

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 — 45 Orléans (02) — Tél. (38) 66.06.60

**CONNAISSANCE DE L'HYDROGÉOLOGIE DE LA PLAINE
SAONE - DOUBS (Côte-d'Or - Jura - Saône et Loire)**

RAPPORT DE SYNTHÈSE

TROISIÈME PARTIE : HYDROCHIMIE ET POLLUTIONS

par

J.-J. COLLIN

avec la collaboration de J. TOUBIN

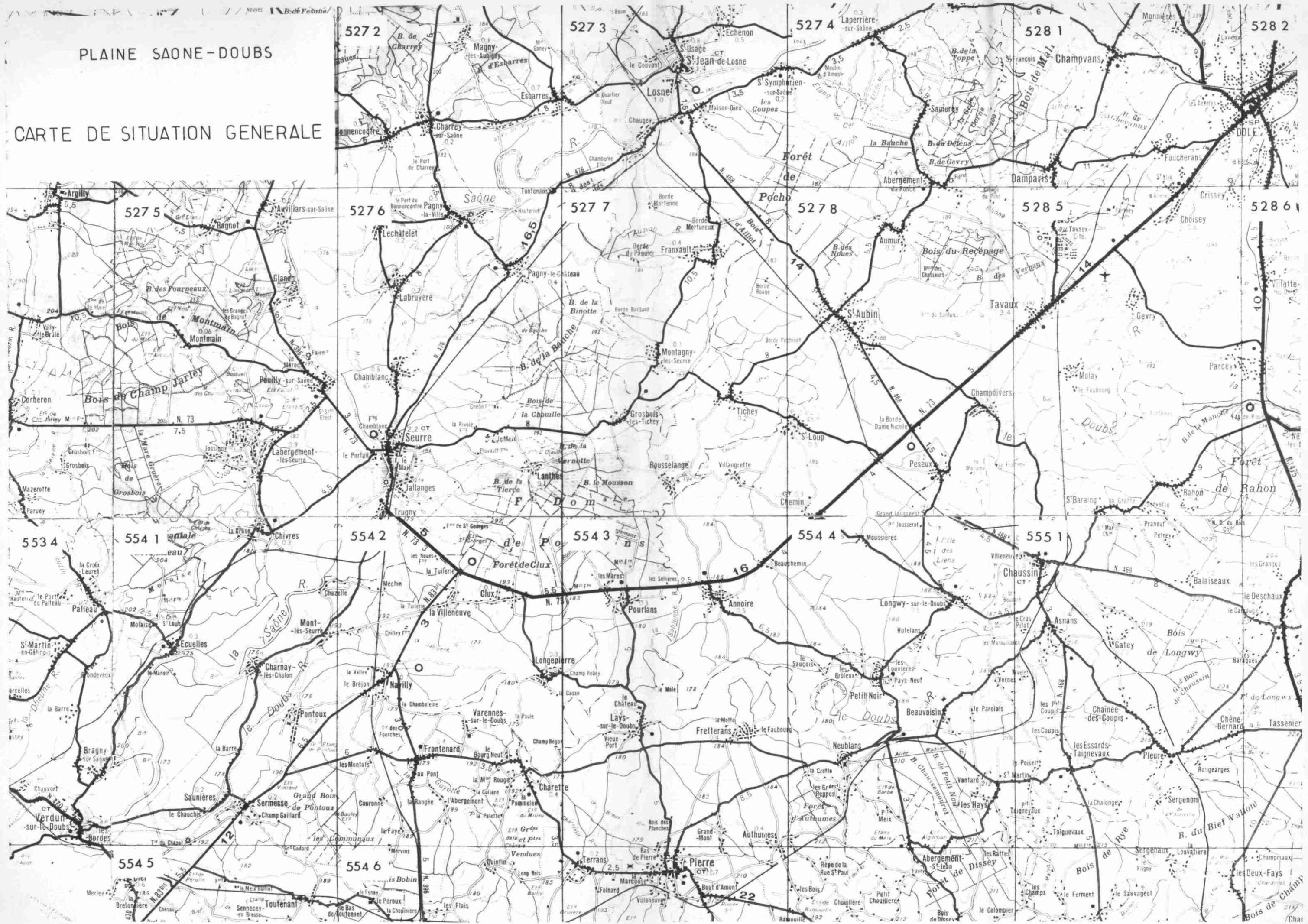


Service géologique régional JURA - ALPES

B.P. 6083 — 69 Villeurbanne / Croix-Luizet — Tél. (78) 52.26.67

PLAINE SAONE-DOUBS

CARTE DE SITUATION GENERALE



R E S U M E

Modalités administratives

Le présent rapport, qui constitue le troisième tome de l'étude hydrogéologique de la plaine Saône-Doubs, a été financé par conventions entre Messieurs les Préfets de la Côte d'Or et du Jura et le B.R.G.M., ainsi que par convention Ministère de l'Industrie - B.R.G.M. et par une convention entre la Société SOLVAY et le B.R.G.M.

Objet

Dans le cadre général de l'hydrogéologie, ce troisième rapport fait le point des caractéristiques chimiques des nappes et analyse les différents processus de pollution constatés.

Moyens mis en oeuvre

Prélèvements dans 450 points, puits ou piézomètres suivis pendant 2 ans, analyses partielles de Cl^- , analyses complètes. Cartographie des paramètres chimiques. Etude de l'évolution des pollutions dans le temps et l'espace.

Résultats

Définition des zones de bonne qualité naturelle des eaux et des influences locales susceptibles de les dégrader. Localisation des zones de pollution, détermination des trajets et des zones menacées, étude des propagations dans leur contexte hydrodynamique, suggestions de solutions.

Perspectives d'avenir

Il apparait primordial de protéger les zones de la nappe qui ne sont pas l'objet d'atteintes actuelles de la part de la pollution. Le sauvetage de certaines portions actuellement polluées est envisageable.

Dans cette optique, un modèle de gestion de l'ensemble de l'aquifère représenterait un outil très efficace.

Ingénieur responsable

J.J. COLLIN

Technicien

J. TOUBIN

Dessinateur

J.F. RIEUX

Secrétariat

N. IMBERT

C. PERINET

TABLE DES MATIERES

1 - METHODOLOGIE ET TECHNIQUES EMPLOYEES	8

11 - ECHANTILLONNAGE	8
12 - PRESENTATION DES RESULTATS	9
2 - HYDROCHIMIE GENERALE	11

21 - ETUDE DES RESULTATS DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES PRELEVEMENTS SYSTEMATIQUES D'OCTOBRE 1966	11
211 - <u>Concentration totale</u>	11
2111 - <u>Prélèvements dans le système aquifère principal</u>	11
2112 - <u>Aquifères secondaires</u>	13
2113 - <u>Commentaire</u>	13
212 - <u>TH (titre ou degré hydrotimétrique) ou encore "dureté totale"</u>	15
2121 - <u>Description de la carte</u>	15
2122 - <u>Eau des aquifères secondaires</u>	17
2123 - <u>Commentaires</u>	17
213 - <u>Sulfates (SO₄⁻⁻)</u>	18
2131 - <u>Description de la carte (figure 2131)</u>	18
2132 - <u>Commentaires</u>	18
214 - <u>TAC (titre alcalimétrique complet)</u>	21
2141 - <u>Répartition des valeurs</u>	21
2142 - <u>Commentaire</u>	21
215 - <u>Chlore, Cl⁻</u>	23

2151 - <u>Répartition des teneurs</u>	23
2152 - <u>Commentaire</u>	25
2153 - <u>Carte de décembre 1967</u>	28
22 - FACIES HYDROCHIMIQUE ET SON EVOLUTION	28
221 - <u>Cartographie de rapports caractéristiques</u>	30
2211 - <u>Etude du rapport</u> $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$	30
2212 - <u>Etude du rapport</u> $\frac{Cl^{-} - (Na^{+} + K^{+})}{Cl^{-}}$	32
222 - <u>Faciès hydrochimiques</u>	35
223 - <u>Carte hydrochimique de synthèse</u>	37
3 - POLLUTION	39

31 - INTRODUCTION	40
32 - SECTEUR DE GEVRY-MOLAY	40
321 - <u>Historique</u>	40
322 - <u>Etude analytique</u>	41
323 - <u>Vitesse de propagation</u>	46
324 - <u>Conclusion</u>	47
33 - USINE SOLVAY ET SES ABORDS	48
331 - <u>Introduction</u>	48
332 - <u>Données des cartes chimiques générales</u>	49
333 - <u>Origine de la pollution</u>	49
334 - <u>Remarque préliminaire</u>	50
335 - <u>Carte chimique de détail</u>	50
336 - <u>Coupe temps - teneur en Cl⁻</u>	52

337 - <u>Surveillance de quelques puits exploités</u>	52
338 - <u>Essai d'interprétation</u>	55
34 - ETANG DE L'AILLON	59
341 - <u>Introduction, généralités, travaux antérieurs</u>	59
342 - <u>Surveillance</u>	60
343 - <u>Pollution observée</u>	60
344 - <u>Ségrégation verticale de la pollution</u>	63
345 - <u>Conclusions</u>	69
35 - COURS DE LA SAONE CANALISEE	70
351 - <u>Pollution des eaux de la Saône</u>	70
3511 - <u>Débit</u>	70
3512 - <u>Teneur en Cl⁻</u>	71
3513 - <u>Relation débit-teneur</u>	71
352 - <u>Pollutions constatées</u>	75
3521 - <u>Variations de teneur en Cl⁻, observées dans des piézomètres</u>	76
3522 - <u>Variations de teneur en Cl⁻, observées sur un captage</u>	78
353 - <u>Conclusions</u>	80
36 - NUISANCES CAUSEES PAR LA POLLUTION Cl ⁻	81
361 - <u>Alimentation humaine</u>	81
362 - <u>Eau d'irrigation</u>	82
363 - <u>Eau industrielle</u>	84
37 - COMPORTEMENT DE LA POLLUTION DANS LE SOL	84
371 - <u>Etude expérimentale</u>	86
372 - <u>Conclusion</u>	88

38 - VULNERABILITE DE L'AQUIFERE A LA POLLUTION	90
381 - <u>Généralités</u>	90
382 - <u>Commentaires</u>	90
383 - <u>Conclusion</u>	94
4 - CONCLUSIONS GENERALES	94

41 - HYDROCHIMIE GENERALE	94
42 - POLLUTION	94

TABLE DES FIGURES

<u>Figure</u>	<u>Page</u>	
2111	Carte hydrochimique : concentrations totales	12
2112	Carte hydrochimique : concentrations totales (aquifères secondaires). Situation des points d'eau ayant fait l'objet d'une analyse chimique.	14
2121	Carte hydrochimique : valeur du Th	16
2131	Carte hydrochimique SO_4 (octobre 1966)	19
2141	Carte hydrochimique (TAC). Prélèvement octobre 1966.	22
2151 a	Carte hydrochimique : teneur en Cl^- (octobre 1966)	24
2153	Carte hydrochimique : teneur en Cl^- (décembre 1967)	29
2211	Carte hydrochimique : valeur du rapport $\frac{Mg}{Ca}$ (octobre 1966)	31
2212	Carte hydrochimique : rapport $\frac{Cl^- - (Na + K)}{Cl^-}$	34
	Prélèvement octobre 1966	
223	Carte hydrochimique de synthèse	(hors texte)
322 a	Dosage du Cl^- . Secteur de Gevry (63) et puits du Recepage (80)	43
322 b	Coupe comparative des teneurs en chlore, secteur GEVRY-MOLAY	45
335	Pollution aux abords de l'usine SOLVAY (septembre 1967)	51
336	Coupe comparative des teneurs en Cl^- (aval des bacs de décantation)	53
337	Tableau des teneurs en Cl^- de quelques puits de l'usine SOLVAY	54
338	Schéma explicatif de la pollution dans l'usine SOLVAY	55
342 a	Evolution des niveaux dans les sondages voisins de l'étang de l'Aillon	61
343 a	Evolution des teneurs en chlore dans l'étang de l'Aillon et les sondages voisins.	62

<u>Figure</u>		<u>Page</u>
343 b	Evolution des teneurs en Cl^- des eaux des sondages 527-3-34, 33, 32. Secteur de l'Etang de l'Aillon	64
344 a	Profil vertical des teneurs en chlore dans l'étang de l'Aillon et les sondages voisins.	66
344 b	Carte de la pollution dans le secteur de l'Etang de l'Aillon	67
3511	Teneur en Cl^- des eaux de la Saône à Seurre en fonction des débits de la rivière et du tonnage rejeté	72
3513 a	Détail 1 de la figure 3511	73
3513 b	Détail 2 de la figure 3511	74
3521	Comparaison entre les teneurs en Cl^- relevées dans la Saône et les teneurs relevées dans la nappe	77
3522	Comparaison entre la teneur en Cl^- des eaux de la Saône et la nappe alluviale exploitée à Glanon (21)	79
362	Qualité de l'eau d'irrigation en fonction du quotient de sodium et de la concentration	85
	Evolution de la composition chimique relative de l'eau (concentration en %)	
37	Evolution relative de la composition chimique de l'eau	87
371	Evolution de la teneur en Na d'échantillons d'eau mis au contact avec un échantillon d'argile de Saint-Cosme (sondage 527-7-40)	89
38	Carte schématique de vulnérabilité de la nappe à la pollution	92
382	Schéma explicatif de la pollution de l'aquifère principal par les aquifères perchés.	93

ANNEXES

- I - Tableau des analyses chimiques complètes
- II - Diagrammes de Piper
- III - Grille pour l'établissement des diagrammes rectangulaires
- IV - Situation des points d'eau ayant fait l'objet d'une analyse chimique complète.

AVANT PROPOS

Le système aquifère de la plaine Saône-Doubs, dont les magasins alluviaux et l'hydrodynamisme ont été étudiés précédemment (1), constitue une importante ressource en eau souterraine. A ce titre, la qualité chimique naturelle de l'eau mérite d'être étudiée ; cependant des pollutions sérieuses menacent cette belle réserve : il faut rappeler à ce propos que c'est l'augmentation de la pollution par Cl^- , au puits de distribution publique du Syndicat du Recépage qui a été le point de départ de la présente étude.

Le plan de cette troisième partie sera le suivant :

1 - METHODOLOGIE ET TECHNIQUES EMPLOYEES

2 - HYDROCHIMIE GENERALE : l'ensemble des aquifères sera examiné, la présence des ions et le chimisme des eaux seront envisagés d'une manière globale dans leur contexte évolutif, sans tenter de définir systématiquement les modalités des phénomènes de pollutions artificielles.

3 - POLLUTIONS : ces phénomènes, heureusement localisés, seront étudiés d'une manière quelque peu approfondie en particulier dans leur aspect dynamique.

4 - CONCLUSIONS GENERALES

(1) - cf. rapport B.R.G.M. : première partie géologie 68 SGL 120 JAL
deuxième partie hydrogéologie 69 SGL 55 JAL

1 - METHODOLOGIE ET TECHNIQUES EMPLOYEES

11 - ECHANTILLONNAGE

Les points d'eau recensés ou créés artificiellement ont fait l'objet de prélèvements pour analyse chimique. Dans les piézomètres au tubage étroit, le prélèvement était opéré par pompage à l'aide d'une moto-pompe aspirante. Dans les puits, le prélèvement était pratiqué à l'aide d'un flacon lesté à ouverture commandée depuis la surface.

Ce serait faire preuve d'un optimisme générateur à brève échéance de désillusions que de considérer ces techniques de prélèvement comme parfaites. Toutefois, dans le cadre d'une étude de caractère assez général, il semble difficile de procéder d'une manière rigoureuse ; en particulier, plusieurs défauts risquent d'entacher d'erreurs les résultats des analyses sur des prélèvements aussi systématiques ; les principales causes sont :

- la pénétration incomplète dans la nappe,
- le captage par un seul tube de l'eau de plusieurs horizons, quand un écran peu perméable isole deux portions du magasin (il y a alors mélange),
- les risques de ségrégation verticale de pollution dans un aquifère homogène et la contamination de l'eau des puits par des ruissellement d'eau de surface (dans les cours de fermes par exemple).

Les faiblesses du réseau de prélèvement étant connues et nécessairement admises (1), il est donc indispensable pour l'interprétation d'éviter de tirer des conclusions de l'examen d'une analyse isolée, mais au contraire, de considérer les phénomènes dans leur ensemble, pour une zone donnée.

Les analyses chimiques dont les résultats sont donnés en annexe 1 ont été réalisées au laboratoire de TAVAUX de la Société SOLVAY (2).

.../...

(1) La création d'un réseau de 480 points de prélèvement complets à tube unique coûterait au minimum en 1971 1 500 000 F, à tubes multiples 5 000 000 F.

(2) Nous remercions vivement les chimistes de SOLVAY-TAVAUX pour leur aimable et très compétente collaboration à ce travail.

La précision des résultats est du 1/10 de milliéquivalent/litre, unité le plus souvent employée. Une sensibilité plus grande est bien sûr réalisable ; outre le fait que des décimales non significatives constituent un résultat erroné, il n'a pas paru souhaitable de sacrifier le nombre des analyses à une recherche de précision peu utile ou onéreuse.

Quelques analyses particulières ou de "calage" ont été réalisées au laboratoire de l'Institut Pasteur de Lyon.

D'une manière générale, dans les analyses dites complètes, on a recherché :

les anions CO_3^{--} et H CO_3^- (exprimés globalement en T.A.C. ou titre alcalimétrique complet),

SO_4^{--} et Cl^- ainsi que NO_3^- ,

les cations Ca^{++} , Mg^{++} Na^+ ont été systématiquement dosés, le contrôle du bilan ionique étant donc toujours possible ;

exceptionnellement, K^+ et Fe^{++} ont été recherchés (1).

12 - PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats numériques des analyses complètes sont présentés sous forme de tableaux où les ions sont exprimés en milliéquivalents et en pourcentage du total de ces derniers. La somme des ions en milliéquivalents, le TH et quelques rapports caractéristiques ont également été figurés.

.../...

(1) - On a surtout dosé K lorsque la teneur en NO_3^- , élevée, laissait présumer la présence de nitrates de potassium, ayant leur origine dans les pollutions agricoles (engrais).

Les résultats numériques des dosages mensuels du Cl^- , trop nombreux, n'ont pas été reproduits ici, ils figurent sous forme de fiches intercalaires dans les dossiers B.R.G.M. de chaque point d'eau.

L'exploitation des données est faite essentiellement de manière graphique : cartes et diagrammes. Dans les cartes (1), les résultats des dosages d'un ion ou du calcul d'un rapport caractéristique, sont groupés par tranches de valeur. Une représentation schématique de ces tranches de valeurs par des "pastilles" (● - ◐ - ◑ - ◒ - ◓ - ◔) dans des gammes adaptées à chaque paramètre chimique, permet d'esquisser des zones de distribution de ces résultats. Dans le cadre général, je n'ai pas cru utile ni représentatif de dessiner des courbes d'isovaleurs par méthode d'interpolation graphique mais plutôt des plages, évitant ainsi le risque d'une précision fallacieuse. En effet, la distribution des paramètres chimiques entre deux points d'une nappe n'est pas représentée par une fonction continue : les modifications ou échanges ioniques, la diffusion, la dilution, les mélanges, les circulations préférentielles ou les fronts pollués ne sont pas des phénomènes régulièrement progressifs. D'autre part, à l'échelle du travail présenté ici, on s'attachera plus à des zones qu'à des points particuliers. Or, un point particulier peut être aberrant, parfois dans des proportions assez grandes ; l'intégration d'un point aberrant par processus d'interpolation avec tous les points voisins peut conduire à affecter à de vastes zones, circonscrites par les courbes d'isovaleurs, une teneur ou un paramètre non représentatif.

Dans le cours du présent travail on réservera donc la cartographie en courbes d'isovaleurs à des études de détail, à grande échelle, pour des zones aquifères aux propriétés géologiques et hydrogéologiques révélées homogènes.

.../...

(1) - Pour les cartes en noir, on trouvera en annexe IV une carte sur matériau transparent, superposable aux divers documents et destinée à préciser l'indice de classement de chaque point.

Les diagrammes permettent d'étudier l'évolution des teneurs en fonction du temps (cas des pollutions) ; quelques graphiques particuliers, utilisant par exemple la réduction des éléments en pourcentage, permettent une approche de la connaissance de l'évolution du chimisme.

2 - HYDROCHIMIE GENERALE

21 - ETUDE DES RESULTATS DES ANALYSES EFFECTUEES SUR LES PRELEVEMENTS SYSTEMATIQUES D'OCTOBRE 1966

Une campagne de mesure générale a été entreprise sur l'ensemble du réseau d'observations ; ses résultats servent de base au présent travail.

211 - Concentration totale

2111 - Prélèvements dans le système aquifère principal

La figure 2111 présente les résultats de chaque analyse exprimés en somme des milliéquivalents. On peut l'assimiler, compte tenu des valences des ions, à la minéralisation totale ; ce mode de représentation est également plus proche de l'activité ionique, voire de la conductivité électrique, que le résidu sec exprimé en milligrammes/litre.

Si l'on parcourt la plaine d'Est en Ouest, suivant le sens d'écoulement majeur de la nappe, on observe d'abord à proximité du Doubs et de La Loue, une zone où les concentrations sont très faibles, souvent inférieures à 10 mé/l.

Un peu plus à l'Ouest, les concentrations augmentent : aux environs de TAVAUX, elles sont souvent comprises entre 15 et 20 mé/l ; aux abords de l'usine, elles sont supérieures à 30 mé/l (on peut même constater sur les tableaux de l'annexe I que des teneurs de plusieurs centaines, voire un maximum de 1536,4 mé/l ont été observées).

CARTE HYDROCHIMIQUE

Concentrations totales (Prélèvements d'octobre 1966) -

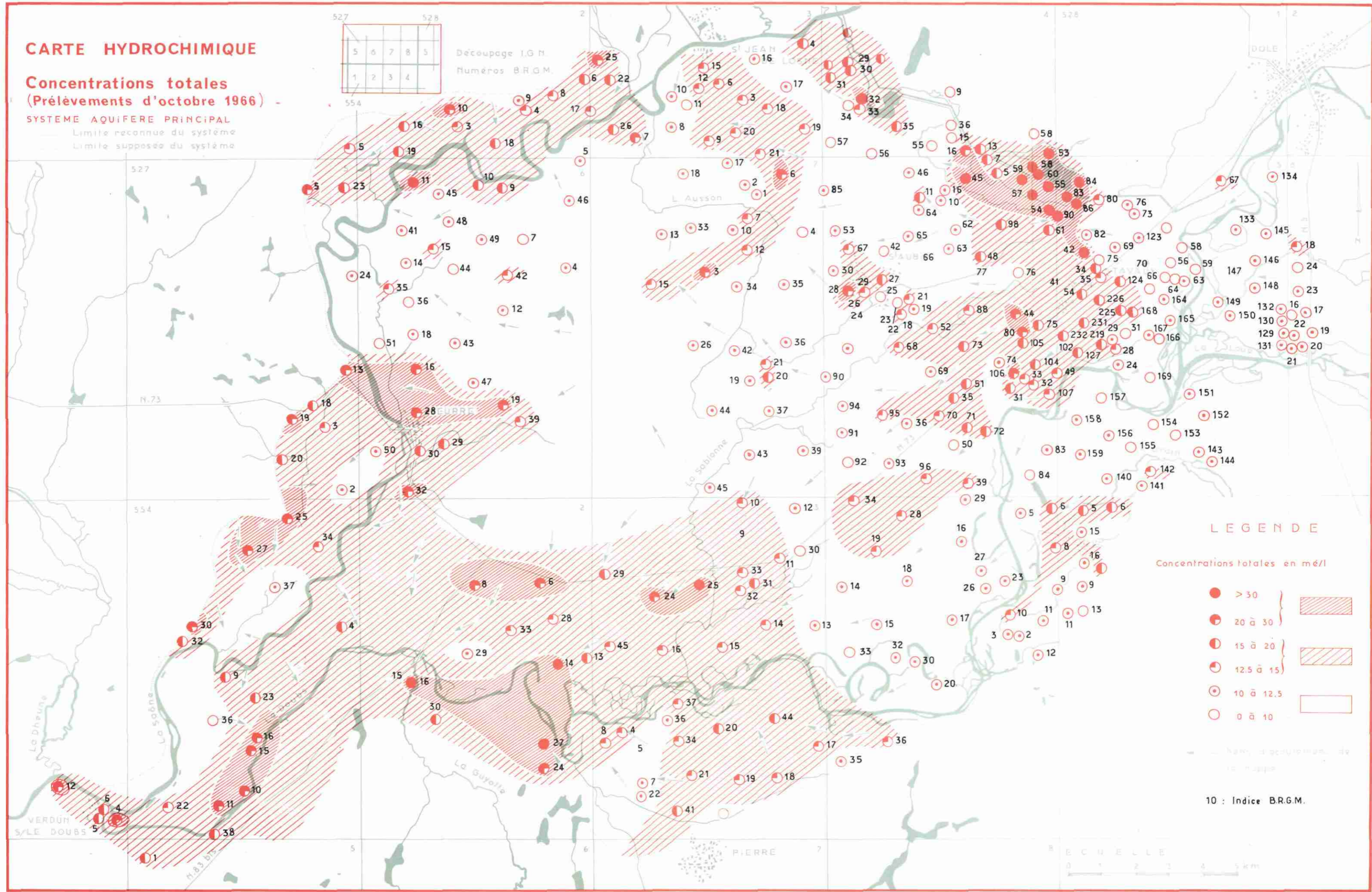
SYSTEME AQUIFERE PRINCIPAL

— Limite reconnue du système

- - - Limite supposée du système

5	6	7	8	5
1	2	3	4	

Découpage I.G.M.
Numéros B.R.G.M.



LEGENDE

Concentrations totales en mg/l

- > 30
- ◐ 20 à 30
- ◑ 15 à 20
- ◒ 12.5 à 15
- ◓ 10 à 12.5
- 0 à 10

--- limite supposée de la nappe

10 : Indice B.R.G.M.



Un peu au-delà, on observe une bande nord-sud où les concentrations sont faibles, exception faite de quelques points situés dans le village de Saint-Aubin ; cette bande nord-sud a une ramification à l'Ouest, en direction de la Saône. Au Nord, de l'étang de l'Aillon à la Saône, une zone fractionnée en trois tronçons comporte également des teneurs moyennes à élevées.

Enfin, toute la partie sud et sud-ouest de la plaine recèle des eaux dont la concentration totale atteint et dépasse même 30 mg/l.

2112 - Aquifères secondaires

D'assez nombreux prélèvements ont été effectués dans des puits dont le niveau piézométrique est très supérieur à celui de la nappe principale (nappes "perchées" des petits aquifères secondaires de la terrasse dite de 15 m ou inclus dans la formation argileuse de Saint-Cosme (1). L'extrait de carte, donné à la figure 2112, montre que les concentrations sont le plus souvent élevées.

2113 - Commentaire

Dans la zone est, et le long d'une partie du cours du Doubs, la nappe alimentée par cette rivière est peu minéralisée. A proximité des bacs de décantation, la zone très minéralisée de l'usine de Tavaux est une manifestation de la pollution intense par ClNa et Cl_2Ca ; il en est de même, mais avec une intensité moindre, pour les abords du village de Tavaux.

La partie nord, qui recèle des teneurs élevées, peut être considérée comme polluée partiellement par l'étang de l'Aillon et la Saône, mais quelques concentrations assez élevées sont probablement naturelles et liées aux formations encaissantes ou de recouvrement (Pliocène, Saint-

.../...

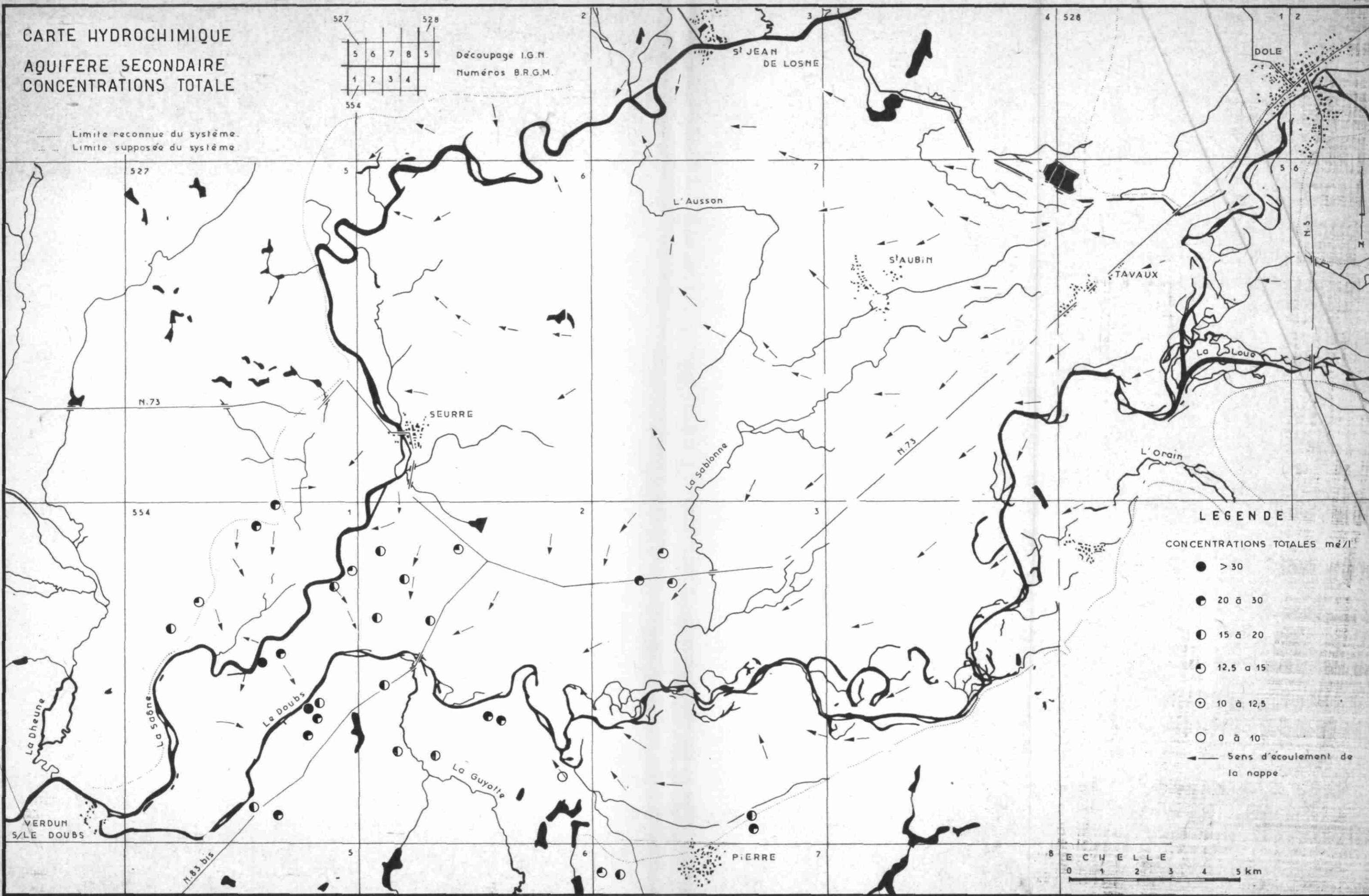
(1) - cf. première partie § 43 et deuxième partie § 41.

CARTE HYDROCHIMIQUE
AQUIFERE SECONDAIRE
CONCENTRATIONS TOTALE

527				528
5	6	7	8	5
1	2	3	4	
554				

Découpage I.G.N.
Numéros B.R.G.M.

--- Limite reconnue du système.
- - - Limite supposée du système.



LEGENDE

- CONCENTRATIONS TOTALES mg/l
- > 30
 - ◐ 20 à 30
 - ◑ 15 à 20
 - ◒ 12,5 à 15
 - ◓ 10 à 12,5
 - 0 à 10
 - ← Sens d'écoulement de la nappe

E C H E L L E
0 1 2 3 4 5 km

Cosme, cf. 2112 ci-dessus).

A l'Ouest, au Sud-Ouest de Pagny-le-Château, une zone peu minéralisée correspond probablement à la zone où la nappe est contenue sous la terrasse dite de Saint-Usage, glacis formé de sables siliceux, presque purs (1).

Enfin, toute la région sud et sud-ouest est moyennement à fortement minéralisée ; deux raisons majeures peuvent contribuer à expliquer ces teneurs élevées : d'une part, la position de la zone à l'aval d'un vaste système aquifère, ce qui favorise la concentration progressive en sels minéraux, d'autre part, le fait que la nappe principale soit recouverte ou bordée et donc alimentée par les aquifères secondaires inclus dans des formations argileuses : il semble, en effet, que les eaux qui percolent à travers ces couvertures argileuses, peu perméables, se chargent assez fortement en sels minéraux.

212 - TH (titre ou degré hydrotimétrique) ou encore "dureté totale"

2121 - Description de la carte (figure 2121)

La carte de la figure 2121 présente les résultats exprimés en TH (degré français), soit $5(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ - en milliéquivalents/litre.(2) La disposition des zones de TH est assez semblable à celle des zones de concentration totale, ce qui est normal puisque nous verrons ultérieurement que Ca^{++} représente l'essentiel de la minéralisation. On retrouve en particulier deux zones où le TH est peu élevé : le long du cours du Doubs dans la zone est, et la partie centre ouest où certaines valeurs sont en effet assez basses.

Dans le reste de la plaine, les valeurs sont le plus souvent élevées et supérieures à 30° et atteignent parfois 50° et 60°, ce qui confère à l'eau des qualités de potabilité à peine passables et souvent médiocres (selon la classification de Schoeller).

.../...

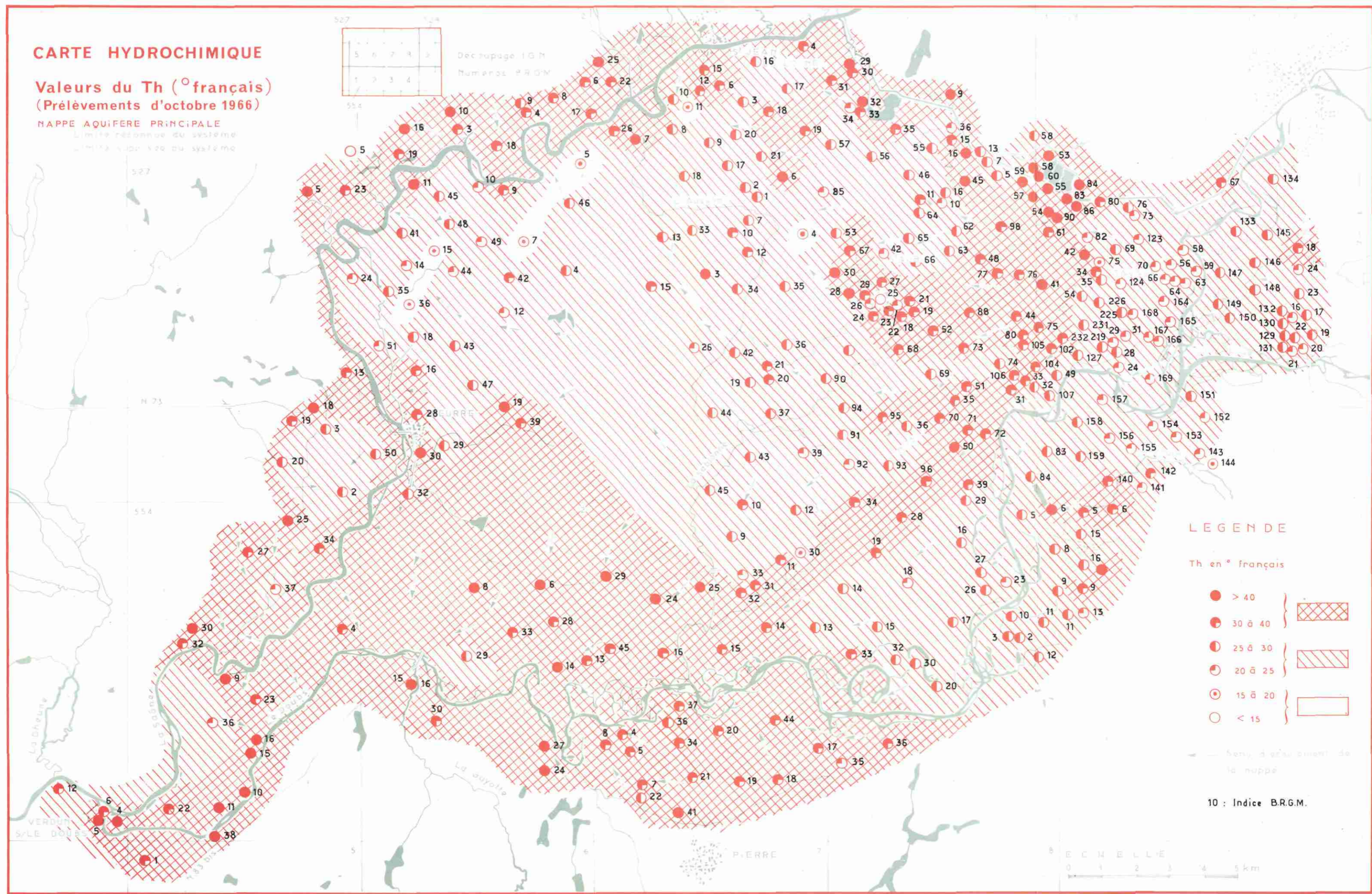
(1) - cf. première partie § 442.

(2) - $1^\circ \text{F} = 0,2 \text{ mé/l}$

CARTE HYDROCHIMIQUE

Valeurs du Th (° français) (Prélèvements d'octobre 1966)

NAPPE AQUIFERE PRINCIPALE
Limite reconnue du système
Limite supposée du système



LEGENDE

Th en ° français

- > 40
- 30 à 40
- 25 à 30
- 20 à 25
- 15 à 20
- < 15

→ Sens de la nappe de la nappe

10 : Indice B.R.G.M.



2122 - Eau des aquifères secondaires

De nombreux points d'eau appartenant aux "aquifères perchés" présentent des TH élevés par exemple :

554 - 1 - 2 : 48°
" " 17 : 55,5°
" " 20 : 71°

Ces eaux sont donc nettement dures et de qualité médiocre pour l'alimentation humaine.

2123 - Commentaires

Bien que contenue dans des matériaux alluviaux à dominance fortement calcaire, la nappe des abords du Doubs et de La Loue est de dureté modérée (bonne potabilité) ; nous pouvons voir dans cette caractéristique une manifestation de l'alimentation de la nappe par le Doubs : les teneurs inférieures à 25° étant toutes situées sur la rive droite, alimentée par le Doubs, tout proche, ainsi bien sûr que dans la nappe de La Loue.

La zone fortement polluée de l'usine présente un TH élevé, ce qui est normal, puisque l'essentiel de la pollution est dû à du Cl_2Ca , l'ion alcalino-terreux Ca^{++} étant alors le principal responsable du TH.

Les fortes valeurs de TH, situées au Sud-Ouest de Tavaux, sont a priori plus surprenantes, car la pollution qui s'y manifestait provenait de l'Est, par le pipe-line de saumure de ClNa , sel non susceptible d'influer sur le TH ; mais nous verrons ultérieurement qu'il s'agit probablement d'un échange de bases qui remplace le Na^+ du sel par le Ca^{++} contenu dans les argiles (cf. § 37).

La zone située au centre ouest est très peu marquée par le TH, effet qu'il faut probablement attribuer aux matériaux siliceux déjà cités.

.../...

