568
1559
1510
1500
1482
1250
789
431
100
1500
1000
500
0
-500
10 %
20 %
30 %
40 %
50 %
60 %
70 %
80 %
90 %
100 %
7
8
9
10
11
200
NIVEAU DE BASE DU BASSIN
0
250
500
Km²

substratum imperméable représenté par la carte structurale au niveau du toit de l'Argovien (planche No 2) et par ses courbes hypsométriques (fig. No 1). Les limites hydrogéologiques d'un bassin n'en restent pas moins imprécises, car les critères d'appréciation du rôle joué par le relief souterrain sont mal définis. Pour notre part, nous nous sommes basés sur les trois principes suivants :

a) d'une manière générale, lorsque la couche imperméable affleure, elle limite la zone d'alimentation du karst qu'elle supporte ;

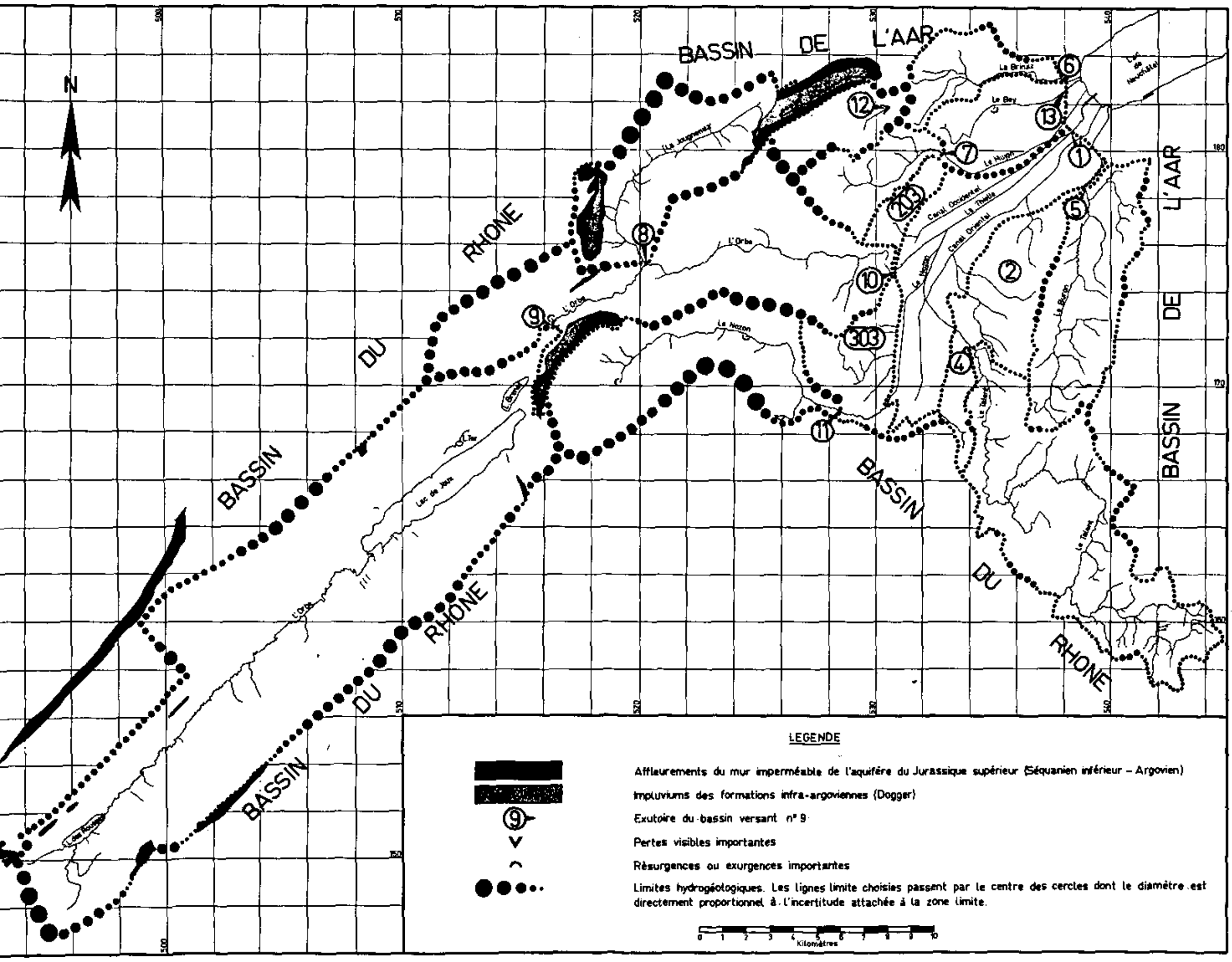
b) la circulation de l'eau dans les calcaires fissurés n'est pas nécessairement subordonnée au pendage des couches ;

c) lorsque l'horizon imperméable n'affleure pas, on cherche à tracer la limite la plus probable, c'est-à-dire approximativement selon la ligne de crête de l'anticlinal.

2. *Région molassique.* Les séries tertiaires sont généralement imperméables et leur épaisseur peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Elles empêchent donc toute infiltration importante en profondeur, bien qu'une circulation de fissures puisse parfois se développer très localement dans certains horizons. Dans cette partie du bassin, les lignes de partage des eaux souterraines dépendent donc principalement de l'orographie.

3. *Dans l'ensemble du bassin.* Il arrive fréquemment que des dépôts quaternaires (moraine, alluvions) recouvrent les formations calcaires ou molassiques d'une couche meuble. Selon leur nature et leur épaisseur, ces dépôts peuvent être aquifères. Il peut arriver que leur présence perturbe, à proximité de la surface, les schémas précédents.

Figure No 2


N
BASSIN DE L'AAR
BASSIN DU RHONE
BASSIN DU RHONE
BASSIN DU RHONE
BASSIN DE L'AAR
La Brinaz
Le Bey
Lac de Neuchâtel
Le Mujon
Canal Occidental
La Thielle
Canal Oriental
L'Orbe
Le Nozon
Le Buron
Le Talent
Lac de Joux
L'Orbe
1
2
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
203
303
500
510
520
530
540
180
170
150
LEGENDE
Affleurements du mur imperméable de l'aquifère du Jurassique supérieur (Séquanien inférieur – Argovien)
Impluviums des formations infra-argoviennes (Dogger)
Exutoire du bassin versant n° 9
Pertes visibles importantes
Résurgences ou exurgences importantes
Limites hydrogéologiques. Les lignes limite choisies passent par le centre des cercles dont le diamètre est directement proportionnel à l'incertitude attachée à la zone limite.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Kilomètres

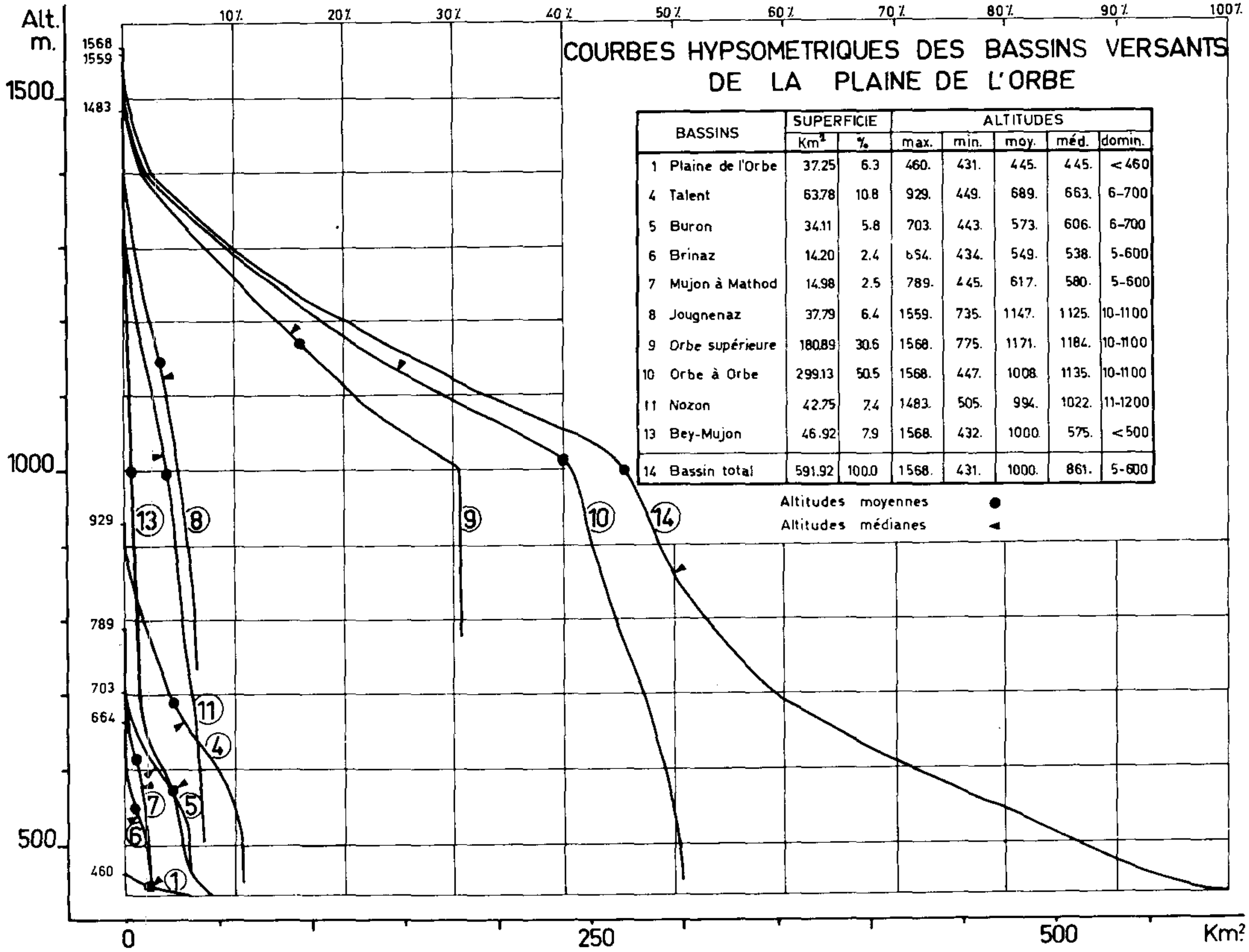
C. *Subdivisions hydrogéologiques*

L'aire de drainage de la plaine de l'Orbe peut être subdivisée en neuf bassins secondaires répartis en quatre groupes bien individualisés tant du point de vue géologique qu'hydrologique (cf. tableau 1). La figure No 2 donne une représentation de la zone limite probable des différents bassins versants partiels.

La figure No 3 donne la représentation hypsométrique classique des surfaces topographiques de chaque bassin partiel. On y remarque, parmi les chiffres caractéristiques situant l'ordre de grandeur des superficies et des altitudes, que la surface totale du bassin versant est de 591,9 km^2 pour une altitude moyenne de 1000 m. et une altitude médiane de 861 m. L'ensemble du versant occidental représente le 72,6 % du bassin total avec ses 429,9 km^2, alors que les versants orientaux n'en constituent que le 21,1 % avec 124,8 km^2, dont plus de la moitié est occupée par le seul bassin du Talent. La plaine de l'Orbe, pour sa part, ne couvre, avec ses 37,3 km^2, que 6,3 % de son aire de drainage.

Tableau No 1. — SUBDIVISIONS HYDROGÉOLOGIQUES

TYPES	BASSINS		EXUTOIRES	SUPERFICIES			ELEMENTS GEOLOGIQUES STRUCTURAUX	
	PRINCIPAUX	PARTIELS	COORDONNEES	KM²	% TYPE	% BV. TOT.	LIMITATIFS	CONSTITUTIFS
JURASSIEN		***ORBE SUPERIEURE***	Source de l'Orbe 516.40 / 172.44	180.89	52.9	30.6	ANTICLINAUX Cernies, Risoux, Noirmont, Mt Salaz, Mt. Pelé, Bucley. ACCIDENTS TECTONIQUES Combe du Vert, Pétra-Felix, *Montricher-Le Pont.*	ANTICLINAUX cf. limitatifs, ainsi que La Côte et Roche Brilenche. SYNCLINAUX Lac Brenet, Joux, Séchey, Soliat, Combe du Vert.
		JOUGNENAZ	Le Day 520.35 / 175.18	37.79	11.6	6.4	ANTICLINAUX Bel Coster, Suchet, Aiguilles de Baulmes, Plateau de Jougnes, Mt. d'Or. ACCIDENTS TECTONIQUES Vallorbe-Pontarlier, Suchet, Jougnenaz.	ANTICLINAUX cf. limitatifs. SYNCLINAUX Jougnenaz, Vallorbe.
	ORBE		Moulins Rod 530.69 / 174.81	299.13	87.5	50.5	ANTICLINAUX cf. Orbe supérieure et Jougnenaz, ainsi que Dent de Vaulion, Chalet Premier, Orbe. ACCIDENTS TECTONIQUES cf. Orbe supérieure et Jougnenaz ainsi que la faille d'Orbe.	ANTICLINAUX cf. limitatifs, ainsi que Mt. d'Orzeires. SYNCLINAUX cf. Orbe supérieure et Jougnenaz, Plateau subjurassien.
	NOZON		St Loup 528.45 / 169.01	42.75	12.5	7.2	ANTICLINAUX Dent de Vaulion, Chalet Devant, Chalet Premier. ACCIDENTS TECTONIQUES Montricher-Le Pont, Petra-Felix, Sur Grati.	ANTICLINAUX cf. limitatifs. SYNCLINAL Vaulion, Plateau subjurassien.
SUBJURASSIEN	***BEY-MUJON***		Yverdon 538.12 / 182.57 537.99 / 181.17	46.92	53.3	7.9	ANTICLINAUX Suchet, Feurtille.	ANTICLINAUX cf. limitatifs ainsi que Chamblon. SYNCLINAUX Baulmes, Champvent, Plateau subjurassien.
		MUJON	Mathod 532.87 / 179.94	14.98	17.0	2.5	ANTICLINAL Feurtille.	ANTICLINAL cf. limitatif, *Plateau subjurassien.*
		BAULMES-FEURTILLE	Le Crau 530.59 / 181.84	14.45	16.5	2.5	ANTICLINAUX Suchet, Feurtille.	ANTICLINAUX cf. limitatifs. SYNCLINAL Baulmes.
	BRINAZ		Yverdon 538.11 / 182.90	14.20	16.2	2.4	ANTICLINAL Feurtille.	ANTICLINAL cf. limitatif, Plateau subjurassien.
	BASSINS LATERAUX OUEST		Plaine de l'Orbe	26.91	30.5	4.6	ANTICLINAUX Mormont, Orbe.	ANTICLINAUX cf. limitatifs, Plateau subjurassien.
PLAINE DE L'ORBE			Yverdon 538.37 / 180.82 538.60 / 180.79 539.28 / 180.14	37.25	100.0	6.3	ANTICLINAUX Mormont, Orbe. *ACCIDENTS TECTONIQUES Orny-Orbe-Feurtille,* Mormont, Ependes-Calamin.	ANTICLINAUX cf. limitatifs. SYNCLINAL Plaine de l'Orbe.
PLATEAU	***BASSINS LATERAUX EST***		Plaine de l'Orbe	26.87	21.6	4.6		Plateau molassique.
	TALENT		Chavornay-Moulin 534.15 / 171.67	63.78	51.1	10.8		Plateau molassique.
	BURON		Bas des Monts 538.93 / 178.48	34.11	27.3	5.7		Plateau molassique.



COURBES HYPSOMETRIQUES DES BASSINS VERSANTS DE LA PLAINE DE L'ORBE

BASSINS	SUPERFICIE		ALTITUDES				
	Km²	%	max.	min.	moy.	méd.	domin.
1 Plaine de l'Orbe	37.25	6.3	460.	431.	445.	445.	< 460
4 Talent	63.78	10.8	929.	449.	689.	663.	6–700
5 Buron	34.11	5.8	703.	443.	573.	606.	6–700
6 Brinaz	14.20	2.4	654.	434.	549.	538.	5-600
7 Mujon à Mathod	14.98	2.5	789.	445.	617.	580.	5-600
8 Jougnenaz	37.79	6.4	1559.	735.	1147.	1125.	10-1100
9 *Orbe supérieure*	180.89	30.6	1568.	775.	1171.	1184.	10-1100
10 Orbe à Orbe	299.13	50.5	1568.	447.	1008.	1135.	10-1100
11 Nozon	42.75	7.4	1483.	505.	994.	1022.	11-1200
13 Bey-Mujon	46.92	7.9	1568.	432.	1000.	575.	< 500
14 Bassin total	591.92	100.0	1568.	431.	1000.	861.	5-600

Altitudes moyennes ●
Altitudes médianes ◄

Figure No 3

Chapitre II

Les terrains constitutifs du bassin

Le bassin versant de la plaine de l'Orbe s'étend pour une bonne part sur la zone bordière interne du Jura central et pour le reste sur la partie occidentale du bassin molassique. Cette situation se traduit hydrogéologiquement par des propriétés lithologiques et pétrographiques régissant l'écoulement des eaux souterraines propres à chacune de ces deux régions. Celles-ci sont du reste bien connues grâce aux nombreuses études et notes géologiques déjà publiées. Nous nous bornerons donc dans ce chapitre à décrire les formations rocheuses d'un point de vue essentiellement hydrologique.

Les terrains de couverture et en particulier les sédiments quaternaires de la plaine de l'Orbe feront l'objet du chapitre IV.

A. STRATIGRAPHIE

Les planches 3 et 4 présentent un résumé stratigraphique avec références bibliographiques des principales coupes lithologiques du bassin.

1. Jurassique moyen : le Dogger

Les terrains les plus anciens reconnus à l'affleurement dans notre bassin appartiennent au Dogger. Le Lias n'affleure nulle part, mais on soupçonne sa présence sous faible couverture dans le cirque du Mont-d'Or (Sprecher, 1913 et Aubert, 1943). Le Dogger apparaît à la faveur de bouleversements tectoniques (vallée des Epoisats, pied de la Dent-de-Vaulion, cirque du Mont-d'Or) ou à la suite de l'érosion de structures anticlinales (haute vallée de la Baumine). Cette série, épaisse de 150 à 230 m., se subdivise grossièrement en deux. A la base, les faciès calcaires, d'abord zoogènes puis oolithiques, prédominent et sont perméables en grand ; les formations supérieures, vaseuses ou finement détritiques, sont caractérisées par des marnes ou marno-calcaires très peu perméables.

Le *Bajocien* forme la base de la série. Il comprend des calcaires spathiques sombres à intercalations de marno-calcaires fossilifères vers le haut. Ceux-ci sont coiffés d'un calcaire oolithique grossier ou microbréchique à entroques. Epaisseur mal connue, comprise entre 60 m. et 100 m.

Le *Bathonien* occupe la partie centrale de la série avec des calcaires oolithiques à intercalations de marnes grumeleuses surmontées de calcaires spathiques très résistants à récurrences oolithiques. Son épaisseur varie entre 50 m. et 70 m.

Le *Callovien* est essentiellement marno-calcaire. Il débute par un complexe mal différencié de marnes et calcaires marneux (marnes de Furcil et marnes à Rhynconella varians) sur lequel repose la « Dalle nacrée », calcaire spathique plaqueté et très fissuré. Le Callovien supérieur n'a été reconnu qu'au-dessus de Baulmes, hors des limites du bassin par H. Schardt (1903).

2. Jurassique supérieur : le Malm

Les formations du Malm constituent la majeure partie des affleurements de la zone jurassienne du bassin. Elles débutent par un Oxfordien très réduit, observé en un unique endroit par T. Nolthenius (1921). Ce niveau est lié au puissant complexe marneux de l'Argovien, épais de plus de 200 m., que surmontent les non moins puissantes séries calcaires, d'abord récifales, puis bathyales, qui précèdent l'épisode saumâtre purbeckien de la fin du Jurassique. Ces formations calcaires, épaisses de près de 400 m., couvrent plus du tiers de la superficie du bassin et forment l'enveloppe des structures anticlinales. Leur importance spatiale — puissance et extension — explique le caractère essentiellement karstique de cette partie du bassin.

Les faciès marneux, par contre, ne sont visibles à l'affleurement que dans les dépressions creusées par l'érosion dans l'axe des anticlinaux ou à proximité d'accidents tectoniques importants. Ils constituent le mur « imperméable » du karst jurassique sus-jacent.

Il convient de rappeler ici la variabilité de la limite (zone de drainance maximum) que nous avons fixée « en moyenne » au sommet de l'Argovien. En effet, nous allons voir que des calcaires marneux alternent avec les marnes à l'Argovien supérieur et que la base du Séquanien présente également des faciès variables, calcaires ou marneux. Il est donc bien entendu que la limite devra être déterminée pour chaque cas particulier, soit dans le Séquanien inférieur, soit dans l'Argovien supérieur. La source de l'Orbe, la plus importante source vauclusienne de notre bassin, jaillit par exemple du Séquanien inférieur et rien ne permet d'affirmer que le karst atteint ou non l'Argovien supérieur à cet endroit. Il en est de même des exsurgences voisines (Les Gerlettes).

L'Oxfordien, généralement peu épais (quelques mètres), comprend des bancs calcaires et des marnes à Cardioceras cordatum.

L'*Argovien* débute par un faciès vaseux, le Spongitien, caractérisé par des calcaires et des marnes riches en spongiaires et en Céphalopodes (Périsphinctidés). Puis viennent les calcschistes stériles des Couches d'Effingen qui forment une succession régulière de petits bancs de calcaires argileux gris foncé alternant avec des lits marneux sombres. Epaisseur 150 à 200 m.

Le *Séquanien*, puissant de 120 m. environ, contraste avec la monotonie des formations argoviennes par les importantes variations de faciès latérales et verticales qu'il présente. La base de l'étage est essentiellement formée de marnes et marno-calcaires feuilletés et de calcaires brun-jaune, oolithiques et coralligènes (zone à Peltoceras bicristatum). Cet horizon, épais de 30 à 60 m., joue souvent le rôle de mur imperméable pour les formations sus-jacentes. Lorsqu'il est recouvert d'éboulis ou de moraine, il donne généralement naissance à de petites sources. Les séries du sommet de l'étage sont plus franchement calcaires, oolithiques, coralliennes ou compactes.

Avec le *Kimmeridgien* commence une série monotone de calcaires fins compacts, parfois oolithiques ou dolomitiques et de calcaires légèrement argileux. Son épaisseur considérable (plus de 200 m.), sa dureté, son homogénéité et sa continuité en font la plus importante des formations jurassiennes. Son rôle hydrologique prépondérant dans le karst jurassique résulte de cette lithologie et des propriétés pétrographiques de ses assises.

Le *Portlandien* se différencie lithologiquement de l'étage précédent par des calcaires bien lités, souvent plaquetés, passant vers le haut à des calcaires dolomitiques, parfois caverneux. Ce faciès calcaire, épais de 100 à 400 m., devient saumâtre ou lacustre au sommet de l'étage. Ce *Purbeckien* comprend (Carozzi, 1948 et Maillard, 1884) des calcaires légèrement marneux, des marnes sombres à characées et ostracodes. On y rencontre également des brèches et des marnes à niveaux gypseux au nord du décrochement de Vallorbe-Pontarlier. Cette série marneuse, d'épaisseur variable (5-10 m.), constitue un horizon peu perméable parfois bien caractérisé : sous le glaciaire et les éboulis, il peut déterminer des zones sourcières.

3. *Crétacé*

Cette série est visible à l'affleurement sur plus d'un cinquième du bassin, au fond des synclinaux jurassiens, en vastes placages au pied de la chaîne et même en pointements dans la plaine molassique. Là, en effet, sa couverture tertiaire est localement déchirée par des accidents tectoniques importants (Mormont, colline d'Orbe, Valeyres-sous-Rances, Feurtille, Mont-de-Chamblon) ou érodée par le ruissellement (Talent au Brésil).

Dès le Purbeckien et jusqu'à la fin du Secondaire disparaît l'uniformité des faciès du Malm supérieur : les terrains à caractères essentiellement calcaires alternent dès lors avec des assises marneuses. Le Crétacé peut ainsi être découpé en trois massifs hydrogéologiques qui restent partiellement interconnectés :

Le *Valanginien* perméable avec ses 60 à 70 m. de calcaires oolithiques et spathiques, par place recristallisés, repose sur le Purbeckien peu perméable, mais peu épais. Son régime karstique peut généralement être identifié à celui des calcaires du Malm supérieur.

L'*Hauterivien* débute par 40 m. de marnes bleues et marno-calcaires sombres. Ces marnes dites d'Hauterive forment le mur imperméable des 30 à 40 m. de calcaires durs et fissurables, oolithiques, spathiques ou glauconieux du sommet de l'étage (pierre jaune de Neuchâtel).

Le *Barrémien* comporte à sa base 30 m. de calcaires marneux bien lités et de marnes grumeleuses jaunes, que surmontent les calcaires néritiques blanc-rosé, résistants et très fissurés de l'Urgonien (40 m.).

Dès le Crétacé supérieur, la majeure partie du pays est exondée. La sédimentation locale et peu importante de même que l'érosion anté-éocène expliquent la distribution clairsemée des formations très réduites de cette époque. L'importance hydrologique du Crétacé supérieur est négligeable dans notre bassin où il n'est connu qu'en de rares endroits. Seules les marnes albiennes parviennent localement à définir quelques horizons sourciers mineurs (Le Campe à la vallée de Joux, Aubert, 1943).

4. Tertiaire

Le pays reste exondé jusqu'à l'Oligocène inférieur. Cet intermède continental se traduit par une érosion et une dissolution active des roches. Les produits d'altération sont des argiles rouges à pisolithes d'hydroxyde de fer et des sables quartzeux souvent éoliens (Bersier et Badoux, 1937). Ce sidérolithique remplit les poches ou les fentes des calcaires sous-jacents ; dans le Mormont des restes de vertébrés ont permis de dater ces formations parfois bien stratifiées (Lutétien-Ludien).

Dès l'Oligocène, la surrection des Alpes modifie la topographie de l'avant-pays. La subsidence s'accroît, accompagnée d'épisodes lacustres, lagunaires ou marins. Les matériaux de toute taille arrachés au relief de la jeune chaîne alpine ou, localement, d'éminences jurassiennes confluent vers le sillon péri-alpin. Les sédiments d'origine jurassienne forment les « faciès torrentiels » grossiers, ceux en provenance des Alpes, très fins et souvent micacés, donnent des « faciès à stratification régulière » (Schardt, 1880). De type essentiellement détritique, cette sédimentation molassique se poursuit jusqu'au Miocène avec des faciès très variables d'une localité à l'autre. Toutefois, un certain nombre de niveaux repères relativement continus dans la partie inférieure de notre bassin ont pu être mis en évidence grâce aux récentes études stratigraphiques de détails de H. Jordi (1955). Il faut, en outre, remarquer le trait le plus saillant de toute cette série tertiaire qui réside dans la disparition progressive des faciès argilo-marneux de la base (Chattien : marnes et macignos) au profit des grès miocènes (Burdigalien : grès grossiers).

Du point de vue hydrologique, les formations molassiques présentent des perméabilités très variables. Dans les horizons marneux et macigneux très peu perméables, la circulation est fissurale. Les formations gréseuses présentent des micro et macroperméabilités réduites, tandis que les calcaires d'eau douce souvent dolomitiques semblent pouvoir posséder des caractéristiques karstiques à l'échelle des bancs.

B. DISTRIBUTION DES AFFLEUREMENTS DES TERRAINS SECONDAIRES ET TERTIAIRES

La roche en place n'est généralement visible que dans les falaises ou les ravins escarpés ; ailleurs, elle est souvent masquée par des dépôts quaternaires d'épaisseur variable. Lors du planimétrage des « affleurements » nous n'avons pas tenu compte de ce Quaternaire d'origine morainique, alluviale ou d'altération superficielle en dehors de la plaine de l'Orbe, de la vallée de Joux et du plateau de Baulmes. Le tableau No 2 donne le détail des valeurs mesurées, mais dans l'ensemble, les formations géologiques se répartissent en surface de la manière suivante :

Le Dogger n'apparaît qu'en boutonnières dans les vallons d'érosion creusés à proximité des structures anticlinales et ne représente qu'un faible pourcentage de la surface totale (0,6 %).

Dans la région faîtière des anticlinaux, l'Argovien est visible dans de longues dépressions longitudinales ; plus rarement ses formations marneuses se manifestent par des paliers ou apparaissent dans de vastes cirques d'érosion favorisés par d'importants accidents tectoniques. La surface totale des affleurements argoviens est relativement faible puisqu'elle représente 1,47 % de la superficie des bassins karstiques.

La majeure partie du bassin est occupée par les formations karstiques du Jurassique supérieur. Ces calcaires massifs à macroperméabilité élevée couvrent plus du tiers de la surface totale du bassin.

Le Crétacé (22 % de la superficie du bassin) tapisse le fond des synclinaux jurassiens, où subsistent quelques lambeaux tertiaires, et constitue la dalle isoclinale du pied du Jura.

Le Tertiaire, enfin, visible dans quelques synclinaux jurassiens, devient prédominant sur le Plateau vaudois. Son épaisseur croît rapidement vers le sud-est et il couvre un peu moins du tiers du bassin total. Le tableau No 3 donne la répartition des trois étages du Tertiaire vaudois dans les bassins dont la plaine est tributaire.

Tableau No 2. — DISTRIBUTION DES *AFFLEUREMENTS DANS L'ENSEMBLE DU BASSIN*

Bassins Versants	DOGGER		ARGOVIEN		MALM SUP.		CRETACE		TERTIAIRE		RECENT		Surface totale
	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2
Latéraux Est	-	-	-	-	-	-	-	-	26.19	100.0	-	-	26.19
Latéraux Ouest	-	-	-	-	-	-	6.62	24.6	20.29	75.4	-	-	26.91
Talent (Moulin de Chavornay)	-	-	-	-	-	-	.15	.4	63.63	99.6	-	-	63.78
Buron (Bas des Monts)	-	-	-	-	-	-	-	-	34.11	100.0	-	-	34.11
Brinaz (Yverdon)	-	-	-	-	-	-	2.13	15.0	11.94	84.1	.13	.9	14.20
Mujon (Mathod)*	-	-	-	-	-	-	3.00	20.0	11.98	80.0	-	-	14.98
Jougnenaz (Le Day)	2.40	6.4	2.20	5.8	27.56	72.9	5.63	14.9	-	-	-	-	37.79
Orbe (Source)	-	-	.85	.5	116.25	64.1	39.87	22.1	1.00	.6	22.92	12.7	180.90
Orbe (Orbe)	3.65	1.2	5.25	1.8	187.56	62.8	78.75	26.3	1.00	.3	22.92	7.6	299.13
Nozon (St-Loup)	-	-	-	-	10.37	24.3	32.38	75.7	-	-	-	-	42.75
Baulmes-Feurtille (Le Crau) *	-	-	-	-	6.00	41.5	5.00	34.6	1.45	10.1	2.00	13.8	14.45
Bey-Mujon (Yverdon)	-	-	-	-	6.00	12.8	12.88	27.3	19.68	42.0	8.36	17.9	46.92
Bassin Total (Yverdon)	3.65	.6	5.25	.9	203.93	34.5	132.91	22.4	176.84	29.9	69.34	11.7	591.92

* Ces bassins sont compris dans le bassin « Bey-Mujon (Yverdon) ».

Tableau No 3. — DISTRIBUTION DES AFFLEUREMENTS DES TERRAINS TERTIAIRES

Bassins Versants	CHATTIEN km^2	CHATTIEN %	AQUITANIEN km^2	AQUITANIEN %	BURDIGALIEN km^2	BURDIGALIEN %	Surface totale km^2
Talent (Moulin de Chavornay)	23.93	37.4	25.00	39.2	14.70	23.0	63.78
Buron (Bas des Monts)	22.48	65.9	11.63	34.1	-	-	34.11
Brinaz (Yverdon)	5.94	41.8	6.00	42.3	-	-	14.20
Bey-Mujon (Yverdon)	19.50	41.6	.18	.4	-	-	46.92
Latéraux Est	23.56	89.9	2.63	10.1	-	-	26.19
Latéraux Ouest	21.29	79.2	-	-	-	-	26.91
Bassin total	116.70	19.7	45.44	7.7	14.70	2.5	591.92

Chapitre III

Prospection géoélectrique

A. INTRODUCTION

1. Choix d'une méthode géophysique

Lorsque cette étude a débuté en 1964, personne ne connaissait la nature des sédiments profonds de la plaine de l'Orbe. A l'exception de trois sondages pétroliers datant du début du siècle, les forages effectués généralement dans le cadre de recherches d'eau ne dépassaient que rarement 20 m. de profondeur. En outre, leur implantation était déterminée par des ingénieurs qui tenaient souvent plus largement compte de considérations purement techniques (distance au réseau de canalisation existant déjà, proximité des lieux d'habitation) que d'idées géologiques bien arrêtées. De ce fait, la répartition et le nombre insuffisant des forages ne permettaient pas de faire une étude même très générale des premiers vingt mètres du sous-sol et à plus forte raison des formations plus profondes. Nous avons donc décidé d'utiliser les moyens que le Laboratoire de géophysique de l'Université de Lausanne pouvait mettre à notre disposition. Le choix des méthodes de prospection électrique a été dicté d'une part par l'économie des moyens mis en œuvre, d'autre part par la relativement bonne adaptation de ces techniques à l'hydrologie des formations meubles. Nous disons relativement bonne adaptation parce qu'il existe malheureusement de nombreux cas où l'interprétation ne peut être garantie et où seuls des sondages mécaniques ou l'utilisation d'autres méthodes géophysiques plus onéreuses permettent de confirmer ou d'infirmer les hypothèses géoélectriques.

2. Objectifs recherchés par la prospection géoélectrique

Les buts suivants ont été fixés aux différentes campagnes de prospection que nous avons effectuées avec la collaboration du personnel auxiliaire du Laboratoire de géophysique de l'université :

- rechercher les limites latérales des alluvions grossières (supposées aquifères) dans la plaine de l'Orbe, à la profondeur d'épaisseur optimum ;
- reconnaître l'extension latérale et la puissance des formations fines (supposées imperméables) et leurs relations avec les précédentes ;
- déterminer l'allure et la composition du bedrock de la plaine ;
- définir la surface du toit des calcaires sous le Tertiaire et le Quaternaire de la région explorée.

B. TRAÎNÉ ÉLECTRIQUE

1. La carte des résistivités pour AB = 100 m.

Les résultats des mesures du « traîné AB = 100 », reportés sur les feuilles au 1 : 10 000 de l'assemblage cadastral du canton de Vaud, sont déposés au Laboratoire de géophysique de l'Université de Lausanne. Les courbes d'équirésistivité ont été tracées sur la planche No 5. La densité des mesures est très élevée : 50 mesures/km^2.

L'interprétation de la carte des résistivités repose sur la connaissance des causes des variations de la résistivité apparente dans la région étudiée. Nous devons alors subdiviser celle-ci en deux zones géologiquement bien distinctes :

- la plaine alluviale sensu stricto, limitée aux ruptures de pente,
- les versants de la vallée.

Dans la *plaine de l'Orbe*, l'étude de quatre sondages électriques préliminaires à Orbe nous a permis de constater la présence d'une couverture de faible épaisseur formée de tourbes, de limons ou de matériaux éluviaux, de basse résistivité. Puis viennent des graviers alluviaux généralement aquifères, de puissance variable, de résistivité élevée qui reposent sur des sables ou limons lacustres de faible résistivité. Ainsi donc, les augmentations de la résistivité apparente visible sur la carte pourront avoir les origines suivantes:

— diminution de l'épaisseur de la couverture (affleurement des graviers) ; toutefois, cette épaisseur est si faible (quelques mètres en général) que ses variations n'auront que peu d'importance sur $S_{\text{app.}}$;

— augmentation de l'épaisseur des graviers ;

— augmentation de la granulométrie de ces graviers ;

— augmentation de la résistivité du bedrock. Cette constatation a été faite près de la colline d'Orbe, au pied des flancs du Mormont où les alluvions peu épaisses reposent sur les calcaires crétacés ;

— augmentation locale de la résistivité des eaux d'imbibition de la formation graveleuse (exsurgences souterraines diffuses d'eau karstique peu minéralisée ou invasion d'eau douce de rivière) ; la résistivité des graviers peut être augmentée de la sorte par un facteur pouvant atteindre 1.7 puisque la résistivité moyenne des eaux de graviers est de 18 ohms.m. et celle des eaux karstiques de 30 ohms.m. ;

— diminution de la quantité d'eau contenue dans les graviers (zones à forte cimentation ou graviers secs).

L'étude de la partie alluviale de la planche No 6 montre, pour une profondeur moyenne d'investigation de 30 à 40 m., trois zones de résistivité élevée nettement subordonnées aux régions à basse résistivité.

Au pied nord du Mormont s'étend la zone amont à haute résistivité qui représente l'accumulation des graviers d'Orny. Les collines molassiques du Mont-d'Orny et de Lilan s'y marquent en boutonnières de faible résistivité, tandis qu'au Creux-du-Loup et près de Pompaples les calcaires crétacés du Mormont se devinent sous les alluvions graveleuses par la présence de résistivité apparente supérieure à 400 ohms.m. Vers l'aval et jusque dans les environs du Pâquier près d'Orbe, les faibles valeurs ohmiques attestent la disparition en biseau des sédiments grossiers, au profit d'alluvions fines.

Au milieu de la plaine, le cône de l'Orbe se marque fortement par des résistivités apparentes de l'ordre de 100 à 400 ohms.m. Les valeurs très élevées que l'on observe dans la partie amont de ce cône près des Moulins Rod révèlent probablement la présence à faible profondeur des calcaires urgoniens du bedrock. Par contre, les plages qui présentent des valeurs de l'ordre de 250 à 400 ohms.m. dans la région des usines Nestlé et des granges Saint-Martin peuvent être attribuées soit à des zones à forte cimentation révélées par le sondage du Linor, soit à des infiltrations d'eau peu minéralisée de l'Orbe ou d'origine karstique. Enfin, le chenal de résistivité élevée qui suit le cours actuel de l'Orbe pourrait constituer un dépôt superficiel de graviers secs plutôt qu'une zone de décharge partielle des eaux résistantes de la rivière. De récents forages semblent confirmer cette hypothèse. L'épandage de matériaux moyennement résistants (70-100 ohms.m.) s'étend loin vers l'aval en une longue bande ciselée de zones plus conductrices jusque dans la région d'Yverdon. Cette bande s'étire au pied du versant oriental de la plaine, dans l'axe de la dépression subjurassienne. Les sondages mécaniques exécutés dans cette région n'ont traversé que des sables grossiers ou des bancs de gravillons sableux nettement subordonnés à des alluvions limoneuses. Toute la zone située au nord-est de la Thielle, pour sa part, est caractérisée par de faibles résistivités qui révèlent la présence de dépôts très fins reposant directement sur la molasse macigneuse sous-jacente. Seule la région de Mathod présente quelques accumulations peu importantes de graviers aquifères déposés par l'ancien Mujon. Le « pointement » de haute résistivité (100-200 ohms.m.) des Vernes sur la route Mathod-Ependes a été interprété comme un bombement en forme de petit dôme adventif des calcaires du Chamblon. Enfin, au sud d'Yverdon, le Buron a déposé un petit cône d'alluvions qui se marque sur la carte des résistivités par des valeurs comprises entre 70 et 200 ohms.m.

Dans la partie aval de la plaine, près de l'extrémité nord-est du Chamblon, se dessine la troisième zone à fortes résistivités dont nous avons parlé. Situées sur le tracé probable des accidents transversaux reconnus dans le Chamblon et qui s'étendent de la région de Feurtille à celle de Cuarny, ces surfaces à hautes résistivités nous semblent traduire la présence à faible profondeur des calcaires crétacés localement surélevés. Deux sondages mécaniques exécutés par le Bureau de construction des autoroutes ont en effet révélé la présence de calcaires hauteriviens aux Parties et au Pré-du-Canal à environ 40 m. de profondeur (cf. planches Nos 6 et 7).

Les *versants de la vallée* sont formés de roche en place. Deux terrains sont en présence à l'affleurement ou sous une couverture récente très peu épaisse. Ce sont d'une part les marnes et macignos chattiens recouverts dans la partie nord-est de la carte par les grès et marno-grès aquitaniens, d'autre part, les calcaires crétacés qui émergent de cette couverture tertiaire dans le Talent, au Chamblon, à Valeyres-sous-Rances, dans le Mujon, à la colline d'Orbe, dans le Nozon et au Mormont. Le contraste de résistivité entre les formations tertiaires et secondaires est bien marqué sur la carte et n'appelle aucun commentaire. Prêtons notre attention tout de même encore quelques instants à la colline d'Orbe. La carte des résistivités fait apparaître de manière parfaite et sans équivoque une discontinuité importante sur le flanc occidental de cette éminence calcaire. Cette brusque transition des résistivités inférieures à 70 ohms.m. à des valeurs de l'ordre de 400 ohms.m. contraste avec le passage graduel que l'on observe sur le flanc oriental. D'autre part, l'allure rectiligne de cette discontinuité qui s'allonge du sud au nord en direction d'un phénomène identique observé dans le Mujon à Rances nous fait penser à la présence d'un accident tectonique important. En fait D. Aubert (1963) a déjà signalé dans la région une faille, la « faille d'Orbe », mais il la fait passer par le flanc est de la colline. Les observations géologiques que nous avons pu faire dans cette région et en particulier l'examen d'une fouille exécutée en 1965 au travers de la route Orbe-Valeyres (530.575/176.315) nous a permis de constater sur le flanc occidental l'existence d'un accident qui mettait en contact vertical les marnes bigarrées chattiennes et les calcaires urgoniens. Nous nous permettons dans ces conditions de modifier le tracé préconisé par D. Aubert et de prolonger la faille de Rances-Feurtille le long du flanc occidental de la colline d'Orbe. Celle-ci prend ainsi l'allure d'un monoclinal faillé de nature identique aux pointements crétacés du Mujon à Valeyres-sous-Rances et de la colline de Feurtille.

La carte des résistivités pour AB = 100 m. a donc permis d'éclaircir ou de confirmer plusieurs points essentiels concernant :

a) *Les aquifères*

1. Trois régions seulement sont intéressantes sous réserve des propriétés chimiques de l'eau et du respect absolu de l'*intégrité totale de l'aquifère sensu lato :*
   - le *cône d'Orny,* en contact direct avec des calcaires fissurés qui jouent un rôle mixte d'alimentation et de drainage karstique des graviers. Cet aquifère important est grandement menacé par l'*exploitation abusive* des graviers dans sa partie amont :
   - le *cône de l'Orbe,* dans une situation légèrement plus favorable parce que la surface de contact graviers-calcaires est plus faible et parce que les graviers ne sont pas exploités. Par contre, le développement industriel de la ville sur le cône permet de craindre des pollutions ultérieures de l'aquifère ;
   - la *zone située au sud et au sud-ouest d'Yverdon,* enfin, présente des eaux dures et très généralement séléniteuses à cause de la proximité des faciès saumâtres du Chattien supérieur. L'eau y est actuellement inexploitable.
2. L'épaisseur maximale moyenne des formations graveleuses est de l'ordre de 20 m. environ. Au Creux-du-Loup et sous Mormont l'épaisseur des graviers peut localement dépasser cette valeur (cf. chapitre IV).
3. La présence d'un substratum crétacé sous les graviers aquifères permet d'envisager l'existence d'une alimentation souterraine d'origine karstique au moins partielle. De même, un drainage karstique, du moins à certaines périodes, ne peut être écarté.

b) *Les terrains fins*

1. Ils constituent la majeure partie des alluvions de la plaine.
2. Leur épaisseur est considérable.
3. Sur cette carte la distinction est difficile à faire entre les alluvions fines et la molasse sous-jacente. Seuls des sondages électriques et des forages permettront de tracer les courbes isohypses du bedrock molassique.

c) *Les versants de la plaine*

1. Dans la région prospectée, la couverture quaternaire est faible ou inexistante. Aucune accumulation importante de graviers fluvioglaciaires n'est apparue.
2. La position de la faille d'Orbe à Orbe a pu être rectifiée et fixée de manière certaine.
3. Les variations lithologiques des calcaires et marno-calcaires crétacés se traduisent par des variations de résistivité dans la colline du Chamblon.

2. *La carte des résistivités pour AB = 40 m.*

Une étude auxiliaire commandée par le Bureau de construction des autoroutes a permis d'établir une seconde carte de résistivité pour une longueur de ligne beaucoup plus faible (AB = 40 m.). Cette carte donne une vision identique, en gros, à la précédente, mais pour une profondeur comprise entre 10 et 15 m. seulement. Signalons qu'elle a été tracée à l'aide d'un nombre deux fois plus restreint de mesures (densité moyenne : 25 mesures/km^2) et n'appelle aucun commentaire.

C. SONDAGES ÉLECTRIQUES

Deux premières campagnes de sondages électriques peu profonds ont été effectuées en avril 1963 puis en mai 1964 pour déterminer respectivement les épaisseurs moyennes des graviers d'Orbe (7 S.E.) et d'Orny (5 S.E.). Une troisième série de 34 sondages fut exécutée en 1967 et 1968 avec de grands dispositifs pour tenter de déterminer l'allure du substratum molassique et même du toit des calcaires crétacés.

L'interprétation des courbes obtenues a été traitée au moyen de la méthode du « Partial Curve Matching » (Keller et Frischknecht, 1966) et l'extrapolation des résultats géophysiques aux horizons géologiques a été basée sur les travaux de G. C. Favini (1966) pour les formations cohérentes et C. Meyer de Stadelhofen (1964 a et b) pour les roches meubles. D'une manière générale, nous avons alors utilisé les subdivisions et corrélations du tableau No 4 entre résistivités vraies et formations géologiques.

Tableau No 4

Formations meubles		Formations cohérentes	
Résistivités vraies (ohms . m)	Dénomination	Résistivités vraies (ohms . m)	Dénomination
15	Tourbes ou argiles	30	CHATTIEN** (marnes et macignos)
15 - 100*	Limons Sables Gravillons	30 - 60	AQUITANIEN (Grès et marno-grès)
100 - 300	Graviers aquifères ± sableux		
300	Graviers secs ou fortement cimentés	100	CRETACE (calcaires et marno-calcaires)

* La moraine würmienne présente une résistivité vraie comprise entre 70 et 110 ohms.m.

** Les calcaires lacustres chattiens, bien développés dans la partie nord-est de la planche No 5, ont une résistivité vraie variable (40 - 100 ohms.m.).

Les tableaux 5, 6, 7 résument les principaux renseignements tirés de l'interprétation des courbes de sondages électriques. La couverture récente des graviers, généralement peu épaisse, n'est pas mentionnée dans ces tableaux. On l'obtient par soustraction de l'altitude du sondage et du toit des graviers. Elle comprend des tourbes, des limons argileux, parfois un peu de craie lacustre et de la terre végétale. Cette pellicule sera étudiée au chapitre suivant de même que la répartition spatiale des formations quaternaires en général.

1. *La carte des isohypses du bedrock de la plaine*

A partir des données obtenues par sondages électriques et des profils géologiques des forages existants, nous avons tracé les courbes isohypses du bedrock de la plaine de l'Orbe (cf. planche No 6, équidistance 25 m.). Une bonne part de subjectivité est attachée au dessin de détail des courbes, mais nous pensons que l'allure générale représente bien le modelé du soubassement rocheux de la dépression subjurassienne. L'examen de cette carte révèle l'existence de deux dépressions dues vraisemblablement à un surcreusement fluvial. Elles sont obliques l'une par rapport à l'autre et communiquent entre elles.

La dépression amont, étroite et profonde d'environ 120 m. dans sa partie médiane, a une direction sud-nord. La vallée principale adossée au versant occidental de la plaine, se trouve dans le prolongement de la vallée de la Venoge ; la dépression d'Orny ne se marque que faiblement de même que la vallée du ruisseau des Vaux. La profondeur maximum se situe dans la région du Grand-Pâquier où se trouve également l'exutoire qui met ce sillon en communication avec la vallée inférieure. L'extrémité nord de la cuvette amont semble donc se relever doucement dans la région d'Orbe et venir mourir sur le grand

Tableau No 5. — SONDAGES PEU PROFONDS D'ORBE (ABmax = 400 m)

No S.E.		6	7	8	9	10	11	12
Coordonnées		531.60 175.62	531.46 175.69	531.93 175.49	531.87 175.56	531.81 175.67	531.75 175.63	531.68 175.73
Altitude		440	440	439	439	440	440	440
Graviers	toit	439	438	435	438	439	439	438
	mur	422	402	404	416	409	408	418
	épais.	17	36+	31+	22+	30+	31+	20+
Limons Sables Gravillons	toit	422	402	404	416	409	408	418
	mur	300*	267	356**	360*	306*	310*	400
	épais.	122(?)	135(?)	48	56	103(?)	98(?)	18
CHATTIEN	toit							400
	mur							270*
	épais.							130(?)

* Cote du toit des calcaires.

** Cote probable du toit de la molasse.

+ Valeurs englobant probablement la moraine würmienne et les cailloutis holocènes.

plateau molassique qui s'étend entre Bochuz et Mathod. Est-ce un phénomène ancien de confluence de deux écoulements, un surcreusement glaciaire ou la trace de l'ancienne vallée principale qui empruntait la dépression du Bey à l'ouest du Chamblon, oblitérée à la suite d'un bombement tectonique assez récent (antérieur ou contemporain du Würm) ? Rien ne permet de le préciser.

Il est intéressant de remarquer que l'Orbe, rivière pourtant importante, n'a pratiquement pas entaillé le bedrock de la plaine. Ceci revient à supposer que ce cours d'eau n'a atteint la vallée de l'Orbe à Orbe qu'assez tardivement à l'Holocène, lorsque celle-ci constituait un niveau de base surélevé à l'altitude de 420 m. environ, ce qui représente un comblement antérieur d'environ 100 m. Nous verrons au chapitre suivant que la disposition des graviers du cône de l'Orbe reposant sur des limons et des sables confirme cette hypothèse. Le Talent, enfin, qui a pourtant creusé un vallon encaissé sur le flanc oriental de la plaine n'incise que très faiblement son bedrock. Ici encore, tout semble montrer que ce cours d'eau n'a entrepris son travail érosif que tardivement, probablement à peu près à la même époque que l'Orbe, après la dernière glaciation.

La dépression aval, plus importante que la précédente, s'étire à une profondeur à peu près constante (altitude 350 m.), le long du flanc oriental de la plaine jusqu'à Yverdon.

Là, on ignore tout de ses relations avec la cuvette du lac de Neuchâtel au travers de la zone faillée Chamblon-Chevressy. Le jeu de ces failles a-t-il déterminé un seuil que l'érosion n'a pu entièrement scier et qui aurait déterminé à son tour une sorte de lac de barrage, profond et très ancien, expliquant ainsi la finesse des dépôts révélés par l'interprétation des sondages électriques ? Ou bien existe-t-il des gorges, comme dans le Mormont, mais à une altitude bien inférieure ? Ou enfin, l'érosion n'a-t-elle atteint les calcaires ? La question reste ouverte. Nous remarquerons enfin que dans cette région encore, le Buron semble n'avoir débouché dans la plaine que très récemment.

En résumé, nous pouvons dire que cette carte, si incomplète soit-elle, pose pour l'instant plus de problèmes qu'elle ne permet d'en résoudre !

2. *La carte des isohypses du toit des calcaires*

La carte des isohypses du toit des calcaires (cf. planche No 7, équidistance 25 m.) a été dessinée à l'aide des données des sondages électriques exécutés par nous-même et par H. Lazreg, de quelques

Tableau No 6. — SONDAGES PEU PROFONDS D'ORNY (ABmax = 400 m)

No S.E.		5**	13	14	15	16	17
Coordonnées		530.07 169.75	529.45 168.60	529.46 168.80	529.93 168.47	529.64 168.58	530.30 168.85
Altitude		485	480	482	473	477	467
Graviers	toit	485	480	482	472	477	467
	mur	482	477*	447*	445	449	446
	épais.	3	3	35+	27	28	21
Limons Sables Gravillons	toit				445	449	
	mur				435	384(?)	
	épais.				10	65(?)	
CHATTIEN	toit				435		446
	mur				349*		331*
	épais.				86		115

* Cote du toit des calcaires.

** Sondage effectué en août 1962 au Mont-Olivet par le Laboratoire de géophysique dans le cadre d'une étude sur les graviers fluvioglaciaires. La molasse chattienne (23 ohms.m) a été atteinte à la cote 482 m.

+ Valeurs englobant probablement des cailloutis préwürmiens, la moraine würmienne et les cailloutis holocènes.

sondages mécaniques qui ont atteint les calcaires et à partir de données de géologie de surface. Elle a été limitée au nord-est à la zone de fractures Chamblon-Chevressy, car nous ne possédons aucune donnée au-delà de cette zone. En deçà, le grand synclinal de la plaine de l'Orbe est limité à l'est par un accident important de direction sud-ouest - nord-est qui prend naissance à l'ouest d'Essert-Pittet pour venir butter contre la zone faillée de Chamblon-Chevressy dans la région de Calamin. Il serait ainsi antérieur à ces dislocations. Une troisième fracture importante est représentée par la faille d'Orbe dont nous avons déjà parlé.

Cette carte fait ressortir, de manière bien nette, l'allure en forme de coin poussé contre le pied du Jura que prend la région de la plaine de l'Orbe. La poussée du sud-est a déterminé, en effet, le monoclinal molassique faillé d'Essert-Pittet - Ependes - Belmont - Sermuz, avant-pli de l'anticlinal faillé transversalement Mormont-Yvonand visible uniquement dans la partie sud-est de la carte. Puis, sur l'autre flanc du synclinal de la plaine de l'Orbe, apparaît le dôme de Chamblon séparé par le synclinal de Champvent d'un nouveau monoclinal faillé, celui de Feurtille, qui se prolonge vers le sud par celui d'Orbe.

D. CONCLUSIONS

Si les résultats obtenus, représentés sur les planches Nos 5 à 7, ne peuvent pas toujours être interprétés de manière définitive, certaines hypothèses de travail ont pu être élaborées. Il restera à les vérifier par d'autres méthodes géophysiques plus raffinées et par des forages judicieusement implantés.

Les renseignements obtenus peuvent se résumer de la façon suivante :

Cartes des résistivités AB = 100 m./AB = 40 m.). Les deux grands aquifères de la plaine (cône d'Entreroches et cône d'Orbe) ont pu être circonscrits plus précisément que par les observations de surface. Les limites et puissances de ces formations seront encore précisées au chapitre IV avec l'étude des forages. La plus grande partie de la plaine, jusqu'à 20-30 m. de profondeur, est constituée de formations fines, probablement très peu perméables.

La carte du substratum rocheux (planche No 6) montre l'existence de deux dépressions non alignées qui longent alternativement les deux versants de la plaine. Leur situation pose des problèmes non résolus et leur origine reste hypothétique. Nous pensons qu'il s'agit de sillons de surcreusement fluvial dans une vaste et ancienne vallée à profil en *U* évasé.

La carte du toit des calcaires (planche No 7) révèle l'existence de phénomènes tectoniques inconnus jusqu'ici :

- — elle confirme, sur le flanc ouest de la colline d'Orbe, la position d'un accident important, déjà pressentie par nos observations de surface. Nous considérons qu'il s'agit du prolongement de la faille de Feurtille-Rances-Orbe que D. Aubert faisait passer à l'est de la colline d'Orbe ;
- — une zone fortement déprimée se dessine dans la partie septentrionale de la plaine, le long de son flanc oriental escarpé. Nous y voyons le signe d'un accident, invisible en surface, d'orientation sud-sud-est - nord-nord-ouest, subparallèle aux plis jurassiens ;
- — deux zones semblent indiquer des bombements très localisés au nord-est d'Orbe près de Bochuz et au sud-est de Suscévaz dans la région des Vernes. L'interprétation des résistivités y est particulièrement difficile et des études complémentaires seraient nécessaires pour la vérifier et expliquer l'origine de ces bombements particuliers.

Tableau No 7. — SONDAGES PROFONDS (ABmax = 2000 m)

No S.E.	Coordonnées	Altitudes	Graviers			Limons, sables gravillons			Aquitanien			Chattien			Crétacé
			toit	mur	épais.	toit	mur	épais.	toit	mur	épais.	toit	mur	épais.	toit
18	530.98/168.75	450	449	420	29+							420	377	43	377
19	530.92/170.20	445	445	423	22+							423	320	103	320
20**	531.68/175.65	440	439	427	12	427	397	30				397	195	202	195
21**	531.45/170.81	440	429	387	42+							387	330	57	330
22	531.25/170.85	440				434	378	56				378	327	51	327
23	530.96/170.91	441	433	420	13°							420	320	100	320
24	531.08/171.96	439				431	367	64				367	285	82	285
25	531.27/169.55	446	446	416	30+							416	338	78	338
26	530.87/168.59	455	454	441	13							441	318	123	318
27	532.76/173.33	440				421	416	5	416	401	15	401	225	176	225
28**	531.70/170.24	440	429	419	10°	419	369	50	369	?	?	?	300	69	300
29**	537.70/178.32	438				423	360	63	360	?	?	?	20	340	20
30**	535.66/179.28	435				430	401	29	401	?	?	?	297	104	297
31*	532.80/178.42	435				435	432	3°				432	307	125	307
32	538.02/180.43	430				430	390	40							
33**	531.81/175.02	440	439	402	37+	402	377	25	377	?	?	?	147	230	147
34	538.82/179.02	449				449	365	84	365	?	?	?	110	255	110
35	536.20/178.36	434				434	396	38				396	186	210	186
36	534.52/177.32	436				436	400	36				400	210	190	210
37	533.05/174.21	439	420	415	5°	415	395	20				395	230	165	230
38	532.35/171.89	439				439	413	26				413	163	250	163
39	532.59/170.02	440				440	421	19				421	330	91	330
40**	531.87/175.02	440	440	394	46+				394	?	?	?	164	230	164
41*	530.70/173.92	505										501	368	133	368
42*	529.83/174.04	545										536	366	170	366
43*	533.16/181.97	533										530	313	217	313
44*	539.77/178.00	505							502	481	21	481	241	240	241
45	531.34/172.96	439	416	401	15++	401	321	80				321	203	118	203
46**	531.54/174.22	439	438	382	56+	382	347	35				347	117	230	117
47	533.76/178.28	435										420	260	160	260
48	538.48/183.33	432				432	273	159	273	143	130	143	?	?	?
49	534.86/176.58	435				435	335	100	335	305	30	305	140	165	140
50	531.97/177.09	436	430	416	14+							416	260	154	260
51**	532.52/174.40	438	438	432	6	432	344	88				344	157	187	157
52*	530.92/180.22	560	559	553	6	553	540	13				540	470	70	470

* Sondages situés sur les flancs de la plaine de l'Orbe.

** Interprétation difficile.

+ Valeurs englobant probablement la moraine würmienne et les cailloutis holocènes.

+ + Valeurs correspondant vraisemblablement aux cailloutis interglaciaires (Riss-Würm) et à la moraine würmienne.

° Valeur de la moraine würmienne.

Chapitre IV

Les terrains du Quaternaire

A. PLÉISTOCÈNE

1. Les formations glaciaires visibles à l'affleurement

Les terrains glaciaires, localisés essentiellement dans les régions jurassiennes, subjurassiennes et dans le Gros-de-Vaud, présentent un intérêt hydrologique certain. Les uns, de nature limono-argileuse, constituent des niveaux peu perméables susceptibles de déterminer des zones aquifères. Les autres, gravelo-sableux, peuvent renfermer des horizons aquifères d'importance économique non négligeable, ainsi qu'en témoignent les nombreux captages qui les drainent.

2. La question du pléistocène dans la plaine de l'Orbe

Les formations du Quaternaire ancien n'ont été atteintes que très rarement par forage dans la plaine de l'Orbe. Il est donc impossible de définir avec précision leur nature et leur épaisseur et même par place de reconnaître leur existence. L'étude comparative des profils géologiques des forages et des valeurs obtenues par sondages électriques permet cependant de tirer certaines conclusions qui nous paraissent dignes d'intérêt.

Le premier point à élucider est la connaissance aussi exacte que possible de l'altitude du toit de la moraine würmienne dans les forages qui l'ont atteinte. A ce stade déjà, on se heurte à des difficultés. Les formations lacustres fines, parfois très compactes, se différencient souvent mal des dépôts sous-glaciaires argilo-sableux très pauvres en galets ou gravillons morainiques. Aussi avons-nous déterminé de manière empirique les limites supérieures de la moraine würmienne en nous basant sur la présence de tels éléments dans les limons argileux gris-bleuté à intercalations sablonneuses. Les altitudes ainsi obtenues sont donc susceptibles d'être sous-estimées de quelques mètres dans les cas les plus défavorables. Le toit de cette moraine, schématisé à la planche No 8, présente une pente moyenne selon l'axe de la plaine de 0,26 ‰ entre le Puits-d'Entreroches (531.48/168.74) et le forage du Pré-Reuter 1 (538.55/181.11).

L'étude des forages a montré, d'autre part, que localement cette moraine renferme des niveaux de sables grossiers, de gravillons ou même de galets généralement fortement émoussés, d'origine alpine ou jurassienne. Elle peut même devenir très graveleuse (forage 537.47/182.03).

La limite inférieure de ces dépôts est également souvent difficile à préciser, car ils reposent sur des formations fines, d'origine lacustre, ou grossières, probablement fluviolacustres, avec lesquelles ils se confondent (forage 531.48/168.74). Dans trois sondages (535.23/176.71 - 537.98/180.44 - 537.83/180.78), l'épaisseur de la moraine würmienne semble être d'une vingtaine de mètres, valeur moyenne que nous lui attribuerons.

Certains sondages électriques (530.96/170.91 - 531.08/171.96 - 531.70/170.24) ont permis de mettre en évidence cette moraine würmienne. Sa résistivité vraie varie entre 70 et 110 ohms.m. Ces valeurs constituent avec la faible épaisseur la seconde difficulté dans l'étude du Quaternaire ancien de la plaine. Ces résistivités se situent en effet à cheval sur celles des formations lacustres fines et des graviers alluviaux. Il est donc normal qu'une telle formation de 10 à 20 m. de puissance, pincée dans des dépôts de résistivité voisine, épais de plusieurs dizaines de mètres, puisse passer inaperçue dans un log de sondage électrique. Il est toutefois possible, dans une certaine mesure, de tester l'hypothèse de la présence d'un terrain morainique en comparant le profil géologique d'un forage peu éloigné au log du sondage électrique. On constate dans de nombreux cas une très légère inflexion de la courbe du sondage électrique à une profondeur voisine de celle que la moraine devrait occuper (marge d'erreur généralement inférieure à 10 %). Dans la majorité des cas cependant, le log électrique est trop imprécis pour mettre en évidence de faibles variations de résistivité vraie et la présence de la moraine würmienne échappe à notre investigation.

La nature et l'âge des formations inférieures sont évidemment encore plus difficiles à saisir. Nous aurons recours à une étude morphologique sommaire de la carte du substratum rocheux de cette plaine (cf. planche No 6).

Tout d'abord, dès 1922, Joukowsky et Lagotala (1922), puis Mermier (1923) ont reconnu l'existence de gorges préwürmiennes creusées dans les calcaires du Mormont. Leur formation doit donc dater au moins de l'interglaciaire Riss-Würm et les produits de cette érosion ont dû se déposer à l'aval de ces défilés, c'est-à-dire dans la région d'Entreroches si l'on admet qu'ils résultent de l'action des eaux de fusion du front d'un glacier retenu derrière le verrou du Mormont. La profondeur du thalweg est inconnue, mais inférieure à l'altitude 444 m. à Entreroches.

D'autre part, la phase de surcreusement signalée au chapitre précédent semble bien résulter d'une érosion fluviale importante. Elle ne peut donc s'être développée qu'après la dernière glaciation ou lors d'un stade interglaciaire antérieur. La présence de moraine würmienne, rencontrée entre les altitudes 430 m. et 400 m. environ, plusieurs dizaines de mètres au-dessus de bedrock, nous permet d'affirmer que cette érosion est antéwürmienne. La question est alors de savoir si elle a eu lieu entre le Riss et le Würm ou avant le Riss ? La profondeur des sillons de surcreusement et leurs profils transversaux adoucis nous poussent à envisager leur formation à une époque d'érosion active suivie d'une période glaciaire importante. Nous pensons donc qu'elle a eu lieu avant le Riss, à l'interglaciaire Mindel-Riss, alors que dès le Pliocène et jusqu'à la première glaciation, une vallée sud-nord s'était formée dans les dépressions actuelles de la Venoge et de l'Orbe (ancien contour de la Drance, Lugeon, 1897). La première invasion glaciaire donne à cette vallée une forme d'auge surbaissée. Dès le retrait du glacier, une période d'active érosion favorise le surcreusement des deux sillons latéraux de la plaine de l'Orbe (leur disposition relative reste une énigme, s'agit-il de phénomènes de capture ?). Des alluvions se sont peut-être déposées localement, mais elles sont recouvertes par la moraine que le glacier rissien abandonne sur toute la région. Celle-ci est à son tour érodée par le ruissellement ou coiffée par les dépôts fluviolacustres de l'interglaciaire Riss-Würm que recouvre la moraine würmienne. Enfin, la période postglaciaire récente donne naissance aux formations de l'Holocène.

B. HOLOCÈNE

Parmi les différentes formations postglaciaires nous ne considérerons ici que les plus importantes du point de vue hydrologique et renvoyons aux études géologiques particulières antérieures pour les autres dépôts.