Enfin, si la zone aval présente un TH élevé, c'est sans doute surtout à cause des percolations et alimentation par l'intermédiaire de la formation de Saint-Cosme qui cède beaucoup de sels minéraux à l'eau (cf. § 2113).

213 - Sulfates (SO_4^{--})

2131 - Description de la carte (figure 2131)

Les sulfates ne sont jamais très abondants naturellement dans la région, les gypses massifs affleurants faisant défaut et SO_4^{--} ne représente qu'une infime partie du rejet de Tavaux (cf. § 2132 ci-après).

Comme pour les autres ions, la minéralisation par SO_4^{--} est faible dans le cours oriental du Doubs ainsi que dans une bande centrale parcourant la plaine du Nord au Sud.

Dans la zone située à l'Ouest de la plaine, le long de la coteière qui domine la Saône et dans les régions situées au Sud-Ouest, la teneur en sulfate est assez élevée, dépassant souvent 1 mé/l (soit : 48 mg/l) :

<u>indices</u>	<u>teneurs en mé/l</u>
554 - 1 - 10	1,5
" " 11	1,4
" " 15	2,0
" " 16	1,5
" " 25	1,5
" " 30	1,8

2132 - Commentaires

La plupart des minéralisations élevées en SO_4^{--} semblent devoir être imputées à des phénomènes naturels, exception faite probablement des environs de l'usine de Tavaux : en effet, la saumure brute, en provenance du Jura, contient quelques grammes/litre de sulfates, dus à la dissolution de gypse en inclusion dans le gisement salifère ; des pollutions, dues aux

.../...

CARTE HYDROCHIMIQUE

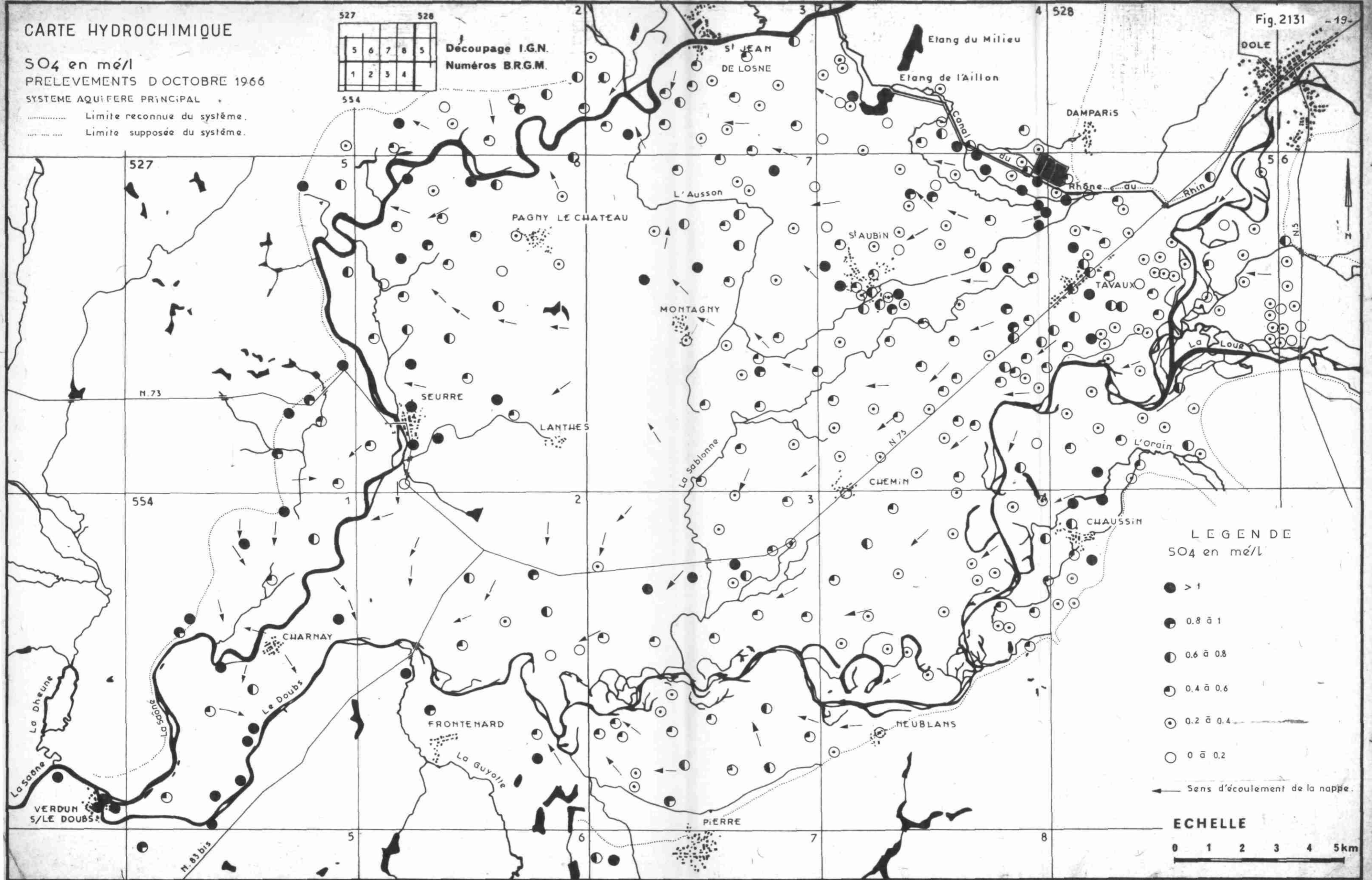
SO₄ en mé/l
PRELEVEMENTS D OCTOBRE 1966

SYSTEME AQUIFERE PRINCIPAL

----- Limite reconnue du système.
- - - - - Limite supposée du système.

5	6	7	8	5
1	2	3	4	

Découpage I.G.N.
Numéros B.R.G.M.



LEGENDE SO₄ en mé/l

- > 1
- ◐ 0.8 à 1
- ◑ 0.6 à 0.8
- ◒ 0.4 à 0.6
- ◓ 0.2 à 0.4
- 0 à 0.2

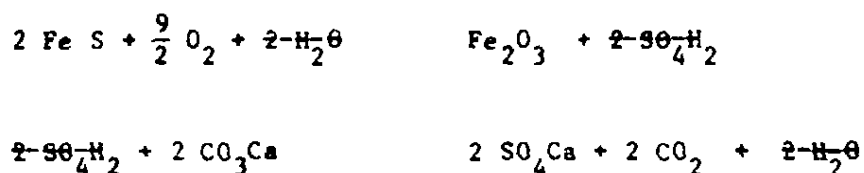
← Sens d'écoulement de la nappe.

ECHELLE



saumures brutes ou aux eaux résiduares, sont donc légèrement sulfatées (7,6 mé/l de concentration totale au point le plus chargé 527-8-55, soit 1% de la minéralisation totale).

Sur la cotière ouest et dans les zones de Chaussin, Frontenard et Seurre les minéralisations en SO_4^{--} ont probablement leur origine dans les terrains encaissants ou dans certaines formations de couverture très argileuse. Il est, en effet, fréquent que les argiles et marnes soient un peu gypseuses : le gypse peut être contenu dans ces sédiments depuis leur dépôt (le Pliocène du centre de la dépression bressane recèle en profondeur des niveaux à gypse bien développés (1) ; la présence de sulfate peut également être due, comme cela est fréquent, à l'oxydation des sulfures dispersés dans les argiles (2).



Ce qui en fin de compte aboutit à :



ce processus étant probablement facilité par des activités bactériennes.

Les formations de la cotière pliocène et surtout l'horizon de Saint-Cosme recèlent des eaux dont la teneur en SO_4^{--} est élevée.

Exemples :

<u>indices</u>	<u>teneurs en mé/l</u>
554 - 1 - 6	2,6
" " 8	2,4
" " 17	2,8
" " 18	2,2

.../...

(1) - cf. première partie § 313.

(2) - Sulfures généralement à l'état colloïdal.

Il est donc fort probable que l'alimentation de la nappe principale par des infiltrations en provenance des aquifères secondaires ou par des déversements de ces petites nappes perchées apporte l'essentiel de la minéralisation en SO_4^{--} .

214 - TAC (titre alcalimétrique complet)

Ce titre est généralement assimilé à $(\text{CO}_3\text{H}^- + \text{CO}_3^{--})$. On peut l'exprimer soit en milliéquivalents/litre ou également en degrés français, c'est-à-dire cinq fois la valeur en milliéquivalents/litre, ce qui a le mérite de permettre la comparaison directe avec le TH.

2141 - Répartition des valeurs

Sur la carte de la figure 2141 on observe que la répartition du TAC est assez régulière pour l'ensemble de la plaine. En effet, la majeure partie du territoire est occupée par une nappe dont le TAC est compris entre 4 mé/l et 8 mé/l, ou encore 20 à 40 degrés français, les valeurs les plus fréquentes étant de 20° à 30°.

Des valeurs très faibles, voire nulles sont enregistrées aux abords de l'usine de Tavaux ; des valeurs peu élevées sont observées au Nord de Seurre.

Enfin, des valeurs fortes sont observées à la périphérie sud et ouest du système.

2142 - Commentaire

La plaine Saône-Doubs recèle donc essentiellement des eaux carbonatées et bicarbonatées qui s'accordent bien avec les valeurs souvent élevées du TH.

.../...

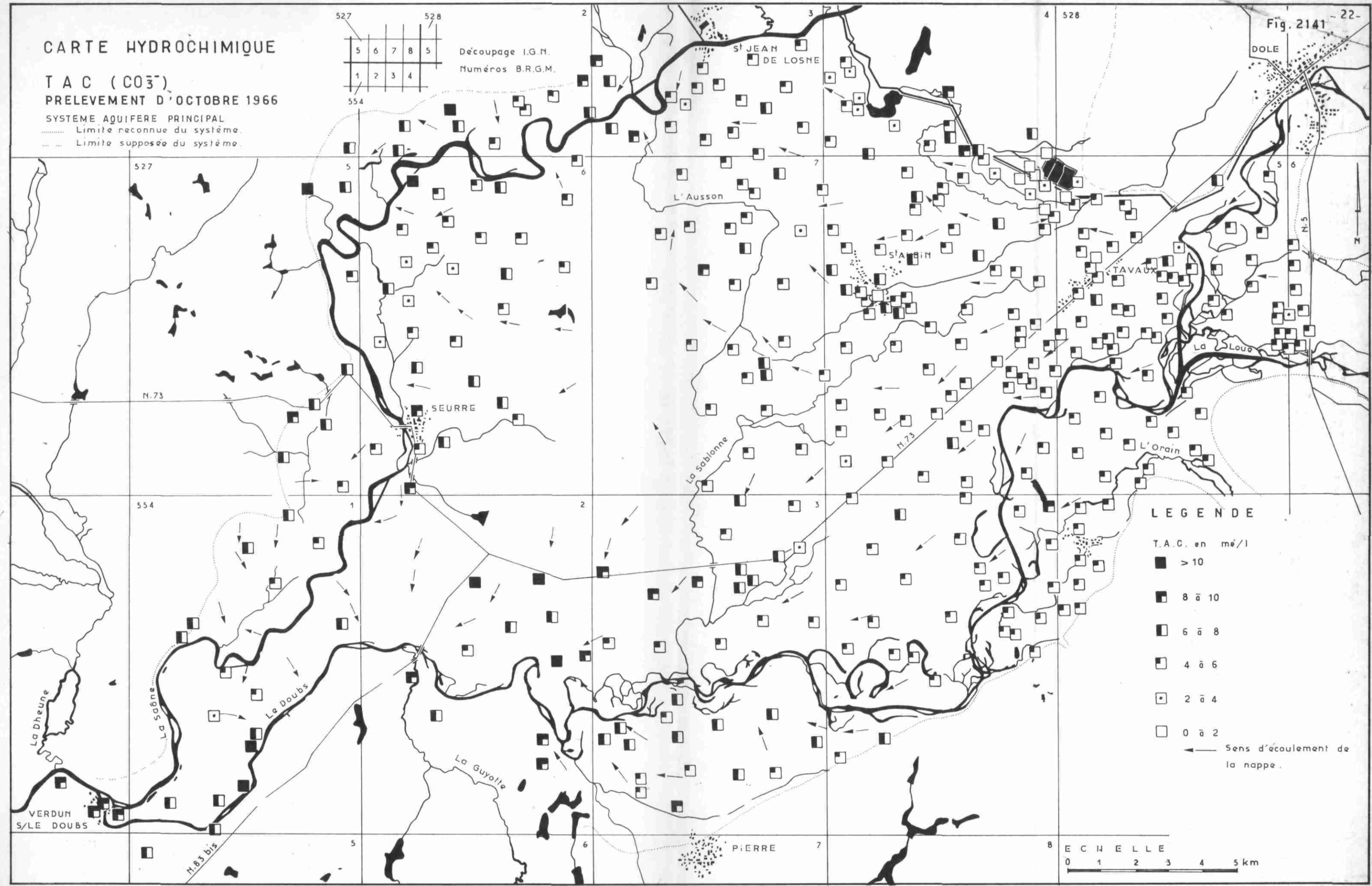
CARTE HYDROCHIMIQUE

T A C (CO₃²⁻) PRELEVEMENT D'OCTOBRE 1966

SYSTEME AQUIFERE PRINCIPAL
- - - Limite reconnue du système.
--- Limite supposée du système.

527				528
5	6	7	8	5
1	2	3	4	
554				

Découpage I.G.N.
Numéros B.R.G.M.



LEGENDE

- T.A.C. en me/l
- > 10
 - 8 à 10
 - 6 à 8
 - 4 à 6
 - 2 à 4
 - 0 à 2

← Sens d'écoulement de la nappe.

8 E C H E L L E
0 1 2 3 4 5 km

Nous verrons ultérieurement que les teneurs faibles à nulles des abords de l'usine sont le reflet des pollutions salines intenses qui règnent en ces lieux (cf. § 33). Par contre, les faibles valeurs de la région au Nord de Seurre sont à relier aux sables siliceux de la "terrasse de Saint-Usage".

Les fortes valeurs des périphéries ouest et sud sont à imputer aux minéralisations en carbonates alcalino-terreux élevées transmises par les formations voisines (cf. § 2113).

215 - Chlore, Cl⁻

2151 - Répartition des teneurs (carte d'octobre 1966)(cf.fig.2151)

La teneur en chlore est assez directement liée à la pollution chimique pour que cet ion serve de traceur ; mais la présence du chlore, dont l'origine est plus naturelle, doit être d'abord étudiée dans le contexte hydrochimique général.

Une première carte générale, établie à l'aide des relevés d'octobre 1966 a déjà été publiée (cf. rapport n° 5 DSGN 67 A 38). Cette carte est un document "brut", où la distinction entre les "nappes perchées" et la nappe principale n'a pas été faite.

La distribution des teneurs se traduit par quelques taches assez nettes : Sud-Ouest de Tavaux, abords de l'usine et berges de l'étang de l'Aillon, taches qui seront étudiées à propos de la pollution artificielle (chapitre 3). Le long de la Saône, on observe quelques teneurs un peu plus élevées que celles relevées dans l'ensemble des vastes secteurs non suspects de pollution et que l'on peut donc considérer comme représentatifs de la normale régionale.

Enfin, de nombreux points montrent des teneurs moyennes ou légèrement élevées.

.../...

Fig. 2151 a

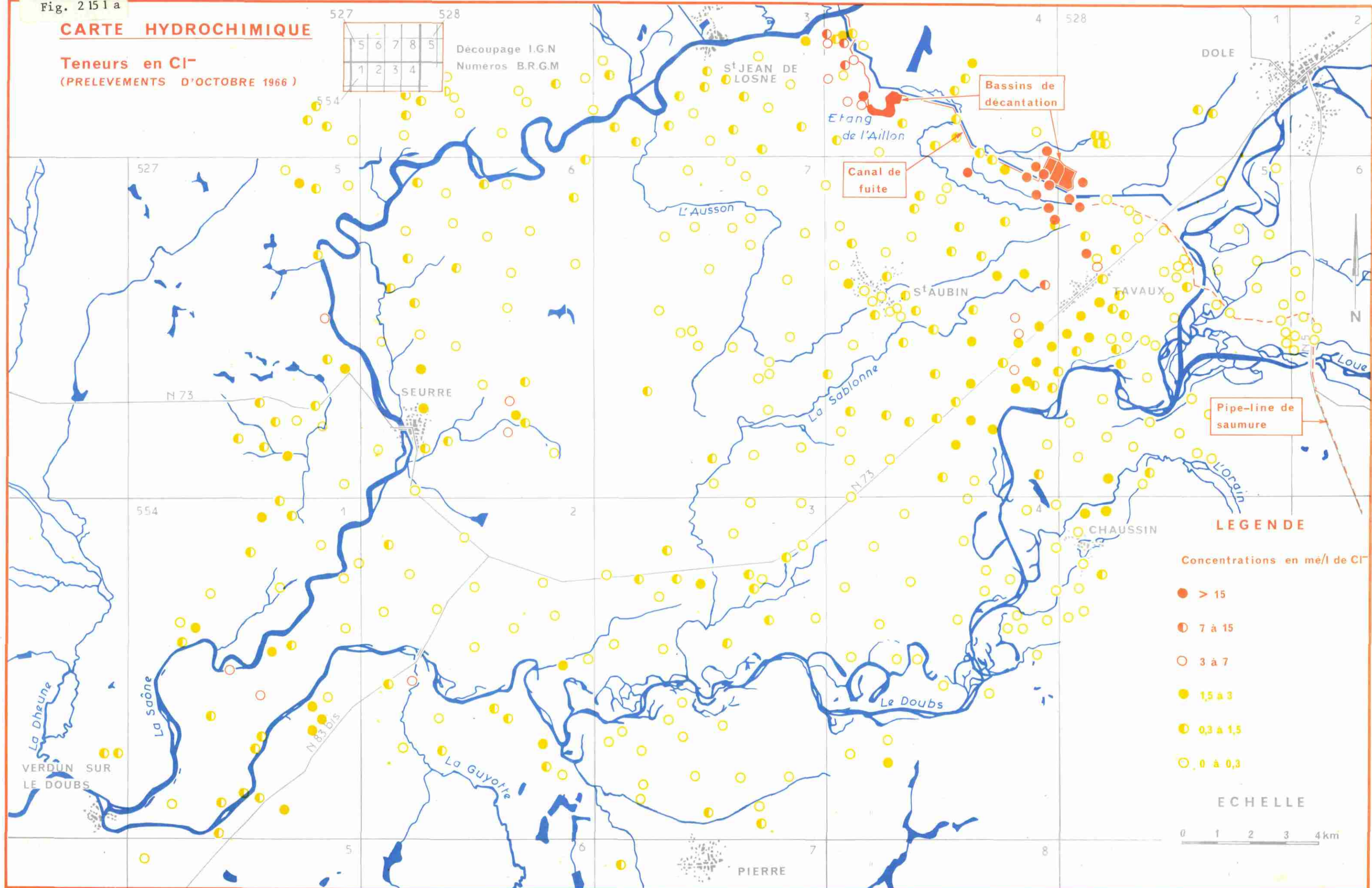
CARTE HYDROCHIMIQUE

Teneurs en Cl^-

(PRELEVEMENTS D'OCTOBRE 1966)

5	6	7	8	5
1	2	3	4	

Découpage I.G.N.
Numeros B.R.G.M



LEGENDE

- Concentrations en mg/l de Cl^-
- > 15
 - 7 à 15
 - 3 à 7
 - 1,5 à 3
 - 0,3 à 1,5
 - 0 à 0,3

ECHELLE



2152 - Commentaire

Les secteurs de Tavaux, de l'usine et de l'étang d'Aillon, ainsi que les berges de la Saône feront l'objet d'analyses détaillées dans le cadre de l'étude de la pollution chimique (chapitre 3).

Un problème se pose donc à propos de l'origine de teneurs en chlore assez élevées dans certaines zones apparemment non polluées par les installations de la Société Solvay.

Ou bien la pollution a progressé dans des directions ou à des distances jusqu'alors insoupçonnées, ou bien des causes de pollution autres que celles engendrées par l'industrie chimique existent, ou bien le chlore est d'origine naturelle.

La première hypothèse est peu plausible car il paraît impossible que l'hydrodynamisme fasse remonter des solutions polluées au-dessus des niveaux de base que constituent le Doubs et la Saône. L'appartenance fréquente des niveaux chargés en Cl^- à des "aquifères perchés", sans liaison avec la nappe principale est aussi une raison apparemment suffisante pour penser qu'il n'y a là aucune contamination par le complexe chimique Solvay.

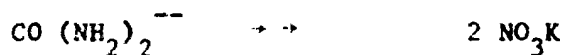
Toutefois, certaines teneurs, faibles à moyennes (0,3 à 3 mé/l) peuvent être dues à l'entraînement et la dilution par la nappe des pollutions de l'étang de l'Aillon ou de Tavaux : ce peut être le cas pour la partie sud de la feuille 527-3 et la partie nord de 554-3.

Il ne semble pas douteux que des causes autres que l'industrie chimique puissent permettre une pollution par Cl^- . Il faut en effet se souvenir que, il y a quelques années, faute d'analyses complètes, les hydrogéologues hygiénistes considéraient une teneur en chlore anormale comme un indice de contamination fécale, animale ou humaine : l'urine humaine contient en moyenne 11 g/l de Cl Na , soit 190 mé/l. La contamination par Cl^-

.../...

est donc assurée par les purins et fosses septiques. Même si un processus d'épuration biologique et bactériologique est assuré, aucun dispositif n'arrête les électrolytes. A ce titre, il est significatif de consulter les analyses qui montrent des teneurs en nitrates élevées. Ces produits, issus de fumiers, purins ou engrais, sont souvent abondants et fréquemment associés au chlore des chlorures.

L'urine renferme, en effet, en moyenne 25 g/l d'urée, de formule $CO(NH_2)_2$; au terme final de sa dégradation, l'urée est susceptible d'engendrer des nitrates (1), en particulier NO_3K , soit :



C'est-à-dire qu'une molécule-gramme d'urée, soit encore 1000 mé, peut engendrer 2000 mé de NO_3 .

$$25 \text{ g/l correspondent à : } \frac{25.1000}{60} = 417 \text{ mé de } NO_3$$

qui, au terme final, sont susceptibles d'engendrer 834 mé de NO_3^- . La contamination par les urines et purins est donc susceptible de créer une pollution où le rapport $\frac{Cl}{NO_3}$ est voisin de $\frac{190}{834}$, soit 0,23 ou environ 1/4.

Mais la dégradation de l'urée n'est pas souvent complète, aussi le rapport sera-t-il fréquemment supérieur, d'autant plus que les végétaux auront naturellement tendance à fixer NO_3^- pour le ré-introduire dans le cycle biologique de l'azote et à laisser Cl^- dans le sol.

.../...

(1) - Ce processus est en fait beaucoup plus complexe, les étapes intermédiaires sont nombreuses, les produits secondaires -plus ou moins stables- sont variés, ammoniacque, nitrites...

On a ainsi par exemple :

<u>indices</u>	<u>Cl⁻</u>	<u>NO₃⁻</u>	<u>rapport</u> $\frac{\text{Cl}^-}{\text{NO}_3^-}$
555-1- 8	1,2	1,72	0,70
554-4-38 *	2	1,14	1,75
554-2-20 *	1,3	1,72	0,76
22 *	0,9	0,66	1,36
554-1-30	2,8	2,96	0,95
6 *	1,3	5,65	0,23
8 *	2,3	2,78	0,83
16	1,4	2,16	0,64
17 *	2,4	1,20	2,00
18 *	2,3	0,41	5,50
20 *	2,4	3,55	0,67
553-4- 9 *	0,8	3,39	0,23
10 *	0,9	3,39	0,26
12	0,1	2,68	0,04

Les points marqués d'un astérisque appartiennent à des aquifères perchés et ne peuvent être soupçonnés d'être pollués par les rejets chlorurés des usines Solvay.

Si la présence de NO₃⁻ est fréquemment associée à Cl⁻, on ne peut donc guère en tirer de conclusions quant au rapport de ces deux ions. Il ne faut, en effet, pas oublier que des engrais chimiques nitrés (1) sont de plus en plus employés en agriculture ; ces engrais contiennent donc du NO₃⁻ qui n'est pas associé à du Cl⁻.

On notera également que du Cl⁻ peut être introduit directement dans le sol sous forme d'engrais potassique ; le nom commercial de "potasse d'Alsace" désigne, en effet, un chlorure de potassium.

En conclusion, tout au moins dans une partie des cas étudiés, la légère pollution par Cl⁻ est due à des causes domestiques ou agricoles et ne saurait être imputée à l'industrie chimique.

.../...

(1) Ces engrais sont de plus en plus employés sous forme liquide, ils s'infiltreraient rapidement et polluent les nappes.

Dans une troisième hypothèse, le chlore serait d'origine purement naturelle et lié à des montées hydrothermales. De telles venues salées sont connues dans la région de Chalon sur Saône, mais rien de tel ne semble exister dans la plaine Saône-Doubs (1), où les teneurs sont, en dehors des zones notoirement polluées, toujours assez faibles ou modérées.

2153 - Carte de décembre 1967

Cette carte est établie en hautes eaux, et à une époque où la pollution reconnue au Sud de TAVAUUX a pratiquement totalement disparu, les zones où des teneurs élevées en Cl^- subsistent sont donc limitées aux secteurs de l'étang de l'Aillon près des bacs de décantation. Bien que des teneurs assez faibles, comprises entre 0,3 mé/l et 1,5 mé/l, puissent être considérées souvent comme naturelles, on peut signaler une langue où toutes les teneurs sont dans cette gamme de valeurs, alignées dans l'axe du sens d'écoulement de la nappe. On peut penser qu'il s'agit là de séquelles ou "queue de pollution" étirées et diluées à partir de l'ancien foyer polluant de TAVAUUX.

22 - FACIES HYDROCHIMIQUE ET SON EVOLUTION

Après l'examen analytique des résultats des dosages, il faut tenter l'étude dynamique de la chimie des eaux, soit faire succéder la physiologie à l'anatomie. L'étude des rapports régissant les teneurs en chaque élément dosé est souvent aussi intéressante que celle des valeurs absolues et se montre féconde en interprétation génétique ou évolutive. Pour mener à bien de telles études de nombreuses méthodes ont été proposées, toutes se ramènent aux calculs de rapport caractéristiques (qui engendrent des para-

.../...

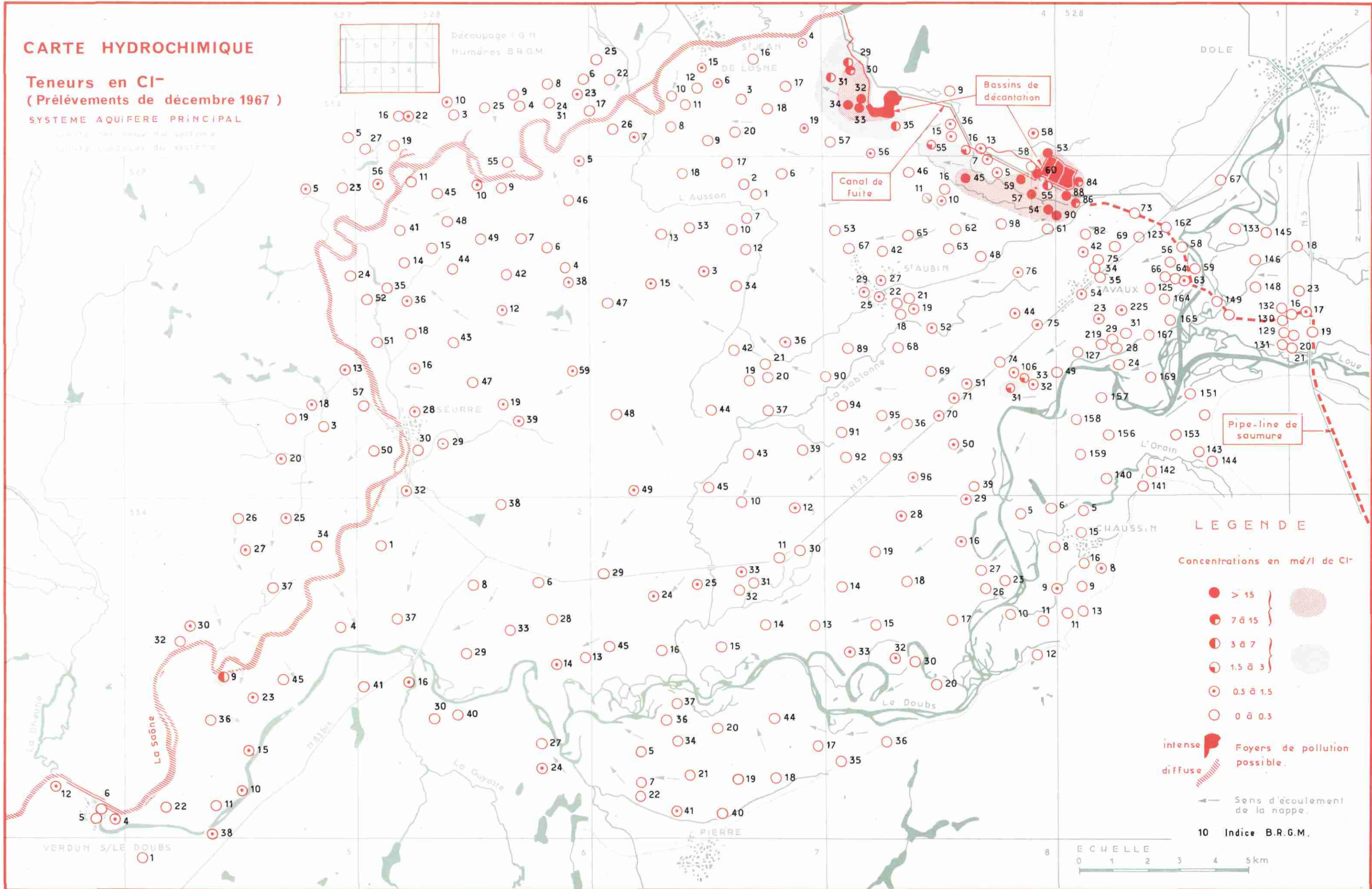
(1) - Notons cependant au passage dans la toponymie l'existence de lieux-dits tels que "les mares salées", "saunières"; aucune pollution particulière n'est toutefois constatée près de ces endroits.

CARTE HYDROCHIMIQUE

Teneurs en Cl⁻ (Prélèvements de décembre 1967)

SYSTEME AQUIFERE PRINCIPAL

Unité de base : 1 mg/l de Cl⁻
Unité de mesure : mg/l de Cl⁻



LEGENDE

Concentrations en mg/l de Cl⁻

- > 15
- 7 à 15
- 3 à 7
- 1.5 à 3
- 0.5 à 1.5
- 0 à 0.3

intense ■ Foyers de pollution possible.

diffuse ▨

← Sens d'écoulement de la nappe.

10 Indice B.R.G.M.



mètres que l'on peut cartographier par interpolation) et à la présentation de diagrammes schématisant et associant des données ponctuelles. Par le jeu des diagrammes où les teneurs sont réduites en pourcentages, on peut comparer des faciès indépendamment des concentrations absolues.

Enfin, je tenterai d'associer toutes ces données dans une cartographie synthétique de la chimie des eaux souterraines de la plaine Saône-Doubs.

221 - Cartographie de rapports caractéristiques

Le seul examen des tableaux de résultats d'analyse montre bien qu'en dehors des zones de pollution intense le faciès des eaux est toujours bicarbonaté calcique. Il serait donc vain de tenter d'établir des rapports associant des éléments qui ne sont présents qu'à l'état de traces ou tout au moins, qui sont d'intérêt restreint. Dans le cas de la plaine Saône-Doubs, il semble que deux rapports soient intéressants à établir, et que leur évolution mérite une représentation cartographique. Ce sont :

$$\frac{\text{Mg}^{++}}{\text{Ca}^{++}} \quad \text{et} \quad \frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{Cl}^-}$$

2211 - Etude du rapport $\frac{\text{Mg}^{++}}{\text{Ca}^{++}}$

Dans toute l'étendue de la plaine les zones où le rapport $\frac{\text{Mg}^{++}}{\text{Ca}^{++}}$ est $> 0,50$ sont extrêmement limitées et dispersées ; on voit mal quelle cause a pu engendrer le faciès localement très magnésien ; la première hypothèse explicative pourrait résider dans la présence d'argiles riches en Mg. Un point remarquable est constitué par une sorte de chenal traversant la feuille 527-3 au Sud de Saint-Jean-de-Losne. Ce chenal correspond à une dépression (ancien lit de rivière bien visible en photographie aérienne) ; on peut penser qu'un lessivage du comblement argileux de cette "morte" a entraîné l'augmentation importante du rapport $\frac{\text{Mg}^{++}}{\text{Ca}^{++}}$.

.../...

CARTE HYDROCHIMIQUE

Valeurs du rapport Mg/Ca en mé/l
PRELEVEMENTS D'OCTOBRE 1966

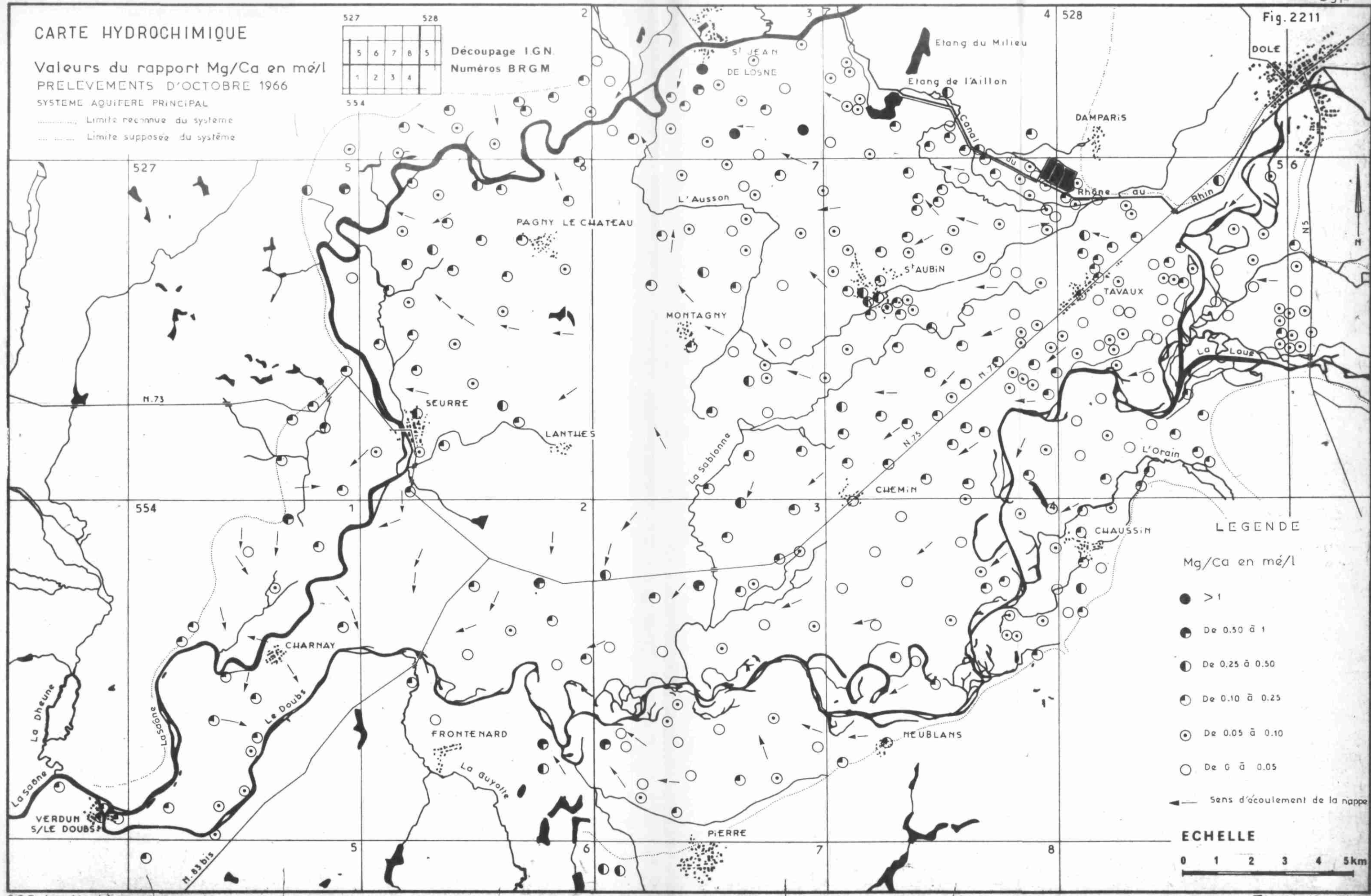
SYSTEME AQUIFERE PRINCIPAL

----- Limite reconnue du système
- - - - - Limite supposée du système

5	6	7	8	5
1	2	3	4	

Découpage I.G.N.
Numéros BRGM

Fig. 2211



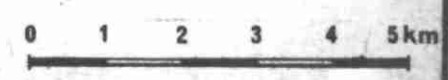
LEGENDE

Mg/Ca en mé/l

- > 1
- ◐ De 0.50 à 1
- ◑ De 0.25 à 0.50
- ◒ De 0.10 à 0.25
- ◓ De 0.05 à 0.10
- De 0 à 0.05

← Sens d'écoulement de la nappe

ECHELLE



Le rapport $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$ est très faible dans la majeure partie des plaines alluviales du Doubs, de la Loue et de la Saône ; il est plus élevé dans les régions centrales constituées d'alluvions anciennes et à proximité des bordures pliocènes.

La zone de valeurs moyennes située au Nord de Saint-Aubin et encadrée de part et d'autre de zones à faibles valeurs coïncide assez bien avec une zone de fort gradient hydraulique (1). On peut imaginer que dans cette zone de moindre perméabilité, sans doute plus riche en argile, des échanges ioniques se produisent. Comme les échanges sont réversibles (2), il n'y a pas lieu de s'étonner particulièrement du fait que l'eau reprenne à l'aval le faciès qu'elle avait précédemment.

Une conclusion dont le caractère ne peut être général et absolu se dégage cependant :

- le rapport $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$ est faible dans les zones où les circulations sont intenses ;
- il est plus élevé dans les grandes plages moins perméables où les échanges sont susceptibles de se réaliser plus lentement ainsi que dans les zones où une couverture argileuse peut contribuer à la minéralisation de l'eau de percolation.

$$2212 - \text{Etude du rapport } \frac{Cl^{-} - (Na^{+} + K^{+})}{Cl^{-}}$$

Ce rapport est un des plus importants dans l'étude de la chimie des eaux souterraines ; il a été baptisé indice d'échange de bases (i.e.b.) par Schoeller.

Lorsque l'on dispose de dosages de K, le rapport étu-
.../...

(1) Cf. deuxième partie hydrogéologie § 42141, page 45

(2) Schoeller donne dans son traité l'équation suivante :

$$\frac{(Mg)^{++}_{\text{eau}}}{(Ca)^{++}_{\text{eau}}} = k \left(\frac{(Mg)^{++}_{\text{argile}}}{(Ca)^{++}_{\text{argile}}} \right) \quad \text{l/p avec } k = 0,91 \quad \text{l/p} = 0,58$$

ce qui entraîne que le rapport des éléments contenus dans l'eau soit toujours plus faible que celui des éléments du terrain.

dié est bien $\frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{Cl}^-}$, dans les autres cas, le rapport représenté est simplement $\frac{\text{Cl}^- - \text{Na}^+}{\text{Cl}^-}$

Lorsque $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$, ou $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, le rapport est positif et tend vers 1, l'échange de base est alors total puisque les chlorures alcalins font place aux chlorures alcalino-terreux.

Lorsque $\text{Cl}^- < \text{Na}^+$ ou $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, le rapport est négatif, il peut prendre toutes les valeurs de 0 à $-\infty$. Les chlorures alcalins sont alors en principe exclusivement présents.

L'interprétation hydrogéologique du rapport

$\frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{Cl}^-}$ est assez délicate car un rapport > 0 n'est pas à coup sûr l'indice d'un échange de bases (Schoeller signale par exemple que l'eau de mer a un rapport > 0). Nous verrons également que les effluents Solvay contiennent une dominante très nette de Cl_2Ca et présentent donc un rapport > 0 .

Dans une nappe alluviale à surface libre ou peu captive, à zone d'alimentation rapprochée et sous climat tempéré il est a priori normal que le rapport $\frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{Cl}^-}$ soit négatif (déficit en Chlore par rapport au Sodium et Potassium) C'est ce que montre pour la très grande majorité de cas étudiés ici la carte de la figure 2212 où une gamme de figures conventionnelles a été choisie pour représenter les rapports caractéristiques.

Si l'on compare la carte de $\frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{Cl}^-}$ et celle de Cl^- , on s'aperçoit immédiatement que les zones à rapport positif correspondent assez bien aux zones à haute teneur en Cl^- . Les rares points isolés hors des taches de pollution chimique industrielle sont pratiquement du domaine de l'exception, liées le plus souvent à des pollutions domestiques ou agricoles. Dans les zones à pollution industrielle intense ou modérée, le rapport positif peut être dû à deux causes :

- soit à la présence dans la solution polluante d'une forte proportion de Cl_2Ca ;

.../...

CARTE HYDROCHIMIQUE

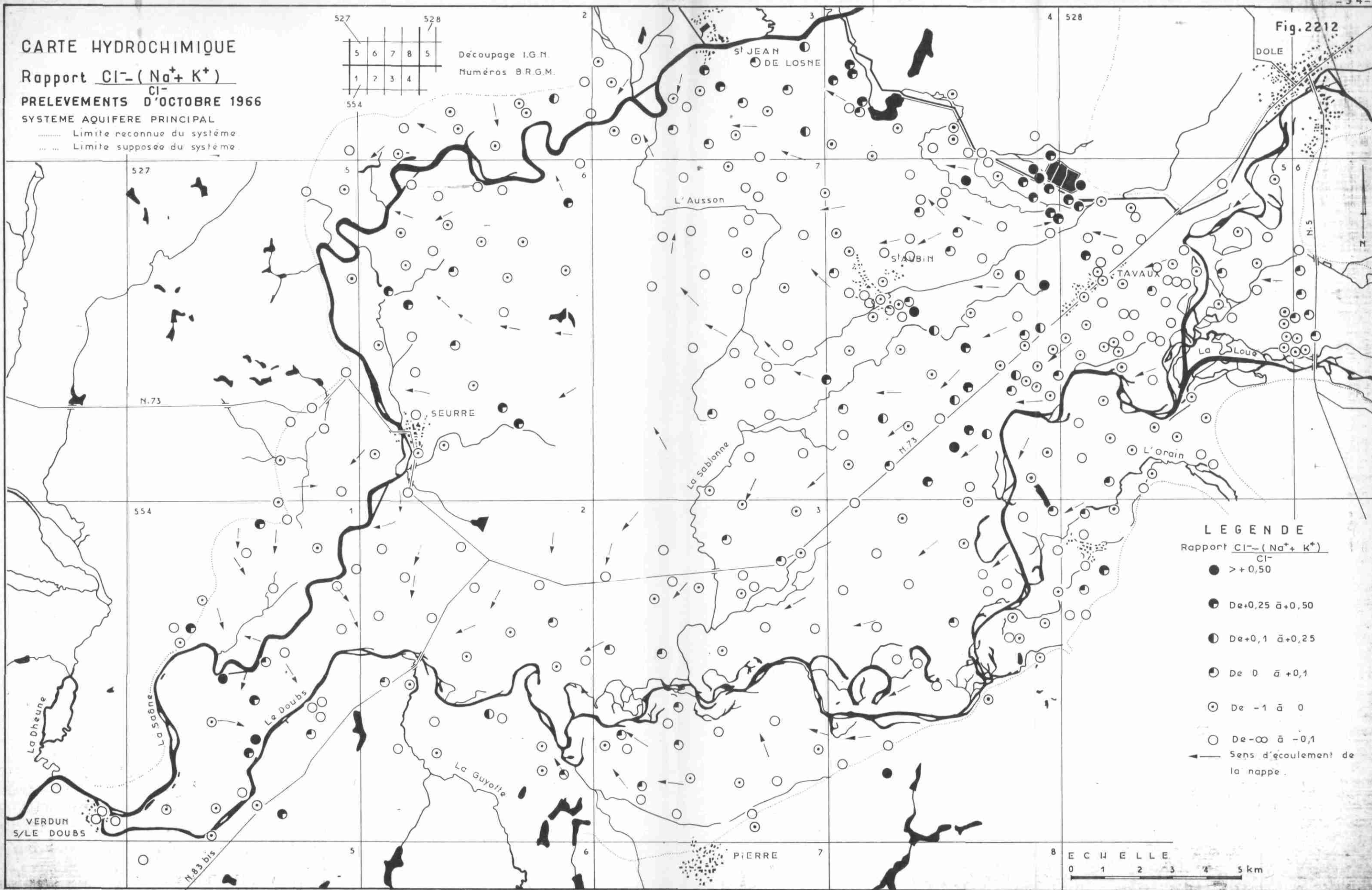
Rapport $\frac{Cl^-}{(Na^+ + K^+)}$ PRELEVEMENTS D'OCTOBRE 1966

SYSTEME AQUIFERE PRINCIPAL
..... Limite reconnue du système
... Limite supposée du système

5	6	7	8	5
1	2	3	4	

Découpage I.G.M.
Numéros B.R.G.M.

Fig. 2212



LEGENDE
Rapport $\frac{Cl^-}{(Na^+ + K^+)}$

- > +0,50
- De +0,25 à +0,50
- De +0,1 à +0,25
- De 0 à +0,1
- De -1 à 0
- De -∞ à -0,1
- ← Sens d'écoulement de la nappe



- soit à des échanges entre le Na d'une saumure de ClNa avec le Ca des argiles du terrain. Nous aurons à revenir sur ce point en détail dans la partie pollution (§ 37).

Il apparaît donc qu'un rapport $(\frac{Cl^- - Na^+ + K^+}{Cl^-})$ positif est toujours lié dans la plaine Saône-Doubs à un processus de pollution quelconque. Toutes les plages alluviales où la nappe peut être considérée comme dans son état naturel présentent un rapport négatif ou très proche de 0.

222 - Faciès hydrochimiques

La confection de diagrammes de Piper où la concentration relative en anions et cations est figurée en pourcentages, permet de juger et de comparer les caractères chimiques des eaux (1).

J'ai choisi parmi les analyses quatre-vingts d'entre elles pour leur représentativité et leur position géographique bien répartie. On passera donc rapidement en revue les résultats de ces analyses en considérant les diagrammes de Piper, d'Est en Ouest, c'est-à-dire, en suivant le sens d'écoulement majeur de la nappe :

Zone orientale et septentrionale (cf. annexe II)

528-6 zone du confluent Loue-Doubs

- eaux de faciès bicarbonaté calcique, peu ou pas magnésiennes, de minéralisation faible ;

528-5 plaine du Doubs et zone de l'usine de Tavaux

- eaux bicarbonatées calciques, peu minéralisées (80, 130,

.../...

(1) - Les diagrammes à base trilinéaire représentatifs de la composition chimique des eaux souterraines, le diagramme en "losange" par L. MONITION Rapport B.R.G.M. D.S. 66 A 61 - Mai 1966.

- 134, 159, 166) ;
- eaux fortement polluées par ClNa et Cl₂Ca (40 à 50 % de Ca, 85 à 95 % de Cl⁻ - 42,90+) ;
 - mélange d'eaux naturelles et polluées (219) ;
 - eau partiellement chlorurée et sulfatée, sur une base de minéralisation par CO₃ (apport dû à la vallée de l'Orain, rivière originaire des zones triasiques de Poligny) ou pollution de caractère domestique ou agricole (14°) ;

527-8

- eaux faiblement minéralisées, de faciès bicarbonaté calcique (11, 53, 83, 94) ;
- eaux très fortement polluées et très chargées en sels (54, 58) ;
- mélange des deux types d'eaux (41, 45, 50 et 80), teneurs en Cl⁻ variant de 30 à 80 %, en Ca de 45 à 95 % concentrations variant de 20 à 45 milliéquivalents ; ces diagrammes traduisent la dilution des saumures par l'écoulement de la nappe ;

527-4

- eaux naturelles de la nappe, bicarbonatées calciques (57) ou d'"aquifères secondaires perchés" légèrement chlorurées et sulfatées (1) ;
- eau fortement polluée par les percolations de l'étang de l'Aillon contenant les effluents Cl Na + Cl₂Ca.

555-1 et 554-4

- eaux normalement bicarbonatées calciques avec parfois (554-4-38, 555-1-6 ou 8) des pollutions nitrées et chlorurées s'ajoutant également aux sulfates et chlorures qui ont leur origine dans les nappes pliocènes qui se déversent vers la plaine.

Zone centrale

527-7

- eaux bicarbonatées calciques, légèrement magnésiennes (25) avec parfois une légère tendance au caractère sulfaté-magnésien (3) ;

.../...

554-3

- eaux typiquement bicarbonatées calciques et rarement magnésiennes ;

527-3

- eaux de caractère classique et eaux très fortement bicarbonatées magnésiennes (15 et 20) ; à proximité de la Saône (1), sensible pollution.

Zone occidentale

Dans la partie occidentale (527-1, 527-2, 527-5, 527-6, 554-2) simultanément à une augmentation fréquente des concentrations totales, on observe parfois une tendance vers des faciès plus salins fréquemment liés soit directement soit indirectement aux "nappes perchées" (527-6-23, 527-5-17) ; il y a toutefois lieu de penser que ces caractères sont dus à une pollution agricole.

Enfin, à l'extrême aval du système étudié (553-4 et 554-1) quelques points d'eau présentent des caractères à tendance saline, liés comme précédemment aux aquifères perchés à faible circulation, très vulnérables aux pollutions domestiques, et naturellement enclins à céder ou échanger des ions avec les eaux souterraines.

223 - Carte hydrochimique de synthèse

Après la recherche analytique de certains paramètres ou composants de l'eau, et la "dissection des analyses" grâce au diagramme de Piper, il m'a semblé utile de donner une image synthétique de l'hydrochimie. Pour que l'effet de synthèse soit parfaitement atteint, il faut que l'oeil embrasse simultanément sur toute la surface couverte les données qualitatives et quantitatives, et ce, dans le contexte géologique et hydrodynamique.

.../...

(1) - Ce point est également près du rejet de l'étang de l'Aillon.

Dans le mode de figuration choisi, le caractère qualitatif est obtenu par la comparaison de plages (1) représentatives des pourcentages d'éléments du bilan de l'eau (diagramme rectangulaire) ; le caractère quantitatif -concentration absolue exprimée en milliéquivalents/litre- est indiqué par la hauteur des rectangles. A cet effet, la hauteur des rectangles a été établie proportionnellement au logarithme de la concentration en ions exprimés en milliéquivalents/litre (cf. grille d'établissement des diagrammes : annexe III). La représentation -et la comparaison- restent ainsi possibles entre des analyses d'eaux très pures ou très polluées (de la dizaine au millier de milliéquivalents/litre).

Ainsi, des comparaisons directes sont possibles, entre la minéralisation totale de l'eau analysée en chaque point ; simultanément apparaît le faciès hydrochimique.

Exemple :



eau peu minéralisée, légèrement sulfatée, magnésienne

(C) = 20 mé/l



eau fortement polluée, chlorurée, sodique et calcique

(C) = 100 mé/l

La carte présentée à la figure 223 utilise le choix de points dont les balances ioniques ont été représentées dans les diagrammes de Piper.

On perçoit aisément le caractère des eaux peu minéralisées, essentiellement bicarbonatées calciques arrivant de la plaine de la Loue et se propageant dans la majeure partie de la plaine du Doubs et souvent

.../...

(1) - J'ai, en effet, estimé que l'appréhension globale des concepts "concentration totale" ou "teneur relative" était plus frappante si elle était communiquée à l'esprit par la vision de plages ou de surfaces différentes, plutôt que par des positions relatives de points figurant sur des diagrammes.

jusqu'à la Saône : il ne faut en effet pas oublier que la nappe doit une grande part de son eau aux précipitations locales et pas seulement à l'apport amont ; ceci explique que même à l'aval hydraulique du système on observe des concentrations assez faibles (par exemple au Nord de Franxault, près de Labruyère, entre Chives et Seurre, etc...) ; toutefois l'augmentation des concentrations totales est sensible au fur et à mesure de la progression vers l'Ouest.

Une autre caractéristique est également très apparente, c'est l'influence des eaux issues des aquifères secondaires, toujours plus minéralisées que celles de l'aquifère principal (surtout en sulfates), souvent polluées par chlorures et nitrates. Que ces eaux soient prélevées dans leur gisement -aquifères de mauvaise perméabilité, argileux, à circulations lentes- ou qu'elles se mêlent aux eaux des aquifères principaux sous-jacents ou juxtaposés, le résultat final est à peu près identique : les eaux de la partie occidentale et méridionale sont fortement marquées par l'influence des terrasses, leur qualité pour l'alimentation humaine se dégrade.

On notera toutefois que pour des captages implantés dans l'aquifère principal, mais proches des aquifères secondaires, l'effet d'appel dû aux pompages amènera rapidement au puits des mélanges où les eaux indésirables ne seraient finalement qu'en très faible quantité relative : les plus forts débits provenant des aquifères les plus perméables.

Enfin, il n'est pas nécessaire d'attirer l'attention sur les zones de pollution saline industrielles qui apparaissent avec vigueur et dessinent des zones de contamination intenses et durables, ou plus légères et temporaires, comme de Gevry à Peseux.

3 - POLLUTION

Remarque préliminaire

Nous n'étudierons dans ce chapitre que la pollution chimique par les chlorures dont la présence a été détectée dans le cadre de la présentation générale de l'hydrochimie.

31 - INTRODUCTION

L'étude de la pollution n'est pas un simple constat de mauvaise santé de l'aquifère : cette pathologie présente un caractère dynamique lié à la circulation de l'eau dans le sous-sol ; c'est pourquoi dans chaque étude de détail de la chimie de l'eau polluée on associera naturellement au régime des écoulements ou des variations saisonnières de la nappe les phénomènes susceptibles d'introduire les solutions polluantes dans l'aquifère.

Enfin, dans la mesure du possible, on proposera pour les zones contaminées les mesures cliniques raisonnablement envisageables et, pour l'ensemble de la nappe, la prophylaxie susceptible de préserver les zones non encore atteintes.

Quatre foyers de contamination principaux ont été décelés et seront analysés successivement :

- secteur de Gevry-Molay : § 32 ;
- usine et abords des bacs de décantation : § 33 ;
- étang de l'Aillon : § 34 ;
- cours de la Saône canalisée : § 35.

32 - SECTEUR DE GEVRY-MOLAY

321 - Historique

L'étude de la pollution qui s'est manifestée dans la nappe à proximité de ces villages a été abordée à deux reprises (1). Nous ne donnerons donc ici qu'un résumé des travaux et les principaux résultats acquis, actualisés en fonction des données recueillies depuis la publication de ces premières études.

.../...

(1) - Rapport n° 4 : DSCR 66 A 46 : Etude hydrogéologique du secteur de Gevry-Molay (Jura). La pollution de la nappe alluviale du Doubs par les chlorures dans le secteur de Gevry-Molay (Jura) par J.J. COLLIN. Bull B.R.G.M. n° 4 1967.

Plusieurs cartes chimiques et piézométriques ont montré à certaines époques -en particulier mai 1965- qu'une vaste langue d'eau salée (plusieurs centaines de milligrammes / litres ou au moins 10 mé/l) se propageait du Sud du village de Gevry en direction du Sud-Ouest, matérialisant ainsi comme par un traçage la direction de l'écoulement de la nappe.

Quelques mois plus tard une autre carte (janvier 1966) montrait à Gevry une teneur très faible et plus en aval, une zone de teneur fortes à moyennes. On voit donc qu'une masse d'eau polluée s'est déplacée, tout en se diluant quelque peu (teneur maximale 213 mg/l ou 6 mé/l).

L'examen des cartes piézométriques et chimiques montrait clairement que les pollutions observées ne pouvaient avoir leur origine à l'usine de Tavaux : l'hydrodynamisme ne pouvant amener l'eau depuis cette zone.

La pollution constatée était d'autant plus préoccupante qu'elle menaçait gravement un captage de distribution publique (puits du Recépage 527-8-80).

A cet argument hydrodynamique les ingénieurs de l'usine de Tavaux opposaient un argument chimique : l'apparente (1) présence de "Chlorure de Calcium" dans l'analyse d'eau du Recépage "signait" la pollution en lui donnant la marque des rejets de résidus du procédé Solvay, à savoir un mélange de Cl_2Ca et de $Cl Na$. En fait, il n'en est rien et nous verrons ultérieurement que le Cl^- excédentaire est lié à du Ca^{++} emprunté aux argiles du terrain par échange de bases.

322 - Etude analytique

Une étude fine du problème a donc été entreprise :

- sur un diagramme semi-logarithmique on peut observer pour 1964 et la première moitié de 1965 une teneur au puits de Recépage voisine
.../...

(1) - Présence, en effet hypothétique, car toute reconstitution de sels dissous à partir des ions dosés demeure conjecturale, toutefois un excès de Cl par rapport à Na et K permet d'imaginer qu'il y a du Cl_2Ca .

de 200 mg/l. Cette teneur a ensuite décru de manière très sensible puisqu'elle est tombée aux environs de 100 mg/l, avec des "creux" à moins de 50 mg/l.

Pendant le même temps les teneurs observées près du point d'origine de Gevry oscillaient d'abord à plusieurs reprises de 50 à 1000 mg/l, puis descendaient ensuite à des valeurs très faibles (diagramme 322 a).

L'explication qui a été proposée est donc la suivante : les fortes teneurs "en dents de scie" observées à Gevry sont dues à des fuites de la conduite de saumure qui amène le sel de Poligny à Tavaux. Ces fuites accidentelles ont été réparées à plusieurs reprises ; elles sont peut-être liées au raccordement de la conduite de saumure -portée par le pont de Gevry- à la "terre ferme". Il est toutefois vraisemblable également que des fuites de débit assez minimes échappent à l'observation mais soient susceptibles de polluer gravement la nappe.

Le calcul montre en effet qu'un débit horaire de la nappe de 500 m³/h pour un kilomètre de front peut être pollué à 250 mg/l de Cl⁻ par le poids P de Cl⁻ tel que :

$$P = 500 \cdot 10^3 \text{ l} \times 250 \text{ mg} = 125 \cdot 10^6 \text{ mg}$$

soit : 125 kg de Cl⁻ ou 206 kg de ClNa
soit : environ 0,6 m³ de saumure saturée par heure.

Une fuite de 0,6 m³/h ou 0,16 litre/seconde peut donc polluer sérieusement la nappe. Une telle fuite représente moins de 0,5 % du débit de la conduite ; le mode de détection des pertes par mesure des débits est donc impuissant à le déceler.

Les fuites constatées peuvent s'être produites à des raccords de tuyaux rejouant légèrement et peuvent avoir été temporaires, par exemple ne fonctionner qu'au-dessus d'un certain seuil de pression.

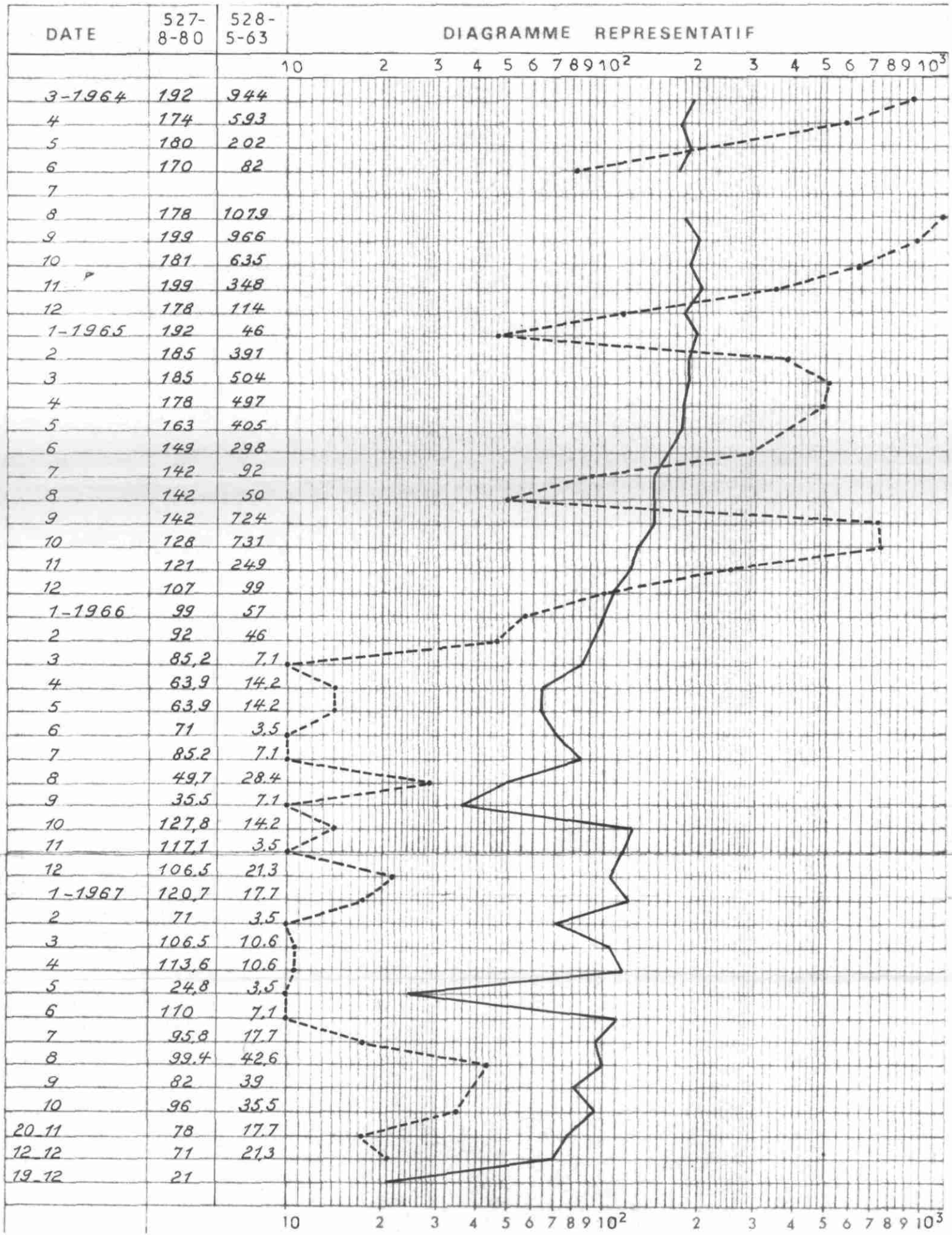
A la fin de l'année 1965, les fuites semblent avoir été colmatées de manière plus durable, plus aucun pic important de salinité n'a été décelé à Gevry.

Dosage du Cl⁻

Secteur de Gevry (63)
et puits du Recépage (80)

Teneurs en mg/l

← 527-8-80
--- 528-5-63



* Analyse chimique complète Cf pièce n°

SGR Jura-Alpes

71 56N 180 74L

La décroissance de la pollution amorcée au Recepage s'est poursuivie (1), mais les teneurs observées sont restées toujours plus élevées qu'à Gevry, point origine. Il ne faut en effet pas négliger la rétention de saumure dans les dépressions du substratum imperméable. Cette saumure peut être entraînée ou diffuser lentement et entretenir une forte hystérésis dans les diagrammes de pollution.

Les cartes générales établies en octobre 1966, puis en décembre 1967 ont montré que la décroissance des teneurs se poursuivait encore (pas de teneur en Cl supérieure à 3 mé/1 (ou 106 mg/l) en décembre 1967).

Les cartes chimiques et le diagramme comparatif nous ont donc montré que des "bouffées" ou des "vagues" d'eau polluée par Cl Na s'étaient propagées dans la nappe. On peut tenter une analyse plus fine (2) de la propagation de ces ondes grâce à un diagramme à trois variables.

Sur ces diagrammes les teneurs (échelles logarithmiques) sont figurées le long de colonnes verticales (échelle des temps) les axes médians (axe des valeurs 100 mg/l) de chaque diagramme représentent la position de chaque point de prélèvement le long d'une coupe établie dans le sens amont-aval de l'écoulement de la nappe : trois variables (teneur, espace et temps) sont ainsi associées. Ce diagramme a été établi pour les années 1964 à 1967 ; il montre plusieurs éléments caractéristiques :

- une décroissance des teneurs très sensible du Nord-Est au Sud-Ouest, les maximums passant du millier à la centaine de milligrammes/litre ;
- un aspect pseudo-cyclique de la pollution de la zone amont et un amortissement vers l'aval des "dents de scie" ;
- un affaiblissement très net des teneurs après 1965, affaiblissement relativement très important dans la zone amont et beaucoup moins net dans la zone aval ;

.../...

(1) - A ce propos on peut penser que la pollution massive de Gevry est bien antérieure à la date du début de nos observations et que cette pollution a dû être intense et durable ; en effet, la décroissance observée au Recépage s'est amorcée alors que des points importants se manifestaient encore à Gevry.

(2) - En effet, la superposition de cartes devient confuse et inopérante dès que l'on dépasse trois documents ; seul un procédé d'animation serait capable de traduire l'aspect cinématique du problème.

- une corrélation des pics et creux des diagrammes apparemment très mauvaise, voire le plus souvent inexistante, pour un mois donné ;
- une corrélation satisfaisante des pics et rentrants de plus en plus décalée dans le temps au fur et à mesure que l'on considère des points éloignés vers le Sud-Ouest.

L'analyse du diagramme permet de déduire un certain nombre de caractères fondamentaux de la pollution :

- la contamination était commencée bien avant mars 1964 (1), elle s'est produite à plusieurs reprises après cette date. Une dilution, due probablement au caractère divergent de la surface piézométrique et à l'alimentation par le Doubs se manifeste d'amont en aval ; (2)
- les pollutions massives ont cessé en amont et il semble que la nappe n'ait plus reçu de saumure ; la pollution constatée à l'aval s'est poursuivie, propagation de la vague introduite en amont et phénomènes de rétention, dans des dépressions de réserves de saumure (cf. première partie, géologie § 462).

323 - Vitesse de propagation

La déduction la plus intéressante que permettent les diagrammes est celle de la vitesse de propagation de la pollution : la corrélation des passages "d'ondes" de teneur maximale ou minimale montre une certaine "harmonie organisée" ; les tracés ainsi obtenus, tous sensiblement parallèles, matérialisent la relation distance parcourue-temps écoulé. Pour chaque "onde", la pente moyenne des droites est donc la vitesse de propagation de la pollution, soit aux phénomènes de diffusion près, la vitesse réelle de l'eau souterraine. la vitesse moyenne peut être évaluée avec une bonne précision, car

.../...

-
- (1) - Puisque très en aval la nappe était déjà fortement polluée, il a fallu pourtant un assez long délai pour que les chlorures atteignent cette zone.
 - (2) - Son effet se superpose à l'effet naturellement dispersif de la propagation d'un polluant ionisé qui diffuse dans la nappe.

elle est obtenue sur un long trajet : 7 km, de 528-5-63 à 528-8-51.

$$\frac{\text{distance parcourue}}{\text{décalage moyen dans le temps}} = \frac{7 \text{ km}}{20 \text{ mois}} = \frac{7\,000 \text{ m}}{600 \text{ j}} = 11,6 \text{ m/j}$$

soit environ encore $0,5 \text{ m/h} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Un test de coloration à la fluorescéine sur un trajet plus court (1200 m) a fourni une vitesse moyenne pour l'ensemble de la masse d'eau quasi identique : $0,63 \text{ m/h} = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. On retiendra donc comme ordre de grandeur la vitesse de $0,5 \text{ m/h}$ ou $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$; cette vitesse de propagation de la pollution ne peut être généralisée à toute la plaine, elle présente toutefois un caractère indicatif acceptable.

Au cours des années 1968 et 1969 une surveillance moins étroite a été maintenue sur quelques points du secteur (à part une exception sans doute accidentelle (1), aucun point n'a atteint 100 mg/l , seul le 528-5-63 a dépassé 50 mg/l pendant quelques mois).

324 - Conclusion

La pollution du secteur dit de Gevry est bien due à un phénomène fortuit, accidentel, mais qui a été répété plusieurs fois, de fuites dans la conduite d'amenée de saumure.

Cette pollution se propage rapidement : $0,5 \text{ m/h}$ ou $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, selon un trajet assez bien défini ; son aspect le plus fâcheux réside dans le fait qu'elle menace directement le captage du "syndicat du Recépage" qui est situé à l'aval, sur les filets de courant contaminés.

Enfin, si des fuites analogues se produisaient en d'autres endroits, et plus spécialement de Parcey à Tavaux, c'est toute la partie orientale de la plaine du Doubs qui pourrait être polluée.

.../...

(1) - Voire même une erreur de prélèvement ou d'analyse ?

Recommandations curatives

Fort heureusement les travaux de réfection de la conduite se sont avérés efficaces, la nappe ne semble plus recevoir de pollution, il n'y a donc pas lieu de procéder à un traitement de la nappe.

Recommandations préventives

La surveillance de quelques points par prélèvement et dosage mensuel du chlore doit être poursuivie et toute teneur anormalement élevée doit provoquer une analyse de contrôle sur tous les points d'eau avoisinants.

Si cette analyse confirme la mise en route d'une "vague" de pollution, il faut sans attendre procéder à une vérification de la conduite.

Une bonne précaution serait de placer la conduite dans une gaine étanche, à tous les points critiques (1), et de raccorder cette gaine par égouts au réseau hydrographique superficiel.

Enfin, le réseau d'"avertisseurs" actuel pourrait être doublé par quelques tubes piézométriques situés à une cinquantaine de mètres de la conduite ; un contrôle rapide hebdomadaire est envisageable grâce à la mesure sur place de la résistivité de l'eau ; la technique moderne offre même maintenant la possibilité d'enregistrement permanent de la salinité avec transmission à distance ! (2)

33 - USINE SOLVAY ET SES ABORDS

331 - Introduction

La pollution a été reconnue ici de très longue date, car, très vite après la mise en service des installations chimiques, des puits de l'usine ont été contaminés par des solutions salines parfois très concentrées.

.../...

-
- (1) - Passages de routes, voies ferrées, pont, etc. ou des mouvements de sols peuvent nuire à la stabilité du montage.
 - (2) - Un modèle mathématique a été élaboré par le Département Hydrogéologie ; il permet de définir la propagation d'une pollution, en fonction des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, et donc, de faire des prévisions en cas d'accident.

C'est donc un secteur où la pollution est à la fois bien connue (grâce à de nombreuses analyses remontant loin dans le passé), mais où elle est aussi d'étude très malaisée (par la complexité des phénomènes hydrodynamiques).

332 - Données des cartes chimiques générales

Dans les différentes cartes établies d'après les relevés de piézomètres répartis dans l'usine ou à ses abords, on peut constater qu'une zone de quelques kilomètres carrés est polluée à plus de 15 mé/l (soit plus de 500 mg/l) de Cl^- .

En fait, beaucoup de points présentent une teneur très supérieure, certains montrent en effet des concentrations en Cl^- de plusieurs centaines de mé/l -ou plusieurs milliers mg/l-. Nous avons figuré certains de ces points particulièrement contaminés sur la carte de synthèse chimique : la pollution apparaît là de manière frappante (cf. figure 223).

333 - Origine de la pollution

A part les abords de la soudière, le principal point de pollution réside dans les bacs de décantation. Ces ouvrages destinés à séparer puis à contenir des boues surtout magnésiennes, sont très surélevés par rapport au terrain naturel ; ils sont retenus par des digues perméables, faites en enrochements et débris de carrière. Ces digues, très lourdes, sont fondées sur les alluvions ; elles sont munies de contre canaux destinés à drainer la masse du barrage. La pollution peut donc pénétrer :

- par le fond des bassins, à travers les dépôts de boues décantées ;
- par l'intérieur des digues ;
- par le fond des contre canaux

L'introduction de la solution polluante dans la nappe est aisée et il n'y a donc pas lieu d'être surpris par la pollution massive constatée : certains points présentent des teneurs en Cl^- de plusieurs centaines de milliéquivalents/litre : ces teneurs approchent de très près des teneurs de la solution polluante des bacs.

334 - Remarque préliminaire

Nous ne reviendrons pas sur l'étude des analyses très anciennes -qui ont montré la contamination après la mise en service des bassins- cette étude a été abordée dans deux rapports (1) et la pollution dans le secteur de l'usine n'est plus à démontrer. Le problème posé n'est pas en effet d'étudier les effets de la pollution à l'usine, mais d'essayer de replacer dans le contexte de la nappe ce foyer de pollution, pour tenter de comprendre l'évolution générale du phénomène.

335 - Carte chimique de détail

Grâce aux analyses de surveillance effectuées sur les puits exploités, on peut préciser quelque peu nos connaissances sur la pollution de l'usine. La carte de la figure 335 a été réalisée d'après des mesures de basses eaux (septembre 1967). La superposition des courbes isopièzes permet de mieux associer les données chimiques aux données hydrodynamiques.

On voit ainsi que toute la partie orientale de l'usine n'est pas polluée et n'est pas menacée de l'être gravement pour autant que les conditions de pompage varient peu.

Dans la partie occidentale de l'usine les puits sont très pollués si leur position les place en "première ligne" devant le front de pollution provenant des bacs (528-6-113 et 119). Les puits situés à l'arrière (528-5-112 et 122) ne doivent qu'une faible partie de leur alimentation à la zone des bacs et sont moins pollués. A l'Ouest des puits exploités quelques sondages ou piézomètres montrent encore des teneurs très élevées, qui s'effacent totalement si l'on progresse plus encore vers l'Ouest.

.../...



(1) - J. RICOUR - M.J. PERRENOUD : Etude documentaire sur les sondages et les puits d'adduction d'eau de Solvay -usine de Tavaux- cité (Jura). Rapport B.R.G.M. Paris 18.5.56

A. BONTE : Usine Solvay à Tavaux (Jura) alimentation en eau - étude géologique préliminaire. 18.2.63

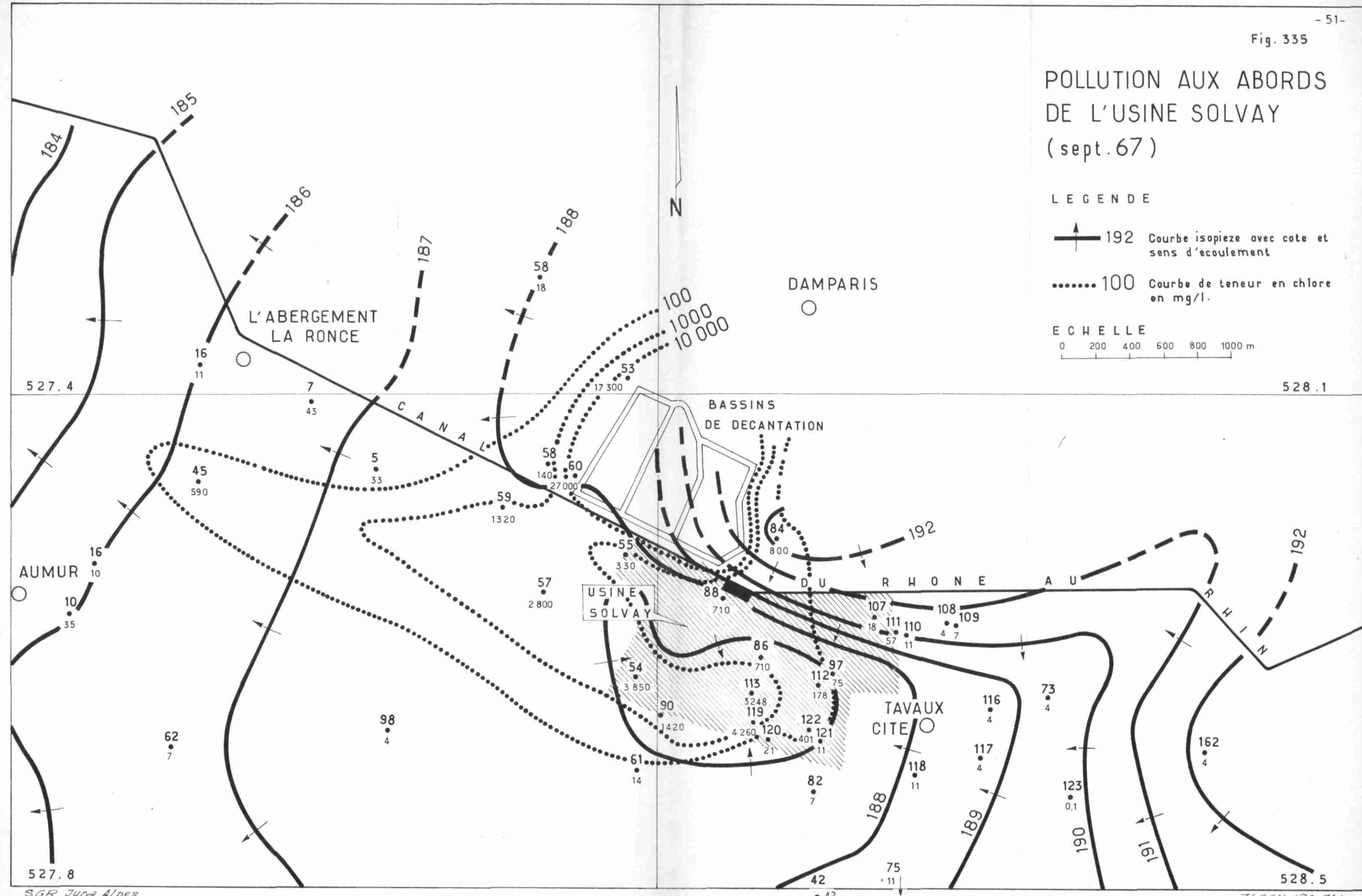
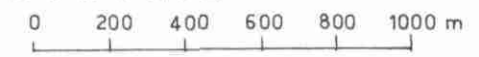
Fig. 335

POLLUTION AUX ABORDS DE L'USINE SOLVAY (sept. 67)

LEGENDE

-  192 Courbe isopieze avec cote et sens d'écoulement
-  100 Courbe de teneur en chlore en mg/l.

E C H E L L E



336 - Coupe temps - teneur en Cl^- (figure 336 : coupe comparative des teneurs en Cl^-)

Cette coupe établie approximativement dans le sens d'écoulement de la nappe permet d'apprécier la relative constance du phénomène de pollution à son origine et son affaiblissement en aval. Toutefois, la baisse assez sensible de teneur décelée après mai 1966 sur le point 527-8-5 ne semble pas s'être répercutée d'une manière bien nette sur 527-8-45. Au-delà, le point 527-8-46 ne montre qu'une pollution très faible et épisodique et l'image qu'en donne le graphique n'est peut-être pas très représentative du phénomène.

337 - Surveillance de quelques puits exploités

Grâce aux analyses périodiques de surveillance, effectuées par la Société Solvay, on peut voir combien la pollution de l'eau des puits exploités est variable dans le temps (cf. tableau de la figure 337).