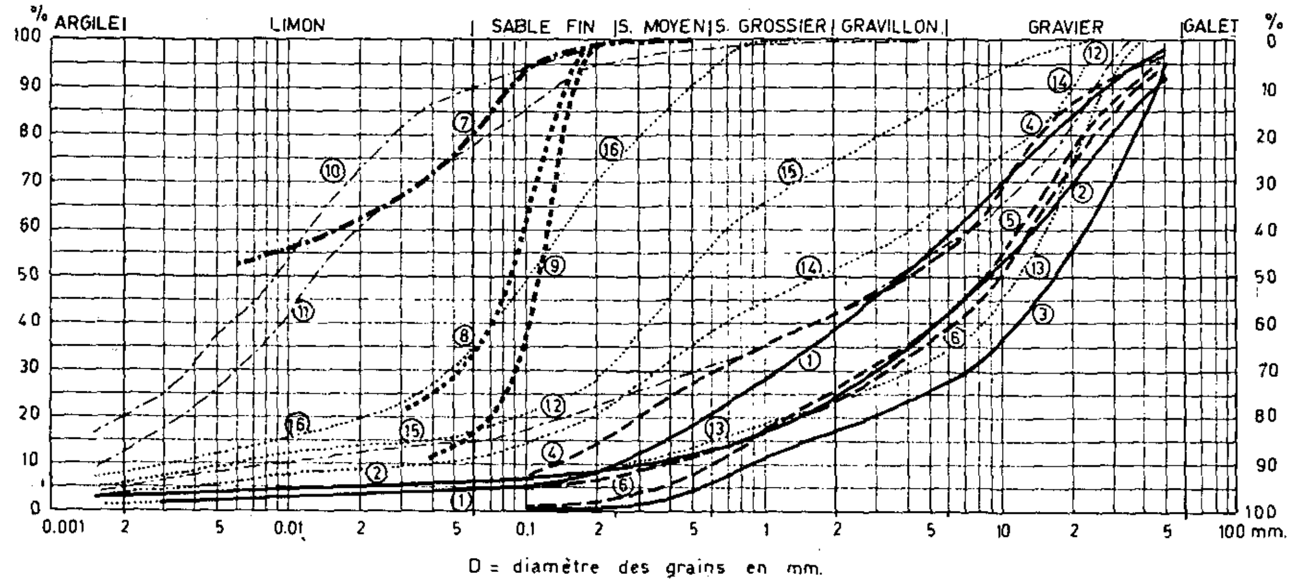
a) *Epaisseur des alluvions holocènes.* Les récents forages exécutés pour l'étude du tracé de l'autoroute Lausanne-Berne ont considérablement élargi notre connaissance de la répartition de l'Holocène dans la plaine de l'Orbe depuis les travaux de Jäckli (1949-1950), en particulier dans sa partie orientale. De nombreux forages ont atteint la base des alluvions récentes et certains d'entre eux ont même traversé la moraine de fond würmienne et touché le substratum rocheux dans la partie médiane de la plaine, au sud d'Yverdon. D'autres forages récents de recherche d'eau dans le cône de l'Orbe, aux EPO, nous renseignent sur l'épaisseur de l'Holocène. Ces données et enfin le profil géologique du puits filtrant d'Entreroches nous permettent de conclure à une augmentation de l'épaisseur des dépôts post-würmiens de l'amont (environ 15 m.) à l'aval de la plaine (environ 30 m. ou plus). Ces formations sont de nature et d'origine diverses: nous allons tenter maintenant de les définir et de les délimiter.

b) *Les cailloutis* ont été déposés à l'Holocène supérieur par les cours d'eau latéraux, tributaires du lac subjurassien qui atteignait alors le pied du Mormont. Ils forment des cônes d'alluvions graveleux qui reposent directement sur la moraine dans leur partie amont ou sur des sédiments lacustres plus fins, sables et limons d'épandage, à leur périphérie. La planche No 8 présente la répartion de ces graviers dans la plaine. On remarque qu'ils forment trois grands ensembles sur la rive gauche de l'ancien lac (apports importants des versants jurassiens) tandis que sur rive droite les alluvions graveleuses dessinent des cônes beaucoup moins étendus et moins épais. La raison en est bien évidente lorsque l'on songe aux terrains attaqués sur le Plateau par l'érosion fluviale : les assises molassiques recouvertes d'une moraine relativement peu graveleuse livrent des produits d'érosion fins, car les blocs s'effritent rapidement pour donner des sables et des limons.

Les trois cônes de déjection occidentaux constituent d'importants réservoirs aquifères plus ou moins activement exploités.

Le *cône d'Entreroches,* à l'amont, s'étend au pied nord du Mormont entre Entreroches et Plan-Manin. Il est constitué de cailloutis sableux et de sables par place légèrement limoneux, déposés en couches horizontales que recoupent parfois de petits niveaux à granulométrie fine et stratification oblique. Les galets sont bien roulés, de taille variable (moyenne 4-10 cm. ϕ avec un maximum de 15 cm.). Six analyses granulométriques (cf. figure No 4) effectuées en 1962 donnent une bonne image de la composition de la partie superficielle de ces dépôts (Mercier et Ferrand, 1962). Un examen pétrographique sommaire du front de taille des nombreuses exploitations ouvertes dans ces graviers montre que leur origine est jurassienne, mais qu'ils renferment une forte proportion d'éléments alpins arrachés aux moraines rhodaniennes.

Figure No 4



ANALYSE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
D60/D10	22	50	25	32	50	20	–	–	42	–	12	740	64	103	115	47
$\frac{(D30)^2}{D60 \cdot D10}$	1.00	0.50	2.45	1.96	0.43	1.25	–	–	2.46	–	0.26	3.38	4.00	0.75	12.78	2.16

ANALYSE	ECHANTILLON	PRELEVEMENT			REFERENCE
		Forage	Coordonnées	Profondeur	
1	Graviers (Plan Manin)	II-25	531.23/168.63	1.0 - 2.5	P. Mercier (1962)
2	" "	"	"	6.0 - 7.0	"
3	" "	"	"	10.0 - 11.0	"
4	" "	II-26	531.05/168.76	1.0 - 2.0	"
5	" "	"	"	5.0 - 7.5	"
6	" "	"	"	10.5 - 11.0	"
7	Glaise argileuse (Alluvions compactes du Buron)	–	–	–	B. Petitpierre & P. Regamey
8	Sables fins gris homogènes (Cordon littoral d'Yverdon)	VII-19	538.44/183.32	4.6	H. Jäckli (1949) {(1955)
9	" "	"	"	6.6	"
10	Limons argileux gris-brun (Delta d'Orbe)	IV-67	531.85/176.43	4.2 - 4.4	Geotest Rap. 67408 (1967)
11	Sables fins légèrement limoneux gris "	IV-65	531.74/176.37	3.1 - 3.3	"
12	Graviers dans gravillons et sables beiges "	IV-68	531.80/176.40	10.4 - 10.7	"
13	Graviers "	IV-82	531.94/176.01	6.4 - 6.7	Geotest Rap. 68427 (1969)
14	Graviers dans gravillons et sables beiges "	"	"	10.7 - 11.1	"
15	Gravillons dans sables grossiers beiges "	"	"	15.1 - 15.4	"
16	Limons sablonneux gris "	"	"	24.6 - 25.0	"

La disposition subhorizontale des lits sablo-graveleux permet de conclure que la perméabilité horizontale de l'aquifère retenu dans ces alluvions sera supérieure à la perméabilité verticale commandée par les intercalations sableuses. D'autre part, la taille des éléments diminue du sud vers le nord-est et influence également la perméabilité dont les valeurs sont comprises entre 10^{-1} et 10^{-3} cm/s.

L'épaisseur de ce dépôt est mal connue. Seuls les forages d'Entreroches (531.48/168.74), des cultures maraîchères SGG (531.83/168.83) et 2 a du projet du canal du Rhône au Rhin (531.09/169.87) ont atteint la moraine würmienne. Les graviers y ont respectivement une puissance de 12,5 m., 10,4 m. et 10,3 m. Les sondages électriques permettent dans une certaine mesure d'extrapoler ces renseignements à l'ensemble du cône dont la puissance atteindrait un maximum d'une vingtaine de mètres. Il se pince en biseau vers le nord.

Ce cône peut être considéré comme la zone d'épandage d'un ancien cours d'eau qui, contrairement au Nozon actuel, débouchait dans le lac subjurassien dans la région du Creux-du-Loup à l'est de la colline du Mont-d'Orny. A cet ancien cône se superposent vers l'ouest et le nord-ouest les dépôts plus récents du Nozon actuel. En effet, après avoir comblé de ses alluvions la dépression du Creux-du-Loup et son prolongement amont de Sous-Mormont, ce cours d'eau a été détourné dans la dépression moins profonde d'Orny tapissée de moraine rhodanienne würmienne (forage 531.09/169.87).

Affleurant dans la région qui s'étend de Pompaples à Orny et au Creux-du-Loup, ces graviers sont recouverts ailleurs de limons de ruissellement récents ou de tourbes à intercalations limoneuses et localement de craie lacustre à leur périphérie aval.

Le *cône de l'Orbe,* le plus important de la région, a coupé la plaine dans sa partie moyenne en deux bassins distincts dès le début de l'Holocène. De nombreux niveaux fortement recimentés correspondent à des fluctuations du niveau du lac ou à des lits de divagation des eaux superficielles. Aucune corrélation n'est possible entre ces horizons d'un sondage à l'autre. Les éléments sont essentiellement jurassiens à forte proportion de galets alpins. De fréquentes intercalations de sables plus ou moins limoneux, d'extension et d'inclinaison variables, augmentent encore la forte anisotropie de cette formation qui se répercute sur les valeurs des perméabilités horizontales, verticales ou obliques et sur le chimisme des eaux. Toutefois, ce cône constitue un aquifère à grande capacité, déjà exploité par quatre ouvrages soutirant en moyenne journalière 5200 m^3 d'eau potable.

Les analyses granulométriques d'échantillons prélevés dans trois sondages mécaniques (cf. figure 4) donnent une idée du matériel composant la partie graveleuse de l'extrémité nord - nord-est du cône. Les forages plus méridionaux montrent des graviers plus grossiers dont les éléments peuvent atteindre des tailles de 20 cm., la moyenne oscillant entre 6 et 12 cm. On observe donc également une nette diminution de la granulométrie vers le nord-est.

Ici encore, la structure des dépôts et la taille de leurs éléments se traduisent par de fortes variations de la perméabilité moyenne comprise entre 10^{-1} et 10^{-4} cm/s.

L'épaisseur des graviers est connue avec une bonne précision dans une quinzaine de forages. Elle est comprise entre 4,2 m. (533.45/175.70) et 22,85 m. (531.43/175.01). L'altitude du mur de cette formation grossière oscille entre 418.0 (531.92/175.80) et 426.9 (532.02/176.16). De toute évidence, on peut affirmer que l'épaisseur moyenne des graviers est comprise entre 15 et 20 m. dans la moitié amont du cône qui se biseaute à sa périphérie et qu'ils reposent essentiellement sur des formations lacustres sableuses, sauf aux Moulins Rod où le substratum est formé de calcaires urgoniens.

Nulle part, les graviers n'affleurent. Recouverts à l'amont de limons de ruissellement d'épaisseur variable, ils sont surmontés à leur périphérie par des niveaux de tourbe que coiffent également des limons récents. H. Jäckli (1950) a pu dater de l'époque romaine le sommet des graviers grâce à des restes de tuiles, des rameaux de pin et un fémur de « Sus ».

Le *cône de Montagny,* enfin, repose sur la moraine et localement sur des limons lacustres légèrement sablonneux. Il a été repéré et délimité grâce aux forages récents et à la prospection géophysique et constitue la zone d'épandage de l'ancienne Brinaz et de la dépression qu'emprunte aujourd'hui le Bey à l'ouest et au nord-ouest du Chamblon. Dès le retrait würmien et jusqu'à l'Holocène supérieur, un ancien cours inférieur de la Brinaz devait emprunter la dépression des Grandes-Vignes au nord de Montagny et alimenter le cône de Montagny, jusqu'au moment, assez récent, où une capture dériva le tronçon inférieur de ce cours d'eau dans son tracé actuel. Le cône qui en résulte repose à 430 m. d'altitude sur les sables fins lacustres qui coiffent le delta de Montagny. La taille moyenne des galets, essentiellement jurassiens, est comprise entre 5-10 cm. Nous ne possédons aucune autre donnée précise concernant cet aquifère qui n'est du reste pas exploité. Les analyses d'eau effectuées lors des essais de pompage au Moulin-Chappuis et aux Uttins ont révélé, en effet, des teneurs en sulfates et des duretés exagérément élevées.

Le petit cône de Mathod, aquifère exploité par puits vertical, et les graviers de la dépressions du Bey sont recouverts de limons de ruissellement ou de tourbes, ainsi que le cône de Montagny.

Sur la rive droite de la plaine, les cônes de déjection sont beaucoup plus petits. Ils reposent dans leur partie amont sur la moraine würmienne ou directement sur la molasse, et, à leur périphérie, sur des sables et limons lacustres. Leur base se trouve généralement à une altitude plus élevée que celle des trois grands complexes occidentaux, ce qui dénote pour certains d'entre eux en tout cas (ruisseau de Sadaz, Buron) une formation plus récente.

Leur puissance est faible et actuellement seule la formation graveleuse aquifère de Bavois est exploitée. Les graviers y sont mal connus, mais semblent être grossiers et bien roulés. Ils sont toujours recouverts de limons de ruissellement ou de tourbe.

c) *Les limons lacustres sableux ou argileux* qui se déposaient au large, dans le lac subjurassien, présentent une monotonie remarquable. Les eaux devaient être relativement calmes ainsi qu'en témoigne la finesse des sédiments qui enrobent les alluvions grossières et les recouvrent jusque vers la cote 428-429 m. Ce sont des sables fins, gris ou beige clair, souvent limoneux, des limons et des limons argileux gris foncé qui alternent en une succession parfois très régulière avec de minces couches sablonneuses de 1-2 cm. d'épaisseur. Cette masse homogène réagit nettement à l'HCl, de sorte qu'elle présente une forte teneur en calcaire.

La faible perméabilité de ces formations ($10^{-6} < k < 10^{-9}$), qui représentent la majeure partie des alluvions holocènes de la plaine, joue un rôle très important dans le comportement hydraulique des aquifères à perméabilité élevée des cônes et, d'une manière générale, dans les réactions hydrodynamiques de la plaine.

L'épaisseur de ces sédiments fins est très variable. Elle dépasse 41 m. dans la région d'Yverdon (forage 538.55/181.85).

d) *Les cordons littoraux*, anciennes lignes de rivages, ceinturent du sud-est au nord-ouest la ville d'Yverdon, parallèlement au rivage actuel du lac de Neuchâtel. Ils ont été décrits au siècle passé par A. Jayet (1862) dans sa notice sur la plaine de l'Orbe. Selon H. Jäckli (1950) et H. Jordi (1955), ces formations renferment des graviers et gravillons très bien roulés par la houle lacustre. D'origine essentiellement jurassienne au nord de la Thielle et alpine ou molassique au sud, les éléments grossiers reposent sur des sables lacustres fins et propres et forment de petits remparts de 1-2 m. de hauteur entre lesquels se sont développées des tourbières. Les stratifications irrégulières, inclinées de 8° à 10° vers le lac (nord-est), corroborent l'hypothèse de la formation littorale de ces dépôts datés par H. Jäckli (1950) de l'époque de la Chenaie mixte et du Sapin (paléolithique).

e) *La craie lacustre* surmonte presque partout les limons lacustres et se rencontre également en intercalations dans la tourbe qui s'est déposée ultérieurement. Cette craie présente dans presque tous les sondages observés une forte proportion d'éléments détritiques fins, mélangés à la matrice calcaire riche en débris de coquilles de petits mollusques. Les déterminations paléontologiques (Jäckli, 1950) ont montré que cette faunule est moderne et caractéristique de mares peu profondes, probablement indépendantes les unes des autres et sans relation avec les eaux du lac de Neuchâtel. Ces dépôts peu épais sont fréquents sur une coupe verticale et d'extension limitée.

f) *La tourbe* (teneur en cendre 12 %, en azote 1,5 à 2,4 %) a été activement exploitée entre Entreroches et Bavois jusqu'à 6 m. de profondeur. Les sondages mécaniques ont montré l'existence d'un complexe tourbeux qui s'étend du Mormont au lac de Neuchâtel. Partiellement recouverte par des dépôts éluviaux ou des limons argileux, la tourbe affleure entre Entreroches et le Pâquier et entre Bochuz et Yverdon (cf. planche No 9).

Le cône de l'Orbe sépare l'aire occupée par les tourbières de la plaine en deux bassins distincts. Dans le complexe méridional, plus épais que le septentrional (3 à 7 m. avec une moyenne de 4 m. contre 1,5 à 3,5 m. avec une moyenne de 2 m.), la base des tourbes atteint la cote 431,25 m. alors qu'elle se trouve à l'altitude de 428,8 m. dans le second. L'altitude moyenne est comprise entre 429 m. et 430 m. avec un léger seuil de 434 m. environ au droit de Chavornay.

La perméabilité normale des tourbes est de 10^{-1} à 10^{-3} cm/s. mais diminue fortement avec leur teneur en limons. Leur forte compressibilité se manifeste clairement entre le Mujon et le canal occidental où l'on peut observer un abaissement de la plaine de 0,8 m. à 1,0 m. depuis 1915 ; dans la région du Marais, à l'ouest de Bavois, entre le Nozon et le canal d'Entreroches, cet abaissement atteint plus de 2 m. Le comportement hydrologique de ces tourbes sera examiné dans la troisième partie de cette étude.

g) *Les limons de ruissellement* résultent de l'altération superficielle des versants molassiques de la plaine. Ce sont des limons et sablons fins légèrement argileux renfermant parfois quelques petits gravillons. Particulièrement abondants au pied des versants, ils ont subi l'action combinée de la solifluxion et de la lévigation par les eaux d'inondation. Ils ont de ce fait été entraînés fort loin de leur lieu d'origine et recouvrent actuellement une bonne partie de la plaine d'une couche homogène, d'épaisseur variable, à fine stratification horizontale.

Ce sont les dépôts les plus récents, remobilisés lors des inondations qui accompagnaient chaque crue avant les travaux de correction des eaux du pied du Jura entrepris dès 1868. Ces travaux eurent en effet pour résultat d'abaisser le niveau moyen des eaux du lac de Neuchâtel de 432 m. à 429 m.

C. RÉSUMÉ CHRONOLOGIQUE DE L'HISTOIRE DE LA PLAINE DE L'ORBE

Le creusement de la vallée date vraisemblablement du Pliocène, mais la phase la plus active fut probablement celle de l'interglaciaire Mindel-Riss bien connue dans les régions voisines du bassin rhodanien (Bourdier, 1961). L'allure du bedrock de la plaine, représenté à la planche 5 à partir des données géophysiques s'expliquerait ainsi beaucoup mieux que par une érosion plus récente.

Dès le Riss, la dépression est tapissée de moraine que surmontent des dépôts interglaciaires divers (Riss-Würm). Leur puissance n'est pas connue avec certitude, mais peut être évaluée à plus de 80 m.

C'est probablement à la fin d'une phase de récurrence du glacier rissien, arrêté par le Mormont, que les gorges qui recoupent ce massif calcaire ont été creusées. Les éléments arrachés se sont alors déposés dans la région d'Entreroches, pendant que le Nozon et les eaux de fusion du glacier, stationnant plus à l'ouest, alluvionnaient le Creux-du-Loup. A la même époque, des graviers arrachés aux moraines fraîchement abandonnées par les glaces s'accumulent dans la zone de surcreusement de la région d'Orbe.

Au cours du Würm, une moraine épaisse de 10 à 20 m. recouvre tous les dépôts antérieurs et comble jusque vers l'altitude de 400-430 m. la dépression subjurassienne.

Dès le début de l'Holocène, le lac subjurassien, ou lac de Soleure, s'étend du Mormont jusque dans les environs de Wangen a. d. Aare où une importante moraine frontale forme barrage.

Dans la plaine de l'Orbe, aucune terrasse n'est visible (la terrasse de 435, observée par Jordi, 1955, daterait du Néolithique moyen) et le niveau du lac, dès le retrait des glaces, doit être voisin de 430 m. L'érosion, favorisée par le climat humide et l'absence de couvert végétal, attaque les moraines encore fraîches et même la roche en place. Les rivières jurassiennes à fort débit édifient à leur débouché dans le lac de vastes cônes de déjection, alors que les particules fines se déposent plus loin et forment les limons sableux du centre de la plaine. Les cours d'eau du Plateau, moins importants, concourent pourtant à l'alluvionnement très rapide de la partie supérieure du lac, peu profond il est vrai, puisque à la fin de la période à Betula (— 7500) les rivages atteignent déjà Yverdon. A cette époque, une transgression subite permet aux deux cordons littoraux externes d'Yverdon de se former. Cette brusque élévation du niveau du lac résulterait selon W. Lüdi (1935) du déversement des eaux de l'Aar dans le lac de Neuchâtel.

Pendant la courte période pré-boréale (époque du Pin), le niveau du lac a dû s'abaisser jusqu'à la cote 428-429 m. (Jäckli, 1950) à la suite de l'érosion du barrage morainique de Wangen. Des marécages et nappes d'eau stagnantes peu profondes sont envahis par la végétation et donnent naissance à des tourbières qui se développent jusqu'à la fin de l'époque boréale (— 5000, période du Noisetier).

Au cours de la période atlantique (— 5000 à — 2500) une nouvelle transgression a lieu qui détermine probablement la terrasse sableuse de 435,5 m. de H. Jordi. Plusieurs régressions successives, jusqu'à la cote 432 m. environ, ont favorisé la formation des cordons littoraux les plus jeunes et les plus internes. La Chenaie mixte de l'époque a donné naissance à de nouveaux dépôts tourbeux entremêlés de niveaux crayeux. Les cônes de déjection s'accroissent sous la divagation des cours d'eau qui n'atteignaient le lac que près d'Yverdon. Les témoins de telles divagations s'observent sur les planches 4 et 8.

Le Sub-Boréal, ou époque du Sapin, marque le début des derniers dépôts tourbeux.

Enfin, de l'âge du Fer à la première moitié du XIXe siècle, il semble que le niveau du lac n'a cessé de s'élever, provoquant de fréquentes inondations dont témoigne l'étalement des limons de ruissellement qui jonchent la surface actuelle de la plaine.

Pour pallier cet inconvénient majeur, d'importants travaux d'assainissement ont été entrepris dès 1868 (Petitpierre et Regamey, 1955). Le résultat fut l'abaissement de 3 m. du niveau moyen du lac de Neuchâtel (cote actuelle 429 m.) et la mise en cultures de la majeure partie de la plaine. De petites régions restent cependant susceptibles d'être inondées lors des fortes crues du printemps et de l'automne, en particulier, le long du Nozon, entre Pré-Chaillet et le Grand-Pâquier.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE HYDROMÉTÉOROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

Chapitre V

Données météorologiques

Dans ce chapitre, nous n'avons pas la prétention de donner un exposé climatologique détaillé et complet du bassin de la plaine de l'Orbe. La raison principale en est qu'une telle étude requiert des données précises qui nous manquent le plus souvent. En particulier, celles concernant la température et l'humidité de l'air, les précipitations neigeuses, le régime des vents, les conditions d'ensoleillement et bien sûr d'évapotranspiration sont inexistantes ou très insuffisantes.

Le tableau No 8 et la planche No 10 montrent que le nombre élevé (39) et la répartition des stations pluviométriques dans le bassin ou à sa périphérie immédiate permettent tout de même d'obtenir une bonne image de la distribution des précipitations totales. Nous nous bornerons ici à présenter les caractéristiques essentielles de ces dernières.

A. LES PRÉCIPITATIONS ATMOSPHÉRIQUES

1. Les précipitations totales

Sur le plan régional, notre bassin se trouve dans la zone de confluence de deux grands courants de précipitations très différents l'un de l'autre. Le premier, d'origine océanique, se dirige d'ouest en est depuis la France et présente un maximum pluviométrique en été. Le second vient de la Méditerranée et donne lieu à des précipitations maximum en novembre et décembre.

Un travail fondamental a été publié en 1949 par la Station centrale suisse de météorologie à Zurich (Uttinger, 1949). Il donne les totaux annuels et mensuels moyens des stations pluviométriques suisses, homogénéisés pour la période de 40 ans comprise entre 1901 et 1940 (année civile). Nous avons constamment eu recours à cette étude de base qu'accompagne une carte pluviométrique de la Suisse, pour vérifier nos propres résultats calculés pour la période de référence 1936-1966. Ces derniers portent donc sur 30 ans avec une année météorologique identique à l'année hydrologique. Nous faisons débuter celle-ci le 1er octobre et elle se termine le 30 septembre de l'année suivante. Ce choix a été imposé par les conditions météorologiques et hydrologiques du bassin. En effet, pour éviter de devoir tenir compte, lors de l'établissement d'un bilan hydrologique, des masses d'eau retenues sous forme de neige jusqu'à fin avril dans le Jura, nous avons été obligés de faire commencer l'année hydrologique lors d'un minimum pluviométrique général situé à l'extérieur des périodes d'enneigement. Notre choix s'est donc tout naturellement porté sur le 1er octobre.

a) *Précipitations annuelles.* — Avant d'examiner plus en détail les statistiques pluviométriques que nous avons établies pour trente et une des trente-neuf stations reportées au tableau No 8, il nous paraît particulièrement utile d'insister sur l'imprécision relative des résultats auxquels nous avons abouti. Il nous suffit pour cela de rappeler que huit stations seulement présentent des relevés journaliers exploitables sur trente années consécutives entre le 1er octobre 1936 et le 30 septembre 1966. Les valeurs journalières de six autres pluviomètres sont utilisables pour des périodes de plus de 25 années, consécutives ou non, comprises entre 1936-1966. Les relevés de dix-sept autres stations couvrent moins de 25 années. Enfin, les totaux annuels moyens de huit postes d'observation situés dans des endroits inhabités et actuellement disparus ont été extraits directement du tableau II du travail de H. Uttinger.

Le nombre restreint et la répartiton géographique défavorable des stations présentant une série d'observations homogène de 30 ans ne nous ont pas permis de corriger avantageusement les séries non homogènes ou de réduire des séries plus courtes ou débordant la période de référence (Marchairuz, Romainmôtier, Montcherand, par exemple). Les valeurs étudiées ne sont donc pas homogénéisées.

Tableau No 8. — STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES

N O M	COORDONNEES	No réf. BVPLUV	ALTITUDE	BASSIN VERSANT	PERIODE DE REFERENCE	REMARQUES
Echallens	538.78 / 165.38	2	625	Talent	1936-1966 (30 ans)	D (1955-1956)
Corcelles s/Chavornay	535.88 / 172.76	1	560	Ruisseau de Sadaz	1936-1966 (28 ans)	M (1938-1940)
** Lausanne	539.32 / 153.23	3	553	Léman	1936-1966 (30 ans)	D (1954-1955)
Cossonay	528. / 163.	52	575	Léman	1936-1966 (28 ans)	M (1944-1946) D (1955-1956)
S.G.G. Eclépens	530.73 / 166.79	34	453	Léman	1960-1967 (7 ans)	
S.G.G. Bavois	532.56 / 171.05	33	440	Plaine de l'Orbe	1948-1967 (19 ans)	
** E.P.O. Orbe	532.11 / 176.25	32	439	Plaine de l'Orbe	1940-1967 (27 ans)	D (1966-1967)
S.G.G. Les Vernes	534.67 / 178.14	31	435	Plaine de l'Orbe	1956-1967 (11 ans)	
Yverdon	539.29 / 181.63	30	440	Plaine de l'Orbe	1936-1966 (30 ans)	D (1954-1955)
Romainmôtier	525.40 / 171.90	18	676	Nozon	1918-1938 (20 ans)	
Montcherand	529.1 / 176.1	19	565	Orbe à Orbe	1916-1945 (29 ans)	
Valeyres s/Rances	530.17 / 178.35	21	505	Bey-Mujon	1936-1966 (30 ans)	
Baulmes	529.88 / 182.56	22	634	Bey-Mujon	1936-1966 (30 ans)	D (1956-1957)
L'Abergement	527.54 / 178.77	20	640	Orbe à Orbe	1936-1966 (30 ans)	D (1957-1958)
Longirod	509.4 / 150.1	53	900	Léman	1936-1966 (26 ans)	M (1944-1946/ 1950-1951/ 1954-1955)
* La Cure	495.29 / 146.70	10	1165	Léman	1936-1966 (26 ans)	M (1952-1957) D (1953-1954)
Le Marchairuz	508.87 / 156.40	13	1450	Léman	1934-1940 (6 ans)	
Les Rousses	494-2 / 149.1	40	1115	Orbe Supérieure	1947-1967 (20 ans)	
Le Sentier	506.59 / 161.66	11	1024	Orbe Supérieure	1936-1966 (30 ans)	D (1957-1958)
Le Pont	515.21 / 170.24	14	1008	Orbe Supérieure	1951-1966 (15 ans)	
Vallorbe Reposoir	515.96 / 172.64	15	930	Orbe à Orbe	1936-1966 (30 ans)	D (1965-1966)
Vallorbe Village	518.63 / 174.11	16	790	Orbe à Orbe	1946-1966 (20 ans)	D (1956-1957)
* Morbier	491.1 / 157.6	41	928	Rhône	1946-1967 (21 ans)	
Bellefontaine	494.7 / 157.2	42	1028	Rhône	1950-1967 (17 ans)	
Mouthe	504.8 / 174.1	43	935	Rhône	1946-1967 (21 ans)	
* Granges Stes-Maries	512.0 / 182.1	45	851	Rhône	1946-1967 (21 ans)	
* Oye-et-Palet	516.1 / 190.1	44	850	Rhône	1946-1967 (19 ans)	M (1948-1950)
Jougnes	519.8 / 179.8	46	1000	Jougnenaz	1946-1967 (21 ans)	
* Les Fourgs	521.5 / 187.4	47	1100	Rhône	1955-1967 (12 ans)	
L'Auberson	525. / 185.	50	1110	Areuse	1936-1966 (28 ans)	M (1944-1946) D (1941-1942)
* Le Chasseron	531.3 / 189.2	51	1590	Arnon	1946-1966 (20 ans)	D (1955-1956)
+ Le Solliat	507.65 / 163.80		1050	Orbe Supérieure	1901-1940	
+ Vaulion	519.70 / 171.30		939	Nozon	1901-1940	
+ Le Carroz	501.90 / 156.05		1076	Orbe Supérieure	1901-1940	
+ Chalet Capt	501.15 / 161.20		1349	Orbe Supérieure	1901-1940	
+ Mines Risoux	505.4 / 164.5		1300	Orbe Supérieure	1901-1940	
+ Chalet Suchet	526.2 / 180.5		1465	Orbe à Orbe	1901-1940	Totalisateur
+ La Mathoulaz	526.65 / 179.85		1137	Orbe à Orbe	1901-1940	Totalisateur
+ Sainte-Croix	528.7 / 186.2		1095	Arnon	1901-1940	

+ Données homogénéisées pour la période 1901-1940 (H. Uttinger 1949)
* Stations situées hors de la planche No 12
** Stations météorologiques
D (1955-1956) Déplacement ou modification de l'appareil dès l'année hydrologique 1955-1956
M (1944-1945) Les observations faites au cours des années hydrologiques 1944-1945 sont fragmentaires et n'ont pas été utilisées pour les calculs.

Tableau No 9. — ANALYSE DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES

STATION		MODULE MOYEN						MODULE MEDIAN		MODULES EXTREMES				INDICES D'HUMIDITE		
Nom	Période de référence	Homogénéisé (mm)	Calculé (mm)	Erreur %	Ecart-type (mm)	Erreur %	Coeff.var.	Calculé (mm)	Erreur %	Maximum (mm)	Minimum (mm)	Intervalle variation (mm)	Max/ Min	Max.	Min.	Max/ Min.
Echallens	1936-1966 (30 ans)	1138	1088	3.0	178.7	12.9	0.16	1135**	3.0	1426	721	705	1.98	1.31	0.66	1.98
Corcelles s/Chavornay	1936-1966 (28 ans)	930	< 966*	3.1	156.6	13.4	0.16	< 988	3.0	1410	649	761	2.17	1.46	0.67	2.17
Lausanne	1936-1966 (30 ans)	1084	1041	3.1	178.4	12.9	0.17	1080**	3.1	1364	674	690	2.02	1.31	0.65	2.02
Cossonay	1936-1966 (28 ans)	944	941**	3.5	174.2	13.4	0.19	980	3.5	1264	583	681	2.17	1.34	0.62	2.17
S.G.G. Eclépens	1960-1967 (7 ans)	-	864	5.8	133.1	26.8	0.15	903	5.8	1032	632	400	1.63	1.19	0.73	1.63
S.G.G. Bavois	1948-1967 (19 ans)	-	814	4.2	149.3	16.2	0.18	804	4.3	1126	455	671	2.48	1.38	0.56	2.48
E.P.O. Orbe	1940-1967 (27 ans)	910	< 943	3.9	189.1	13.6	0.20	< 897*	4.2	1461	662	799	2.21	1.55	0.70	2.21
S.G.G. Les Vernes	1956-1967 (11 ans)	-	< 805	4.2	110.8	21.9	0.14	> 805	4.2	1004	629	375	1.60	1.25	0.78	1.60
Yverdon	1936-1966 (30 ans)	925	957	3.2	169.1	12.9	0.18	950*	3.3	1346	625	721	2.15	1.41	0.65	2.15
Romainmôtier	1918-1938 (20 ans)	1002	1111	5.0	250.0	15.8	0.23	1119	5.0	1628	628	1000	2.60	1.47	0.57	2.60
Montcherand	1916-1945 (29 ans)	958	970	3.9	200.9	12.6	0.21	963**	3.9	1438	568	870	2.53	1.48	0.59	2.53
Valeyres s/Rances	1936-1966 (30 ans)	970	927	3.4	174.0	12.9	0.19	929	3.4	1297	540	757	2.40	1.40	0.58	2.40
Baulmes	1936-1966 (30 ans)	1377	1339*	3.3	243.8	12.9	0.18	1310	3.4	1805	699	1106	2.58	1.35	0.52	2.58
L'Abergement	1936-1966 (30 ans)	1194	1190**	3.3	212.5	12.9	0.18	1165	3.4	1603	678	925	2.36	1.35	0.57	2.36
Longirod	1936-1966 (26 ans)	1255	1188	4.3	237.7	15.1	0.20	1201	4.2	1565	753	812	2.08	1.32	0.63	2.08
La Cure	1936-1966 (26 ans)	1603	>1599**	4.0	322.7	14.2	0.20	>1556	4.2	2160	977	1183	2.21	1.35	0.61	2.21
Le Marchairuz	1934-1940 (6 ans)	1631	≪1833	10.0	360.6	35.3	0.20	≪2007	10.0	2158	1329	829	1.62	1.18	0.72	1.62
Les Rousses	1947-1967 (20 ans)	-	1869	4.1	318.1	17.2	0.17	1979	4.1	2270	1092	1178	2.08	1.21	0.58	2.08
Le Sentier	1936-1966 (30 ans)	1536	1426	3.0	230.7	12.9	0.16	1404	3.0	1852	896	956	2.07	1.30	0.63	2.07
Le Pont	1951-1966 (15 ans)	1415	>1325	3.4	175.4	18.2	0.13	>1320	3.4	1588	988	600	1.61	1.20	0.75	1.61
Vallorbe Reposoir	1936-1966 (30 ans)	1510	1526 *	3.1	262.9	12.9	0.17	1536	3.1	1985	963	1022	2.06	1.30	0.63	2.06
Vallorbe Village	1946-1966 (20 ans)	1270	1282*	3.7	212.1	15.8	0.17	1302	3.7	1624	812	812	2.00	1.27	0.63	2.00
Morbier	1946-1967 (21 ans)	-	<1944	3.7	328.8	15.4	0.17	>2010	3.7	2453	1146	1307	2.14	1.26	0.59	2.14
Bellefontaine	1950-1967 (17 ans)	-	2032	4.3	348.3	17.7	0.17	2052	4.3	2521	1248	1273	2.02	1.24	0.61	2.02
Mouthe	1946-1967 (21 ans)	-	>1784	3.9	310.2	15.8	0.17	<1919	4.0	2128	944	1184	2.25	1.19	0.53	2.25
Granges Stes-Maries	1946-1967 (21 ans)	-	>1449	3.5	235.2	15.5	0.16	>1439	3.6	1779	872	907	2.04	1.23	0.60	2.04
Oye-et-Palet	1946-1967 (21 ans)	-	1475	4.1	263.7	16.2	0.18	1480	4.1	1903	1076	827	1.78	1.29	0.73	1.78
Jougnes	1946-1967 (21 ans)	-	<1470	3.6	245.1	15.4	0.17	<1490	3.6	1843	871	972	2.12	1.25	0.59	2.12
Les Fourgs	1955-1967 (12 ans)	-	>1497	3.6	188.2	20.4	0.13	<1571	3.7	1742	1133	609	1.54	1.16	0.76	1.54
L'Auberson	1936-1966 (28 ans)	1481	1534	3.7	291.8	13.6	0.19	1565	3.6	1969	845	1124	2.33	1.28	0.55	2.33
Le Chasseron	1946-1966 (20 ans)	-	1530	5.0	324.3	16.7	0.21	1542	5.0	1994	824	1170	2.42	1.30	0.54	2.42
Le Solliat		1690														
Vaulion		1400														
Le Carroz		1670														
Chalet Capt		2090														
Mines Risoux		1900														
Chalet Suchet		1730														
La Mathoulaz		1580														
Sainte-Croix		1530														

Remarques :

1. Les modules moyens homogénéisés sont tirés des travaux de H. Uttinger (1949). Ils ne sont cités qu'à titre indicatif puisqu'ils ont été calculés pour la période de référence comprise entre 1901 et 1940, avec une année météorologique identique à l'année civile. Dans notre étude, l'année météorologique coïncide avec l'année hydrologique.
2. La concordance avec les valeurs de H. Uttinger est notée ici par des astérisques : * bonne concordance
   ** très bonne concordance.
3. Les erreurs ont été calculées pour un intervalle de confiance à 95 % à partir de l'estimation des modules moyens et de leurs écarts-type, ainsi que des modules médians.
4. Représentativité relative des modules moyens et médians :
   valeur homogénéisée (1936-1966) probablement légèrement inférieure aux modules (écart < 50 mm)
   valeur homogénéisée (1936-1966) probablement très inférieure aux modules (écart > 50 mm)
   valeur homogénéisée (1936-1966) probablement légèrement supérieure aux modules (écart < 50 mm)
   valeur homogénéisée (1936-1966) probablement très supérieure aux modules (écart > 50 mm).

Les erreurs probables attribuées à ces modules annuels bruts varient généralement entre 3,0 % et 4,3 %. Relevons cependant que les séries courtes, très hétérogènes ou appartenant à des stations élevées, présentent des erreurs plus importantes, supérieures à 5,0 % et pouvant atteindre 10,0 % pour la station du Marchairuz (cf. tableau No 9).

L'exploitation de toutes les données pluviométriques de trente et une stations a été effectuée sur ordinateur CDC 3800. Nous avons établi à cet effet un programme en langage FORTRAN IV (BVPLUV) dont les résultats complets sont déposés au Laboratoire de géologie de l'Université de Lausanne. On y constate que les erreurs sur les moyennes mensuelles augmentent encore et peuvent être deux à trois fois supérieures à celles des moyennes annuelles.

En conclusion, nous attirons l'attention du lecteur non averti et peu versé dans les méthodes de statistiques appliquées à la pluviométrie qu'il est illusoire d'attribuer un crédit trop élevé aux moyennes météorologiques en général et aux nôtres en particulier. C'est la raison qui nous incitera à n'utiliser délibérément, dans les différents bassins versants, qu'une unité relativement grande, le centimètre, pour tous les calculs hydrologiques portant sur les précipitations moyennes, exprimées en hauteur de la lame d'eau.

Les principaux résultats de l'analyse des précipitations annuelles sont reportés au tableau No 9. Nous y avons fait figurer les modules moyens homogénéisés (1901-1940) calculés par H. Uttinger en regard de nos propres valeurs, afin de juger de la représentativité de ces dernières. D'une manière générale, et compte tenu des marges d'erreurs et des petites différences provoquées par le changement d'année météorologique et de période de référence, on peut considérer nos résultats satisfaisants et représentatifs de la pluviométrie dans le bassin de la plaine de l'Orbe.

A partir des relevés des huit stations présentant des séries d'observations homogènes, il a été possible d'établir, pour la période de référence de 30 années, les courbes des modules pluviométriques annuels classés (cf. figure No 5). Cette représentation permet de déterminer rapidement les fréquences expérimentales de dépassement des modules annuels au cours de cette période.

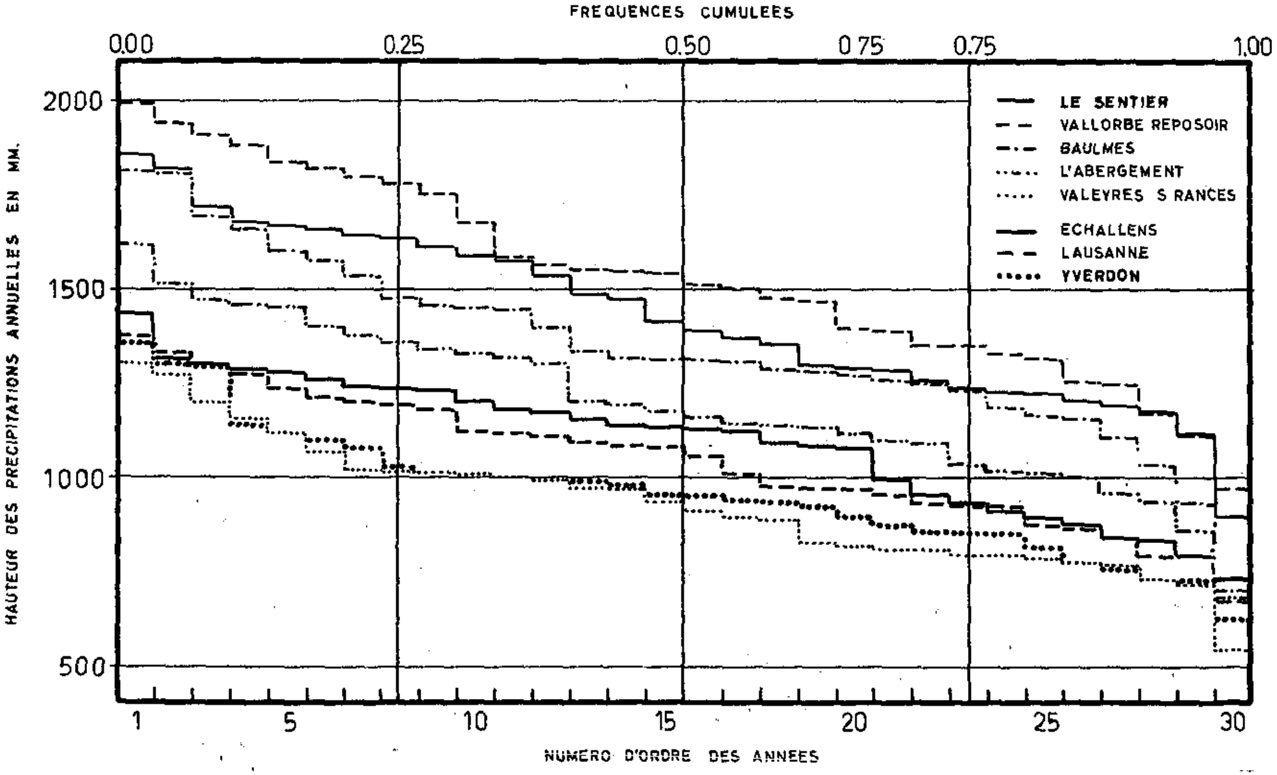


Figure No 5

Une méthode statistique plus élaborée consiste à substituer une loi théorique de répartition des fréquences (loi de Laplace-Gauss) à la série d'observations d'une station. Si l'on reporte sur un graphique à l'échelle fonctionnelle les modules annuels en ordonnées arithmétiques et le logarithme de leur fréquence empirique de dépassement en abscisses gaussiennes (ou les écarts-réduits en abscisses arithmétiques), les modules s'alignent sensiblement sur une droite (droite de Henri modifiée) dont l'expression analytique est de la forme

$$M = \sigma t + H$$

avec

M = module pluviométrique annuel

σ = coefficient angulaire de la droite ; il a la propriété d'être égal à l'écart-type de la distribution théorique

t = écart-réduit ; il permet de calculer la probabilité de dépassement P selon l'expression analytique de la courbe en cloche de Laplace-Gauss

H = moyenne interannuelle des modules annuels : cette valeur représente l'ordonnée du point d'intersection de la droite de régression avec l'abscisse de fréquence 0,5 ou d'écart-réduit 0.

Le test de Chi2 permet de définir la valeur de l'ajustement et de préciser si la répartion peut être ou non considérée comme normale. Dans la première éventualité (probabilité de dépassement de Chi2 supérieure à 0,050) la distribution des précipitations annuelles moyennes est donc entièrement définie par sa moyenne interannuelle H et son écart-type σ.

Nous considérons ce mode de représentation comme extrêmement utile pour toute personne appelée à s'occuper d'hydrologie, aussi donnons-nous à la figure No 6 la distribution des droites représentatives de 29 stations pluviométriques. Deux stations étudiées n'y sont pas représentées parce qu'elles comportent des séries d'observations de moins de 10 ans (le Marchairuz et SGG Eclépens). On constate que la plupart de ces régressions ont des coefficients de corrélation élevés ($0.935 < r < 0.996$), avec près de 70 % des cas où $r > 0.980$. Par contre, les ajustements testés par Chi2 sont peu satisfaisants dans plus de 50 % des cas, généralement parce que les séries d'observation sont trop courtes (inférieures à 20 ans). Le graphique nous montre encore que les droites sont subparallèles, disposées généralement en un large faisceau peu divergent vers les modules élevés. Le parallélisme presque parfait des droites Nos 40, 41, 42, 43, 44, 45 et 50 est frappant et révèle une très grande similitude des écarts-type pour ces stations. D'autre part, les cinq droites Nos 10, 40, 41, 42 et 43 représentent les précipitations les plus importantes et appartiennent toutes à des stations situées sur le versant occidental du Jura, soumis aux influences essentiellement océaniques. A l'opposé, ce sont les droites des pluviomètres des SGG de Bavois (33) et des SGG des Vernes (31) qui déterminent les valeurs les plus faibles.

b) *Précipitations saisonnières et mensuelles.* — D'une façon générale, les précipitations saisonnières sont moins variables au printemps (avril, mai et juin) qu'en automne (octobre, novembre et décembre). En hiver et en été, l'importance des variations augmente considérablement du Plateau et du versant oriental du Jura à son versant occidental.

La planche No 11 présente les principaux paramètres pluviométriques mensuels pour les huit stations dont les séries sont homogènes sur trente ans (1936-1966). Les variations importantes qu'enregistre chaque paramètre d'un mois à l'autre se retrouvent dans chacune des stations. La planche No 12 reprend la représentation graphique de la répartition statistique des précipitations mensuelles en 17 stations représentatives de chaque région du bassin.

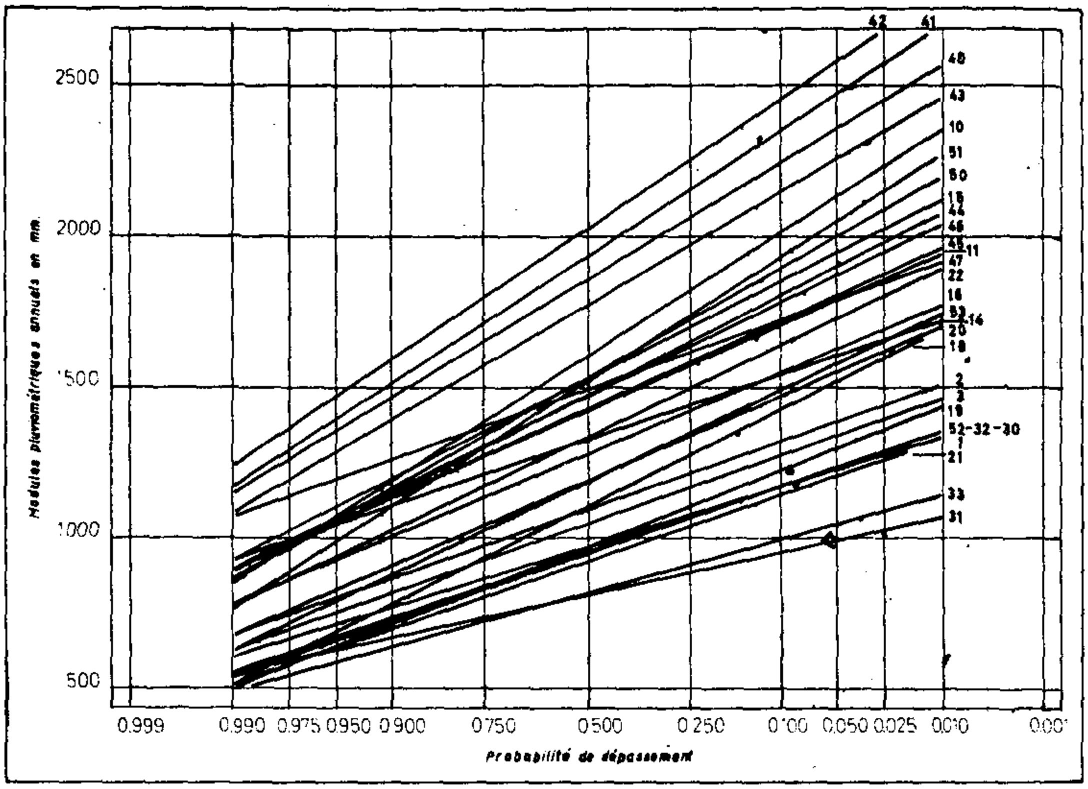
Sur ces graphiques, les valeurs des précipitations mensuelles données en une station par les courbes cotées 0.10, 0.25 ... 0.90 ont respectivement 10, 25 ... 90 chances sur 100 d'être atteintes ou dépassées. Elles mettent également en lumière les différences essentielles qui existent entre les stations. Si la pluviosité mensuelle moyenne est en général peu variable au cours de l'année aux stations situées à l'intérieur de la chaîne du Jura et sur son versant oriental, on y observe tout de même deux légers maxima encadrant les minima adoucis de février à mai et d'octobre. Le maximum (fréquence 0.10) a lieu durant le second semestre (avril à septembre) et traduit l'influence prépondérante des précipitations océaniques dans cette région. Sur le versant français du Jura, au contraire, l'amplitude des variations mensuelles moyennes est plus élevée. Le maximum (fréquence 0.10) qui s'y produit pendant le premier semestre (octobre à mars) est dû aux courants d'origine méditerranéenne alors que l'influence océanique se traduit par les abondantes précipitations estivales.

Nous avons reporté, à titre indicatif, les modules mensuels observés au cours de l'année hydrologique 1965-1966. On observe ainsi que, de novembre à avril ou mai, les précipitations sont nettement excédentaires pour l'ensemble des stations, certaines valeurs approchant même des maxima enregistrés pendant la période de référence. Au contraire, les mois d'été sont caractérisés par une pluviométrie déficitaire. Nous profiterons de ce régime particulièrement bien tranché pour étudier au chapitre VIII le comportement des sources et des nappes aquifères de la plaine de l'Orbe en période de hautes et de basses eaux.

2. *Les modules pluviométriques du bassin total et des bassins partiels principaux*

La détermination du module pluviométrique d'un bassin versant n'est pas chose facile. Théoriquement deux approches sont possibles.

Figure No 6



No	Station	Altitude	Equation droite de régression	r
1	Corcelles s/Ch.	560 m	M = 154.29 t + 965.64	0.983
2	Echallens	625 m	M = 175.65 t + 1088.43	0.979
3	Lausanne	553 m	M = 178.04 t + 1041.23	0.994
10	La Cure	1165 m	M = 321.10 t + 1599.24	0.992
11	Le Sentier	1024 m	M = 228.17 t + 1426.30	0.985
14	Le Pont	1008 m	*M = 173.21 t + 1325.33	0.980
15	Vallorbe-Rep.	930 m	M = 261.29 t + 1526.40	0.990
16	Vallorbe-Vil.	790 m	*M = 210.89 t + 1282.10	0.987
18	Romainmôtier	676 m	*M = 248.63 t + 1111.05	0.987
19	Montcherand	565 m	M = 199.83 t + 969.55	0.990
20	L'Abergement	640 m	M = 211.56 t + 1189.53	0.992
21	Valeyres s/R.	505 m	M = 171.89 t + 927.30	0.984
22	Baulmes	634 m	M = 241.08 t + 1339.47	0.985
30	Yverdon	440 m	M = 166.93 t + 956.77	0.983
31	Les Vernes	435 m	*M = 111.48 t + 805.00	0.996
32	E.P.O. Orbe	439 m	*M = 182.67 t + 942.81	0.961
33	S.G.G. Bavois	440 m	*M = 147.35 t + 813.84	0.979
40	Les Rousses	1115 m	*M = 306.37 t + 1868.59	0.955
41	Morbier	928 m	*M = 321.94 t + 1943.76	0.974
42	Bellefontaine	1028 m	*M = 340.74 t + 2032.13	0.971
43	Mouthe	935 m	*M = 292.31 t + 1783.55	0.935
44	Oye-et-Palet	850 m	*M = 260.59 t + 1475.16	0.981
45	Granges Stes-M.	851 m	*M = 230.62 t + 1448.86	0.975
46	Jougnes	1000 m	*M = 243.37 t + 1470.29	0.983
47	Les Fourgs	1100 m	*M = 182.55 t + 1497.00	0.962
50	L'Auberson	1110 m	M = 288.12 t + 1534.04	0.983
51	Le Chasseron	1590 m	*M = 320.03 t + 1530.44	0.981
52	Cossonay	575 m	M = 173.06 t + 940.71	0.991
53	Longirod	900 m	M = 235.03 t + 1188.27	0.982

* Ajustement peu satisfaisant selon le test du Chi2.

La première consiste à établir d'abord, à partir des modules de chaque station, une loi de répartition des précipitations en fonction de l'altitude. Ensuite, il est aisé de calculer pour n'importe quelle période au moyen de cette loi les quantités d'eau moyennes reçues par chaque tranche altimétrique, puis de les totaliser. La difficulté pratique rencontrée par cette méthode réside dans la qualité souvent peu satisfaisante de l'ajustement d'une loi théorique à l'ensemble des modules des stations du bassin tout entier.

La seconde repose sur l'intégration des hauteurs moyennes des précipitations (Lm) reçues par le bassin, par planimétrage des surfaces isohyètes moyennes de la carte pluviométrique. On choisit ensuite un certain nombre de stations de référence et l'on calcule la moyenne arithmétique (Pm) de leur module respectif établi pour la période envisagée. Le rapport R de ces deux grandeurs ($R = Lm/Pm$) est un coefficient de proportionalité propre au bassin. Le calcul du module pluviométrique (M) du bassin pour n'importe quelle période se résume alors au produit du coefficient R par la moyenne arithmétique des modules des stations de référence établis pour la période considérée ($M = R \cdot Pm$).

Nous avons choisi cette seconde méthode après avoir constaté que les ajustements d'une loi théorique simple à la distribution de l'ensemble des modules des 31 stations étudiées en fonction de l'altitude étaient peu satisfaisants.

a) *Distribution des précipitations en fonction de l'altitude.* — La répartition des modules pluviométriques moyens est reportée en fonction de l'altitude de chaque station à la figure No 7. La dispersion des points représentatifs est bien visible et semble augmenter avec l'altitude. L'hétérogénéité du relief en est certainement une des causes. Un examen un peu plus rigoureux permet de définir trois grands groupes qui se répartissent selon trois zones altimétriques bien distinctes.

L'intérêt de ce graphique réside davantage dans les considérations théoriques générales que l'on peut en tirer que dans la précision des modèles. En effet, la complexité de la distribution des précipitations pour l'ensemble du bassin ressort très bien de cette étude : les coefficients de corrélation ne dépassent jamais 0.95, ils sont voisins de 0.90 pour le bassin total. Les modèles ne permettent donc d'obtenir que des ordres de grandeur.

Les trois zones déjà mentionnées sont maintenant bien définies :

— au-dessus de 1300 m. dans le Jura, la pluviométrie décroît d'environ 16 cm. pour 100 m. d'élévation ;

— *entre 1300 et 700 m., l'accroissement normal des précipitations est d'environ 9 cm. pour 100 m.*, toutefois deux régions font exception. Ce sont les versant nord-ouest du Jura et le fond de la vallée de Joux entre 1000-1120 m. Là, les gradients sont respectivement de l'ordre de 33,5 cm/100 m. et 49 cm/100 m. La situation géographique et la disposition orographique jouent un rôle de premier plan, créant des microclimats parfois très localisés. Deux stations peuvent en témoigner : celles des Rousses (40) révèle un excès d'environ 26 cm., tandis que Longirod (53) accuse un déficit de l'ordre de 20 cm. ;

— au-dessous de 700 m. et sur le Plateau la hauteur de pluie augmente d'un peu plus de 9 cm. pour 100 m. Ici aussi une anomalie est bien visible. La station de Baulmes (22) présente un excès de près de 25 cm.

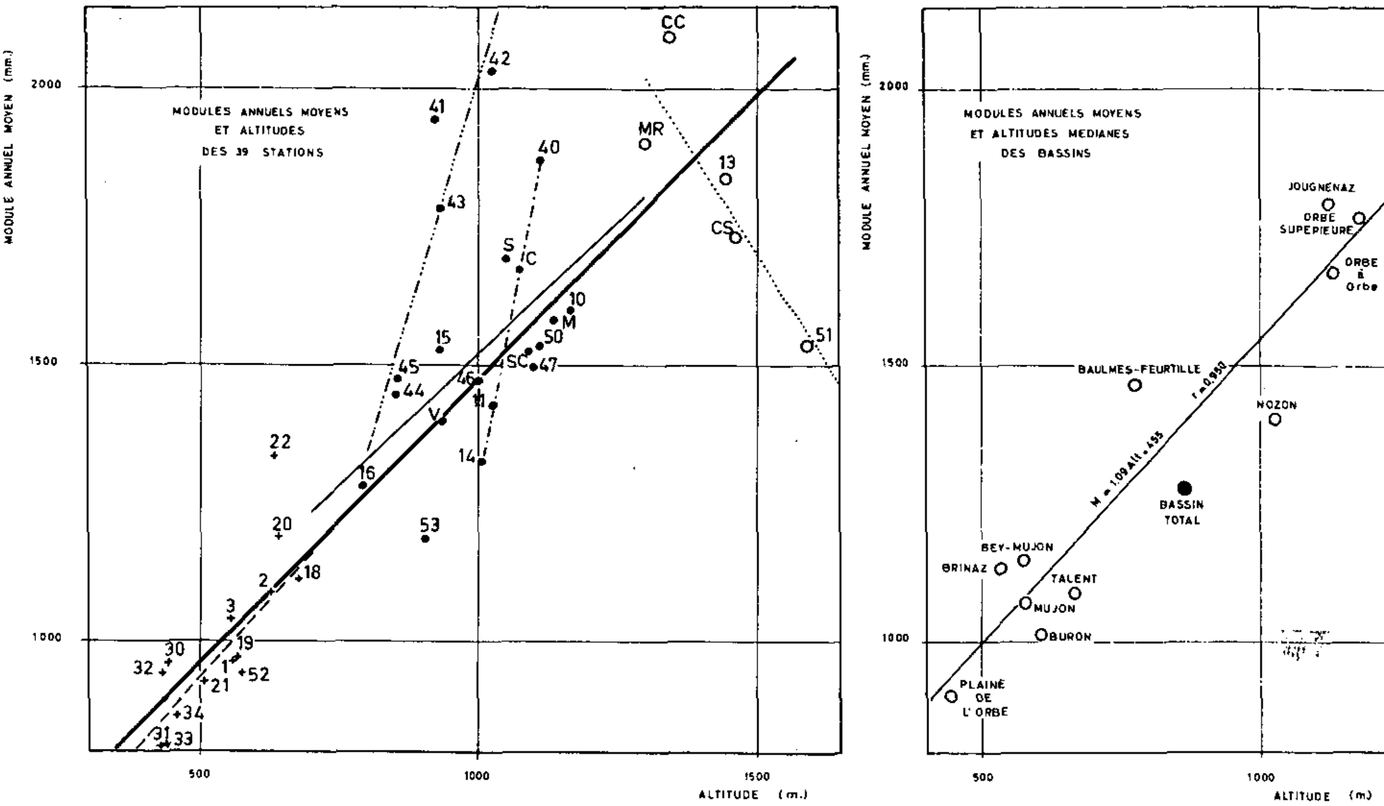
A titre comparatif, il nous a paru intéressant d'étudier sur la même figure la distribution des modules annuels moyens de chaque bassin (cf. planche No 13) en fonction de son altitude médiane. Nous avons constaté, en effet, que la corrélation est meilleure avec ce paramètre qu'avec l'altitude moyenne, plus sensible aux valeurs extrêmes. Le gradient pluviométrique est alors de 10,9 cm/100 m. pour un coefficient de corrélation égal à 0.95. Ce résultat est tout à fait comparable à ce que nous venons de trouver pour l'ensemble des stations, bien que la détermination du module moyen d'un bassin soit basée sur la carte pluviométrique.

b) *Calcul du module pluviométrique moyen M d'un bassin à partir de la carte pluviométrique.* — La planche No 9 représente la distribution en courbes isohyètes des précipitations moyennes sur le bassin versant de la plaine de l'Orbe. Elle a été dessinée à partir des valeurs reproduites au tableau No 9 et en tenant compte de la carte pluviométrique de H. Uttinger (1949).

Les stations de référence choisies sont classées par bassin versant au tableau No 10. La planche No 13 et le tableau No 11 donnent le détail du planimétrage des surfaces isohyètes pour les diverses subdivisions hydrographiques du bassin total, de même que les calculs des lames d'eau moyennes annuelles et des coefficients de proportionnalité R de chaque unité étudiée. Soulignons encore une fois que les moyennes utilisées ne sont généralement pas homogénéisées ; il peut donc en résulter une légère erreur dans le calcul du *coefficient R qui ne dépasse pourtant pas 5 %.*

Il ressort de l'étude de la planche No 13 et du tableau No 11 que le flanc sud-ouest de la plaine de l'Orbe, c'est-à-dire tout le versant jurassien, reçoit annuellement 152 cm. de précipitations, alors que le flanc oriental n'en reçoit que 104 cm. Le volume total des précipitations annuelles est donc 5,04 fois plus important sur le versant occidental que sur le versant oriental de la plaine ($65{,}463 \cdot 10^6$ m^3/$12{,}975 \cdot 10^6$ m^3). Pour l'ensemble du bassin les modules annuels moyens atteignent 128 cm., alors que dans la plaine de l'Orbe ils sont de 91 cm.

Figure No 7



CORRELATIONS MODULES MOYENS (mm) ∝ ALTITUDE (m)

Région et stations considérées	Figuré	Régression	Coefficient de corrélation
1) Jura central et flanc SE (700-1300 m) 17 stations : 10-11-14-15-16-40-44-45-46-47-50-53-C-S-V-M-SC	———	M = 0.91 Alt + 580	0.643
2) Jura flanc NW 5 stations : 41-42-43-44-45	—··· —··· —	M = 3.35 Alt - 1343	0.925
3) Vallée de Joux (1000 - 1120 m) 5 stations : 11-14-40-C-S	—·—·—·—	M = 4.90 Alt - 3567	0.954
4) Jura au-dessus de 1300 m. 5 stations 13-51-MR-CC-CS	....	M =-1.61 Alt + 4117	-0.874
5) Plateau et Pied du Jura au-dessous de 700 m. 13 stations : 1-2-3-18-19-20-21-30-31-32-33-34-52	- - - - - -	M = 1.13 Alt + 368	0.854
6) Bassin total sauf les stations 13-34-41-42-51 et sans les valeurs de Uttinger 25 stations.	━━━	M = 1.05 Alt + 437	0.915
7) Bassin total sauf les stations 41-42-43-51 mais avec les valeurs de Uttinger 35 stations	— — — —	M = 1.04 Alt + 442	0.937

Remarque : Les valeurs homogénéisées (1901-1940) que nous avons utilisées ici sont respectivement celles des stations:

C = Le Carroz
S = Le Solliat
V = Vaulion
M = La Mathoulaz

CC = Chalet Capt
SC = Sainte-Croix
MR = Mines Risoux
CS = Chalet Suchet

Tableau No 10. — STATIONS DE RÉFÉRENCE DES BASSINS VERSANTS

Bassins	Stations	Coordonnées	Période de référence	Coefficient R
Orbe Supérieure	La Cure	495.29 / 146.70	1936-1966 (26 ans)	1.12
	Bellefontaine	494.7 / 157.2	1950-1967 (17 ans)	
	Le Sentier	506.59 / 161.66	1936-1966 (30 ans)	
	Le Pont	515.21 / 170.24	1951-1966 (15 ans)	
	Vallorbe-Reposoir	515.96 / 172.64	1936-1966 (30 ans)	
Jougnenaz	Jougnes	519.8 / 179.8	1946-1967 (21 ans)	1.24
	Vallorbe-Reposoir	515.96 / 172.64	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Village	518.63 / 174.11	1946-1966 (20 ans)	
	L'Auberson	525. / 185.	1936-1966 (28 ans)	
Orbe à Orbe	La Cure	495.29 / 146.70	1936-1966 (26 ans)	1.06
	Bellefontaine	494.7 / 157.2	1950-1967 (17 ans)	
	Le Sentier	506.59 / 161.66	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Reposoir	515.96 / 172.64	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Village	518.63 / 174.11	1946-1966 (20 ans)	
	Jougnes	519.8 / 179.8	1946-1967 (21 ans)	
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	Valeyres s/Rances	530.17 / 178.35	1936-1966 (30 ans)	
Nozon	Vallorbe-Reposoir	515.96 / 172.64	1936-1966 (30 ans)	1.05* 1.03**
	Vallorbe-Village	518.63 / 174.11	1946-1966 (20 ans)	
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	Le Pont	515.21 / 170.24	1951-1966 (15 ans)	
Baulmes - Feurtille	Baulmes	529.88 / 182.56	1936-1966 (30 ans)	1.08
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	L'Auberson	525. / 185.	1936-1966 (28 ans)	
Mujon	Baulmes	529.88 / 182.56	1936-1966 (30 ans)	0.98
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	Valeyres s/Rances	530.17 / 178.35	1936-1966 (30 ans)	
	E.P.O. Orbe	532.11 / 176.25	1940-1967 (27 ans)	
Bey - Mujon	Baulmes	529.88 / 182.56	1936-1966 (30 ans)	1.04
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	Valeyres s/Rances	530.17 / 178.35	1936-1966 (30 ans)	
	Yverdon	539.29 / 181.63	1936-1966 (30 ans)	
Brinaz	Baulmes	529.88 / 182.56	1936-1966 (30 ans)	1.05
	Valeyres s/Rances	530.17 / 178.35	1936-1966 (30 ans)	
	Yverdon	539.29 / 181.63	1936-1966 (30 ans)	
Buron	Yverdon	539.29 / 181.63	1936-1966 (30 ans)	1.01
	Corcelles s/Chavornay	535.88 / 172.76	1936-1966 (28 ans)	
	Echallens	538.78 / 165.38	1936-1966 (30 ans)	
Talent	Lausanne	539.32 / 153.23	1936-1966 (30 ans)	1.06
	Echallens	538.78 / 165.38	1936-1966 (30 ans)	
	Corcelles s/Chavornay	535.88 / 172.76	1936-1966 (28 ans)	
Plaine de l'Orbe	Yverdon	539.29 / 181.63	1936-1966 (30 ans)	1.01
	E.P.O. Orbe	532.11 / 176.25	1940-1967 (27 ans)	
	S.G.G. Bavois	532.56 / 171.05	1948-1967 (17 ans)	
Flancs Ouest + Sud	La Cure	495.29 / 146.70	1936-1966 (26 ans)	1.13
	Le Sentier	506.59 / 161.66	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Reposoir	515.96 / 172.64	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Village	518.63 / 174.11	1946-1966 (20 ans)	
	Jougnes	519.8 / 179.8	1946-1967 (21 ans)	
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	Baulmes	529.88 / 182.56	1936-1966 (30 ans)	
	Valeyres s/Rances	530.17 / 178.35	1936-1966 (30 ans)	
Flanc Est	Corcelles s/Chavornay	535.88 / 172.76	1936-1966 (28 ans)	1.01
	Echallens	538.78 / 165.38	1936-1966 (30 ans)	
	Lausanne	539.32 / 153.23	1936-1966 (30 ans)	
Bassin Total	La Cure	495.29 / 146.70	1936-1966 (26 ans)	1.15
	Le Sentier	506.59 / 161.66	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Reposoir	515.96 / 172.64	1936-1966 (30 ans)	
	Vallorbe-Village	518.63 / 174.11	1946-1966 (20 ans)	
	L'Abergement	527.54 / 178.77	1936-1966 (30 ans)	
	Baulmes	529.88 / 182.56	1936-1966 (30 ans)	
	Yverdon	539.29 / 181.63	1936-1966 (30 ans)	
	Cossonay	528. / 163.	1936-1966 (28 ans)	
	Corcelles s/Chavornay	535.88 / 172.76	1936-1966 (28 ans)	
	Echallens	538.78 / 165.38	1936-1966 (30 ans)	

Remarques : * Nozon à Saint-Loup.

** Nozon à Orny.

Tableau No 11. — RÉPARTITION DANS LE BASSIN TOTAL DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES SOUS FORME DE HAUTEUR DE LAME D'EAU

Isohyètes (cm)		BASSINS								
		FLANCS OUEST + SUD			FLANC EST			BASSIN TOTAL		
Classes	Moyennes P.	km^2	S%	% cum.	km^2	S%	% cum.	km^2	S%	% cum.
200	205	21.74	5.0	5.0				21.74	3.7	3.7
200 - 190	195	35.64	8.3	13.3				35.64	6.0	9.7
190 - 180	185	56.78	13.2	26.5				56.78	9.7	19.4
180 - 170	175	58.29	13.6	40.1				58.29	9.8	29.2
170 - 160	165	47.47	11.1	51.2				47.47	7.6	36.8
160 - 150	155	34.01	7.9	59.1				34.01	5.8	42.6
150 - 140	145	27.63	6.4	65.5				27.63	4.7	47.3
140 - 130	135	14.89	3.5	69.0				14.89	2.5	49.8
130 - 120	125	23.08	5.4	74.4	11.13	8.9	8.9	34.21	5.8	55.6
120 - 110	115	25.89	6.0	80.4	16.00	12.7	21.6	41.89	7.1	62.7
110 - 100	105	29.18	6.8	87.2	47.64	38.3	59.9	76.82	13.1	75.8
100 - 90	95	49.20	11.4	98.6	49.24	39.5	99.4	120.24	20.4	96.2
90	85	6.11	1.4	100.0	0.75	0.6	100.0	22.31	3.8	100.0
Totaux		429.91	100.0	-	124.76	100.0	-	591.92	100.0	-
Lame d'eau moyenne $Lm = \frac{\Sigma(P . S\%)}{100}$		152.0			104.0			128.4		
Moyenne interannuelle des modules des stations de référence Pm		134.4			103.2			123.2		
Coefficient de proportionalité R = Lm / Pm		1.13			1.01			1.15		

B. LA TEMPÉRATURE DE L'AIR

Parmi les autres paramètres climatologiques étudiés, le plus important est la température de l'air puisqu'elle permet de calculer l'évapotranspiration par la formule de Turc, la seule applicable ici avec les rares renseignements utilisables. L'analyse de différents modèles, considérant la température et l'altitude des stations et des bassins, a permis d'établir que la *température annuelle moyenne du bassin total est sensiblement égale à la température annuelle moyenne que l'on observerait à son altitude médiane.* Or, on peut calculer cette température en fonction de la température correspondante de Lausanne. L'erreur probable est de 11 % et la température de 7,6 ± 0,8° C pour le bassin total. Des modèles analogues permettent d'estimer la température de chaque bassin partiel (cf. tableau No 18).

Chapitre VI

Le régime des cours d'eau

A. DONNÉES HYDROMÉTRIQUES DISPONIBLES

Les observations de débit se limitent aux mesures faites sur l'Orbe à la station limnigraphique des Granges à Orbe, de 1912 à nos jours, et sur le Nozon à l'ancienne station d'Orny qui fonctionna de 1923 à 1931. En fait, un certain nombre de mesures supplémentaires ont été effectuées à diverses époques, selon des procédés variables et dans des conditions souvent mal connues. Elles sont consignées au tableau No 12. Nous y avons joint quelques résultats obtenus personnellement en 1966 et 1967 dans le cadre de recherches annexes. Toutefois, la nature même de ces valeurs disparates fait qu'elles ne peuvent être citées ici qu'à titre indicatif, et ne pourront fournir des ordres de grandeur que dans certains cas. D'autre part, l'absence remarquée au tableau de tout renseignement sérieux concernant le débit des émissaires de la plaine s'explique par les conditions défavorables imposées par la proximité du lac de Neuchâtel. Son influence se manifeste notamment par les remous qu'il provoque dans les cours d'eau. On ignore tout de leurs effets, dont l'étude sort du cadre de ce travail, mais la faible pente et la profondeur du lit de la plupart des émissaires de la plaine font penser que les remous sont sensibles assez loin vers l'amont, peut-être en-deçà des limites du bassin, dans le Bey, la Thielle et le Canal oriental.

Dans les autres cours d'eau, les variations rapides et fréquentes du profil, dues notamment aux courants et à la végétation, parfois abondante, nous ont empêché d'obtenir des renseignements utiles concernant leurs débits.

Des conditions particulièrement favorables ont été rencontrées par contre dans le cours inférieur du Talent (534.15/171.67) et nous ont permis de procéder personnellement à des mesures régulières mais non continues du débit, de 1965 à 1967. Les valeurs obtenues concordent bien avec les résultats de jaugeages effectués antérieurement par l'Office fédéral de l'économie hydraulique : nous considérons donc nos relevés comme valables, mais leur faible densité rend leur exploitation difficile.

La conjonction de ces conditions défavorables limite considérablement l'intérêt de l'examen analytique des débits de l'Orbe, du Nozon et du Talent ; elle constitue de plus un handicap certain pour l'étude hydrologique de la plaine de l'Orbe. Nous nous abstiendrons donc de développer ici les méthodes mathématiques qui font intervenir en plus des débits les paramètres morphométriques et climatologiques de chaque bassin, pour définir les volumes écoulés hors de bassins voisins non jaugés. Les résultats seraient illusoires dans l'état actuel de nos connaissances, ainsi que l'ont montré nos premières recherches basées sur les rares données en notre possession. Seule une estimation grossière de la décharge moyenne des impluvium limitrophes de la plaine sera proposée à la fin de ce chapitre. Sa valeur ne sera aucunement définitive.

B. DÉFINITION DES BASSINS VERSANTS AUX STATIONS LIMNIGRAPHIQUES

1. Le bassin versant de l'Orbe à la station des Granges

Depuis 1912, l'Office fédéral de l'économie hydraulique publie régulièrement les débits de l'Orbe à son débouché dans la plaine, à Orbe. Le limnigraphe se trouve au pont des Granges (531.11/175.05), à l'altitude 439 m., sur la rive droite de la rivière. Avant d'atteindre la station, l'Orbe, canalisée dès la retenue des Moulins Rod (530.72/174.81), coule environ 400 m. sur son cône d'alluvions graveleuses. Puis, des digues, surélevées de près de 2 m., l'empêchent à l'aval d'inonder la plaine, qu'elle parcourt sur quelque 11 km. avec une pente moyenne inférieure à 1 ‰ jusqu'à son embouchure dans le lac de Neuchâtel.

Le bassin versant de l'Orbe peut être décomposé dans sa partie supérieure en un important bassin partiel dont l'exutoire est la résurgence de l'Orbe à Vallorbe. Cette subdivision n'est pas qu'une simple vue théorique, mais correspond à une réalité concrétisée par deux bassins bien individualisés tant par

Tableau No 12. — JAUGEAGES DIVERS

Bassin Versant	Rivière	Station	Coordonnées	Altitude	Débit (m^3/s)	Date	Référence	Méthode
ORBE SUPERIEURE	ORBE	Le Brassus	506.07/160.51	1016	2.326	30.05.1912	O.F.E.H.	Moulinet
			506.07/160.51	1016	1.975	22.10.1912	O.F.E.H.	Moulinet
		L'Orient	507.76/162.20	1006	0.785	10.12.1911	O.F.E.H.	Moulinet
			507.88/162.11	1006	2.132	27.01.1912	O.F.E.H.	Moulinet
			507.88/162.11	1006	1.746	24.05.1912	O.F.E.H.	Moulinet
			507.88/162.11	1006	2.115	22.10.1912	O.F.E.H.	Moulinet
		Le Sentier	?	?	3.18	temps sec	GAUTHIER	?
ORBE A ORBE	ORBE	Source	516.40/172.44	775	3.43	temps sec	FOREL	?
			516.40/172.44	775	4.86	temps sec	GAUTHIER	?
		Vallorbe	?	?	3.271	20.06.1929	C.V.E.	?
					3.829	21.06.1929	C.V.E.	?
					4.209	21.06.1929	C.V.E.	?
					1.651	29.09.1929	C.V.E.	?
					4.379	21.11.1929	C.V.E.	?
NOZON	NOZON	Pompaples	528.21/169.07	505	0.326	3.09.1948	O.F.E.H.	Moulinet
			528.21/169.07	505	0.206	10.03.1949	O.F.E.H.	Moulinet
			528.45/169.01	502	0.042	8.09.1949	O.F.E.H.	Moulinet
PLAINE DE L'ORBE	NOZON	Orny	529.94/168.73	469	1.180	15.06.1946	O.F.E.H.	Moulinet
			529.94/168.73	469	0.259	25.09.1946	O.F.E.H.	Moulinet
			529.94/168.73	469	0.328	27.01.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			529.94/168.73	469	0.096	28.07.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			529.94/168.73	469	0.015	19.08.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			529.94/168.73	469	0.207	3.09.1948	O.F.E.H.	Moulinet
			529.94/168.73	469	0.175	10.03.1949	O.F.E.H.	Moulinet
		Nozon 4	531.03/170.44	439	0.196	21.10.1966	PETCH	Moulinet
			531.03/170.44	439	0.211	4.11.1966	PETCH	Moulinet
			531.03/170.44	439	0.740	7.04.1967	PETCH	Flotteur
		Nozon 3	531.09/171.21	439	0.221	21.10.1966	PETCH	Moulinet
TALENT	TALENT	Le Brésil	534.75/168.94	545	0.68*	2.05.1967	O.F.E.H.	Moulinet
			534.82/169.93	498	0.67*	2.05.1967	O.F.E.H.	Moulinet
		Chavornay Moulin	534.20/171.62	449	0.590	21.10.1966	PETCH	Moulinet
			534.20/171.62	449	0.652	4.11.1966	PETCH	Moulinet
			534.20/171.62	449	1.003	2.02.1967	PETCH	Moulinet
		Chavornay Scierie	533.57/172.31	445	1.230	15.06.1946	O.F.E.H.	Moulinet
			533.57/172.31	445	0.444	25.09.1946	O.F.E.H.	Moulinet
			533.62/172.27	445	0.624	27.01.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			533.55/172.34	445	0.107	28.07.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			533.55/172.34	445	0.049	19.08.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			533.53/172.35	445	0.418	2.09.1947	O.F.E.H.	Moulinet
			533.53/172.35	445	0.305	9.03.1949	O.F.E.H.	Moulinet
PLAINE DE L'ORBE	CANAL ENTREROCHES	Bavois	531.95/171.28	439	0.130	7.04.1967	PETCH	Flotteur
	CANAL ORIENTAL	Yverdon	538.79/180.60	435	0.275	6.04.1967	PETCH	Flotteur
	BURON	Yverdon	539.28/180.14	436	0.227	7.04.1967	PETCH	Flotteur
	MUJON	Yverdon	538.00/181.14	433	0.208	6.04.1967	PETCH	Flotteur
	BEY	Yverdon	538.11/182.56	433	0.505	6.04.1967	PETCH	Flotteur
BRINAZ	BRINAZ	Yverdon	538.11/182.90	435	0.362	7.04.1967	PETCH	Flotteu
LATERAUX	RUISSEAU DES VAUX	Arnex	530.86/177.35	443	0.0004	6.08/22.10.1966	PETCH	Flotteu
			530.86/177.35	443	0.008	28.10/03.12.1966	PETCH	Flotteu
	RUISSEAU DE SADAZ	Chavornay	534.21/173.81	448	0.0004	6.08/22.10.1966	PETCH	Flotteu
			534.21/173.81	448	0.0089	28.10/23.12.1966	PETCH	Flotteu

* Valeurs moyennes de deux jaugeages consécutifs exécutés avant et après une pointe de crue.

leurs paramètres morphométriques que par leurs caractéristiques climatiques. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de tenter de préciser nos connaissances concernant d'une part l'influence relative des lacs de Joux et Brenet et des phénomènes karstiques du bassin supérieur sur le régime de la source de l'Orbe, d'autre part celle des retenues hydro-électriques sur le cours inférieur de cette rivière. L'étude comparative des débits annuels et mensuels moyens de cette résurgence (ou éventuellement de l'Orbe à Vallorbe) et de l'Orbe à Orbe est le meilleur moyen d'y parvenir ; il suffit pour cela d'appliquer des méthodes analogues à celle préconisée par J.-P. Vançon (1966). Nous avons recherché à cette fin des renseignements susceptibles d'être exploités et d'anciens relevés limnimétriques de l'Orbe à sa source (516.40/172.44 - alt. 775 m.) et à Vallorbe (la situation exacte de ce second limnigraphe a été perdue) nous ont été aimablement fournis par la CVE. Cette société nous procura, en outre, une courbe de tarage établie en 1929. Malheureusement, malgré de longues et difficiles recherches, il nous a été impossible d'ajuster valablement la courbe de tarage aux relevés limnimétriques auxquels elle est censée correspondre ! A plus forte raison, toutes les tentatives de conversion des hauteurs d'eau de la source de l'Orbe en débit sont restées vaines. Or, le jaugeage de cette résurgence pose des problèmes techniques que seuls des spécialistes peuvent résoudre et nous sommes dans l'impossibilité actuellement de donner une estimation valable de ses débits (les valeurs citées au tableau No 12 sont les seuls ordres de grandeur que nous possédions).

De nombreuses suppositions concernant le réseau karstique, établies pour la plupart sur le temps de parcours de traceurs, les températures ou la concentration en sels dissous des eaux, ont déjà été avancées. Echafaudées sur des bases que nous savons incertaines, parce qu'incontrôlées par des mesures précises de débit, ces hypothèses nous paraissent pour le moins osées. En renonçant à ces recherches nous éviterons donc de donner une explication des incidences karstiques ou lacustres de ce bassin.

Les caractéristiques morphométriques essentielles de l'impluvium arrêté au limnigraphe des Granges sont consignées au tableau No 17.

La constitution lithologique a été étudiée au chapitre II et nous rappelons simplement que l'infiltration et le ruissellement sont régis ici essentiellement par trois types de terrains :

Les terrains perméables à faible pouvoir de rétention sont caractérisés par une infiltration dispersée ou concentrée et une circulation souterraine de type karstique.

Les terrains perméables à pouvoir de rétention élevé sont représentés par les formations tertiaires et les dépôts quaternaires épais, souvent séparés du karst sous-jacent par un mur très peu perméable.

Les terrains imperméables ne constituent à l'affleurement que les 3 % de l'impluvium. Ils appartiennent aux faciès marneux ou marno-calcaires de l'Argovien et dans une moindre mesure du Dogger pour le Jurassique, ainsi qu'à ceux de l'Hauterivien inférieur pour le Crétacé. Le ruissellement superficiel, ou de faible profondeur dans la zone d'altération, y est de règle.

La décharge du bassin versant n'est pas rigoureusement égale au débit de l'Orbe jaugé à la station des Granges. En effet, un certain volume d'eau est soustrait artificiellement. Il s'agit d'une part des prélèvements alimentant l'agglomération des Rousses et restitués à l'extérieur du bassin dans le bief de la Chaille, d'autre part de l'utilisation de l'eau des sources des Eaux-Vives et de la Tuffière pour l'alimentation de la ville d'Orbe. La majeure partie de l'eau de ces sources retourne cependant à l'Orbe à l'amont du pont des Granges et nous admettrons que la perte est compensée, à Orbe, par l'apport des eaux de Boven (bassin du Mujon) se déversant à l'amont du limnigraphe. En définitive, les pertes artificielles moyennes du bassin s'élèvent actuellement à une dizaine de litres/seconde et peuvent être négligées (elles représentent moins de 1 % du débit minimum observé). Dans un proche avenir, elles vont augmenter puisque la source de la Fontaine-Mercier, près des Clées, alimentera les agglomérations de L'Abergement et de Sergey (bassin du Mujon) et que la station d'épuration d'Orbe restituera ses eaux à l'Orbe dans la région de Bochuz. A côté de ces dérivations artificielles, une part difficile à estimer du volume écoulé échappe peut-être au jaugeage pour contribuer à l'alimentation de la nappe aquifère des alluvions sous-jacentes, en particulier lors des périodes de hautes eaux. Nous estimons à priori qu'elle est faible en regard de l'imprécision des limites du bassin et de l'importance du débit jaugé ($<$ 2 % du débit d'étiage). Dans ces conditions, l'écoulement de l'Orbe jaugé au limnigraphe des Granges peut être considéré comme la décharge réelle du bassin.

2. *Le bassin versant du Nozon à la station d'Orny*

Cette station, exploitée de 1923 à 1931 par l'Office fédéral de l'économie hydraulique, est située sur le Nozon à l'aval d'Orny (530.50/169.18) à l'altitude de 459 m. La rivière coule sur ses alluvions dès Saint-Loup, plus de 2,5 km. à l'amont du limnigraphe. Canalisée à partir du pont-route 463 (530.45/169.10), elle va se jeter dans le Talent près de Bochuz, 7 km. plus au nord avec une pente moyenne de 3 ‰.

Les principaux paramètres morphométriques du bassin, limité à Orny, sont reportés au tableau No 17.

La constitution lithologique s'apparente fort, dans son ensemble, à celle du bassin de l'Orbe. Il faut toutefois signaler l'absence des formations du Dogger et de l'Argovien. D'autre part, les terrains molassiques n'apparaissent que dans la partie inférieure du bassin où ils n'occupent guère que 0,6 km², tandis que les alluvions quaternaires perméables de Croy et de Pompaples-Orny représentent une superficie de 0,8 km².

La décharge réelle de l'impluvium n'égale pas le volume des eaux évacuées par le Nozon à Orny. Des dérivations artificielles non négligeables et plus encore des voies naturelles de drainage souterrain soustraient un important débit à l'exutoire du bassin. Une bonne partie de l'eau captée à la source de la Cressonnière sort du bassin pour alimenter la ville de La Sarraz et l'agglomération d'Eclépens, le reste est dirigé sur Orny et retourne au Nozon à l'amont du limnigraphe. Le canal de dérivation du Moulin Bornu détourne une part de l'eau du Nozon (0,18 m³/s. selon jaugeage du 27 juin 1912, Bräm et Sartori, 1920) dans l'étang du « Milieu-du-Monde ». La moitié est restituée au bassin du Nozon par l'intermédiaire d'un canal d'élevage piscicole qui se jette dans la rivière à l'amont d'Orny. L'autre moitié s'écoule dans la Venoge par La Sarraz. Le débit total moyen ainsi dérivé artificiellement du bassin, avant son exutoire, peut être estimé au maximum à environ 0,20 m³/s. (0,02 m³/s. pour l'alimentation et 0,18 m³/s. pour le canal), soit environ le tiers du module annuel moyen au limnigraphe d'Orny. En plus de ces dérivations, il est vraisemblable qu'une part importante de la décharge de l'impluvium du Nozon s'écoule naturellement en profondeur hors du bassin. Une partie de cet écoulement alimente par voie souterraine la nappe aquifère d'Entreroches, le reste passant probablement au bassin de la Venoge. Cette décharge naturelle souterraine doit être sensiblement égale au débit jaugé du Nozon à Orny.

3. *Le bassin versant du Talent au moulin de Chavornay*

Cette station non officielle est située à l'amont de Chavornay (534.15/171.67 - alt. 449 m.). Les mesures ont été exécutées généralement une fois par semaine du 27 mars 1965 au 26 juillet 1967. Quelques mesures supplémentaires furent faites jusqu'au 22 novembre 1967. Trois jaugeages au moulinet ont été effectués entre octobre 1966 et février 1967 pour vérifier la formule de la courbe de tarage.

A l'amont de l'échelle limnigraphique le Talent est canalisé. A l'aval, la rivière endiguée traverse la plaine jusqu'à Bochuz, 5,5 km. plus loin, où elle se jette dans l'Orbe. Les paramètres morphométriques principaux sont consignés au tableau No 17.

Les terrains qui affleurent dans l'aire de réception sont essentiellement d'âge tertiaire et quaternaire et présentent dans l'ensemble une microperméabilité réduite qui se traduit sur le terrain par une abondance de petites sources à régime assez constant, mais généralement de faible débit. Ainsi que nous l'avons déjà signalé, le Talent entaille obliquement, à l'ouest de Goumoens-la-Ville, l'anticlinal calcaire (Urgonien) qui prolonge vers le nord-est le horst du Mormont. Deux jaugeages simultanés ont été exécutés en 1967 par l'Office fédéral de l'économie hydraulique de part et d'autre de cet affleurement pour tenter de mettre en évidence d'éventuelles pertes dans ces calcaires. Les résultats n'ont révélé qu'une différence de 10 l/s. entre l'amont et l'aval (1,47 % du débit jaugé), mais furent jugés peu convaincants par les experts fédéraux, pour qui le doute subsiste. A notre avis, s'il existe réellement des pertes dans ce défilé, elles sont très faibles, nettement inférieures à la limite de tolérance admise dans la délimitation de l'impluvium et peuvent être négligées.

Par contre, les apports extérieurs d'eau d'alimentation sont relativement nombreux. Ils concernent 11 agglomérations, mais ne représentent qu'un débit assez faible (il s'agit d'une « alimentation de secours ») que nous avons chiffré à un peu plus de 0,002 m³/s. (moyenne de 8 années 1960-1967 selon les relevés des SI de Lausanne) et à un peu moins de cette valeur pour les 2 années hydrologiques 1965-1967. D'un autre côté, une part importante des eaux captées dans le Haut-Talent, région de Froideville et de Montheron, est soustraite au bassin et détournée dans le réseau d'alimentation de la ville de Lausanne. Nous avons pu calculer que la moyenne annuelle (moyenne de 4 ans 1962-1966) des eaux ainsi dérivées représente un débit légèrement supérieur à 0,001 m³/s.

Avant de tirer des conclusions concernant les apports ou les départs naturels et artificiels d'eau dans ce bassin, il nous reste à considérer le cas de la gravière de Bioley-Orjulaz. De récentes études (Burri F. et M. et Weidmann M., 1968) ont montré que la nappe retenue dans ces graviers est profonde, d'importance relativement restreinte et qu'elle se décharge naturellement dans le bassin de la Venoge aux sources de la Mollombaz. Il est vraisemblable d'autre part qu'elle empiète légèrement sur les limites de l'impluvium que nous avons délimité pour le Talent ; toutefois, les débits qu'elle pourrait ainsi soustraire au bassin de ce cours d'eau sont bien inférieurs à 0,001 m³/s. et par conséquent insignifiants.

Il résulte de tout ce qui précède que le bilan global des apports et des dérivations d'eau s'annule grosso modo dans le bassin du Talent. Ceci a pour conséquence évidente que le débit jaugé au Moulin de Chavornay correspond exactement à la décharge de l'impluvium, dans les limites de tolérance attribuées à sa délimitation. Dans ces conditions, nous espérons que ce bassin pourra devenir officiellement un bassin repère à brève échéance. Il présente, en effet, à maints égards des particularités intéressantes qu'il serait utile de préciser.

Tableau No 13. — ANALYSE DES DÉBITS ANNUELS

BASSIN VERSANT		STATION		DEBIT MOYEN					DEBIT MEDIAN		DEBITS SPECIFIQUES		DEBITS EXTREMES				
NOM	SURFACE (km^2)	NOM	Période de référence AH=année hydrologique AC=année civile	Calculé (m^3 / s)	Erreur %	Ecart-type (m^3/s)	Erreur %	Coeff.var.	Calculé (m^3 / s)	Erreur %	Moyen (l/s.km^2)	Médian (l/s.km^2)	Maximum (m^3 / s)	Minimum (m^3 / s)	Int.var (m^3/s)	Max/ Min.	Coef.ir. %
ORBE	299.26	LES GRANGES	AH (1936-1966/30 ans)	11.87	4.2	2.61	11.5	0.22	11.90	4.2	39.6	39.6	16.80 (1950-51)	7.80 (1948-49/63-64)	9.0	2.15	76
			AC (1912-1966/55 ans)	12.20	-	-	-	-	-	-	40.8	-	16.20 (1939)	5.48 (1921)	10.7	2.96	88
NOZON	44.62	ORNY	AH (1923-1931/ 8 ans)	0.61	16.4	0.22	50.0	0.35	0.60	16.7	13.6 (29.7)	13.4	0.90 (1923-24/30-31)	0.30 (1924-25)	0.6	3.00	98
			AC (1924-1931/ 8 ans)	0.58	-	-	-	-	-	-	13.0	-	0.75 (1931)	0.25 (1929)	0.5	3.00	86
TALENT	63.78	CHAVORNAY	AH (1965-1967/ 2 ans)	1.06	-	-	-	-	-	-	16.6	-	1.21 (1966-67)	0.91 (1965-66)	0.3	1.33	35
AREUSE	373.00	LES MOYATS	AH (1923-1954/31 ans)	12.6	-	-	-	-	-	-	33.8	-	19.30 (1924)	6.40 (1949)	12.9	3.02	102
			AC (1923-1966/44 ans)	12.3	-	-	-	-	-	-	33.8	-	16.8 (1939)	5.52 (1964)	11.3	3.04	92
SIHL	336.00	ZURICH	AC (1919-1936/18 ans)	13.4	-	-	-	-	-	-	39.9	-	18.3 (1922)	7.6 (1921)	10.7	2.41	80

Remarques : 1) Les erreurs ont été calculées pour un intervalle de confiance de 95 %, à partir des modules moyens et de leur écart-type, ainsi que des modules médians.
2) Le débit spécifique inscrit entre parenthèses pour le Nozon a été calculé compte tenu de la décharge souterraine et des dérivations artificielles.

C. ANALYSE DES DÉBITS DES COURS D'EAU AUX STATIONS LIMNIGRAPHIQUES

L'exploitation des données hydrométriques aux deux stations des Granges et d'Orny a été facilitée par l'utilisation d'une calculatrice à grande capacité et d'un programme (HYDRO), très voisin de celui établi pour l'étude pluviométrique. Les résultats complets, calculés pour l'année hydrologique, sont conservés au Laboratoire de géologie de l'Université de Lausanne.

Dans le présent paragraphe, nous examinerons successivement les débits annuels, mensuels et journaliers. Ces derniers ne pourront être étudiés que de manière relativement sommaire malgré l'intérêt que revêt l'analyse des hydrogrammes de crue et en particulier les courbes de décroissance. Dans ce domaine, nos recherches nous ont montré, en effet, que :

- les pertes souterraines journalières du Nozon ne peuvent être évaluées avec une précision suffisante en fonction des données existantes, de sorte que l'hydrogramme est faussé ;
- la densité des observations faites sur le Talent est trop faible en regard des variations de régime pour dessiner des courbes de tarissement utilisables ;
- les perturbations journalières importantes de l'Orbe, causées par l'activité des usines hydro-électriques, interfèrent avec les variations naturelles de manière quelconque. Les bassins de retenue et de compensation ont, en plus, pour conséquence finale de régulariser le régime de la rivière en élevant notamment le débit d'étiage et en atténuant les crues.

1. *Les débits annuels moyens*

Les principaux résultats de l'analyse des modules d'écoulement annuels (année hydrologique) à Orbe, Orny et Chavornay sont reportés au tableau No 13. Nous y avons joint à titre comparatif les débits de l'Areuse à la station des Moyats, donnés par A. Burger (1959). En outre, les valeurs se rapportant à l'année civile sont tirées de l'Annuaire hydrographique de la Suisse ; elles concernent chacune de ces stations ainsi que celle de Zurich, sur la Sihl, avant la création de la retenue de l'Etzel.

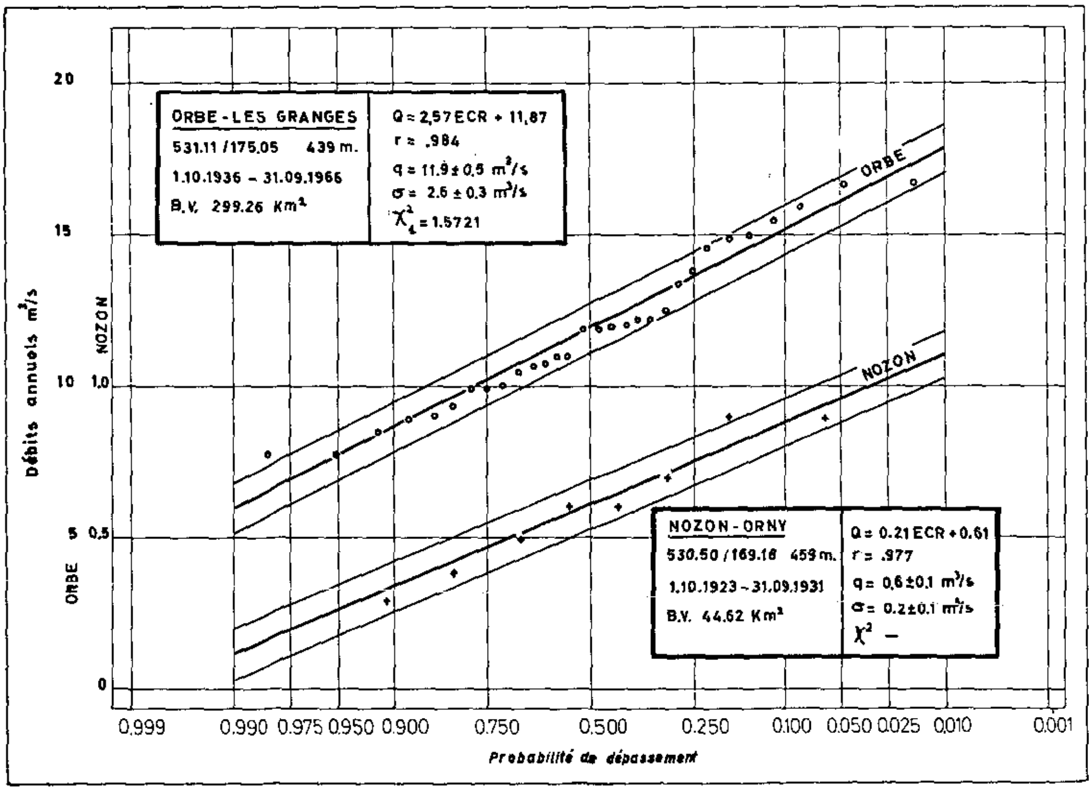


Figure No 8. — Courbes des fréquences empiriques de dépassement des débits annuels moyens de l'Orbe et du Nozon

Tableau No 14. — ANALYSE DES DÉBITS MENSUELS

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
ORBE - LES GRANGES (1936-1966)												
1) médianes (m³/s)	6.90	9.80	8.90	10.80	10.10	16.10	17.60	9.60	9.50	7.00	7.20	9.50
2) moyennes (m³/s)	9.07	14.37	11.37	11.86	13.26	16.74	18.46	11.96	10.03	7.81	7.91	9.27
3) écarts-type (m³/s)	5.42	11.14	6.08	7.97	8.15	5.71	7.22	6.05	4.10	3.71	4.27	4.53
4) coefficients de variation	0.60	0.76	0.54	0.67	0.62	0.34	0.39	0.51	0.46	0.48	0.54	0.49
5) maximum (m³/s)	23.70	45.70	29.50	45.10	33.70	37.40	33.90	24.50	22.50	18.50	18.70	18.30
6) minimum (m³/s)	2.30	3.70	3.80	4.00	3.70	6.30	8.20	5.30	3.80	2.60	2.70	3.10
7) intervalles de variation (m³/s)	21.40	42.00	25.70	41.10	30.00	31.10	25.70	19.20	18.40	15.90	16.00	15.20
8) rapport Max/Min.	10.31	12.35	7.76	11.28	9.11	5.94	4.13	4.62	5.84	7.12	6.93	5.90
NOZON - ORNY (1923-1931)												
1) médianes (m³/s)	0.60	0.90	0.90	0.70	0.50	0.90	0.90	0.60	0.20	0.10	0.30	0.40
2) moyennes (m³/s)	0.61	0.85	0.78	0.69	0.55	0.93	0.96	0.66	0.35	0.23	0.30	0.43
3) écarts-type (m³/s)	0.40	0.51	0.46	0.39	0.50	0.63	0.45	0.60	0.34	0.30	0.27	0.44
4) coefficients de variation	0.66	0.60	0.59	0.57	0.92	0.68	0.47	0.91	0.98	1.34	0.91	1.04
5) maximum (m³/s)	1.10	1.60	1.50	1.30	1.50	2.30	1.80	1.90	1.00	0.90	0.70	1.20
6) minimum (m³/s)	0.10	0.30	0.10	0.20	0.10	0.30	0.40	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00
7) intervalles de variation (m³/s)	1.00	1.30	1.40	1.10	1.40	2.00	1.40	1.80	0.90	0.90	0.70	1.20
8) rapport Max/Min.	11.00	5.33	15.00	6.50	15.00	7.67	4.50	19.00	10.00			
TALENT - CHAVORNAY MOULIN (1965-1967)												
moyennes (m³/s)	0.99	1.34	1.83	1.94	1.34	1.25	1.10	0.97	0.58	0.42	0.40	0.55

L'étude des débits spécifiques annuels moyens (l/s.km^2) permet d'intéressantes comparaisons entre les rivières de notre bassin et l'Areuse ou la Sihl. Le premier de ces cours d'eau est de type jurassien. Son bassin est caractérisé par des circulations essentiellement karstiques. Le second, dont l'impluvium a été étudié par J. Lugeon (1928), est rattaché aux cours d'eau préalpins et coule en pays peu perméable.

Bien que les périodes ne soient pas synchrones, la pluviosité, plus élevée dans le bassin de l'Orbe que dans celui de l'Areuse, rend compte à 2 % près de la différence des débits spécifiques. Il n'en est pas de même pour les bassins du Talent et de la Sihl dont le rapport de pluviosité est environ 1 à 1.8 et celui des débits spécifiques 1 à 2.4. Cette anomalie apparente s'estompe si l'on compare le bassin du Talent à celui du canal de Biberen à Chiètres, à l'est du lac de Morat (considéré depuis 1956 comme bassin repère). Ce dernier présente, en effet, pour l'année civile 1966, un débit spécifique très légèrement supérieur (0,6 l/s.km^2) à celui du Talent pour la même période. Cet écart minimum (2,5 %), pour un rapport de pluviosité voisin de 1 (Talent/c. Biberen 1 à 1.04), peut être attribué sans grands risques aux imprécisions inhérentes à la mesure des débits du Talent. Les valeurs obtenues seraient ainsi légèrement inférieures à la réalité.

Le bassin du Nozon présente pour sa part un débit spécifique aberrant, plus de deux fois supérieur à celui auquel on pourrait s'attendre ! Cette anomalie résulte, en grande partie, des pertes souterraines naturelles qui peuvent être chiffrées 0,55 m^3/s.

Nous verrons plus loin que l'étude du bilan annuel moyen confirme cette valeur que nous considérons donc à priori comme représentative. Nous avons établi les courbes de fréquence empirique de dépassement des débits annuels moyens pour l'Orbe et le Nozon à la figure No 8. L'expression analytique de ces courbes a déjà été commentée au chapitre V. Nous n'y reviendrons pas, si ce n'est pour définir le débit annuel moyen Q et la moyenne interannuelle des débits annuels moyens q.

2. *Les débits mensuels*

Le tableau No 14 présente les principaux paramètres obtenus lors de l'étude des débits mensuels à nos stations.

De manière à compléter notre information sur le régime de l'Orbe et du Nozon, nous avons calculé les courbes de fréquences de leurs débits moyens pour chaque mois de l'année hydrologique. Ces familles de courbes, représentées à la figure No 9, permettent donc d'évaluer non seulement les débits moyens et médians de ces cours d'eau, mais encore ceux qui ont la probabilité de 10, 25, 50, 75 et 90 % d'être atteints ou dépassés. De plus cette représentation permet d'attribuer au régime pluvio-nival les débits de ces deux rivières. Les courbes montrent, en effet, deux maxima caractéristiques de la fonte des neiges de mars à mai et des fortes précipitations automnales de novembre.

3. *Les débits journaliers*

L'étude du classement chronologique des volumes écoulés aux stations des Granges et d'Orny révèle de fortes variations journalières. Les relevés limnigraphiques d'Orbe montrent même de brusques sauts au cours de la journée qui résultent généralement de l'activité des usines hydro-électriques. Sur le Talent, les relevés que nous avons effectués au moulin de Chavornay laissent entrevoir, malgré la faible densité des observations, de sensibles fluctuations journalières.

a) *Débits classés et débits caractéristiques.* — L'analyse des débits journaliers est basée sur les courbes des débits classés. La représentation graphique des fréquences cumulées, calculées pour l'année civile par l'Office fédéral de l'économie hydraulique, figure au tableau No 15. Les diagrammes de l'Orbe et du Nozon présentent, pour la période de référence, les durées des débits annuellement atteints ou dépassés en moyenne et au cours des deux années extrêmes. Ces dernières valeurs donnent une idée de l'étendue de variations des débits probables, mais *ne représentent pas les courbes enveloppes de tous les débits possibles* de la période considérée. La ligne des fréquences cumulées établie pour l'année civile de 1964 a été reportée sur le graphique de l'Orbe pour illustrer cette observation. Enfin, nous avons joint un graphique comparatif des débits spécifiques moyens classés de l'Orbe, du Nozon, de l'Areuse et de la Sihl. On y remarque parfaitement l'importance relative des débits d'étiage de l'Orbe et les valeurs anormalement faibles de ceux du Nozon.

L'étude de ces courbes est facilitée par le calcul du rapport r de certains débits caractéristiques DC au module annuel Q. L'examen du tableau No 16 où sont reportées ces valeurs confirme les deux observations précédentes, à savoir :

Le régime de l'Orbe est fortement perturbé par les retenues hydro-électriques :

- ses crues sont les plus courtes de celles des quatre cours d'eau comme l'indique la faible valeur de r pour les DC de 9 jours, 36 jours et même 91 jours ;
- l'étiage est le plus soutenu : dès le débit caractéristique de 6 mois, le rapport r de l'Orbe reste le plus élevé.

FIGURE No 9

REPARTITION STATISTIQUE
DES
DEBITS MENSUELS

Fréquences expérimentales de dépassement des modules d'écoulement (m^3/s)

…………	Modules minimum
— — —	Modules moyens
━━━	Modules maximum
———	Fréquence de dépassement 0.10
—·—·—	Fréquence de dépassement 0.25
– – – –	Fréquence de dépassement 0.50
—··—··—	Fréquence de dépassement 0.75
…………	Fréquence de dépassement 0.90

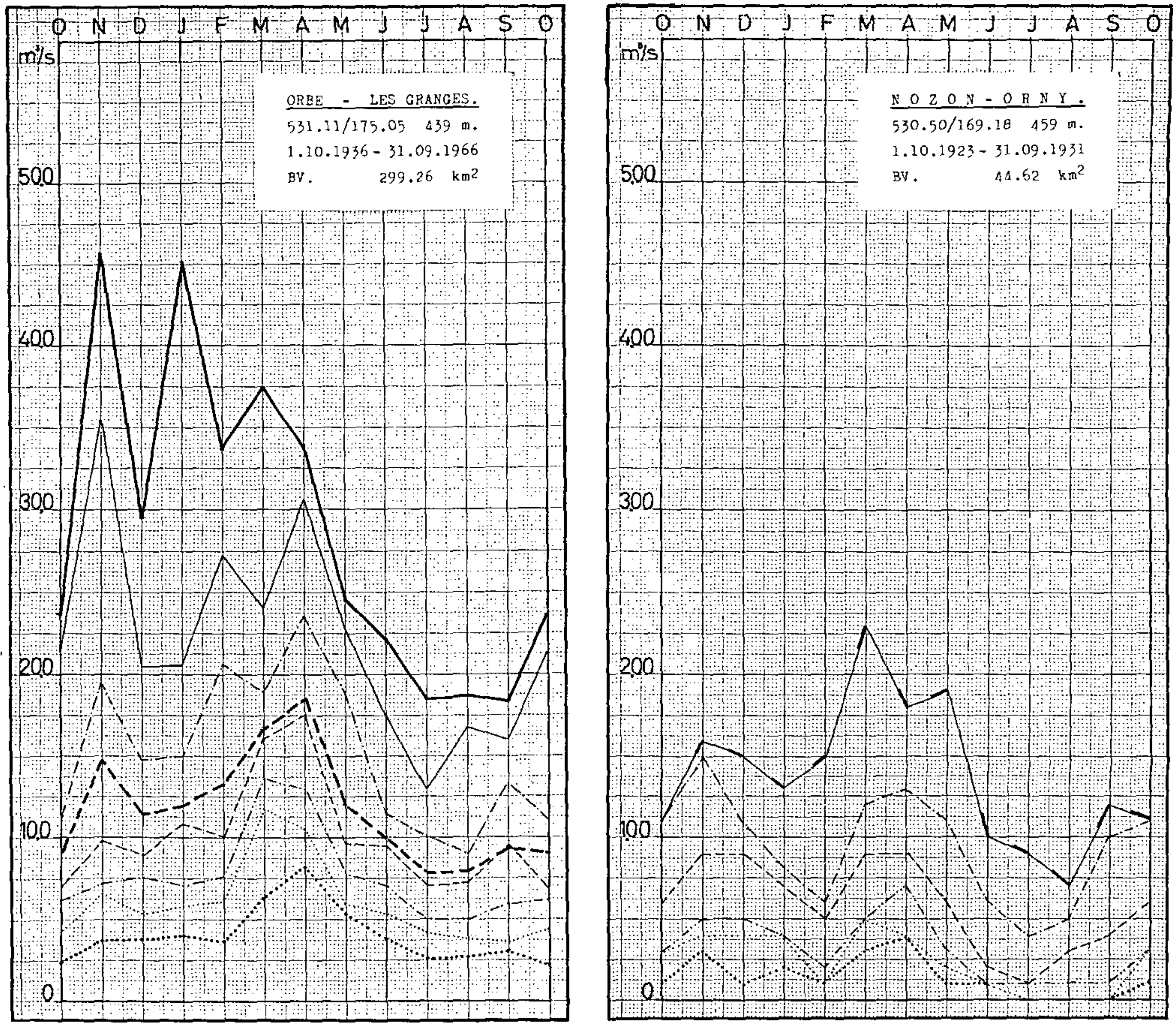
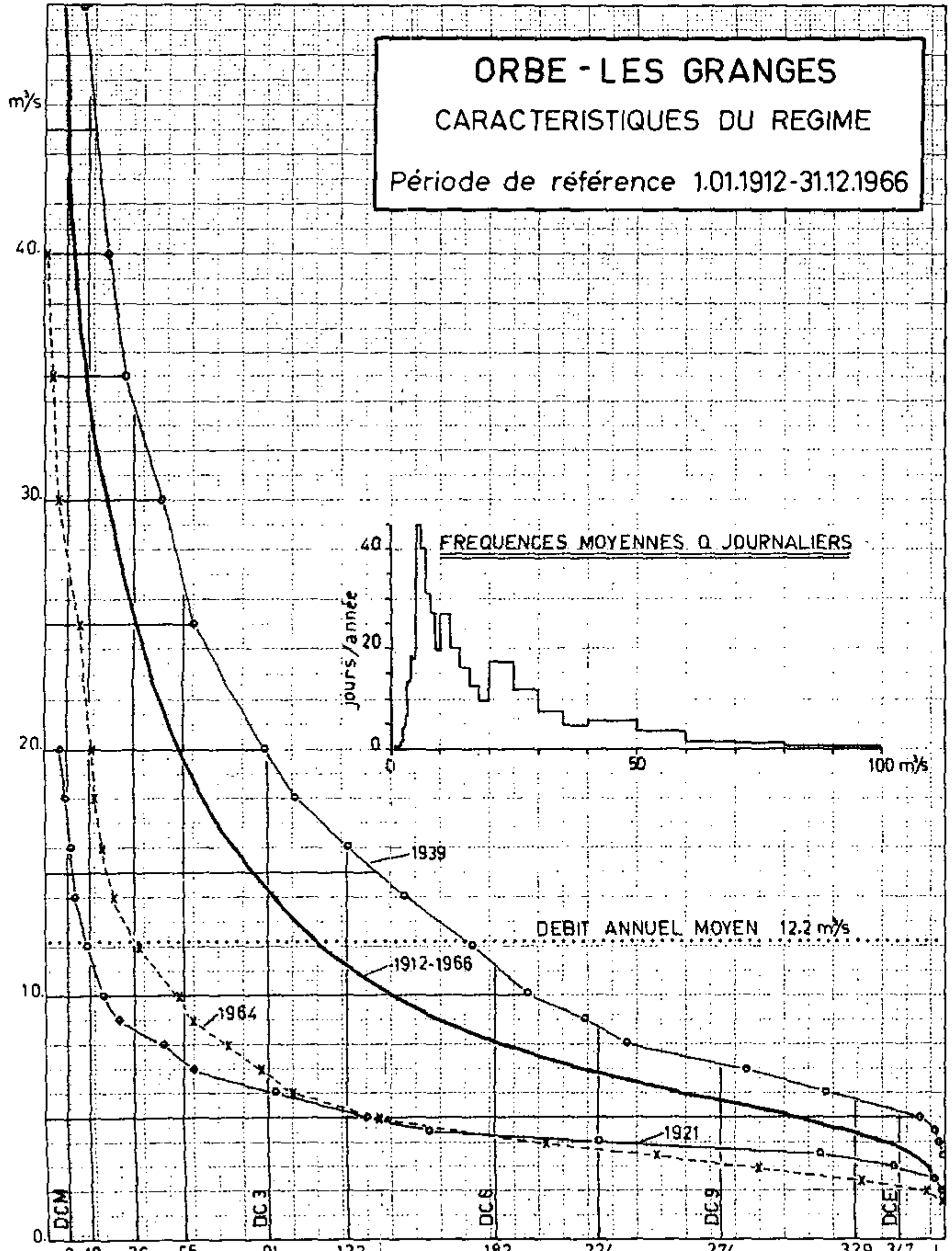
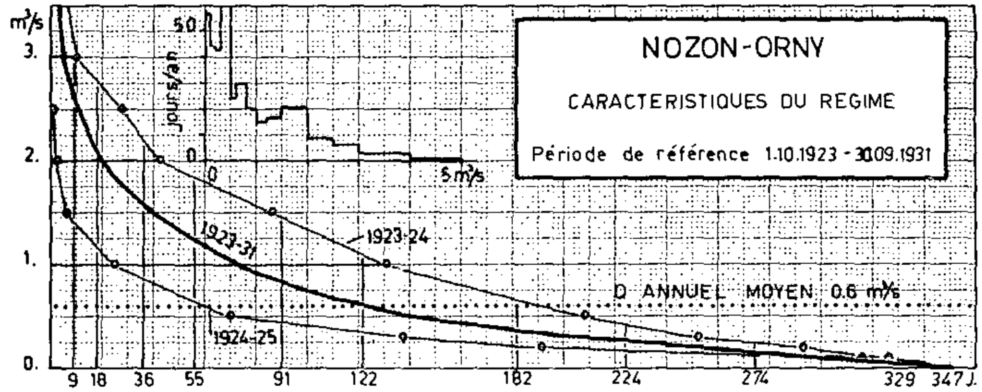


Tableau No 15





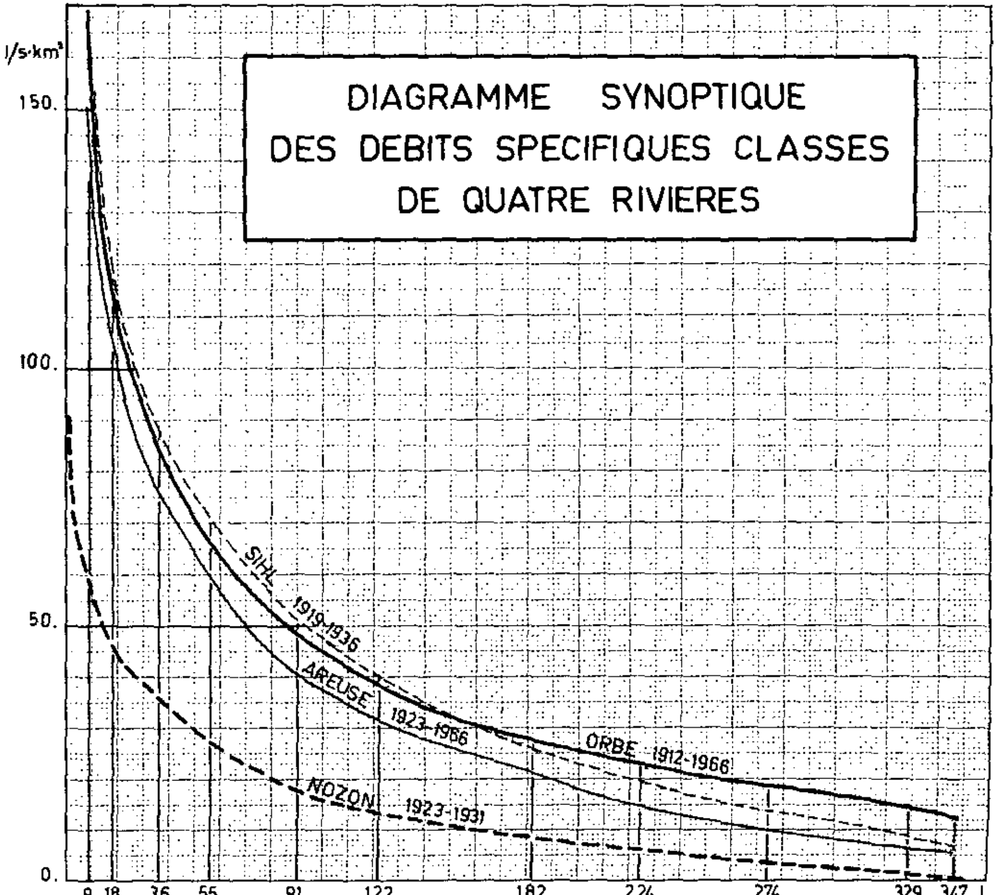


Tableau No 16. — COMPARAISON DES DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DE QUATRE RIVIÈRES

B.V.	Débits caractéristiques en m^3/s (jours)						Modules		Débits caractéristiques en $l/s.km^2$ (jours)					
km^2	DCmax	DC 36	DC 91	DC 182	DC 274	DCétiage	m^3/s	$l/s.km^2$	DCmax	DC 36	DC 91	DC 182	DC 274	DCétiage
1. ORBE - Les Granges (1.1.1912-31.12.1966)														
299	46.7 *3.82	25.4 *2.08	14.3 *1.17	8.18 *0.67	5.62 *0.46	3.66 *3.00	12.2	40.8	156	85	48	27.4	18.8	12.2
2. AREUSE - Champ du Moulin (1.1.1923-31.12.1966)														
373	54.7 *4.45	28.3 *2.30	14.9 *1.21	7.59 *0.62	3.70 *0.30	1.93 *0.16	12.3	33.0	147	76	39.9	21.9	9.9	5.2
3. SIHL - Zürich (1.1.1919-31.12.1936)														
336	53 *3.96	30 *2.24	17 *1.27	8.6 *0.64	4.6 *0.34	2.2 *0.16	13.4	39.8	158	89	50.6	25.6	13.7	6.5
4. NOZON - Orny (1.10.1923-30.09.1931)														
44.6	2.5 *4.16	1.62 *2.70	0.69 *1.15	0.38 *0.63	0.15 *0.25	0.01 *0.02	0.6	13.5	56	36.2	15.5	8.6	3.3	0.2

Remarque : Les nombres précédés d'un astérisque correspondent au rapport r = DC/Module.

Le Nozon présente un régime particulier, inexplicable par rapport aux autres. L'étiage y est particulièrement bien marqué, et les crues sont étalées pendant le premier mois.

b) *Débits de crues.* — L'observation des crues est perturbée sur l'Orbe et le Nozon pour les raisons déjà citées, à savoir notamment les retenues artificielles pour la première et les pertes souterraines pour le second. En ce qui concerne le bassin du Talent, la période de référence de deux ans est trop courte pour tirer des conclusions statistiques. Ces dernières ne sont du reste acceptées, et encore avec réserve, que par certains auteurs : les crues résultent de multiples facteurs inhérents au bassin versant et aux conditions particulières liées à chacune d'elles, de sorte qu'on les considère actuellement non plus comme un phénomène purement fortuit, mais en rapport avec d'autres manifestations naturelles complexes.

L'étude statistique de Wundt (1953) nous paraît toutefois digne d'intérêt et nous permet de situer de façon relative et en première approximation le régime de crue de nos deux cours d'eau jurassiens. Cet auteur a établi une famille de courbes de probabilité, relatives aux débits de pointe d'un grand nombre de rivières du globe entier. Chacune d'elles représente une fonction analytique de la forme

$$q = aF^n$$

où q = débit spécifique de pointe maximum d'un grand nombre d'années
a = coefficient de proportionnalité
n = exposant négatif
F = superficie de l'impluvium.

L'équation de la courbe de probabilité relative 50 %

$$q = 2050\ F^{-0.286}$$

rend compte le mieux des observations faites sur l'Orbe. Selon elle, le débit maximum de crue serait de 401 $l/s.km^2$, soit 120 $m^3/s.$, alors qu'au cours de la crue la plus importante observée en 55 ans (13 janvier 1955) le débit atteignit aux Granges 140-155 $m^3/s.$ (467 $l/s.km^2$ - 517 $l/s.km^2$). Ainsi l'Orbe, comme l'Areuse (Burger, 1959), autre rivière jurassienne importante, présente un débit de pointe légèrement supérieur à la médiane des maxima relevés sur un grand nombre de cours d'eau par Wundt. Elle se situerait sur une courbe de probabilité voisine de 55 %.

Un calcul identique pour le Nozon, dont le bassin présente des analogies certaines avec celui de l'Orbe, nous montre que le débit maximum à craindre serait d'environ 30 m^3/s. Il est intéressant de relever que les pointes les plus élevées observées entre 1923 et 1931 n'atteignaient, le 26 novembre 1928, que 7,45 $m^3/s.$ à Orny. Elles correspondent à de très importantes crues à l'Orbe (110-120 $m^3/s.$) et on peut considérer ces valeurs comme très proches des maxima absolus observables à Orny. Cet écart considérable (environ 25 m³/s., soit plus de 80 % du maximum théorique) traduit, à notre sens, bien davantage l'importance de la décharge souterraine du bassin du Nozon que l'imperfection de la méthode analytique.

Pendant la courte période d'observation du Talent, le débit maximum mesuré n'atteignit que 3,38 m³/s. (53 l/s.km²) le 6 janvier 1967, mais la pointe eut lieu trois ou quatre jours plus tôt et elle n'était vraisemblablement pas exceptionnelle.

Citons encore les travaux de P. Regamey (1943) concernant les débits maximum des ruisseaux d'Essert et des Combes qui drainent de petits impluvium du versant oriental de la plaine de l'Orbe. Cet auteur a calculé des débits maximum théoriques compris entre 294 et 177 l/s.km² pour ces deux ruisseaux.

c) *Débits d'étiage.* — Alors que le Nozon est parfois sec à Orny pendant les mois d'été (33 jours consécutifs en juillet-août 1928 et 48 jours du 8 septembre au 26 octobre 1929), le débit minimum de l'Orbe, observé de 1912 à 1966, fut de 1,70 m³/s. le 10 septembre 1966. Ce débit d'étiage relativement soutenu (environ 1,1 % du débit maximum de pointe et 14,3 % du débit annuel moyen) est dû en bonne partie aux bassins de retenue artificiels.

Le débit du Talent, le plus faible, observé à Chavornay, est 0,049 m³/s. (cf. tableau No 17, 19 août 1947).

D. CONCLUSIONS ET ÉTABLISSEMENT D'UN BILAN PROVISOIRE POUR L'ENSEMBLE DES BASSINS PARTIELS LIMITROPHES DE LA PLAINE DE L'ORBE

Le tableau No 17 résume l'ensemble de nos connaissances actuelles concernant les caractéristiques hydrologiques et météorologiques, ainsi que les principaux paramètres lithologiques et morphométriques des trois bassins de l'Orbe, du Nozon et du Talent. Il représente donc la synthèse des chapitres précédents appliqués aux bassins dont on peut estimer la décharge. Son intérêt réside dans les éléments du bilan qu'il présente.

On sait, en effet, que pour un grand nombre d'années, l'expression générale du bilan est simple : le déficit d'écoulement D d'un bassin est égal à la différence entre le module pluviométrique P et l'évapotranspiration E selon la relation :

$$D = P - E$$

Nous avons mesuré D moyen pour chaque bassin. Pour vérifier l'ordre de grandeur ainsi obtenu, il nous restait à calculer la valeur de l'évapotranspiration et à la soustraire de la lame d'eau précitée. La différence devait correspondre à D mesuré. L'étude théorique des pertes par évaporation est possible dans nos bassins en appliquant la formule proposée par Turc (1954). Cette relation permet, en effet, de déterminer une valeur approchée de la quantité E d'eau éliminée par évaporation physique et biologique, en fonction seulement de la pluviosité P et de la température T moyenne de chaque bassin :

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

E et P sont exprimés en mm. de hauteur de lame d'eau
$L = 300 + 25\,T + 0.05\,T^3$
T = température moyenne du bassin en ° C.

Tous les paramètres dont nous avons besoin ont déjà été étudiés et sont reportés au tableau No 17, de même que les valeurs de E calculé.

Seul le bassin du Nozon présente une différence notable entre déficit d'écoulement et évapotranspiration (pour le bassin du Talent, l'écart est du même ordre de grandeur que la précision du débit annuel moyen). Toutefois, si la valeur du débit annuel moyen, obtenue à Orny, est remplacée par la décharge réelle du bassin, telle que nous l'avons estimée (cf. p. 60), les paramètres de l'équation du bilan deviennent cohérents et cette dernière est satisfaite.

Nous achevons donc cette étude sommaire du régime des cours d'eau avec la conviction que les débits moyens jaugés à Orbe (même si la restitution de l'eau est différée dans le temps) et ceux obtenus à Chavornay représentent pratiquement la décharge totale moyenne des bassins. Le Nozon, de son côté, n'évacue que la moitié de la décharge de son impluvium, plus du tiers s'écoulant hors du bassin par des voies souterraines.

Cette étude serait incomplète sans une estimation au moins grossière de l'ordre de grandeur des apports latéraux annuels moyens dans la plaine de l'Orbe. A la suite des considérations exposées aux chapitres précédents, seule une extrapolation sommaire des caractéristiques du bassin du Talent (que l'on peut considérer comme type des bassins molassiques de notre région), accompagnée de l'étude théorique des éléments du bilan permet d'y parvenir. Le tableau No 18 résume les résultats que nous avons obtenus.

Les coefficients de ruissellement (rapport du module d'écoulement au module pluviométrique) sont toujours inférieurs à la valeur deux tiers généralement admise, sauf pour les bassins de l'Orbe à Orbe

Tableau No 17. — CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DES BASSINS DE L'ORBE, DU NOZON ET DU TALENT

	BASSIN DE L'ORBE	BASSIN DU NOZON	BASSIN DU TALENT
Exutoire	Orbe - Les Granges	Orny	Chavornay, Moulin
Coordonnées (altitude)	531.11/175.05 (439)	530.50/169.18 (459)	534.15/171.67 (449)
Superficie (km^2)	299.26	44.62	63.78
Coefficient de drainage	-	1.51	0.62
Altitude moyenne (m)	1004	966	689
Altitude médiane (m)	1135	1019	663
Ordre du bassin	6	3	4
Macroperméabilité (%)	89	97	-
Microperméabilité (%)	8	3	100
Imperméabilité (%)	3	-	-
Période de référence hydrologique	1.10.1936-30-09.1966 (30 ans)	1.10.1923-30.09.1931 (8 ans)	1.10.1965-30.09.1967 (2 ans)
Dérivations artificielles moyennes	-	1/3	-
	< 2 % Q étiage	mod.ann.moy. jaugé à Orny	
Décharge souterraine naturelle moyenne	-	9/10	-
Débit annuel moyen (m^3/s)	11.87	0.61 (1.37)	1.06
Débit spécifique moyen (l/s.km^2)	39.6	13.6 (29.7)	16.6
Module d'écoulement annuel moyen (cm. lame d'eau)	125	43 (93)	52
Module pluviométrique annuel moyen (cm. lame d'eau)	166	137	111
Température moyenne $^{\circ}$C	5.3	6.0	8.1
Déficit d'écoulement annuel moyen (cm. lame d'eau)	41	94 (44)	59
Evapotranspiration calculée selon Turc (cm)	42.6	43.5	48.2

Remarque : Les résultats entre parenthèses correspondent aux valeurs calculées, compte tenu de la décharge souterraine du bassin du Nozon et de ses dérivations artificielles.

et du Nozon à Orny. Cette observation semble corroborer les théories récentes des circulations karstiques qui admettent que les pertes par évaporation sont plus faibles dans les bassins karstiques que dans les autres. Il serait donc intéressant de pouvoir vérifier, par des mesures précises et comparatives, cette différence sensible des coefficients de ruissellement dans nos différents bassins.

Il nous semble utile d'insister sur la valeur relative et surtout non définitive des chiffres cités. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer les débits calculés par la méthode du bilan pour l'ensemble du bassin total d'une part, et la somme de ceux des bassins partiels. L'écart est de 1,6 m^3/s., soit un excès de 10,5 % de la décharge théorique du bassin à Yverdon. Il conviendrait d'ajouter encore à ce chiffre la quantité d'eau souterraine qui sort du bassin pour se déverser dans le lac de Neuchâtel près d'Yverdon et éventuellement celle qui traverse le Mormont pour alimenter l'aquifère d'Eclépens. Il est actuellement impossible de la chiffrer et nous l'avons négligée en première approximation.

L'importance de cette différence des débits à l'exutoire provient, à notre avis, de l'évaluation par défaut de l'évapotranspiration dans les régions basses du bassin, en particulier dans la plaine de l'Orbe et dans les bassins latéraux, et des incertitudes liées aux limites des bassins karstiques. Seules des études ultérieures, utilisant des moyens d'investigation appropriés, permettront de corriger les valeurs du tableau No 18.

Tableau No 18. — ESTIMATION DES APPORTS LATÉRAUX DANS LA PLAINE DE L'ORBE ET DU BILAN À YVERDON

Superficie (km^2)	Température moyenne °C	Précipitations moyennes (cm)	Evapotranspiration (cm)	Module d'écoulement équivalent (cm)	Débit spécifique l/s.km^2	Décharge moyenne (m^3/s)
			1. MUJON à Mathod			
15.0	8.6	107	49	58	18.4	0.28
			2. BEY-MUJON à Yverdon			
46.9	8.6	115	52	63	20.0	0.94
			3. BRINAZ à Yverdon			
14.2	8.8	113	50	63	20.0	0.28
			4. BURON au Bas des Monts			
34.1	8.4	101	48	53	16.9	0.58
			5. TALENT au Moulin de Chavornay			
63.8	8.1	109	48	61	19.4	1.13
			6. BASSINS LATERAUX EST			
26.9	9.0	95	49	56	17.8	0.48
			7. BASSINS LATERAUX OUEST			
26.9	9.0	94	49	55	17.5	0.47
			8. PLAINE DE L'ORBE			
35.4	9.0	91	51	40	12.6	0.45
			9. ORBE A ORBE			
299.1	5.3	166	42.6	125	39.6	11.9
			10. NOZON à Orny			
44.6	6.0	137	43.5	93	29.7	0.5
			11. BASSIN TOTAL à Yverdon			
591.9	7.6	128	47	81	25.7	15.2
591.9*	-	-	-	90*	28.4*	16.8*

Remarques : 1) Les valeurs données pour le bassin du Talent sont calculées pour un grand nombre d'années.
2) Les chiffres suivis d'un astérisque correspondent à la somme des valeurs propres à chaque bassin versant partiel se déversant à Yverdon.

TROISIÈME PARTIE

HYDROLOGIE SOUTERRAINE

Introduction

Le bassin versant de la plaine de l'Orbe compte quatre types principaux d'aquifères, constitués par les terrains

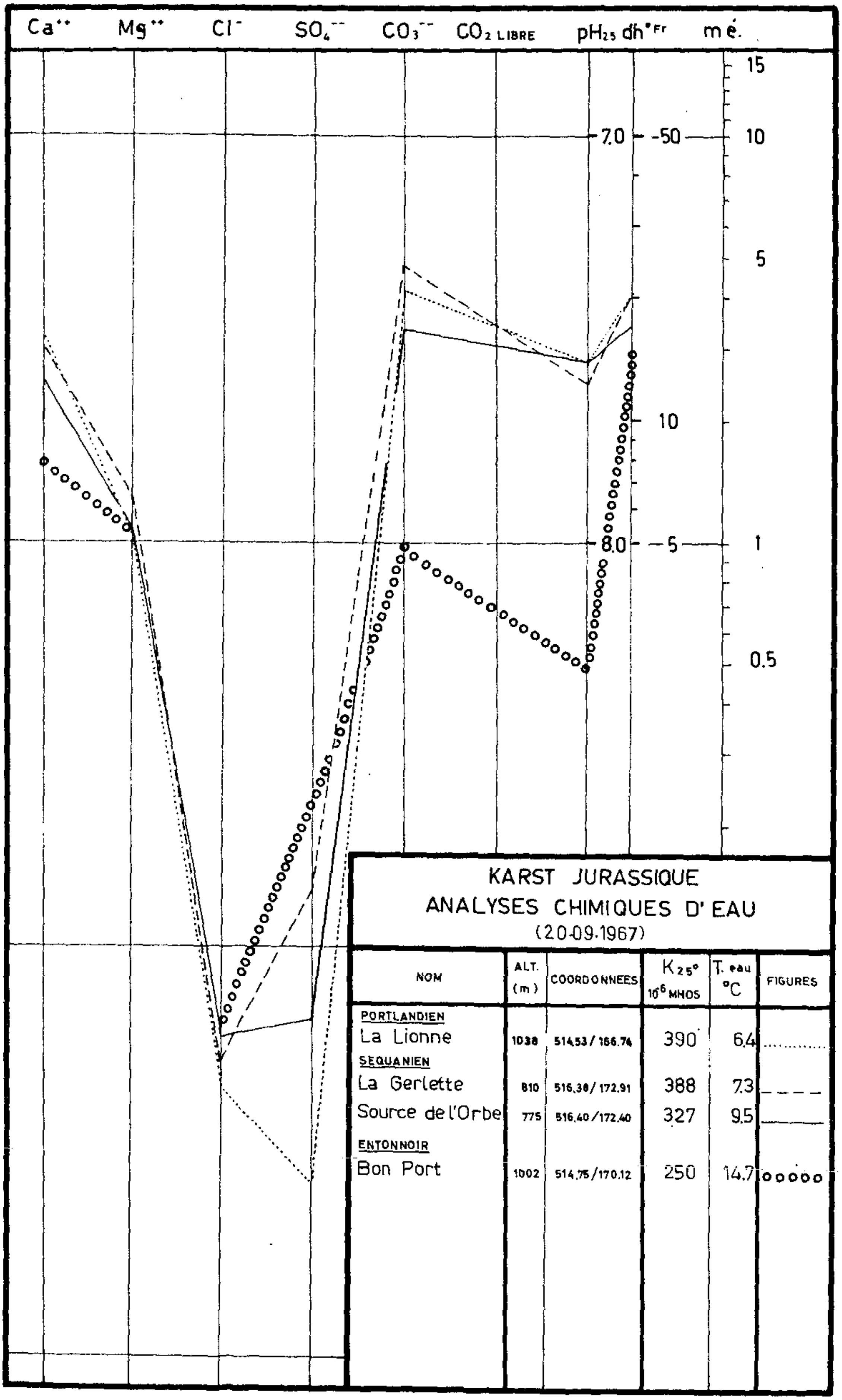
- — karstiques,
- — molassiques,
- — morainiques et fluvioglaciaires,
- — alluviaux.