Tous les puits, quelle que soit leur teneur moyenne, connaissent des périodes de pollution remarquable. Ainsi, le 528-5-122, de teneur moyenne proche de 200 mg/l, et rarement supérieure à 500 mg/l, montre brutalement en 1967 à 3035 mg/l ; le 528-5-106 a pratiquement atteint en 1962 2500 mg/l, depuis ses pointes ont rarement approché 1000 mg/l, sa teneur est le plus souvent voisine de 500 mg/l.

En comparant les points on s'aperçoit que pour certains (106, 117, 118, 121) la période été-automne 1962 a été l'époque d'une arrivée massive de pollution ; pour le puits 110, le paroxysme a été l'été 1965, alors que le printemps et l'été 1967 ont vu la teneur en Cl^- du 122 se décupler.

Il est encore plus surprenant de constater que les puits 121 et 122 qui ont réagi de façon si différente sont distants de seulement 120 m.

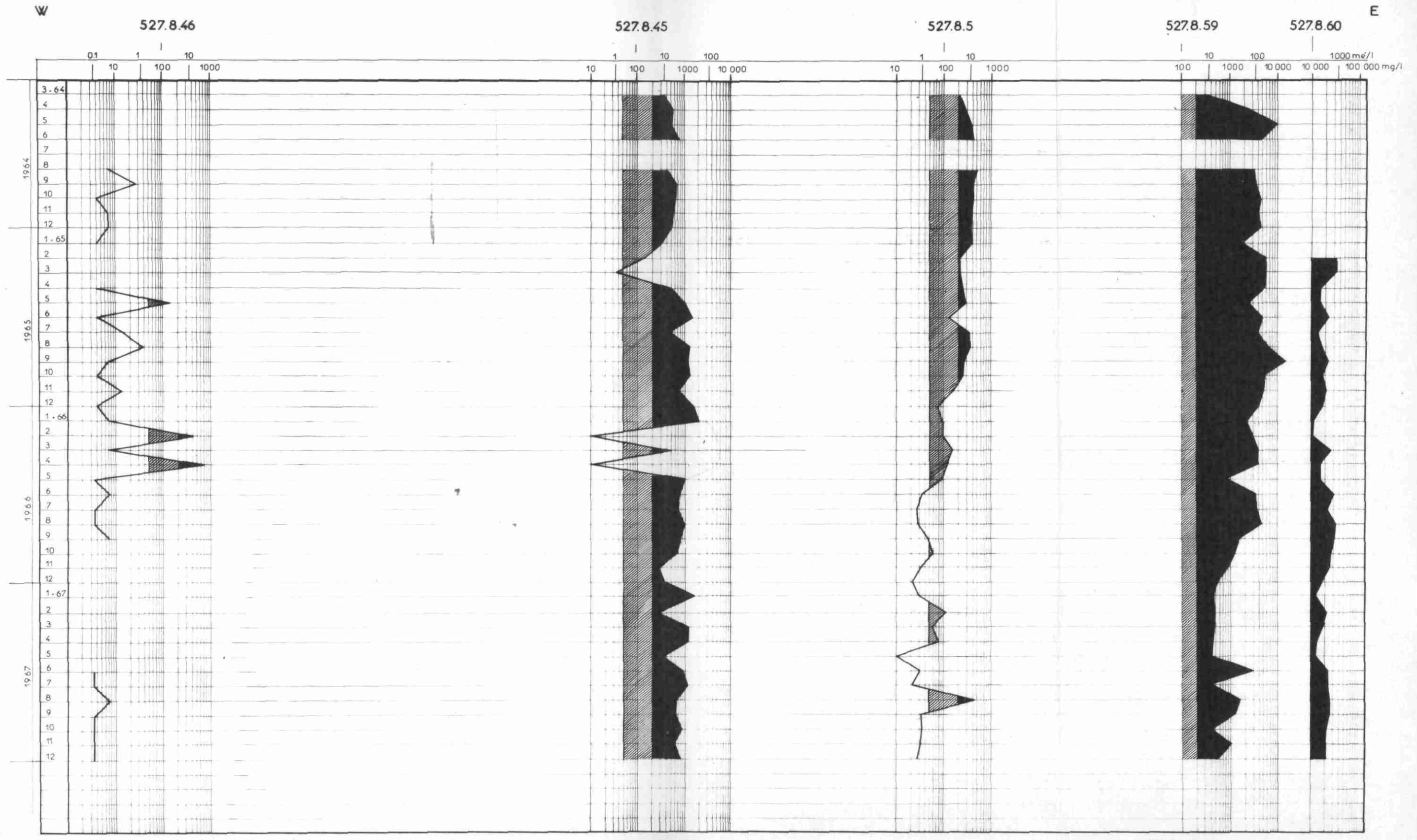
.../...

Fig. 336

COUPE COMPARATIVE DES TENEURS EN CF

Aval des bacs de d'cantation

SENS D'EGOULEMENT ←



Voir l'égende fig

ECHELLE 0 100 200 300 400m

Indice B.R.G.M. des puits, feuille 528 - 5 :

Indice B.R.G.M. des puits, feuille 528 - 5 :

Date	Indice B.R.G.M. des puits, feuille 528 - 5 :					
	106	110	117	118	121	122
23.11.61	756	7	71	64	43	153
7.12.61	774	7	79	64	57	142
13.12.61	710	25	78	82	64	170
14.12.61	828	11	71	35	57	187
28.12.61	572	7	67	90	71	99
4.01.62	600	11	71	96	60	117
11.01.62	632	11	71	67	64	57
18.01.62	458	14	71	110	78	82
25.01.62	452	7	71	85	71	99
2.02.62	504	4	71	89	78	99
8.02.62	461	11	74	85	67	82
15.02.62	451	7	78	89	78	89
22.02.62	461	11	74	85	78	99
30.02.62	469	11	78	82	85	92
7.03.62	475	11	71	74	78	99
6.04.62	479	11		50	78	
12.04.62	545	7,1		42,6	74,5	
19.04.62	497	7,1		35,5	64	
27.04.62	550,2	3,5		31,9	53,2	
4.05.62	553	7		57	85	
11.05.62	603,5	3,5	71,5	71	85,2	
19.05.62	536	3,5	39	35,5	71	63,9
25.05.62	631,9	7,1	56,8	46,1	99,4	78,1
2.06.62	639	3,55	92,3	39,05	113,6	85,2
11.06.62	653	7	85	39	64	60
15.06.62	702,9	3,5	92,3	35,5	106,5	99,4
22.06.62	908,8	3,5	99,4	42,6	99,4	113,6
29.06.62	781	7,1	106	35,5	99,4	106
6.07.62	827	7	106	38	106	114
13.07.62	1050	3,55	71	14,2	3,5	355
20.07.62	63	3,55	46	28,4	350	63
27.07.62	1306	7,1	49	14,2	49	99,4
10.08.62	611	7	39	43	43	36
20.08.62	1015	7,1	99,4	99,4	85,2	248,5
14.09.62	1962	3,55	102,9	14,2	81,6	376
17.09.62	2016	7	99	50	85	458
21.09.62	1839	3,5	113,6	47,2	85,2	436,6
24.09.62	1810	3,5	106,5	39,5	88,7	454,4
28.09.62	536	3,5	99,4	35,5	99,4	454,4
1.10.62	2499	4	39,3	50	78	426
5.10.62	2152	3,5	103	49,7	85,2	475
8.10.62	2172	3,5	106	35	82	454
15.10.62	2020	3,5	56,8	21,3	56,8	333
20.10.62	1917	3,5	106,5	49,7	106,5	369
26.10.62	1867	3,5	103	35,5	85,2	160
29.10.62	2030	7,1	113,6	113,6	390,5	94
5.11.62	2059	7	114	71	98	334
7.11.62	1938	3,5	127,8	71	98,4	326
9.11.62	2009	7,1	99,4	56,8	78,1	291
12.11.62	2115	3,5	113	71	71	298
24.11.62	2030	3,5	99	85	92	305
1.12.62	1800	3,5	35	28	43	182
21.12.62	1093	8	128	121	128	213
31.12.62	1846	10	113	39	113	85
7.01.63	1754	14	99	138	163	199
11.01.63	1590	10,6	113,6	99,4	71	85,2
20.01.63	1370	3,5	92,3	149,2	106	298,2
1.02.63	1356	11	85	236	163	199
8.02.63	923	7,1		134,9	106	170,4
15.02.63	615	7,1	92,3	78,1	78,1	269,8
23.02.63	822	10,5	92,3			284
1.03.63	568	11	92	170	163	291
8.03.63	241,4	7,1	85,2	149,1	163,3	298,2
16.03.63	525,4	7,1	85,2	163,3	170,4	284
22.03.63	326,6	7,1	71	149,1	170,4	213
29.03.63	232,6	6,7	65,9	189	155,3	168,8
5.04.63	230	7	64	149	174	99
13.04.63	175,5	6,8	40,5	128,3	162	148,5
26.04.63	122	3,4	37,2	101,3	155	135
3.05.63	121	7	50	121	169	149
10.05.63	94,5	2,5	67,5	94,5	87,9	148,5
24.05.63	135	6,8	54	68	142	135
31.05.63	108	6,8	37,2	64,2	128,3	131,5
7.06.63	142	11	64	82	153	178
14.06.63	114	3,4	30,4	57,4	118,2	155,3
21.06.63	108	3,4	20,3	60,8	121,5	148,5
28.06.63	70	1,5	40,5	43,9	124,9	135
5.07.63	71	4	43	36	142	142
12.07.63	40,5	2,3	40,5	40,5	141,8	114,7
19.07.63	40,5	3,4	27	20,3	94,5	94,5
26.07.63	57,4	1,4	135	23,4	108	108
9.08.63	67,5	3,4	37,2	23,7	94,5	101
16.08.63	91,2	3,4	30,4	30,4	101,3	114,8
22.08.63	85	7	60	53	120	142
30.08.63	60,8	2,3	54,4	34	102	115,6
13.09.63	37,2	3,4	27	13,5	81	87,75
23.09.63	75	4	46	36	107	117

Date	Indice B.R.G.M. des puits, feuille 528 - 5 :					
	106	110	117	118	121	122
28.09.63	54	3,4	20,2	68	68	94,5
11.10.63	68	3,4	44,2	28,9	98,6	110,5
28.10.63	57	4	4	7	78	85
5.11.63	67,5	3,4	23,6	10,2	57,4	67,5
13.11.63	71	4	7	4	57	43
1.12.63	127,8	3,55	24,9	17,8	78,1	63,9
6.12.63	944	4	28	7	57	64
13.12.63	298,2	3,5	113,6	21,9	71	362,1
28.12.63	120,7	7,1	28,4	28,4	71	71
15.01.64	113	4	43	21	78	142
27.01.64	156,2	3,5	49,7	28,4	92,3	248,5
18.02.64	134,9	3,5	35,5	21,3	99,4	454,4
2.03.64	149	4	4	28	103	504
20.03.64	142	7,1	63,9	35,5	99,4	411,8
11.05.64	99	4	64	53	71	
29.05.64	74	4	71	39	89	82
24.06.64	99	4	68	36	78	174
31.07.64	117	4	107	46	110	348
7.08.64	110	7	106	39	99	319
2.10.64	192	4	146	39	96	124
26.10.64	288	4	36	43	99	146
17.11.64	119	4	42	67	107	149
21.12.64	34	4	71	53	96	85
31.03.65	117	14				
30.04.65	89	4				
14.05.65	71	4				
1.06.65	82	4				
2.07.65	92	11				
3.08.65	220	4	50	4	71	
7.09.65	362	4	18	4	53	341
7.10.65	110	4	4	7	50	89
4.11.65	192	7	4	18	64	149
2.12.65	121	7	7	14	71	408
5.01.66	85	9	5	11	32	85
2.02.66	43	4	4	4	43	36
1.03.66	85	5	5	9	26	43
6.04.66	149	5	4	5	21	36
4.05.66	142	7	4	7	7	14
2.06.66	234	5	2	4	7	18
8.07.66	376	4		4	4	667
2.08.66	596	7	36	4	11	252
2.09.66	337	7		4	14	107
5.10.66	234	4	4	4	4	611
2.11.66	277	4	4	4	7	852
6.12.66	263	4	4	4	4	398
3.01.67	114	4	4	4	7	192
2.02.67	178	4	7	7	7	980
8.03.67	305	4	7	7	7	2254
6.04.67	270	7	11	7	11	3035
5.05.67	430	7	7	7	14	1382
8.06.67	252	4	4	4	4	515
5.07.67	247	7	4	4	11	1342
3.08.67	426	4	4	4	7	976
8.09.67	x	11	4	11	11	401
5.10.67	515	4	4	4	4	330
11.67	454	7	4	7	7	284
30.12.67	284	4	7	7	7	149
17.01.68	82	10	8	9	12	328
23.02.68	183	9	7	11	15	128
27.03.68	94	9	7	8	10	144
25.04.68	69	8	6	7	11	332
6.06.68	117	7	5	7	11	56
4.07.68	802	10	6	8	11	312
14.08.68	650	9	6	8	11	12
10.09.68	?	8	7	8	11	31
14.10.68	107	9	8	8	10	18
21.11.68	105	8	6	8	9	30
13.12.68	351	9	5	6	9	68
23.01.69	133	8	6	7	9	286
18.02.69	394	9	6	7	9	386
25.03.69	122	9	7	7	10	533
24.04.69	396	9	6	7	10	327
28.05.69	324	9	7	8	10	105
25.06.69	898	9	6	7	9	140
25.07.69	827	9	6	8	10	144
21.08.69	664	9	6	8	10	64
23.09.69	859	11	6	9	11	51

338 - Essai d'interprétation

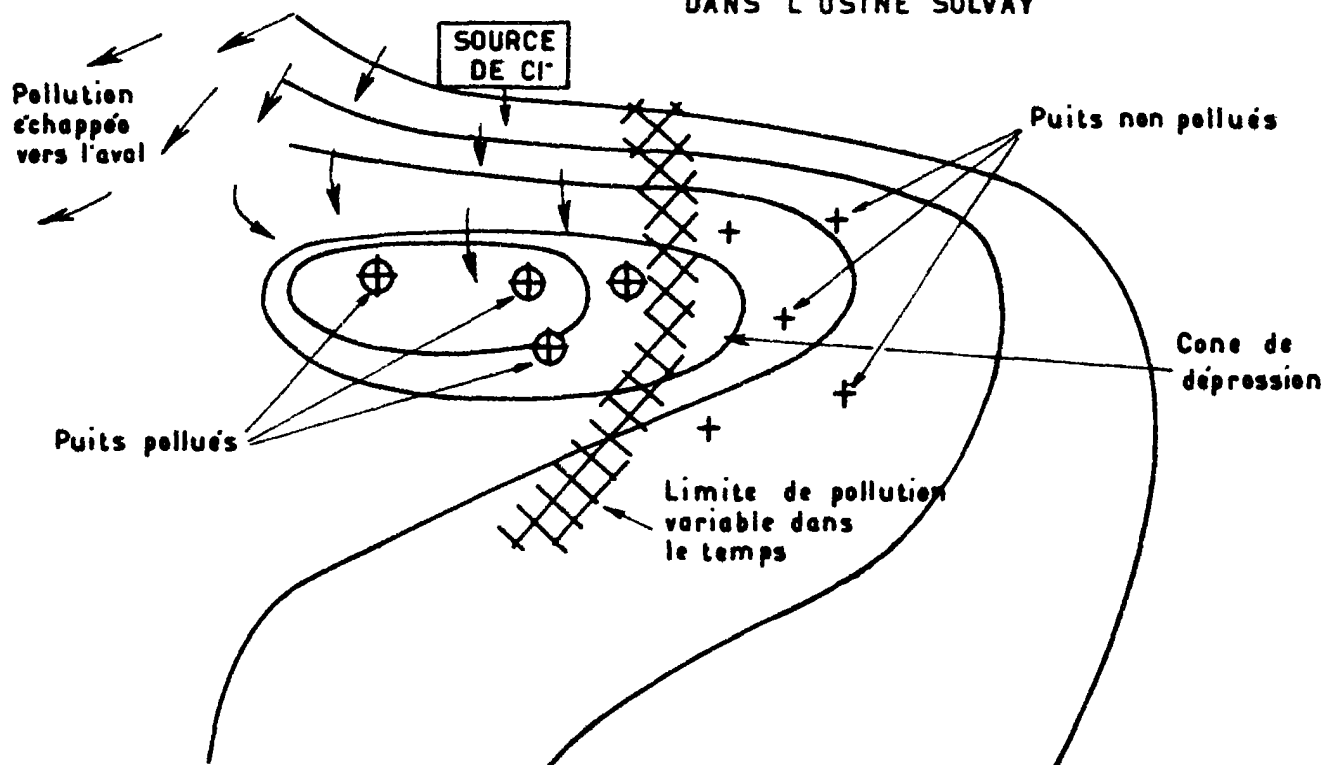
On voit donc qu'il est extrêmement laborieux de chercher à débrouiller une telle énigme et l'intérêt d'une opération a posteriori de ce genre n'est pas justifié.

Les fluctuations de salinité peuvent être liées à de très nombreux facteurs :

- fluctuations saisonnières de niveau ;
- variation globale de débits, siphonnages entre puits ;
- variations de débit d'un puits à l'autre ;
- mise en service de nouveaux bacs de décantation, entraînant une pollution massive avant que le colmatage ne diminue cet effet ;
- régime d'exploitation des bacs ;
- incidents divers aux réseaux d'évacuation de l'effluent ;
- fuites au pipe-line d'amenée de saumure, etc.

Ainsi, on ne considérera le phénomène que dans son ensemble. Le foyer de pollution que constitue l'usine émet une solution fortement chargée en Cl^- . Les points d'infiltration de cette solution étant proches du cône d'influence global des captages, l'essentiel de la pollution est, en effet, attiré par les puits et recyclé. Les captages situés en amont ne sont pas menacés (sauf par d'éventuelles fuites au pipe-line ou en cas de pompages excessifs en amont et de pompages faibles en aval du cône actuel (renversement des influences)).

Fig. 338

SCHEMA EXPLICATIF DE LA POLLUTION
DANS L'USINE SOLVAY

En aval de l'usine, la présence d'une zone polluée allongée est observée à l'Ouest. Il est toutefois assez surprenant de constater que depuis de nombreuses années cette zone ne semble pas progresser. En effet, on serait en droit de penser que depuis bientôt quarante ans que des infiltrations de Cl^- se produisent dans ce secteur, la pollution devrait avoir cheminé au moins jusqu'à la Saône (1).

On n'observe pas de pollution à quelques kilomètres en aval hydraulique de l'usine, aussi faut-il envisager plusieurs hypothèses :

- ou bien, le dispositif d'observation est insuffisant pour détecter les flux pollués particulièrement minces ou étroits ;
- ou bien, la ségrégation verticale de la pollution la fait cheminer tout à fait en bas de la nappe... ce qui remettrait en question tout le problème des échantillonnages d'eau.

Ces hypothèses -toutes assez pessimistes- ne paraissent pas devoir se justifier totalement.

Il est possible qu'une pollution peu importante ou un flux souterrain très mince échappe à l'observation (2) ; il est par ailleurs très improbable qu'une pollution intense et abondante échappe totalement.

En effet, on verra à propos du secteur de l'étang de l'Aillon que la ségrégation verticale de la pollution existe, mais que la présence de Cl^- dans les couches inférieures de la nappe se manifeste en surface par des teneurs sensibles.

La dynamique des eaux souterraines fournit une explication plus optimiste des phénomènes observés. En effet, on a vu que l'effet de dépression du champ de captage attire vers les puits une très grande partie des eaux polluées qui s'infiltrent aux abords et sous les bacs de décantation.

.../...

(1) - Cf. deuxième partie § 422.312 page 89, où une durée de trajet maximale de quatre à six ans avait été envisagée pour atteindre la Saône.

(2) - Notons au passage que les points 527-8-45 et 46 sont des sondages équipés de crépines jusqu'au substratum imperméable et que les échantillons fournis par prélèvement à la bouteille lestée ont toute probabilité d'être représentatifs.

Les puits 106, 112, 113, 118 et 122 sont les cinq ouvrages les plus pollués parmi les treize puits en service en fin 1969. Les teneurs moyennes extraites et les débits sont respectivement :

Numéro du puits	106	112	113	118	122
Débit moyen en m ³ /h	100	120	125	415	250
Teneur moyenne (kg/m ³)	0,35	0,24	0,35	4,16	0,46
Poids extrait en kg/heure	35	28,8	534	1727	115
Poids total extrait par heure (arrondi)	2440 kg/h				
Poids total extrait par jour (arrondi)	58 000 kg ou 58 tonnes				

Ce poids est donc loin d'être négligeable et entre pour une part notable dans les huit cents tonnes rejetées chaque jour.

Si on admet que les 2440 kg/h sont essentiellement produits par les infiltrations des bacs de décantation (teneur de l'effluent voisine de 53 kg/m³), on voit donc que des fuites de l'ordre de $\frac{2440}{53}$, soit 46 m³/h peuvent engendrer la pollution observée.

En l'absence de données précises concernant les pertes du réseau des eaux chlorurées on peut donc penser qu'une bonne partie des infiltrations des bacs, attirée par les pompages, est évacuée par le réseau superficiel.

.../...

Remèdes envisageables

Il est malheureusement hors de question de pouvoir remédier aux déficiences des bacs et réseaux anciens.

Il serait possible d'éviter -pour de futurs bassins- les pollutions intenses actuellement connues grâce à des techniques d'étanchéisation ou d'isolation d'un secteur de nappe par un voile imperméable (1).

A la limite, on peut concevoir d'isoler tous les bacs par une paroi moulée jusqu'aux argiles pliocènes -on pourrait alors supprimer toute cause de pollution et ramener progressivement la nappe à un état de salubrité raisonnable ; mais ces techniques d'isolation qui constituent en la matière l'arme absolue sont très coûteuses.

Actuellement, le meilleur remède apporté à la nappe consiste dans les pompages, qu'il est du plus haut intérêt de poursuivre.

Toutefois, en l'absence de certitude quant à la fuite de la pollution vers l'Ouest, il serait bon de contrôler par une série de sondages (2), en arc de cercle à l'Ouest des bassins, que nulle sortie massive et occulte des eaux polluées n'est possible.

Des pertes de l'ordre de 50 m³/h ne sont pas apparemment inconcevables pour un tel dispositif de bassins et canaux.

En conclusion, il semble donc :

- d'une part, que l'on ne constate pas de pollution massive ou étendue assez loin en aval de l'usine ;
- d'autre part, que l'essentiel de la pollution émise est attiré et puisé par quelques puits de captage.

Si une "fuite" de la pollution était constatée, il faudrait alors envisager soit des pompages supplémentaires d'épuration, soit une barrière hydraulique par injection d'eau douce (prélevée dans le canal du Rhône au Rhin par exemple), ou toute autre technique à étudier dans le contexte local.

(1) - Technique actuellement employée pour certaines industries très polluantes telles que les raffineries de pétrole.

(2) - Sondages atteignant le substratum imperméable, crépinés sur toute la hauteur aquifère et faisant l'objet de prélèvements sélectifs à diverses profondeurs, ou tout autre dispositif de tube à prélèvement.

34 - ETANG DE L'AILLON

341 - Introduction, généralités, travaux antérieurs

La Société Solvay a été autorisée, par arrêté préfectoral, à aménager en bassin de décantation secondaire un étang artificiel, l'étang de l'Aillon : l'effluent primaire des bassins, insuffisamment décanté, contient encore une forte proportion de boues. Le rejet de ces boues dans le canal du Rhône au Rhin avait pour effet de créer un engorgement préjudiciable à la navigation des péniches, et des dragages étaient pratiqués. Un traitement secondaire était donc nécessaire. L'étang de l'Aillon (cf. cartes chimiques figure 2211) est constitué par une dépression naturelle: méandre fossile d'un cours d'eau qui s'est creusé un lit dans la couverture argileuse de la formation de Saint-Cosme (1). La dépression ainsi formée a été barrée -probablement au XVIIIe siècle- par une digue qui permettait de transformer à volonté, par le jeu des vannes, la cuvette obtenue soit en étang, soit en terre de culture. Cette alternance d'étang-pêcherie et d'exploitation agricole est encore fréquente dans les Dombes.

La Société Solvay a fait procéder à l'aménagement de l'étang en deux bassins séparés. Un canal, bétonné sur une grande partie de son cours, relie l'usine à l'étang, puis l'étang à la Saône. L'étang a été mis en service pour la première fois en mars 1964. A cette époque une première étude de la pollution du secteur avait été réalisée (2). Nous avons alors envisagé d'une part, la pollution qui sévissait déjà et d'autre part, les conditions de percolation de la saumure à travers le fond de l'étang :

En janvier 1964, une pollution en Cl^- pouvant atteindre 700 mg/l (soit 20 mé/l), mais plus souvent limitée à quelques dizaines, voire à une centaine de milligrammes/litre (quelques milliéquivalents/litre), avait son origine dans les infiltrations du canal du Rhône au Rhin, heureusement partiellement colmaté. Une zone de 2 km² apparaissait ainsi contaminée.

.../...

-
- (1) - Il s'agit probablement d'un ancien cours du Doubs qui rejoignait la Saône d'Est en Ouest, avant sa capture par la Loue. Le trajet de cette dépression est actuellement emprunté en grande partie par le canal du Rhône au Rhin.
- (2) - Etude hydrogéologique du secteur de l'étang de l'Aillon (Côte-d'Or) par J.J. COLLIN et Y. EMSELLEM D.S.G.R. 64 A 25.

Nous avons également envisagé les caractéristiques de perméabilité des argiles du fond de l'étang et examiné les conditions de percolation de l'eau salée à travers celles-ci. Il apparaissait que la moindre anomalie dans la perméabilité des argiles, ou la présence (qui, en effet, a été reconnue) de zones où les graviers étaient sub-affleurants, pouvaient permettre une percolation notable d'eau salée et donc accroître la pollution.

342 - Surveillance

C'est donc sur ces bases qu'une étude de surveillance un peu plus serrée, du secteur a été entreprise.

Grâce à un dispositif de surveillance de sept sondages, équipés en piézomètres sur toute la hauteur aquifère, des prélèvements et des mesures de niveaux ont été pratiqués avec une fréquence d'abord journalière puis hebdomadaire.

Le graphique (Evolution des niveaux dans les sondages voisins de l'étang de l'Aillon - figure 342 a) montre une nette mise en charge de la nappe par l'étang lors de la première mise en eau. L'étang, dont la cote est quasi permanente à + 184,05 m, alimente donc presque constamment la nappe. L'alimentation principale est fournie par le bassin supérieur qui a toujours été en service. Par contre, le bassin inférieur n'a été en eau que quelques mois, mais son fond est parcouru par un bief, creusé dans les argiles, bief qui peut faciliter l'entrée de la pollution dans la nappe. D'une manière générale, on peut donc dire que l'hydrodynamisme favorise l'entraînement de la pollution dans la nappe.

343 - Pollution observée

Le graphique "Evolution des teneurs en chlore dans l'étang de l'Aillon et les sondages voisins" (figure 343a) montre le caractère très variable, mais toujours élevé, de la teneur en Cl^- de l'eau de la source de pollution. On peut admettre qu'en moyenne, et en dehors de brèves périodes, la teneur moyenne est de l'ordre de 3000 à 3500 mg/l pour les eaux sortant de l'étang. La teneur d'entrée est un peu plus forte : une dilution intervient par les apports locaux superficiels ou pluviaux.

Fig. 342 a

EVOLUTION DES NIVEAUX DANS LES SONDAGES VOISINS DE L'ETANG DE L'AILLON

LEGENDE DES FIGURES

- 29
- 30
- 31
- 32
- - - 33
- 34
- 35

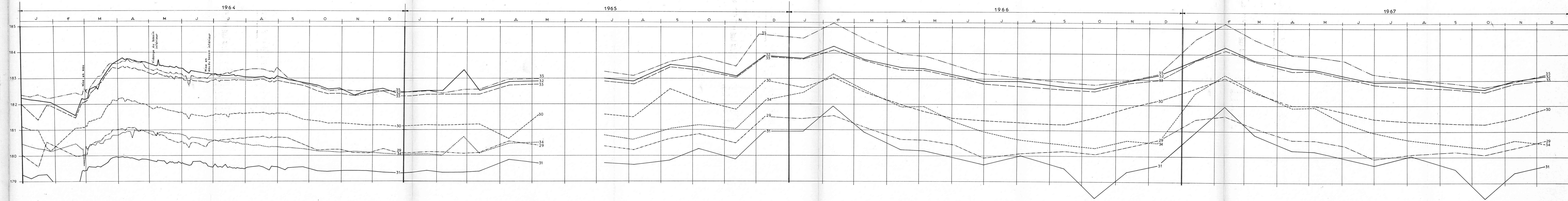
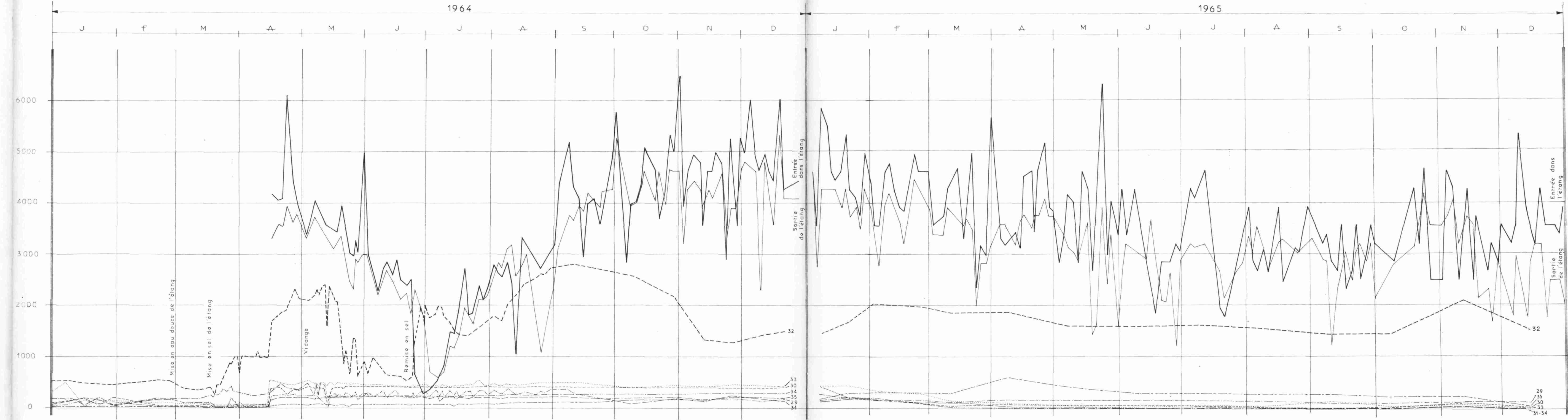


Fig. 343 a

EVOLUTION DES TENEURS EN CHLORE DANS L'ETANG DE L'AILLON ET LES SONDAGES VOISINS

LEGENDE DES FIGURÉS

- Entrée dans l'étang
- Sortie de l'étang
- - - 29
- - - 30
- - - 31
- - - 32
- - - 33
- - - 34
- - - 35



Dès la mise en saumure de l'étang, les teneurs des piézomètres ont augmenté de façon sensible, en particulier pour le sondage 527-4-32, qui a, par ailleurs, montré ultérieurement une nette décroissance de la teneur, consécutive à la vidange de l'étang en mai 1964.

Remarque : la brutale augmentation apparente des teneurs de la mi-avril est due à un artifice : l'opérateur local chargé des prélèvements a commencé à cette date à utiliser correctement un hydrocapteur sommaire (bouteille lestée à ouverture commandée depuis la surface). Par ailleurs, la présentation du diagramme en coordonnées arithmétiques écrase l'échelle et il est donc préférable de considérer le diagramme semi-logarithmique établi pour 1964/1967 (figure 343 b). On constate bien, du sondage 32, proche de la berge, aux sondages 33 et 34, une décroissance nette et constante de la pollution. On remarquera en premier lieu que la teneur en Cl^- varie peu au sondage 32, tout proche de l'origine de la pollution, alors que les points éloignés voient leur teneur varier dans de fortes proportions (parfois presque centupler).

Enfin, les fortes teneurs coïncident avec les basses eaux de la nappe et réciproquement les faibles teneurs correspondent à des périodes où la nappe est haute.

Il semble donc que la pollution, provenant d'une source origine sub-constante en potentiel hydraulique et en teneur, doive l'essentiel de ses fluctuations aux dilutions saisonnières engendrées par les variations du débit souterrain.

344 - Ségrégation verticale de la pollution

Nous avons vu précédemment quels déboires faisaient encourir des prélèvements non représentatifs. Bien que la surveillance pratiquée à l'étang de l'Aillon, comme ultérieurement dans toute la plaine, ait été pratiquée grâce à des prélèvements au fond des sondages (1), certaines fluctuations de teneurs peuvent sembler suspectes. En effet, la descente d'une

.../...

(1) - Ou par pompage dans les piézomètres de petit diamètre.

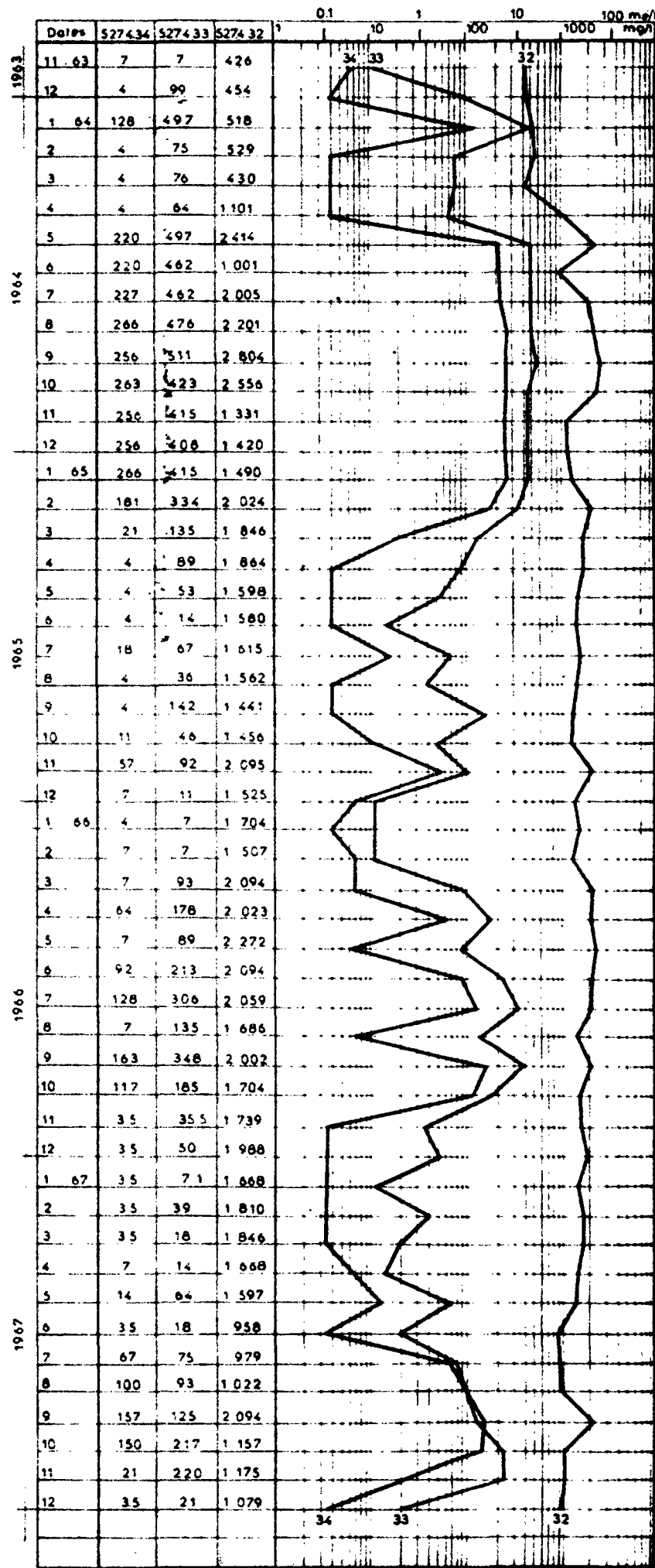
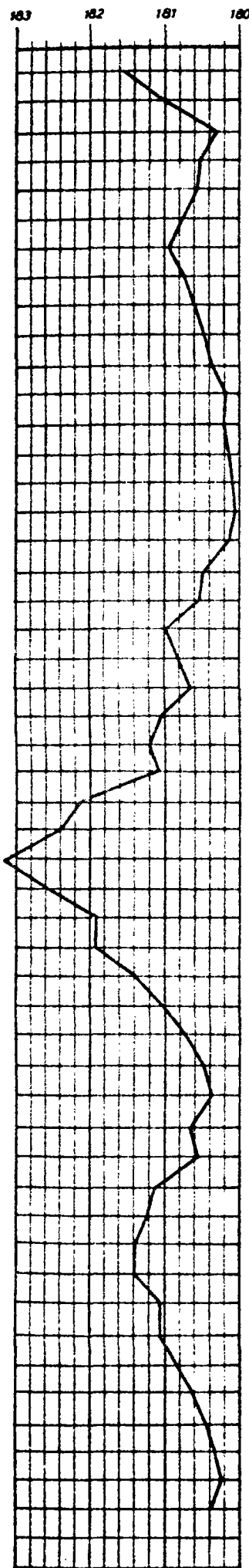
COTES DE LA NAPPE
AU SONDAGE 527.4.34

EVOLUTION DES TENEURS EN CI-
DES EAUX DES SONDAGES 5274 34 33 32

Fig. 343 b

-64-

Voir situation sur la fig 344 b



Mise en saumure le 18 3

Vidange etang inférieur le 3 9

bouteille joue un rôle de piston dans le tubage crépiné et par ailleurs on ne peut préciser avec certitude quel est le niveau aquifère qui a réellement fourni l'échantillon (1). Ces différentes raisons m'ont incité à recourir à un prélèvement sélectif à chaque mètre de profondeur dans la formation aquifère. A cet effet, j'ai confectionné un dispositif léger de packers gonflables isolant une crépine qui permet ainsi de solliciter le débit des couches situées à l'extrados des tubages (2).

Par ailleurs, les prélèvements pratiqués dans les sept sondages régulièrement surveillés ont montré qu'il existait en effet des différences de teneur à certains niveaux de l'aquifère (figure 344 a). Toutefois, ces différences ne sont pas très élevées et on ne peut parler ici d'interface. Il est normal de trouver les eaux les plus chargées à la base de la nappe, mais on peut aussi se demander si la pollution introduite par le fond de l'étang ne se propage pas en empruntant de façon préférentielle certaines couches ou lentilles alluviales : ceci serait particulièrement net aux sondages 31 et 34.