L'étude hydrologique détaillée de chacun des trois premiers complexes sortait du cadre de ce travail dans la mesure où ils n'avaient pas d'interférence avec le régime des aquifères de la plaine de l'Orbe. Or, à l'exception de celui d'Entreroches dont on connaissait déjà partiellement le mode d'alimentation, on ignorait tout du comportement des autres réservoirs et de leurs relations avec les versants. Parallèlement à l'étude piézométrique des puits et piézomètres utilisables, nous avons donc suivi chaque semaine durant plus d'une année (1965-1966), puis chaque mois (1967) une vingtaine de sources, soit une trentaine de points d'eau au total, pour tenter de définir leur régime et leur comportement physico-chimique. Les critères de sélection qui nous ont guidé dans le choix des quelques sources retenues, parmi les centaines recensées, tiennent compte essentiellement de la nature géologique du bassin d'alimentation et du réservoir et des conditions, rarement favorables, de jaugeage et de prélèvement à des fins d'analyses chimiques. D'autres sources témoins furent jaugées et analysées sporadiquement pendant la même période. Pour élargir les connaissances générales acquises sur l'ensemble du bassin dans les précédents chapitres, nous avons entrepris en 1967 et 1968 une campagne d'analyses physico-chimiques de nombreux points d'eau répartis dans les diverses formations géologiques. Complétées par des mesures de conductivité électrique effectuées par nous-même ou par J. Mautner dans le cadre du Cadastre des sources du canton de Vaud (CSCV), ces données permettent de délimiter de grandes zones hydrochimiques bien caractéristiques.

Dans cette troisième partie, nous avons choisi de présenter les résultats obtenus au cours de l'année hydrologique 1965-1966, précédés de quelques considérations sur les caractéristiques chimiques essentielles observées sur l'ensemble du bassin et les conclusions auxquelles elles nous ont permis d'aboutir. Le choix de cette période de référence nous a été dicté par les conditions particulières dont elle a joui.

A la planche No 12, où sont reportés les modules pluviométriques mensuels de l'année 1965-1966, on observe, pour toutes les stations, que pendant les mois froids, de novembre à février, les précipitations sont fortement excédentaires. Au contraire, dès le mois de mars et à l'exception d'avril, le déficit pluviométrique est bien marqué et se poursuit jusqu'en octobre. Parallèlement l'étude des débits des sources et des niveaux piézométriques nous révèle que les crues du début de l'année sont particulièrement importantes tandis que la période d'étiage atteint son point minimum en octobre 1966 (minimum absolu des années d'observation). La première constatation qui s'impose alors est que les échanges hydriques sont extrêmement rapides entre les bassins versants et la plaine de l'Orbe. Les temps de réponse sont compris entre quelques heures et trois à quatre semaines. La seconde conséquence de ce régime pluviométrique si contrasté est de nous offrir, au cours de la même année hydrologique, des conditions voisines des extrêmes. Le manque de longues séries d'observation des débits et des niveaux piézométriques nous empêche malheureusement de fixer la fréquence d'occurrence de ces crues et étiages. Par analogie avec le régime pluviométrique, on peut inférer cependant qu'elle doit être comprise entre 10 % et 25 % pour les maximums et entre 75 % et 90 % pour les minimums.

Figure No 10



KARST JURASSIQUE
ANALYSES CHIMIQUES D' EAU
(20-09-1967)

NOM	ALT. (m)	COORDONNEES	$K_{25°}$ 10^{6} MHOS	T. eau °C	FIGURES
PORTLANDIEN					
La Lionne	1038	514.53 / 166.74	390	6.4	....
SEQUANIEN					
La Gerlette	810	516.38 / 172.91	388	7.3	– – – –
Source de l'Orbe	775	516.40 / 172.40	327	9.5	————
ENTONNOIR					
Bon Port	1002	514.75 / 170.12	250	14.7	oooooo

Chapitre VII

Les eaux souterraines du bassin versant

A. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Près de 190 analyses chimiques ont été effectuées. Nous y avons titré les ions Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^{-}, SO_4^{--} et HCO_3^{-}. Les trois duretés, le pH et la conductivité électrique rapportée à 25° C et exprimée en mhos · 10^{-6} cm. ont été mesurés. A ces données, il faut ajouter celles recueillies au Laboratoire cantonal qui ne présentent généralement pas les teneurs des cations, mais où se trouvent des renseignements concernant la potabilité et les teneurs en NO_3^{-} et NO_2^{-}.

Les figures Nos 10 à 15 donnent la représentation graphique des eaux des quatre formations géologiques principales de notre bassin. Ces analyses ont été choisies parce qu'elles se rapportent toutes à une période d'étiage (30 août 1967 - 27 septembre 1967), sauf celles des cailloutis fluvio-glaciaires qui ont été effectuées en avril 1967. Nous ne commenterons rapidement que les graphiques des eaux de la molasse et des formations quaternaires qui nous intéressent particulièrement.

1. Les eaux de la molasse

Le chimisme de ces eaux est beaucoup plus lié au faciès de la roche réservoir que dans le cas des circulations karstiques. Dans les formations tertiaires, en effet, l'écoulement est généralement retardé par la dimension réduite des interstices et le temps de contact est relativement grand. La porosité de fissures se rencontre aussi bien dans les horizons marneux et marno-gréseux, où elle est prédominante, que dans les grès grossiers. Ces derniers présentent, en outre, dans les zones d'altération, une porosité d'interstices liée à la dissolution du ciment. D'une manière générale, les eaux des horizons marneux et marno-gréseux seront cependant plus minéralisées que celles des niveaux gréseux à la suite de phénomènes compliqués d'échanges de bases. Un faciès particulier et bien développé dans les versants de la partie aval de la plaine, formé d'une succession de niveaux calcaires crayeux ou dolomitiques intercalés dans des marnes calcaires (les calcaires lacustres du Chattien moyen), est caractérisé par des circulations de type karstique à l'échelle du banc calcaire. Les intercalations marneuses abaissent toutefois notablement la perméabilité de l'ensemble dont les eaux peuvent se minéraliser considérablement. Les figures Nos 12 et 13 mettent en évidence des variations chimiques en fonction du faciès de la roche réservoir.

L'évolution chimique des eaux de formations tertiaires rend compte en partie des variations de composition pétrographique des sédiments molassiques. En s'élevant dans la série tertiaire, on assiste en effet à une diminution des carbonates, compensée par une augmentation des silicates peu solubles et parallèlement les eaux deviennent plus douces et moins riches en Ca^{++} et HCO_3^{-}.

2. Les eaux des formations morainiques

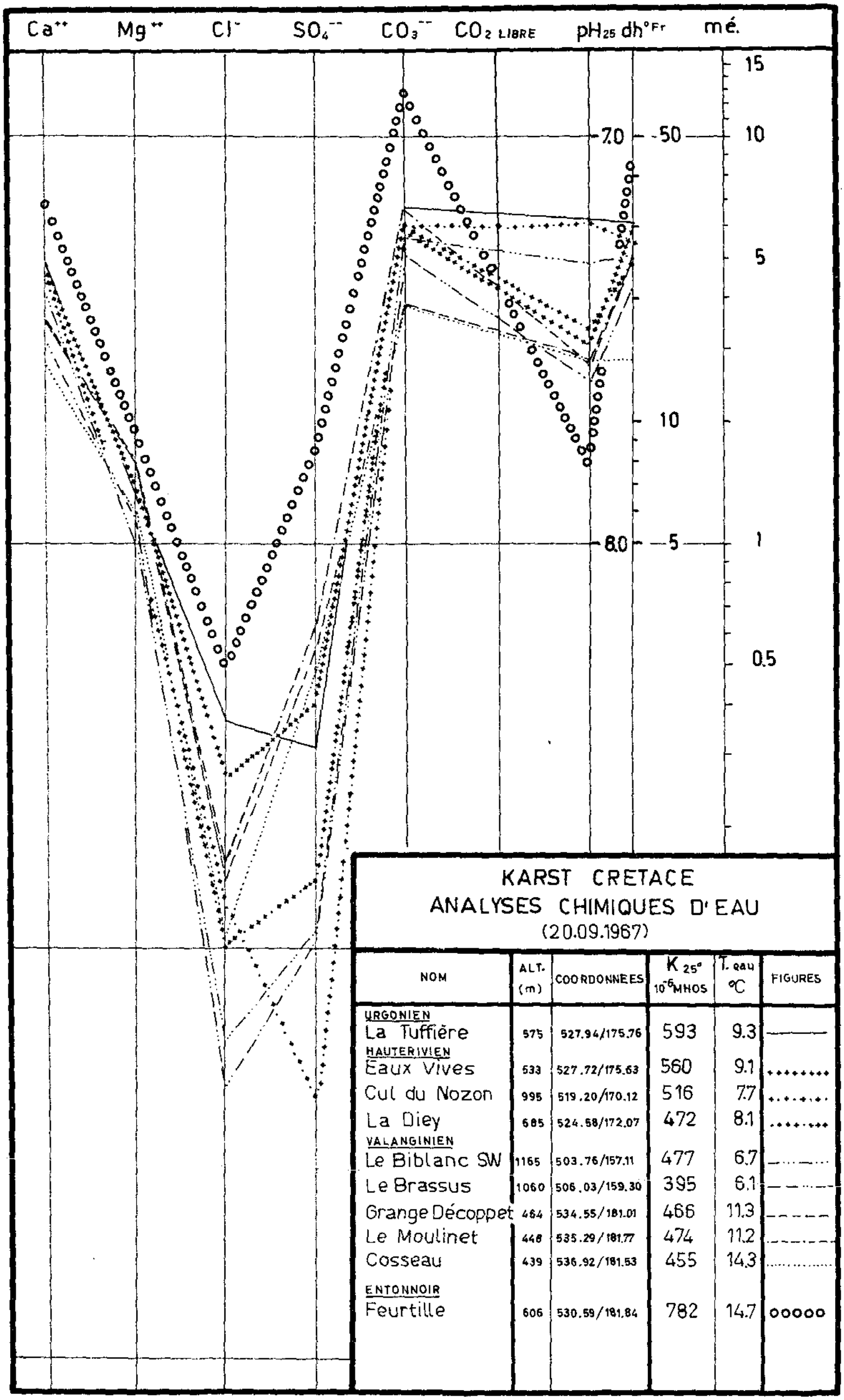
Dans notre bassin, elles présentent des caractéristiques souvent mixtes du fait des infiltrations d'origine karstique d'une part, et des circulations au contact du substratum molassique, d'autre part (cf. figure No 14). Elles sont plus chargées que les eaux du karst, mais d'une composition assez voisine et nettement moins dure que celles du Chattien dont les rapports r Ca / r Mg sont beaucoup plus petits.

3. Les eaux des alluvions de la plaine de l'Orbe

Alors que dans les dépôts morainiques non influencés par des apports extérieurs les teneurs en Cl^{-} sont sensiblement égales à celles en SO_4^{--}, dans les alluvions de la plaine, au contraire, elles sont généralement nettement plus faibles (cf. figure No 15). D'autre part, la concentration en Mg^{++} est plus élevée dans les alluvions et notamment dans l'aquifère d'Entreroches. Nous aurons l'occasion de revenir à ces analyses dans la suite, lorsque nous étudierons le régime des eaux souterraines de la plaine de l'Orbe.

Remarquons cependant que, dans la nappe d'Entreroches, les graphiques des eaux de la Bernoise et du drain I du canal d'Entreroches, décharge artificielle de la partie supérieure de cette nappe, sont parallèles et très proches l'un de l'autre. Il en est de même pour celui du puits des Planches-de-l'Ile, mais la concentration est nettement plus élevée. On observe normalement une augmentation des teneurs en Ca^{++}, SO_4^{--} et HCO_3^{-} d'Entreroches à la Bernoise et une diminution des concentrations en Mg^{++} et Cl^{-}, les

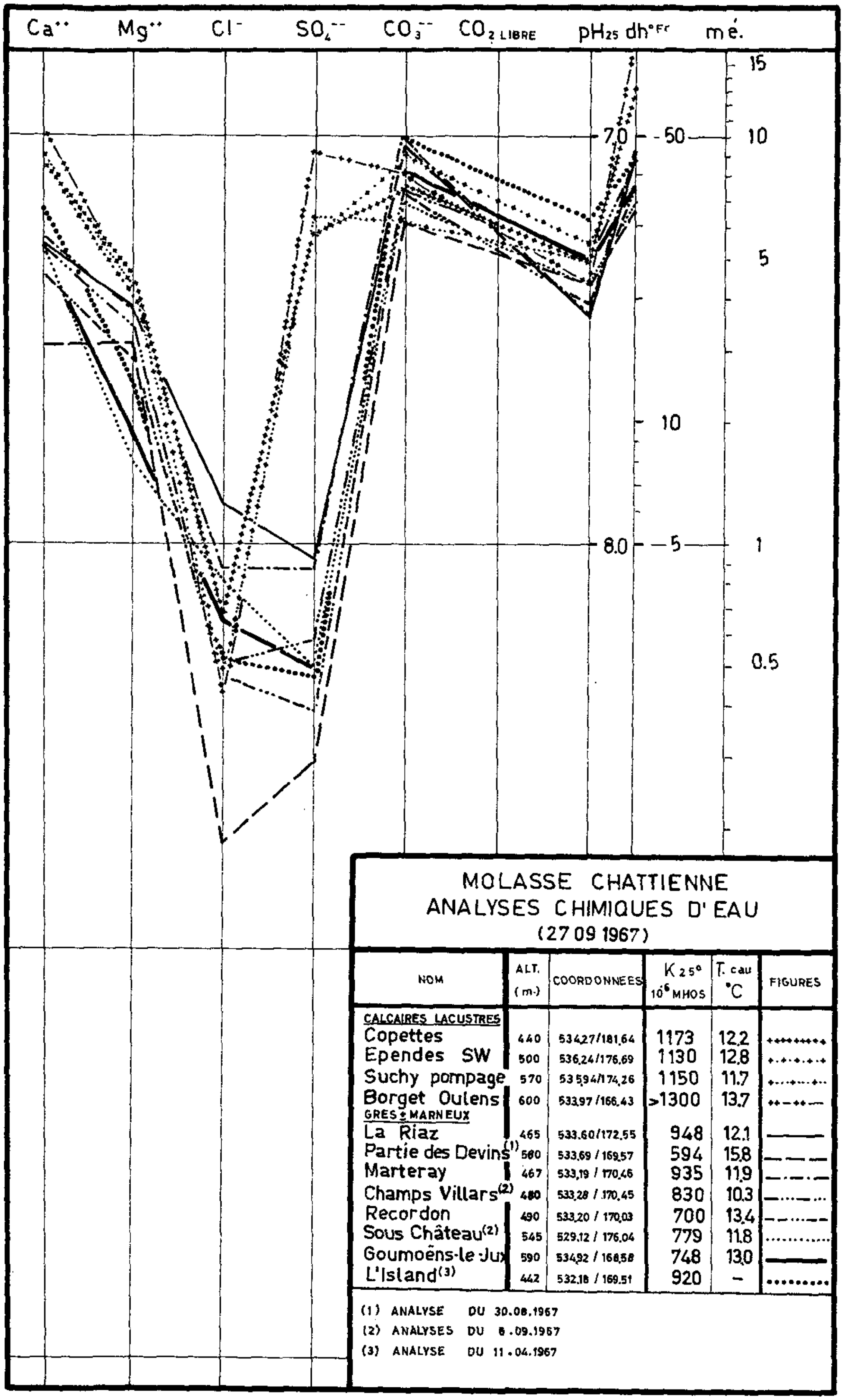
Figure No 11



KARST CRETACE
ANALYSES CHIMIQUES D'EAU
(20.09.1967)

NOM	ALT. (m)	COORDONNEES	K 25° 10⁻⁶ MHOS	T. eau °C	FIGURES
URGONIEN					
La Tuffière	575	527.94/175.76	593	9.3	———
HAUTERIVIEN					
Eaux Vives	533	527.72/175.63	560	9.1	++++++++
Cul du Nozon	995	519.20/170.12	516	7.7	+·+·+·+·
La Diey	685	524.58/172.07	472	8.1	·++·+++
VALANGINIEN					
Le Biblanc SW	1165	503.76/157.11	477	6.7	—·—·—
Le Brassus	1060	506.03/159.30	395	6.1	— — —·—
Grange Décoppet	464	534.55/181.01	466	11.3	— — — —
Le Moulinet	448	535.29/181.77	474	11.2	—·—·—·—
Cosseau	439	536.92/181.53	455	14.3	··········
ENTONNOIR					
Feurtille	606	530.59/181.84	782	14.7	ooooo

Figure No 12

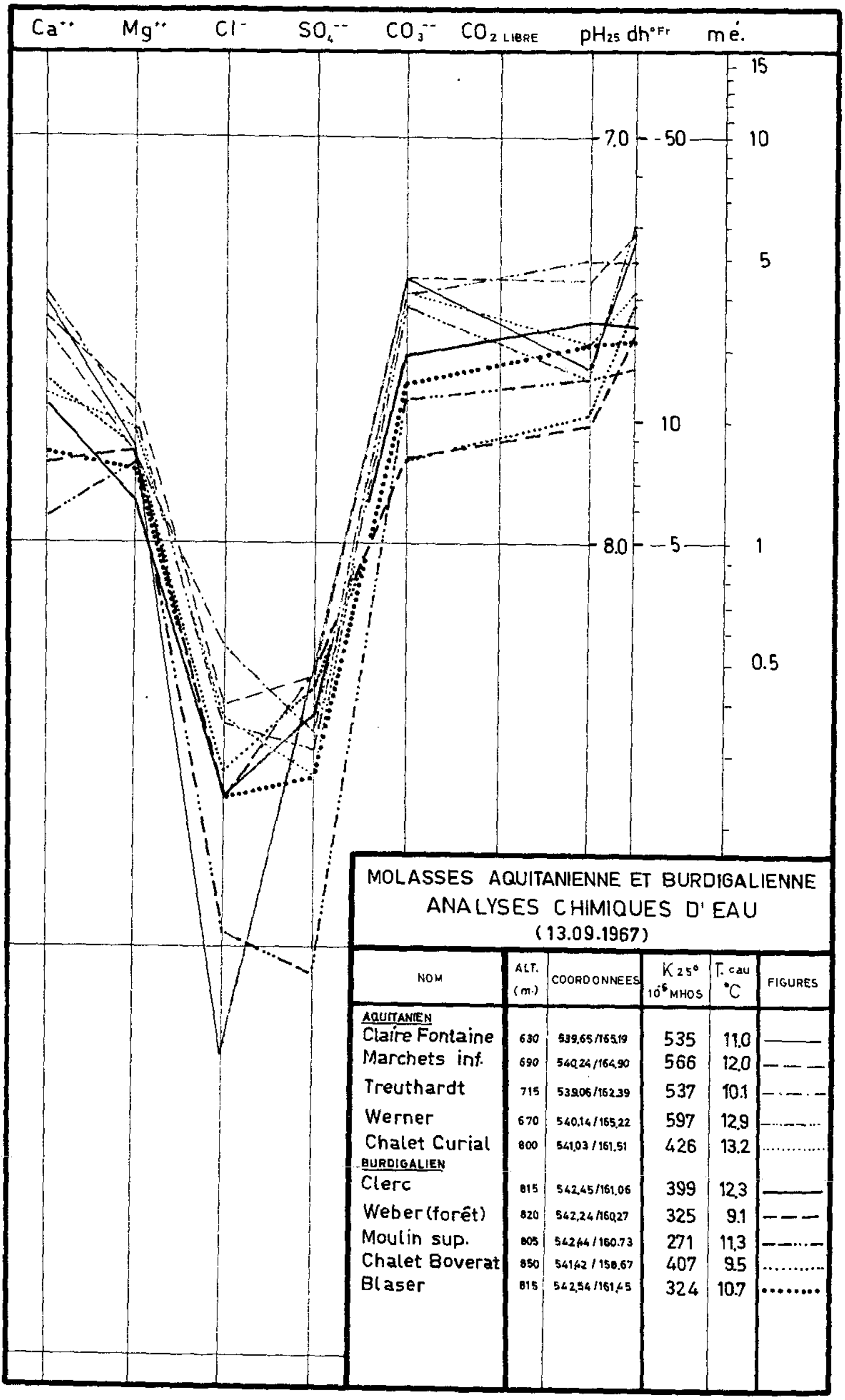


MOLASSE CHATTIENNE
ANALYSES CHIMIQUES D' EAU
(27 09 1967)

NOM	ALT. (m)	COORDONNEES	K 25° 10^6 MHOS	T. eau °C	FIGURES
CALCAIRES LACUSTRES					
Copettes	440	534,27/181,64	1173	12,2	+++++++++
Ependes SW	500	536,24/176,69	1130	12,8	+·+·+·+·+
Suchy pompage	570	535,94/174,26	1150	11,7	+···+···+··
Borget Oulens	600	533,97/166,43	>1300	13,7	++—++—
GRES + MARNEUX					
La Riaz	465	533,60/172,55	948	12,1	———
Partie des Devins[1]	560	533,69 / 169,57	594	15,8	— — —
Marteray	467	533,19 / 170,46	935	11,9	—·—·—
Champs Villars[2]	480	533,28 / 170,45	830	10,3	—···—···
Recordon	490	533,20 / 170,03	700	13,4	——··——
Sous Château[2]	545	529,12 / 176,04	779	11,8	··········
Goumoëns-le-Jux	590	534,92 / 168,58	748	13,0	━━━
L'Island[3]	442	532,18 / 169,51	920	–	••••••••

(1) ANALYSE DU 30.08.1967
(2) ANALYSES DU 6.09.1967
(3) ANALYSE DU 11.04.1967

Figure No 13



MOLASSES AQUITANIENNE ET BURDIGALIENNE
ANALYSES CHIMIQUES D' EAU
(13.09.1967)

NOM	ALT. (m.)	COORDONNEES	K 25° 10^{-6} MHOS	T. eau °C	FIGURES
AQUITANIEN					
Claire Fontaine	630	539,65/165,19	535	11,0	————
Marchets inf.	690	540,24/164,90	566	12,0	— — —
Treuthardt	715	539,06/162,39	537	10.1	— · — · —
Werner	670	540,14/165,22	597	12,9	···—···—
Chalet Curial	800	541,03/161,51	426	13.2	············
BURDIGALIEN					
Clerc	815	542,45/161,06	399	12,3	━━━━
Weber (forêt)	820	542,24/160,27	325	9.1	— — —
Moulin sup.	805	542,44/160.73	271	11,3	—— ··· —
Chalet Boverat	850	541,42/158,67	407	9.5	··········
Blaser	815	542,54/161,45	324	10.7	●●●●●●●●

duretés augmentant légèrement. Au contraire, l'analyse de l'eau du « puits » du même canal d'Entreroches fournit un graphique bien différent, probablement à cause de l'influence de l'eau des tourbes qui y est mélangée. L'analogie de ce graphique avec celui du puits Probst dans le cône de l'Orbe doit être signalée ici ; elle confirmera notre conception concernant l'alimentation de la nappe de ce cône.

Dans la nappe du cône de l'Orbe, le graphique représentatif de la composition chimique des eaux du Moulin Rod est parallèle à celui du puits d'Entreroches, mais dénote une concentration généralement plus faible. Nous en concluons à une alimentation karstique au moins partielle de cet aquifère. Les eaux du puits des EPO et celles du « puits » du canal Occidental, qui représente l'une des décharges de la nappe à l'aval de Bochuz, sans contact avec les tourbes sus-jacentes, sont identiques entre elles. Légèrement plus minéralisées au « puits », ce qui est normal, elles sont sensiblement parallèles à celles de la Bernoise et du drain I. Par contre, le puits Nestlé montre une courbe intermédiaire entre celles des Moulins Rod et du puits Probst. Nous verrons que ces observations corroborent les conclusions auxquelles nous conduira l'étude des surfaces piézométriques de la nappe concernant les axes de drainage et d'alimentation souterraine.

4. *Corrélation entre la dureté totale et la conductivité électrique*

L'un des objectifs de cette étude était de définir un paramètre chimique global pouvant caractériser les eaux des diverses formations et de déterminer sa distribution au moyen d'une méthode simple et rapide. Le paramètre choisi a été la dureté totale. Il nous a paru être le plus représentatif et le plus facilement utilisable à des fins pratiques. Or, si elle n'est pas difficile à titrer, la dureté peut être évaluée avec une précision bien suffisante et de façon très rapide en utilisant des abaques convenables à partir de la conductivité électrique de l'eau, dont la mesure a été généralisée dans le cadre de l'établissement du Cadastre des sources du canton de Vaud. Ce sont ces abaques que nous avons calculés. Dans une seconde phase, nous pouvions espérer lever certaines indéterminations concernant le gisement de telle ou telle eau.

A la figure No 16, nous avons reporté l'intervalle de variation des conductivités électriques en mhos $\cdot 10^{-6}$ cm. à 25° C et celui des duretés totales en degrés français mesurés dans notre bassin et dans ses environs immédiats, pour les différentes formations géologiques à l'exception du Quaternaire. L'épaisseur du trait donne une idée de la fréquence relative des valeurs observées. On remarque la croissance lente de la conductivité lorsque l'on s'élève dans la série, du Séquanien à l'Urgonien, puis cette augmentation s'accentue dès que l'on considère le Chattien jusqu'aux calcaires lacustres qui précèdent le faciès saumâtre du sommet de l'étage. La décroissance est ensuite très rapide jusqu'au sommet des marnes à gypse et un saut brusque s'opère au passage du Chattien à l'Aquitanien plus gréseux. Le Burdigalien gréseux présente des valeurs légèrement plus faibles encore. La dureté totale suit en gros un schéma parallèle, avec toutefois quelques petites irrégularités, en particulier dans les faciès des marnes à gypses du Chattien supérieur.

De manière à pouvoir déterminer, à partir des conductivités électriques, la dureté totale des eaux des différentes formations de la série stratigraphique complète, susceptibles de constituer des aquifères, nous avons établi une série de modèles linéaires en fonction des valeurs de la conductivité. Ils sont représentés aux figures Nos 17 à 19. Leurs équations sont données au tableau No 18, ainsi que les coefficients de corrélation et de dispersion.

Dans le tableau No 18, nous avons en outre donné les équations des modèles calculés pour l'ensemble du karst jurassique et crétacé, pour les formations molassiques et pour celles du Quaternaire, enfin le modèle global qui prend en considération toutes les données.

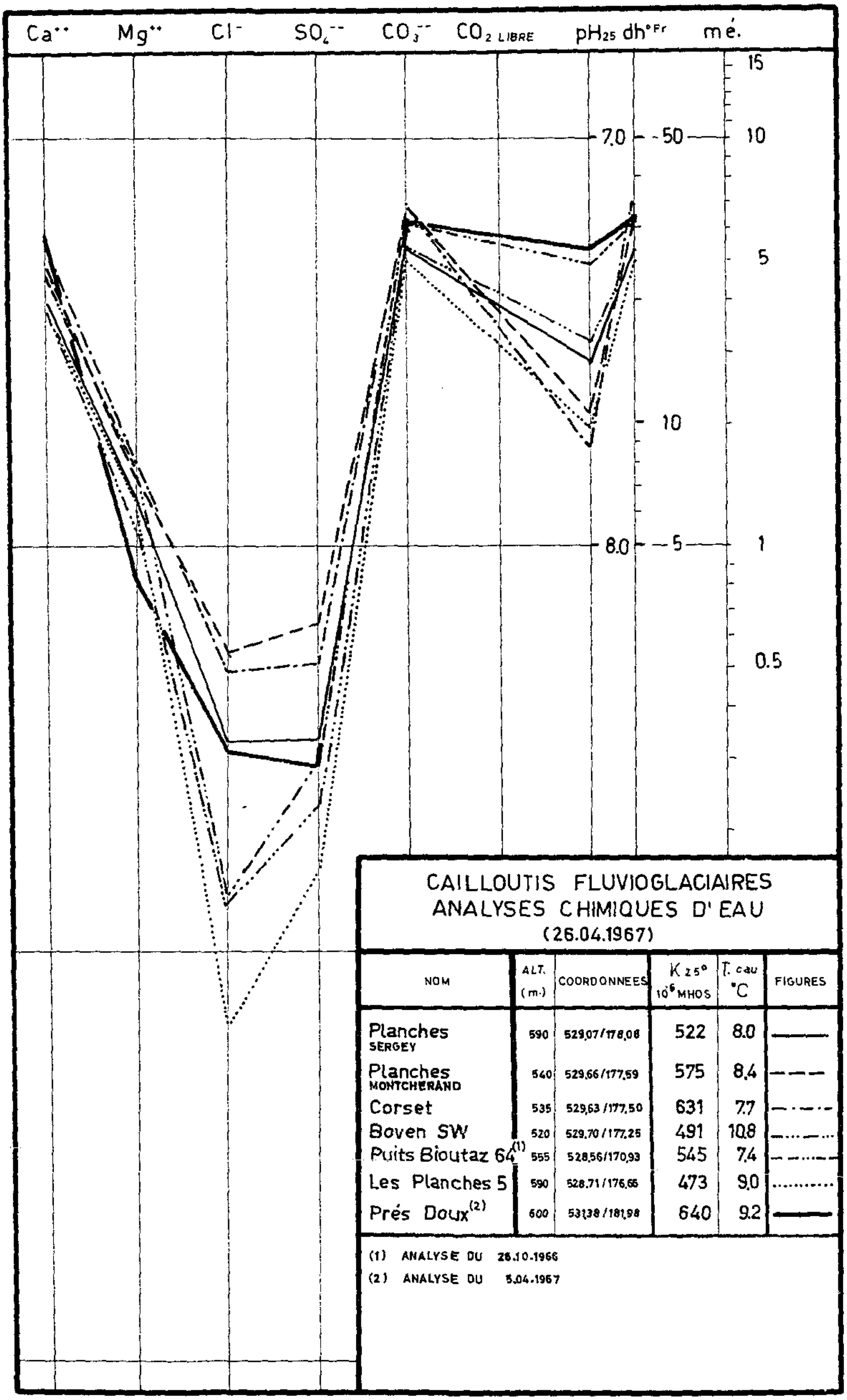
Les données de référence ont été choisies pour des points d'eau dont l'aquifère est connu. Lorsque c'était possible, nous avons pris plusieurs valeurs de la même eau à des époques différentes. Il est bien entendu, enfin, que chaque point représentatif des modèles est caractéristique de la dureté et de la conductivité d'une même eau.

5. *Transport des carbonates*

Le volume de calcaire soustrait chaque année à un bassin peut se calculer si l'on connaît le débit annuel moyen des eaux superficielles à son exutoire et leur teneur en carbonates (exprimées en mg/l. par l'alcalinité).

Des 28 analyses mensuelles, effectuées par le Laboratoire cantonal de 1961 à 1963 en chacun des onze points de contrôle du cours de l'Orbe, nous extrayons les valeurs moyennes de l'alcalinité au lac Brenet (515.26/170.17 - alt. 1002 m.), à la source de l'Orbe (516.40/172.44 - alt. 775 m.), et au Chalet-près-d'Orbe (529.96/175.60 - alt. 450 m.), soit respectivement 132 mg/l., 147 mg/l. et 158 mg/l. Les débits moyens (cf. chapitre VI) sont estimés à la source de l'Orbe à 4 m^3/s. et à Orbe à 11,9 m^3/s. Le calcul montre alors que les transports annuels s'élèvent pour le bassin de l'Orbe supérieure à 18 500 t. ou 6850 m^3 de calcaire, soit une lame de 0,038 mm/an (superficie 181 km^2) et pour le bassin de l'Orbe à Orbe à 59 700 t. ou 22 100 m^3 de calcaire, soit une lame de 0,074 mm/an (superfice 299 km^2).

Figure No 14



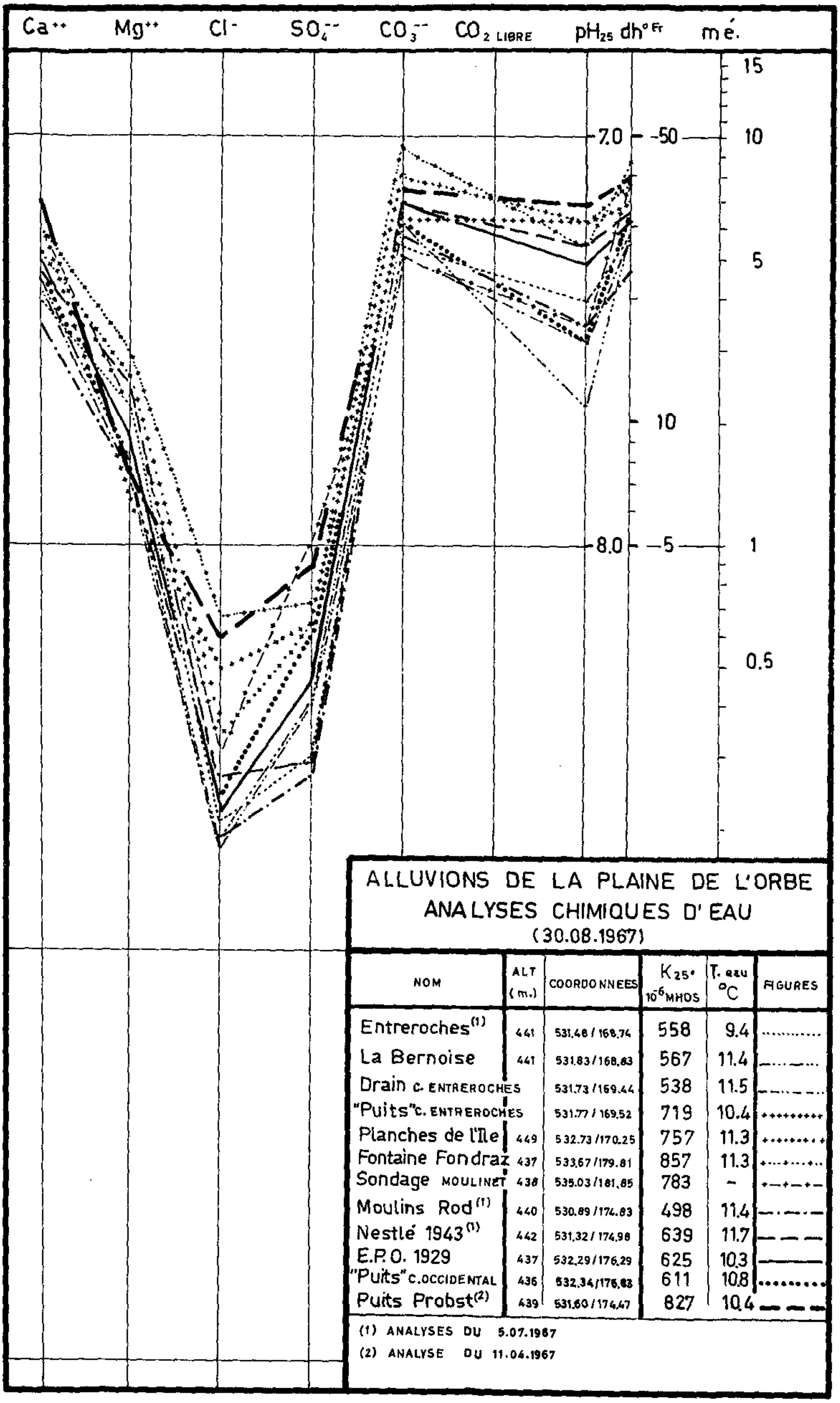
CAILLOUTIS FLUVIOGLACIAIRES
ANALYSES CHIMIQUES D' EAU
(26.04.1967)

NOM	ALT. (m.)	COORDONNEES	$K_{25°}$ 10^6 MHOS	T. eau °C	FIGURES
Planches SERGEY	590	529,07/178,08	522	8.0	———
Planches MONTCHERAND	540	529,66/177,59	575	8,4	– – –
Corset	535	529,63/177,50	631	7.7	—·—·
Boven SW	520	529,70/177,25	491	10.8	—···—···
Puits Bioutaz 64(1)	555	528,56/170,93	545	7,4	– –···–
Les Planches 5	590	528.71/176,66	473	9.0	··········
Prés Doux(2)	600	531,38/181,98	640	9.2	▬▬▬

(1) ANALYSE DU 26.10-1966

(2) ANALYSE DU 5.04.1967

Figure No 15



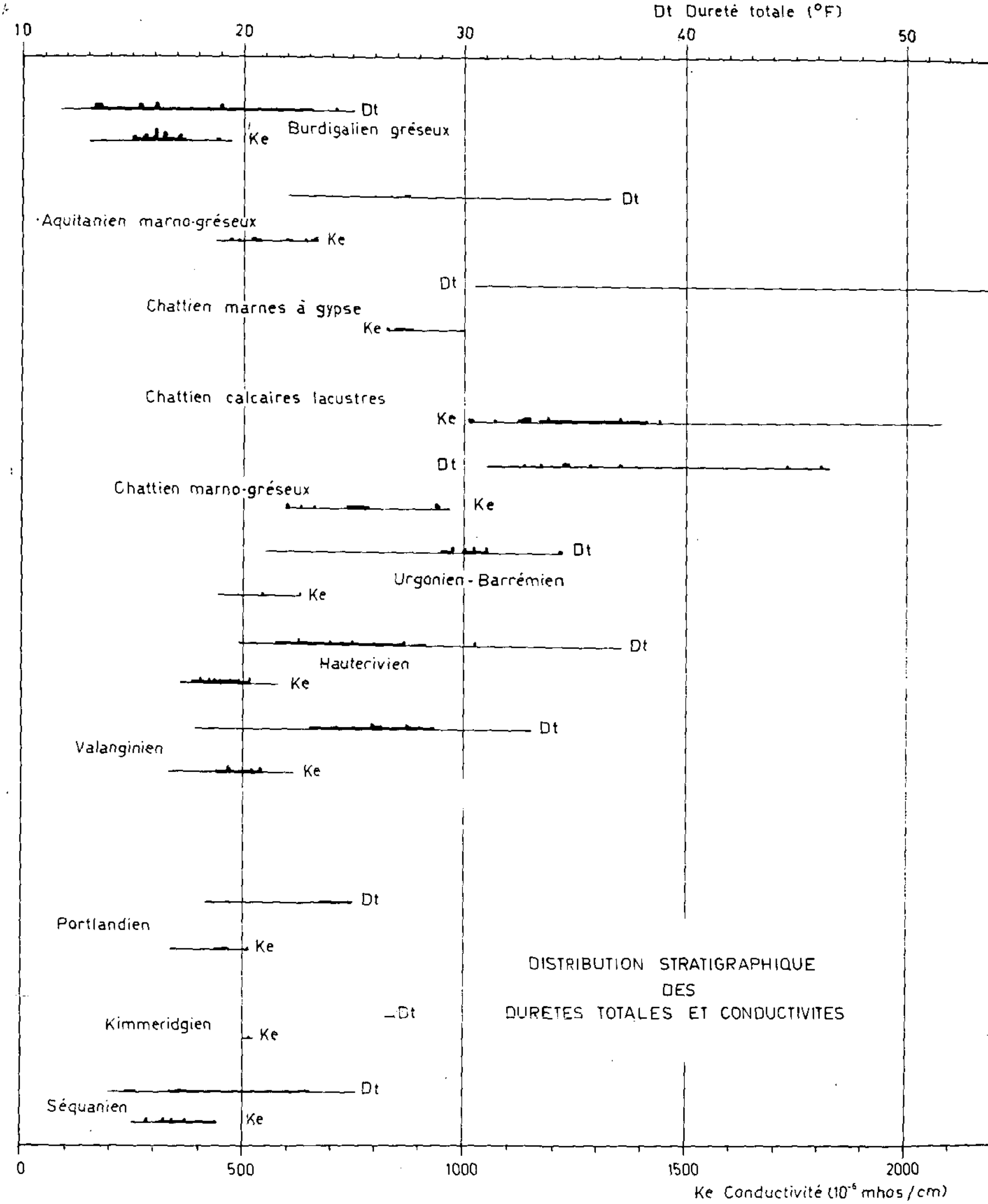
ALLUVIONS DE LA PLAINE DE L'ORBE
ANALYSES CHIMIQUES D'EAU
(30.08.1967)

NOM	ALT (m.)	COORDONNEES	$K_{25°}$ 10^{-6} MHOS	T. eau °C	FIGURES
Entreroches[(1)]	441	531.46 / 168.74	558	9.4	············
La Bernoise	441	531.83 / 168.83	567	11.4	—·—·—
Drain c. ENTREROCHES		531.73 / 169.44	538	11.5	—·—·—··
"Puits" c. ENTREROCHES		531.77 / 169.52	719	10.4	+++++++++
Planches de l'Ile	449	532.73 / 170.25	757	11.3	+·+·+·+·+
Fontaine Fondraz	437	533.67 / 179.81	857	11.3	+···+···+··
Sondage MOULINET	438	535.03 / 181.85	783	–	+—+—+—
Moulins Rod[(1)]	440	530.89 / 174.83	498	11.4	—·—·—
Nestlé 1943[(1)]	442	531.32 / 174.98	639	11.7	— — —
E.P.O. 1929	437	532.29 / 176.29	625	10.3	———
"Puits" c. OCCIDENTAL	436	532.34 / 176.83	611	10.8	●●●●●●●●●
Puits Probst[(2)]	439	531.60 / 174.47	827	10.4	▬ ▬ ▬

(1) ANALYSES DU 5.07.1967

(2) ANALYSE DU 11.04.1967

Figure No 16



Dt Dureté totale (°F)
10
20
30
40
50
Dt
Ke
Burdigalien gréseux
Dt
Aquitanien marno-gréseux
Ke
Dt
Chattien marnes à gypse
Ke
Chattien calcaires lacustres
Ke
Dt
Chattien marno-gréseux
Ke
Dt
Urgonien - Barrémien
Ke
Dt
Hauterivien
Ke
Dt
Valanginien
Ke
Dt
Portlandien
Ke
Kimmeridgien
Dt
Ke
Dt
Séquanien
Ke
DISTRIBUTION STRATIGRAPHIQUE
DES
DURETES TOTALES ET CONDUCTIVITES
0
500
1000
1500
2000
Ke Conductivité (10⁻⁶ mhos/cm)

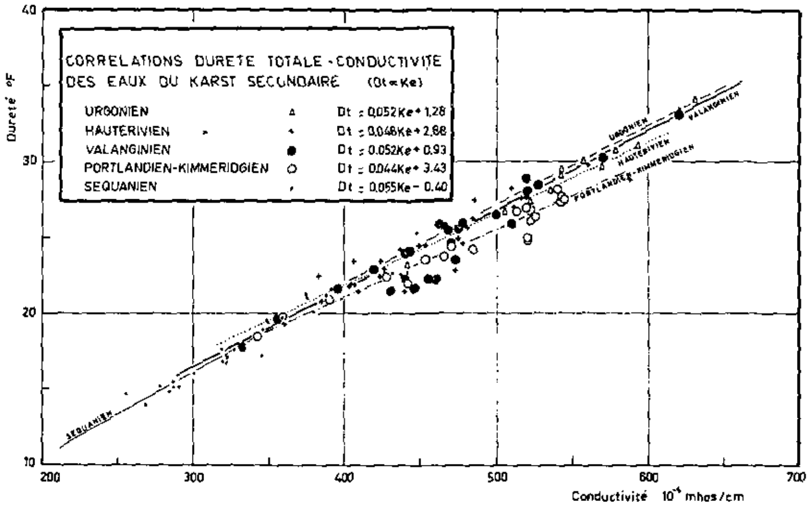


Figure No 17

Ces chiffres présentent un intérêt tout particulier, car ils semblent mettre en évidence un taux de dissolution très faible dans le bassin de l'Orbe. En effet, H. Schardt (1906), puis A. Burger (1959) ont montré que, dans le bassin voisin de l'Areuse, la lame de calcaire éliminée annuellement par les eaux superficielles est de l'ordre de 0,09 mm. Ainsi, pour l'Orbe supérieure, le taux de dissolution calculé n'atteint que le 42 % de celui du bassin de l'Areuse, par contre pour l'Orbe à Orbe il en représente le 82 %. Une partie de ces différences est attribuable à la teneur relativement faible en carbonates des eaux des lacs de Joux et Brenet (132 mg/l., soit le 90 % de la teneur de la source de l'Orbe), qui alimentent partiellement la source de l'Orbe et abaissent ainsi sa salinité. Toutefois, cette alimentation ne saurait rendre compte de l'essentiel de ces écarts. Il faut en rechercher l'origine ailleurs. Il suffirait, par exemple, d'envisager un bassin versant beaucoup plus petit pour l'Orbe supérieure, compris entre 75 et 80 km^2, et réduire la superficie du bassin de l'Orbe à Orbe de 299 km^2 à 245 km^2, pour obtenir des valeurs de dissolution comparables à celles calculées pour le bassin de l'Areuse. Des considérations d'un tout autre ordre nous conduiront également à envisager une réduction importante de la surface de ces bassins.

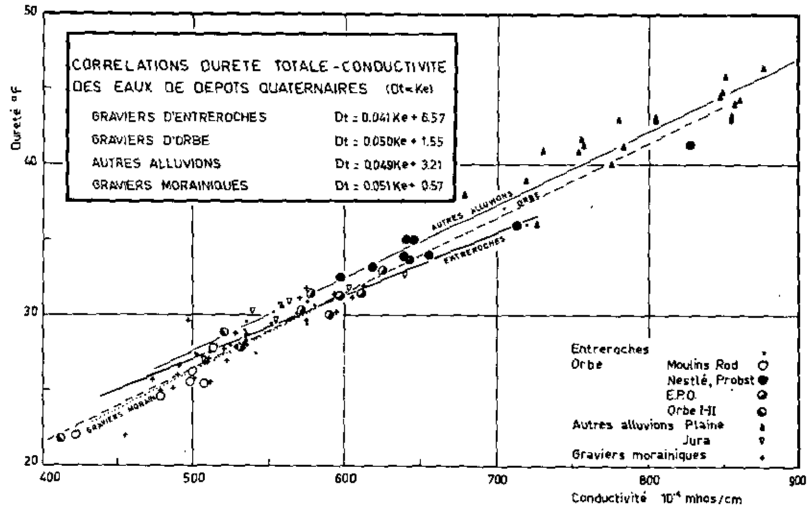


Figure No 18

Figure No 19

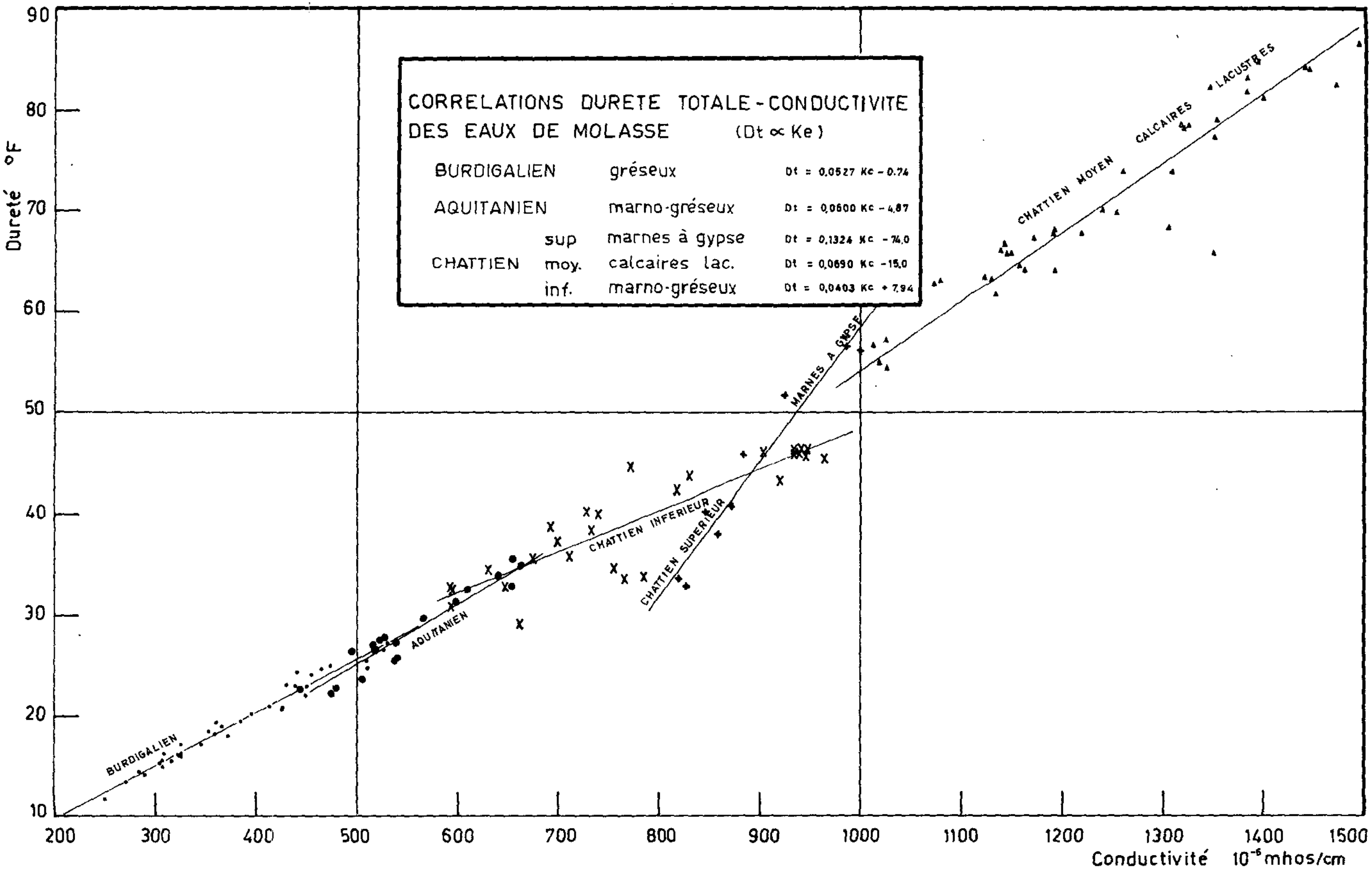

CORRELATIONS DURETE TOTALE - CONDUCTIVITE
DES EAUX DE MOLASSE (Dt ∝ Ke)
BURDIGALIEN gréseux Dt = 0,0527 Kc - 0.74
AQUITANIEN marno-gréseux Dt = 0,0600 Kc - 4,87
CHATTIEN sup marnes à gypse Dt = 0,1324 Kc - 74,0
CHATTIEN moy. calcaires lac. Dt = 0,0690 Kc - 15,0
CHATTIEN inf. marno-gréseux Dt = 0,0403 Kc + 7,94
Dureté °F
90
80
70
60
50
40
30
20
10
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
Conductivité 10⁻⁶ mhos/cm
BURDIGALIEN
AQUITANIEN
CHATTIEN INFERIEUR
CHATTIEN SUPERIEUR
MARNES A GYPSE
CHATTIEN MOYEN
CALCAIRES
LACUSTRES

Tableau No 19. — CORRÉLATIONS Dt α Ke

	Formation géologique	Modèle	Coeff. r	Ecart-type (mg/l)
QUATERNAIRE	Graviers alluviaux d'Entreroches	Dt = 0.041 Ke + 6.57	0.940	0.69
	Graviers alluviaux d'Orbe	Dt = 0.050 Ke + 1.55	0.982	0.86
	Autres alluvions graveleuses	Dt = 0.049 Ke + 3.21	0.978	1.23
	Graviers morainiques	Dt = 0.051 Ke + 0.57	0.933	0.92
TERTIAIRE	Grès burdigaliens	Dt = 0.053 Ke − 0.74	0.988	0.75
	Marno-grès aquitaniens	Dt = 0.060 Ke − 4.87	0.967	1.09
	Marnes à gypse du Chattien supérieur	Dt = 0.132 Ke − 74.00	0.969	2.38
	Calcaires lacustres du Chattien moyen	Dt = 0.069 Ke − 15.00	0.971	3.21
	Marnes et marno-grès du Chattien inférieur	Dt = 0.040 Ke + 7.94	0.890	2.64
SECONDAIRE	Calcaires urgoniens	Dt = 0.052 Ke + 1.28	0.840	1.75
	Calcaires hauteriviens	Dt = 0.048 Ke + 2.88	0.952	0.90
	Calcaires valanginiens	Dt = 0.052 Ke + 0.93	0.980	0.66
	Calcaires du Portlandien-Kimmeridgien	Dt = 0.044 Ke + 3.43	0.972	0.67
	Calcaires séquaniens	Dt = 0.055 Ke − 0.40	0.979	0.62
	Ensemble du Quaternaire	Dt = 0.049 Ke + 1.83	0.970	0.86
	Ensemble du Tertiaire	Dt = 0.060 Ke − 5.01	0.988	3.56
	Ensemble du karst jurassique + crétacé	Dt = 0.051 Ke + 1.01	0.974	1.02
	Ensemble des formations secondaires, tertiaires et quaternaires	Dt = 0.058 Ke − 2.93	0.989	2.56

Remarque : Les duretés totales Dt sont exprimées en mg/l $CaCO_3$. les conductivités électriques en micromhos/cm (10^{-6} mhos/cm) à 25° C.

B. QUELQUES OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES PHÉNOMÈNES KARSTIQUES

Dans le chapitre premier, le rôle du mur imperméable des circulations karstiques a été attribué au complexe Séquanien inférieur - Argovien. Les critères qui ont dicté ce choix ont alors été discutés, de même que les raisons qui nous autorisent, en première approximation, à négliger les infiltrations en profondeur dans les formations plus anciennes.

1. *Le bassin de l'Orbe*

a) *Le karst jurassique.* — Ce bassin de l'Orbe présente, en même temps que la plus grande complexité, l'exemple le plus caractéristique du rôle joué par le mur imperméable formé par les marnes et marno-calcaires du groupe Séquanien inférieur - Argovien. La résurgence de l'Orbe, dans le vallon de La Dernier, près de Vallorbe, constitue la décharge ponctuelle principale du bassin supérieur de l'Orbe et représente donc, avec les sources voisines des Gerlettes, le niveau de base de l'écoulement du karst jurassique de cette région. De nombreuses expériences (les principales sont citées par D. Aubert, 1943) ont montré les relations étroites qui existent entre les pertes des lacs de Joux et Brenet et la résurgence principale, tandis que les « Gerlettes » suivent un régime différent. Nos observations concernant la composition chimique et la température de leurs eaux le confirment.

Le calcul théorique du bilan du bassin de l'Orbe supérieure arrêté à sa résurgence montre que, pour une température annuelle moyenne de 5° C, l'évapotranspiration s'élève à 24 cm. pour une lame pluviométrique de 176 cm. Dans cette estimation, nous considérons que les pertes par évaporation physique des eaux de surface (lacs, marais, rivières) contrebalancent en gros l'excès du taux d'infiltration dans les calcaires. Le module d'écoulement annuel moyen correspond alors à une lame de 152 cm (48 $l/s.km^2$), soit à un débit permanent moyen de 8,6 m^3/s. Or, les valeurs approchées mesurées du débit de la résurgence de l'Orbe oscillent autour de 4 m^3/s., environ la moitié de la décharge théorique du bassin. Pour expliquer cette différence considérable, il faut soit rattacher le groupe des sources des Gerlettes au même système de drainage et admettre peut-être un sous-écoulement dans les éboulis de la reculée d'érosion de La Dernier, soit diminuer considérablement la surface du bassin supérieur.

La première hypothèse n'est pas vérifiable actuellement, pas plus que la seconde du reste, mais les propriétés physico-chimiques des deux groupes de sources semblent être trop différentes pour admettre une origine commune. Le tableau No 20 donne les moyennes mensuelles des analyses effectuées par le Laboratoire cantonal au lac Brenet (515.26/170.17) et à la source de l'Orbe de 1961 à 1963, ainsi que les résultats de nos analyses, obtenus en 1967. On observe ainsi les relations qui existent entre les lacs de Joux et Brenet, la source de l'Orbe et les sous-écoulements de faible débit de La Dernier. Par contre les eaux des sources de Gerlette montrent les caractéristiques normales du karst jurassique. Pour cette raison, nous préférons les considérer comme les décharges des versants orientaux du Mont-d'Or, du Petit-Risoux et peut-être d'une partie du versant suisse du Grand-Risoux. Les émergences sont cachées par des éboulis de sorte que l'on ne connaît pas leur altitude exacte, mais elles doivent probablement s'étager sur quelques dizaines de mètres d'altitude et constituer des sources de trop-plein dont les orifices supérieurs sont les grottes aux Fées (altitude 830 m.), qui débitent en période de fortes crues paraît-il. On serait ainsi en présence d'un phénomène déjà ancien d'approfondissement du karst, dont la ligne de partage des eaux souterraines se situerait sur l'axe anticlinal du Séquanien inférieur - Argovien du massif du Mont-d'Or.

La seconde hypothèse, concernant la réduction du bassin versant de la source de l'Orbe nous paraît séduisante (l'étude du transport des carbonates nous a déjà fait entrevoir une telle possibilité), mais il est très difficile de la définir. Ce sont évidemment les limites latérales fixées à partir des lignes structurales qui peuvent être modifiées. Disons, sans entrer dans le détail du calcul du bilan et du raisonnement, que dans l'hypothèse d'une fissuration suffisante des calcaires le versant oriental de la vallée, constitué par l'anticlinal surbaissé de Mont-Sâla-Bucley, nous paraît devoir être considéré comme hydrologiquement indépendant des circulations profondes du bassin. La zone de flexure du pli en genou détermine en effet la limite supérieure des sources du versant. Les unes sont liées au karst crétacé très peu développé et aux dépôts quaternaires qui coiffent le Purbeckien peu profond. Les autres, les plus importantes, sont alimentées par le karst jurassique lorsque sa couverture a été localement entaillée par l'érosion qui nous paraît être d'origine essentiellement torrentielle (cas de la Lionne, du Brassus). Le rôle de ce karst jurassique se limiterait toutefois à alimenter ces sources de trop-plein, ses décharges principales se déversant hors du bassin par des voies souterraines dans le synclinal des Crosets.

Au contraire, le flanc oriental de l'anticlinal du Risoux constituerait la partie la plus importante du bassin d'alimentation des sources de Gerlette. Il contribuerait également, dans une très faible mesure, à alimenter la source de l'Orbe, décharge de la zone synclinale de la combe du Vert-le-Séchey, du synclinal de Joux et des lacs. Les superficies respectives des bassins de l'Orbe supérieure et de l'Orbe à Orbe seraient ainsi réduites respectivement à 90 km^2 et 260 km^2.

La complexité du problème du drainage souterrain de la vallée de Joux n'est qu'esquissée ici et ne pourrait trouver de solutions qu'à la suite d'études qui sortent du cadre de notre travail.

Tableau No 20. — ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOURCES DU VALLON DE LA DERNIER (VALLORBE)

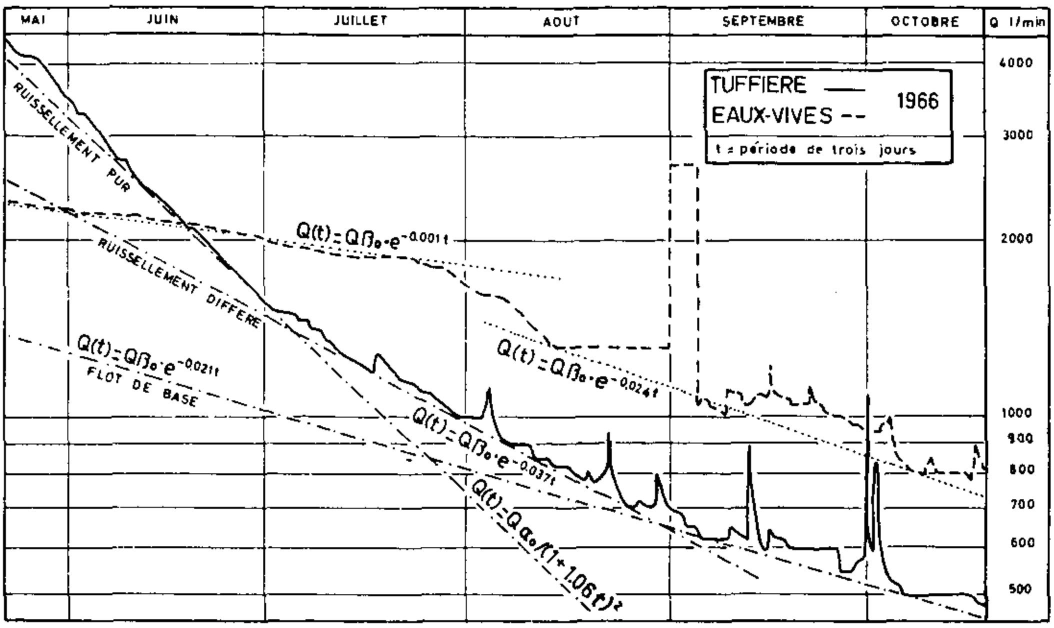
Date	Te (°C)	pH	Ke ($mhos.10^{-6}/cm$)	Duretés (°F) Totale	Duretés (°F) Passagère	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l
1. LAC BRENET (galerie dérivation 515.26/170.17)										
I* (1962)	2.0	8.1	283	14.70	13.60	-	-	1.0	-	165.92
II* (1962)	0.8	8.2	277	14.60	14.10	-	-	1.5	1.6	162.02
III*(1962)	3.2	8.1	293	14.95	14.40	-	-	1.5	6.4	175.68
IV* (1961-1963)	6.4	8.0(?)	249(?)	11.55(?)	10.80(?)	-	-	1.3(?)	4.3(?)	-
V* (1961-1963)	11.2	8.2	291	14.65	13.95	-	-	1.6	4.0	170.19
VI*(1961-1963)	18.1	8.3	300	13.90	13.20	-	-	2.0	10.4(?)	161.04
VII*(1961-1963)	16.0	8.4	279	13.15	12.20	-	-	1.8	-	148.44
VIII* (1961-1963)	17.6	8.3	277	13.60	12.25	-	-	2.5	5.3	149.45
IX* (1961-1963)	15.7	8.3	292	13.55	12.90	-	-	1.6	-	156.77
X* (1961-1963)	11.7	8.2	298	13.85	12.50	-	-	1.9	6.4	153.11
XI*(1961-1962)	4.9	8.1	315	19.75	17.75	-	-	1.7	-	216.55
XII* (1962)	2.1	8.1	287	15.50	15.35	-	-	1.5	1.6	-
2. LAC BRENET (Bon Port 514.62/170.02)										
24.05.1967	12.6	8.4	264	14.70	13.40	34.1	13.7	0.9	2.9	-
30.06.1967	-	8.5	257	13.80	13.10	32.2	14.0	1.4	-	-
3. LAC DE JOUX (Roche Fendue 511.65/166.62)										
30.06.1967	-	8.4	264	14.00	13.40	33.9	13.5	1.0	-	-
4. SOURCE DE L'ORBE (516.40/172.44)										
I* (1962)	5.3	8.0	292	15.30	13.85	-	-	1.6	1.6	168.97
II* (1962)	3.6	8.0	285	14.90	14.50	-	-	1.4	9.6	176.90
III*(1961-1962)	5.1	7.9	293	16.05	14.25	-	-	1.7	4.8	173.85
IV* (1961-1963)	6.8	7.9	282	14.80	13.70	-	-	1.3	2.1	167.14
V* (1961-1963)	8.6	8.0	290	15.50	14.65	-	-	1.5	2.7	178.73
VI*(1961-1963)	9.6	7.9	310	15.90	14.95	-	-	1.3	4.8	182.39
VII* (1961-1963)	10.5	7.7	307	16.25	14.55	-	-	1.7	7.5	181.17
VIII*(1961-1963)	10.7	7.9	330	17.65	16.40	-	-	1.4	1.2	178.08
IX* (1961-1963)	12.9	7.9	308	15.15	14.30	-	-	1.3	2.1	174.46
X* (1961-1963)	10.1	8.0	312	16.20	14.70	-	-	1.8	2.7	179.34
XI*(1961-1962)	7.5	7.8	292	21.80	19.25	-	-	1.7	4.7	173.85
XII* (1962)	6.0	7.8	306	17.05	15.25	-	-	1.6	1.6	186.05
21.03.1967	5.6	7.6	284	14.90	14.10	39.3	12.4	1.8	2.2	-
24.05.1967	7.3	7.8	268	14.00	12.90	34.3	13.3	0.8	0.0	-
22.06.1967	9.9	7.8	286	15.10	14.40	38.1	13.6	1.3	2.0	-
30.06.1967	-	7.7	288	15.05	14.25	37.5	14.9	1.6	-	-
20.09.1967	9.5	7.5	327	17.55	16.60	49.6	12.5	2.1	3.2	-
5. LA DERNIER (sous écoulement dans les éboulis) (516.37/172.53)										
24.05.1967	7.3	7.7	256	14.70	13.00	33.2	15.6	0.7	0.0	-
30.06.1967	-	7.8	286	15.50	14.35	37.3	15.1	1.4	-	-
6. LA GERLETTE (516.40/172.86)										
24.05.1967	7.4	7.7	318	17.60	16.50	44.6	15.8	0.2	0.0	-
30.06.1967	-	7.6	346	18.90	17.30	47.5	17.1	1.0	-	-
20.09.1967	7.3	7.6	388	21.20	19.90	59.9	15.2	1.8	6.5	-

* Valeurs moyennes des analyses effectuées par le Laboratoire cantonal.

Toutefois, si elles étaient vérifiées, de telles réductions de surface auraient une répercussion sensible sur les paramètres physiques et hydropluviométriques du bassin global et des bassins de l'Orbe supérieure et de l'Orbe à Orbe.

Dans la partie inférieure du bassin de l'Orbe, il faut monter dans le Portlandien pour trouver trois groupes de sources importantes issues du karst jurassique dont elles déterminent le niveau de base. Toutes jaillissent dans la gorge de l'Orbe, à proximité du lit de la rivière. Les deux premiers, formés des sources du Day (521.15/174.67 - alt. 650 m.), de l'Ile (521.91/175.01 - alt. 630 m.) et de Vallorbe (521.64/174.71 - alt. 630 m.) sont situés à l'ouest de la faille du Suchet et sont alimentés par les flancs de Bel-Coster et éventuellement de Sur-Grati. Le troisième se trouve à l'est de cet accident, à l'altitude de 580 m. C'est celui de la Fontaine-Mercier sur rive droite de l'Orbe (524.87/175.81). La proximité de la faille du Suchet n'est probablement pas étrangère à la régularité relative des débits de cette source (débit moyen environ 1800 l/min., débit maximum égal ou légèrement supérieur à 2400 l/min.).