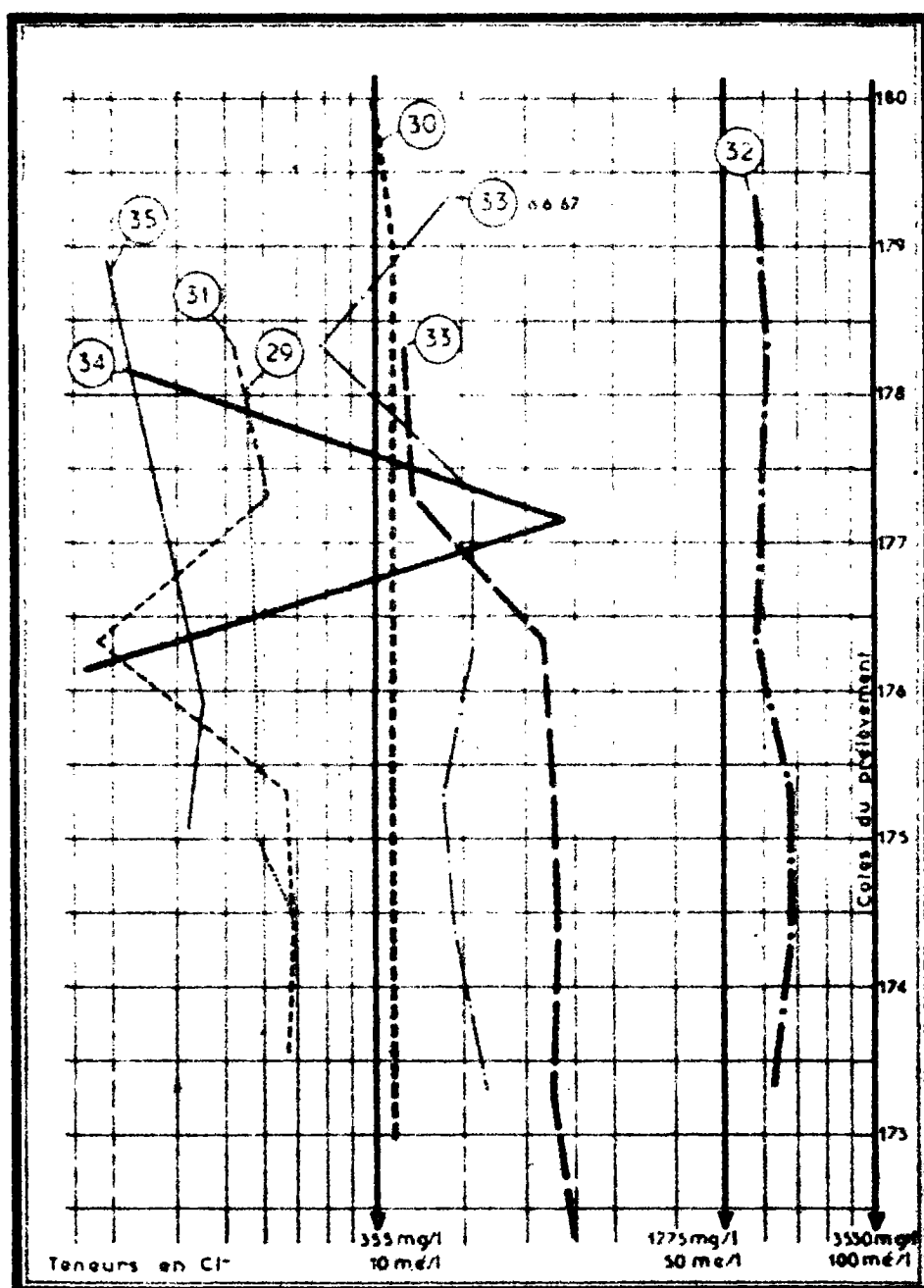
Il est néanmoins rassurant de constater que les échantillons prélevés au fond des sondages les plus pollués sont assez représentatifs de la teneur maximale qui y règne. Les prélèvements à la bouteille, bien qu'imparfaits, ne sont donc pas mauvais et ne doivent pas être rejetés systématiquement puisque l'ordre de grandeur des résultats ne varie pas sensiblement avec les différentes techniques de prélèvement.

La carte de la figure 344 b a donc été établie en tenant compte des teneurs maximales ; elle constitue -dans la limite des données dont j'ai pu disposer- l'image synthétique de la pollution du secteur. La zone polluée se détache très nettement et on peut se demander pourquoi cette pollution n'a pas progressé.

.../...

-
- (1) - L'emploi d'enregistreurs continus de résistivité a bien été envisagé ; outre le fait qu'il entraînait des frais excessifs, il n'était pas adapté aux crépines trop peu ouvertes des sondages.
- (2) - J.J. COLLIN 1968 : Appareil d'échantillonnage d'eau sélectif dans les forages à tubage crépiné. Rapport B.R.G.M. 68 SCL 138 JAL octobre 1968.

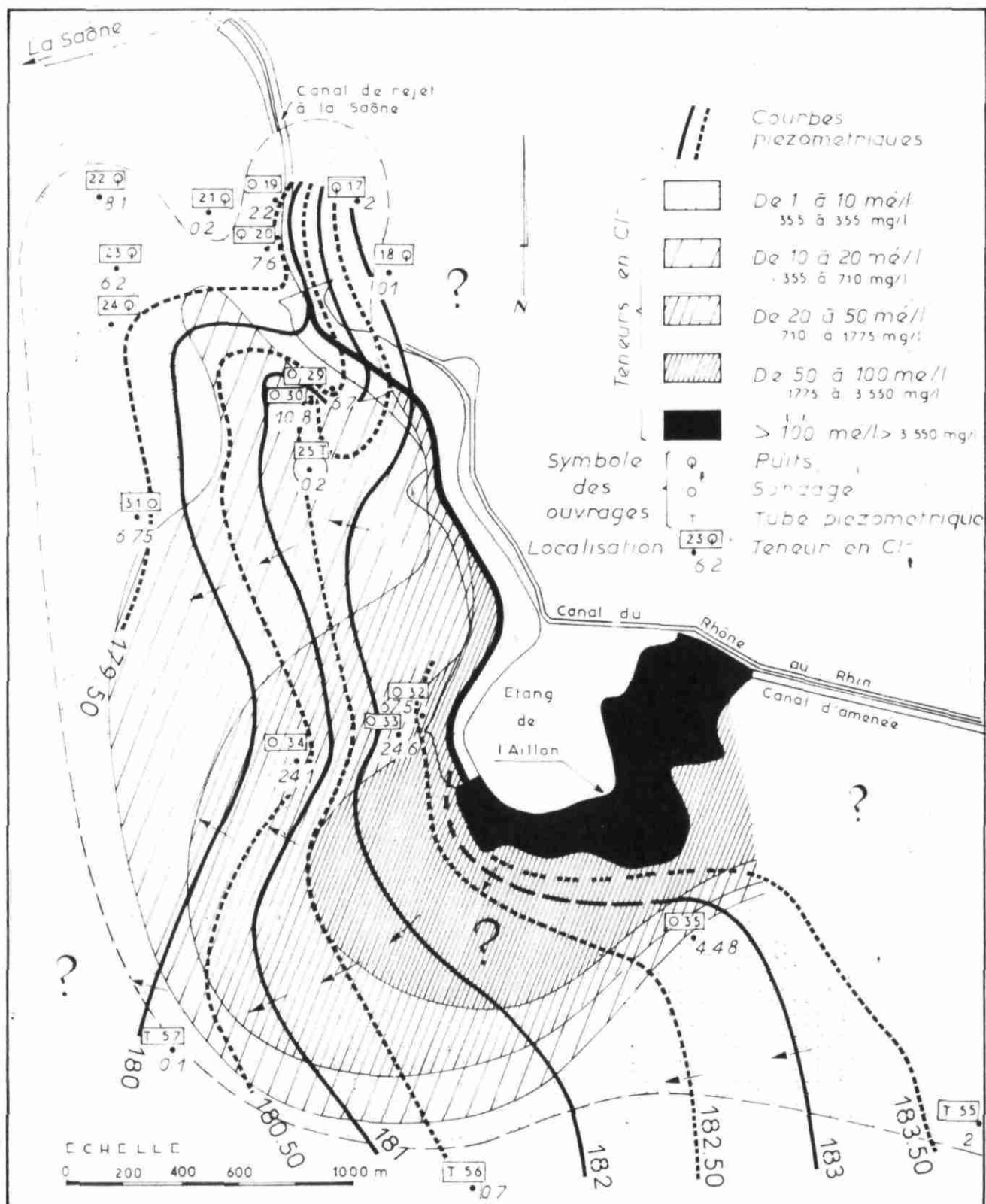
PROFIL VERTICAL DES TENEURS EN CHLORE DANS SEPT SONDAGES VOISINS DE L'ETANG DE L'AILLON



CARTE DE LA POLLUTION DANS LE SECTEUR DE L'ETANG DE L'AILLON

Fig. 344 b

-67-



En effet, en trois ans de fonctionnement, le fond de l'étang a laissé passer du Cl^- à teneur à peu près constante. Compte tenu de la perméabilité des alluvions du secteur - que l'on peut estimer en moyenne à 10 m/h (ou $3 \cdot 10^{-3}$ m/s) - on peut s'étonner que la vitesse de propagation de l'eau polluée ne soit pas plus rapide. En effet, on a :

$$Q = k \quad s \quad i = s \cdot V_r \cdot m$$

k = perméabilité

i = gradient

Q = débit

m = porosité

s = section

V_r = vitesse réelle

soit :

$$k i = V_r \times m, \quad k = 10 \text{ m/h, avec } i = 3 \cdot 10^{-3}, m = 10^{-1}$$

$$V_r = \frac{k \cdot i}{m} = \frac{10 \times 3 \cdot 10^{-3}}{10^{-1}}$$

soit : $V_r = 0,3 \text{ m/h}$

Donc, en trois ans, soit environ 26.300 h, la pollution aurait pu parcourir approximativement 7 800 m.

Il suffirait d'une perméabilité deux à trois fois moindre et d'une porosité double pour que la vitesse réelle fût par exemple cinq fois plus faible, soit 0,06 m/h ; inversement avec des données de base plus élevées elle pourrait atteindre 1 m/h. Cependant, en tout état de cause, un trajet de l'ordre de 1.000 m aurait dû être parcouru.

Si en l'absence de données précises la conduite de tels calculs peut paraître conjecturale, il apparaît cependant qu'un doute peut subsister quant à la vitesse de l'avance du front pollué.

Mais plusieurs hypothèses peuvent être également formulées :

- la nappe présentant une surface piézométrique à caractère divergent, la pollution issue du secteur restreint de l'étang, s'étale et se dilue avec les apports météoriques ?
- la ségrégation verticale dont l'amorce est observée près de l'étang, se manifeste avec plus de netteté au-delà de la zone équipée de sondages complets. Ainsi, des piézomètres tels que 56 et 57 (sud et sud-ouest de l'étang) ne fourniraient pas d'échantillons assez représentatifs ; la pollution concentrée

.../...

à la base de la nappe aurait progressé plus avant ?

345 - Conclusions

Les problèmes posés par les aspects dynamiques de la pollution du secteur de l'étang de l'Aillon sont donc complexes et non complètement élucidés par cette étude, demeurée dans le cadre trop général des investigations consacrées à la plaine Saône-Doubs.

La mise en service de l'étang a, de toute évidence, causé une aggravation de la pollution qui se propage à partir de la berge vers l'Ouest. Il serait donc souhaitable, pour préciser la nature des risques encourus par la nappe située entre l'étang et la Saône, qu'une campagne d'investigation complémentaire soit entreprise. Dix à quinze sondages à prélèvements complets, disposés en deux barrières concentriques à la courbe de l'étang permettraient de contrôler l'avance du front pollué et de définir la gravité de la menace qui pèse sur la nappe. Quelques investigations et essais (1) aideraient alors à projeter dans l'avenir les informations déjà acquises ou nouvellement recueillies.

Remèdes envisageables.

La pollution actuellement reconnue n'a pas de caractère foncièrement grave car elle ne menace directement aucun captage public, et de plus, étant située à proximité de la Saône, la zone polluée n'a pas devant elle de vastes étendues à gagner : la proximité de la limite aval de la nappe minimise donc les effets d'une pollution qui pourrait être plus fâcheuse. Actuellement l'étang de l'Aillon (bassin supérieur) est déjà presque totalement comblé de boues et il ne semble guère possible de modifier quoi que ce soit aux conditions d'étanchéité de son fond. Par contre il serait encore possible d'améliorer l'étanchéité relative du fond du bassin inférieur qui ne saurait tarder à être mis en service. Le fond du bief traversant le bassin inférieur risque d'écorcher les graviers aquifères et il serait prudent de le combler partiellement ou de l'imperméabiliser. Un corroi d'argile de composition étudiée ou

(1) Pompages d'essais, traçages etc.. Un traçage radio-actif avait été envisagé en 1965, mais cette opération n'a pu à cette époque être pratiquée.

mieux encore un film de matière plastique permettrait une imperméabilisation plus efficace.

Comme dans d'autres zones polluées, si cela s'avérait nécessaire, une série de pompages pourrait permettre de refouler vers le réseau superficiel une grande partie des eaux souterraines salées. Une barrière par injection d'eau douce prélevée au canal serait une solution assez commode. La mise en charge de la nappe par de l'eau douce à une cote supérieure à celle de l'étang interdirait l'écoulement vers l'Ouest.

Il est bien évident que de telles solutions ne se justifieraient que dans la mesure où la pollution de l'étang introduirait des nuisances graves et il faudrait alors étudier en détail, dans leur contexte hydrodynamique, des idées qui ne sont encore que des hypothèses.

35 - COURS DE LA SAONE CANALISEE

Les eaux chlorurées, issues de l'étang de l'Aillon, sont rejetées à la Saône à Saint-Symphorien-sur-Saône par un canal ; le tomage journalier moyen est de l'ordre de 800 tonnes par jour de Cl^- . On conçoit donc que selon le débit de la rivière la teneur puisse varier dans des proportions importantes. Ces eaux polluées, dans certaines conditions hydrodynamiques, sont susceptibles de polluer à leur tour la nappe.

351 - Pollution des eaux de la Saône

Grâce aux données publiées par la Deuxième Circonscription électrique, on a pu étudier les relations existant entre le débit de la Saône et sa teneur en chlorure pendant la période 1965-1967. L'examen de ces relations montre comment la rivière se comporte comme un véritable foyer de pollution pour la nappe.

3511 - Débit

La Saône, rivière plate et très lente, est très malaisée à jauger avec une bonne précision, les vitesses de l'eau en étiage étant voisines des limites technologiques des moulinets utilisés pour le tarage. La Deu-

xième Circonscription électrique a toutefois pu établir une station limni-graphique double à Pouilly. Cette station a montré des débits d'étiage de l'ordre de 35 m³/s pendant des périodes dépassant parfois une durée de un mois (cf. diagramme 3511).

3512 - Teneur en Cl⁻

Un contrôle journalier des teneurs en Cl⁻ est pratiqué à Seurre. Les concentrations relevées ont été également figurées sur le diagramme 3511. Il apparaît que les teneurs observées atteignent souvent et dépassent parfois 250 mg/l, teneur limite qui a été fixée par arrêté préfectoral de MM. les Préfets de la Côte-d'or et du Jura.

3513 - Relation débit-teneur

Grâce à la connaissance que l'on a des tonnages de Cl⁻ rejetés journellement par la Société SOLVAY, on peut tenter de recouper les relations débit-teneur et procéder d'une manière dérivée du procédé de jaugeage chimique.

Exemple : pour procéder à ces calculs, on a établi des diagrammes détaillés (1) (figure 3513 a et b) ; on a recherché les périodes d'étiages pendant lesquelles le débit de la rivière avoisinait 35 m³/s.

On peut donc, en faisant abstraction de toute teneur en Cl⁻ naturelle des eaux de la Saône (2), calculer quelle concentration le rejet de 800 tonnes par jour infligera aux eaux de la rivière.

$$\text{La teneur } T = \frac{P \text{ (Poids rejeté par seconde)}}{Q \text{ (Débit par seconde)}}$$

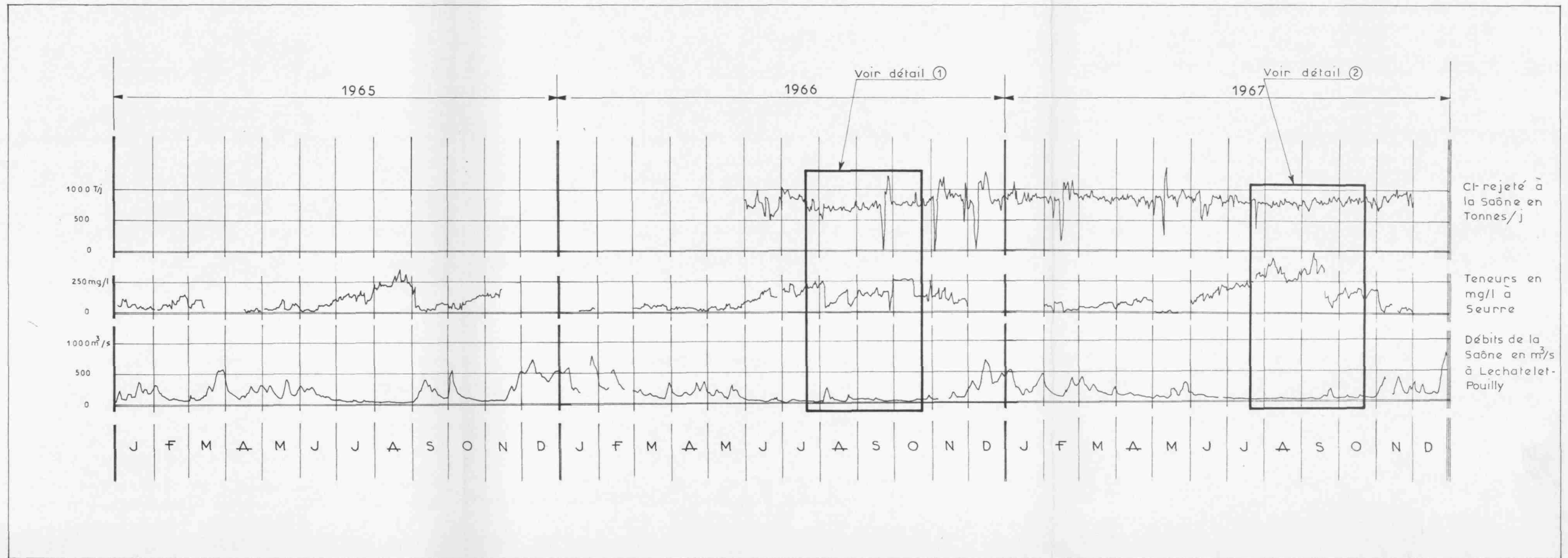
avec $P = 800 \text{ tonnes ou } 800 \cdot 10^9 \text{ mg par jour}$, le poids par seconde est de $\frac{800 \cdot 10^9}{86.400}$, tandis que $Q = 35 \cdot 10^3 \text{ l/s}$, ce qui nous donne

$$T = 262 \text{ mg/l.}$$

(1) On remarquera sur les deux diagrammes (fig. 3513 a et b) de détail la bonne corrélation existant entre les accroissements de débit et les baisses de teneur (diagramme de détail n°2 surtout, qui montre un tonnage rejeté assez régulier). Dans le diagramme n°1 les chutes de teneur, liées aux crues, sont spectaculaires, de même que les remontées des valeurs de Cl⁻, lors des dé-crués ; il s'y superpose toutefois quelques influences très nettes des tonnages rejetés (fin août-septembre 1966).

(2) Teneur en fait très faible et limitée à quelques mg/l.

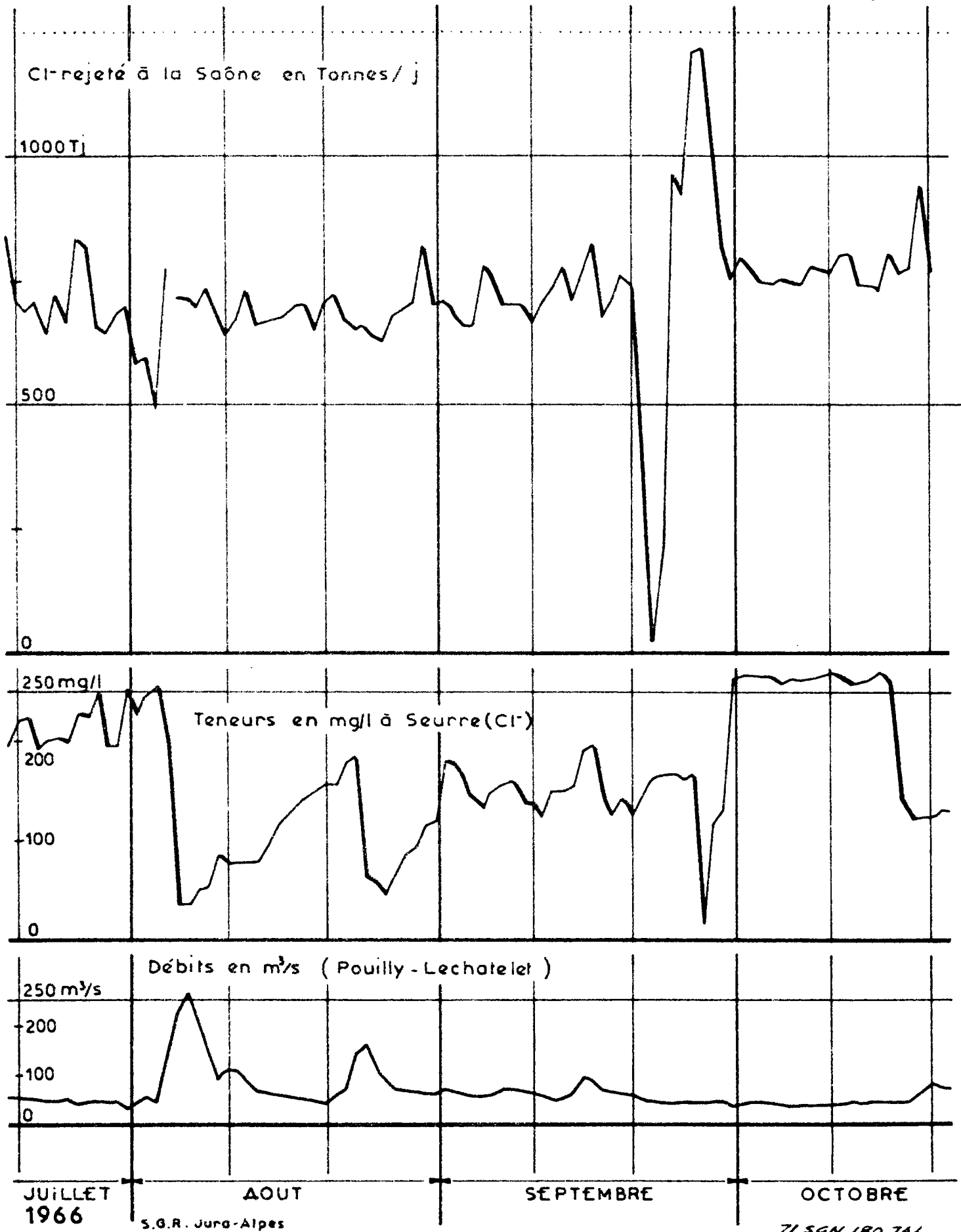
TENEURS EN CI⁻ DES EAUX DE LA SAONE A SEURRE EN FONCTION DES DEBITS DE LA RIVIERE ET DU TONNAGE REJETE



DETAIL^① DE LA fig. 3511

Fig. 3513 a

-73-

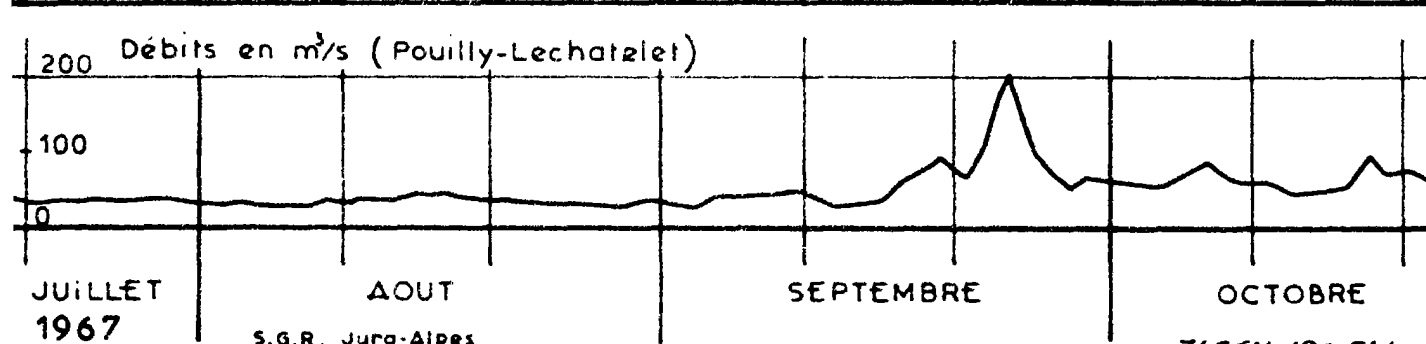
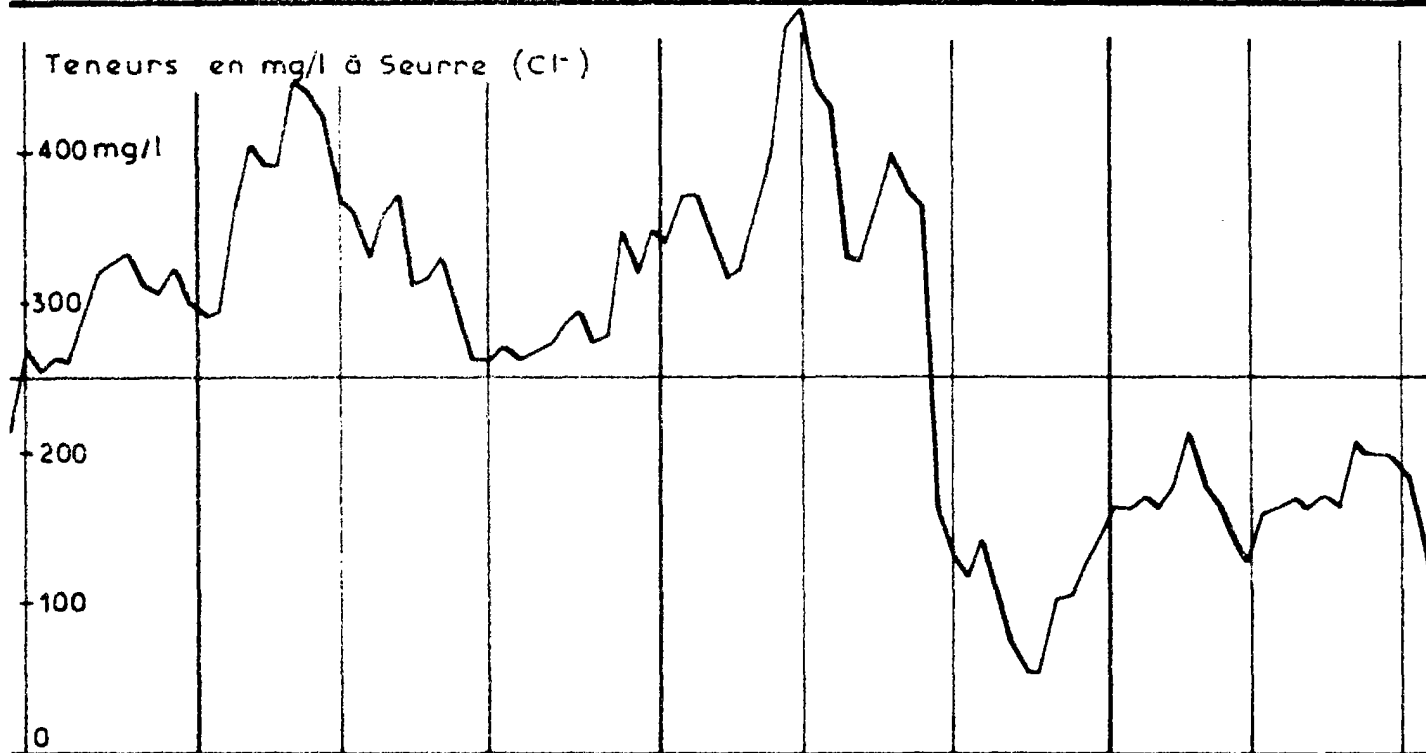
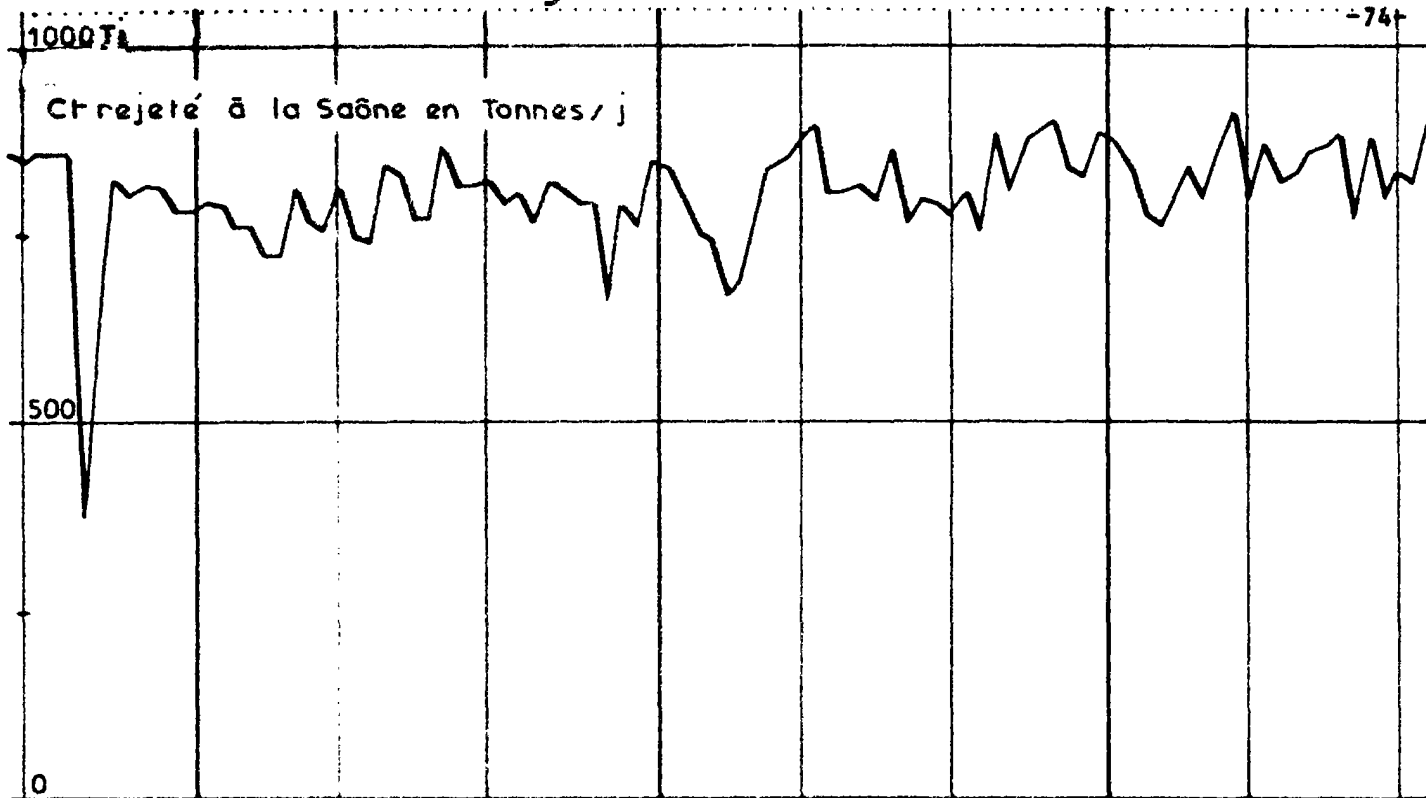


S.G.R. Jura-Alpes

71 SGN 180 JAL

DETAIL^② DE LA fig. 3 511

Fig. 3 513 b



S.G.R. Jura-Alpes

71 50N 180 JAL

Il apparaît que cette teneur est parfois nettement dépassée, et il faut en rechercher les causes :

les modifications sensibles du débit engendrent, on le voit sur les diagrammes, des variations de teneur très nettes. Comme les tonnages rejetés varient assez peu, il apparaît donc qu'il faut rechercher les augmentations de teneurs dans des étiages de la Saône plus prononcés que les jaugeages ne le laissent croire (1). Le calcul suivant permet de se rendre compte à quel point l'influence du débit est prépondérante :

le tonnage rejeté oscille (2) entre 750 et 850 tonnes par jour, soit :

$$\Delta \frac{P}{P} = \frac{100}{800} = 12,5 \%$$

Le débit mesuré fluctue apparemment entre 30 et 50 m³/s, soit par rapport à une valeur "moyenne" hypothétique $\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{10}{40}$ ou 25 %

Le rôle des variations de débit est donc largement prépondérant sur celui des variations des tonnages rejetés. Les rejets étant subconstants, c'est donc à la sévérité mécomue de certains étiages qu'il convient d'imputer les pollutions excessives de la rivière.

En conclusion, la Saône constitue quelques mois par an, un foyer de pollution potentielle par une eau chargée à 250 mg/l, et parfois plus, de Cl⁻. Cette pollution potentielle est faible en eaux moyennes (pour 200 m³/s elle n'est plus que de l'ordre de 50 mg/l), en crue de la rivière, elle devient négligeable.

352 - Pollutions constatées

Les cartes chimiques établies (oct. 1966 et déc. 1967 fig. 2151 et 2153) ne font pas apparaître de pollution grave dans les points inventoriés et relevés systématiquement dans le Val de Saône proprement dit : les cartes ne montrent généralement que des teneurs inférieures à 1,5 mé/l ou 53 mg/l, ce qui est à la limite inférieure d'une pollution réellement appréciable.

(1) En très basses eaux, la pente de la rivière est presque nulle et la précision du jaugeage diminue beaucoup.

(2) Cette oscillation est, par ailleurs, de courte période, si bien que le phénomène peut être amorti quelque peu en aval du point de rejet.

Les cartes chimiques ne sont pas en pareil cas, comme on aurait pu le penser, le meilleur moyen d'étude du phénomène de pollution ; en effet ce phénomène est trop fugace et trop lié aux conditions hydrodynamiques locales. Mais la carte pose le problème pour certains points critiques dont l'analyse de détail devient alors nécessaire.

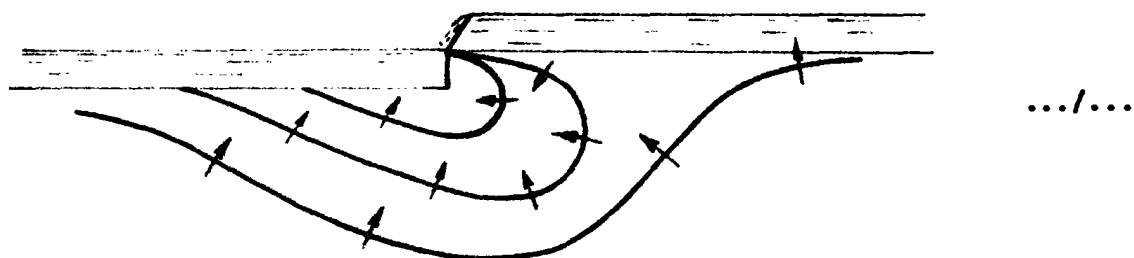
En effet, on a vu dans la deuxième partie (§ 42226, p. 83) que la Saône alimentait localement la nappe au droit et en amont de chacune des écluses et barrages qui la maintiennent à une cote constante. Il est intéressant en particulier d'étudier la pollution qui affecte ces zones.

3521 - Variations de teneur en Cl^- , observées dans des piézomètres

J'ai établi, pour de nombreux points (choisis, soit en fonction de leur position dans la zone critique, soit en fonction d'évolution annuelle sensible de la teneur en Cl^- de leurs eaux et figurés sur la carte jointe au diagramme 3521), les courbes d'évolution de la teneur en Cl^- pour 1966-1967. Pour certains points l'influence est manifeste et l'augmentation de la salinité de la rivière se transmet, avec un retard variable, aux eaux des puits ou piézomètres de la nappe alluviale.