Figure No 20



b) *Le karst crétacé.* — Les décharges du karst crétacé sont nombreuses mais généralement de faible débit à la vallée de Joux où l'extension de ces formations est relativement réduite à l'affleurement. Les plus importantes sont les sources du Carroz (502.24/156.24 - alt. 1095 m.) qui jaillissent de l'Urgonien mais sont probablement en relation indirecte avec le karst jurassique profond comme semblent l'indiquer les faibles conductivités électriques et les débits soutenus et assez peu variables (Q moyen environ 200 l/min., Q maximum = 600 l/min., Q minimum = 110 l/min.), et celles de la région de L'Orient, la plupart captées dans les dépôts morainiques sus-jacents. Leur débit, variable, descend rarement au-dessous de 50 l/min. ; il est de l'ordre de 100 l/min. à l'étiage pour cinq sources importantes des Mollards et de Sur-le-Crêt.

Dans le bassin de l'Orbe inférieure, les deux exsurgences principales sont celles des Eaux-Vives dans l'Hauterivien (527.72/175.63 - alt. 533 m.) et de la Tuffière (527.94/175.76 - alt. 575 m.) dans le Barrémien des gorges de l'Orbe, à l'amont de Montcherand. Elles représentent le niveau de base du karst crétacé que la rivière a profondément entaillé, montrant par là que l'érosion torrentielle superficielle est plus active dans cette partie du bassin que l'érosion karstique souterraine. Ce karst est donc plus profond sur rive droite où il a son siège dans l'Hauterivien que sur rive gauche où il n'entame que le Barrémien. Cependant, quelques émergences temporaires à l'amont de la Tuffière témoignent d'un approfondissement progressif des circulations dans les calcaires barrémiens de la rive gauche. Les courbes représentatives du débit de ces deux sources, mesuré pendant l'année hydrologique 1965-1966 sont reportées à la figure No 23, les débits mensuels et annuels moyens se trouvent au tableau No 21. Bien que les installations de jaugeages ne permettent pas de connaître les débits maximums (débit maximum observable à la Tuffière : 5000 l/min., aux Eaux-Vives 2700 l/min.), les différences de régime qui caractérisent ces deux sources, pourtant voisines, montrent bien l'indépendance des deux karsts et l'importance hydrologique de la gorge de l'Orbe dans cette région. Les variations de débit sont beaucoup plus importantes à la Tuffière qu'aux Eaux-Vives qui présentent un débit d'étiage beaucoup plus soutenu, ainsi que le confirme l'étude comparative des courbes de décrue (figure No 20). En octobre 1966, le flot de base représente un débit voisin de 500 l/min. pour la Tuffière, alors qu'il est voisin de 800 l/min. pour les Eaux-Vives. On remarque aussi que la Tuffière est fortement et rapidement influencée par les précipitations qui tombent au pied du Jura, sur le plateau de Lignerolles. Ses eaux troublent du reste régulièrement quelques heures après chaque averse importante, mais c'est surtout la fonte massive des neiges des versants du Suchet qui se marque. L'examen comparatif de la courbe des niveaux de l'Orbe nous révèle que le temps de réponse de la Tuffière à la fonte des neiges est d'environ 15 jours par rapport à la rivière. Les Eaux-Vives réagissent également, mais de façon moins violente, et ne troublent pas. Leur alimentation provient de versants moins élevés et la fonte des neiges prend une importance beaucoup plus faible.

A la figure No 20, les courbes de tarissement nous révèlent que le bassin versant de la Tuffière est probablement beaucoup plus étendu que celui des Eaux-Vives, mais que la majeure partie de l'écoulement karstique se fait par ruissellement. Le flot de base nous paraît être assuré en grande partie par le déversement des eaux des graviers du plateau de Lignerolles dans les calcaires barrémiens sous-jacents. Pour les Eaux-Vives, par contre, la contribution de la couverture quaternaire semble moins importante bien que non négligeable et l'extension plus réduite du karst compensée par une tranche noyée relativement épaisse.

2. *Le bassin du Nozon*

Il ne présente aucune source jaillissant des calcaires du Malm, hormis quelques points d'eau de faible importance au contact du Purbeckien, sur le versant oriental du monoclinal de la Dent-de-Vaulion. La plupart des émergences des calcaires proviennent de l'Hauterivien. Les plus connues sont les sources du Nozon, qui drainent le synclinal de Vaulion (débit moyen inconnu voisin de 100-200 l/min.), et la Diey de Romainmôtier qui se trouve dans le prolongement de l'accident du Suchet. Ses débits, en période de crue, peuvent atteindre 10 000 l/min. En étiage, ils descendent rarement au-dessous de 2000 l/min. Les nombreuses sources de la vallée du Nozon, entre Vaulion et Croy, sont pour la plupart d'origine karstique. Rares cependant sont celles qui jaillissent de la roche. La plupart sourdent des dépôts quaternaires qui coiffent les calcaires hauteriviens. Il est certain que ce bassin, parcouru par d'importants accidents tectoniques, est le siège d'une importante circulation karstique qui se manifeste très près et même au-dessous de son niveau de base représenté par la plaine de l'Orbe. Les sources de la Cressonnière, de Saint-Loup et de La Vaux, captées entre 530 et 550 m. d'altitude dans le fond du graben de Pompaples en témoignent, de même que l'alimentation des graviers aquifères d'Entreroches qui résulte pour une très grande part de circulations karstiques souterraines comme nous le verrons au chapitre VIII.

3. *Le bassin du Bey-Mujon*

Il présente un bel exemple de karst barré et de relation hydrologique entre le karst du Malm et celui du Valanginien dont l'une des décharges est formée par le groupe des sources vauclusiennes du Chamblon. Toutes sont situées sur le versant nord-ouest et nord de ce dôme crétacique qui transperce les formations tertiaires et quaternaires de la plaine de l'Orbe inférieure. Deux accidents importants, parallèles et distants d'environ 700 m., déterminent dans la partie septentrionale de la colline une zone de fractures qui se prolonge vers le nord-ouest en direction de Villars-sous-Champvent et vers le sud-est en direction de Calamin avant d'obliquer à l'est vers Cuarny (cf. planches Nos 1 et 2). Les émergences principales du Moulinet et du Cosseau se groupent à proximité ou dans cette zone tectonisée ; seule la source de Grange-Décoppet est plus méridionale. H. Schardt (1898) en a donné une description détaillée que H. Jordi (1955) a complétée et précisée.

En résumé, leurs observations et l'analyse comparative des compositions chimiques des eaux de la Grange-Décoppet, du Moulinet, de la fontaine de Cosseau et de Feurtille, nous ont conduit à envisager l'existence des deux circulations karstiques partiellement indépendantes l'une de l'autre et subordonnées à l'existence de pièges structuraux et stratigraphiques :

— *circulation supérieure*

Contrôlée par : l'accident de Villars-sous-Champvent - Moulinet - Cosseau et par les marnes purbeckiennes et hauteriviennes.

Alimentation partielle : perte de Feurtille, probablement pertes souterraines de l'aquifère du cône de Baulmes, lui-même alimenté par des eaux des calcaires jurassiques et crétacés d'une partie du versant oriental du Suchet.

Mode de circulation : ruissellement jusque dans la zone noyée peu volumineuse du synclinal de Champvent, drainage par l'accident Moulinet-Cosseau.

Décharge : zone faillée (Moulinet, Cosseau ouest), ou érodée (Grange-Décoppet) permettant aux calcaires valanginiens d'affleurer, exutoires souterrains dans les alluvions du vallon du Bey.

— *circulation inférieure*

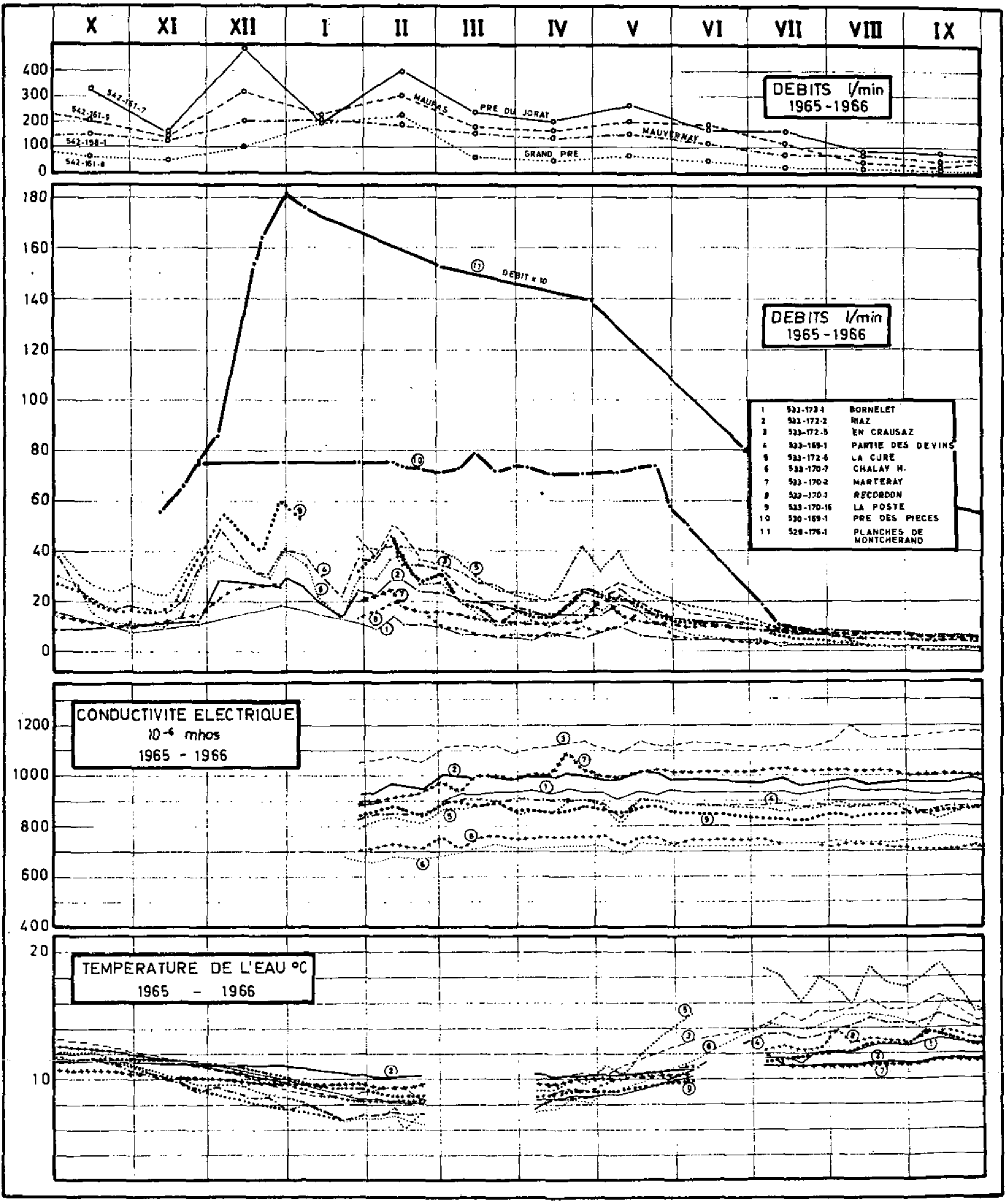
Contrôlée par : l'accident septentrional d'Essert-sous-Champvent - Moulin-Chappuis et par la zone fortement fracturée de Cosseau - Les Uttins.

Alimentation : inconnue, des calcaires jurassiques des flancs de la première chaîne du Jura.

Mode de circulation : inconnu, mais profond (sources thermales).

Décharge : zone tectonisée ; traversée des calcaires valanginiens ou hauteriviens.
Les sources du Moulin-Cosseau et des Uttins sont influencées par la décharge de l'aquifère supérieur.

Figure No 21



Caractéristiques de quelques sources de la molasse chattienne (1-9), burdigalienne (graphique supérieur) et des graviers morainiques (10-11).

Tableau No 21. — DÉBITS (l/min) DE QUELQUES SOURCES. MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES. FLUCTUATIONS (1.X.1965 - 30.IX.1966)

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Année	Fluctuations annuelles			Int.var. intermens.
														Débit max.(mois)	Débit min.(mois)	Int.var. max	
Tuffière*	2485	2500	2600	2650	2650	2600	4800	4500	2350	1300	900	650	2499	-	550 (09)	-	4150
Eaux-Vives*	2270	2350	2600	2600	2650	2550	2550	2450	2150	1850	1500	1490	2251	-	950 (09)	-	1160
Cosseau	2040	2040	4080	4320	4140	3620	3740	3590	2300	1990	490	466	2734	4460 (01)	340 (09)	4120	3854
En Merdasson	25	24	38	32	35	24	17	20	12	8	6	5	20	41 (02)	4 (09)	37	33
La Cure	32	30	41	38	41	30	29	31	16	10	7	4	26	42 (02)	3 (09)	39	37
En Crausaz	29	29	45	36	42	29	23	23	15	9	6	5	24	50 (02)	4 (09)	46	40
Font. à Girard	29	28	55	40	48	29	29	30	17	14	10	9	28	55 (02)	8 (09)	47	46
La Riaz	17	20	27	24	26	20	15	16	12	9	8	7	17	29 (02)	6 (09)	23	20
Le Bornelet	8	9	13	10	11	7	6	7	5	3	2	2	7	14 (02)	2 (09)	12	11
Vautibois	38	40	55	45	48	30	29	31	13	7	5	5	29	59 (02)	5 (09)	54	50
Partie des Devins	24	24	40	32	38	23	18	20	12	8	5	5	21	50 (12)	3 (09)	47	33
Henri Chalay	19	17	34	28	32	17	13	16	6	3	2	1	16	40 (12)	1 (09)	39	33
Marteray	10	10	20	17	19	14	12	15	9	8	6	5	12	25 (02)	6 (09)	19	15
Recordon	9	10	20	16	16	8	7	11	5	3	2	2	9	20 (02)	1.5 (09)	18.5	18
La Poste	23	24	38	30	32	19	18	19	10	6	4	1	19	46 (02)	0.5 (09)	45.5	37
Pré des Pièces	-	-	-	-	75	74	72	72	38	12	6	5	-	78 (02)	3 (09)	75	70
Puits 58 Arnex**	550.50	550.60	551.45	-	-	-	-	-	-	-	549.75	519.55	-	551.60 (12)	549.45 (09)	2.15	-
Puits 64 Arnex***	5.25	5.10	4.15	-	-	-	5.20	5.15	5.50	5.85	6.25	6.60	-	4.00 (12)	6.75 (09)	2.75	-

* Les débits de ces sources ne sont pas rigoureusement corrects, car les débimètres installés par la commune d'Orbe ne peuvent fonctionner au-dessus de 2700 l/min) pour les Eaux-Vives et de 5000 l/min pour la Tuffière.

** Puits dans graviers fluvio-glaciaires (altitude du niveau d'eau en m).

*** Puits dans graviers fluvio-glaciaires (profondeur du niveau d'eau (m) depuis la margelle du puits).

C. LES EAUX DES TERRAINS MOLASSIQUES ET QUATERNAIRES DES VERSANTS DE LA PLAINE DE L'ORBE

Parmi les sources jaugées et analysées en 1965-1966 sur les versants de la plaine de l'Orbe, nous avons choisi les plus caractéristiques et celles qui pouvaient rendre compte de l'influence des versants molassiques sur les aquifères de la plaine. Ce sont essentiellement celles des coteaux de Bavois et de Chavornay. A la figure No 21, quelques sources du Jorat burdigalien jaugées par les SI de Lausanne ont été représentées à titre comparatif ainsi que deux autres sources issues de graviers morainiques jaugées irrégulièrement. Les numéros de référence se rapportent à la numérotation du Cadastre des sources du canton de Vaud.

La caractéristique la plus importante est le faible débit des sources du Chattien, comparativement à celui des sources du Burdigalien et plus encore des graviers morainiques. Le débit d'étiage observé de ces sources-là varie entre 9 et 17 l/min. pour un intervalle de variation de 9 à 50 l/min.

Les débits mensuels et annuels moyens de l'année hydrologique 1965-1966 sont donnés au tableau No 21.

L'évolution des températures de l'eau des sources molassiques présente généralement une périodicité saisonnière parallèle à celle de la température de l'air d'autant plus prononcée qu'elles sont moins profondes. Les sources du Bornelet et surtout de la Riaz présentent un graphique beaucoup plus régulier attestant donc d'une alimentation plus profonde dans les grès. Les températures annuelles moyennes sont relativement élevées, comprises entre 9,7° et 10,7° C, selon l'exposition du versant d'où jaillit la source et la profondeur des circulations.

Les conductivités électriques augmentent très légèrement au cours de l'étiage, ce qui confirme l'importance que la vitesse de circulation d'une eau peut avoir sur son chimisme.

Les essais de corrélation entre la température de l'eau et sa conductivité n'ont pas été concluants.

Chapitre VIII

Hydrologie des alluvions de la plaine de l'Orbe

Au chapitre VI, nous avons signalé les difficultés rencontrées lors de l'établissement du bilan hydrique global de la plaine de l'Orbe. Or, si les résultats quantitatifs obtenus en tenant compte de l'écoulement superficiel sont médiocres, ceux que l'on voudrait tirer d'une étude piézométrique des aquifères seraient aberrants.

On sait que pour calculer le débit d'une nappe, il est suffisant mais nécessaire de connaître à la fois la surface de la section d'écoulement, la perméabilité moyenne des terrains constituant cette dernière et le gradient hydraulique. Il ne nous a jamais été possible, hélas, d'obtenir ces trois paramètres pour une même section avec une précision suffisante. Jusqu'à la fin de l'année 1966, nous ne pouvions mesurer régulièrement les niveaux piézométriques que dans 4 piézomètres et 9 puits, dont deux au moins étaient en activité permanente. Sept autres piézomètres ont pu être utilisés temporairement. La planche No 14 donne la situation de ces points de mesure, auxquels on peut ajouter les limnimètres que nous avons installés sur le Nozon (531.03/170.44 - alt. 441.70) et le canal d'Entreroches (531.95/171.18 - alt. 439.40). Ce n'est qu'à partir de la fin de 1966 que les piézomètres posés par le Bureau de construction des autoroutes entre Chavornay et Yverdon, sur rive droite du canal Oriental, ont été mis en service. Toutefois, leur répartition et leur densité ne permettaient de résoudre qu'un nombre restreint de problèmes.

Tout le centre de la plaine et la vallée du Bey restent en grande partie inconnus. D'autre part, les puits en exploitation perturbent parfois fortement la surface piézométrique et gênent l'interprétation.

Dans l'incapacité de déterminer les éléments d'un bilan, nous avons dû nous contenter d'esquisser, pour l'année hydrologique 1965-1966, les surfaces piézométriques principales de la nappe des alluvions de la plaine et de chercher à les interpréter, parfois en fonction du chimisme de quelques puits.

A. LES CARTES DES COURBES ISOPIÈZES ET D'ÉGALES FLUCTUATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE

La planche No 14 représente l'allure générale du toit de la nappe lors d'une période de crue (janvier 1966) et en étiage (septembre 1966). La valeur représentative des courbes isopièzes est imparfaite, puisque nous avons été obligés d'une part d'extrapoler les mesures effectuées en 1967-1968 dans les piézomètres de l'autoroute, inexistants auparavant, d'autre part de fortement interpoler les tracés des courbes dans les régions dépourvues de points de contrôle. Toutefois, compte tenu de la nature des formations rencontrées par sondage, des réseaux de drainage artificiel et des conditions hydropluviométriques, il a été possible de minimiser les incertitudes liées au tracé des courbes. Nous estimons que l'allure générale du toit des eaux souterraines est ainsi respectée. Enfin, les valeurs attachées aux abords des puits Nestlé et EPO correspondent aux niveaux dynamiques du toit de l'aquifère soumis à un pompage permanent.

L'examen comparatif des isopièzes en période de hautes et de basses eaux révèle que d'une façon générale la morphologie des surfaces piézométriques varie peu d'une saison à l'autre sauf dans le cône de l'Orbe. Par différence de ces surfaces, on obtient l'amplitude des fluctuations du niveau piézométrique. Les courbes cotées 1, 2, 3 sur la planche No 11 délimitent les zones d'égales variations (de 1, 2, 3 m.) du niveau piézométrique. On a ainsi une image de l'importance relative et de la distribution des réserves régulatrices des aquifères. Nous remarquerons que ces réserves sont légèrement inférieures aux réserves dites d'exploitation, qui correspondent à l'intervale de variation des extrêmes absolus des niveaux d'eau, relevés sur un grand nombre d'années.

B. INTERPRÉTATION DES SURFACES PIÉZOMÉTRIQUES ET MÉCANISME DES NAPPES

Pour simplifier la description, nous subdiviserons la plaine en trois zones hydrogéologiques, étant entendu que des échanges hydriques s'opèrent d'une zone à l'autre. La perméabilité des formations joue cependant un rôle déterminant dans le tracé des axes d'écoulement préférentiel. La répartition des alluvions graveleuses et leur puissance supposée sont représentées à la planche No 8. Toutefois, les horizons grossièrement sableux mais perméables, ou même graveleux, mais épais de moins de 5 m., n'y sont pas représentés. L'extension des aquifères à perméabilité moyenne à élevée peut de ce fait être plus grande que celle figurée. Les figures No 22 et No 23 donnent les variations des niveaux piézométriques observés dans les puits et piézomètres utilisables pendant l'année hydrologique 1965-1966. En regard se trouvent les débits jaugés du Talent et de quelques sources du karst crétacique des abords immédiats de la plaine, les niveaux d'eau relevés aux limnimètres de l'Orbe, du Nozon et du canal d'Entreroches, enfin les conductivités électriques rapportées à 25° C et exprimées en mhos · 10^{-6} cm. et les températures de l'eau en ° C.

L'analyse de ces courbes, comparée à celle de la carte générale des isopièzes, permet de définir dans ses grandes lignes le régime et le mécanisme des aquifères.

1. *Partie amont de la plaine*

A l'amont du parallèle 174, l'aquifère principal est constitué par les alluvions graveleuses qui s'étalent au pied du Mormont, de Pompaples à Entreroches. Dans la partie orientale, deux accumulations graveleuses de faible importance méritent tout de même d'être citées. Ce sont d'une part les graviers des Planches-de-l'Ile (puits 3-19) qui se prolongent vers le sud par les graviers et gravillons peu épais du cône du Cristallin, d'autre part ceux des Prés-à-Jaunin (puits 3-10) dans le cône du Talent.

a) *La surface piézométrique.* — Elle varie d'un endroit à l'autre en fonction de la perméabilité, de la profondeur relative du substratum imperméable, en définitive de la section effective d'écoulement de la nappe. Ainsi dans le vallon du Creux-du-Loup (Plan-Manin), qui sépare la colline molassique du Mont-d'Orny des versants calcaires des Côtes-de-Mormont, le profil de la surface piézométrique est hyperbolique, mais il devient parabolique à l'approche du canal d'Entreroches qui joue le rôle de drain. Il l'est également entre le Nozon et ce canal, dans la région des Cartes et des Saugeons ; par contre, il redevient hyperbolique entre le Cristallin et Bavois. Les gradients varient donc parallèlement et sont compris entre 2 ‰ et 4 ‰ dans la zone du Creux-du-Loup - Entreroches - La Bernoise, et atteignent 6-7 ‰ dans le cône du Cristallin. La valeur élevée des gradients, du cône du Cristallin en direction de la Bernoise, montre bien la mauvaise perméabilité des formations très fines et des tourbes qui font la transition avec les graviers d'Entreroches dans cette zone. En période d'étiage, le profil hyperbolique s'accentue et s'étend sur une zone plus vaste. Signalons encore le noyau à très faible perméabilité décelé dans les alluvions récentes du Nozon au piézomètre 3-26. Dans le tableau No 22 sont reportées les altitudes de la surface piézométrique au puits d'Entreroches pour les 7 années hydrologiques (1959-1966). Nous y avons joint le graphique des fréquences empiriques de dépassement calculées à partir des valeurs mensuelles.

b) *L'amplitude des variations.* — Elle est évidemment maximum au Creux-du-Loup, où elle dépasse 3 m. par an. En décembre 1965 et janvier 1966, la nappe affleurait et s'élevait de plus d'un mètre au-dessus du fond de la gravière ouverte en bordure de la route Bavois-Orny. Lors de crues très importantes (janvier 1966), cet aquifère parvient même à déborder dans la couverture tourbeuse, par-dessus le toit imperméable formé par les limons crayeux qui se terminent en biseau vers l'amont. Les champs des Cultures maraîchères et la cabane qui abrite leur puits près de la Bernoise (2-4) sont alors inondés. Dans la partie aval des cônes et dans les alluvions peu perméables du centre de la plaine, ces fluctuations n'atteignent vraisemblablement que quelques décimètres d'amplitude.

Un examen comparatif des figures No 22 et No 23 montre la similitude des crues observées à Entreroches et au captage du Moulin-Cosseau avec un décalage d'un peu plus d'une semaine. Le régime du Nozon semble être également suivi par le puits d'Entreroches, mais de manière moins nette et avec un décalage qui paraît varier selon que l'on est en période de hautes ou de basses eaux. Enfin, les puits des Prés-à-Jaunin et de l'Island présentent des variations beaucoup plus proches de celles du Talent, directement influencé par les précipitations locales.

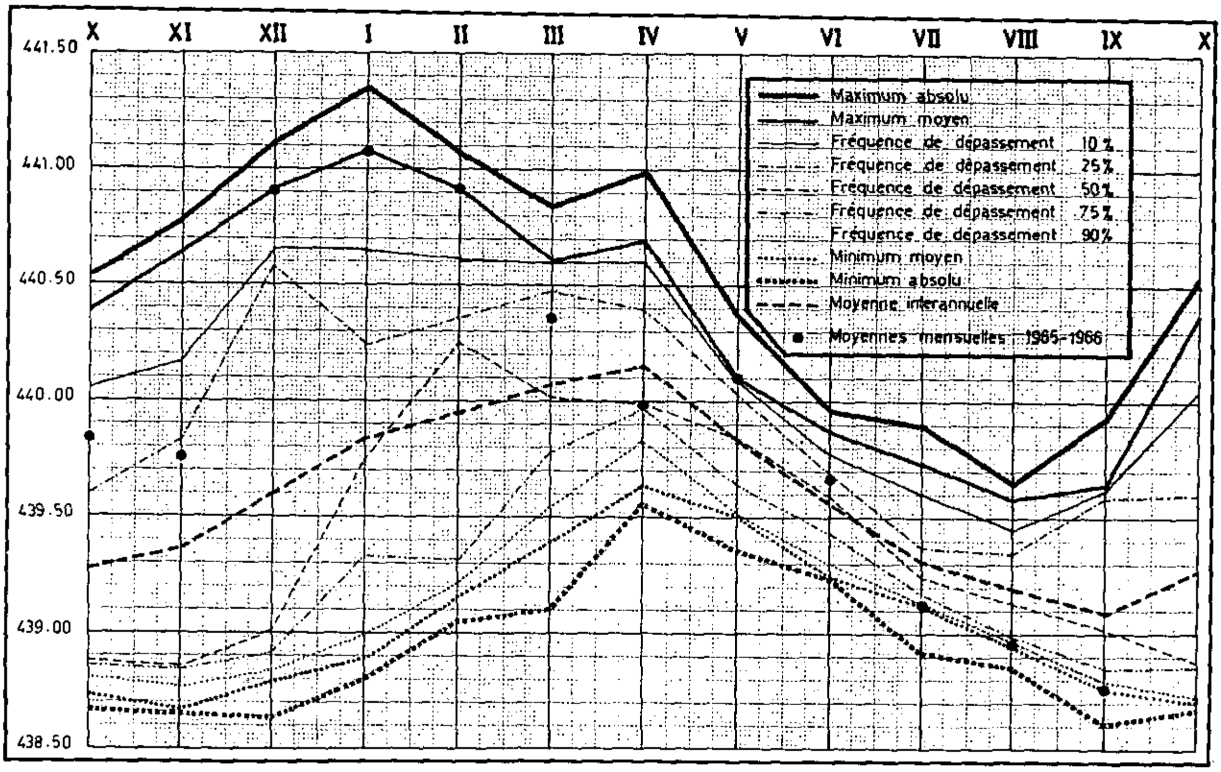
c) *Les zones d'alimentation.* — Elles ressortent nettement sur la carte des courbes isopièzes. L'alimentation est dirigée de l'ouest-sud-ouest vers l'est-nord-est à Plan-Manin, légèrement obliquement à l'axe de la dépression. Nous en entrevoyons la cause dans une zone d'émergence profonde en bordure de la colline d'Orny, le long de l'accident qui la limite vers le sud-est. Nous ne savons rien de ce qui se passe entre Pompaples et Orny, mais il est probable que d'autres émergences souterraines alimentent les graviers de cette région dont les eaux s'écouleraient alors partiellement par la dépression de Sous-Mormont vers Plan-Manin et partiellement par le vallon d'Orny.

Les versants molassiques, avec leurs limons de pente et leur couverture morainique argilo-limoneuse jouent un rôle bien plus minime. Les circulations y sont lentes et peu abondantes, sauf dans certains horizons grossièrement gréseux, peu nombreux et d'extension limitée, fracturés par la tectonique tourmentée de la région. Sur le versant occidental de la plaine, le drainage superficiel est relativement bien développé, mais les ruisseaux débouchent sur des alluvions fines et peu perméables, de sorte qu'ils contribuent faiblement à l'alimentation des formations aquifères autres que les tourbes superficielles. Sur le versant oriental, au contraire, l'abondance des sources montre bien le développement qu'ont pris là les

Tableau No 22.

ALTITUDES DE LA SURFACE PIÉZOMÉTRIQUE AU PUITS D'ENTREROCHES (531.48/168.74 - alt. 440.74)

Année hydrologique		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Moyenne annuelle
1959-1960		438.86	438.85	438.98	439.75	440.25	440.59	439.98	439.51	439.25	439.13	439.34	439.65	439.51
1960-1961		440.38	440.64	440.47	440.34	440.40	440.01	439.63	439.52	439.32	439.21	439.14	439.02	439.84
1961-1962		438.88	438.84	439.02	440.14	440.32	440.60	440.69	440.01	439.59	439.24	439.00	438.82	439.60
1962-1963		438.73	438.67	438.79	439.08	439.25	439.92	440.52	440.05	439.87	439.74	439.58	439.61	439.48
1963-1964		439.39	439.88	440.20	439.62	439.37	439.64	440.30	439.84	439.54	439.24	438.99	438.87	439.57
1964-1965		438.86	438.85	438.85	438.88	439.15	439.39	439.97	439.76	439.71	439.50	439.36	439.57	439.32
1965-1966		439.84	439.76	440.91	441.08	440.92	440.36	439.99	440.10	439.67	439.13	438.96	438.76	439.96
Valeurs interannuelles	Moyennes	439.28	439.36	439.60	439.84	439.95	440.07	440.15	439.83	439.56	439.31	439.20	439.20	439.61
	Médianes	438.88	438.85	439.02	439.75	440.25	440.01	439.99	439.84	439.59	439.24	439.14	439.02	439.60
	Maximum Journalier	440.54	440.78	441.12	441.35	441.06	440.84	440.99	440.36	439.96	439.90	439.65	439.94	441.35
	Minimum Journalier	438.67	438.65	438.64	438.80	439.05	439.11	439.56	439.36	439.24	438.92	438.86	438.60	438.60
	Intervalle de variation	1.87	2.13	2.48	2.55	2.01	1.73	1.43	1.00	0.72	0.98	0.79	1.34	2.75
Ecart maximum (max.-min. absolu)		1.94	2.18	2.52	2.75	2.46	2.24	2.39	1.76	1.36	1.30	1.05	1.34	-



niveaux plus grossiers des sédiments tertiaires intercalés entre des horizons plus marneux et moins perméables. Les infiltrations y sont relativement abondantes et donnent naissance à des venues d'eau sous-alluviales. L'une d'elle est captée dans la molasse en place par un puits profond de près de 6 m. à l'Island (2-24) sur la colline qui perce les graviers alluviaux entre la Bernoise et Bavois. Les réactions de ce puits, de même que les propriétés physico-chimiques de ses eaux, montrent bien le régime fissural d'origine molassique des circulations qui l'alimentent et contrastent avec celles des puits d'Entreroches, de la Bernoise et des Planches-de-l'Ile (cf. figures Nos 12, 15 et 22).

On observe notamment, à ces trois derniers points de contrôle, une diminution sensible de l'amplitude des fluctuations des niveaux piézométriques, lorsque l'on se dirige d'Entreroches aux Planches-de-l'Ile, c'est-à-dire vers l'aval de l'aquifère. Ceci s'explique fort bien pour les deux premiers puits situés à l'aval l'un de l'autre dans une nappe divergente à profil hyperbolique. La proximité du cône du Cristallin et des côtes crétaciques de Tiléria permettait toutefois de concevoir une alimentation suffisamment importante pour perturber ce schéma dans la région des Planches-de-l'Ile. L'absence de ces perturbations nous amène donc à considérer que cette alimentation est très faible.

Le cône du Talent, pour sa part, est alimenté principalement par des sources molassiques souterraines et accessoirement par quelques infiltrations du Talent.

L'alimentation de la nappe par les précipitations atmosphériques peut se chiffrer approximativement en utilisant la formule de Turc pour déterminer la part de l'évapotranspiration. La carte pluviométrique de la planche No 10 donne des précipitations moyennes à Bavois de 81 cm. Pour une température annuelle moyenne de 9° C, la formule de Turc permet d'attribuer à l'évapotranspiration une valeur de 47 cm. Pour les 2,5 km^2 de la nappe découverte d'Entreroches, on obtient donc un apport de $(0{,}34 \cdot 2{,}5 \cdot 10^6)$ $0{,}85 \cdot 10^6$ m^3 correspondant à un débit permanent voisin de 27 l/s. ou 1600 l/min. Cet apport n'est donc pas négligeable.

Le Nozon joue un rôle mixte d'alimentation et de drainage. En période de crue, il se déverse dans les champs situés de part et d'autre de ses digues, entre le ruisseau des Vaux et le Grand-Pâquier, causant chaque hiver d'importants dégâts aux cultures. Pendant l'étiage, par contre, il draine les eaux du pied des versants molassiques, sur rive gauche et continue probablement d'alimenter les tourbes qui s'étendent le long de sa rive droite. La faible épaisseur de ces dernières et leur perméabilité relativement peu élevée, à cause des nombreuses intercalations limoneuses, limitent toutefois ces échanges.

d) *L'axe de drainage principal.* — Il est représenté par le canal d'Entreroches. Les eaux des tourbes, qui forment un aquifère superficiel peu puissant mais très gênant pour l'agriculture, sont drainées par des collecteurs qui se déversent dans le canal. Les alluvions sous-jacentes, séparées des tourbes par des dépôts souvent crayeux à forte composante limoneuse, ne sont relativement perméables que localement et leurs eaux s'écoulent dans les tourbes superficielles par des orifices naturels, les « puits ». Ce sont des trous généralement circulaires ou elliptiques, de 5 à 15 cm. de grand axe, qui percent les limons crayeux du toit. On en connaît un certain nombre dans le lit du canal d'Entreroches où leur présence se manifeste dans le faible courant par un léger tourbillon. En hiver, leur localisation est facilitée par les zones de dégel qu'ils occasionnent dans la glace.

L'exhaure de l'eau de la nappe par pompage représente en moyenne 200 m^3/j. pour les deux puits de la Bernoise et d'Entreroches et 17 m^3/j. pour les Planches-de-l'Ile.

e) *Les conductivités électriques (comprises entre* $550 \cdot 10^{-6}$ *et* $600 \cdot 10^{-6}$ *mhos/cm.).* — Elles augmentent faiblement d'un puits à l'autre de l'aquifère d'Entreroches. Cette faible augmentation des conductivités et le parallélisme parfait de leur graphique pendant les périodes de basses eaux favorisent aussi l'hypothèse d'une faible alimentation latérale d'origine molassique. Par contre, ces valeurs s'élèvent sensiblement à la Bernoise pendant les crues.

f) *Les températures.* — Celles observées dans ce dernier puits sont inférieures de quelques dixièmes de degré à celles d'Entreroches pendant les mois froids, de fin septembre à février ou mars, mais deviennent plus élevées pendant les mois chauds, de mars à septembre. L'écart thermique y est donc légèrement plus important qu'à Entreroches (cf. tableau No 23). Ces observations montrent donc un régime influencé à la Bernoise par de faibles apports latéraux d'origine molassique, en tout cas pendant les périodes de crue.

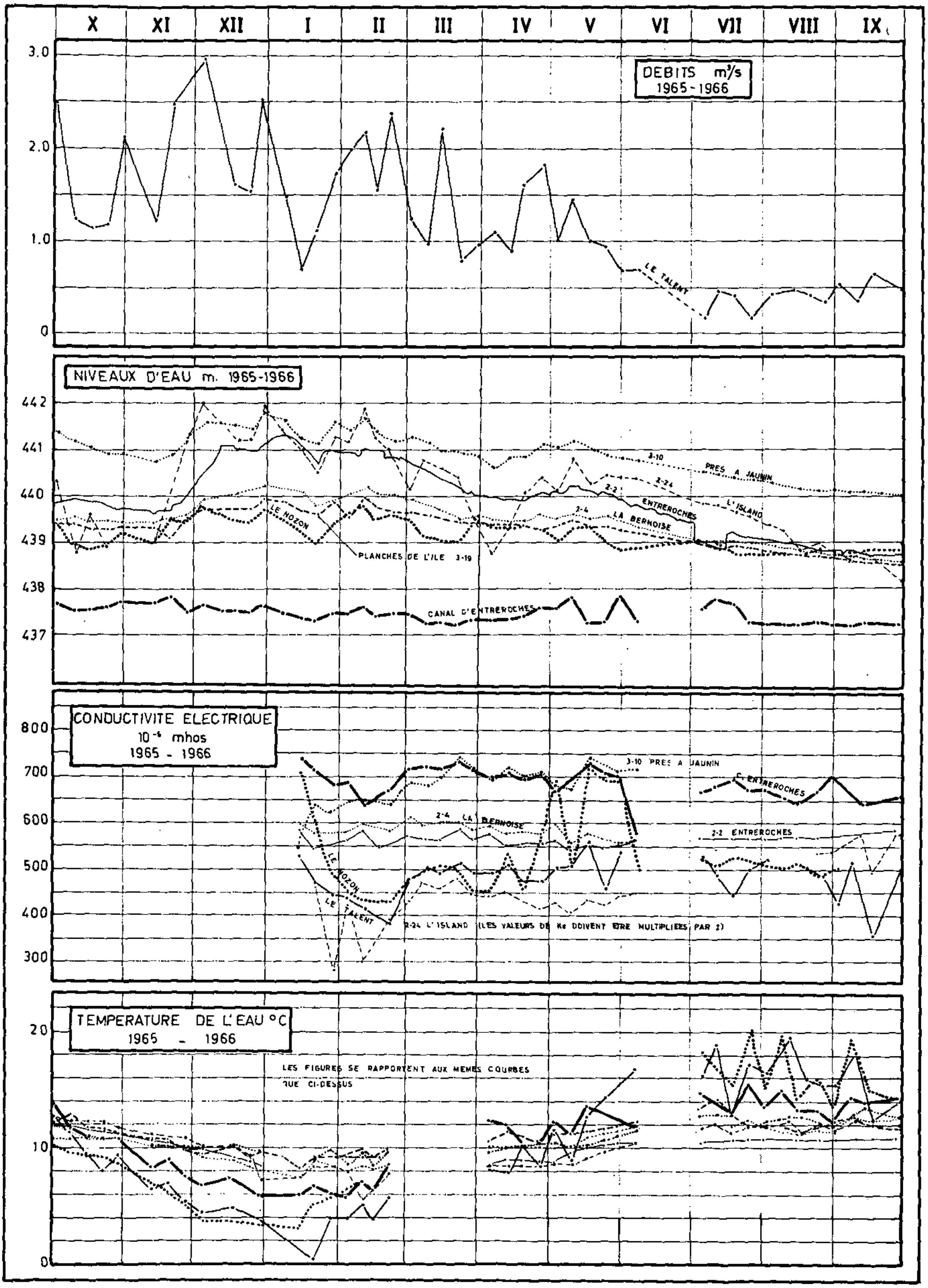
g) *La perméabilité.* — Celle des alluvions graveleuses est mal connue. Cependant, l'interprétation des essais de pompage effectués au forage de reconnaissance d'Entreroches, aux puits de la Bernoise, des Planches-de-l'Ile et des Prés-à-Jaunin, nous permet d'en calculer les valeurs approchées reportées au tableau No 24. Ne connaissant pas les rayons d'action des puits, nous avons effectué nos calculs en prenant deux chiffres extrêmes pour les alluvions de cette plaine ($R = 50$ m. et $R = 500$ m.). Les valeurs réelles, comprises entre celles que nous avons calculées, sont assez élevées dans l'aquifère d'Entreroches ; les Prés-à-Jaunin et les Planches-de-l'Ile montrent par contre des perméabilités très moyennes.

2. Partie médiane de la plaine

A la hauteur de la ville d'Orbe, un important cône d'alluvions s'étend vers l'aval jusqu'au parallèle 177 et au méridien 533. Les graviers qui le constituent en majeure partie sont aquifères et forment une énorme lentille perméable enrobée de sédiments plus fins, beaucoup moins perméables.

a) *La surface piézométrique.* — Elle présente d'importantes variations, selon la saison, que des pompages intensifs aux quatre puits des Moulins Rod 3-20/15 m^3/h.), Nestlé 1948 (3-21/100-150 m^3/h.), LINOR (4-54/20-30 m^3/h.) et EPO (4-69/45-50 m^3/h.) accentuent encore. En période de hautes eaux les courbes piézométriques sont grossièrement concentriques. L'écoulement est alors du type radial divergent avec axe

Figure No 22. — Caractéristiques de quelques points de contrôle de l'aquifère d'Entreroches.



de drainage prédominant vers le nord-est. La surface piézométrique présente un profil hyperbolique. En période d'étiage, par contre, la surface de la nappe se complique, mais peut être assimilée en gros à une nappe radiale convergente à profil parabolique et axe de drainage orienté vers le nord-est, parallèlement au cours de l'Orbe. La variation des gradients est considérable : ils sont compris entre 0,7 et 3 ‰.

b) *L'amplitude des variations piézométriques.* — Elle est généralement de l'ordre du mètre, mais atteint 3 m. dans la partie amont de l'aquifère. Il est probable que selon l'axe de drainage principal, parallèle au cours de l'Orbe sur la rive gauche, les fluctuations du niveau piézométrique atteignent ou dépassent 2 m., comme on l'observe au piézomètre 4-47.

c) *Les zones d'alimentation.* — Elles se marquent avec une grande netteté sur la planche No 14. En période de crue, les apports karstiques souterrains sont importants et subits ainsi qu'en témoignent les rapides élévations du niveau piézométrique dans la partie amont du cône avec écoulement radial divergent. En période de basses eaux, l'action combinée de la zone de dépression formée par les pompages, qui se marque très nettement, et du drainage naturel de la nappe dans la région de Bochuz - Champ-Roux provoque un appel d'eau du sud et du sud-est. Les alluvions fines et les tourbes de la région du Grand-Pâquier se déchargent alors partiellement dans l'aquifère d'Orbe, en augmentant la minéralisation de ses eaux. Les graphiques de la figure No 23 confirment ces premières indications, de même que les analyses chimiques de la figure No 15. Les variations de la surface piézométrique, observées au cours de l'année hydrologique 1965-1966 dans les divers points de contrôle, montrent que les fluctuations des piézomètres 3-35 et 3-37 se recoupent. Pendant les mois de hautes eaux, de décembre à mars, le piézomètre 3-35, le plus proche du Nozon, à l'extrémité sud-ouest du cône, présente un niveau piézométrique inférieur à celui du piézomètre 3-37, plus proche de la partie amont de l'aquifère. En étiage, au contraire, son niveau est plus élevé. Les fluctuations du premier sont en outre en étroites relations avec celles du Nozon, ce qui implique une alimentation et respectivement un drainage partiel par ce cours d'eau. De son côté, le second suit avec une parfaite similitude les variations observées au LINOR (4-54) et au puits Nestlé 1948 (3-21), en marquant toutefois un léger décalage dans le temps, de l'ordre de quelques jours. Le fait déjà constaté que son niveau est plus élevé que celui de 3-35 uniquement pendant les périodes de crue implique une inversion de l'alimentation au cours de l'année. Il en est de même du reste pour le puits des Moulins Rod (3-20) dont le niveau dépasse celui des deux puits Nestlé (3-21 et 4-54) uniquement lors de fortes crues et pendant la crue ; dès que celle-ci s'atténue, la surface piézométrique s'inverse à nouveau. Ainsi, dès l'arrêt de l'alimentation, la partie amont du cône se vide rapidement de son excès d'eau et retrouve en quelques jours son niveau initial. Ce phénomène peut s'expliquer par une grande perméabilité des alluvions à l'aval des Moulins Rod et dans la partie supérieure de l'aquifère, avec déversements sporadiques mais volumineux de masses d'eau considérables. Une telle alimentation, sujette à des à-coups si importants, décalés de 1 à 2 jours par rapport à ceux de la Tuffière et parfois de l'Orbe, ne peut tirer son origine que de circulations souterraines de type karstique ou d'un déversement des eaux de la rivière.

L'alimentation de la nappe par l'Orbe est à exclure au moins en temps normal. L'étude physicochimique montre en effet une indépendance totale entre le régime de cette rivière et celui de l'aquifère. Il est possible que lors des crues très importantes, lorsque les eaux de la rivière s'élèvent de plusieurs décimètres au-dessus de leur cote normale, l'imperméabilité des berges soit moins grande et que des pertes de faible importance puissent se produire. En tout cas, nous n'avons jamais pu en constater.

L'alimentation d'origine karstique peut alors être en relation avec le karst crétacé des Eaux-Vives, de la Tuffière ou avec l'accident d'Orbe. De novembre à janvier, la nappe suit de plus près les variations de débit de la source du Cosseau que celles de la Tuffière. Cette observation nous incite à opter pour une alimentation en relation avec l'accident d'Orbe. Cette hypothèse nous satisfait du reste davantage que les autres dans la mesure où les deux sources des Eaux-Vives et de la Tuffière représentent vraisemblablement le niveau de base du karst crétacé du bassin de l'Orbe. Il existerait donc une liaison étroite et très précise entre l'accident d'Orbe et l'alimentation du cône. Or, est-ce un hasard que l'alimentation se fasse dans la région des Moulins Rod, justement au point de concours de cette faille d'Orbe et du prolongement de l'accident d'Ependes - Bas-des-Monts ? Signalons encore que vers l'aval, dans la direction des EPO, les crues sont nettement atténuées mais se dessinent parfois avec un retard variable de 5 à 15 jours sur les Moulins Rod. Le piézomètre 4-47, situé à l'amont et à l'ouest du puits des EPO (4-69) réagit violemment : en période de crue, il a un niveau plus élevé, en période d'étiage, il lui est légèrement inférieur ou égal.

L'alimentation de la nappe par les précipitations atmosphériques peut se calculer de la même manière qu'à Entreroches. Les précipitations moyennes à Orbe sont de 94 cm. (planche No 10) et la température annuelle moyenne de 9° C. L'évapotranspiration calculée par la formule de Turc représente alors une lame de 49 cm. Pour les 3.5 km^2 de la nappe découverte d'Orbe, on obtient donc un apport de $(0{,}45 \cdot 3{,}5 \cdot 10^6)$ $1{,}58 \cdot 10^6$ m^3 correspondant à un débit permanent voisin de 50 l/s. ou environ 3000 l/min. Cette alimentation par précipitation est environ 1,9 fois plus importante qu'à Entreroches.

d) *Le drainage.* — Celui de cet aquifère s'effectue essentiellement vers le nord-est par un processus identique à celui de la nappe d'Entreroches. Des « puits » percent le toit imperméable des limons crayeux

Tableau No 23. — TEMPÉRATURES SEMESTRIELLES ET ANNUELLES MOYENNES DE QUELQUES PUITS (1965-1966)

X - XII	I - III	IV - VI	VII - IX	Année
	1. Entreroches (2 - 2)			
10.5	9.3	9.9	11.6	10.2
	2. La Bernoise (2 - 4)			
10.3	8.7	10.1	11.6	10.2
	3. Planches de l'Ile (3-19)			
10.7	9.3	11.0	12.3	10.8
	4. Prés à Jaunin (3 - 10)			
10.4	9.0	10.8	13.1	10.8
	5. Moulins Rod (3 - 20)			
11.1	10.0	9.5	10.0	10.2
	6. Nestlé 1948 (3 - 21)			
11.5	11.1	11.2	11.9	11.4
	7. E.P.O. (4 - 69)			
10.0	9.4	10.5	11.0	10.2
	8. Fontaine à Fondraz (4-4)			
10.5	-	-	10.1	-
	9. L'Island (2 - 24)			
11.0	7.5	8.9	11.9	9.8

et déversent l'eau sous pression dans les tourbes de Bochuz et de Champ-Roux principalement, elles-mêmes drainées par des collecteurs qui coulent dans le canal Occidental. Lors des travaux de réfection de ce canal en 1967, les ouvriers ont percé, sans le vouloir, la couche de limons et ont ainsi provoqué la formation d'une série de « puits » artificiels qui se déversent directement dans le canal. L'analyse chimique de l'eau de l'un d'eux a été présentée et discutée précédemment. Remarquons que, grâce à la présence de ces exutoires naturels disséminés, la circulation de l'eau de la nappe peut s'effectuer sans trop d'entraves, même dans la partie aval de l'aquifère, ce qui a pour conséquence première de maintenir un taux d'oxygénation tolérable. Il est donc indispensable de maintenir ces « puits » en activité, voire même de faciliter celle-ci, sous peine de voir se dégrader rapidement le chimisme des eaux de la partie aval de ces formations aquifères alluviales.

Le Nozon et le Talent ne drainent pas le cône de l'Orbe : le radier de leur lit est situé plusieurs décimètres au-dessus de la surface piézométrique. Ils sont taillés dans des limons épais et très peu perméables qui forment le toit de l'aquifère, captif sur sa périphérie orientale. Par contre, nous avons considéré, sans preuves absolues, que le canal Oriental constitue un axe de drainage important. C'est le cas en tout cas pour les formations superficielles et en période de crue.

En ce qui concerne l'Orbe, son lit est situé au moins un mètre au-dessus du niveau maximum de la nappe aux différents puits et est parfaitement colmaté sur tout le tronçon canalisé. Le régime de cette rivière reste donc sans influence sur celui des nappes de la plaine ainsi que nous l'avons déjà signalé.

L'exhaure représente pour l'ensemble de la nappe un volume journalier de plus de 5200 m^3 (Moulins Rod, 350 m^3/j., Nestlé 3750 m^3/j., LINOR ?, EPO 1100 m^3/j.), soit un débit permanent voisin de 60 l/s. Les débits pompés représentent donc un volume nettement supérieur à celui des précipitations efficaces.

e) *La conductivité électrique des eaux (400 · 10^{-6} mhos/cm. - 900 · 10^{-6} mhos/cm.).* — Elle présente une étendue de variation plus grande que dans le cône d'Entreroches. L'analyse comparative de ses variations et de celles de la température et des niveaux piézométriques (figure No 23) confirme ce que nous avons exposé au sujet de l'alimentation de cette nappe. Soulignons d'abord le fait intéressant que pour tous les puits et piézomètres de la partie amont du cône, la variation de Ke est l'inverse de celle du niveau piézométrique, ce qui signifie que la conductivité diminue lorsque la nappe est alimentée. Le léger décalage généralement visible provient probablement du fait que le niveau piézométrique varie simplement sous l'effet d'une onde de crue alors que les valeurs de Ke dépendent de la salinité de l'eau au point de mesure.

Dans le Nozon, on observe que les variations de Ke sont fonction du drainage de la nappe puisqu'elles décroissent dès le début de la crue jusque peu après la pointe pour augmenter lors de la vidange des nappes latérales lors des bas niveaux du cours d'eau.

Une autre constatation intéressante est l'augmentation de la conductivité du Nozon au piézomètre 3-35, puis de là au piézomètre 3-37 et au puits 3-38, et sa diminution en direction de Nestlé et des EPO.

f) *Les températures.* — Elles sont très régulières et voisines de 11° C aux puits 3-21 et 4-69, où les écarts sont cependant légèrement plus importants. Le tableau No 23 donne les moyennes semestrielles et annuelles de la température dans les différents puits des alluvions de la plaine. On observe qu'elles sont toutes supérieures à 10° C en moyenne annuelle, mais les écarts sont très variables, maximum aux Prés-à-Jaunin (3,1° C) et minimum à Nestlé (0,8° C). La dispersion est plus élevée pendant les mois d'été (juin a fin août) et l'hiver (novembre à janvier), beaucoup plus faible pendant les mois de transition (septembre-octobre et mars-avril).

g) *La perméabilité des alluvions.* — Elle est tout aussi mal connue qu'à l'amont de la plaine. De la même manière que précédemment, nous avons pu la calculer dans certains cas favorables. Notamment au cours de récents essais de pompage exécutés sur la propriété des EPO, dans le sondage 4-74 (531.97/176.08). Les valeurs calculées du coefficient de perméabilité k sont reportées au tableau No 24. A l'exception du puits des Moulins Rod, les perméabilités du cône de l'Orbe sont relativement élevées, du même ordre de grandeur que dans l'aquifère d'Entreroches.

3. *Partie aval de la plaine*

A l'aval du cône de l'Orbe, les alluvions quaternaires se caractérisent par la rareté des éléments grossiers. Les seules zones à perméabilité relativement élevée que l'on connaisse sont celles qui ceinturent par l'ouest et le nord-ouest la colline de Chamblon (elles n'ont été exploitées qu'à Mathod) et la région du bas des Monts-Grands-Carroz, reconnue par les piézomètres de l'autoroute.

Dans cette zone orientale, nos connaissances sont extrêmement réduites et nous nous bornerons à constater l'alimentation, assez importante semble-t-il, des versants molassiques (Chattien moyen et supérieur) de la région Ependes - La Brasserie-d'Yverdon dans les alluvions souvent faiblement perméables (cas d'Ependes). Les eaux y sont probablement très séléniteuses et dures à cause de la proximité des calcaires lacustres du Chattien moyen. Les écoulements sont de type radial divergent à profil fortement parabolique. Les variations des niveaux piézométriques sont inférieures au mètre en général, mais peuvent dépasser légèrement cette valeur au pied du versant, entre la Planche et le Bas-des-Monts.

Si notre hypothèse d'une alimentation liée aux circulations de type karstique dans les bancs des calcaires lacustres du Chattien moyen pouvait être vérifiée, le bassin versant serait constitué par tout le synclinal à cœur aquitanien (environ 20 km^2) dont l'axe, à peu près parallèle à la plaine, passe légèrement au sud-est de Suchy. Dans la vallée du Buron, il est recoupé par de nombreux accidents qui accentuent son ensellement et pourraient contrôler ses circulations souterraines.

Tableau No 24. — PERMÉABILITÉ DES ALLUVIONS GRAVELEUSES EN QUELQUES PUITS
Perméabilités calculées k (cm/s)

Nom	R = 50 m.	R = 500 m.	Q moy. l/min.	Δ moy. (m)
Entreroches (2-2)	$3.9.10^{-1}$	$5.4.10^{-1}$	1'500	0.65
La Bernoise (2-4)	$1.6.10^{-1}$	$2.3.10^{-1}$	1'000	0.96
Planches de l'Ile (3-19)	$1.0.10^{-2}$	$1.4.10^{-2}$	550	0.95
Prés à Jaunin (3-10)	$1.0.10^{-3}$	$1.4.10^{-2}$	250	3.02
Moulins Rod (3-20)	$1.4.10^{-2}$	$2.0.10^{-2}$	200	2.58
LINOR (4-54)	$2.6.10^{-1}$	$3.5.10^{-1}$	5'300	1.78
S. ORBE 1 (4-62)	$5.4.10^{-1}$	$6.6.10^{-1}$	1'500	1.87
S. ORBE 2 (4-63)	$1.1.10^{-1}$	$1.5.10^{-1}$	1'500	2.06
S. E.P.O. 5 (4-74)	$5.9.10^{-1}$	R=env. 150m.	1'900	0.95

Le centre de la plaine est inconnu. Le tracé des courbes a été dicté par la disposition des drainages superficiels et les niveaux d'eau des canaux aux exutoires du bassin à Yverdon.

Dans la région du Châtelard, au nord-est de Treycovagnes, une dépression piézométrique se marque constamment au piézomètre 7-9. Indique-t-elle des pertes en profondeur ou plus simplement un axe de drainage comme nous l'avons supposé ? Il est impossible pour l'instant de répondre autrement qu'en constatant que cet endroit se trouve sur le tracé des accidents du Chamblon. Mais on voit mal quelle serait la destination de telles pertes.

Les aquifères de Mathod et du vallon du Bey-Montagny ne sont guère mieux prospectés et les renseignements concernant les sondages sont pratiquement inexistants. Un récent forage exécuté dans les marais de Mathod (533.67/179.81) pour augmenter la production de l'ancien captage de la Fontaine-à-Fondraz constitue, en fait, une hérésie hydrologique. Le tube crépiné (diamètre 0,3 m.) n'atteint pas le substratum imperméable, mais débute déjà dans les tourbes sus-jacentes qu'il traverse sur près d'un mètre. Il en résulte qu'en temps normal, lorsqu'on ne pompe pas, l'eau de l'aquifère inférieur sous pression se déverse dans les tourbes à la manière des « puits ». Au contraire, si l'on pompe, ce sont les eaux des tourbes qui vont se déverser partiellement dans l'aquifère inférieur dès que le rabattement sera suffisant. Cette anecdote citée, ajoutons que des essais de pompage rudimentaires ont été si mal exécutés en 1962 qu'il est impossible de calculer un coefficient de perméabilité valable.

En décembre 1965 et en janvier 1966, pendant les périodes de hautes eaux, ce nouveau forage était jaillissant (altitude du déversement 437.70, altitude du sol 437.15). Des gravillons de 1-3 mm. de diamètre étaient entraînés de la profondeur. Cet artésianisme témoigne à notre avis de l'origine karstique de l'alimentation de la nappe, le bassin versant molassique présumé ne pouvant donner lieu à de pareils phénomènes. Les infiltrations karstiques auraient lieu en profondeur probablement dans la région du Moulinet, à proximité immédiate des versants du Chamblon. Il en résulterait alors que l'aquifère sous-jacent des alluvions, captif, s'écoulerait de part et d'autre de la zone d'émergence, en direction de Mathod et du Moulin-Chappuis. Ainsi un seuil hydraulique existerait dans la région du Moulinet à la cote 438 environ, ainsi que l'ont révélé trois sondages (535.06/181.85 - 535.05/181.85 - 535.05/181.84) exécutés dans la carrière sitée à 300 m. à l'est des résurgences du Moulinet. Les décharges de cet aquifère se feraient au sud-est comme au nord-est par l'intermédiaire des « puits ». Nous n'avons jamais eu l'occasion d'en observer dans cette région, mais rien ne s'oppose à leur formation, si courante plus au sud. Nous savons en outre que la Fontaine-à-Fondraz a été captée au début du siècle sur l'émergence d'un de ces puits particulièrement productif, que l'on avait appelé la Fontaine-Froide.

Nous pouvons résumer ainsi les observations et hypothèses formulées dans ce paragraphe :

1. Les alimentations sont essentiellement d'origine karstique, par diffusion souterraine, dans les alluvions perméables des aquifères d'Entreroches (Bavois), d'Orbe et du vallon du Bey, le long du flanc occidental de la plaine. Elles sont moins abondantes et plus localisées au pied du versant oriental où les circulations dans les formations molassiques sont plus difficiles et plus lentes. Le déversement des eaux des calcaires lacustres illustrera de façon précise l'importance des circulations dans ces horizons lorsqu'il aura été prouvé. Les précipitations contribuent à l'alimentation des aquifères, notamment des

Figure No 23. — Caractéristiques de quelques points de contrôle de l'aquifère d'Orbe.

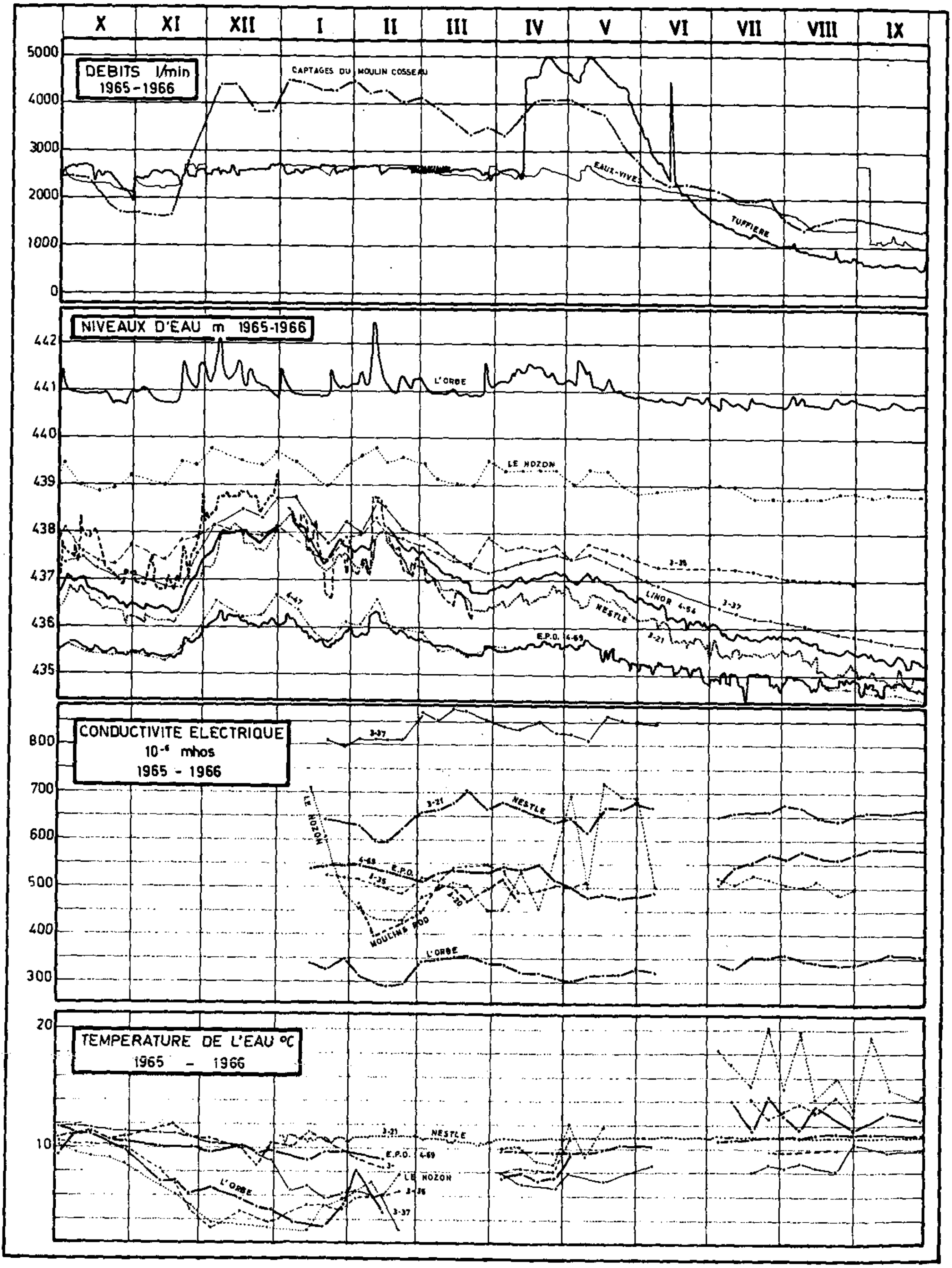


Tableau No 25. — ALTITUDES (m.) MENSUELLES ET ANNUELLES MOYENNES DU TOIT DE LA NAPPE. FLUCTUATIONS (1.X.1965 - 30.IX.1966)

Puits ou Piézomètres	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Année	Fluctuations annuelles			
														Alt.max.(mois)	Alt.min.(mois)	Int.var. max	Int.var. intermens.
Entreroches (2-2)	439.84	439.76	440.91	441.08	440.92	440.36	439.99	440.10	439.67	439.13	438.96	438.76	439.96	441.30 (01)	438.64 (09)	2.66	2.32
Entreroches*	439.28	439.36	439.60	439.84	439.95	440.07	440.15	439.83	439.56	439.31	439.20	439.20	439.61	-	-	-	-
La Bernoise (2-4)	439.46	439.46	440.02	440.10	440.08	439.72	439.56	439.54	439.25	439.02	438.82	438.66	439.47	440.40 (01)	438.58 (09)	1.82	1.44
L'Island (2-24)	439.20	439.75	441.50	441.05	441.10	440.35	439.65	440.40	440.20	439.70	439.05	438.60	439.88	441.90 (02)	438.12 (09)	3.78	2.90
Planches de l'Ile (3-19)	439.30	439.32	439.75	439.73	439.70	439.55	439.37	439.40	439.15	438.92	438.75	438.55	439.29	439.95 (12-01)	438.50 (09)	1.45	1.20
Prés à Jaunin (3-10)	440.60	440.50	441.07	440.95	440.95	440.55	440.37	440.55	440.23	439.95	439.75	439.60	440.42	441.30 (12)	439.50 (09)	1.80	1.47
Canal d'Entreroches (531.95/171.18)	437.80	437.85	437.75	437.60	437.67	437.50	437.60	437.70	437.65	437.75	437.40	437.40	437.64	438.05 (05-06)	437.40 (03)	0.65	0.45
Nozon (531.03/170.44)	439.10	439.27	439.60	439.30	439.60	439.20	439.27	439.13	438.90	438.85	438.80	438.82	439.15	439.80 (12-02)	437.82 (05-06)	1.98	0.80
Piézomètre (3-37)	437.25	437.08	438.35	438.23	438.25	437.50	437.40	437.35	436.75	436.25	435.95	435.70	437.17	438.78 (01)	435.60 (09)	3.18	2.65
Moulins Rod (3-20)	436.51	436.21	437.66	437.61	437.66	-	-	-	-	-	-	-	-	438.76 (01)	-	-	-
Nestlé 1948 (3-21)	436.50	436.37	437.84	437.74	437.57	436.81	436.65	436.57	435.92	435.52	435.27	434.97	436.48	438.32 (01)	434.75 (09)	3.57	2.87
LINOR (4-54)	436.73	436.63	437.88	437.70	434.80	437.10	437.00	436.90	436.30	435.90	435.65	435.30	436.74	438.10 (01)	435.15 (09)	2.95	2.58
E.P.O. (4-69)	435.50	435.50	436.15	435.90	435.98	435.57	435.62	435.50	435.12	434.90	434.90	434.75	435.45	436.35 (02)	434.48 (08)	1.87	1.40

* Valeurs moyennes mensuelles interannuelles (1.X.1959 - 30.IX.1966).

tourbes superficielles. Les cours d'eau tels que la Thielle, le Talent, le Mujon et le cours inférieur du Nozon ne participent pas aux apports souterrains.