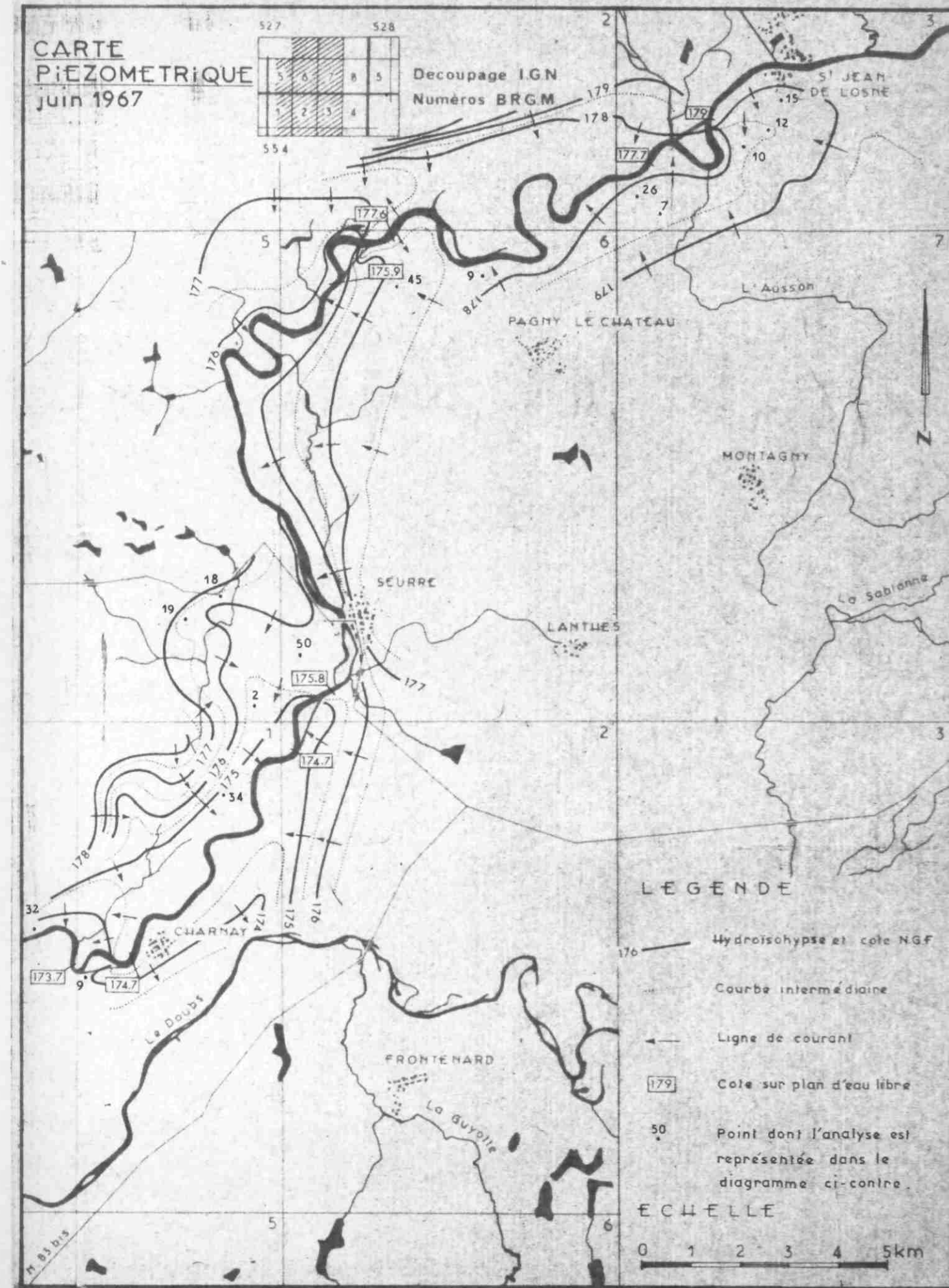
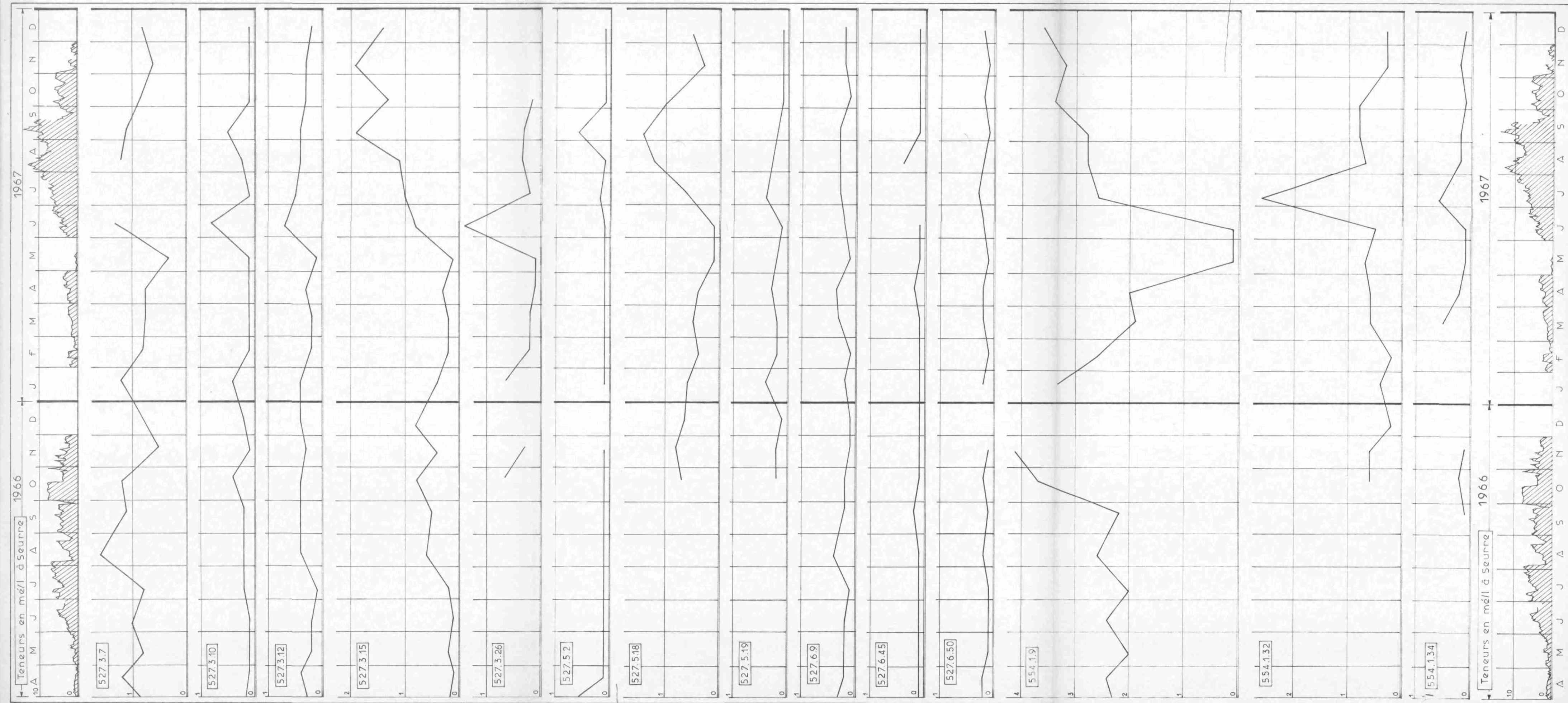
C'est ainsi que trois points 527-3-10, 12 et 15 voient leur teneur suivre la salinité de la Saône, mais demeurer toujours bien inférieure à la valeur de cette dernière. Pour le point 15, la teneur approche 2 mé/l. Les points 10 et 12, moins proches et moins influencés par la rivière, ne dépassent pas 0,8 mé/l. L'influence de la rivière n'est que partielle, l'eau prélevée est donc un mélange de l'eau de la Saône et de la nappe.

En d'autres points, la variation de teneur est très faible et à peine décelable, elle relève probablement de la seule modification de concentration naturellement liée à l'étiage de la nappe.



COMPARAISON ENTRE LES TENEURS EN CI-RELEVÉES DANS LA SAONE (diagramme en hachuré) ET LES TENEURS RELEVÉES DANS LA NAPPE

Teneurs en mé/l



Certains points ne peuvent être pollués par la Saône, leur cote piézométrique étant bien supérieure au niveau de la rivière (527-5-18 et 19 par exemple).

Certains points, enfin, montrent des teneurs élevées susceptibles de très fortes variations (ex. 554-1-9 et 32). Ces points, situés très près de la Saône, en particulier 554-1-9, sont voisins d'une écluse.

3522 - Variations de teneur en Cl^- , observées sur un captage

D'autres conditions hydrodynamiques sont susceptibles de favoriser la pollution, ce sont les influences de puits de captage exploitant partiellement l'eau de la rivière par réalimentation induite.

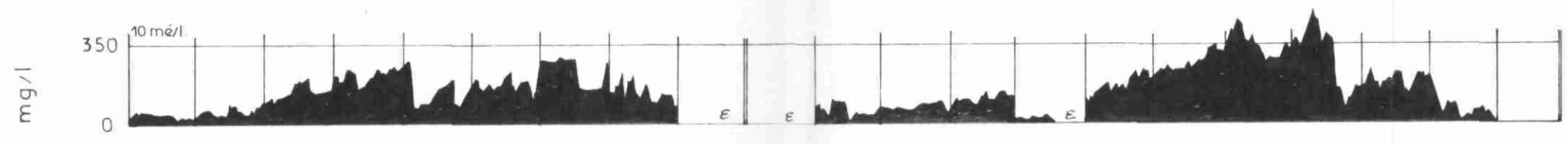
Grâce à l'obligeance de la S.D.E.I. on a pu étudier les variations de teneur relevées au puits de GLANON (Côte-d'Or). Les fluctuations saisonnières de la teneur en Cl^- sont très nettes, mais celle-ci présente une assez forte rémanence lorsque la pollution de la rivière a cessé de se manifester (fig. 3522).

On remarquera également que pour des teneurs moyennes maximales de l'ordre de 200 mg/l (ou 5,5 mé/l) dans la Saône, la teneur maximale dans le puits est de près de 80 mg/l (2,2 mé/l) ; pour une teneur moyenne de 355 mg/l (10 mé/l) en août et septembre 1967, l'eau du puits présente en septembre et octobre une teneur maximale de 150 mg/l (ou 4,2 mé/l).

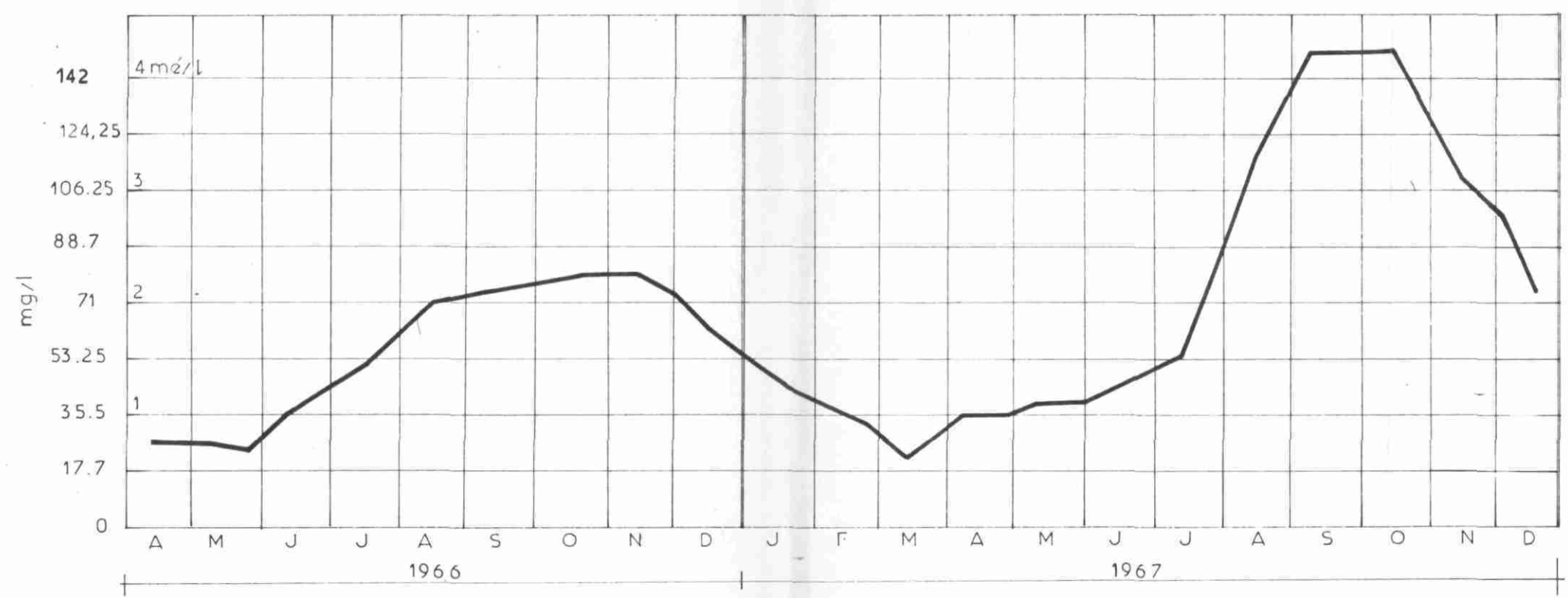
Ainsi un puits en pompage régulier (quelques heures chaque jour) extrait de la nappe une eau dont la teneur est environ la moitié de celle qui règne dans la rivière. Le puits de Glanon est situé à quelques dizaines de mètres de la Saône, au pied du coteau pliocène imperméable. On pourrait penser a priori que dans de telles conditions d'implantation ce puits exploite littéralement et à 100 % l'eau de la rivière. En fait il n'en est rien et l'eau semble bien parvenir pour moitié de la nappe. Ceci est probablement dû au fait que le pompage ne fonctionne chaque jour que quelques heures. L'influence n'est pas totale, l'apport de la nappe, dont la circulation "normale" reprend son cours à l'issue des heures de pompage, vient se mélanger aux eaux prélevées à la Saône.

COMPARAISON ENTRE LA TENEUR EN CI-
DES EAUX DE LA SAONE ET LA NAPPE
ALLUVIALE EXPLOITEE A GLANON (21)

Teneurs à Seurre



Teneurs au puits de Glanon



353 - Conclusions

Ainsi pour qu'il y ait pollution réelle de la nappe par la Saône il est nécessaire que des conditions hydrodynamiques particulières soient remplies : la pollution est donc limitée à quelques zones bien connues, où il est très possible d'éviter d'implanter de nouveaux captages.

Le déplacement prévu des écluses et l'augmentation des hauteurs de chute va bien sûr déplacer le problème, réduire le nombre d'aires polluées mais également agrandir la superficie de ces dernières.

L'implantation de captages dans la plaine de la Saône -et ceci est valable pour toute la vallée de cette rivière jusqu'à Lyon- comporte aussi en elle-même une source de pollution pour la nappe. En effet la réalimentation induite provoque le renversement des sens d'écoulement et on est amené à exploiter, dans une nappe originellement pure, des eaux qui se polluent rapidement de façon saisonnière.

Remèdes envisageables

Pour lutter contre la pollution de la nappe de la Saône, plusieurs mesures peuvent être envisagées ; elles peuvent s'appliquer aux causes ou aux effets.

Nous ne ferons que mentionner rapidement les remèdes applicables aux causes :

- Modulation des rejets chlorurés de l'usine par réduction saisonnière de certaines activités
- Stockage de volumes importants d'effluents concentrés, pendant les étiages, et lâchers pendant les seules périodes de hautes eaux.
- Amélioration des débits d'étiage de la Saône par création de retenues en tête du bassin.

Ces différents remèdes sont assez contraignants ou coûteux.

Par contre un remède appliqué uniquement à l'effet "pollution" est envisageable. Il s'agit de limiter volontairement les effets des réalimentations induites.

.../...

Grâce aux abaques de COLLINS (1) on sait maintenant calculer les pourcentages du débit pompé provenant de la rivière ; ceci peut être entrepris en fonction des paramètres du terrain, des distances puits-rivière et des temps de pompage.

Il serait donc tout à fait possible d'implanter les futures stations de captage de telle manière que la teneur en Cl^- reste inférieure à un seuil acceptable -pour autant que la pollution origine de la Saône ne s'accroisse pas de façon exagérée-. Le déplacement de quelques captages trop proches de la rivière ne serait sans doute pas aussi coûteux que certains remèdes applicables aux causes ; ces derniers sont de toute manière d'une mise en oeuvre qui ne peut être immédiate.

36 - NUISANCES CAUSEES PAR LA POLLUTION Cl^- (2)

361 - Alimentation humaine

La pollution par Cl^- présente un caractère plus gênant pour les usages techniques de l'eau que pour son utilisation comme eau de boisson.

Nous avons vu que le taux limite légal (3) de 250 mg/l-soit environ 7 me /l- n'était pas souvent atteint par les eaux souterraines du secteur :

- Dans la zone Gevry-Tavaux ce taux a été dépassé, mais là le phénomène était accidentel et il est possible d'en prévenir le retour par des moyens appropriés.

- Près de l'étang de l'Aillon, là aussi ce taux est dépassé mais il n'y a aucun captage de distribution publique dans cette portion de la rive gauche de la Saône.

.../...

(1) Marsily G. de : Généralisation des abaques de COLLINS
Lab. Hydrogeol. mathém. Ec. Nat. Sup. Mines de Paris
Dec. 68

(2) Il pourrait éventuellement s'associer au Cl^- rejeté des produits autres - minéraux ou organiques- de plus grande nocivité à faible teneur. Leur étude n'était pas l'objet de ce travail ; toutefois l'aspect dynamique reste sensiblement le même pour d'autres polluants.

(3) Il s'agit en fait (cf J O n° 74, Mars 1962) du "souhait" que la teneur en Cl^- ne dépasse pas 250 mg/l.

- Dans la mesure où les arrêtés et règlements sont respectés, l'eau des captages situés en bordure de la Saône, et réalimentés par cette dernière, ne doit pas dépasser le taux limite.

Même dans les cas où la dérogation de rejet à 350 mg/l est utilisée, l'eau des captages situés à quelque distance de la rivière n'atteint pas cette teneur.

- Enfin, dans la zone ouest de l'usine, l'eau est absolument impropre à tous usages.

En vue de la distribution d'eau de boisson, le problème se pose donc sur un double plan, géographique et hydrodynamique :

- les zones polluées ou menacées par la pollution sont assez bien connues pour éviter d'y implanter de nouveaux captages : certaines zones, comme celle de Gevry, sont techniquement faciles à protéger.

- les captages situés trop près de la rivière peuvent n'être en fait que "des prises d'eau déguisées en puits", et il est alors normal que l'eau ait toutes les propriétés et les défauts de celle de la Saône. Ainsi que nous l'avons vu, il est possible de déterminer, grâce aux abaques de Collins, en fonction des paramètres de l'aquifère et du régime d'exploitation des captages, des emplacements de puits tels que l'eau puisée ne soit constituée que partiellement par l'eau prélevée à la rivière.

362 - Eau d'irrigation

Les exigences concernant les qualités chimiques de l'eau d'irrigation sont plus rigoureuses que celles demandées pour l'alimentation humaine : des baisses de rendement se font sentir à partir de 100 mg/l de Cl^- . D'après la classification américaine de Doneen (1), il ne faut pas, pour que l'eau puisse être considérée comme bonne, que sa teneur dépasse 5 me/l de Cl^- (178 mg/l).

(1) Cité dans L. Monition : données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique. Rapport B.R.G.M. 69 SGN 121 HYD.

Mais il faut surtout que certaines normes d'équilibre salin soient respectées sinon des modifications de structure interviennent, altérant la perméabilité du sol et son rôle nourricier.

Greene (cité par L. Monition) a mis au point un diagramme permettant d'apprécier rapidement les qualités d'une eau d'irrigation : cf. fig. 362. Ce diagramme est basé sur la notion de quotient de sodium : rapport du Na au total des cations.

En abscisse, on porte le quotient de sodium = $\frac{rNa \times 100}{rCa + rMg + rNa}$

En ordonnée, la concentration totale en milliéquivalents/litre.

Trois plages du diagramme définissent des eaux bonnes, douteuses ou mauvaises.

L'emploi de ce diagramme montre que pour la plupart des eaux de la plaine le point représentatif se place dans la plage définissant des "eaux bonnes".

De toute manière, les eaux très fortement minéralisées (plusieurs centaines de mg/l) sont absolument impropres. Seul subsiste le problème posé par des eaux de minéralisation totale moyenne; pour les exemples que nous avons pris, la représentation de Greene place les eaux dans la plage "douteuse". Ceci est dû au fait que le sodium ne représente jamais plus de 60 % du total des cations.

Nous avons vu, en effet, que le sodium n'était jamais dominant (l'indice d'échange de base des zones polluées est toujours positif et tend vers 1). Ceci a deux causes principales :

- l'effluent de l'usine comporte une dominante de Cl_2Ca sur $Cl Na$:
Na est donc petit devant Ca et on a : $1 \gg \frac{Cl - Na}{Cl} > 0$.

.../...

Dans le cas de pollution par infiltration à travers des terrains argileux, les échanges de base se produisent très tôt et l'eau présente tout de suite un indice positif (1).

Un indice positif a donc la même signification qu'un quotient de sodium faible et, dans le cas présent, l'eau que l'on peut donc être amené à pomper en vue de l'irrigation n'est jamais très nocive.

On admettra pour simplification, que les eaux de concentration totale supérieure à 50 mé/l et dont le quotient de sodium est supérieur à 50 %, sont impropres (cf. grisé du diagramme 362.) ; ce sont les eaux des puits marqués d'un 0 sur les tableaux d'analyses.

Peu d'eaux sont donc franchement impropres dans la limite des normes adoptées.

363 - Eau industrielle

Les exigences industrielles sont excessivement variées selon les types d'industries et même variables selon les procédés ou les fabrications d'une même industrie.

Il n'est donc pas possible de définir dans l'absolu le caractère des nuisances de la pollution, caractère qui se superpose et s'ajoute à certaines particularités naturelles parfois défavorables. On se reportera donc aux tableaux et aux cartes chimiques pour chaque cas spécifique.

37 - COMPORTEMENT DE LA POLLUTION DANS LE SOL

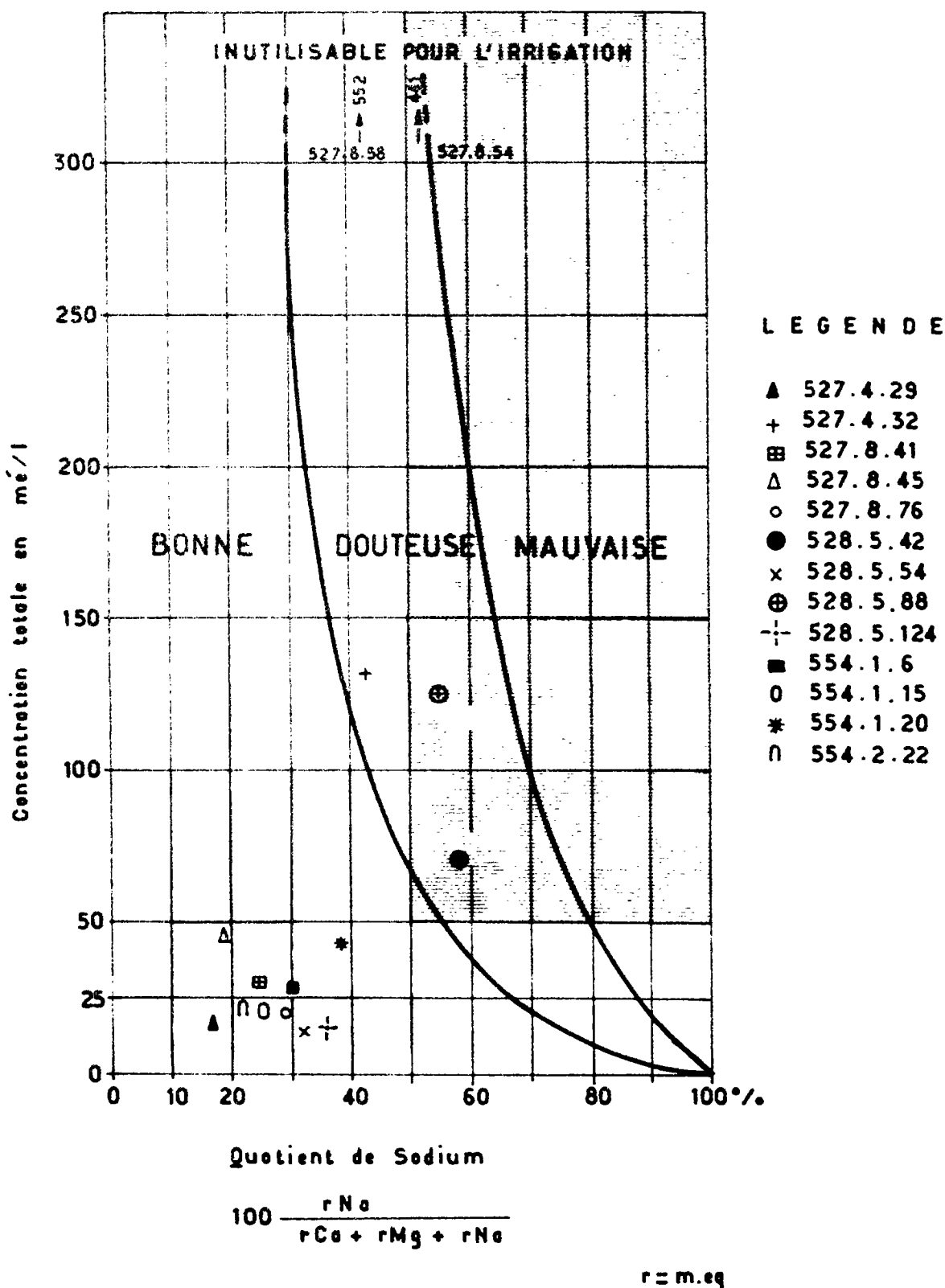
D'une manière générale, les pollutions par électrolytes dissous ne sont guère susceptibles d'évoluer ou de disparaître au cours de leur cheminement souterrain.

Toutefois, il a été constaté, dans le cas de fuites au pipe-line de saumure et dans des points où l'hydrodynamisme interdit la pollution par les

.../...

(1) L'ion nocif était en effet le Na qui joue un rôle imperméabilisant sur les sols, précisément lors de la réaction d'échange de base ; celle-ci étant déjà réalisée (soit dans le processus industriel, soit dans l'aquifère) l'eau est donc déjà débarrassée d'une partie de Na nocif pour la culture.

QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION EN FONCTION
 DU QUOTIENT DE SODIUM ET DE LA CONCENTRATION
 d'après H. Greene (1948)



effluents de l'usine, que l'eau présentait un indice d'échange de bases > 0 et approchant parfois de 1. En d'autres termes, si $\frac{Cl - (Na + K)}{Cl}$ est voisin de 1, c'est que dans l'opération hypothétique de reconstitution des sels dissous, on serait amené à placer des chlorures alcalino-terreux (cf. § 321).

Une telle manifestation d'échange de bases se produit dans le secteur de Gevry (cf. carte du rapport $\frac{Cl - (Na + K)}{Cl}$ fig. 2212).

On peut en proposer le schéma explicatif de la fig. 37 grâce à des diagrammes où les concentrations sont figurées en %.

Nous avons vu par ailleurs, dans l'étude des puissances causées par la pollution Cl^- , que c'était en fait le Na^+ associé à Cl^- qui était nocif pour les végétaux. C'est ce qu'exprime un "quotient de sodium" élevé

$$\frac{r Na}{rCa + rMg + rNa}$$

L'échange de base tend à diminuer ce quotient de sodium et minimise donc la nocivité de la pollution vis-à-vis des usages agricoles de l'eau.

371 - Etude expérimentale

Avec l'aimable collaboration du laboratoire d'analyses des eaux de l'Institut Pasteur de LYON, dirigé par le Docteur VIAL, j'ai procédé à des essais "in vitro". Sans rentrer dans le détail de ces expériences qui sortent quelque peu du cadre de cette étude, je donnerai ici un bref aperçu des résultats acquis.

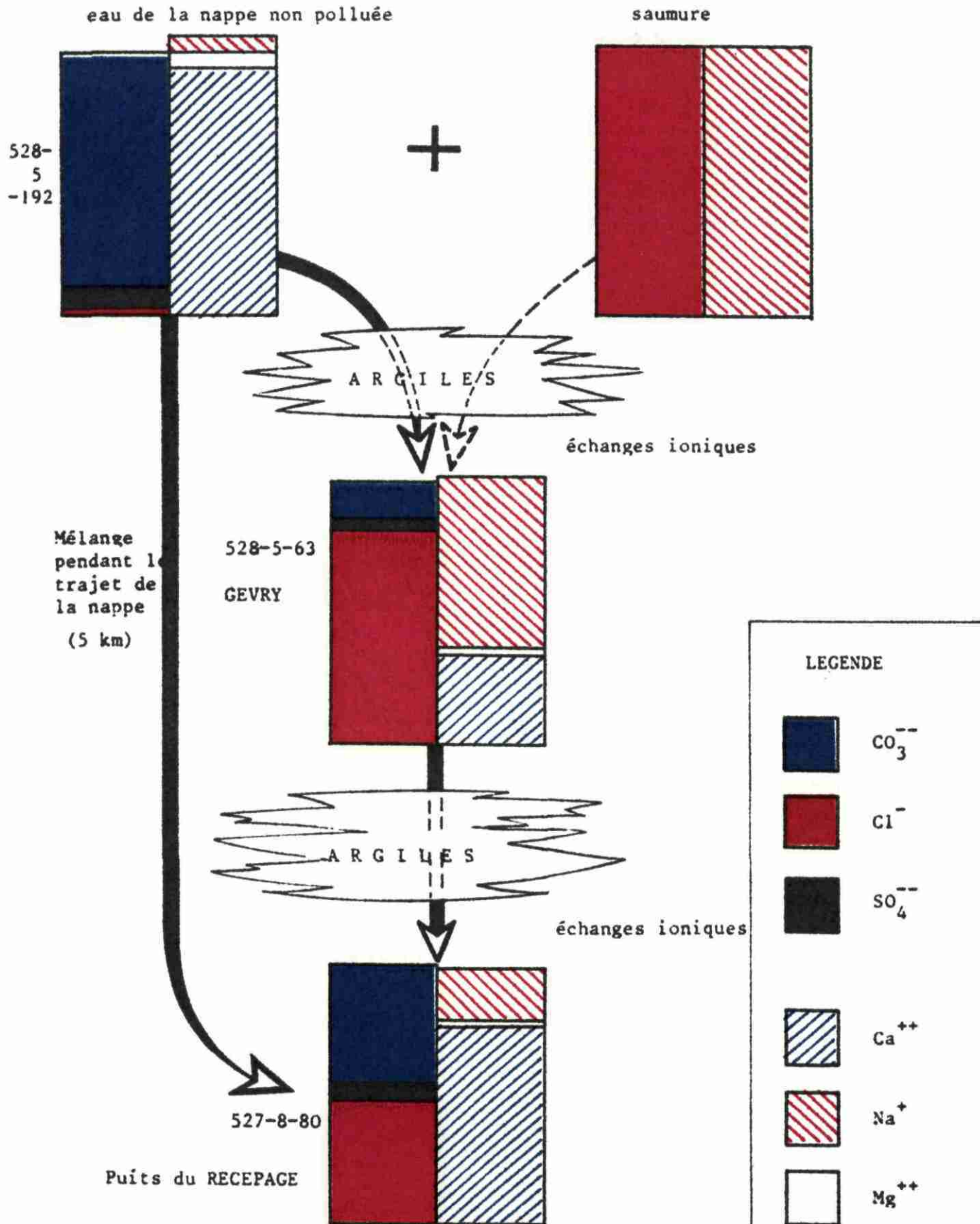
Un échantillon de l'argile dite de "Saint-Cosme", provenant du sondage 527-7-40, a été mis au contact de solutions salines de concentrations variées, le tableau ci-dessous résume les dosages opérés :

Teneurs en milliéquivalents

Teneur en Na des eaux utilisées	0,186	3,32	16,7	29,4	97	149
Teneur en Na des eaux après contact avec l'argile	3,35	6	14,7	25,3	89	138
Variation de la teneur en Na	+2,57	+2,68	-2	-4,1	-8	-11

EVOLUTION RELATIVE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'EAU

(Concentrations en $\frac{m\acute{e}}{100}$)



Il apparaît donc qu'au-delà d'une certaine teneur en Na (voisine de 10 mg/l) de l'eau salée mise en contact, une perte sensible de Na se manifeste. C'est ce que nous montre le diagramme (fig. 371).

Si l'on considère l'évolution du quotient de sodium, (cf. § 362) le phénomène est aussi très net.

Q (Na) des eaux utilisées	0,037	0,375	0,75	0,84	0,94	0,95
Q (Na) après passage sur l'argile	0,205	0,305	0,49	0,61	0,76	0,79

Ce tableau montre, de manière significative pour les teneurs moyennes ou élevées, la chute du quotient de Na à la suite du passage sur l'argile.

Au contact du terrain, la pollution saline ne se conserve donc pas tout à fait identique à elle-même, tout au moins quand elle est engendrée par une solution de Cl Na : en plus des phénomènes de dilution ou de mélange, intervient un phénomène de modification chimique : l'"échange de base".

Lorsque la pollution est engendrée par l'effluent Solvay, à savoir un mélange de ClNa et Cl₂Ca, il est plus délicat de tenter de tirer des conclusions quant aux évolutions souterraines du faciès des eaux polluées. Un certain équilibre règne alors entre Ca et Na et l'on voit apparaître, au gré du parcours souterrain, un phénomène de mélange avec l'eau bicarbonatée calcique de la nappe.

372 - Conclusion

L'évolution du faciès chimique des eaux polluées par ClNa tend à diminuer la proportion de Na dans celles-ci à la suite d'échange de base avec le terrain. Cet aspect est bénéfique puisqu'il diminue la nocivité des eaux vis-à-vis des cultures qui pourraient être irriguées.

Par contre, cet échange de base constitue un handicap pour l'étude de la pollution puisqu'on ne peut plus distinguer ainsi les eaux polluées par l'effluent de l'usine (ClNa + Cl₂Ca) des eaux polluées par des saumures de ClNa,

EVOLUTION DE LA TENEUR EN Na D' ECHANTILLONS D'EAU MIS EN CONTACT AVEC UN ECHANTILLON D'ARGILE DE ST. COSME (Sondage 527.7.40)

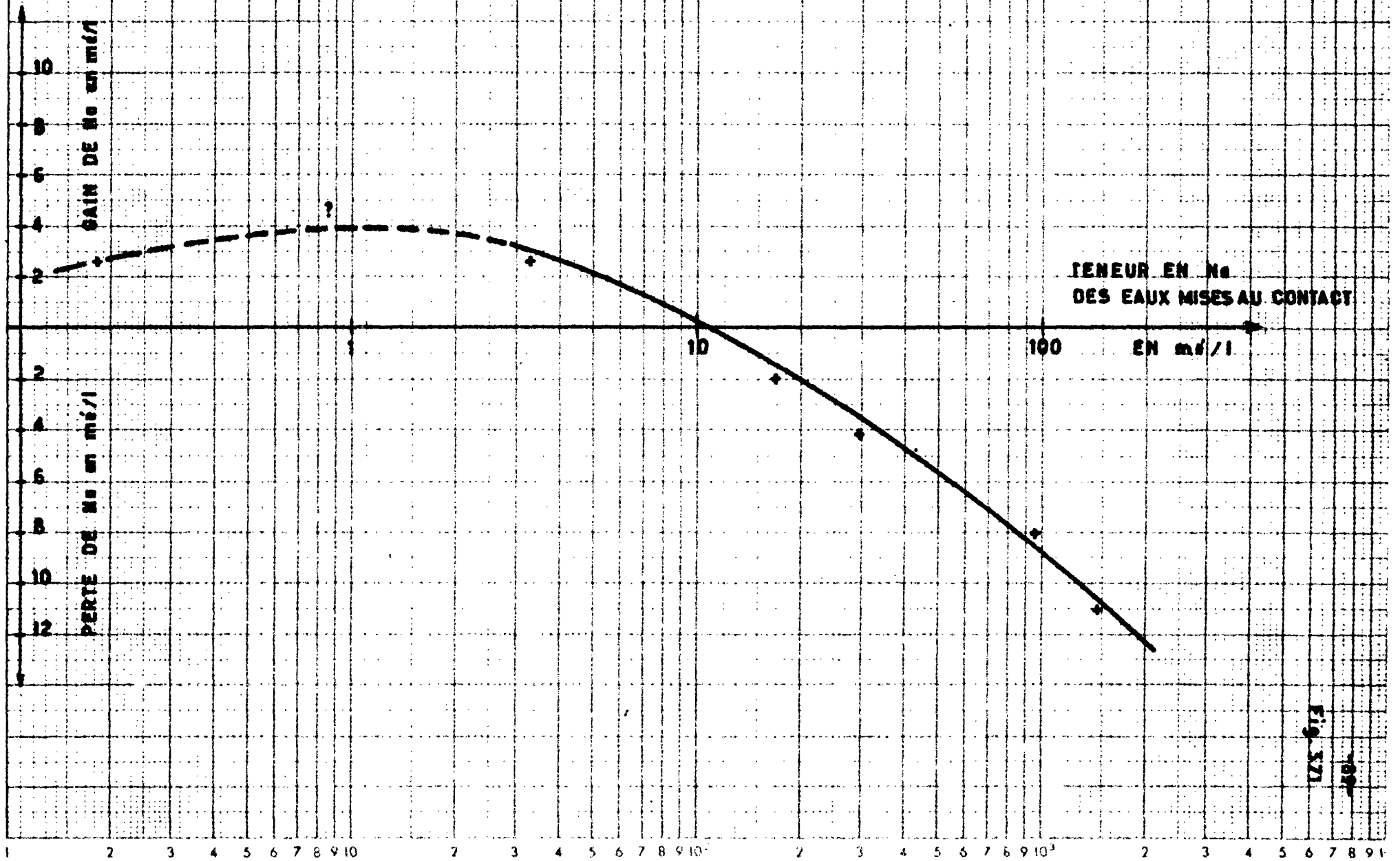


Fig. 571

qui ont évolué au contact du terrain. L'essentiel des informations que l'on peut obtenir ne peut alors provenir que de l'étude du contexte hydrodynamique.

38 - VULNERABILITE DE L'AQUIFERE A LA POLLUTION

381 - Généralités

Après les différents "constats" de pollution par Cl^- et les considérations et réflexions diverses inspirées par ces agressions on peut se poser la question suivante : quels sont les risques gradués encourus par la nappe en cas d'infiltration, d'épandage ou de dépôts de substances polluantes ? En un mot, on peut se préoccuper de la vulnérabilité de l'aquifère.

La vulnérabilité de l'aquifère peut être éventuellement différente pour des agressions par des substances de natures diverses. Le cas le plus défavorable est représenté par les solutions salines ou organiques, non dégradables, de viscosité très faible. Nous prendrons donc en considération le mode de pénétration et de propagation de telles substances, étant entendu que des solutions ou des suspensions biodégradables, visqueuses ou susceptibles de subir une filtration, pourraient causer des pollutions parfois plus lentes ou limitées, mais aussi parfois plus durables...

L'étude de la vulnérabilité à la pollution nécessite une connaissance synthétique des conditions géologiques et hydrodynamiques et ne peut se traduire valablement que par l'expression cartographique. M. Albinet du département HYDROGEOLOGIE du B.R.G.M. (Orléans) a mis au point et proposé pour ce type de cartes un certain nombre de conventions et de figurés représentatifs pour des cartes au 1/50 000 et au 1/250 000. Dans la carte présentée ici, j'ai adapté à l'échelle du 1/100 000 les figurés au 1/250 000 (cf. fig. 38).

382 - Commentaires

Le caractère éminemment fluctuant des conditions hydrodynamiques et la méconnaissance des perméabilités verticales des limons et argiles nécessitent certains commentaires.

.../...

légende de la carte de vulnérabilité de la nappe à la pollution



Terrain imperméable où les risques de pollution sont limités aux eaux superficielles.



Terrain de perméabilité médiocre où les pollutions cheminent lentement, mais demeurent longtemps.



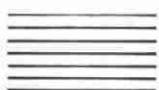
Formation alluviale très perméable renfermant une nappe libre, sans protection naturelle superficielle. Très vulnérable à toute pollution éventuelle.



Calcaires ou dolomies fissurés ou karstifiés, offrant de gros risques de propagation rapide des pollutions.
Absence de filtration des corps chimiques non dissous.



Nappe alluviale captive ou semi-captive sous couverture de limons argileux pouvant jouer le rôle d'un filtre, mais ne constituant pas un écran protecteur efficace.



Zone où une nappe libre est protégée par une chape argileuse.



Zone où la nappe est principalement alimentée par les cours d'eau.



Zone où une nappe superficielle sus-jacente peut contaminer (dans un temps assez long, par drainance) ou (dans un temps relativement court, par défectuosité de tubages) une nappe inférieure.



Zone polluable par inondation.



Cours d'eau perché, susceptible d'alimenter la nappe.



Sens d'écoulement des eaux souterraines (sens de propagation d'une pollution éventuelle).

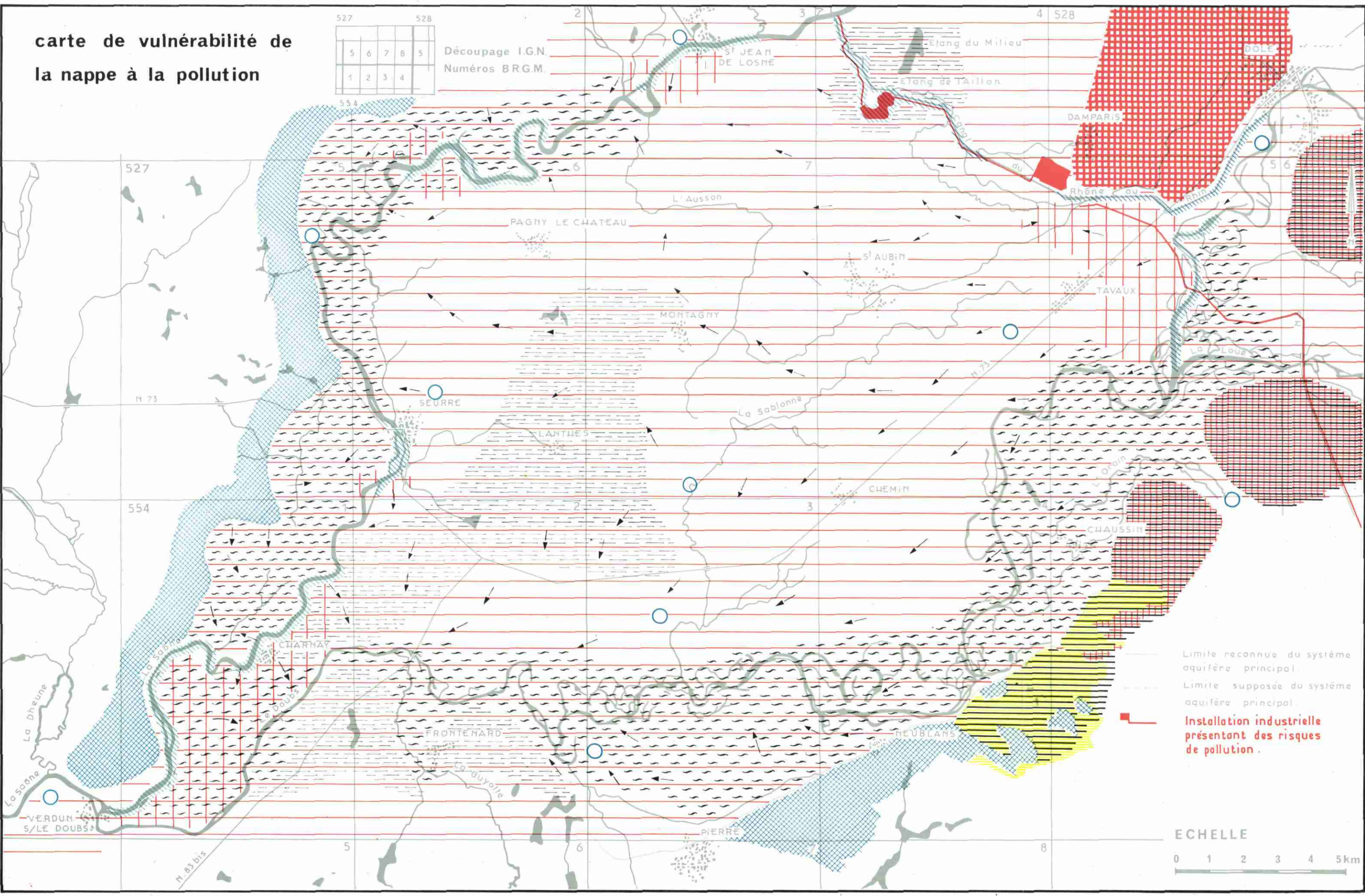


Principaux captages de distribution publique (à l'exclusion des puits particuliers de toute nature).

carte de vulnérabilité de la nappe à la pollution

5	6	7	8	5
1	2	3	4	

Découpage I.G.N.
Numéros BR.G.M.



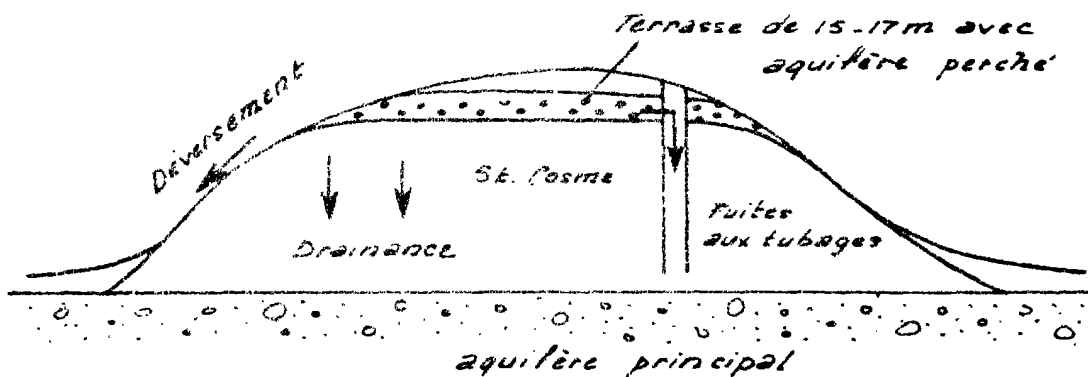
— Limite reconnue du système aquifère principal.
 - - - Limite supposée du système aquifère principal.
 ■ Installation industrielle présentant des risques de pollution.

ECHELLE
 0 1 2 3 4 5 km

- La nappe de l'aquifère principal est considérée comme semi-captive ou captive sur toute son étendue, ce qui est vérifié en grande partie de l'année en eaux hautes et moyennes. La nappe n'est libre qu'en de rares endroits en basses eaux (cf. 69 SGL 55 JAL, deuxième partie hydrogéologie, fig. 42123, page 34).
- La protection assurée par les limons et argiles de surface qui donnent à la nappe son caractère captif, est une donnée subjective et assez variable d'un point à l'autre. Dans la majeure partie de la plaine, principalement à l'Est, les limons n'assurent qu'une protection très imparfaite contre des infiltrations. Par contre, dans la partie centrale, la couverture est formée par les argiles de la formation de Saint-Cosme et on peut présumer de la bonne protection qu'elles assurent. La nappe superficielle perchée est, en effet, retenue par ces niveaux, sa présence est un gage de la très faible perméabilité des argiles du Saint-Cosme.
- Les nappes superficielles perchées, comportant toutefois un certain risque de contamination de l'aquifère principal, soit par drainance, car les argiles ne sont pas rigoureusement imperméables, soit par déversement latéral, dans la zone altérée, soit par fuite à des tubages défectueux ou détériorés (cf. schéma ci-dessous).

Fig. 302

SCHEMA EXPLICATIF DE LA POLLUTION DE L'AQUIFERE PRINCIPAL PAR LES AQUIFERES PERCHES



- Il est apparu, au cours de l'étude hydrochimique générale que les eaux des aquifères perchés étaient souvent plus chargées que celles de l'aquifère principal et qu'elles communiquaient leur caractéristiques aux eaux de ce dernier. Il est bien évident que ce qui est vrai pour des produits naturels serait vrai également pour des substances artificielles polluantes.
- Un dernier élément est également variable et fugace, c'est l'influence du réseau hydrographique qui réalimente surtout la nappe lorsque celle-ci est en position basse (cf. deuxième partie hydrogéologie 69 SGL 55 JAL fig. 42226 a, page 85, ainsi que dans le présent rapport, § 35). Toutefois, la longueur des portions de rivière susceptibles d'alimenter est en perpétuelle évolution.

.../...

383 - Conclusions

Le schéma cartographique présenté ici ne prétend pas à la résolution des problèmes posés par des implantations nouvelles de rejets ou industries polluantes. Il tend uniquement à définir la nature des risques globaux. Il s'agit à chaque fois d'un cas d'espèce, en fonction des conditions locales, considérées à une échelle plus grande, des modes de pollution, et enfin, des produits susceptibles de contaminer la nappe.

4 - CONCLUSIONS GENERALES

41 - HYDROCHIMIE GENERALE

La nappe principale de la plaine Saône-Doubs présente des caractéristiques chimiques naturelles banales pour nos contrées..., mais cette banalité n'est pas un défaut, des eaux offrant des compositions chimiques naturelles convenables se rarefient d'année en année. Les caractéristiques chimiques sont naturellement bonnes, sauf en quelques points où l'influence des coteaux pliocènes rend l'eau médiocre.

Mais l'exploitation intensive de la nappe peut avoir diverses répercussions sur les qualités chimiques de l'eau :

- d'une part, l'exploitation de la nappe alluviale à proximité des coteaux capterait très rapidement une très forte proportion d'eau des alluvions par extension de l'influence, tandis que la productivité des coteaux, très faible, serait diluée. Aussi, pour une exploitation massive le résultat final serait bon ;
- d'autre part, la réalimentation induite par les rivières pourrait également modifier la nature chimique des eaux. Dans le cas de rivières propres, non polluées, on peut être aussi amené à capter une eau "améliorée" (1) par rapport à celle de la nappe. Par contre, les risques de pollution par l'intermédiaire des eaux de surface sont importants.

42 - POLLUTION

Nous avons examiné pour chaque cas la nature de la pollution, son mode de propagation et son intensité.

.../...

(1) On constate (§2111) que dans la zone alimentée naturellement par le Doubs, l'eau est nettement moins minéralisée.

Dans certains cas, une étude de détail locale serait souhaitable, car la propagation n'est pas toujours parfaitement saisissable et des dispositifs adéquats de contrôle et de prélèvement seraient nécessaires.

Différents types de remèdes sont proposés pour pallier les effets de la pollution reconnue.

Certains sont des remèdes préventifs, destinés soit à prévoir la répétition de certains accidents du passé, soit à stopper ou à minimiser l'extension de phénomènes durables : protection des conduites de saumure, rideaux souterrains étanches, pompages ou injections, destinés à effectuer une barrière hydraulique.

D'autres remèdes ont un effet limitatif : modulation des rejets, amélioration des débits d'étiage de la Saône, implantation des captages loin de la rivière de façon à minimiser l'apport d'eau superficielle (1).

Enfin des remèdes curatifs radicaux sont envisageables, mais peu justifiables sur le plan économique : pompages destinés à éliminer les eaux polluées et à procéder au rinçage de l'aquifère.

Bien que l'ensemble des conditions géologiques et hydrogéologiques rendent la nappe très vulnérable dans la majeure partie de son étendue, la pollution reste essentiellement limitée dans l'espace. Les effets nocifs du Cl^- constatés sont également assez restreints.

Cette conclusion relativement optimiste ne doit pas faire perdre de vue l'objectif qui reste la protection de la nappe... Il faut d'une part, que tous les dispositifs de protection contre les effets nouveaux ou secondaires de l'implantation des usines Solvay puissent être mis en oeuvre ; d'autre part que la connaissance générale de l'hydrogéologie puisse être mise à profit pour les travaux futurs de pompages ou de rejets.

-:-:-:-

(1) Rappelons que grâce aux modèles mathématiques de gestion appuyés sur un nombre suffisant de données sûres il serait possible de prévoir et de calculer avec une rigueur rarement atteinte dans le domaine encore trop souvent empirique de l'hydrogéologie, le régime optimal de débit des captages et la proportion d'eau empruntée au réseau hydrographique plus ou moins pollué.

A N N E X E 1

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES COMPLETES

Les résultats sont donnés dans l'ordre des indices de classement
B.R.G.M.

Un astérisque après un indice de classement signifie que le point appartient à une "nappe perchée", différente en cote de la nappe de l'aquifère principal.

Les teneurs sont exprimées :

- en $\text{m}\bar{\text{e}}/\text{l}$ (milliéquivalents/litre)
- en % du total des $\text{m}\bar{\text{e}}$

Le potassium (K) n'a été dosé qu'exceptionnellement lorsqu'il s'avérait représenter une partie importante de la minéralisation totale.

La valeur du Th est exprimée en degrés français, soit 5 fois (Ca + Mg) en $\text{m}\bar{\text{e}}/\text{l}$. (1)

Les rapports $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$ et $\frac{\text{Cl} - \text{Na}}{\text{Cl}^-}$ sont des nombres sans dimension.

(1) En effet $1^\circ \text{F} = 0,2 \text{ m}\bar{\text{e}}/\text{l}$

INDICES	TAC Ca ⁺⁺ et Co ⁺⁺		SO ₄ ⁻⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Co ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Co	Cl-Ng Cl	Total on me/l
	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%				
527-1-2 nd	6,8	10,5	0,8	1,1	0,5	3	0,11	0,5	5,6	20,5	0,9	5,3	0,9	5,3	0,9	5,3	28,5	0,161	-0,6	14,82
527-1-3 rd	6,8	10,5	0,6	2,7	0,1	0,5	0,05	0,3	1,6	20,7	0,6	3,3	1,2	7,5	1,7	10,6	26	0,120	-0,2	15,95
527-1-4 th	6,1	28	0,6	1,2	0,6	1,2	0,39	2,7	5,1	25,2	1,6	11,3	0,6	1,2	-	-	39	0,320	0	14,39
527-1-5	6,2	11,5	0,5	2,3	0,1	0,2	<0,01	-	0,7	13	0,1	3	0,5	2,8	-	-	30,5	0,020	-0,1	13,21
527-2-2	6	17	0,2	1,6	0,2	1,6	<0,01	-	0,5	13	0,5	3,9	0,3	3,9	-	-	30	0,031	-0,05	14,3
527-2-4	6,1	10,5	0,8	6	0,3	0,8	0,11	1,3	5,6	12	0,6	4,5	1,1	3	-	-	31	0,101	-0,23	13,32
527-2-6	7,7	10,5	0,6	3,3	0,2	1,1	0,13	0,7	6	22,5	0,6	3,3	1,6	8,9	0,28	1,2	33	0,100	-0,2	13,05
527-2-8	5,3	20	1,3	5	0,5	3,8	0,36	2,6	5,8	13	0,7	5	0,1	2,9	-	-	34,5	0,120	+0,2	13,36
527-2-9	1,8	1,8	0,5	1,1	0,2	1,7	0,11	1,6	5	12,5	0,5	4,3	0,3	2,6	-	-	27,5	0,100	-0,5	11,81
527-2-10	10	13,3	0,1	0,5	0,3	1,5	<0,01	-	0,3	11	1,1	8,1	0,5	2,5	-	-	13	0,132	-0,44	20,3
527-2-10 th	6,3	10,5	0,5	2,1	0,2	1,1	0,22	1,8	1,8	30,5	0,9	0,1	0,7	1,8	1,1	7,5	28,5	0,100	-0,8	14,32
527-2-13	6,2	10,5	0,8	1,8	0,5	3	0,20	1,8	5,6	10	0,8	1,8	1	6	-	-	37	0,120	-1	16,6
527-2-14	7,6	26,5	1,1	4,7	1	1,8	0,36	1,7	5,3	22,2	0,9	1,3	1,1	6,7	0,4	11,5	31	0,103	-0,9	20,36
527-2-15	1	32,4	0,1	3,7	0,1	3,7	0,33	3,1	1,1	57	0,6	5,5	0,9	2,1	-	-	63,5	0,101	-1,2	10,33
527-2-16	2,1	20	1	5,1	0,1	2,2	0,31	1,8	7,6	11,3	0,2	1,3	1,1	6	-	-	12	0,105	-1,3	12,11
527-2-17	2,1	18	0,1	2,7	0,1	0,7	0,08	0,3	6,3	12,5	0,5	3,1	0,4	2,7	-	-	31	0,079	-3	11,85
527-2-19	5,8	16	0,1	3,2	0,1	0,8	<0,01	-	5,3	15,3	0,1	3,2	0,2	1,6	-	-	30,5	0,070	-1	12,6
527-2-19	6	13,5	0,8	3,6	0,2	1,1	0,08	0,1	5,9	12,7	0,5	3,6	0,5	3,6	-	-	38	0,082	-0,46	13,65
527-3-1	5,5	11,5	0,1	3,1	0,1	3,1	0,11	5,1	5,5	11,5	0,3	2,1	0,1	3,1	-	-	27	0,051	0	11,61
527-3-2	1,8	28	0,1	2,5	0,2	11,1	0,11	4,8	6,1	26,5	0,1	2,3	1,8	10,5	-	-	35,5	0,067	+0,21	13,11
527-3-4	5,2	10,5	0,3	2,1	0,3	5,1	0,16	1,2	5,7	11	0,3	2,1	0,5	2,9	-	-	30	0,053	+0,21	12,36
527-3-7	2,7	32	1,5	5,7	1,2	1,5	0,11	2,3	10,1	32,5	1,1	5,3	1,3	5	-	-	59	0,131	-0,08	26,31
527-3-8	6	10	0,1	3,1	0,1	3,1	0,12	1,3	5,1	11	0,3	2,5	0,1	3,1	-	-	27,5	0,058	0	11,85
527-3-9	5	22,3	0,3	2,9	0,3	2,3	0,25	2	5,2	11	0,1	3,1	0,3	2,3	-	-	29	0,077	0	12,35
527-3-10	5,1	10	0,1	3,2	0,1	3,2	0,15	1,2	5	10,5	0,7	5,7	0,5	1	-	-	28,5	0,100	-0,26	12,35
527-3-11	2,5	26,3	0,7	2,3	0,2	2,1	0,39	1	3,5	26,3	0,1	4,2	0,9	2,3	-	-	19,5	0,111	-2,5	2,89
527-3-12	5,1	10,5	0,5	2,8	0,1	3	0,20	1,7	3,3	25	2,7	2	0,7	3,3	-	-	30	0,080	-0,25	13,20
527-3-15	5,9	28,5	0,5	3,1	0,8	5,1	0,09	0,1	1	6,7	6	10	0,6	1	-	-	35	6	+0,25	11,89
527-3-16	5,1	11	0,5	1	0,1	2,1	0,11	0,9	5,1	11	0,3	2,1	0,3	2,1	-	-	28,5	0,055	0	12,31
527-3-18	5,5	10,5	0,3	2,5	0,3	2,5	0,06	0,5	5,1	11,5	0,2	1,7	0,3	2,5	-	-	18	0,087	0	12,01
527-3-18	6,1	11	0,3	2,3	0,1	1,5	0,01	0,3	5,5	12	0,1	4,5	0,3	2,3	-	-	30,5	0,101	-0,5	13,11
527-3-19	6,7	12,7	0,1	3	0,1	1,5	0,11	0,8	1,1	2,2	1,9	3,7	0,5	3,3	-	-	30	1,115	+0,10	13,11
527-3-20	5,1	13,5	0,3	2,3	0,1	3,1	0,06	0,5	1,5	11,6	1,3	33,5	0,3	5,5	-	-	29	2,25	-0,25	12,01
527-3-21	5,8	11,1	0,1	2,9	0,1	1,3	0,06	0,1	5,6	10	0,2	1,1	1,1	10	-	-	29	0,070	-1,31	11,01
527-3-22	6	11,5	0,7	1,9	0,1	2,8	0,13	1,2	6,7	11,5	0,3	1,1	0,3	2,1	-	-	31,5	0,031	-0,25	11,62
527-3-25	9,1	17	0,1	1	0,3	1,5	>0,01	-	9,2	16	0,1	2	0,5	2,5	-	-	18	0,011	-0,60	20,11
527-3-26	2,9	51	0,5	3,2	0,1	2,6	0,03	0,1	6,2	10,5	0,2	1,3	0,3	2	-	-	32	0,031	-0,25	15,33
527-4-1 st	2,6	23,5	0,2	9,6	0,7	10,6	0,01	0,2	2,1	33,8	3,1	11,1	2,2	2,6	-	-	57,5	0,370	+0,11	25,21
527-4-1 st	2,2	12	1,6	3,3	0,5	2,3	<0,01	-	2	32	2,7	11,1	1	1,6	-	-	11,5	0,385	-1	22
527-4-9	2,1	11,5	0,3	1,6	0,5	2,3	<0,01	-	6	20,5	2,2	12	1	5,1	-	-	11	0,315	-1	11,1
527-4-13	2,1	10,5	0,3	1,7	0,1	3,5	<0,01	-	1,5	26	1,1	6,1	1,1	2	2	11,6	27	0,215	-1,2	13,3
527-4-15	6,1	11	0,1	2,9	0,2	5,1	<0,01	-	5,8	32	0,1	30,5	1,1	2	-	-	30	0,101	-0,21	15,6
527-4-16	8,2	22,9	1,7	6,3	1,8	6,7	1,2	1,1	0,1	31,2	1,2	3,1	2,2	2,2	1,6	6	59	0,211	-1,59	21,9
527-4-18	6,1								2,2		0,1		1,6				39	0,070	+0,11	13,63
527-4-20	2,3								1,9		0,3		1,2				26	0,055	+0,33	12,11
527-4-21	2,7								1,1		0,3		0,9				23,5	0,021	+0,21	16,13

INDICES	TAC CO ₃ ²⁻ et CO ₃ ^H		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Co	Cl-Na Cl	Total on mol/l
	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%				
527-h-32	3,2		1,3		91		0,01		31		1,8		2,9				167	0,02	0,02	172,20
527-h-33	3,2		0,0		1,1		0,03		1,1		0,2		1,1				21,5	0,022	0	13,1
527-h-34	1,1		0,1		0,1		0,03		1,1		0,3		0,3				22	0,020	-2	5
527-h-35	3		0,1		0,3		0,03		3,2		0,1		0,5				16,5	0,102	-0,66	18,12
527-h-36	1,7	3,6	0,2	1,5	4,6	3,2	0,01		1,3	3,3	0,4	3,1	0,9	6,9			23,5	0,023	-0,2	13
527-h-37	0,5		0	4,16	0,05	5,0			3,30	2,4	3,5	0,5	26,3	19,2		6,6	4,5	16,12	0,61	13,62
527-h-38	1,9	3,5	0,4	3,1	0,7	5,8	0,01		1,1	3,3	0,9	3,1	1,7	13,1			25	0,220	-1,4	14,7
527-h-39	0,1	3,9	0,0	1,8	0,3	2,2	0,02	0,9	5,1	3,7	0,3	0,2	0,6	4,1			27	0,057	-1	19,22
527-h-40	1,7	1,8	0,1	0,9	0,4	3,6	0,05		1,9	1,3	0,2	1,8	0,6	5,1			25,5	0,01	-0,5	11,06
527-h-41	0,2	1,1	0,5	3,6	0,8	1,1	0,01		1,6	3,3	1	3,1	1,5	10,2			28	0,213	-6,5	14
527-f-2	0,4	1,7	0,3	0,6	0,1	0,9	0,01		1,3	1,1	0,6	5,2	0,1	3,5			26,5	0,102	-3	11,5
527-f-3	6	1,1	0,5	3,3	0,0	1,5	0,01		5,1	3,7	0,8	0,9	0,9	6,7			29,5	0,105	-3,5	13,5
527-f-4	10,6	3,1	1,7	0,1	1,1	0,0	0,01		0,7	2,5	0,6	3,7	1,7	6,1			26,5	0,272	-4,2	26,7
527-f-5	1,1	3,9	0,5	1,1	0,3	2,6	0,01	3,1	3,7	3,3	0,3	0,6	1,8	16			20	0,022	-5	11,21
527-f-6	7,8	3,1	1,6	6,7	1,6	6,7	1,03	1,1	1,7	3,7	1,5	6,1	1,1	10,1			17	0,123	-0,5	23,43
527-f-7	0,3	1,3	0,2	3,2	0,4	2,1	0,06	0,3	6,8	3,6	1,5	3,9	1,2	6,3			11,5	0,200	-3	12,06
527-f-8	0,9	3,3	1,8	2,5	0,9	1,2	0,03	1,2	8	3,5	0,8	3,3	2,2	10,1			14	0,100	-1,65	20,25
527-f-9	7	2,7	1,9	3,3	2,3	2,5	1,16	1,3	6,5	2,5	1,1	1,2	3,1	11,9	2	7,3	38	0,163	-1,31	25,36
527-f-10	1,3	3,1	1	3,1	3,1	2,1	0,10	5,1	1,5	3,1	1,1	3,1	1,7	12			29,5	0,310	-0,8	14,10
527-f-11	0,1	1,0	0,9	5,7	0,4	2,5	0,13	0,8	5,2	3,3	1,3	0,2	1,1	8,8			32,5	0,200	-2,25	15,23
527-f-12	5	1,1	2,1	1,1	1	5,2	1,36	7	7	3,7	1,3	6,8	1,3	6,8			11,5	0,105	-3	17,00
527-f-13	7,1	1,0	0,3	5,1	0,7	1	0,13	0,3	6,5	3,5	1,6	9	5,8	1,5			11,5	0,215	-1,11	12,43
527-f-14	0,9	1,1	1	1,1	0,2	0,9	0,01		6,3	3,0	1,3	6,2	1,2	5,8	1,9	3,1	38	0,200	-1,15	20,00
527-f-15	6,5	3,1	0,2	1,2	2,1	1,6	0,03	0,2	1,8	2,5	0,8	1,7	2,3	11,2	1,6	2,5	28,5	0,102	-1,25	10,93
527-f-16	0,7	1,1	0,8	2,9	0,8	3,9	0,15	0,3	7,7	3,5	1	1,9	1,1	2,1			11,5	0,130	+0,30	20,25
527-f-17	0,7	1,1	0,2	1,3	0,4	2,5	0,50	3,1	1,8	3,0	0,3	5,6	1,3	2	0,8	5	28,5	0,102	-1,25	16,10
527-f-18	7,3	3,1	0,6	3,3	0,2	1,3	0,01		1,7	2,7	2,8	12,6	0,8	1,9			32,5	0,600	-3	14,00
527-f-19	1,2	1,1	0,7	0,9	0,1	1	0,06	0,6	1,6	1,5	0,2	2	0,3	3			21	0,013	-2	10,16
527-g-1	0,3	1,1	0,1	1,2	0,1	0,9	0,10	1,2	5,2	1,5	0,1	3,1	0,2	1,7			29	0,023	-1	11,51
527-g-2	1,2	3,7	0,2	6,2	0,8	3,1	0,20	1,8	3,8	2,7	0,5	1,1	1,7	1,5			18,5	0,156	-1,1	11,70
527-g-3	1,1	1,1	0,3	3,2	0,2	3,1	0,20	2,3	3	3,3	0,1	1,2	0,5	2,2	0,6	6,3	17	0,195	-1,15	9,00
527-g-4	3,5	1,7	0,6	3,7	0,2	1,2	0,02	0,5	5,3	2,5	1,2	7,5	1,1	2,7			32	0,230	-6	16,10
527-g-5	1,7	2,3	1,1	6,2	1,3	3,3	1,53	5,60	3,2	12,9	1,5	1,1	2,5	11	2	11,2	23,5	0,130	-2,10	19,43
527-g-6	10,6	3,1	3,7	12,1	1,1	1,7	0,33	1,3	9,5	31,5	2	6,7	1,8	1	3,8	12,7	28,5	0,200	-2,57	23,57
527-g-7	1,1	1,1	0,6	3,7	0,1	0,9	0,12	1,7	1,2	3,5	0,1	3,7	6,7	6,6			23	0,023	-6	10,82
527-g-8	7,7	3,1	1	2,1	0,1	3,2	0,01	8	1	3,6	0,5	1	1,7	13,8			22,5	0,102	-0,10	13,20
527-g-9	5,1	3,1	0,9	6,2	0,1	0,7	0,03	1,1	2,5	12,3	0,9	6,3	0,8	3,5	3,2	2,1	12	0,300	-3,3	13,13
527-g-10	7,2	3,0	0,1	9	1,7	7,2	0,16	1,9	3,3	2,3	1,3	5,1	3,9	16,6	1,6	6,8	24,5	0,220	-2,15	23,16
527-g-11	1,7	1,1	1,6	5,1	0,1	0,8	0,37	0,5	1,1	3,1	0,3	6	0,3	2,5			24,5	0,150	-2	11,70
527-g-12	7,3	2,7	2,3	2,5	3,6	13,0	0,03	1,6	2,6	31,5	3,1	3,8	1,6	0,9	0,9	3,3	35	0,300	+0,31	29,13
527-g-13	3,3	1,1	0,2	3,1	0,1	1,2	0,37	0,1	3,6	3,8	0,6	6,3	0,1	1			11	0,160	+0,25	9,10
527-g-14	0,2	3,0	1	3,3	1,6	0,9	1,03	0,8	6,6	21,3	1,8	6,6	2,2	0,1	3,2	11,8	12	0,200	-2,25	19,20
527-g-15	0,1	1,1	0,6	1,1	0,2	1,1	0,01	0,3	5,2	3,7	1,1	3,8	0,8	5,3			31,5	0,200	-3	10,10
527-g-16	3,5	3,1	0,6	8	3,1	10,1	0,21	7	0,7	20,5	1,9	5,8	5,1	16,7	0,9	0,9	13	0,300	-1,1	13,02
527-g-17	7,1	3,1	1	5,2	0,6	3,1	0,31	3,7	5,6	28,5	0,8	1,2	1,1	3,8	2,2	11,6	32	0,102	-1,15	12,11
527-g-18	1,9	2,3	1	5,6	0,6	3,1	3,00	11,6	9	1,5	0,7	3,9	0,5	2,8			19,5	0,020	-0,15	12,70
527-g-19	3,8	1,5	0,1	6,5	0,8	3,7	0,01		1,8	20,3	1,1	5,1	5	2,3			29,5	0,200	-5,1	21,60

INDICES	TAC Co ₃ of Co ₃ H		SO ₄ ⁻²		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Co	Cl-NO Cl	Total on mo/l
	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%				
523-6-38	6.	15,8	0,1	0,3	0,6	1,5	0,03	0,2	5,1	38,5	0,3	5,3	0,4	3.	-	-	29.	0,137	+0,33	19,25
523-6-36	3,1	38.	0,3	3,2	0,4	4,9	0,19	2,2	3,3	15,5	0,2	2,5	0,3	3,6	-	-	19,5	0,058	+0,24	9,18
523-6-35	5,4	10,7	0,4	3	0,6	1,5	0,14	1.	5,3	13.	0,6	1,5	0,4	3.	-	-	31,5	0,103	+0,33	13,24
523-6-41	4,6	13,5	0,3	2,8	0,3	2,8	0,04	0,5	1,7	11,0	0,3	2,8	0,4	3,9	-	-	25.	0,064	-0,33	10,66
523-6-42	7,1	11.	0,1	0,7	0,2	1,4	<0,01	-	6,2	12,5	1,7	1,7	0,4	2,7	-	-	34,5	0,106	-1.	14,2
523-6-43	5.	11,5	0,6	5.	0,3	2,5	0,06	0,5	5,5	15,5	0,3	2,5	0,3	2,5	-	-	29.	0,055	0	10,06
523-6-44	3,8	38,5	0,4	1.	0,4	1.	0,10	1.	1,3	13,5	0,5	5.	0,4	1.	-	-	24.	0,116	0	9,90
523-6-45	5,4	15,6	0,3	2,5	0,1	0,5	1,04	0,3	5,2	14.	0,5	1,2	0,3	0,5	-	-	28,5	0,036	-2	11,54
523-6-46	1,2	10,3	0,3	2,7	0,4	3,9	0,06	0,6	1,3	11.	0,8	3,6	0,3	2,9	-	-	25,5	0,172	+0,25	10,36
523-6-47	1,6	12,8	0,4	3,8	0,8	1,9	0,04	1,4	1,5	14,5	0,4	3,7	0,3	5,8	-	-	26.	0,078	-0,5	10,31
523-6-48	1,5	12,3	1,4	3,7	0,2	1,9	1,04	0,5	1,4	12,5	0,6	5,6	0,5	1,7	-	-	25.	0,134	-1,5	10,64
523-6-49	1,2	11,3	0,1	1.	0,3	3.	1,06	0,6	1,1	10,5	0,7	6,9	0,4	3,9	-	-	24.	0,171	-0,33	10,16
523-6-50	5,1	13,8	0,3	2,6	0,2	1,7	0,04	0,3	5.	13.	0,4	3,4	0,6	5,1	-	-	29.	0,070	-2.	11,64
523-6-51	3,8	10.	0,4	1,2	0,2	3,1	0,06	0,6	1,1	13.	0,6	6,3	0,3	3,1	-	-	23,5	0,116	-0,5	9,66
523-6-52	2,8	32,8	1,7	6,3	1,8	6,3	1,20	1,5	2,4	31,0	1,2	1,5	2,2	2,2	4,6	6.	18.	0,250	-1,11	26,9
523-7-1	1,1	11,2	0,3	2,5	0,1	0,9	0,15	1,4	1,9	15.	0,3	2,8	0,3	2,8	-	-	26.	0,061	-2	10,25
523-7-2	5,8	16,5	0,3	2,4	0,1	0,8	0,04	0,6	0,7	15,8	0,2	1,6	0,3	2,4	-	-	29,5	0,038	-2	10,19
523-7-3	1.	30,5	0,8	12,4	0,3	1,2	>0,01	-	7,5	29,6	3,7	14,2	1,8	6,3	-	-	55.	0,340	-5	26,1
523-7-4	3,7	12,5	0,3	2,4	0,1	1,1	1,21	2,4	3,5	10.	0,3	3,4	0,6	3.	-	-	19.	0,086	-5	8,71
523-7-6	6,3	21,8	1,9	2,7	0,1	0,5	2,60	11,9	3,1	32,5	1,3	6.	2,6	11,4	-	-	12.	0,104	-2,4	21,60
523-7-7	5,3	11,5	0,7	2,1	0,2	1,4	0,08	0,6	6,2	15.	0,4	2,9	0,5	3,6	-	-	33.	0,065	-1,5	13,39
523-7-10	5,3	16.	0,4	3,4	0,1	0,9	0,06	0,5	3,3	16.	0,1	0,5	0,3	2,7	-	-	27.	0,019	-2	11,58
523-7-12	0,6	12.	0,7	1,5	0,3	1,9	0,07	0,4	0,7	13,2	0,5	3,2	0,5	3,2	-	-	36.	0,075	-0,66	15,39
523-7-13	1,9	15,5	0,3	2,7	0,1	0,9	0,05	0,5	1,6	12,5	0,5	1,6	0,4	3,7	-	-	22,5	0,109	-3	10,85
523-7-15	1,6	34,5	1.	3,5	0,2	1,5	0,03	3,9	2,3	32.	1,1	2,4	0,5	3,8	-	-	30.	0,208	-1,5	13,23
523-7-16	0,1	14,5	0,3	2,3	0,1	0,7	<0,01	-	5,4	11,5	0,7	2,3	0,5	3,8	-	-	30,5	0,129	-1.	13,11
523-7-17	1,4	11.	0,4	3,8	0,1	3,5	0,01	2.	1,7	14,6	0,3	2,9	0,4	3,8	-	-	25.	0,064	-3	10,81
523-7-18	1,8	11.	0,4	3,3	0,1	0,9	<0,01	-	1,9	15.	0,3	2,7	0,4	3,7	-	-	26.	0,061	-3	10,91
523-7-19	1,3	12.	0,3	2,7	0,1	0,9	0,13	1,1	1,2	37.	1,4	12,4	0,3	2,6	-	-	28.	0,325	-2	11,33
523-7-20	2,1	12.	0,9	5,5	0,2	1,2	0,01	-	3,1	13.	0,4	2,4	0,7	4,8	-	-	37,5	0,055	-2,5	16,11
523-7-21	6.	15,5	1,5	3,8	0,1	1,3	0,08	0,6	5,6	12,5	0,4	3.	1,5	3,8	-	-	30.	0,071	-1.	13,18
523-7-22	2,7	11.	0,6	3,2	0,5	1,3	0,04	0,2	5,3	32.	2.	10,2	1,6	2,7	-	-	38,5	0,035	-1.	18,14
523-7-25	2,6	13.	1,1	5,8	0,4	2.	<0,01	-	5,6	22.	3,1	16,5	1,3	6,5	-	-	13,5	0,500	-2,22	20,01
523-7-26	1,7	14,5	0,3	2,8	0,1	0,9	<0,01	-	1,3	11.	0,5	1,7	0,6	5,3	-	-	24.	0,114	-5.	10,51
523-7-27	5,1	16,3	0,5	1,3	0,1	0,9	0,06	0,5	3,7	33.	1,2	10,7	0,5	1,5	-	-	24,5	0,305	-1.	11,16
523-7-28	5,4	13,5	0,4	1,9	0,1	0,8	0,05	0,4	5,3	12.	0,4	2,2	0,5	1.	-	-	28,5	0,075	-1.	12,36
523-7-29	5,4	11.	0,4	3,2	0,1	0,8	0,11	0,9	5,1	10,7	0,8	6,5	0,3	2,4	-	-	29,5	0,152	-2.	12,21
523-7-30	1,6	11.	0,3	2,9	0,1	1.	0,2	1,9	1,8	16.	0,2	1,9	0,2	1,9	-	-	25.	0,062	-1.	10,4
523-7-31	1,1	10,5	0,4	3,9	0,1	1.	0,21	2,1	1,9	15,5	0,1	1.	0,3	3.	-	-	26.	0,080	-2.	10,11
523-7-32	1,4	13.	0,4	3,9	0,1	1.	0,07	-	1,9	11.	0,1	1.	0,3	-	-	-	25.	0,080	-2.	10,22
523-7-33	1,6	15,5	0,3	2.	0,1	1.	<0,01	-	1,3	12,5	0,5	1,9	0,3	2,9	-	-	21.	0,104	-2.	10,11
523-7-34	2,2	16.	0,3	2,6	0,1	0,9	<0,01	-	2,2	15.	0,2	1,3	0,5	1,3	-	-	23.	0,030	-1.	10,51
523-7-35	6,5	13.	0,5	2,9	0,2	1,6	0,04	0,3	1,8	37,5	1,1	8.	0,6	1,3	-	-	29,5	0,270	-2	19,30
523-7-36	1,7	13,5	0,4	3,7	0,2	1,8	<0,01	-	1,7	13,5	0,6	2,5	0,2	1,8	-	-	26,5	0,072	0	10,80
523-7-37	5,4	16,9	0,4	3,1	0,2	1,3	0,09	0,8	1,6	39,5	0,7	6.	0,3	2,6	-	-	26,5	0,120	-0,5	11,65
523-8-5	1,6	17,3	0,8	16,6	1,6	13.	1,25	6,5	0,7	29,5	1.	5,2	0,9	15.	-	-	29,5	0,175	-0,8	19,85
523-8-2	2,5	33.	1,9	11,3	1,2	7,1	0,10	0,6	1,7	22.	0,8	1,3	2,7	16.	-	-	28,5	0,200	-1,25	16,9