2. L'axe de drainage principal est représenté dans la plaine par le canal d'Entreroches-Oriental dédoublé dans sa partie aval par le canal Occidental. La dépression du Bey est drainée par le ruisseau du même nom. Les décharges naturelles des nappes souterraines alluviales procèdent toutes du même mécanisme : elles s'écoulent par des « puits » sous pression dans les tourbes sus-jacentes. Cette particularité contribue à maintenir un taux d'oxygénation de l'eau tolérable.
3. La perméabilité générale des alluvions de la plaine est faible, mais des horizons plus grossiers, plus ou moins lenticulaires, se relaient au sein de l'énorme masse de limons très peu perméables. L'eau de ces formations circule très lentement et acquiert des propriétés chimiques qui la rendent généralement non potable (Chavornay, marais du Suchy, etc...). Seuls trois grands complexes aquifères graveleux, alimentés par voie karstique, présentent des propriétés physico-chimiques acceptables.
4. La période moyenne de hautes eaux des nappes s'étend de fin novembre à fin mars avec quelques récurrences jusqu'à la fin juin, dues à la fonte des neiges dans le Jura. L'étiage se prolonge de juillet à novembre (cf. tableau No 25).

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

ANNALES DE LA CENTRALE SUISSE DE MÉTÉOROLOGIE. — Zurich.

ANNUAIRE HYDROGRAPHIQUE DE LA SUISSE. — Office fédéral de l'économie hydraulique.

AUBERT D. (1932). — *Un niveau à Exogyra virgula Defr. à la vallée de Joux.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 57, No 229.

AUBERT D. (1943). — *Monographie géologique de la vallée de Joux*, 1 : 25 000. Atlas géol. Suisse.

AUBERT D. (1963). — *Notice explicative feuille 1202, Orbe*, 1 : 25 000. Atlas géol. Suisse.

BERSIER A. (1938). — *Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat.* Bull. Lab. géol. Univ. Laus., No 63.

BERSIER A. (1953). — *Notice explicative feuille Jorat*, 1 : 25 000. Atlas géol. Suisse.

BERSIER A. et BADOUX H. (1937). — *Une formation éolienne subdésertique dans le sidérolithique du Mormont.* Eclog. geol. Helv., vol. 30, 2.

BOURDIER F. (1961). — *Le bassin du Rhône au quaternaire - Géologie et préhistoire.* Tomes I-II. Editions C.N.R.S.

BRAEM F., SARTORY J., RINDLISBACHER J. (1920). — *Bassin de l'Aar depuis les sources de l'Orbe jusqu'au Rhin.* Première partie. Dépt. féd. de l'int. Résultats du Service des eaux.

BURGER A. (1959). — *Hydrogéologie du bassin de l'Areuse (Jura suisse).* Assoc. int. Hydrogéol. Paris. Monographie, 1. Bull. Soc. neuch. géogr., tome 52, 1, N.S. 11.

BURRI F. et M. et Weidmann M. (1968). — *Les graviers de Bioley-Orjulaz.* Bull. Lab. géol. Univ. Laus., No 171.

CAROZZI A. (1948). — *Etude stratigraphique et micrographique du Purbeckien du Jura suisse.* Arch. sciences, Genève, vol. 1, 2.

CUSTER W. (1928). — *Etude géologique du pied du Jura vaudois.* Mat. carte géol. Suisse, N.S., 59e livr.

FALCONNIER A. (1931). — *Etude géologique de la région du col du Marchairuz.* Mat. carte géol. Suisse, N.S., 27e livr.

FAVINI G. C. (1966). — *La résistivité électrique des molasses.* Bull. Lab. géol. Univ. Laus., No 162.

GEOTEST (1967). — *Commune d'Orbe - Station d'épuration des eaux usées* - Etude géotechnique, rapport No 67 408.

GEOTEST (1969). — *Etablissements de la Plaine de l'Orbe - forage de reconnaissance.* Etude géotechnique, rapport No 68 427.

HORTON H. E. (1945). — *Erosional developments of streams and their drainage basins ; hydrophysical approach to quantitative morphology.* Geol. Soc. Am. Bull., vol. 56.

JACCARD A. (1869). — *Description géologique. Jura vaudois et neuchâtelois.* Mat. carte géol. Suisse, 6e livr.

JAECKLI H. (1949). — *Canal d'Entreroches : Geologische Verhältnisse in der Orbe-Ebene zwischen Mormont und Yverdon.* Gutachte von 24.11.1949 (mit 6 Beilage) an den Schweiz Rhone-Rhein-Schiffartsverband (manuscrit). Office fédéral de l'économie hydraulique, Berne.

JAECKLI H. (1950). — *Untersuchungen in den nacheiszeitlichen Ablagerungen in der Orbe-Ebene zwischen dem Mormont und Yverdon.* Eclog. geol. Helv., vol. 43, 1.

JAYET A. (1862). — *Notice sur la plaine de l'Orbe, plus carte.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 7, p. 290.

JORDI H. (1955). — *Geologie der Umgebung von Yverdon. Jurafuss und mittelländische Molasse.* Mat. carte géol. Suisse, N.S., 99e livr.

JOUKOWSKY E. et LAGOTALA H. (1922). — *Une vallée préwürmienne aux environs de La Sarraz.* Arch. sc. phys. nat., Genève, vol. 4.

KELLER G. V. et FRISCHKNECHT F. C. (1966). — *Electrical methods in geophysical prospecting.* Pergamon Press. International Series of Monographs in Electromagnetic Waves, vol. 10.

LUDI W. (1935). — *Das grosse Moos.* Veröffentlichung des Geobotanischen Institutes Rübel im Zürich, 11. Heft.

LUGEON J. (1928). — *Précipitations atmosphériques, écoulement et hydroélectricité.* Publ. Inst. féd. météo. et de l'Ass. suisse pour l'aménagement des eaux. Fasc. 16. La Baconnière, Neuchâtel.

LUGEON M. (1897). — *Leçon d'ouverture du cours de géographie physique professé à l'Université de Lausanne.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 33.

MAILLARD G. (1884). — *Etude sur l'étage purbeckien dans le Jura.* Diss. Univ. Zürich, Zürcher und Fürrer.

MERCIER P. et FERRAND (1962). — *Etude géologique et géophysique d'Orny - Plan-Manin.* Rapport B.E.G.G., mai 1962, Genève. Arch. comm. Chavornay.

MERMIER E. (1923). — *Sur l'existence de gorges prêwürmiennes dans le Mormont (canton de Vaud).* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 55.

MEYER DE STADELHOFEN C. (1964 a). — *Etude géoélectrique du cône de l'Orbe.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 68, 314 ; Bull. Lab. géol. Univ. Laus., No 147.

MEYER DE STADELHOFEN C. (1964 b). — *Note préliminaire au sujet de l'étude géoélectrique la la plaine du Rhône.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 68, No 314 ; Bull. Lab. géol. Univ. Laus., No 147.

NOLTHENIUS T. (1921). — *Etude géologique des environs de Vallorbe.* Mat. carte géol. Suisse, N.S., 43e livr.

PETITPIERRE B. et REGAMEY P. (1955). — *La mise en valeur de la plaine de l'Orbe.* Schw. Bauzeitung, 73e année, No 21.

RAVEN Th. (1932). — *Etude géologique de la région de Morez-Les Rousses (Jura).* Trav. Lab. géol. Faculté des sciences Lyon ; fasc. XX, mémoire 17.

REGAMEY P. (1943). — *Etude de quelques écoulements souterrains et superficiels dans les sols assainis.* La Concorde, Lausanne.

RITTENER T. (1902). — *Etude géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Sainte-Croix et Baulmes.* Mat. carte géol. Suisse, N.S., 13e livr.

SCHARDT H. (1880). — *Molasse rouge et terrain sidérolithique du pied du Jura.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 16, No 83.

SCHARDT H. (1888). — *Les sources du Mont-de-Chamblon.* Bull. Soc. vaud. sc. nat., vol. 23.

SCHARDT H. (1896). — *Nouveaux gisements de terrain cénomanien et de Gault dans la vallée de Joux.* Eclog. geol. Helv. 4. Act. Soc. helv. sc. nat., 78e session.

SCHARDT H. (1898). — *Notice sur l'origine des sources vauclusiennes du Mont-de-Chamblon.* Bull. Soc. neuch. sc. nat., vol. 26.

SCHARDT H. (1903). — *Considérations sur le parallélisme des niveaux du Dogger dans le Jura neuchâtelois et vaudois.* Mél. géol. Bull. Soc. neuch. sc. nat., tome 31.

SCHARDT H. (1906). — *Note complémentaire sur l'origine du lac de Neuchâtel et des lacs subjurassiens.* Mél. géol. sur le Jura neuchâtelois et les régions limitrophes. Bull. Soc. neuch. sc. nat., tome 33.

SPRECHER C. (1913). — *Beitrag zur Kenntnis der Querstörung Mollens-Vallorbe-Pontarlier.* Inaug. Diss. Phil. Fak. Bern.

TURC L. (1954). — *Le bilan d'eau des sols. Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement.* C.R. trois journ. de l'hydraul., Alger.

UTTINGER H. (1949). — *Les précipitations en Suisse.* Guide de l'économie hydraulique et de l'électricité de la Suisse, vol. 2, 3e éd.

VANCON J.-P. (1966). — *Méthode d'étude des débits par corrélation.* Bull. Ass. int. hydr. sc. XIe an., No 3 (sept. 66).

WUNDT W. (1953). — *Gewässerkunde.* Sprüger Verlag, Berlin.

Cette liste bibliographique comprend exclusivement les ouvrages cités dans le texte. Elle ne prétend pas épuiser la série de titres se rapportant à l'hydrologie générale ou à celle du territoire étudié.

CARTES GÉOLOGIQUES CONSULTÉES

Atlas géologique de la Suisse (A.G.S.)
(échelle 1 : 25 000)

AUBERT D. (1941). — *Vallée de Joux*. Base topographique : carte Siegfried, feuilles Nos 288, 297, 297 bis, 298, 299, annexes 291 et 300. A.G.S., No 17.

AUBERT D. (1963). — *Orbe*. Base topographique : carte nationale de la Suisse, feuille No 1202. A.G.S., No 42.

BERSIER A. (1952). — *Jorat*. Base topographique : carte Siegfried, feuilles Nos 304, 305, 306, 307. A.G.S., No 27.

CUSTER W. et AUBERT D. (1935). — *Cossonay*. Base topographique : carte Siegfried, feuilles Nos 300, 301, 302, 303, annexe 304. A.G.S., No 5.

FALCONNIER A. (1950). — *Marchairuz*. Base topographique : carte Siegfried, feuilles Nos 430, 431, 431 bis, 432, 433, annexes 436, 436 bis, 443. A.G.S., No 25.

LAGOTALA H. (1919). — *Saint-Cergue-La Dôle*. Base topographique : carte Siegfried, feuilles Nos 431 bis, 432, 441, 442. Mat. carte géol. Suisse, N.S., 46e livr., 4e partie.

NOLTHENIUS A. B. T. (1921). — *Environs de Vallorbe*. Base topographique : carte Siegfried, feuilles Nos 288, 289, 290, 291, 292, 297, 300, 301, 302. Mat. carte géol Suisse, N.S., 48e livr., 1re partie.

RITTENER T. (1902). — *Côte-aux-Fées et environs de Sainte-Croix*. Base topographique : Atlas topographique de la Suisse. Mat. carte géol. Suisse, N.S., 13e livr., carte spéciale No 30.

Carte géologique générale de la Suisse (A.G.S.) (échelle 1 : 200 000). Base topographique : Carte générale de la Suisse 1 : 250 000 agrandie au 1 : 200 000.

Feuille No 1 (1944) Neuchâtel.

Feuille No 5 (1948) Genève-Lausanne.

Cartes spéciales

NOË G. DE LA et MARGERIE E. DE (1905). — *Carte structurale du Jura* (échelle 1 : 400 000). Allure de la surface supérieure de l'étage portlandien supposé continu. Service de la carte géologique de France.

JACOT GUILLARMOT Ch. (1909). — *Carte des bassins fermés du Jura suisse*, feuille 1 (échelle 1 : 100 000). Service topographique fédéral, Berne.

UTTINGER H. (1949). — *Les précipitations en Suisse (1901-1940)*.

Carte pluviométrique publiée dans le Guide de l'économie hydraulique et de l'électricité de la Suisse, vol. 2, 3e éd.

PUBLICATION N°11

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE L'ORBE

Par Michel Petch

PLANCHES

15 PLANCHES :

PLANCHE 1 : 2 FEUILLES
PLANCHE 2 : 4 FEUILLES
PLANCHE 3 : 3 FEUILLES
PLANCHE 4 : 4 FEUILLES
PLANCHE 5 : 3 FEUILLES
PLANCHE 6 : 3 FEUILLES
PLANCHE 7 : 3 FEUILLES
PLANCHE 8 : 3 FEUILLES
PLANCHE 9 : 3 FEUILLES
PLANCHE 10 : 2 FEUILLES
PLANCHE 11 : 2 FEUILLES
PLANCHE 12 : 5 FEUILLES
PLANCHE 13 : 2 FEUILLES
PLANCHE 14 : 3 FEUILLES
PLANCHE 15 : 3 FEUILLES

BASSIN VERSANT
de la
PLAINE DE L'ORBE

PL.1

carte géologique schématique

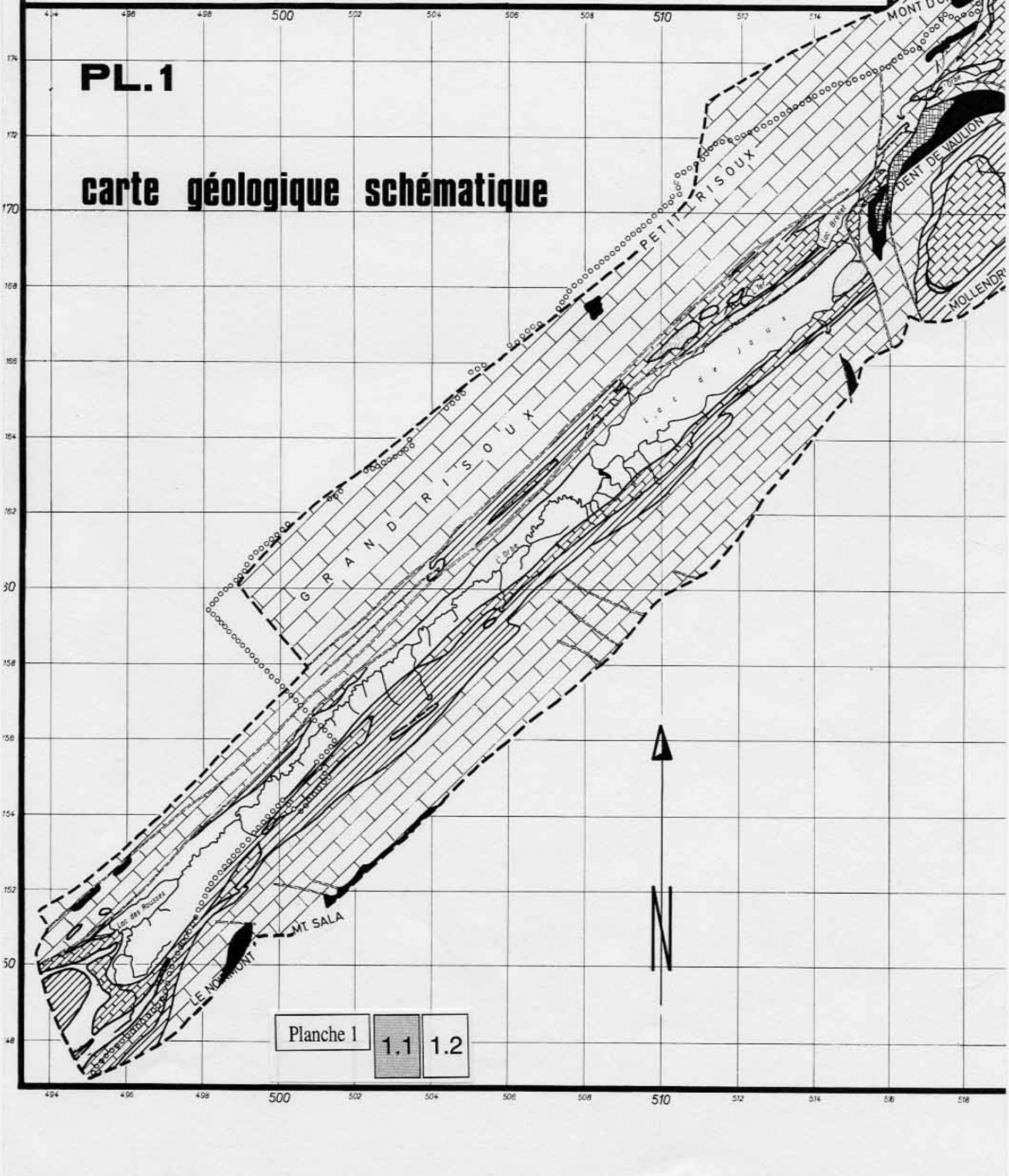

MONT D'O
DENT DE VAULION
MOLLENDR
PETIT RISOUX
GRAND RISOUX
Lac Brenet
Ter
Lac de Joux
l'Orbe
Lac des Rousses
MT. SALA
LE NOIRMONT
N
494
496
498
500
502
504
506
508
510
512
514
516
518
174
172
170
168
166
164
162
160
158
156
154
152
150
148

Planche 1 | 1.1 | 1.2

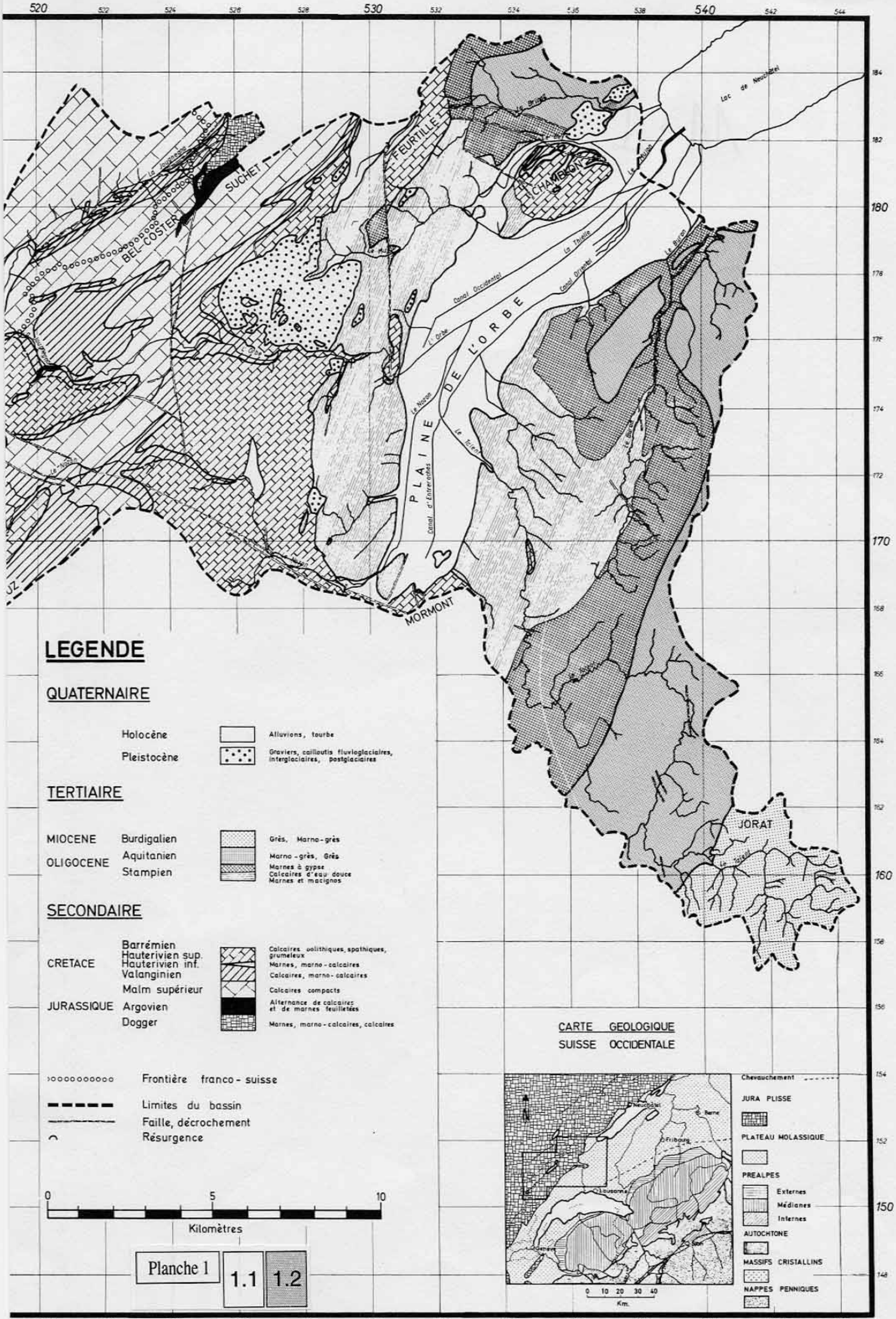
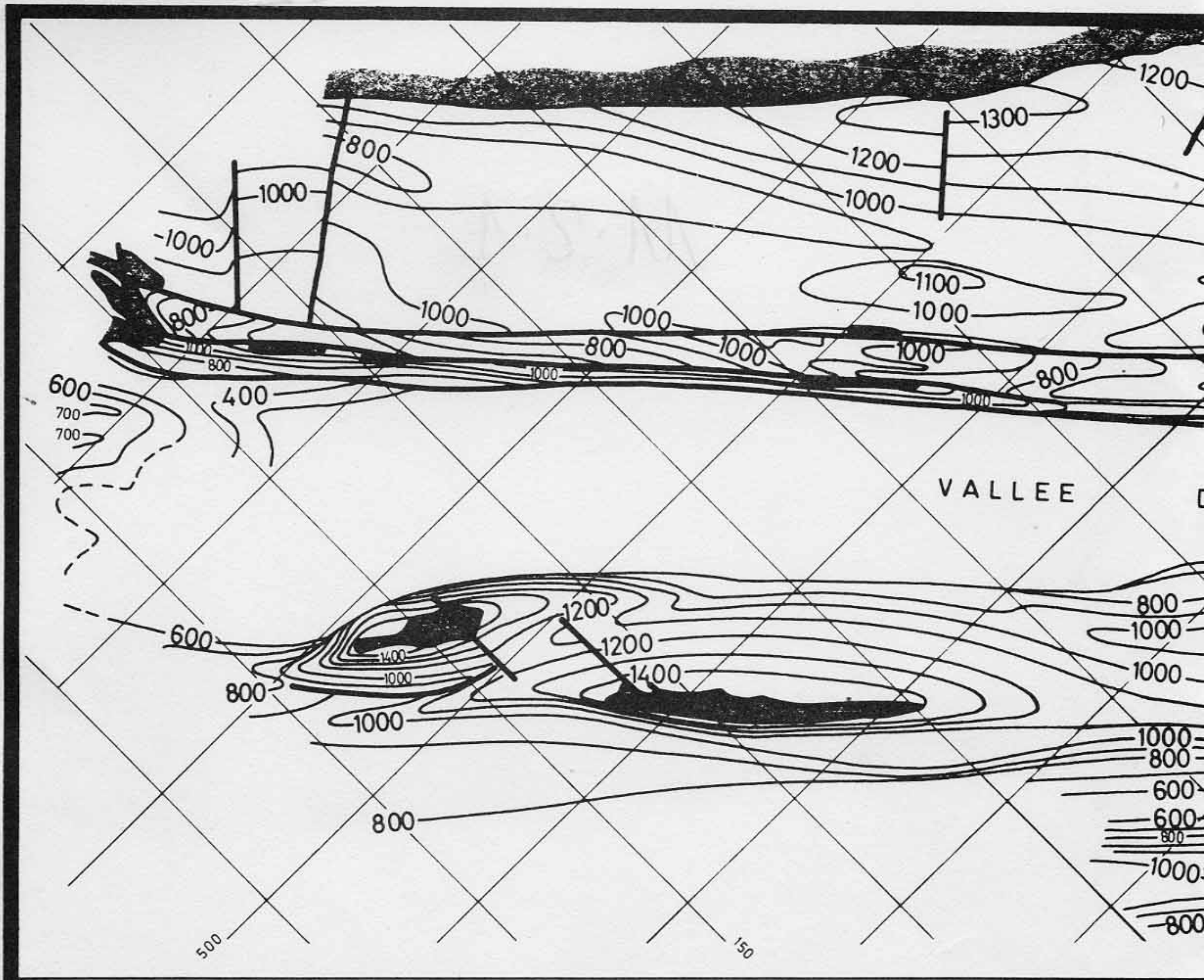

520
522
524
526
528
530
532
534
536
538
540
542
544
184
182
180
178
176
174
172
170
168
166
164
162
160
158
156
154
152
150
148
Lac de Neuchâtel
FEURTILLE
CHAMBLON
SUCHET
BEL-COSTER
PLAINE DE L'ORBE
Canal Occidental
Canal Oriental
Canal d'Entreroches
L'Orbe
La Thièle
Le Buron
Le Mujon
Le Nozon
Le Talent
Le Brinaz
MORMONT
JORAT
LEGENDE
QUATERNAIRE
Holocène
Alluvions, tourbe
Pleistocène
Graviers, cailloutis fluvioglaciaires, interglaciaires, postglaciaires
TERTIAIRE
MIOCENE
Burdigalien
Grès, Marno-grès
OLIGOCENE
Aquitanien
Marno-grès, Grès
Stampien
Marnes à gypse
Calcaires d'eau douce
Marnes et macignos
SECONDAIRE
CRETACE
Barrémien
Hauterivien sup.
Hauterivien inf.
Valanginien
Calcaires oolithiques, spathiques, grumeleux
Marnes, marno-calcaires
Calcaires, marno-calcaires
JURASSIQUE
Malm supérieur
Calcaires compacts
Argovien
Alternance de calcaires et de marnes feuilletées
Dogger
Marnes, marno-calcaires, calcaires
Frontière franco-suisse
Limites du bassin
Faille, décrochement
Résurgence
0
5
10
Kilomètres
CARTE GEOLOGIQUE
SUISSE OCCIDENTALE
Neuchâtel
Berne
Fribourg
Lausanne
Genève
Sion
0 10 20 30 40
Km.
Chevauchement
JURA PLISSE
PLATEAU MOLASSIQUE
PREALPES
Externes
Médianes
Internes
AUTOCHTONE
MASSIFS CRISTALLINS
NAPPES PENNIQUES

Planche 1

1.1

1.2


1200
1300
800
1200
1000
1000
-1000
1100
1000
800
1000
1000
800
1000
1000
1000
800
800
1000
600
700
700
400
1000
800
1000
VALLEE
D
800
1200
1000
600
1200
1400
1400
1000
800
1000
1000
1000
800
600
600
800
1000
800
500
150

BASSIN VERSANT DE L'ORBE

carte structurale du toit de l'argo

PL. 2

Planche 2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4

0
5
10
Kilomètres

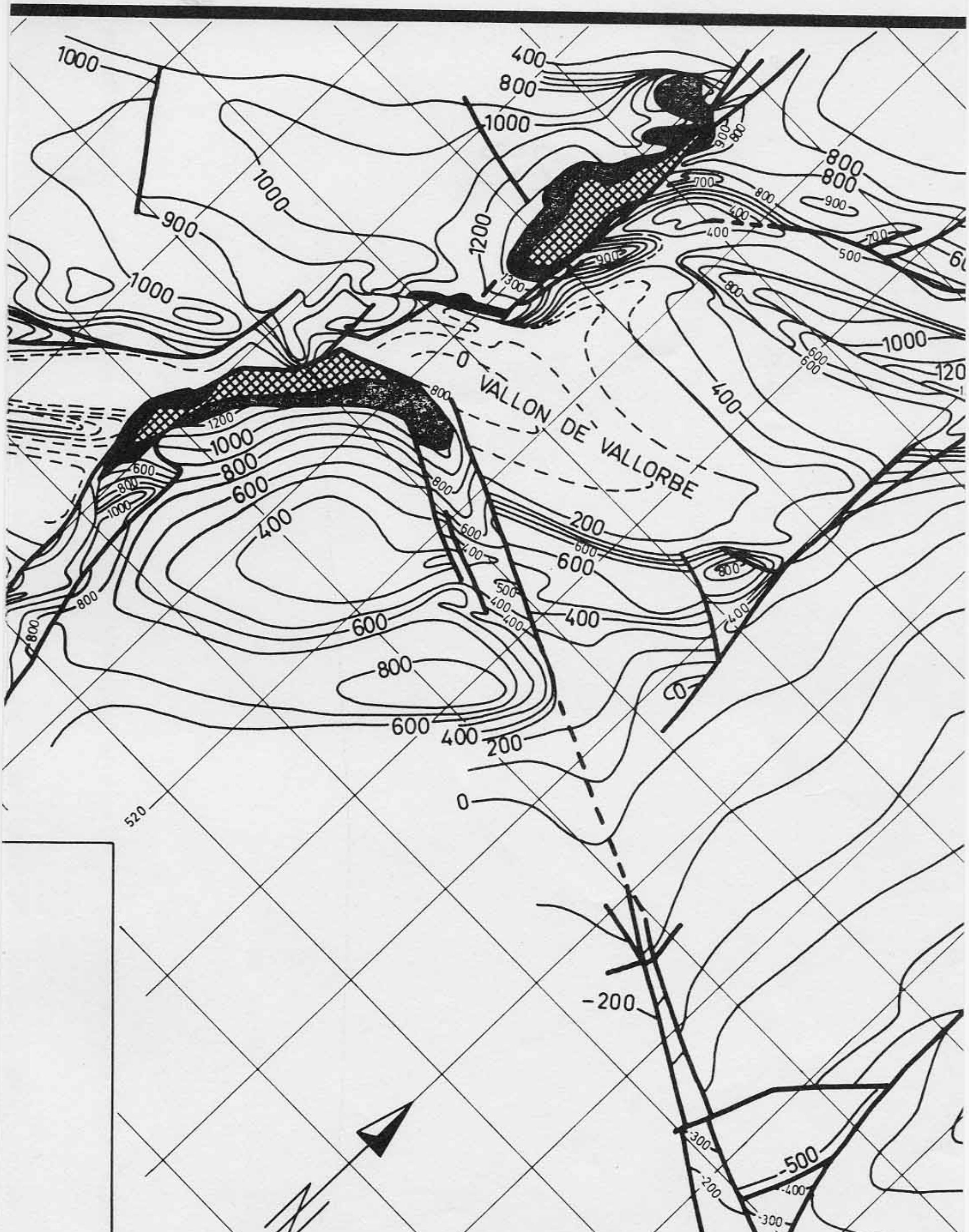
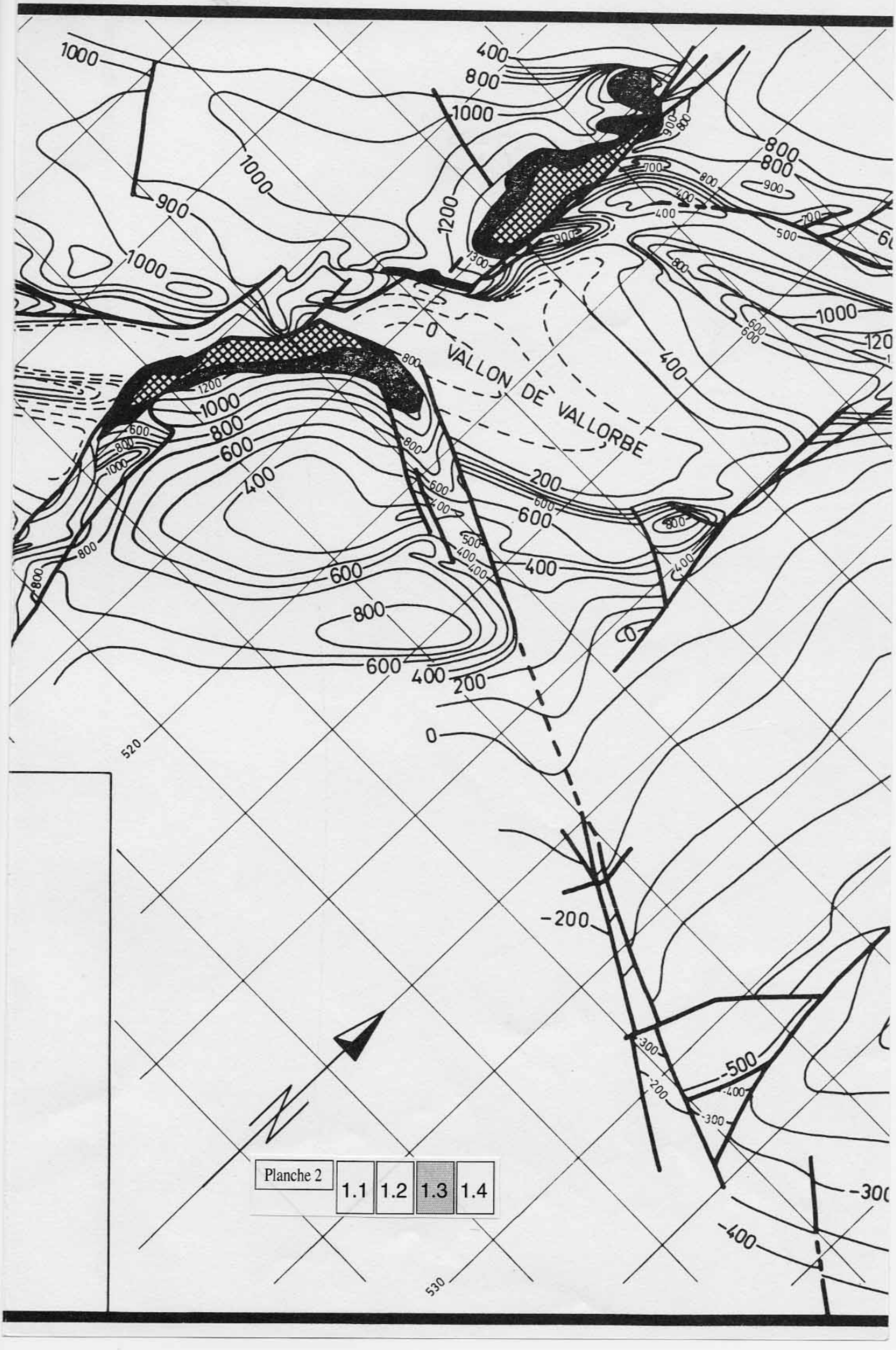

VALLON DE VALLORBE
1000
900
1200
1300
800
700
600
500
400
200
0
-200
-300
-400
-500
520
530

Planche 2
1.1 1.2 1.3 1.4


VALLON DE VALLORBE
1000
900
1000
1000
400
800
1000
1200
1300
900
800
700
800
900
400
400
500
700
800
1000
600
600
400
1200
1000
800
600
400
1200
800
600
800
1000
800
800
800
200
600
600
400
500
400
400
400
800
400
600
800
600
400
200
0
0
0
520
-200
-300
-200
-500
-400
-300
-300
-400
530
Planche 2
1.1
1.2
1.3
1.4

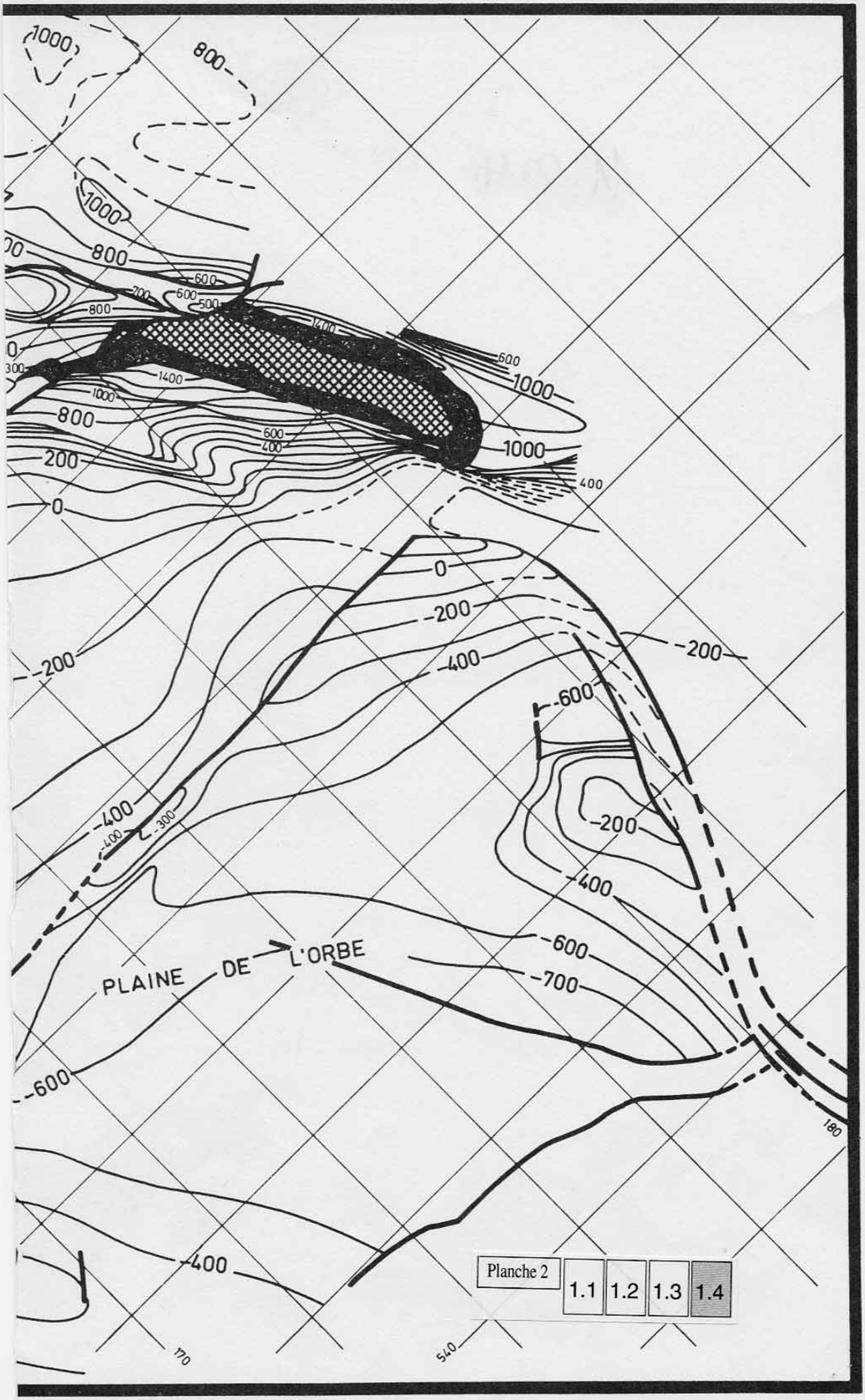

1000
800
1000
800
600
700
600
500
800
1400
1400
600
1000
300
1000
800
600
400
1000
400
200
0
0
-200
-200
-200
-400
-600
-400
-300
-400
-200
-400
-600
-700
PLAINE DE L'ORBE
-600
-400
170
540
180

Planche 2 1.1 1.2 1.3 1.4

PLANCHE N.3

RESUME LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'ORBE

ère secondaire système jurassique

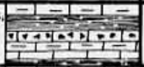
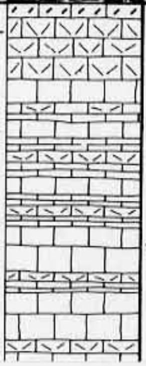
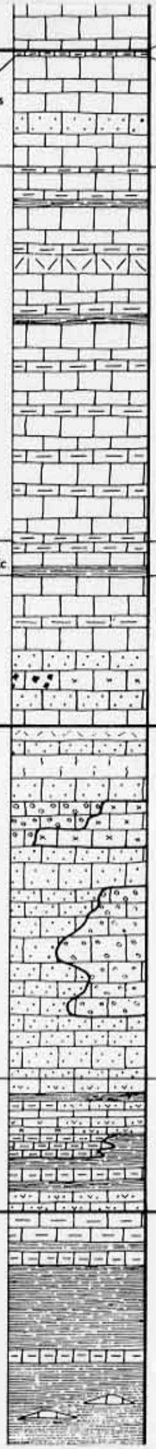
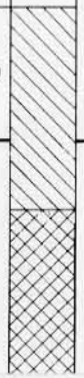
SERIES	ETAGES	UNITES LITHOSTRATI-GRAPHIQUES	LITHOLOGIE		Epais-seurs (m)	Per-méa-bilités	Affl. %	LOCALITES	REFERENCES BIBLIO-GRAPHIQUES	DESCRIPTION SOMMAIRE DES AFFLEUREMENTS CITES
	PURBECKIEN		Marnes et calcaires tendres, sombres à niveaux bréchiques et gypseux.		5 - 30	▨		Chemin chez Villard	Aubert D. (1943)	a) Calcaire argileux bréchique, calcaire grenu et brèches à cailloux multicolores. b) Calcaires microgrenus. c) Calcaires bien lités à niveaux chargés de limonite et de grains de quartz.
								Barrage du Day	Aubert D. (1963)	Brèches grossières.
	PORTLANDIEN		Calcaires siliceux, foncés. Calcaires alvéolaires, dolomitiques.		100 - 140			Feurtille	Custer W. (1928)	a) Calcaires b) Calcaire dolomitique (dans lequel est creusé l'entonnoir du Crau).
								Les Clées	Custer W. (1928)	Calcaires dolomitiques plaquetés (40 m.)
			Calcaires plaquetés légèrement dolomitiques					Les Rousses	Raven Th. (1932)	Calcaires en bancs de 0.5 - 1.5 m., pas tout à fait compacts (67 m.)
								Fort du Risoux	Raven Th. (1932)	Calcaires bien lités à intercalations plus grossières (20 - 30 m.)
								Côtes du Sentier	Aubert D. (1943)	Calcaires sublithographiques légèrement marneux à Nérinées et Natices
			Calcaires compacts sublithographiques à intercalations de bancs plus					Lac Brenet	Aubert D. (1943)	Calcaires plaquetés à dendrites.

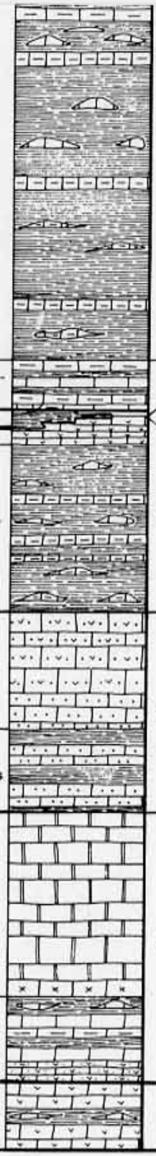
Planche 3

1.1 1.2 1.3





			ou moins dolomitiques.					
MALM	KIMMERIDGIEN	Marnes à Exogyra virgula	Marnes et marno-calcaires	1 - 2		Mont Sallaz - Noirmont Lézat - Morez (hors territoire) Chaumilles	Falconnier A. (1931) Raven Th. (1932) Aubert D. (1932)	Brèches pseudo-oolithiques à rares fossiles mal conservés Alternance de bancs calcaires peu épais à Exogyra virgula (1.4 m.) a) Calcaires marneux jaunes, tendres, riches en débris organiques (0.3 m.) b) Calcaires jaunâtres à plages claires fossilifères (0.5 m.)
		Calcaires supérieurs	Calcaires compacts, parfois accompagnés de bancs oolithiques blanchâtres ou microbréchiques.	30 - 40				
		Complexe marno_calcaire	Ensemble de calcaires compacts et marno-calcaires, par place dolomitiques, à minces niveaux marneux.	100				Remarques: Ces faciès sont souvent difficiles à distinguer sur le terrain. Les brèches pseudo-oolithiques sont particulièrement visibles au sud du décrochement de Vallorbe - Pontarlier. Au nord, elles deviennent sporadiques.
		Marnes du Banné	Marnes et marno-calcaires sombres séparés par bancs calc	- 10	34,5			
		Calcaires inférieurs	Calcaires oolithiques ou compacts.	40-50		Vallon de la Baumine Mont Tendre (Druchaux)	Rittener Th. (1902) Aubert D. (1943)	Massif calcaire peu fossilifère (50 m.) a) Calcaires compacts ou suboolithiques à niveaux marneux très subordonnés (1.7 m.) b) Calcaires légèrement argileux (0.9 m.) c) Calcaires oolithiques (12.5 m.) d) Microbrèche à ciment calcitique (12 m.) e) Calcaires compacts (22 m.)
	SEQUANIEN	Zone à Perisphinctes achilles	Calcaires très variables essentiellement récifaux.	60-150		Creux du Croue Mont Tendre Risoux	Falconnier A. (1931) Aubert D. (1943) Aubert D. (1943)	Calcaires spathiques, récifaux, oolithiques blanc-rosé (100 m.) a) Calcaires argileux alternant avec des calcaires compacts et des marnes (40m.) b) Marno-calcaires et calcaires compacts à minces délits schisteux (17 m.) c) Calcaires blanchâtres récifaux à polypiers (13 m.) a) Calcaires dolomitiques à Mélobésiées (épaisseur variable - 3 - 5 m.) b) Calcaires crayeux oolithiques blancs (- 20 m.) c) Pierre Blanche du Risoux (- 10 m.) d) Calcaires blancs à polypiers (5 - 20m.) e) Oolithe miliaire, calcaire oolithique blanc-rosé (10 - 50m.) Remarques: Tous les passages latéraux et verticaux sont possibles, en parculier dans le Risoux. Les épaisseurs indiquées ne donnent que des ordres de grandeur.
		Zone à Peltoceras bicristatum	Marnes à Céphalopodes au Mont Tendre ou, plus généralement, calcaires compacts ou grossiers très fossilifères	15 - 60		Creux du Croue Petite Têpaz (Risoux) Mont Tendre	Falconnier A. (1931) Aubert D. (1943) Aubert D. (1943)	a) Calcaires grenus et grumeleux jaunâtres (8.5 m.) b) Marno - calcaires et calcaires zoogènes (3.7 m.) c) Calcaires sublithographiques à minces délits schisteux (9.9 m.) d) Marno - calcaires et calcaires grenus gris (11.9 m.) a) Marnes et marno - calcaires (5 m.) b) Calcaires essentiellement spathiques à petites intercalations marneuses (1.9m.) c) Alternance de calcaires "coralligènes, spathiques et de marno-calcaires (2 m.) d) Calcaires spathiques à intercalations marneuses, et marno-calcaires (5.2m.) e) Calcaires spathiques oolithiques (1.2 m.) Alternance de marnes et calcaires légèrement marneux gris sombre (- 50m.)
	IEN		Calcaires marneux			Creux du Croue Aouille	Falconnier A. (1931) Aubert D. (1943)	Ensemble de calcaires sublithographiques alternant avec des marnes schisteuses et grumeleuses. Calcaires légèrement argileux gris - foncé alternant avec des marnes schisteuses sombres, presque stériles.



	ARGOV	Calcaires hydrauliques (Couches d'Effingen)	alternant avec des marnes feuilletées sombres presque stériles.	150-200	▩	0,9			Remarque : Les faciès restent très constants dans tout le bassin.
		Spongitien. (Couches de Birmensdorf)	Calcaires et marno-calcaires grumeleux fossilifères.	15	▩		Vallon de la Baumine Epoisats	Rittener Th. (1902) Aubert D. (1943)	Bancs calcaires alternant avec des marnes grumeleuses fossilifères Bancs calcaires bleu-noir à intercalations de marnes grumeleuses foncées fossilifères.
	OXFORDIEN		Marnes	0 - 7	▩				
DOGGER	CALLOVIEN	Dalle nacrée	Calc. spathiques plaquetés.	50 - 60	▨	0, 6	Epoisats	Aubert D. (1943)	a) Calcaires plaquetés gris-bleu, finement spathiques (Dalle nacrée, 5 - 15m.) b) Marnes bleu-foncé, à patine rouge vif ou violacée et bancs de calcaires gris-sombre à intercalations plus friables, (marnes à Rhynconella varians, - 50m.).
		Marnes à Rhynconella varians (Marnes du Furcil)	Marnes et marno-calcaires		▨				
	BATHONIEN	Grande Oolithe	Calcaires oolithiques spathiques	50 - 70			Vallon de la Baumine Suchet	Schardt H. (1903) Aubert D. (1963)	a) Calcaires oolithiques b) Calcaires échinodermiques à grains fins c) Alternance de marno-calcaires et marnes argileuses grises. d) Marno-calcaires sableux roux a) Calcaires foncés à rognons et fossiles siliceux (Couches de Brot) b) Calcaires oolithiques
		Calcaires et marnes inférieurs	Calcaires oolithiques à intercalations marneuses				Epoisats	Aubert D. (1963)	a) Calcaires oolithiques et spathiques à ciment cristallin translucide (Grande Oolithe) b) Calc. finement oolithiques et marno-calc. micro-grenus noirâtres (calc. marneux inf.)
	BAJOCIEN	Oolithe inférieure	Calcaires à entroques Calcaires coralligènes à polypiers	60-100			Vallon de la Baumine Epoisats Cirque du Mont d'Or	Rittener Th. (1902) Schardt H. (1903) Nolthenius T. (1921) Aubert D. (1943) Aubert D. (1963)	a) Alternance de marno-calcaires à brachiopodes et polypiers et de calcaires à pentacrines b) Calcaires échinodermiques c) Alternance de marnes et calcaires a) Calcaires gris-noir très durs b) Marno-calcaires sombres à brachiopodes c) Calcaires recristallisés blanchâtres à polypiers Calcaires à entroques, oolithiques grossiers ou microbréchiques.
		Calcaires à Pecten Dewalquei	Calcaires marneux et marnes Calcaires oolithiques et spathiques.				Vallon de la Baumine	Schardt H. (1903)	a) Calcaires gris-verdâtres b) Marnes micacées schisteuses.
LIAS SUP.	AALENIEN		Calcaires argileux à Cancellophycus	?			Versant W. vallon des Tavins Epoisats	Sprecher C. (1917) Aubert D. (1943)	L'Aalénien figure sur la coupe nº 16, bien qu'aucun affleurement ne soit visible. Calcaires spathiques à débris organiques, traînées ferrugineuses et traces de bélemnites indéterminables.

Remarque : les affleurements sont exprimés en % de la surface totale du bassin versant.

LEGENDE

▩ Formations imperméables

▨ Formations partiellement imperméables

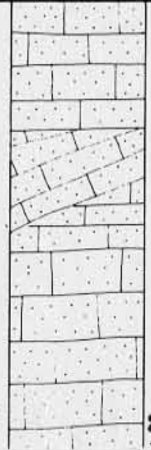
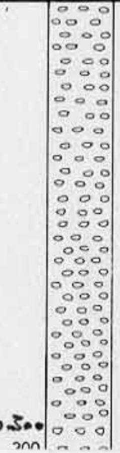
☐ Formations perméables en grand.

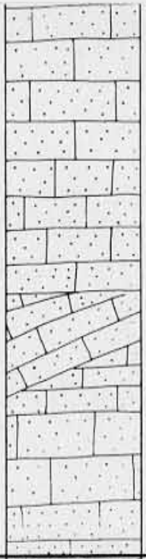
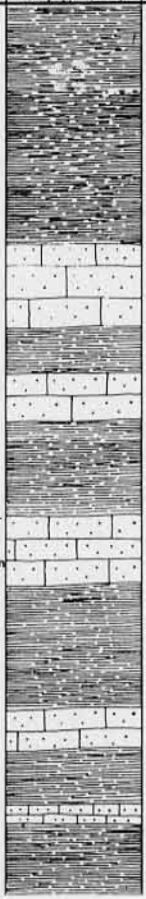
Planche 4 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4

PLANCHE N.4

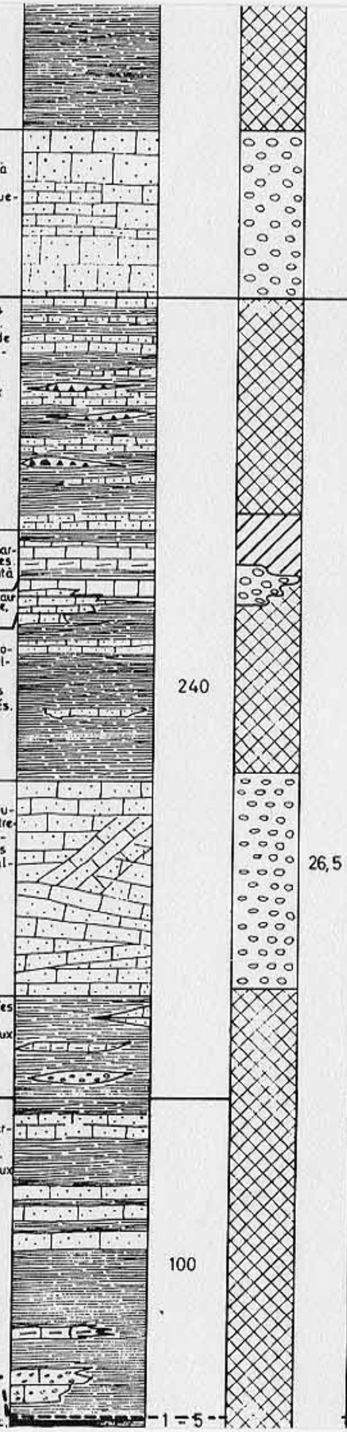
RESUME LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'ORBE

ère secondaire: système crétacé
ère tertiaire: systèmes paléogène, néogène

SERIES	ETAGES	UNITES LITHOSTRATIGRAPHIQUES	LITHOLOGIE		Epaisseurs (m.)	Perméabilités	Affl. %	LOCALITES	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	DESCRIPTION SOMMAIRE DES AFFLEUREMENTS CITES
INFERIEUR	ALIEN		Grès grossiers ou moyens, gris ou gris-vert à stratification entrecroisée		200-300 200 300		2.5			Ces formations grossièrement détritiques ne se rencontrent que dans le Haut Talent à l'extrémité sud-orientale du bassin 200-300m Ces formations grossièrement détritiques ne se rencontrent que dans le

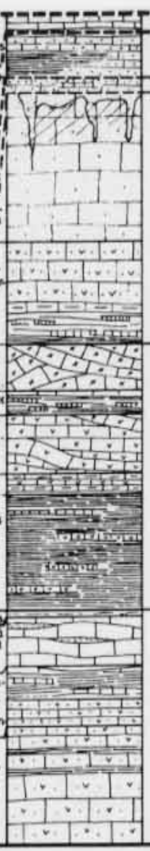
MIOCENE	BURDIG		Par place s'intercalent des grès coquilliers à empreintes de bivalves.							Haut Talent à l'extrémité sud-orientale du bassin.
ENE	AQUITANIEN	Marnes bigarrées supérieures.	Marnes et argillites rougeâtres ou violacées alternant avec des grès feldspathiques micacés grossiers brun-jaune. Ces bancs de grès à éléments mélanocrates sont souvent épais, mais lenticulaires.		350		7,7	Ruisseau de Lavacu	Bersier A. (1938)	a) Grès moyens à intercalations marneuses (7.5m.) b) Marnes par place argileuses, souvent foncées (4.6 m.) c) Grès gris variables, grossiers à la base (12.0 m.) d) Argiles versicolores à passées marno-gréseuses (4.1m.) e) Grès fins et macignos (∽ 26 m.) f) Marnes jaunes puis bleu noirâtre (3.0m.) g) Grès moyens et macignos gris (5.0m.) h) Marnes feuilletées et bigarrées (0.8m.) i) Grès gris-bleu variables (10.0 m.) j) Argiles jaunes et bigarrées (1.0 m.) k) Grès moyens, puis fins (> 4 m.)

OLIGOC			
		Grès de Cuarny	Grès micacés grossiers à éléments mélanocrates, massifs, par place plaquetés.
	CHATTIEN	Marnes à gypse	Grès et marnes à véinules ou concrétions de gypse. Quelques petits bancs de calcaires marneux à limnées et planorbes. Vers le haut de la série quelques bancs gréseux ou marno-calcaires à mouches de charbon.
		Calcaires d'eau douce et dolomies.	Intercalations de bancs de calc. clairs (~0.5m.) et de marnes et marno-calc. sombres. Vers le haut les calc. passent à des dolomies caverneuses.
		Grès de Mathod	Grès siliceux glauconieux jaune-vert, plaquetés à la base, massif au sommet.
		Marnes bigarrées inférieures.	Marnes et argillites multicolores, de couleurs vives, alternant avec de minces bancs de grès et calcaires marneux très subordonnés.
		Grès de Suscevaz ou Grès de Goumoëns	Grès beiges plaquetés souvent à stratifications entrecroisées, par place bitumineux, renfermant aussi des galets de marnes et de calcaires crétacés.
		Complexe marno-gréseux.	Marnes versicolores violacées coupées de bancs gréseux ou de calcaires glauconieux et de gompholites.
	RUPELIEN	Complexe argilo-gréseux	Argillites rougeâtres à intercalations de grès calcaires à glauconie de gompholites et de calcaires marneux à glauconie.
EOCENE		Calcaires lacustres Sidérolithique	Calcaires lacustres. Argiles rouges à pisolithes d'hydroxydes de fer et sab. silic.



Belmont (Yverdon)	Jordi H. (1955)	a) Marnes calcaires foncées à minces niveaux noirâtres, et veinules de gypse, renferment quelques bancs peu épais de grès fins et de calcaires (15.0m.) b) Bancs de grès à paillettes de gypse (7.50m.) c) Marnes, par place gréseuses, mais généralement calcaires, foncées, à niveaux de craie et calcaires lacustres (5.0m.) d) Grès à gypse renfermant quelques horizons marneux passant à des calcaires lacustres (12.0 m.) e) Marnes calcaires, calcaires marneux et calcaires lacustres (3.0m.) f) Grès, par place marneux, renfermant des paillettes de gypse. (5.0m.)
Grands-Champs (Essert-Pittet)	Jordi H. (1955)	a) Marnes généralement calcaires, localement sableuses à intercalations de petits bancs de calcaires lacustres (marnes à gypse 18.50m.) b) Complexe essentiellement marneux à bancs de calcaires lacustres épais de 25-50 cm bien développés dans le tiers inférieur de la série. Deux horizons de dolomie blanche et poreuse en occupent le haut. (Calcaires d'eau douce 13.5m.). c) Marnes légèrement sableuses passant vers le bas à des grès micacés. (Grès de Mathod 7.5m.).
Calamin (Yverdon)	Jordi H. (1955)	Marnes calcaires à niveaux plus argileux, renferment quelques bancs de grès fins et de macignos. (Marnes bigarrées inférieures 40 m.).
Talent	Custer W. (1928)	a) Bancs sableux ou gréseux, bruns, friables (30 - 40 m.) b) Grès gris friables, à gros grains, avec rares passées marneuses (40m.) c) Marnes bigarrées avec calcaire d'eau douce (50 m.). d) Grès gris-vert par place bitumineux (Grès de Goumoëns, 60m.). e) Marnes bigarrées (30m.).
La Combaz	Bersier A (1953)	a) Calcaires marneux à glauconie et fissurines (9 m.) b) Argillites rougeâtres à intercalations de grès calcaires et de gompholites (~100m
Orbe Lac Ter Mormont	Schardt H. (1880) Jaccard A. (1869) Bersier A et Badoux H (1937)	Calcaires lacustres au Signal d'Orbe (actuellement invisibles) Calcaires lacustres Argiles rouges à pisolithes limoniteux et sables siliceux d'origine éolienne
Le Carroz	Schardt H. (1896) Falconnier A.(1931)	a) Marnes vertes à bancs et lentilles de calcaires (2 m.) b) Calcaires francs passant à des calcaires gréseux (1.5m.) c) Marno-calcaires grumeleux (1.7m.)

Planche 4



CRETACE SUP.	CENOMANIEN		Calc. lithographiques clairs à débrits de mollusques limoniteux ou calc. microgrenus blancs.	5			Le Carroz Le Campe	Schardt H. (1896) Falconnier A. (1931) Aubert D. (1943)	Argiles plastiques grises Marnes argileuses grises
CRETACE INF.	ALBIEN	Albien gréseux Albien pyriteux Albien sableux	Grès marneux à fossiles brunâtres, marnes bleues plastiques à fossiles pyriteux ou limoniteux. Sables siliceux très purs à fossiles phosphatés.	12			Gare de Vallorbe Le Pont Environ des Rousses	Jaccard A. (1869) Nolthenius T. (1921) Aubert D. (1943) Nolthenius T. (1921) Aubert D. (1943) Raven Th. (1932)	Grès durs lumachelles à fossiles rouges (quelques mètres). a) Grès glauconieux tendres devenant durs à la base (0.9 m.). b) Calcaires échino dermiques jaunes glauconieux (2.5 m.). c) Marnes plastiques grumeleuses
	APTIEN		Grès glauconieux grossiers, tendres et petits bancs de calc. durs très glauconieux ou marnes plastiques.	5					
	BARREMIEN	Urgonien	Calcaires cristallins blanc-rosé, légèrement oolitiques à la base.	75			Gare de Vallorbe Cluse de la Lyonne	Nolthenius T. (1921) Aubert D. (1943) Rittener Th. (1902)	a) Calcaires cristallins blancs de plus en plus oolithiques vers la base (50 m.)-Urgonien b) Calcaires oolithiques jaunes à intercalations de marnes jaunes, bleues à l'intérieur (35-40 m.) – Barrémien. a) Calcaires blancs cristallisés (20 m.). } Urgonien b) Calcaires oolithiques ± cristallisés (19.5 m.) } Urgonien d) Calcaires microgrenus gris-jaune passant à des calcaires oolithiques homogènes jaunâtres vers le bas (3.5 m.) – Barrémien
		Barrémien inférieur	Calcaires oolithiques et spathiques gris-jaune surmontant des calcaires marneux et marnes grumeleuses jaunes (Zone de Russille)						
	HAUTERIVIEN	Pierre jaune supérieure	Calcaires zoogènes oolithiques, par place marneux à stratification entrecroisée.	80		22,4	Cascade du Dard Chamblon Chamblon	Custer W. (1928) Jordi H. (1955) Schardt H. (1898a)	a) Calcaires spathiques jaunes très oolithiques, vers la base en bancs durs (15 m.) b) Marnes jaunes fossilifères (0.3 m.) c) Marnes et calcaires bleus, spathiques (17 m.) d) Marnes grumeleuses à intercalations de petits bancs de calcaires (30 m.) a) Calcaires zoogènes et oolithiques grossiers, jaunes, à stratification entrecroisée deviennent finement plaquetés vers le bas (10-15 m.) – Pierre jaune supérieure b) Marnes et calcaires marneux très fossilifères (4-5 m.) – Marnes d'Uttins. c) Calcaires glauconieux zoogènes et oolithiques grossiers jaune-verdâtre à stratification entrecroisée (14 m.) – Pierre jaune inférieure. d) Calcaires marneux jaunes ou gris-bleu à niveaux plus marneux (2-5 m.) – Calcaires marneux e) Marnes sableuses gris-foncé (~10 m.) – Marnes inférieures. f) Calcaires spathiques glauconieux à passées lumachelliques (1-1 m.) – Marnes inf. g) Marnes légèrement sableuses gris-foncé-bleu (~20 m.) – Marnes inférieures.
		Marnes d'Uttins	Marnes et calcaires marneux glauconieux jaune-vert.						
		Pierre jaune inférieure.	Calcaires grossiers spathiques et glauconieux à stratification entrecroisée.						
		Calcaires marneux	Calcaires spathiques marno-calcaires bleu-noir.		▩				
		Marnes inférieures	Marnes bleues ou jaunâtres à intercalations de petits bancs de calcaires spathiques glauconieux.						
	VALANGINIEN	Marnes à bryozoaires	Marnes grumeleuses jaunâtres	70			Les Clées Chamblon Chamblon Nord du Séchey Les Charbonnières	Custer W. (1928) Jordi H. (1955) Schardt H. (1898a) Nolthenius T. (1921) Aubert D. (1943)	a) Bancs calcaires lités à intercalations de marnes sableuses } Calc. roux (15 m.) b) Calcaires à intercalations marneuses, vers le bas très fendillés } Calc. roux (15 m.) c) Marnes grumeleuses stratifiées à débris de calcaires — Marnes d'Arzier (4-5 m.) d) Calcaires spathiques très peu oolithiques – Marbres bâtards (4 m.) e) Calcaires compacts oolithiques sombres (8 m.) } calcaires et marnes inférieurs f) Calcaires bien lités en bancs de 20 à 50 cm d'épaisseur (10 m) } calcaires et marnes inférieurs g) Calcaires durs, mal lités, très fendillés (15 m.). h) Zone marno-calcaire fendillée (2.4 m.). a) Calcaires spathiques mal lités gris-brun à gros rognons de silex (12 m.) – Calc. roux b) Marnes sableuses, grumeleuses jaune-ocre (0.5 m. visible) – Marnes d'Arzier c) Calcaires durs, finement oolithiques compacts, blanc-rosé – Marbres bâtards d) Marno-calcaires à grosses oolithes (2 m.) e) Calcaires spathiques sombres, légèrement oolithiques vers le haut, mal lités (15 m. visibles).
		Calcaires roux	Calc. microgrenus, plaquetés à fausses oolithes, se chargent de rognons de silex dans le Chamblon.						
		Marnes d'Arzier	Marnes grumeleuses sableuses jaunes.						
		Marbres bâtards	Calc. spathiques, légèrement oolithiques blancs, durs et compacts.						
		Calcaires et marnes inférieurs	Calcaires marneux sombres, spathiques et oolithiques, marnes très subordonnées.						

Remarque: les affleurements sont exprimés en % de la surface totale du bassin versant.

LEGENDE

▩ Formations imperméables

▨ Formations partiellement imperméables

☐ Formations perméables en grand

○ Micro et macroperméabilités réduites des grès

▧ Caractéristiques karstiques à l'échelle des bancs

Planche 5 | 1.1 | 1.2 | 1.3

PLAINE
DE L'ORBE

PLANCHE N.5

ETUDE GEOPHYSIQUE

carte
des résistivités apparentes

AB 100 m.
ECHELLE 1: 25'000

LEGENDE

░ < 30 Ohms-m
▩ 30 - 70 Ohms-m
▒ 70 - 100 Ohms-m
⁘ 100 -200 Ohms-m
■ 200 - 400 Ohms-m
▨ > 400 Ohms-m

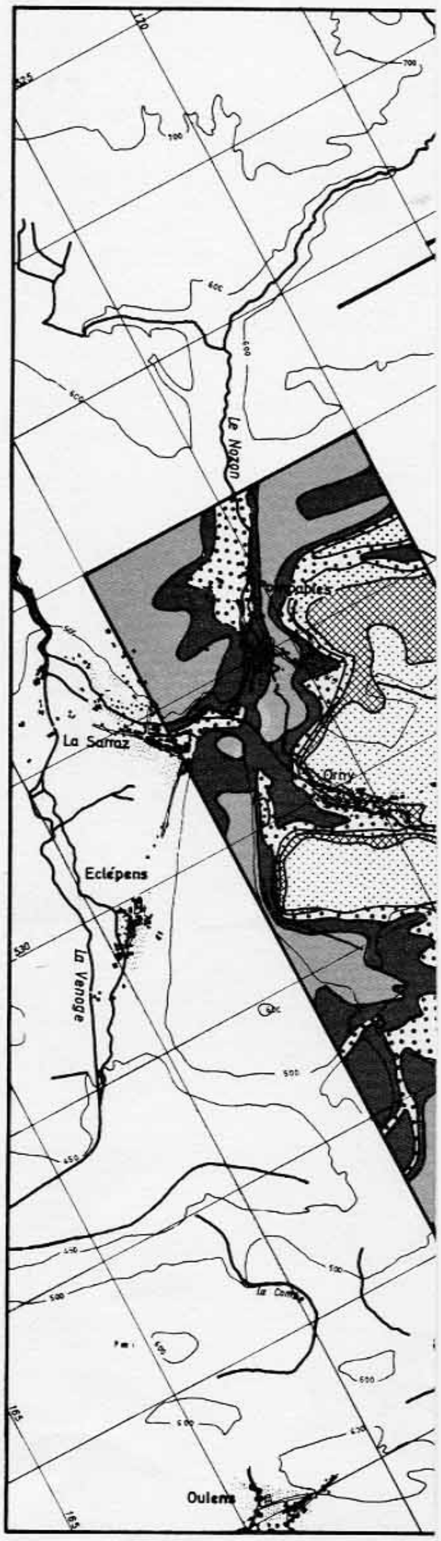

525
170
700
600
Le Nozon
La Sarraz
Orny
Eclépens
530
La Venoge
500
450
La Combe
165
Oulens

Planche 5

1.1 1.2 1.3

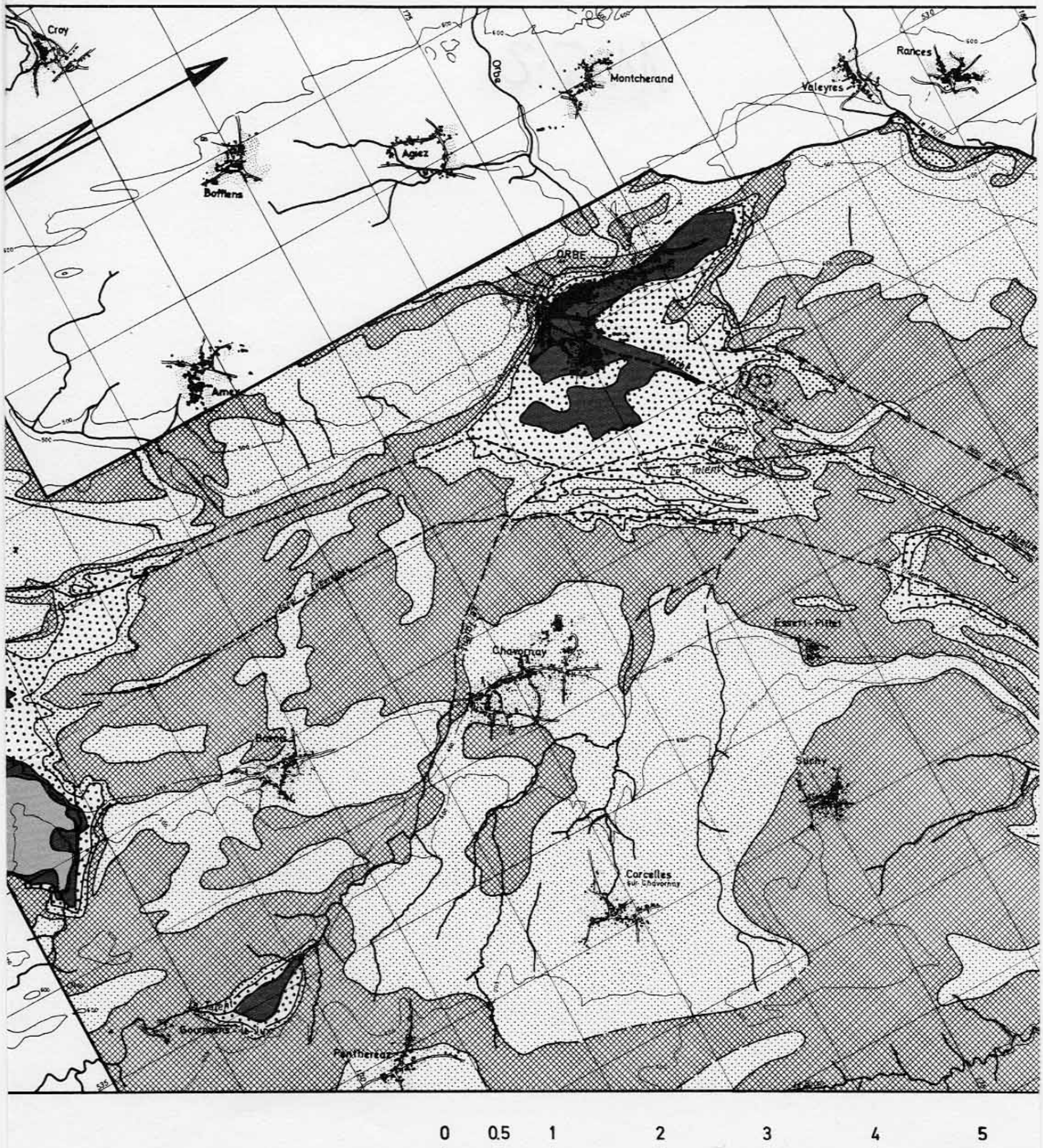

Croy
Orbe
Montcherand
Valeyres
Rances
Le Mujon
Agiez
Bofflens
ORBE
Arnex
Le Nozon
Le Talent
Chavornay
Essert-Pittet
Bavois
Suchy
Corcelles sur Chavornay
Le Talent
Goumoens-le-Jux
Penthéréaz
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres

Planche 5 | 1.1 | 1.2 | 1.3

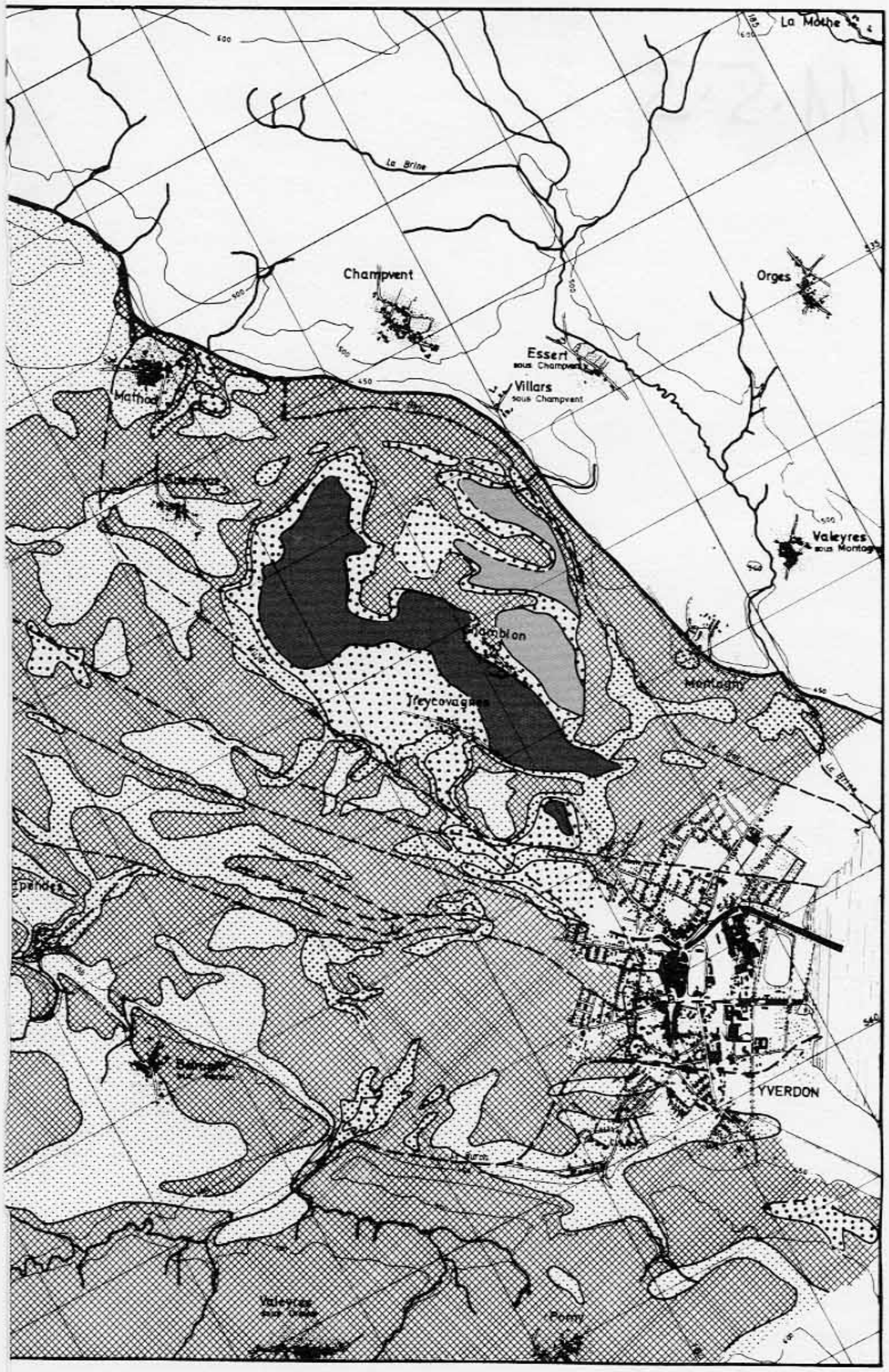

La Mothe
600
La Brine
Champvent
Orges
535
500
450
Essert
sous Champvent
Villars
sous Champvent
Mathod
Valeyres
sous Montagny
Chamblon
Treycovagnes
Montagny
pendes
YVERDON
540
Buron
Valeyres
Pomy

Planche 6 | 1.1 | 1.2 | 1.3

PLAINE
DE L'ORBE

PLANCHE N.6

ETUDE GEOELECTRIQUE

carte des isohypses du substratum rocheux

ECHELLE 1: 25'000
EQUIDISTANCE 25 m.

LEGENDE

—400—	Isohypses avec cotes en m.

SONDAGES ELECTRIQUES

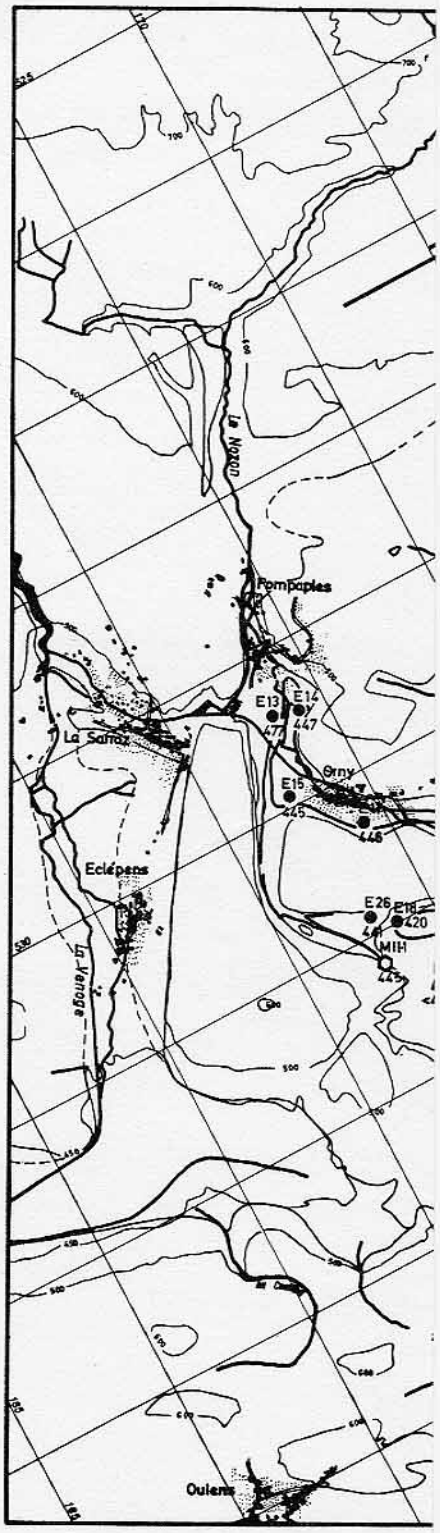
E25 ● 416	(Numéro de référence) (altitude du substratum rocheux en m.s.m.)

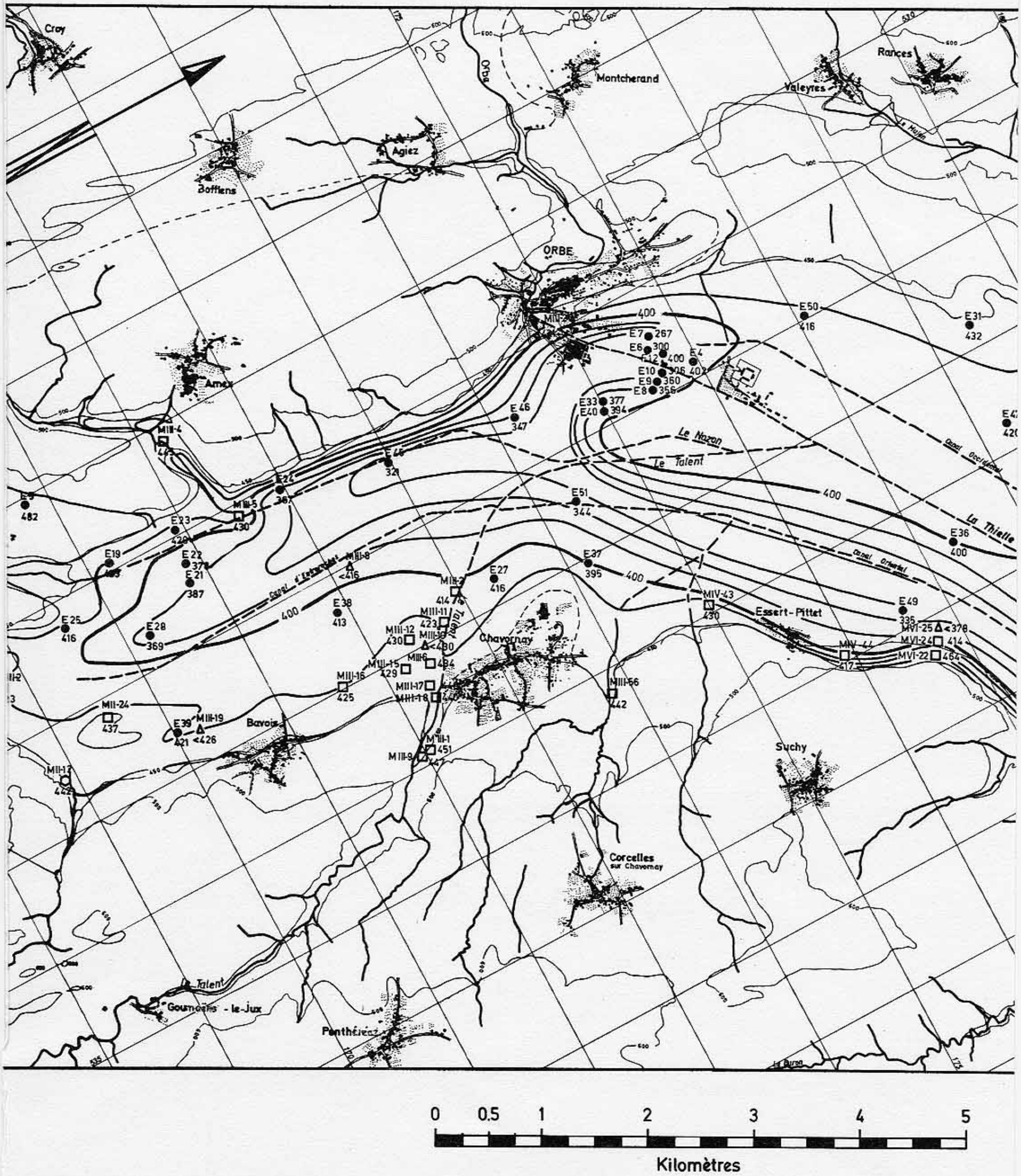
SONDAGES MECANIQUES

MII-1 ○ 445	Sondage ayant touché les calcaires crétacés (profondeur du toit des calcaires)
MIII-16 □ 425	Sondage ayant touché la molasse (profondeur du toit de la molasse)
MII-2 △ <423	Sondage important, pas atteint le substratum rocheux (profondeur atteinte)

ROCHE EN PLACE

☐	Affleurements de calcaires crétacés
☐	Affleurements de molasse


Le Nozon
Pompaples
La Sarraz
E13
477
E14
447
Orny
E15
425
446
Eclépens
La Venoge
E26
441
E18
420
MIH
445
Oulens
700
600
500
530
525
185
184


Croy
Montcherand
Rances
Valeyres
Le Mujon
Orbe
Agiez
Bofflens
ORBE
Arnex
E50
416
E31
432
E7 267
E6 300
E12 400
E4 402
E10 306
E9 360
E8 356
E33 377
E40 394
E46
347
E44
321
E24
367
MIII-4
445
MIII-5
430
E23
420
E19
403
E22 378
E21
387
MIII-8
<416
E25
416
E28
369
E38
413
MIII-2
414
E27
416
E51
344
E37
395
MIV-43
430
Essert-Pittet
E49
335
MVI-25 <378
MVI-24 414
MVI-22 464
MIV-44
417
E36
400
Le Nozon
Le Talent
La Thielle
Canal Occidental
Canal Oriental
Canal d'Entreroches
MIII-11
423
MIII-12
430
MIII-10
<430
MIII-15
429
MIII-6
434
MIII-16
425
MIII-17
MIII-18
440
Chavornay
MIII-56
442
MII-24
437
E39
421
MIII-19
<426
Bavois
MIII-1
451
MIII-9
447
MII-17
442
Suchy
Corcelles sur Chavornay
Talent
Goumoëns-le-Jux
Penthéréaz
Le Buron
400
450
500
600
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres

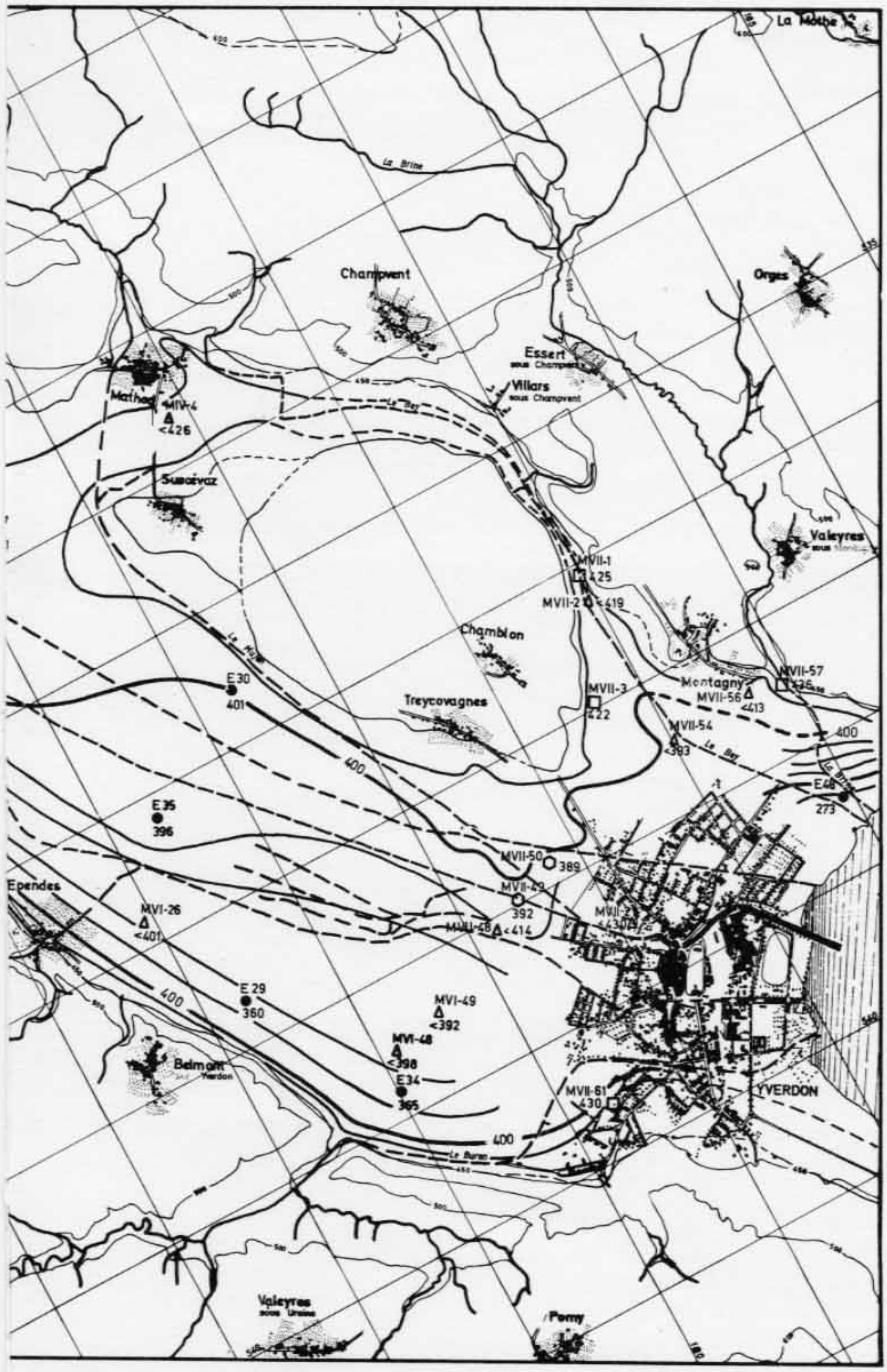

La Mothe
La Brine
Champvent
Orges
Essert
sous Champvent
Villars
sous Champvent
Mathod
MIV-4
<426
Le Bey
Suscévaz
Valeyres
MVII-1
425
MVII-2
<419
Chamblon
Le Mujon
E30
401
Treycovagnes
MVII-3
422
Montagny
MVII-57
MVII-56
<413
MVII-54
<393
400
E48
273
E35
396
MVII-50
389
MVII-49
392
Ependes
MVI-26
<401
MVII-48
<414
MVII-2
430
E29
360
MVI-49
<392
MVI-48
<398
Belmont
sur Yverdon
E34
365
MVII-61
430
YVERDON
Le Buron
Valeyres
sous Ursins
Pomy

Planche 7 | 1.1 | 1.2 | 1.3

PLAINE DE L'ORBE

PLANCHE N.7

ETUDE GEOELECTRIQUE

carte des isohypses du toit des calcaires crétacés

ECHELLE 1: 25'000
EQUIDISTANCE : 25 m.

LEGENDE

—200— Isohypses avec cotes en mètres

- - - - Failles, décrochements

SONDAGES ELECTRIQUES

E 28 ● 300 (Numéro de référence) (altitude du toit des calcaires en m.s.m.)

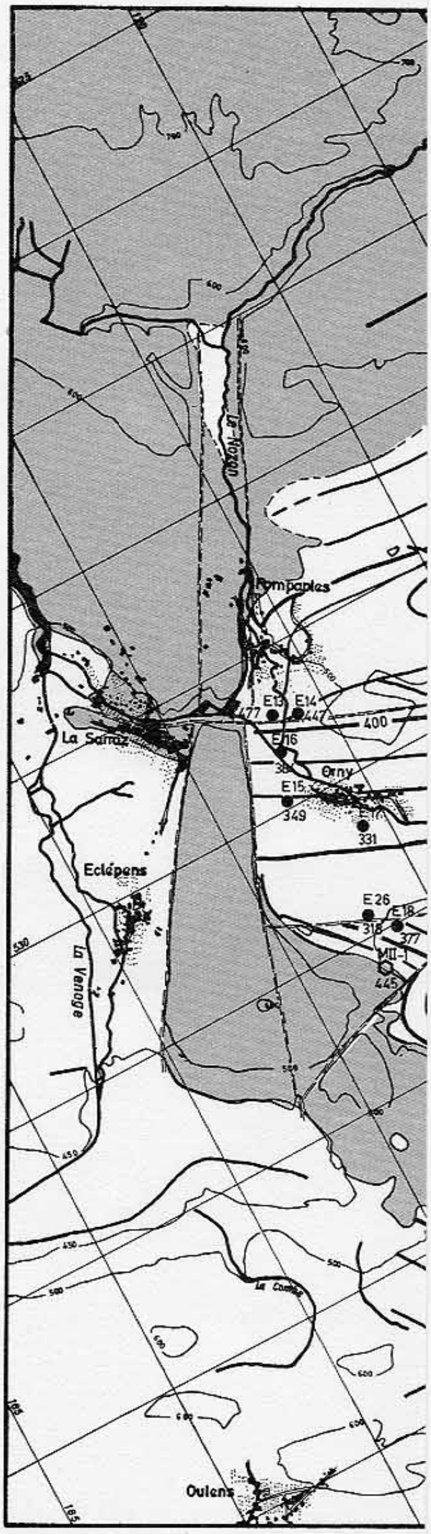
L5 ○ 495 (Numéro de référence H. Lazreg 1968) (altitude du toit des calcaires en m.s.m.)

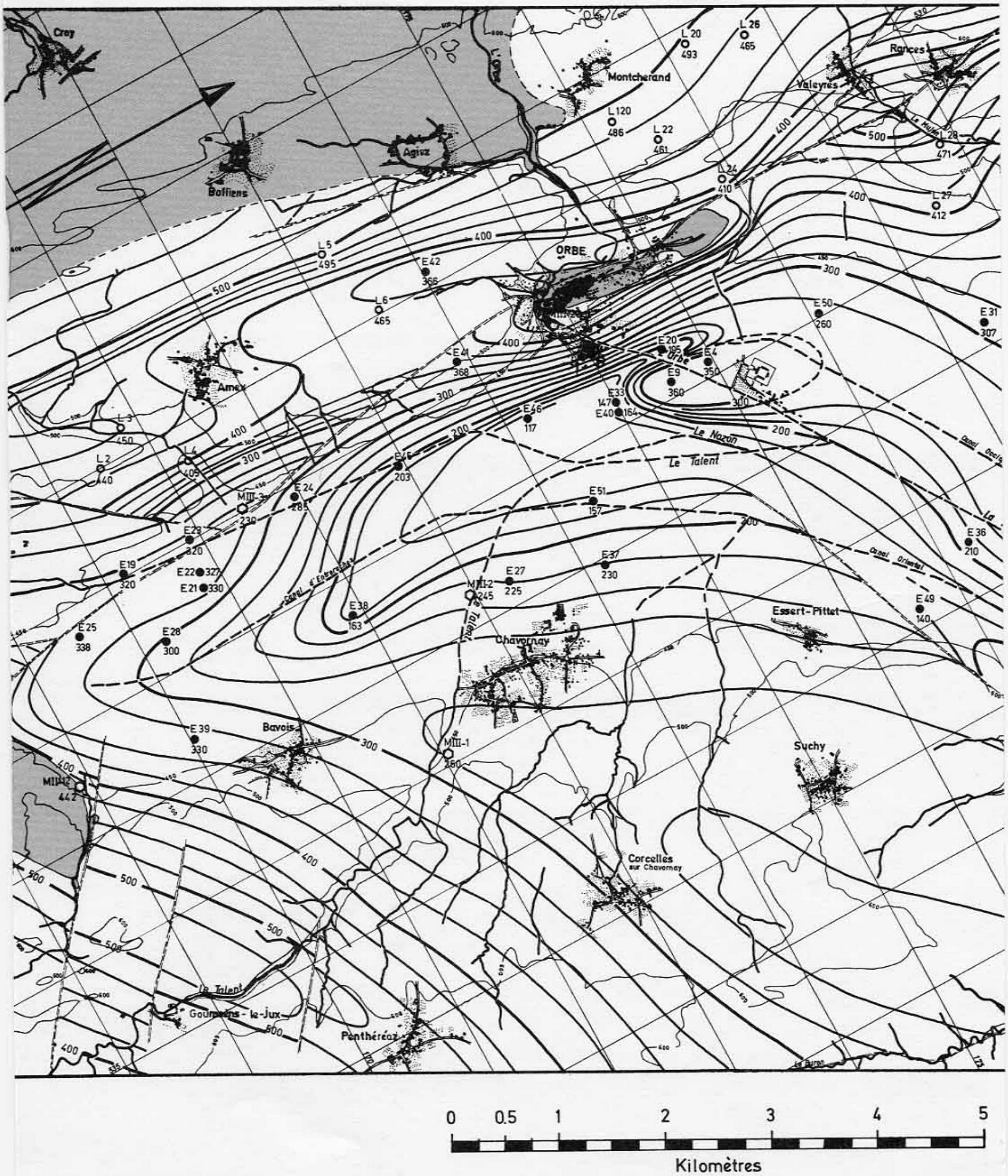
SONDAGES MECANIQUES

MII-1 ⬡ 445 (Numéro de référence) (altitude du toit des calcaires en m.s.m.)

ROCHE EN PLACE

▨ Affleurements de calcaires crétacés


Le Nozon
Pompaples
E13
E14
477
447
400
La Sarraz
E16
Orny
E15
349
331
Eclépens
E26
E18
318
377
MII-1
445
La Venoge
La Combe
Oulens


Croy
Bofflens
Agiez
Montcherand
L 20
493
L 26
465
L 120
486
L 22
461
L 24
410
Valeyres
Rances
Le Mujon
L 28
471
L 27
412
ORBE
L'Orbe
L 5
495
E 42
366
L 6
465
E 50
260
E 31
307
E 41
368
E 20
E 4
350
E 9
360
E 33
147
E 40
164
E 46
117
Le Nozon
Le Talent
Canal Occidental
Arnex
L 3
450
L 2
440
L 4
405
MIII-3
230
E 24
285
E 6
203
E 51
157
E 23
320
E 19
320
E 22
327
E 21
330
Canal d'Entreroches
E 38
163
MIII-2
245
E 27
225
E 37
230
E 36
210
Canal Oriental
E 49
140
Essert-Pittet
E 25
338
E 28
300
Chavornay
E 39
330
Bavois
MIII-1
260
MIII-4
442
Suchy
Corcelles sur Chavornay
Le Talent
Goumoens - le - Jux
Penthéréaz
Le Buron
200
300
400
500
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres

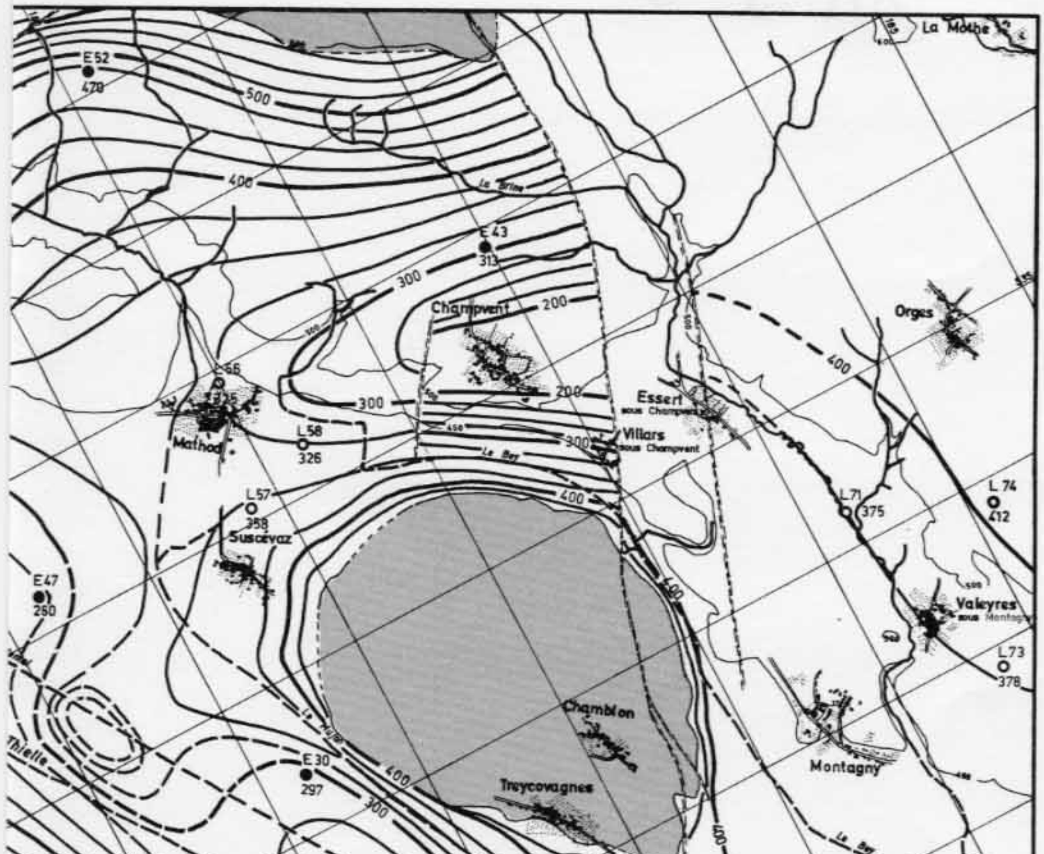

La Mothe
E 52
470
500
400
La Brine
E 43
313
300
Champvent
200
Orges
400
Mathod
L 56
L58
326
300
200
Essert sous Champvent
300
Villars sous Champvent
Le Bey
400
L57
358
Suscévaz
L 71
375
L 74
412
E47
260
400
Valeyres sous Montagny
L 73
378
Chamblon
Thielle
E 30
297
400
300
Treycovagnes
Montagny
Le Bey
La Brine
E 35
286
M VIII 50
389
M VII 49
392
Ependes
200
100
E 29
20
Belmont sur Yverdon
E 34
110
YVERDON
Le Buron
200
300
E 44
241
208
Valeyres sous Ursins
Pomy

Planche 8 | 1.1 | 1.2 | 1.3

PLAINE
DE L'ORBE

PLANCHE N.8

ETUDE GEOLOGIQUE

répartition des alluvions graveleuses avec isohypses du mur et du toit

ECHELLE 1: 25'000
EQUIDISTANCE 10 m

LEGENDE

—430—	Isohypse du toit de la moraine
—440—	Isohypse du toit des graviers
······430······	Isohypse du mur des graviers

ALLUVIONS

░	Graviers affleurants
▓	Graviers sous couverture sablo-argileuse
▒	Graviers sous couverture tourbeuse
☐	Alluvions non différenciées

ROCHE EN PLACE

▦	Affleurements de calcaires crétacés
⠿	Affleurements de molasse oligocène

Remarque : Le carton représente la région d'Yverdon avec ses cordons littoraux gravelo-sableux reposant sur les sables et les limons lacustres qui recouvrent les graviers profonds. Les cordons littoraux sont représentés en grisé.

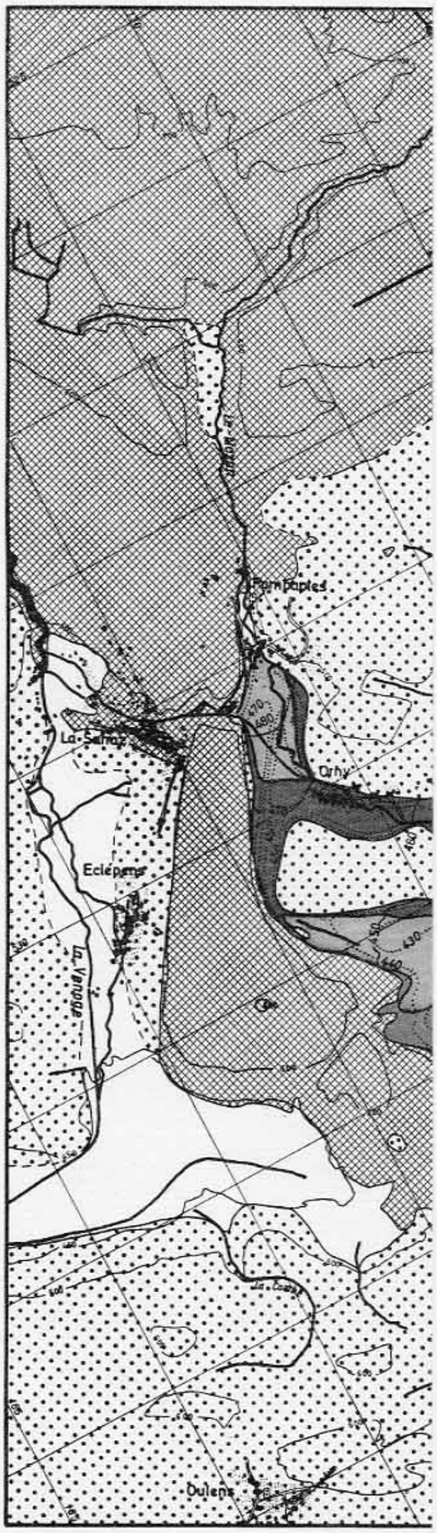


Planche 8 | 1.1 | 1.2 | 1.3

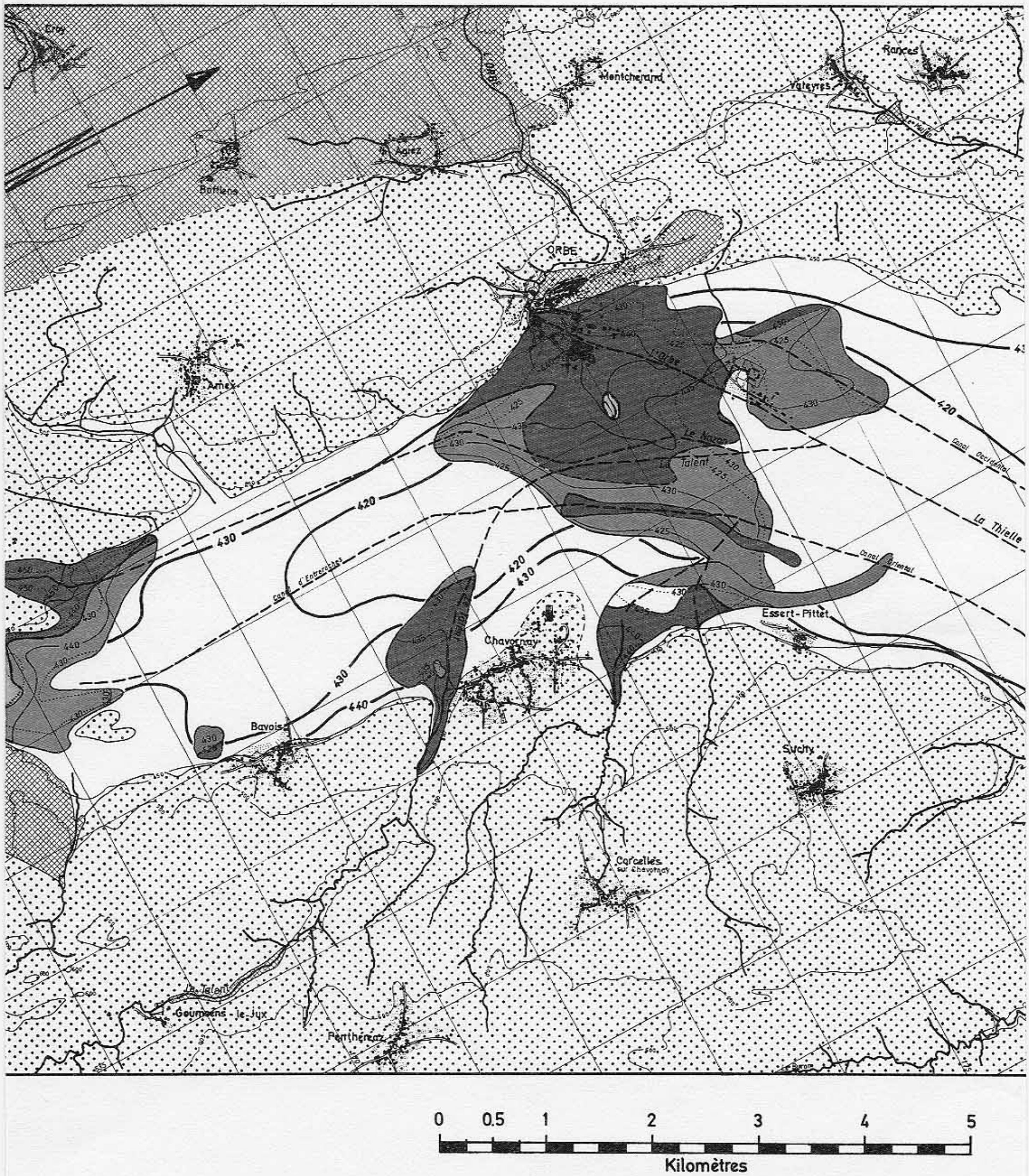

Croy
Bofflens
Agiez
Montcherand
Valeyres
Rances
ORBE
L'Orbe
Arnex
Le Nozon
Le Talent
La Thielle
Canal Occidental
Canal Oriental
Canal d'Entreroches
Chavornay
Essert-Pittet
Bavois
Suchy
Corcelles sur Chavornay
La Talent
Goumoens-le-Jux
Penthéréaz
420
425
430
435
440
450
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres

Planche 8

1.1 1.2 1.3

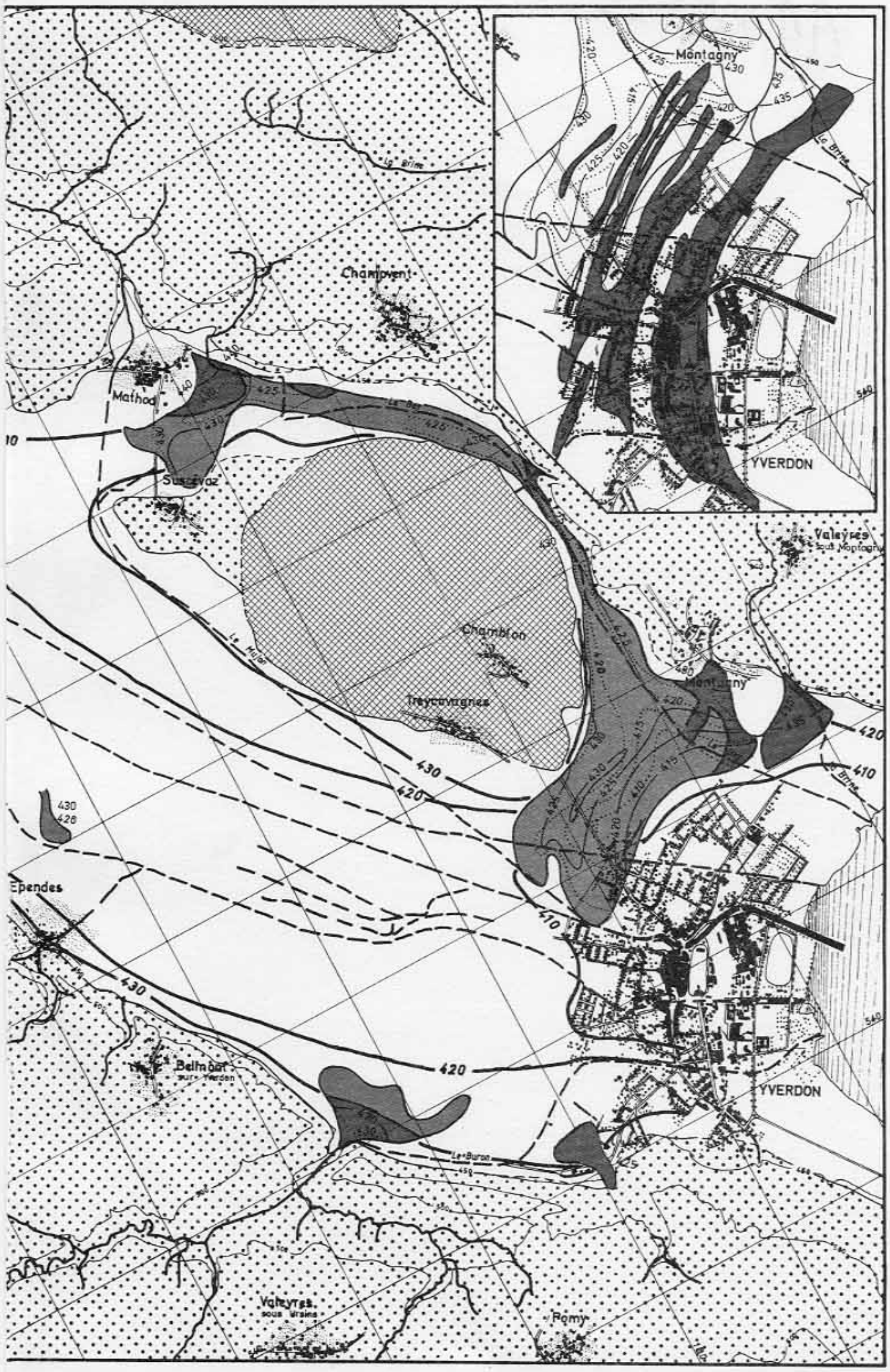

Montagny
YVERDON
Le Brine
Valeyres sous Montagny
Champvent
Mathod
Suscévaz
Le Mujon
Chamblon
Treycovagnes
Montagny
Le Bey
Ependes
Belmont sur Yverdon
Le Buron
Valeyres sous Ursins
Pomy
YVERDON
430
420
410
425
415
435
440
540

Planche 9 | 1.1 | 1.2 | 1.3

PLAINE DE L'ORBE

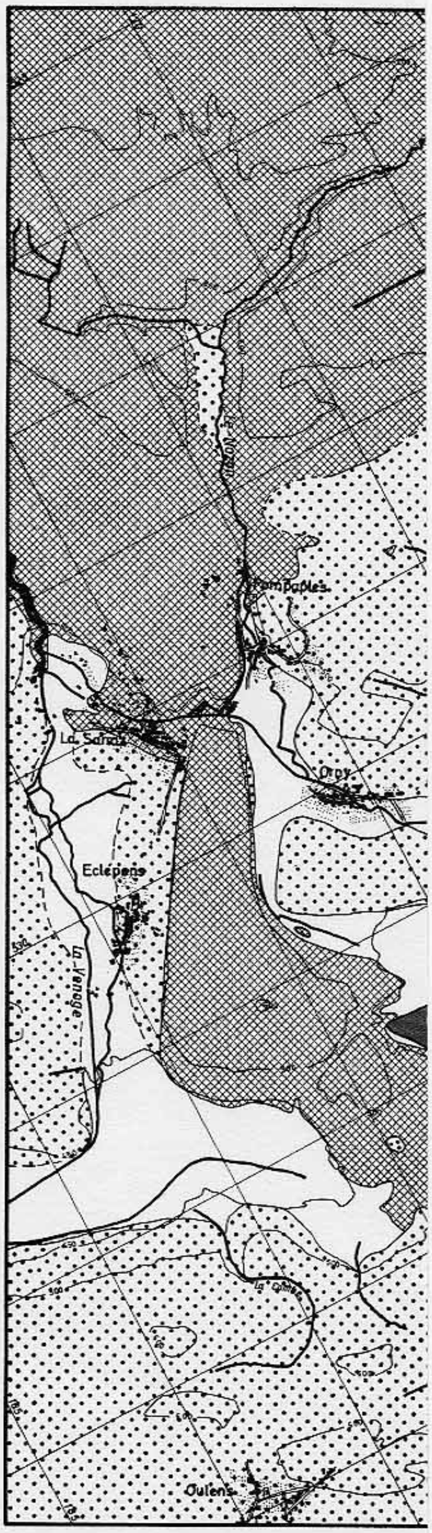
PLANCHE N.9

ETUDE GEOLOGIQUE

répartition de la tourbe avec isohypses du mur et du toit

ECHELLE 1:25'000

EQUIDISTANCE 5 m


Le Nozon
Pompaples
La Sarraz
Orny
Eclépens
La Venoge
Oulens
La Gèbe

LEGENDE

— 440 —	Isohypse du toit de la tourbe
········ 435 ········	Isohypse du mur de la tourbe

FORMATIONS RECENTES

■	Tourbe affleurante
▒	Tourbe sous couverture sablo - argileuse
□	Alluvions non différenciées

ROCHE EN PLACE

▩	Affleurements de calcaires crétacés
⁘	Affleurements de molasse oligocène

Planche 9

1.1 **1.2** 1.3

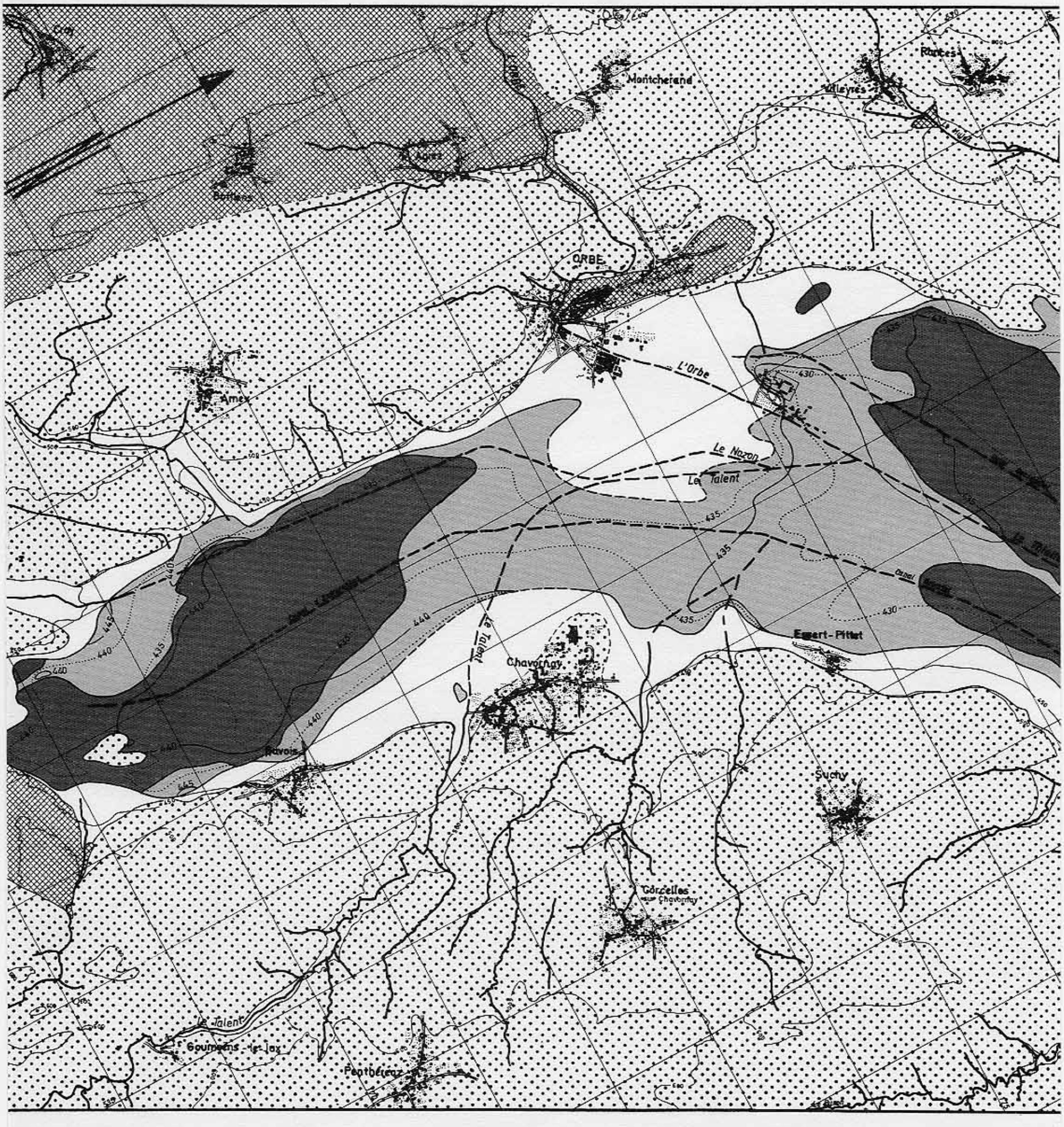
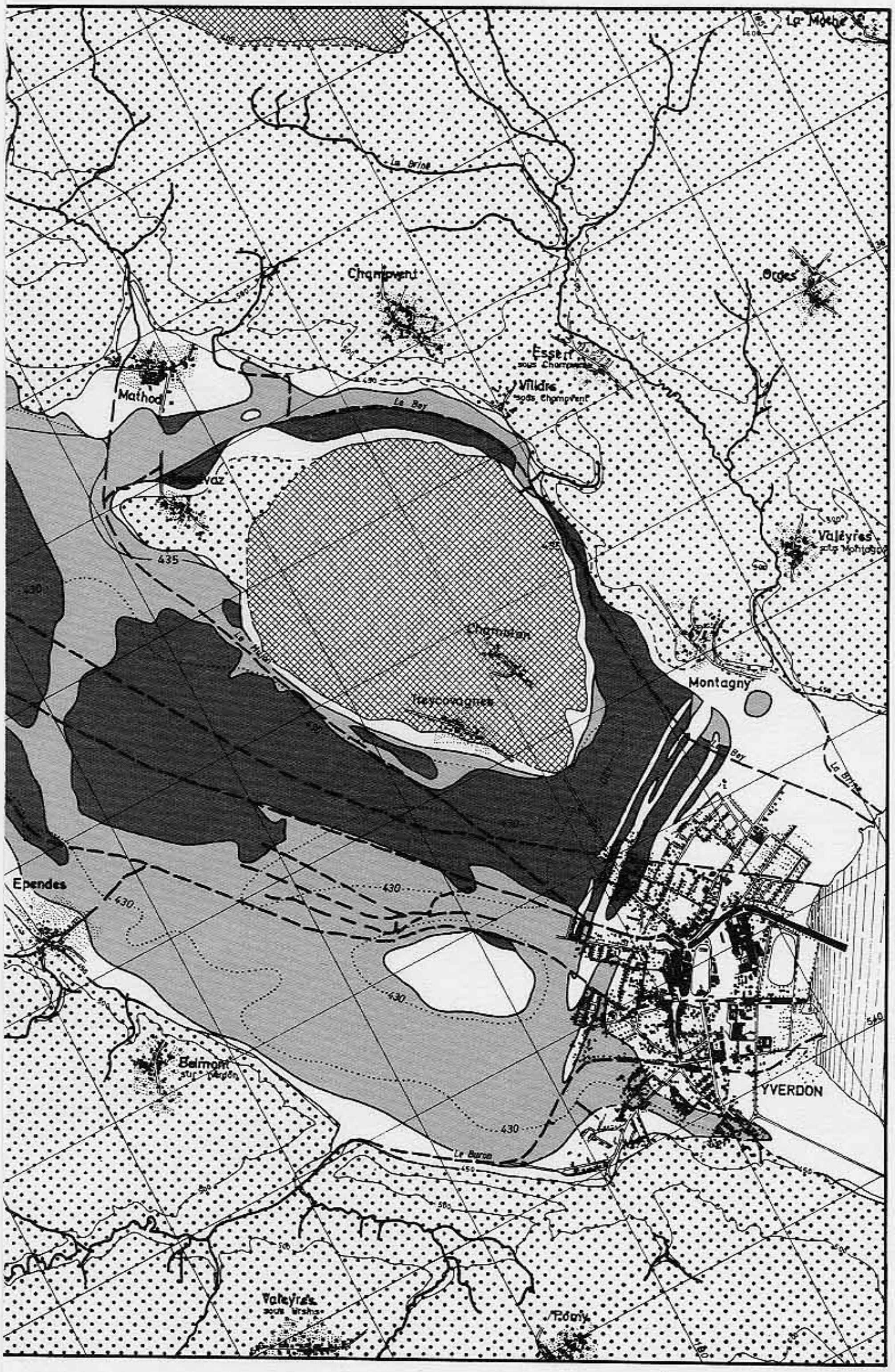
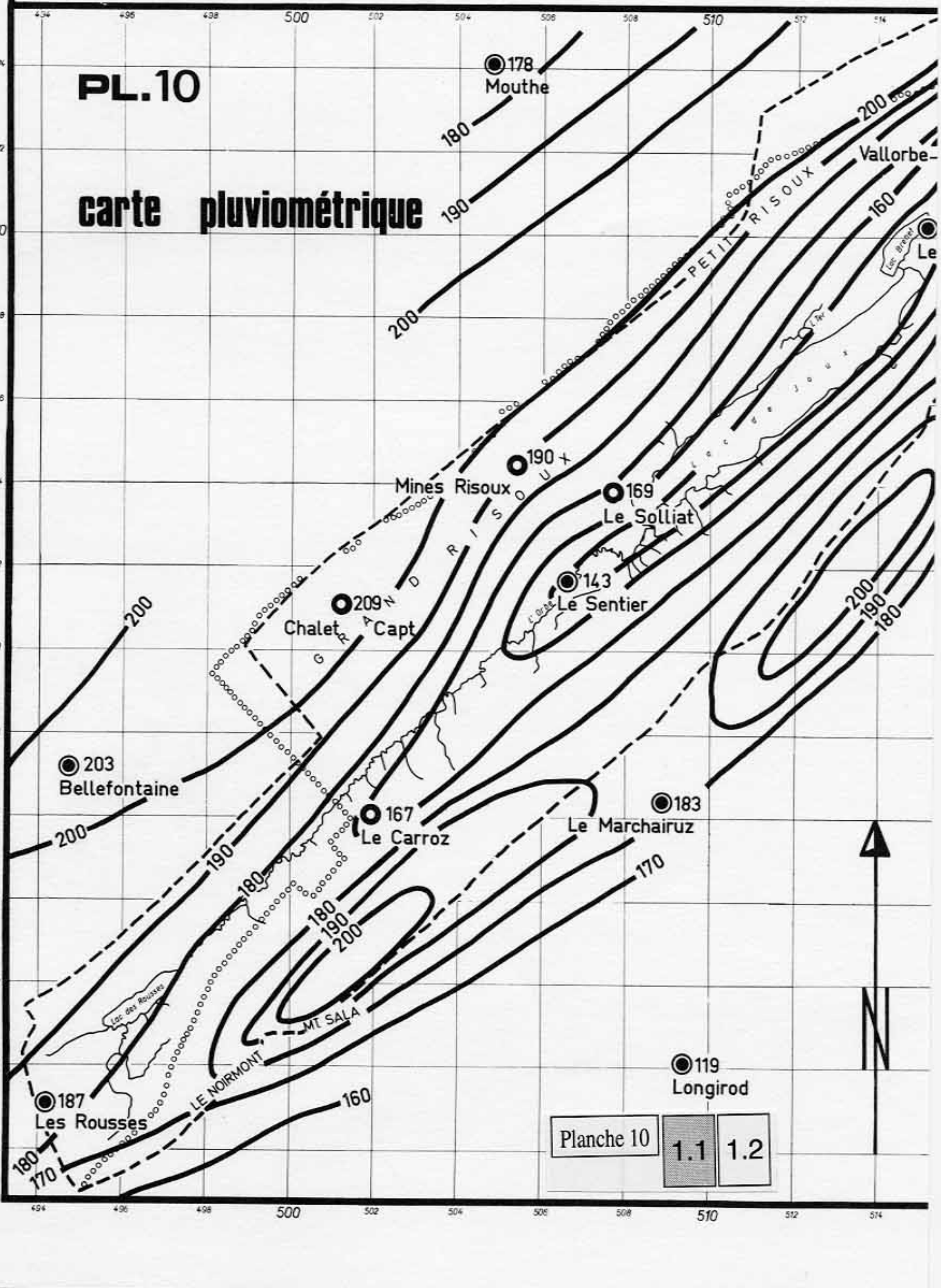

Orny
Bofflens
Agiez
Montcherand
Valeyres
Rances
ORBE
Arnex
L'Orbe
Le Nozon
Le Talent
Le Talent
Chavornay
Bavois
Essert-Pittet
Suchy
Corcelles s/ Chavornay
Goumoens-le-Jux
Penthéréaz
Le Talent
430
435
440
445
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres

Planche 9

1.1 1.2 1.3


La Mothe
La Brine
Champvent
Orges
Essert sous Champvent
Villars sous Champvent
Mathod
Le Bey
vaz
435
430
Valeyres sous Montagny
Chamblon
Treycovagnes
Le Mujon
Montagny
La Brine
Le Bey
Ependes
430
Belmont sur Yverdon
Le Buron
450
500
YVERDON
540
Valeyres sous Ursins
Pomy

BASSIN VERSANT
de la
PLAINE DE L'ORBE

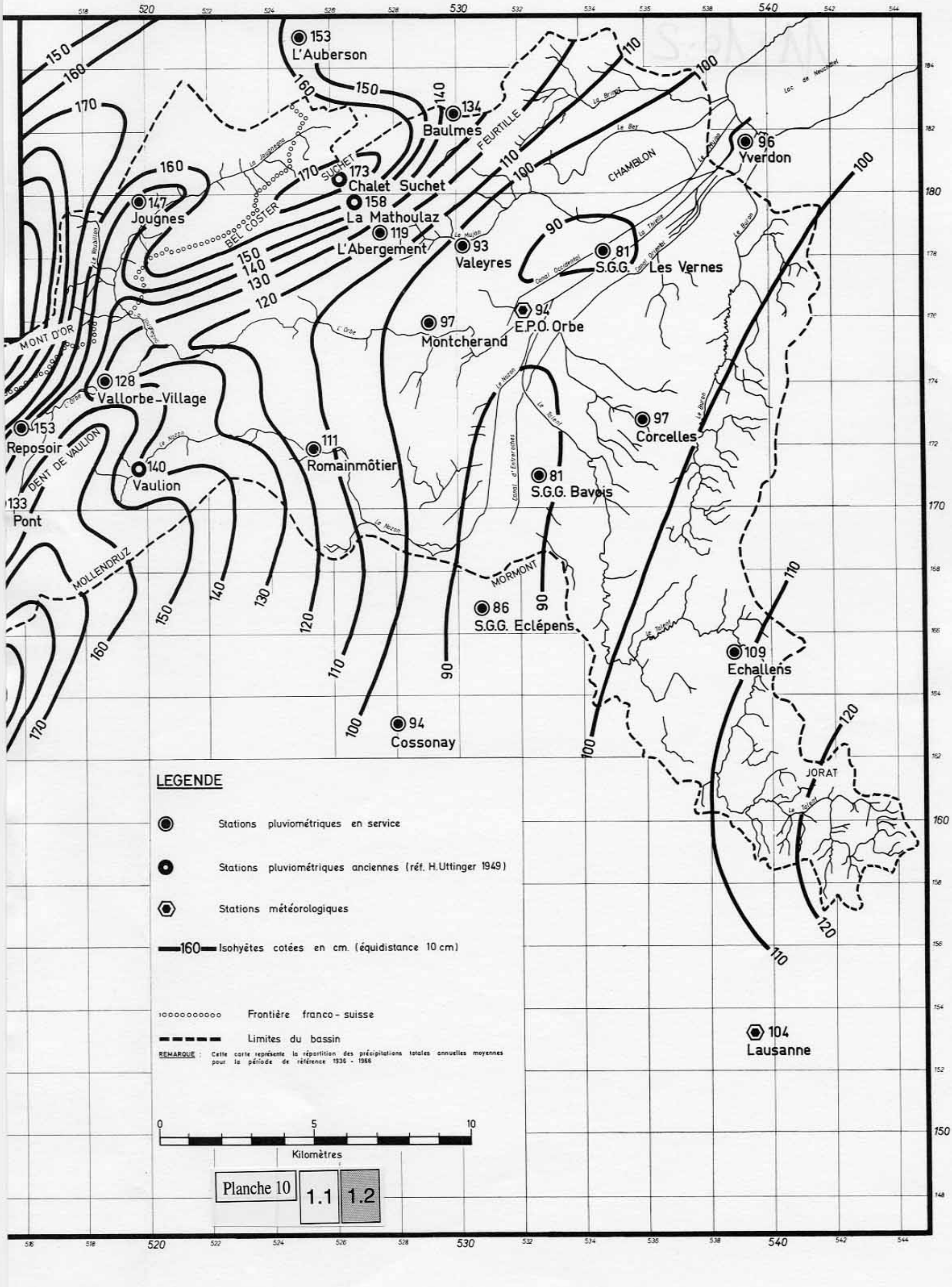


PL.10

carte pluviométrique

178 Mouthe
180
190
200
200
Vallorbe
160
Le
PETIT RISOUX
Lac Brenet
Lac de Joux
190 Mines Risoux
GRAND RISOUX
169 Le Solliat
143 Le Sentier
L'Orbe
209 Chalet Capt
200
190
180
203 Bellefontaine
200
167 Le Carroz
183 Le Marchairuz
190
180
170
180
190
200
Lac des Rousses
MT SALA
LE NOIRMONT
119 Longirod
187 Les Rousses
160
180
170
N
494
496
498
500
502
504
506
508
510
512
514
174
172
170
168
166
164
162
160
158
156
154
152
150
148

Planche 10 | 1.1 | 1.2


518
520
522
524
526
528
530
532
534
535
536
538
540
542
544
184
182
180
178
176
174
172
170
168
166
164
162
160
158
156
154
152
150
148
153 L'Auberson
134 Baulmes
96 Yverdon
173 Chalet Suchet
158 La Mathoulaz
119 L'Abergement
93 Valeyres
81 S.G.G. Les Vernes
147 Jougnes
94 E.P.O. Orbe
97 Montcherand
128 Vallorbe-Village
153 Reposoir
97 Corcelles
111 Romainmôtier
140 Vaulion
81 S.G.G. Bavois
133 Pont
86 S.G.G. Eclépens
109 Echallens
94 Cossonay
104 Lausanne
SUCHET
FEURTILLE
CHAMBLON
BEL COSTER
MONT D'OR
DENT DE VAULION
MOLLENDRUZ
MORMONT
JORAT
Lac de Neuchâtel
La Brinaz
Le Bey
Le Mujon
La Thièle
Le Buron
La Jougnena
Le Veuillon
L'Orbe
Le Nozon
Le Talent
Canal Occidental
Canal Oriental
Canal d'Entreroches
150
160
170
140
130
120
110
100
90
0
5
10
Kilomètres

LEGENDE

- ● Stations pluviométriques en service
- ○ Stations pluviométriques anciennes (réf. H. Uttinger 1949)
- ⬢ Stations météorologiques
- —160— Isohyètes cotées en cm. (équidistance 10 cm)
- ○○○○○○○○○○ Frontière franco-suisse
- – – – – – Limites du bassin

REMARQUE : Cette carte représente la répartition des précipitations totales annuelles moyennes pour la période de référence 1936 - 1966

Planche 10 | 1.1 | 1.2

PLANCHE 11

ANALYSE DES PRECIPITATIONS MENSUELLES EN HUIT STATIONS POUR LA PERIODE DE 30 ANS (1936-1966)

	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
STATION D'ECHALLENS												
1) médianes (mm)	65	73	75	89	62	48	66	96	105	91	115	106
2) moyennes (mm)	78	100	85	92	69	72	69	91	110	92	120	108
3) écarts-type (mm)	53.8	78.1	54.7	48.0	53.6	59.5	35.8	37.7	49.5	45.9	58.7	57.2
4) coefficients de variation	0.69	0.78	0.64	0.52	0.77	0.82	0.52	0.41	0.45	0.50	0.49	0.53
5) maximum (mm)	255	360	204	203	207	232	122	154	227	200	251	200
6) minimum (mm)	9	19	4	15	2	3	6	22	44	22	28	9
7) intervalles de variation (mm)	246	341	200	188	205	229	116	132	183	178	223	191
8) indices d'humidité max.	3.27	3.59	2.39	2.21	2.98	3.21	1.76	1.69	2.07	2.16	2.09	1.85
9) indices d'humidité min.	0.12	0.19	0.05	0.16	0.03	0.04	0.09	0.24	0.40	0.24	0.23	0.08
STATION DE LAUSANNE												
1) médianes (mm)	59	66	72	81	55	49	60	91	113	95	94	110
2) moyennes (mm)	77	97	76	85	64	68	61	87	111	92	111	112
3) écarts-type (mm)	50.5	73.8	46.2	45.0	46.9	53.4	32.3	36.4	51.3	45.3	56.3	60.1
4) coefficients de variation	0.66	0.76	0.61	0.53	0.73	0.79	0.53	0.42	0.46	0.49	0.51	0.54
5) maximum (mm)	227	345	181	230	174	185	126	172	229	221	235	236
6) minimum (mm)	11	26	3	12	0	4	8	30	29	23	31	11
7) intervalles de variation (mm)	216	319	178	218	174	181	118	142	200	198	204	225
8) indices d'humidité max.	2.95	3.56	2.38	2.70	2.70	2.73	2.06	1.98	2.06	2.39	2.13	2.11
9) indices d'humidité min.	0.14	0.27	0.04	0.14	0.00	0.06	0.13	0.34	0.26	0.25	0.28	0.10
STATION D'YVERDON												
1) médianes (mm)	59	68	55	75	51	38	60	82	102	84	94	96
2) moyennes (mm)	67	89	69	77	58	60	55	82	106	88	103	102
3) écarts-type (mm)	49.4	70.2	43.5	40.3	44.9	52.1	33.3	39.4	50.9	45.5	51.5	59.3
4) coefficients de variation	0.74	0.79	0.63	0.52	0.77	0.87	0.60	0.48	0.48	0.52	0.50	0.58
5) maximum (mm)	256	330	189	217	196	194	131	165	247	184	226	202
6) minimum (mm)	17	22	6	12	0	1	2	15	27	24	34	11
7) intervalles de variation (mm)	239	308	183	205	196	193	129	150	220	160	192	191
8) indices d'humidité max.	3.82	3.71	2.75	2.81	3.37	3.23	2.36	2.01	2.32	2.09	2.19	1.98
9) indices d'humidité min.	0.25	0.25	0.09	0.16	0.00	0.02	0.04	0.18	0.25	0.27	0.33	0.11
STATION DE VALEYRES S/RANCES												
1) médianes (mm)	56	71	69	86	64	56	60	65	85	86	92	83
2) moyennes (mm)	62	89	83	86	70	64	56	67	94	77	93	86
3) écarts-type (mm)	42.0	72.5	61.1	42.3	51.0	50.9	30.6	33.2	46.1	41.4	50.7	49.1
4) coefficients de variation	0.67	0.81	0.74	0.49	0.73	0.80	0.55	0.50	0.49	0.54	0.54	0.57
5) maximum (mm)	214	344	234	210	194	189	122	142	198	147	235	180
6) minimum (mm)	14	21	11	17	0	3	2	16	11	13	32	9
7) intervalles de variation (mm)	200	323	223	193	194	186	120	126	187	134	203	171
8) indices d'humidité max.	3.43	3.86	2.82	2.44	2.76	2.97	2.18	2.12	2.12	1.91	2.52	2.10
9) indices d'humidité min.	0.22	0.24	0.13	0.20	0.00	0.05	0.04	0.24	0.12	0.17	0.34	0.10

STATION DE BAULMES

1) médianes (mm)	72	82	110	136	95	94	86	102	130	111	102	110
2) moyennes (mm)	92	133	126	133	113	101	89	97	125	103	116	112
3) écarts-type (mm)	68.7	111.5	84.0	64.8	79.8	72.5	46.5	38.9	61.9	54.3	59.4	61.5
4) coefficients de variation	0.75	0.84	0.66	0.48	0.70	0.72	0.52	0.40	0.50	0.53	0.51	0.55
5) maximum (mm)	347	514	336	303	305	311	169	168	270	195	274	217
6) minimum (mm)	16	35	13	27	1	7	6	25	21	15	35	15
7) intervalles de variation (mm)	331	479	323	276	304	304	163	143	249	180	239	202
8) indices d'humidité max.	3.79	3.86	2.66	2.26	2.69	3.09	1.90	1.74	2.16	1.90	2.36	1.94
9) indices d'humidité min.	0.17	0.26	0.10	0.20	0.01	0.07	0.07	0.26	0.17	0.15	0.30	0.13

STATION DE L'ABERGEMENT

1) médianes (mm)	73	71	90	110	90	88	81	88	118	84	101	108
2) moyennes (mm)	81	115	107	113	98	90	81	89	111	93	107	105
3) écarts-type (mm)	51.7	102.6	73.6	50.7	67.5	67.2	45.4	39.3	54.1	52.3	55.6	54.4
4) coefficients de variation	0.64	0.89	0.69	0.45	0.69	0.75	0.56	0.44	0.49	0.56	0.52	0.52
5) maximum (mm)	229	457	285	247	251	278	181	180	226	207	250	204
6) minimum (mm)	22	9	13	26	1	3	4	21	10	17	27	19
7) intervalles de variation (mm)	207	448	272	221	250	275	177	159	216	190	223	185
8) indices d'humidité max.	2.83	3.98	2.66	2.19	2.57	3.09	2.24	2.01	2.03	2.23	2.34	1.95
9) indices d'humidité min.	0.27	0.08	0.12	0.23	0.01	0.03	0.05	0.23	0.09	0.18	0.25	0.18

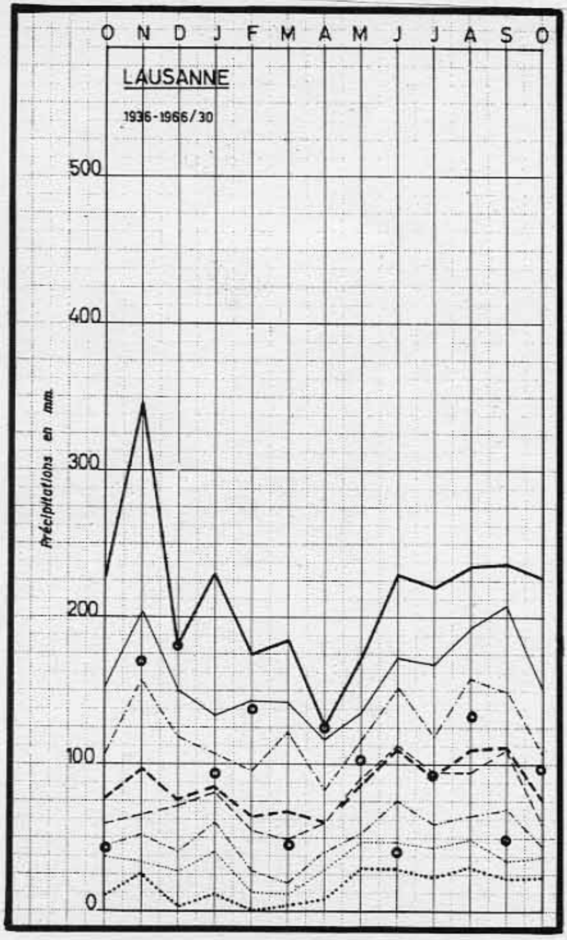
STATION DU SENTIER

1) médianes (mm)	88	93	101	115	92	103	83	115	143	106	121	117
2) moyennes (mm)	103	139	121	124	114	103	88	108	141	115	140	130
3) écarts-type (mm)	70.4	111.4	75.1	60.4	79.7	70.9	41.5	36.2	62.7	53.8	70.0	72.5
4) coefficients de variation	0.69	0.80	0.62	0.49	0.70	0.69	0.47	0.33	0.44	0.46	0.50	0.56
5) maximum (mm)	324	463	311	287	288	277	160	192	261	222	320	264
6) minimum (mm)	26	22	12	28	1	6	7	42	21	38	51	6
7) intervalles de variation (mm)	298	441	299	259	287	271	153	150	240	184	269	258
8) indices d'humidité max.	3.16	3.34	2.58	2.31	2.52	2.70	1.83	1.77	1.85	1.92	2.28	2.03
9) indices d'humidité min.	0.25	0.16	0.10	0.23	0.01	0.06	0.08	0.39	0.15	0.33	0.36	0.05

STATION DE VALLORBE-REPOSOIR

1) médianes (mm)	89	100	120	154	128	110	105	109	149	123	134	109
2) moyennes (mm)	103	144	140	147	129	113	107	117	141	117	140	129
3) écarts-type (mm)	67.0	111.5	84.3	70.3	86.1	75.9	50.5	39.3	67.1	56.5	62.8	69.7
4) coefficients de variation	0.65	0.77	0.60	0.48	0.67	0.68	0.47	0.34	0.48	0.48	0.45	0.54
5) maximum (mm)	300	516	359	302	332	314	195	210	304	243	289	270
6) minimum (mm)	24	39	17	32	4	12	11	64	35	28	58	29
7) intervalles de variation (mm)	276	477	342	270	328	302	184	146	269	215	231	241
8) indices d'humidité max.	2.91	3.58	2.57	2.05	2.58	2.79	1.82	1.80	2.15	2.08	2.06	2.09
9) indices d'humidité min.	0.23	0.27	0.12	0.22	0.03	0.11	0.10	0.55	0.25	0.24	0.41	0.22

Remarque : les rubriques 2 à 7 se rapportent aux précipitations mensuelles moyennes.



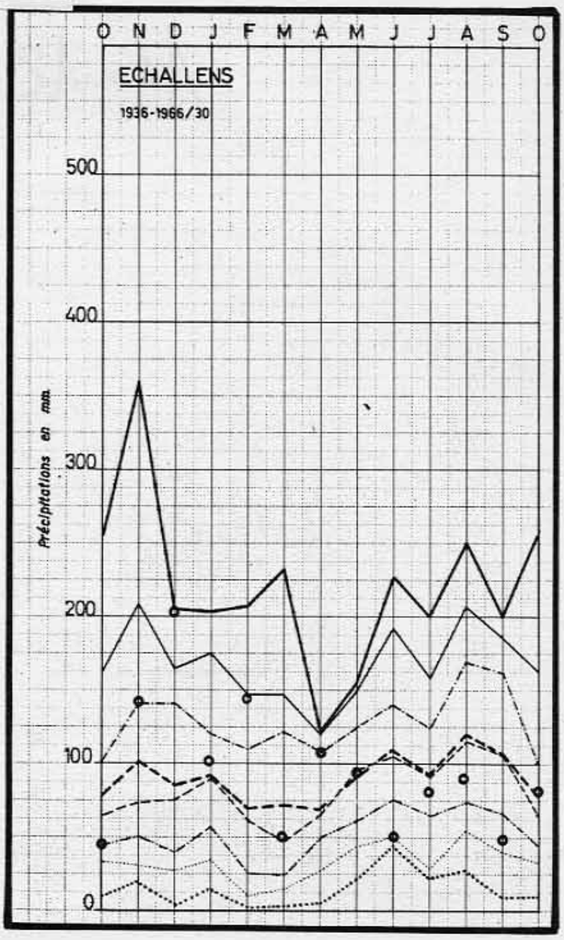


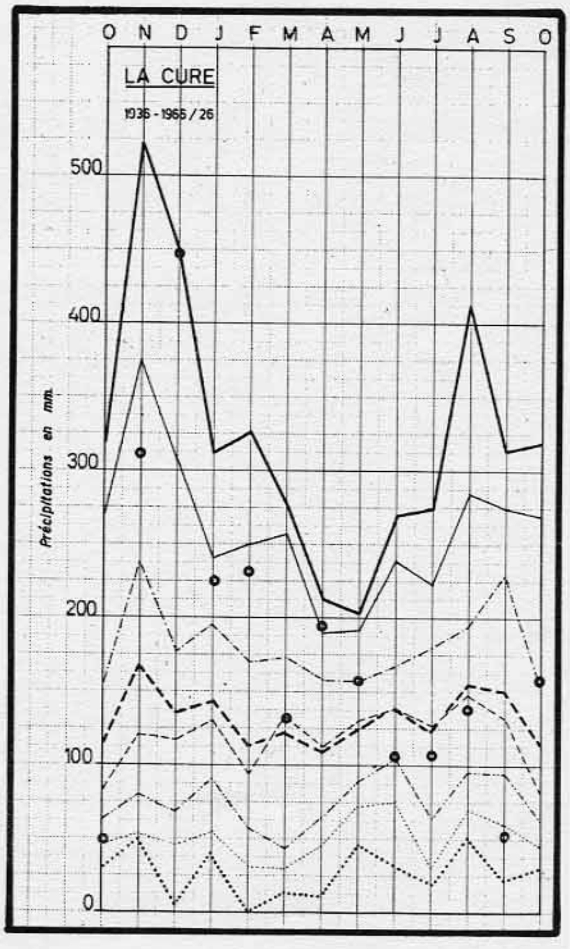
PLANCHE N.12

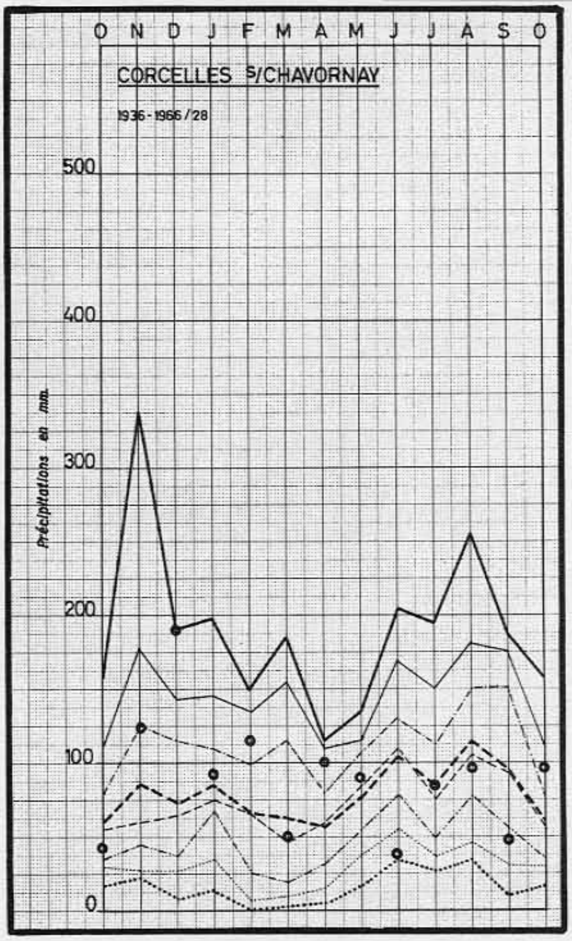
REPARTITION STATISTIQUE DES PRECIPITATIONS MENSUELLES

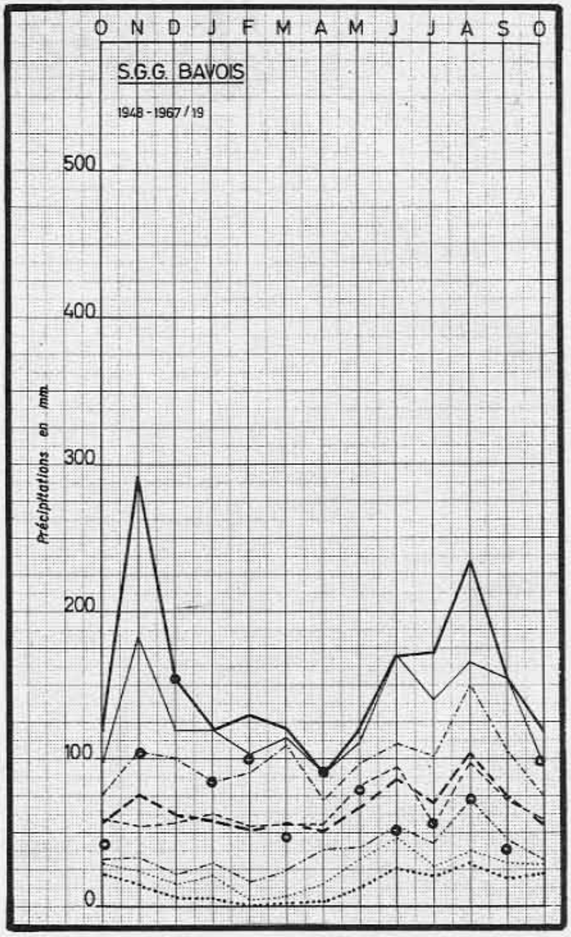
Fréquences expérimentales de dépassement des modules pluviométriques en 17 stations:

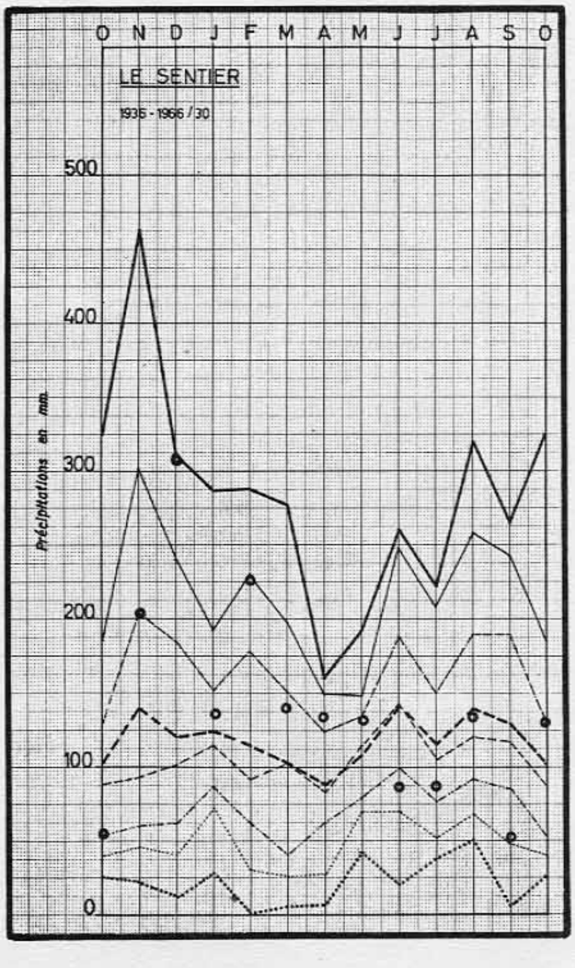
··········· Modules minimum
– – – – – Modules moyens
——— Modules maximum
——— Fréquence de dépassement 0.10
-·-·-·- Fréquence de dépassement 0.25
–– –– –– Fréquence de dépassement 0.50
–·–·–·– Fréquence de dépassement 0.75
··········· Fréquence de dépassement 0.90

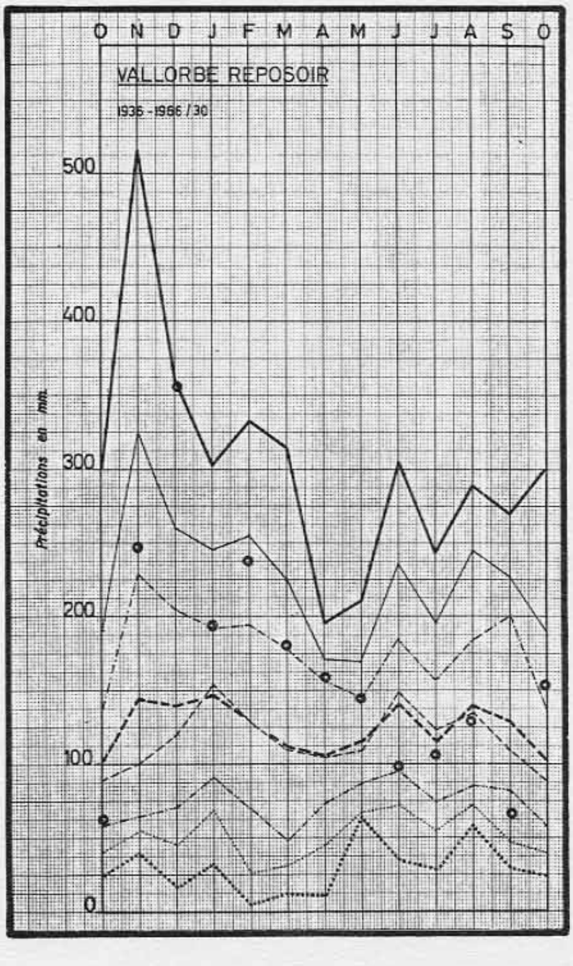
○ ○ **MODULES MENSUELS (1965-1966)**

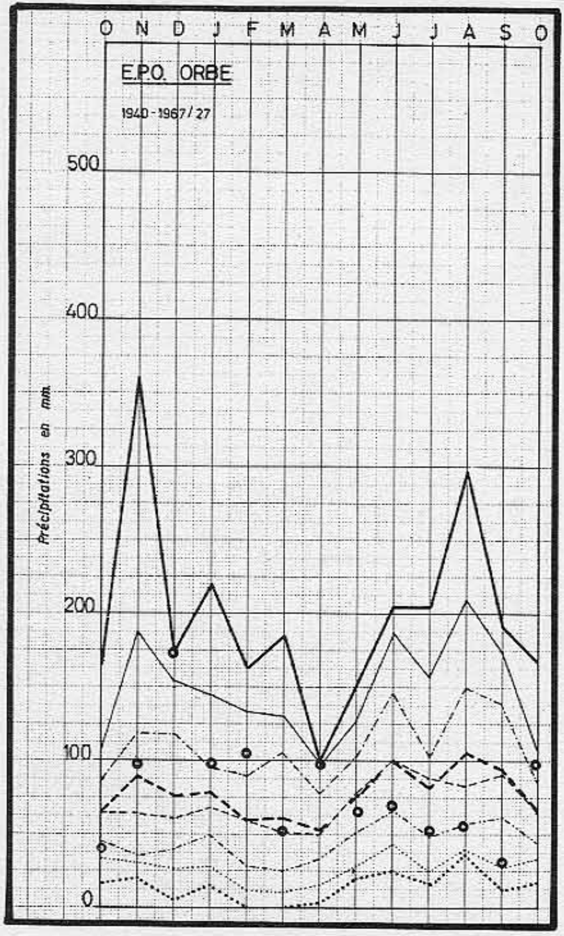


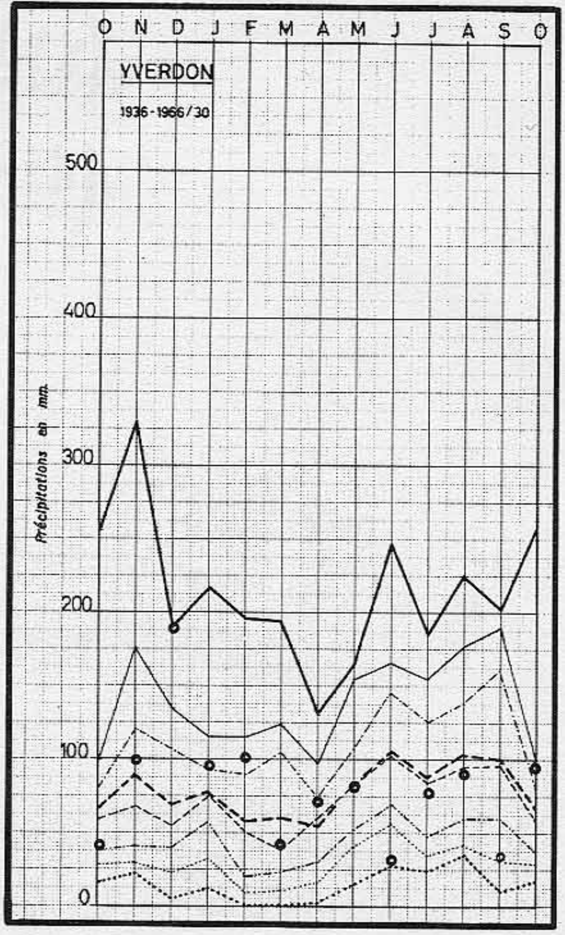

O N D J F M A M J J A S O
CORCELLES S/CHAVORNAY
1936 - 1966 / 28
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.

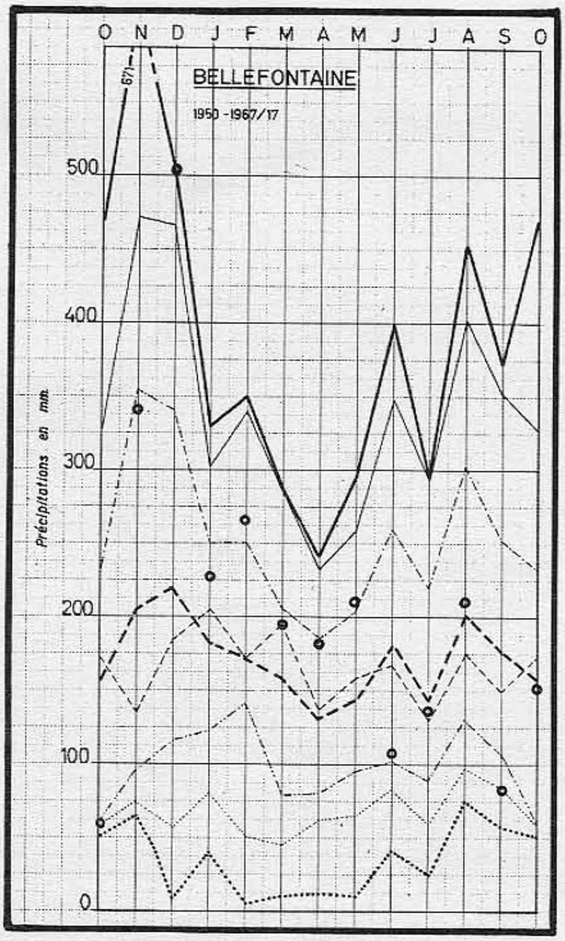

O N D J F M A M J J A S O
S.G.G. BAVOIS
1948 - 1967 / 19
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.

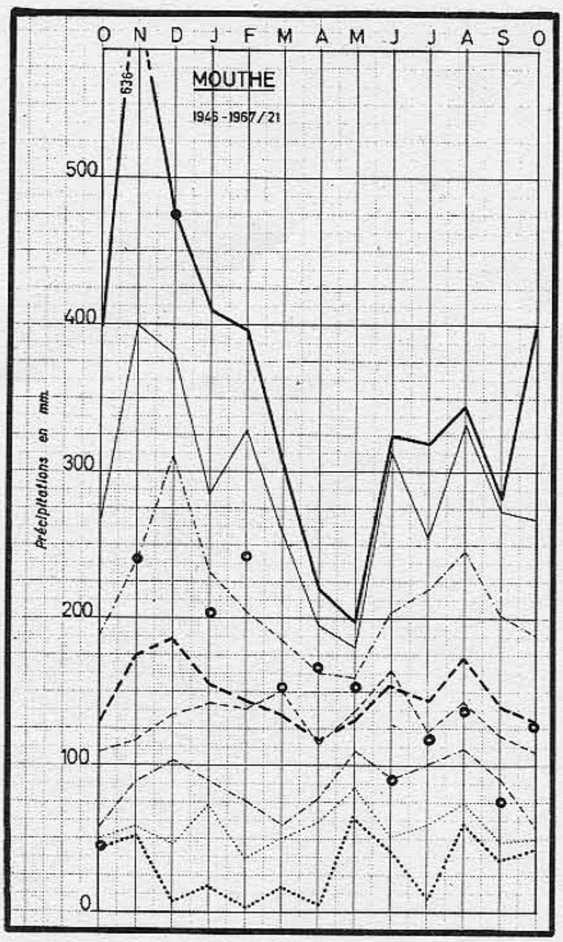

O N D J F M A M J J A S O
LE SENTIER
1936 - 1966 / 30
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.

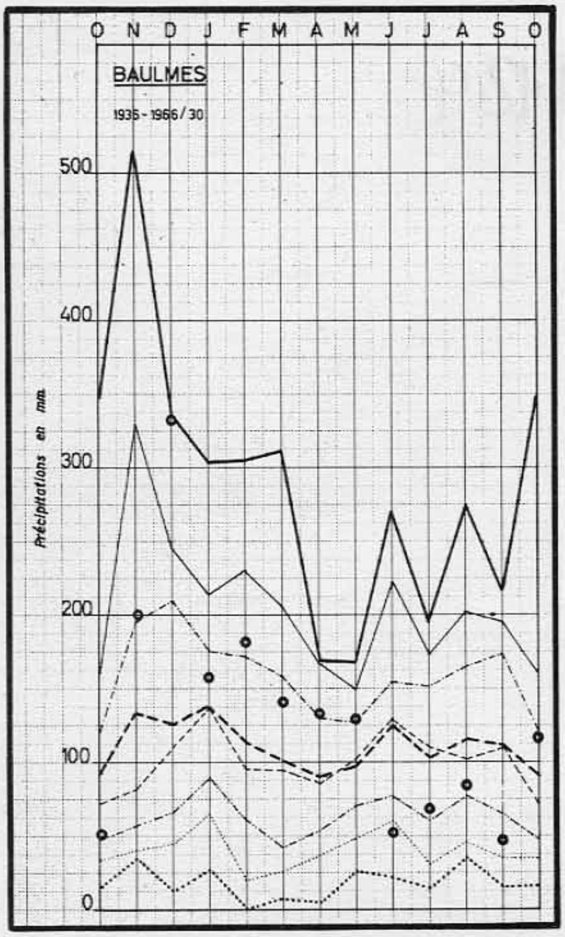

O N D J F M A M J J A S O
VALLORBE REPOSOIR
1936 - 1966 / 30
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.

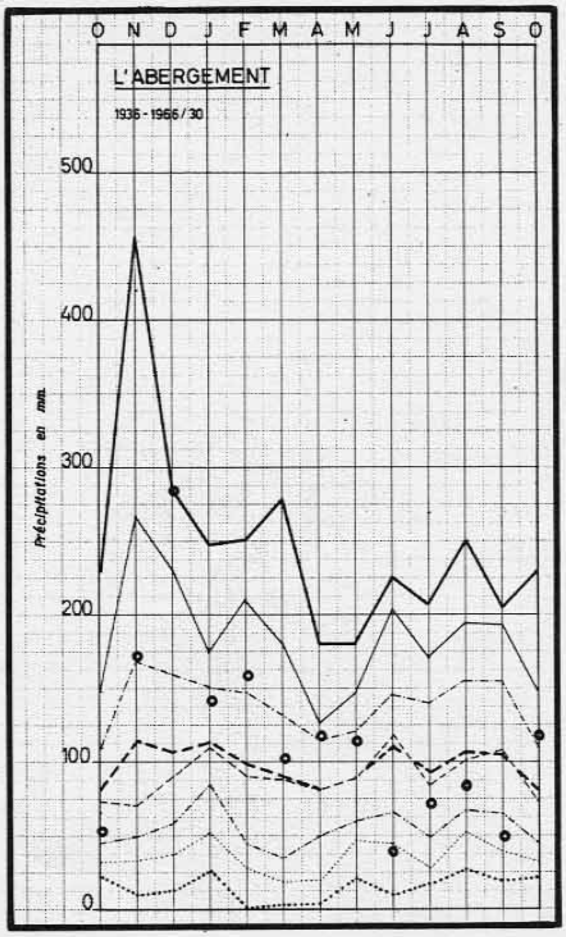

O N D J F M A M J J A S O
E.P.O. ORBE
1940 - 1967 / 27
Précipitations en mm.
500
400
300
200
100
0

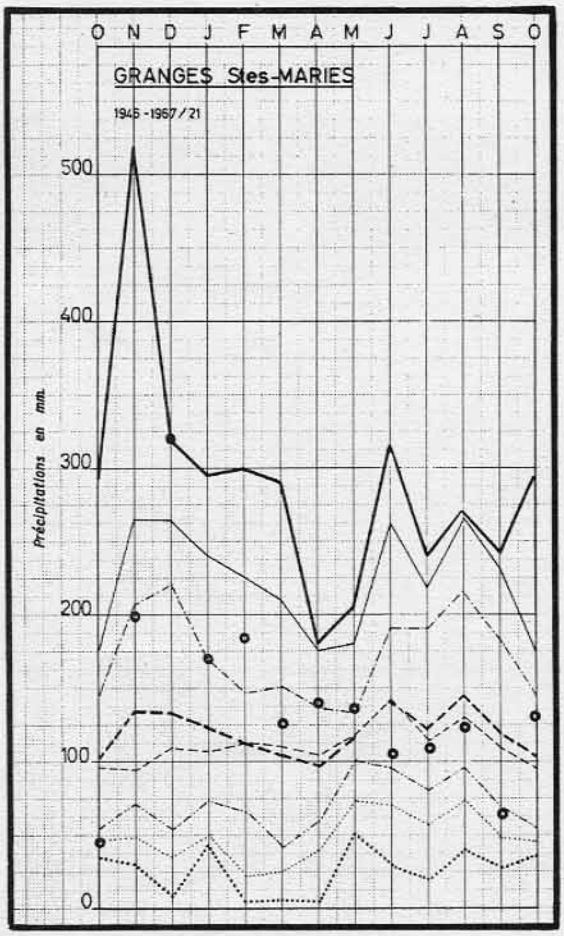

O N D J F M A M J J A S O
YVERDON
1936 - 1966 / 30
Précipitations en mm.
500
400
300
200
100
0

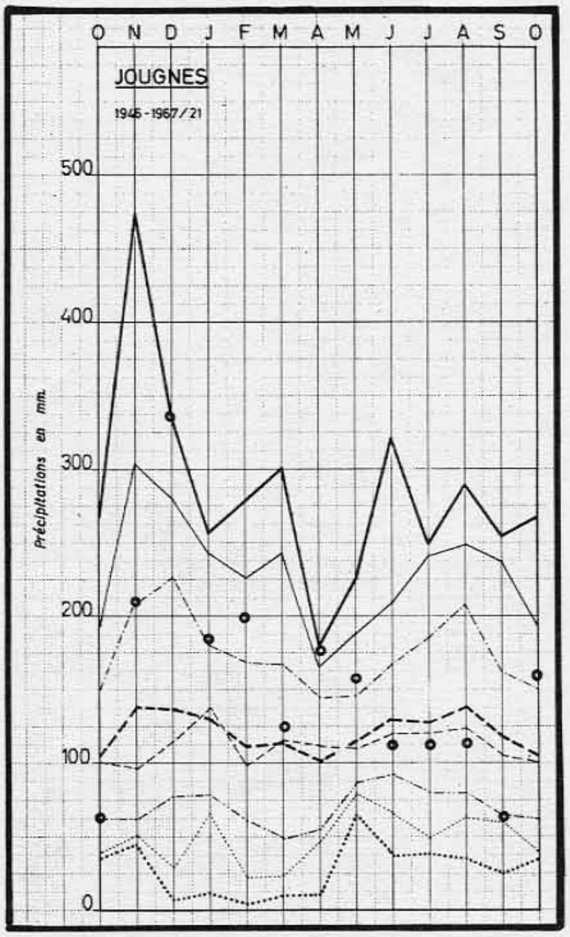

O N D J F M A M J J A S O
671
BELLEFONTAINE
1950 - 1967 / 17
Précipitations en mm.
500
400
300
200
100
0

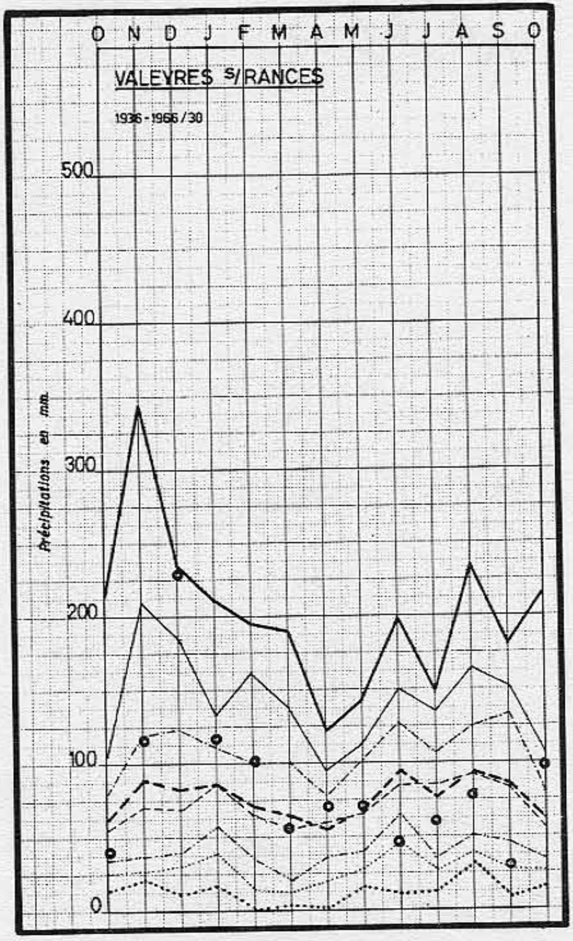

O N D J F M A M J J A S O
636
MOUTHE
1946 - 1967 / 21
Précipitations en mm.
500
400
300
200
100
0

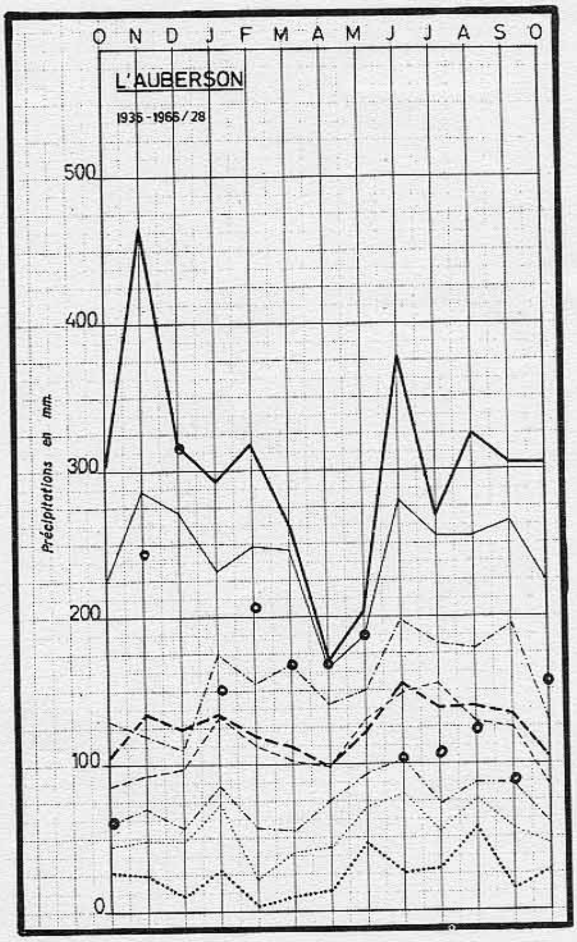

O N D J F M A M J J A S O
BAULMES
1936 - 1966 / 30
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.


O N D J F M A M J J A S O
L'ABERGEMENT
1936 - 1966 / 30
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.


O N D J F M A M J J A S O
GRANGES Stes-MARIES
1946 - 1967 / 21
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.


O N D J F M A M J J A S O
JOUGNES
1946 - 1967 / 21
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.


O N D J F M A M J J A S O
VALEYRES S/RANCES
1936 - 1966 / 30
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.


O N D J F M A M J J A S O
L'AUBERSON
1936 - 1966 / 28
500
400
300
200
100
0
Précipitations en mm.

REPARTITION PAR BASSIN VERSANT DES PRECIPITATIONS ANNUELLES SOUS FORME DE LAME D'EAU

PLANCHE 13

Lame (cm)	Classes	200	200-190	190-180	180-170	170-160	160-150	150-140	140-130	130-120	120-110	110-100	100- 90	90	Totaux	Lame d'eau moyenne (cm) $Lm = \frac{\Sigma(P.S\%)}{100}$	Pm	R
BASSINS VERSANTS	P. moyennes	205	195	185	175	165	155	145	135	125	115	105	95	85				
ORBE SUP. (S. Orbe)	km^2	13.67	30.06	33.18	44.68	28.81	16.37	14.12							180.89			
	S%	7.5	16.6	18.3	24.8	15.9	9.1	7.8							100.0	176.5	158.1	1.12
	% cum.	7.5	24.1	42.4	67.2	83.1	92.2	100.0							-			
JOUGNENAZ (Day)	km^2	0.75	2.52	20.94	6.14	4.82	1.75	0.87							37.79			
	S%	2.0	6.7	55.4	16.2	12.8	4.6	2.3							100.0	179.6	145.2	1.24
	% cum.	2.0	8.7	64.1	80.3	93.1	97.7	100.0							-			
ORBE A ORBE (M. Rod)	km^2	21.74	35.64	56.78	54.94	36.55	25.57	20.31	4.52	10.64	11.43	10.64	10.37		299.13			
	S%	7.3	11.9	19.0	18.3	12.2	8.5	6.8	1.5	3.6	3.8	3.6	3.5		100.0	166.5	157.4	1.06
	% cum.	7.3	19.2	38.2	56.5	68.7	77.2	84.0	85.5	89.1	92.9	96.5	100.0		-			
NOZON (St Loup)	km^2				1.54	8.21	6.94	5.51	7.06	3.96	4.95	4.52	0.06		42.75			
	S%				3.6	19.2	16.2	12.9	16.5	9.3	11.6	10.6	0.1		100.0	140.3	133.1	1.05
	% cum.				3.6	22.8	39.0	51.9	68.4	77.7	89.3	99.9	100.0		-			
NOZON (Orny)	km^2				1.54	8.21	6.94	5.51	7.06	3.96	4.95	4.52	1.36	1.40	45.45			
	S%				3.4	18.1	15.3	12.1	15.5	8.7	10.9	9.9	3.0	3.1	100.0	137.3	133.1	1.03
	% cum.				3.4	21.5	36.8	48.9	64.4	73.1	84.0	93.9	96.9	100.0	-			
BAULMES-FEURTILLE	km^2				1.81	2.71	1.50	1.81	3.31	3.31					14.45			
	S%				12.5	18.8	10.4	12.5	22.9	22.9					100.0	146.7	135.4	1.08
	% cum.				12.5	31.3	41.7	54.2	77.1	100.0					-			
MUJON (Mathod)	km^2									1.42	4.26	4.13	5.17		14.98			
	S%									9.5	28.4	27.6	34.5		100.0	107.3	110.0	0.98
	% cum.									9.5	37.9	65.5	100.0		-			
BEY-MUJON	km^2				1.81	2.71	1.50	1.81	3.31	4.73	4.26	6.86	19.31	0.62	46.92			
	S%				3.9	5.8	3.2	3.9	7.1	10.1	9.1	14.5	41.1	1.3	100.0	114.9	110.3	1.04
	% cum.				3.9	9.7	12.9	16.8	23.9	34.0	43.1	57.6	98.7	100.0	-			

Planche 13

1.1 1.2

	BRINAZ	km^2				3.75	5.25	4.00	1.20		14.20	113.1	107.4	1.05
		S				26.4	37.0	28.1	8.5		100.0			
		% cum.				26.4	63.4	91.5	100.0		-			
	LATERAUX OUEST+SUD	km^2						3.16	18.26	5.49	26.91	94.2	-	-
		S%						11.8	67.8	20.4	100.0			
		% cum.						11.8	79.6	100.0	-			
	PLAINE DE L'ORBE	km^2							21.80	15.45	37.25	90.9	90.1	1.01
		S%							58.5	41.5	100.0			
		% cum.							58.5	100.0	-			
	LATERAUX EST	km^2							26.12	0.75	26.87	94.7	-	-
		S%							97.0	3.0	100.0			
		% cum.							97.0	100.0	-			
	BURON	km^2						21.92	12.19		34.11	101.4	100.4	1.01
		S%						64.2	35.8		100.0			
		% cum.						64.2	100.0		-			
	TALENT	km^2				11.13	16.00	25.72	10.93		63.78	109.3	103.2	1.06
		S%				17.5	25.1	40.2	17.2		100.0			
		% cum.				17.5	42.6	82.8	100.0		-			

Planche 14 | 1.1 | 1.2 | 1.3

PLAINE DE L'ORBE

PLANCHE N.14

ETUDE HYDROLOGIQUE

courbes isopièzes

ECHELLE 1: 25'000

EQUIDISTANCE 1 m.

LEGENDE

▨ Formations secondaires et tertiaires des versants

ISOPIEZES

$\frac{434}{434}$ cotées en mètres

PIEZOMETRES

● 3-37 utilisable au moins jusqu'au 30.9.1966
◕ 2-8 utilisable partiellement jusqu'au 30.9.1966
◐ 2-21 utilisable uniquement après le 30.9.1966
○ 3-26 hors d'usage ou disparu avant le 1.10.1965
• posé provisoirement après le 30.9.1966

PUITS

⬢ 4-69 Puits en pompage continu
⬙ 2-2 Puits en pompage partiel
⬢ 3-38 Puits en pompage partiel construit après le 30.9.66
⬡ 3-10 Puits mis hors service avant le 1.10.1965
▲ 2-24 Puits de l'Island, construit dans la molasse

Perméabilités des alluvions

☐ > 10 cm/s élevée
☐ 10 - 10^{-3} cm/s moyenne
☐ < 10^{-3} cm/s faible

REMARQUE La numérotation des puits et piézomètres se rapporte à la description géologique de l'annexe VII.

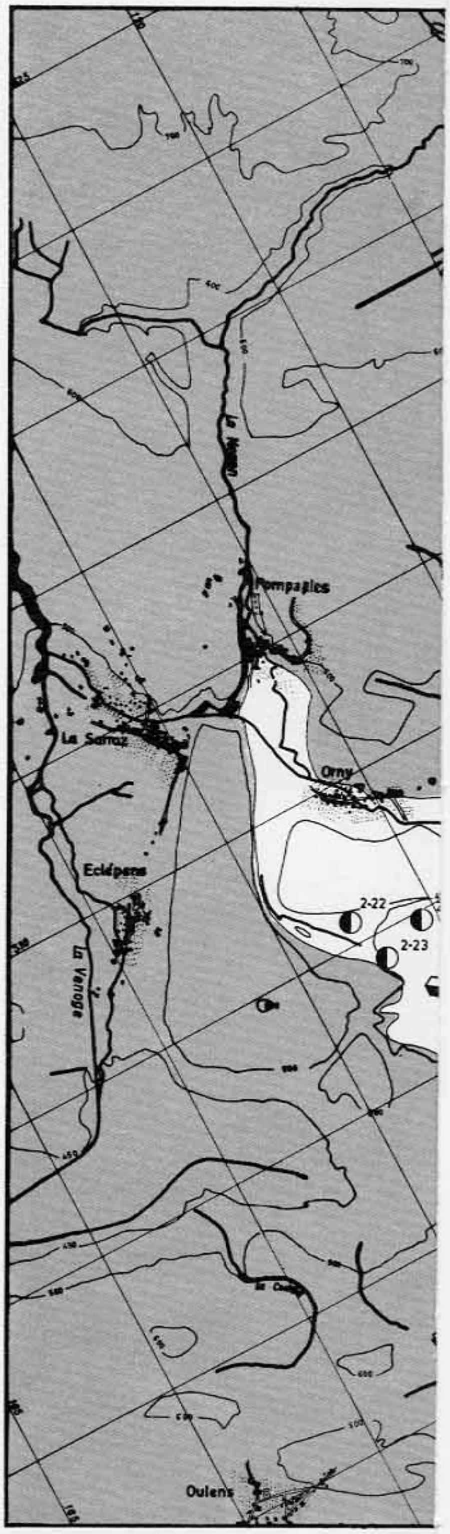
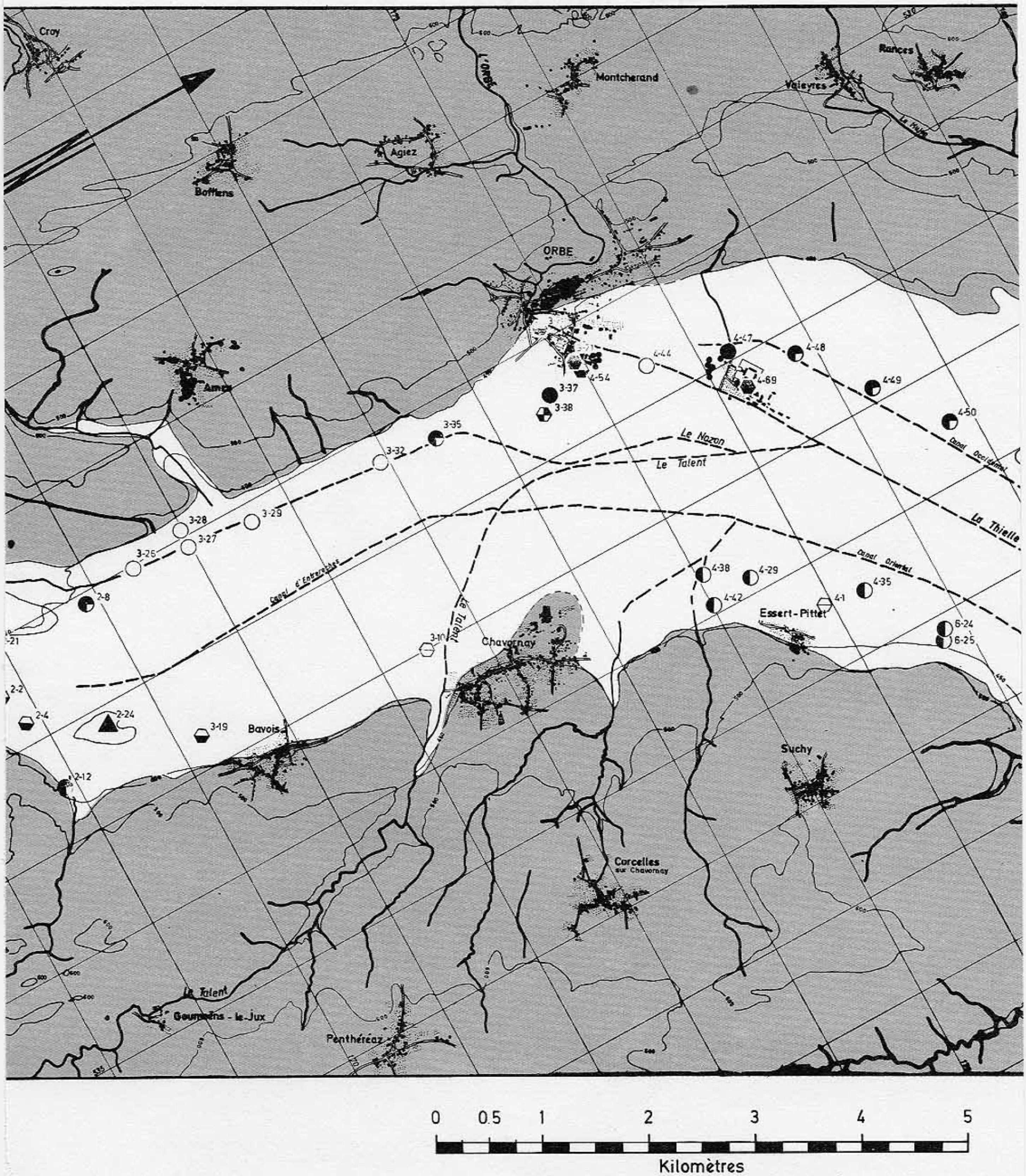
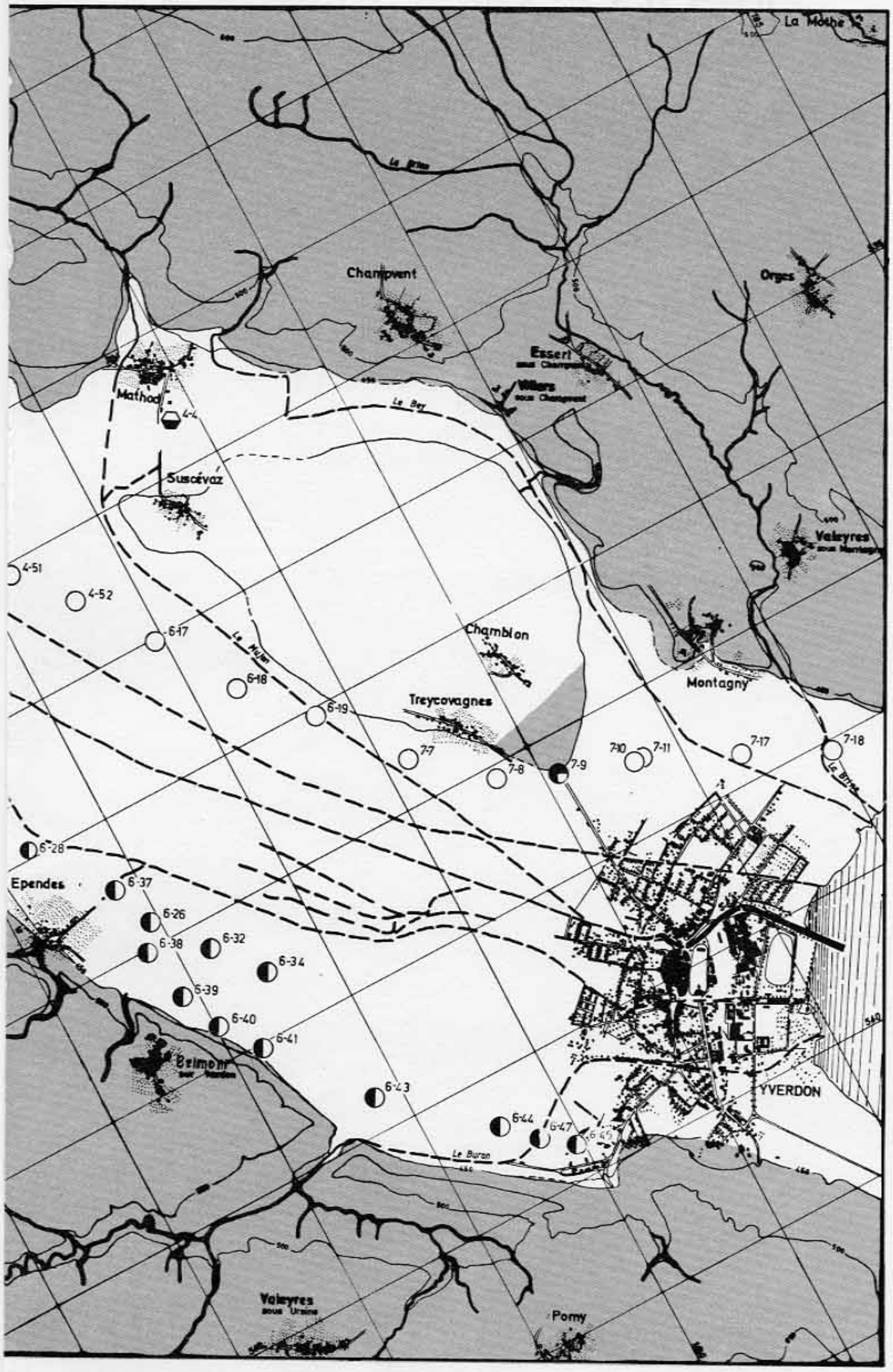


Planche 14 1.1 1.2 1.3


Croy
Montcherand
Rances
Valeyres
Agiez
Bofflens
L'Orbe
ORBE
Arnex
4-47
4-48
4-44
4-54
4-69
4-49
4-50
3-37
3-38
3-35
3-32
Le Nozon
Le Talent
Canal Occidental
La Thielle
3-29
3-28
3-27
3-26
Canal d'Entreroches
2-8
2-21
Canal Oriental
4-38
4-29
4-42
4-1
4-35
Essert-Pittet
6-24
6-25
3-10
Le Talent
Chavornay
2-2
2-4
2-24
3-19
Bavois
2-12
Suchy
Corcelles sur Chavornay
Le Talent
Goumoëns-le-Jux
Penthéréaz
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres


La Mothe
La Brine
Champvent
Essert sous Champvent
Villars sous Champvent
Orges
Mathod
4-4
Le Bey
Suscévaz
Valeyres sous Montagny
4-51
4-52
6-17
Le Mujon
6-18
6-19
Chamblon
Treycovagnes
Montagny
7-7
7-8
7-9
7-10
7-11
7-17
7-18
6-28
Ependes
6-37
6-26
6-38
6-32
6-34
6-39
6-40
6-41
Belmont sur Yverdon
6-43
6-44
6-47
YVERDON
Le Buron
Valeyres sous Ursins
Pomy
500
540

PLAINE DE L'ORBE

PLANCHE N.15

ETUDE HYDROLOGIQUE

courbes d'égale hauteur de fluctuations de la surface piézométrique

ECHELLE 1: 25'000
EQUIDISTANCE 1 m.

LEGENDE

ECOULEMENT

- ——→ Direction d'écoulement en période de crue
- - - - → Direction d'écoulement en période de basses eaux
- ⇛ Axe de drainage

FLUCTUATIONS

- □ Inconnues
- ▒ < 1m.
- ▨ 1 - 2m.
- ▦ 2 - 3m.
- ▩ > 3m.

- ▧ Formations secondaires et tertiaires des versants

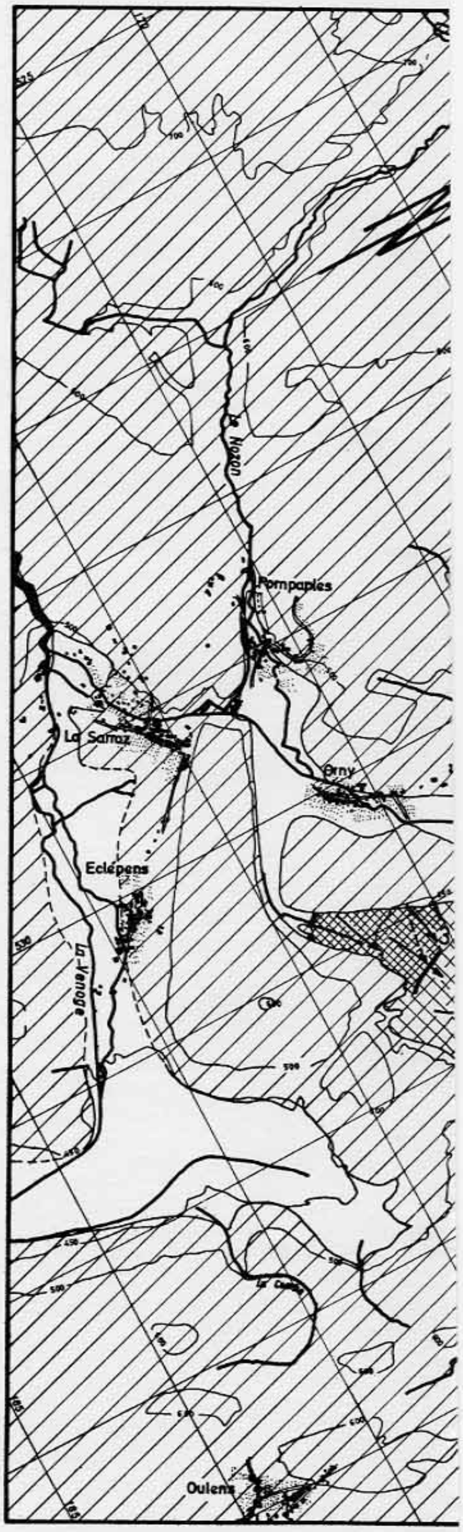
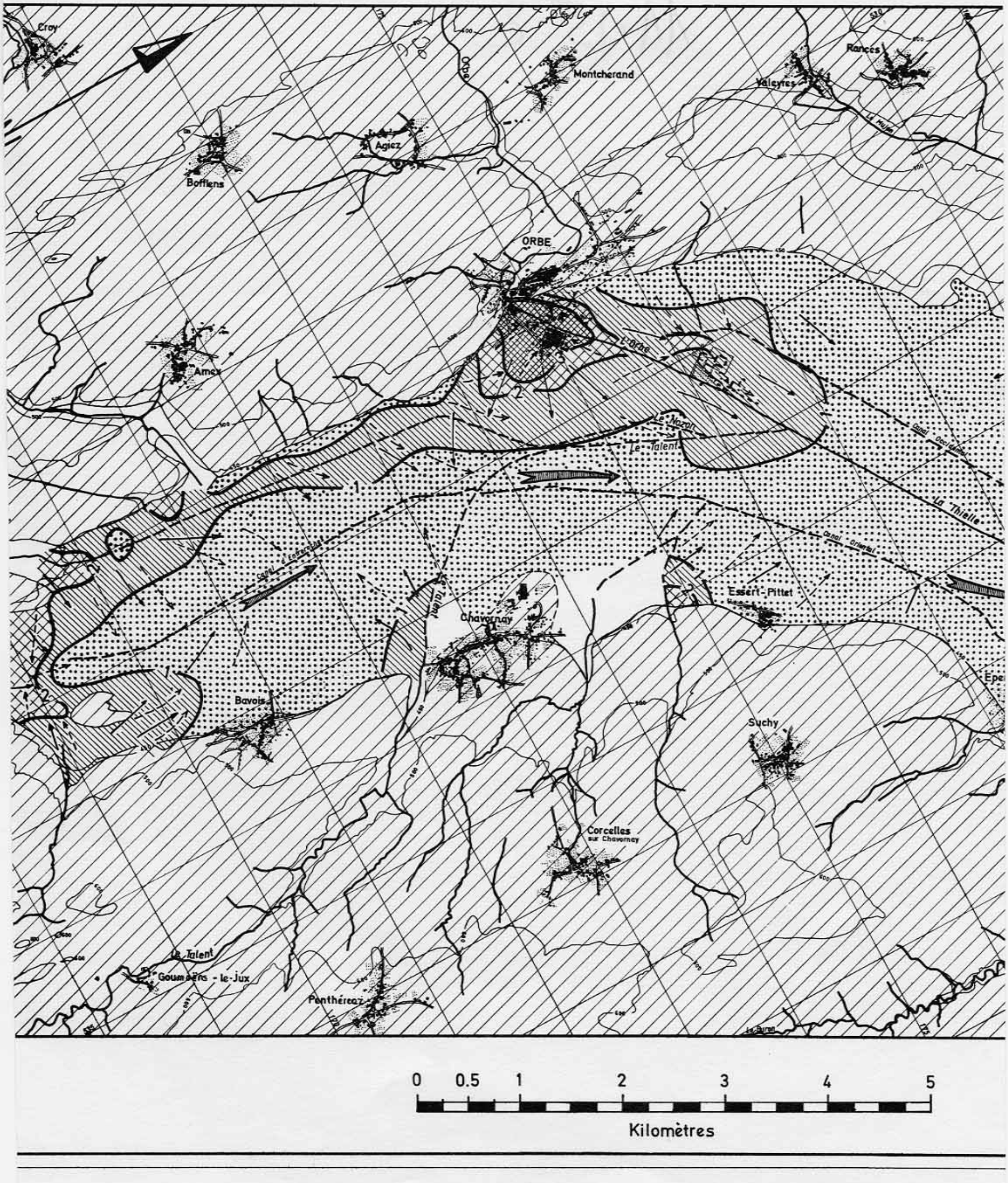
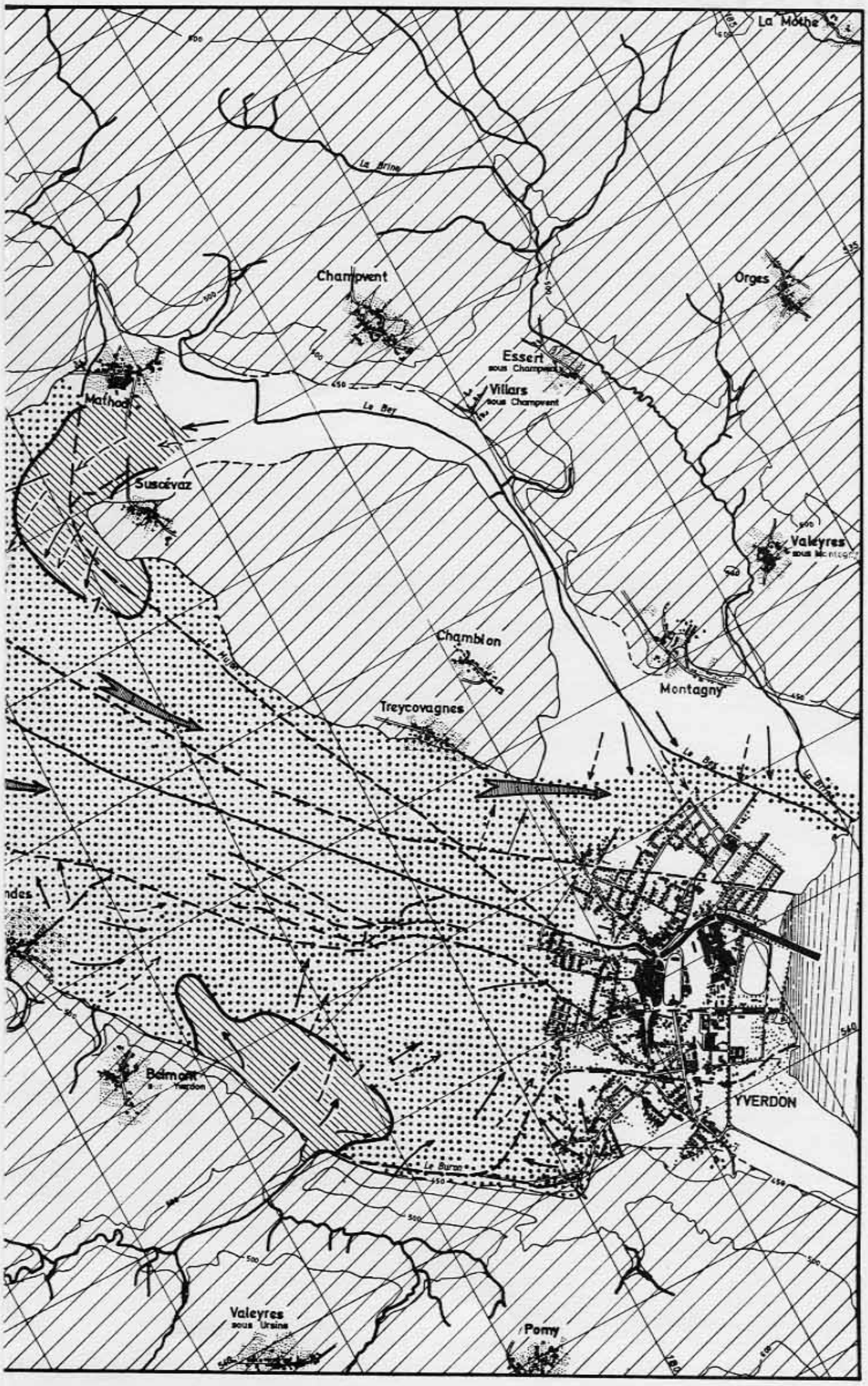

Pompaples
La Sarraz
Orny
Eclépens
Le Nozon
La Venoge
Oulens

Planche 15 | 1.1 | 1.2 | 1.3



Croy
Montcherand
Orbe
Valeyres
Rances
La Mujon
Agiez
Bofflens
ORBE
L'Orbe
Arnex
Le Nozon
Le Talent
Canal Occidental
La Thielle
Canal Oriental
Canal d'Entreroches
Talent
Chavornay
Essert-Pittet
Bavois
Suchy
Epe
Corcelles
sur Chavornay
Le Talent
Goumoëns - le-Jux
Penthéréaz
Le Buron
1
2
0
0.5
1
2
3
4
5
Kilomètres

Planche 15 | 1.1 | 1.2 | 1.3


La Mothe
La Brine
Champvent
Orges
Essert sous Champvent
Villars sous Champvent
Le Bey
Mathod
Suscévaz
Valeyres sous Montagny
Chamblon
Montagny
Treycovagnes
Le Mujon
Le Bey
La Brinaz
Belmont s. Yverdon
YVERDON
Le Buron
Valeyres sous Ursins
Pomy
500
450
540