INDICES	TAC Ca ²⁺ et Co ²⁺		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Ca	Cl-Ng Cl	Total on me/l
	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%				
522-8-16	4,6	M.	0,9	2.	4,5	2,7	0,18	1,3	3,0	26,2	0,8	7,1	1,1	9,2	-	-	21.	0,285	-0,65	14,26
522-8-18	5,4	M.	0,1	0,9	0,1	0,9	<0,01	-	4,5	26,5	4,5	4,5	6,5	4,5	-	-	25.	0,111	-h.	11,11
522-8-19	6,1	M.	0,8	0,6	0,1	0,7	0,16	1,1	6.	22.	4,6	4,2	4,5	3,5	-	-	33.	0,100	-h.	10,00
522-8-19	4,8	M.	0,2	1,6	1,1	2,9	4,01	-	5,7	15,8	6,3	2,8	0,3	2,0	-	-	30.	0,083	+0,73	12,61
522-8-21	5,3	M.	1,4	10.	1,4	2,9	<0,01	-	0,1	23,5	1,4	3,9	6,4	2,9	-	-	34,5	0,166	0	16,6
522-8-22	4,3	M.	0,3	2,2	0,2	2,1	0,04	0,2	3,5	22,5	4,7	2,5	0,3	3,2	-	-	21.	0,800	-0,5	9,30
522-8-23	6,2	M.	0,6	h.	0,3	2.	0,19	1,2	5,3	36.	1,2	0,1	1.	6,8	-	-	32,5	0,226	-2,3	14,22
522-8-24	5,1	M.	0,6	3,7	1,3	0,1	0,66	4,1	2.	32,5	0,8	5.	1,5	2,4	-	-	30.	0,133	-0,15	15,96
522-8-25	2,3	M.	0,6	2,2	0,3	4,6	0,34	5,3	2.	3,1	6,5	7,6	6,5	7,6	-	-	12,5	0,200	-0,66	6,54
522-8-26	5,2	M.	0,5	1,8	0,2	1,8	0,15	1,4	3,6	33.	1.	2,2	0,5	4,6	-	-	23.	0,200	-1,5	10,20
522-8-28	6,5	M.	0,3	1,5	0,1	4,5	1,09	0,5	6,5	35.	1.	6.	1,4	2,4	-	-	32,5	0,154	-0,75	16,59
522-8-28	7,9	M.	1,4	5,5	1,8	2,6	0,41	1,7	2,3	35.	1,5	7,6	0.	5,4	-	-	51,5	0,215	-1,1	13,61
522-8-29	6,3	M.	0,3	3,1	0,1	0,7	<0,01	-	5,2	32,4	1,4	10.	0,6	2,3	-	-	33.	0,270	-5.	13,91
522-8-30	6,7	M.	1,1	5,9	0,3	1,6	0,25	5,1	7.	21,7	0,6	3,2	1,4	7,5	-	-	41.	0,279	-3,7	15,75
522-8-31	4,9	M.	0,5	2,4	1,8	11,8	0,28	1,9	5,6	26,5	0,4	2,6	1,8	11,8	-	-	30.	0,070	0	15,20
522-8-32	4,9	M.	0,2	2,3	0,8	6,3	0,07	0,5	5,3	22.	0,4	2,1	0,9	2,1	-	-	28,5	0,076	-0,10	14,67
522-8-33	6,8	M.	0,4	2,7	1,7	11,6	0,18	1,2	2,5	32,6	0,5	3,4	1,5	10,3	-	-	30.	0,094	-0,10	14,59
522-8-35	5,4	M.	0,4	2,6	1,4	2,1	0,14	0,9	6,5	22,5	0,4	2,6	1,1	7,2	-	-	34,5	0,061	+0,24	15,34
522-8-36	4,0	M.	0,4	3,4	0,4	3,4	0,23	5,4	5.	22,5	0,6	5,1	0,5	2,2	-	-	25.	0,120	-0,25	11,23
522-8-39	5,0	M.	0,4	2,9	0,3	2,2	0,02	0,5	5,6	26,5	0,8	5,9	1,1	2,3	-	-	22.	0,103	-0,45	13,57
522-8-40	4,5	M.	0,5	1,7	2,4	22,5	0,15	0,5	10,2	35,9	0,4	2,1	3,4	11,6	-	-	54.	0,083	+0,53	23,05
522-8-42	4,6	M.	0,4	2.	0,1	1.	<0,01	-	2,6	30.	0,4	4,3	0,4	4,3	-	-	30.	0,111	-2.	9,30
522-8-44	4,4	M.	0,9	4,5	3,4	14,7	0,18	0,9	0,6	20,6	0,2	1.	3,4	14,7	-	-	30.	0,000	0	20,00
522-8-45	4,7	M.	0,2	0,4	12,1	M.	<0,01	-	12,3	20.	0,8	1,2	4,4	2,7	-	-	20,5	0,006	+0,20	15,00
522-8-46	5,1	M.	0,3	2,5	0,2	1,7	<0,01	-	5,2	24.	1,4	8.	0,2	4,2	-	-	20.	0,118	-1,5	11,20
522-8-48	6,4	M.	0,5	3.	1,4	0,3	<0,01	-	6,4	20.	0,4	4,4	1,8	10,7	-	-	24.	0,043	-0,5	14,90
522-8-49	5.	M.	0,4	3,2	0,7	5,5	0,05	0,4	5,2	M.	0,6	4,7	0,7	5,5	-	-	23.	0,125	0	12,65
522-8-50	6,1	M.	0,3	1,7	2,8	13.	<0,01	-	6,6	27,3	1,5	2,5	0,9	5,1	-	-	40,5	0,220	+0,41	12,20
522-8-51	5.	M.	0,5	3,2	1,8	11,5	0,23	1,8	6,2	22,5	0,8	5,1	1,1	2.	-	-	25.	0,129	+0,35	15,49
522-8-52	5,2	M.	0,4	2,2	1,4	3,4	0,7	4,5	5,7	32,5	0,7	4,7	1,2	6,1	-	-	32.	0,122	+0,10	14,62
522-8-53	5.	M.	0,3	2,5	0,3	2,5	0,23	1,9	6,3	M.	0,3	2,5	0,6	6.	-	-	20.	0,059	-1.	13,03
○ 522-8-54	1,2	M.	3,3	0,7	2,6	13.	-	-	9,1	20,7	2.	1,6	11,2	26,5	h.h.	4	630.	0,070	+0,44	104,6
○ 522-8-55	2,6	M.	2,6	1.	22,6	13.	-	-	113,5	12,3	6.	0,8	20,6	24,3	h.h.	4	672,5	0,051	+0,22	202,4
○ 522-8-57	2,4	M.	2,6	0,4	10,2	13,7	-	-	105,5	22,5	10.	1,5	20,4	22,8	h.h.	0,6	972,5	0,044	+0,19	126,8
522-8-58	0,9	-	0,3	-	29,2	50.	-	-	151.	25.	10.	1,7	11,2	20,2	h.h.	0,8	205.	0,062	+0,53	572,2
○ 522-8-59	0,4	M.	0,2	0,2	12,2	13.	-	-	13.	19,8	3.	3,5	23,1	22.	-	-	102.	0,176	+0,45	26,2
522-8-60	2,6	M.	0,5	-	24,4	13,9	-	-	105.	26,4	5.	0,3	20,2	20.	h.h.	1,3	2000	0,070	+0,22	152,4
522-8-61	5,6	M.	1,2	3,7	0,6	3,9	0,04	0,4	4,4	22,5	2,9	10,2	1,4	9.	-	-	33.	0,200	-1,22	15,00
522-8-62	4,2	M.	0,4	1,8	0,5	4,8	<0,01	-	4,7	22,3	0,4	2,6	0,8	4,5	-	-	20,5	0,085	0	11,10
522-8-63	6,3	M.	0,2	1,7	0,7	0,6	<0,01	-	0,8	22.	0,3	2,4	0,7	6,6	-	-	24,5	0,058	0	14,10
522-8-64	4,8	M.	0,2	1,8	0,6	5,3	<0,01	-	4,6	20,7	0,5	4,4	0,6	5,3	-	-	22,5	0,102	0	11,20
522-8-65	6,3	M.	0,2	1,7	0,2	1,7	0,01	-	4,4	22,5	0,6	5,1	1.	2,5	-	-	25.	0,106	-h.	11,20
522-8-66	6,1	M.	0,1	0,7	0,2	1,4	<0,01	-	0,3	11,7	0,4	2,1	0,6	4,7	-	-	22,5	0,070	-2.	10,20
522-8-67	6,4	M.	0,3	2,3	0,4	3,1	0,20	1,6	5,6	23,7	0,4	2,1	0,7	5,8	-	-	30.	0,070	-0,20	12,20
522-8-68	5,5	M.	0,4	2,9	0,5	5,6	0,05	0,3	6,3	22,5	0,7	5.	1,4	9,9	-	-	30.	0,101	-0,20	14,10
522-8-69	4,6	M.	0,4	3,5	0,4	3,5	0,10	0,9	4,8	22.	0,5	4,4	0,6	5,2	-	-	26,5	0,100	-0,5	11,10
522-8-70	6,3	M.	0,2	2,1	1,1	2,8	0,22	1,7	5,9	24,5	1.	6,2	0,7	4,8	-	-	30,5	0,090	-0,40	14,10
522-8-71	6,4	M.	0,2	2,9	2,1	12,1	0,10	0,9	6,1	25.	1,1	6,3	1,2	10,4	-	-	36.	0,101	+0,10	12,20

INDICES	CO ₂		SO ₄ ⁻²		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Ca	Cl-Na Cl	Total on mg/l
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%				
527-8-73	5	31,5	4,5	3,1	4,4	13,9	0,16	0,9	4,8	36,6	4,8	2,1	4,6	8,8	-	-	33	0,138	+0,36	15,84
527-8-74	8	44,5	4,3	2,8	4,4	3,3	0,08	0,4	4,6	38	1	0,3	0,7	5,8	-	-	28	0,218	-0,35	14,05
527-8-76	27	30	4,5	2,6	2	1,9	0,15	0,8	6,4	34	4,4	2,1	2,7	14,3	-	-	36	0,043	+0,10	15,85
527-8-76	49	31,6	0,9	4,7	2,3	12,9	0,25	1,33	7,3	38,6	0,3	1,6	1,9	10,1	-	-	38	6,041	+0,17	12,85
527-8-77	57	33,4	1,6	2,5	1,2	10,5	0,22	1,3	6,6	38,5	4,3	1,7	1,9	11,1	-	-	34,5	0,065	-0,05	12,12
527-8-80	57	22,6	4,8	3,9	3,6	12,8	0,19	0,9	6,4	31	4,5	2,4	3,4	14,5	-	-	34,8	0,078	+0,08	20,82
527-8-83	61	44	4,3	2,6	2,2	1,7	0,04	0,3	6,2	45	4,4	2,4	0,3	8,6	-	-	28	4,277	-4,5	14,58
527-8-84	61	40,5	4,6	4,7	4,4	3,2	<0,01	-	6,3	42,4	4,6	4,8	0,5	4	-	-	29,5	4,113	-4,38	14,82
527-8-85	47	46	4,1	1	4,3	2	<0,01	-	4,6	45	4,3	3	4,3	3	-	-	24,5	0,065	-4,5	14,30
527-8-88	55	37,6	4,3	2	1	6,9	0,18	1	6,3	42,5	4,3	2	1,1	7,5	-	-	34,5	0,049	-0,1	14,88
527-8-89	58	42,5	4,5	4,1	4,3	3,4	0,08	0,4	5,4	44	4,4	3,2	4,4	3,2	-	-	29	0,074	-0,33	13,25
527-8-90	47	34,4	4,4	3,2	4,8	6,5	0,19	1	6,2	44,4	4,5	4,1	4,5	4,1	-	-	28,5	0,094	+0,37	12,22
527-8-91	48	43,8	4,4	1,9	4,1	1	0,07	0,7	4,8	40,5	4,8	7,7	4,5	4,8	-	-	25	0,150	-4	12,37
527-8-92	37	44	4,3	2,3	4,4	2,3	0,06	0,7	3,6	41	4,6	4,8	4,4	4,5	-	-	20	0,166	-1	2,76
527-8-93	4,4	43	0,3	1,9	0,3	0,9	1,25	2,4	4,1	33,3	4,9	8,6	0,3	2,9	-	-	25	0,220	0	10,45
527-8-94	47	41,9	4,4	3,6	4,4	3,6	0,24	2,2	4	35,7	1,1	2,7	4,4	3,6	-	-	25,5	0,225	0	14,24
527-8-95	61	29,5	4,3	2,3	4,6	4,6	0,28	1,7	5,5	42,5	4,7	5,4	4,5	3,8	-	-	31	0,127	+0,13	12,92
527-8-96	5,3	34,7	4,3	2,2	4,8	6	0,08	0,6	5,3	39,5	4,2	9	0,5	2,7	-	-	32,5	0,285	+0,38	13,38
527-8-98	6,8	44,7	4,4	2,5	4,8	4,9	<0,01	-	6,2	38	4,4	2,4	1,7	10,4	-	-	32	0,065	-1,13	16,34
527-8-100	5,7	34	4,7	2,7	2,7	14,2	0,06	0,3	6,3	34,5	4,5	2,4	2,3	12,2	-	-	33,5	0,081	-0,28	15,16
527-8-104	57	23,4	4,5	2,3	2	11,2	4,10	4,6	5,9	34,5	0,7	4	2,3	13,4	-	-	29	0,118	-0,18	12,82
527-8-105	7,6	30	4,6	3,3	2,6	14,2	0,13	0,7	6,3	34,2	4,8	2,7	2,7	14,7	-	-	32	0,043	-0,33	12,43
527-8-106	2,3	28,5	4,6	2,9	4,1	13,8	0,18	0,7	6,6	34,8	4,6	2,9	3,4	14,4	-	-	26	0,091	+0,13	20,75
527-8-107	5,0	36	4,3	3,1	1,4	9,7	4,62	4,1	5,2	36,1	0,7	4,9	1,6	11,1	-	-	29,5	0,134	-0,16	14,62
527-1-1	5,9	36,5	4,3	2,7	0,6	3,6	0,13	0,5	5,8	34,5	1,3	2,7	1,4	8,4	-	-	28,5	0,245	-1,32	14,73
527-1-3	5,1	37	4,1	2	4,8	3,6	1,34	2,4	4,3	34,8	4,6	4,3	1,4	10,1	-	-	28	0,126	-1,8	13,24
527-1-4	7,3	44,6	4,4	2,5	4,3	1,2	1,24	1,5	7	43	4,6	3,7	4,6	3,7	-	-	35	4,086	-2	16,34
527-1-6	4,4	44	4,4	4	4,1	1	<0,01	-	4,3	43	4,6	6	4,3	3	-	-	24,5	0,140	-2	14,11
527-1-5	4,8	44	4,4	3,4	4,2	1,7	0,09	0,8	4,8	41	4,8	6,8	4,6	5,1	-	-	28	0,147	-2	14,62
527-1-10	4,1	24,5	2,4	11,8	1,4	6,7	1,26	2,5	4,1	34,6	4,9	4,2	4,6	10,5	-	-	45	0,111	-0,57	20,86
527-1-11	2,3	23,7	1,6	14	1,2	10,5	0,39	2,4	2,7	23,7	4,5	5,3	2,2	12,3	-	-	14,5	0,082	-0,03	11,83
527-1-15	4,8	23,4	1,7	8	1,2	8,6	1,26	2,3	7	33	1,1	5,2	2,8	12,2	-	-	40,5	0,157	-1,24	21,36
527-1-17	3,9	40,1	4,5	2,4	4,4	4,1	0,08	1,3	5	34	0,8	4,3	1	14,3	-	-	19	4,268	-1,5	9,73
527-5-24	4,4	44	4,4	1,9	4,4	3,8	0,09	0,3	4,5	43	4,3	2	4,6	5,7	-	-	24	0,066	-0,5	14,43
527-5-27	5	38	4,3	2,3	1	7,6	0,08	0,6	4,4	44	4,3	2,4	1,1	8,4	-	-	28,5	0,065	-0,1	15,47
527-5-28	4,6	43	4,3	2,8	4,3	2,8	0,04	0,4	4,8	44	4,3	2,8	4,6	5,6	-	-	24	0,064	-1	10,44
527-5-31	4,4	46,5	4,2	2,1	4,2	2,1	1,03	0,3	4,1	42,5	4,4	4,5	4,5	5,2	-	-	22,5	4,694	-1,5	9,53
527-5-34	4,9	22,5	4,6	3,4	2,1	17,4	<0,01	-	5,8	32,5	4,6	3,4	2,8	15,7	-	-	32	0,142	-0,1	12,51
527-5-37	5,1	39	4,6	4,6	4,6	4,6	<0,01	-	5,2	44	4,6	4,6	4,9	6,9	-	-	29	0,145	-0,5	15,41
527-5-44	4,8	5,9	1,7	2,4	3,4	10	0,04	0,05	15,6	19	1,6	2	23,9	4,5	-	-	41,7	0,142	+0,28	21,24
527-5-45	4,4	34,7	4,7	4,5	1,2	7,7	0,06	0,4	5	32,2	4,5	3,2	2,7	12,4	-	-	27,5	0,144	-1,26	15,52
527-5-48	4	44,5	4,2	2,4	4,2	2,4	0,01	0,1	5,7	41,5	4,5	5,6	4,3	9,5	-	-	41	0,134	-0,5	8,91
527-5-51	3,8	44,5	4,3	2,5	2,1	1,6	0,08	0,3	2,6	42	4,4	4,7	4,3	3,5	-	-	20	0,111	-2	8,53
527-5-53	4,4	44,7	4,8	2,1	4,2	2,1	<0,01	0,1	4,2	44,5	4,3	3,2	4,3	2,2	-	-	22,5	0,082	-0,5	9,41
527-5-55	4,4	44,5	4,2	4	4,4	4	0,03	0,3	4,7	44,9	4,5	5	4,9	4,9	-	-	21	0,142	-1,28	14,13
527-5-58	4,5	46,5	4,2	4	4,1	1	0,03	0,3	4,3	44,3	4,3	3,1	4,3	3,1	-	-	29	0,082	-2	9,28
527-5-66	4,6	46,5	4,2	4	4,2	4	0,01	0,1	4,3	44,5	4,4	4	4,2	2	-	-	23,5	0,082	0	9,91

INDICES	TAC		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Co	Cl-NO Cl	Total on mo/l
	Co ₃ ⁺	Co ₃ ^H	mo/l	%	mo/l	%	mo/l	%	mo/l	%	mo/l	%	mo/l	%	mo/l	%				
528-5-62	6,3	11,5	0,6	3,9	0,2	1,3	0,27	1,8	5,1	23,5	1,9	12,5	0,9	5,9	-	-	35	0,330	-3,5	15,72
528-5-63	4,6	30,5	0,4	3,4	0,4	3,4	0,05	0,4	4,2	26	0,2	6,9	1,2	10,1	-	-	25	0,190	-2	11,65
528-5-70	4,6	13,5	0,9	8	4,1	1	0,01	0,1	4,1	16,5	0,4	2	0,3	3	-	-	23	0,065	-2	9,21
528-5-73	4,7	15	0,3	3,8	0,1	0,9	0,08	0,7	4,6	14	0,3	2,9	0,4	3,8	-	-	24,5	0,065	-3	10,12
528-5-75	3,5	12,5	0,2	2,5	0,3	2,7	0,02	1	2,8	24,5	0,3	3,7	0,9	11,1	-	-	15,5	0,107	-2	10,01
528-5-76	5,1	13,5	0,4	3,6	0,3	2,5	0,16	1,6	5	12,5	0,4	3,4	0,4	3,4	-	-	27	0,080	-0,12	11,76
528-5-80	5,9	15,5	0,4	3,1	0,1	0,8	0,11	0,8	5,2	14,5	0,3	2,3	0,3	2,3	-	-	34,5	0,052	-2	13,91
528-5-82	4,7	16	0,3	3,7	0,4	3,6	0,11	1	3,1	22	1	9	1,5	13,5	-	-	24,5	0,22	-2,25	11,11
528-5-91	4,2	4,6	0,5	4,4	58	16,5	-	-	13	24,5	2,5	2	23,6	19	3,28	2,7	122,5	0,09	+0,03	134,15
528-5-95	5,5	3,8	2,7	1,7	74	15	-	-	24,5	21,8	2,5	1,6	39	24,7	2,6	1,6	185	0,07	+0,11	157,2
528-5-99	4,5	4,1	0,2	0,16	53	59	-	-	25	19,7	2,5	2,9	14	27	-	-	122,5	0,14	+0,16	136,2
528-5-101	4,7	4,2	2,6	1,4	92	17	-	-	52	24	2	0,9	27,5	24,5	-	-	260	0,04	+0,17	269,7
528-5-103	4,6	14,5	0,2	1,9	0,1	1	0,02	-	4,2	11,5	0,5	2,8	0,6	5,9	-	-	24	0,12	-5	10,33
528-5-104	5,3	25,5	0,5	3,3	1,4	3,4	0,06	0,4	4,6	34,5	0,3	2	2,2	12,7	-	-	24,5	0,06	-1	14,26
528-5-107	5,3	37	0,4	2,9	1,8	0,4	0,2	0,5	2,9	32,8	0,3	2,1	1,6	11,2	-	-	22,5	0,05	-0,23	14,22
528-5-109	4,7	14,1	0,2	1,9	2,9	1,9	0,06	0,6	4,7	14,1	0,5	4,7	0,3	2,8	-	-	26	0,10	-0,5	10,66
528-5-110	5,1	16,5	0,3	1,8	0,1	0,9	0,03	0,3	5,9	16,5	0,3	2,7	0,2	1,8	-	-	22,5	0,06	-1	11,19
528-5-111	4,9	16,5	0,3	1,8	0,2	1,8	0,04	0,1	4,8	16,7	0,3	2,8	0,3	2,8	-	-	25,5	0,06	-0,2	10,24
528-5-112	2,2	16,5	0,3	1,5	0,1	0,2	0,13	1,1	2,5	17	0,3	2,5	0,2	1,9	-	-	29	0,052	-1	11,73
528-5-113	5,9	5,1	<0,1	<0,1	0,1	0,9	<0,01	<0,1	1,9	14,5	0,3	2,6	0,4	1,8	-	-	26	0,06	-1	11,27
528-5-114	4,2	10,7	0,2	1,9	0,1	1	0,04	0,6	4,8	15,8	0,3	2,7	0,3	1,8	-	-	24,5	0,06	-1	10,46
528-5-116	4,7	22	1,5	2,3	1,7	10,5	0,04	0,4	2	57	0,6	2,7	1,6	2,9	-	-	33	0,10	+0,06	16,16
528-5-117	4,6	16,5	0,3	3	0,1	1	0,02	0,7	4,3	12,5	0,5	4,9	0,3	3	-	-	24	0,11	-2	10,17
528-5-118	5,7	11,3	0,5	2,6	0,5	2,6	0,22	1,8	2,7	11,3	0,6	4,3	0,6	4,3	-	-	31,5	0,10	-0,2	12,33
528-5-119	4,1	22,5	0,6	2,7	0,2	1,9	0,54	5,1	3,7	25	0,7	6,6	0,7	6,6	-	-	27	0,19	-2,5	14,24
528-5-121	4,8	16,5	0,3	2,9	0,2	1,9	1,29	2,7	2,2	51,7	0,6	5,8	0,9	6,8	-	-	19	0,19	-2,5	10,29
528-5-122	4,8	12,6	0,3	2,7	0,3	1,8	0,02	0,7	5	16,4	0,3	2,7	0,3	2,7	-	-	24,5	0,06	-2	10,22
528-5-124	4,8	11	0,3	2,8	0,1	0,9	0,02	0,7	0,1	17	0,3	2,7	0,2	1,8	-	-	27	0,06	-1	11,56
528-5-127	4,7	15	0,4	3,8	0,1	1	0,03	0,3	4,8	16,5	0,4	1,9	0,1	1	-	-	25	0,04	0	10,22
528-5-128	2,4	4,6	0,3	2,7	0,1	0,9	0,02	0,6	2,4	1,6	0,3	1,8	0,3	2,7	-	-	27	0,04	-2	11,27
528-5-129	2,2	14,3	0,3	2,6	0,1	0,9	0,05	0,4	2,4	17	0,2	1,9	0,2	1,8	-	-	27	0,04	-1	11,65
528-5-130	5,1	16,5	0,2	1,7	0,1	0,9	0,04	0,3	2,4	16,5	0,2	1,7	0,3	2,6	-	-	28	0,04	-2	11,64
528-5-131	5	16,5	0,6	2,3	0,1	0,9	<0,01	<0,1	4,7	12	0,6	5,3	0,4	1,8	-	-	26,5	0,13	-1	11,24
528-5-132	4,8	12,7	0,2	2	0,1	1	<0,01	<0,1	4,2	11	0,7	4,8	0,2	2	-	-	24,5	0,17	-1	10,24
528-5-133	4	16,3	0,2	2,3	0,1	1,2	0,04	0,3	3,7	12,7	0,4	1,6	0,2	2,3	-	-	24,5	0,11	-1	9,23
528-5-134	4,1	16,5	0,3	2,1	0,1	1	<0,01	<0,1	4,5	16,5	0,1	1	0,2	2,1	-	-	23	0,02	-1	9,41
528-5-135	4,4	16,5	0,4	2	0,1	1	0,01	0,1	4,4	15,5	0,2	2	0,2	2	-	-	23	0,045	-1	9,71
528-5-136	4,7	16,5	0,2	2	0,4	2	0,15	1,5	4,5	14	0,3	3	0,3	3	-	-	24	0,065	-0,5	10,25
528-5-137	4,4	16	0,3	2,1	0,1	1	<0,01	<0,1	4,3	15	0,2	2,1	0,2	2,1	-	-	24,5	0,045	-1	9,51
528-5-138	4,9	16	0,3	2,9	0,1	0,9	0,01	<0,1	4,9	16	0,2	1,9	0,3	2,8	-	-	25,5	0,04	-2	10,71
528-5-139	4,8	16,5	0,4	2,7	0,1	0,9	<0,01	<0,1	4,8	15,5	0,2	1,9	0,3	2,8	-	-	25	0,04	-2	10,61
528-5-140	5	16,5	0,4	2,5	0,1	0,9	0,04	0,1	4,3	20,2	0,1	0,9	1,3	11,6	-	-	22	0,02	-12	11,24
528-5-141	4,2	15	0,4	2,7	0,1	0,9	0,04	0,1	4,2	22,3	0,2	1,9	0,7	6,5	-	-	22	0,04	-6	12,22
528-5-142	4,5	16,5	0,3	2,1	0,1	1	<0,01	<0,1	4,2	13,3	0,2	2	0,4	2,1	-	-	22	0,04	-3	9,22
528-5-143	4,9	16	0,3	2,8	0,1	0,9	<0,01	<0,1	4,6	13	0,2	1,9	0,6	5,5	-	-	24	0,04	-5	10,22
528-5-144	2,7	22	0,2	1,6	1,1	2,3	0,01	0,1	4,2	22,2	0,1	0,7	2,3	2,2	-	-	21,5	0,02	-2	15,11
528-5-145	4,4	16,5	0,3	2,3	0,1	1	<0,01	<0,1	4,4	15,5	0,1	1	0,3	2,1	-	-	22,5	0,02	-2	9,61
528-5-146	5,9	22	1	5,2	2,6	13,7	0,03	0,16	5,4	22,5	0,2	1,4	2,2	2,0	-	-	22	0,02	-0,11	12,93
528-5-147	5,7	22,5	0,6	4	1	6,6	0,05	0,3	4,9	22,5	0,2	1,3	2,7	12,9	-	-	25	0,04	-1,7	15,15

INDICES	CO ₃ ²⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		T.H.	Mg Co	Cl-Na Cl	Total on mol/l
	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%				
528-5-226	6.	32.	4.	5,8	2.	10,7	6,08	0,25	5,3	22,5	0,1	0,8	4,2	22,5	-	-	27	0,02	-1,1	18,65
528-5-231	5,5	31.	0,7	4.	2,6	14,7	0,01	0,2	5,4	30,5	0,2	1,1	3,3	18,6	-	-	28	0,02	-0,22	12,74
528-5-232	6	30,2	0,7	3,5	2,4	12,2	0,06	0,3	5,7	29	0,3	1,5	3,7	18,6	-	-	30	0,05	-0,58	19,08
528-6-16	3,6	45	0,1	1,3	0,1	1,3	0,07	0,9	3,8	42,5	0,2	2,6	0,1	1,3	-	-	20	0,053	0	7,92
528-6-17	4,9	46,2	0,2	1,9	0,1	0,9	0,10	0,9	4,8	45,2	0,4	3,7	0,1	0,9	-	-	26	0,084	0	10,60
528-6-18	5,4	39,5	0,7	5.	0,1	0,7	0,60	4,2	6	42,5	0,8	5,6	0,4	2,5	-	-	34	0,134	-3	14,20
528-6-19	5,6	42.	0,1	0,2	0,1	0,2	<0,01	-	5,2	45,5	0,3	2,6	0,1	0,9	-	-	27,5	0,058	0	11,41
528-6-20	5.	49	<0,1	<1.	0,1	1.	<0,01	-	4,4	45	0,4	3,9	0,8	2.	-	-	24	0,091	-1	10,24
528-6-21	4,8	47,5	0,2	2	0,1	1	<0,01	-	4,4	43,5	0,4	4.	0,2	2.	-	-	24	0,091	-1	10,11
528-6-22	5,1	47	0,2	1,8	0,1	0,9	0,03	0,3	4,8	44	0,4	3,7	0,2	1,8	-	-	26	0,083	-1	10,23
528-6-23	4,9	46,5	0,2	1,9	0,1	0,9	0,09	0,9	5.	43,5	0,2	1,9	0,1	0,9	-	-	26	0,040	0	10,59
528-6-24	4	46	0,3	3,4	0,1	1,1	<0,01	-	3,9	45	0,3	3,4	0,1	1,1	-	-	21	0,077	0	8,71
553-h-4	18	29,5	1,7	6,5	0,1	0,4	2,92	11,1	7,2	27,3	1,6	6,1	1,8	6,8	3,3	13,6	44	0,248	-50	26,44
553-h-5	2,4	38	1,6	8,8	0,1	0,5	0,50	4,7	7,1	32,5	1,1	5,8	0,9	4,7	-	-	41	0,155	-8	18,90
553-h-6	7,8	41	1.	5,3	0,1	0,5	0,80	3,8	5,2	32,8	0,8	4,9	1,4	7,4	1	2,3	35	0,129	-2,3	18,30
553-h-9*	5,1	24,3	1,6	7,6	0,2	3,8	3,33	16,1	7,6	36,3	1,1	5,8	1,4	6,7	-	-	42,5	0,164	-0,35	20,99
553-h-10*	5,9	24,5	1,4	6,5	0,9	4,2	3,93	15,7	8,3	38.	0,9	4,3	1,4	6,5	-	-	45,5	0,130	-0,56	21,48
553-h-11*	4,4	24,5	0,3	2,6	0,1	0,9	0,15	1,3	5,3	45,9	0,1	0,9	0,3	2,6	-	-	27.	0,019	-2	11,65
553-h-12	7,8	32,7	1,5	6,3	0,1	0,4	2,68	11,2	6,7	28.	1,1	4,6	1,4	5,9	2,6	10,9	39	0,164	-39	23,88
554-1-1*	5,8	40.	0,8	3,5	0,1	0,7	0,66	4,6	6,3	44	0,3	2,1	0,5	3,5	-	-	33	0,048	-4	14,16
554-1-2*	7,3	36,5	1.	5.	0,2	1.	1,24	6,20	8,6	43	1.	5	0,6	3	-	-	48	0,120	-2	19,94
554-1-4	6,4	39,8	1,3	8,3	0,2	1,3	0,14	0,9	5,9	32,9	0,8	5,1	1.	6,4,3	-	-	33,5	0,136	-4	15,74
554-1-6*	3,9	14,1	0,6	2,4	1,3	4,7	5,65	30,5	5,8	24.	1,1	4.	3.	10,8	4,4	15,9	34,5	0,188	-4,7	27,5
554-1-8*	10,6	28,3	2,4	6,4	2,3	6,1	2,78	7,4	9,6	25,6	1,9	5	0,3	5,8	5,7	15,9	57,5	0,198	-2,45	37,4
554-1-9	5,4	25,4	1,3	6,1	3,7	17,4	0,06	0,3	7,5	35,4	0,9	4,2	2,8	10,8	-	-	42.	0,120	+0,45	24,16
554-1-10	10,5	36.	1,5	5	1.	3,4	1,88	6,4	11,4	38.	1,1	3,8	2.	7,8	-	-	48,5	0,096	-1	28,38
554-1-14	2,5	36	1,4	6,3	0,8	3,8	0,66	3,2,2	8,5	41,5	0,6	2,9	1,3	6,3	-	-	45,5	0,074	-0,62	20,76
554-1-15*	8,1	37	0,3	1,4	2,3	10,4	0,01	0,04	7,8	36,5	1,3	6,1	1,5	7.	-	-	45,5	0,166	+0,36	24,3
554-1-14*	8,6	30,5	0,7	3,5	1,2	6	0,30	1,5	5,7	22,5	1,2	6	2,8	11,5	-	-	34,5	0,240	-0,90	20.
554-1-15	10,4	35.	2.	6,78	1,5	5,1	1,20	4	10,5	42	0,8	3,7	1,1	3,7	-	-	56,5	0,064	+0,27	29,5
554-1-16	7,0	30	1,5	6,3	1,4	5,9	0,16	0,1	9,9	41,5	1,0	4,2	0,6	2,5	-	-	42,5	0,101	+0,57	27,36
554-1-17*	7,8	26	2,8	10,8	2,4	8,7	1,30	4,4	9.	32,8	2,1	2,6	1,3	4,4	1,1	4	55,5	0,234	+0,04	37,6
554-1-18*	9,4	32	2,2	7,5	2,9	7,8	0,4	1,4	4,4	15	1,3	4,4	4,9	16,8	4,3	14,9	22,5	0,197	-3	39,2
554-1-19	2,9	44	0,3	1,8	0,2	1,2	<0,01	-	6,4	39.	0,5	3	0,4	3,4	1,3	7,9	34,5	0,078	-3,5	16,44
554-1-20	6,6	16,4	4,5	11,4	0,4	6.	3,85	8,9	11,7	39	2,5	6,2	0,7	21,8	-	-	71	0,214	-0,68	29,98
554-1-22	6,6	46	0,4	8,7	0,8	1,4	0,06	0,4	6,1	40.	0,8	6,5	0,3	4,1	-	-	34,5	0,130	-0,68	14,06
554-1-23	4,9	27	0,2	3,8	3,4	18,8	0,01	0,05	6,2	34,5	0,9	5	2.	11.	-	-	35,5	0,145	+0,41	18,11
554-1-24*	8.	37	1,2	5,8	1.	4,6	0,04	2,5	8,5	28.	1,2	5,5	0,8	3,5	-	-	48,5	0,141	-0,2	21,52
554-1-25	7,7	36	1,5	7	0,8	3,5	0,95	4,3	6,1	28,5	0,4	11,8	1,9	9	-	-	42,5	0,132	-1,36	24,38
554-1-27	6,4	30	1,2	5,6	1,6	7,6	1,30	5,7	9,3	44	0,3	1,4	1,4	5,7	-	-	48	0,038	+0,25	21,20
554-1-27	7,9	39	1,3	6,5	1,1	5,5	0,17	1.	7.	35	0,3	1,5	2,4	0,17	-	-	36,5	0,042	-1,18	20,13
554-1-28*	6,4	46,5	0,4	3	0,2	1,5	<0,01	-	5,9	43	0,5	3,5	0,4	3.	-	-	32	0,088	-1	13,81
554-1-29*	6	38	0,9	6,5	0,3	2.	0,22	2.	6.	38	1,3	7,5	1,1	7	-	-	36	0,200	-0,67	15,78
554-1-30	7.	29,5	1,8	9.	2,9	9,5	0,96	10	11,6	39	1,9	6,5	1,8	6	-	-	67,5	0,144	+0,36	29,26
554-1-30	6,2	38	0,9	5,8	0,6	4.	0,35	4,5	5,7	36	0,9	5,5	0,8	5	-	-	33	0,157	-0,23	15,85
554-1-34	5,6	42	0,7	5	0,2	1,5	<0,01	-	5,7	42	0,7	5,8	0,4	3	-	-	32	0,128	-1	13,31

INDICES	TAC		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Ca	Cl-Ng Cl	Total on mol
	Co ₃ ²⁺	Co ₃ H ⁺	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%				
55k-1-26	37	38	0.5	5	0.6	6	0.01	-	2.9	40	0.5	5	0.5	5	-	-	22	0.128	-0.12	9.31
55k-1-27	4.4	43.5	0.5	5	0.1	1	0.01	-	2.4	43.5	0.4	4	0.3	3	-	-	24	0.091	-0.2	10.11
55k-1-28	6.1	32.5	1.1	6	1.2	6.5	0.60	1.4	7.5	39	0.5	2.5	1.5	8	-	-	40	0.066	-0.25	14.30
55k-2-1*	6.6	37	1	5.5	0.5	5	0.57	9	6.9	39	0.9	5	1.4	8	-	-	39	0.130	-1.2	17.02
55k-2-2*	7.0	40	0.4	2.5	0.1	0.5	0.54	2.5	0.5	38	1.5	9	0.9	5	-	-	40	0.230	-0.2	17.14
55k-2-3*	8.1	42	0.8	6	0.8	1	0.15	0.8	2.5	38	1	5	1.1	2.5	-	-	42.5	0.133	-0.5	19.05
55k-2-6	10.1	45	0.8	2.5	0.1	0.5	0.07	-	6.1	22.5	2.9	12.5	4.1	5	-	-	32.5	0.010	-10	32.42
55k-2-8	10	45.5	0.6	2.5	0.8	4.5	0.01	-	3.9	36	1.3	6	1	4.5	-	-	46	0.144	-2.3	22.11
55k-2-9*	5.2	36	1.3	8	0.3	0.1	0.09	-	5.4	36.5	1.3	9	1.8	8	-	-	33.5	0.240	-3	14.79
55k-2-11*	3.9	40	0.3	2	0.1	0.5	0.03	-	5.8	36.5	1.2	7.5	1.65	4	-	-	35	0.244	-5.5	15.92
55k-2-13	2.8	54	0.09	0.5	0.1	0.5	0.01	-	0.1	33	1.5	8	1.3	7	-	-	35	0.265	-12	15.1
55k-2-14	17.6	5	1.1	3.5	1.5	5.5	1.06	-	0.4	24	0.1	0.5	2.8	2.5	3.8	14	52.5	-	-5.1	42.36
55k-2-15*	2.1	40.5	0.6	3.5	0.5	6.5	0.11	0.5	0.7	41.5	0.7	4.5	0.5	5	-	-	37	0.103	0	16.31
55k-2-16	9.1	28	0	0.5	0.0	10	1.03	5	11.8	38	1.8	6	2.4	7.5	-	-	68	0.152	-0.25	24.3
55k-2-17*	3.5	44	0.7	4	0.3	1.5	0.04	-	5.9	34.5	0.9	5.5	0.8	4.5	0.9	5.5	34	0.152	-4.7	17.65
55k-2-18*	3.8	39	0.8	4.5	0.8	4.5	0.23	1	6.1	34	1.2	8	1.4	8	-	-	32.5	0.250	-0.35	12.93
55k-2-20*	9.4	34	1.2	4.5	1.3	4.5	1.30	6	7.8	28.5	1.4	4.5	1	2.5	3.8	14	45	0.154	-2.7	25.65
55k-2-21*	7.6	37	1.1	6.5	0.9	4.5	0.66	3.5	7	34	0.9	4.5	2.3	11	-	-	39.5	0.128	-1.50	20.46
55k-2-24	8.5	36	1.4	2.5	1.4	6	0.29	1.2	7	28.5	2.7	11.5	2.1	9	-	-	48.5	0.305	-0.5	23.29
55k-2-25	2.4	45	0.2	2.5	0.1	1.5	0.13	1.5	3.2	40	0.5	6.5	0.1	1.5	-	-	18.5	0.150	0	7.63
55k-2-27	9.7	32.5	4	13	1.9	6	0.17	0.5	7.3	23.5	5	16	2.9	9.5	-	-	61.5	0.67	-0.5	30.92
55k-2-28	6	46	0.6	4.5	0.1	0.7	0.01	-	6	16	0.3	2.9	0.1	0.7	-	-	31.5	0.082	0	13.11
55k-2-29	4.9	44	0.5	4.5	0.1	1	0.15	1.5	5.3	47	0.1	1	0.2	2	-	-	37	0.019	-1	11.29
55k-2-30	3.5	45.5	0.1	5	0.1	0.5	0.01	-	6.8	41.5	0.2	1.2	1.1	6.5	-	-	35	0.025	-10	16.57
55k-2-33	6.7	47	0.3	2	0.1	0.5	0.05	-	0.3	40.5	0.4	2.8	0.3	2	-	-	33.5	0.063	-2	14.15
55k-3-4	6.3	47	0.4	3	0.1	0.8	0.03	-	6.4	48	0.1	0.8	0.1	0.8	-	-	32.5	0.015	0	12.63
55k-3-5	0	45	0.5	3.7	0.1	0.8	0.00	5	6	45	0.2	1.5	0.1	0.7	-	-	31	0.033	0	13.3
55k-3-7	5.9	47.5	0.3	1.5	0.1	0.8	0.03	-	5.9	47.5	0.1	0.8	0.1	0.8	-	-	30	0.017	0	12.43
55k-3-8	6.3	48	0.4	3	0.1	0.8	0.01	-	4.1	31.5	2.5	19	0.2	1.5	-	-	33	0.010	-1	12.02
55k-3-9	5.4	45	0.3	2.5	0.2	1.5	0.20	1.5	5	41.5	0.7	6	0.2	1.5	-	-	28.5	0.140	0	12
55k-3-10	6	46.5	0.3	2.5	0.1	0.8	0.01	-	4.9	38	1.4	11	0.2	1.5	-	-	31.5	0.235	-1	12.91
55k-3-11	6.2	43.5	0.4	3.8	0.4	2.8	0.22	2	5.8	40.5	0.8	5.5	0.4	3	-	-	32	0.132	0	14.22
55k-3-12	5.4	44.5	0.4	3.5	0.2	1.5	0.06	0.5	2.8	38.5	0.7	6	0.4	3.5	-	-	27.5	0.142	-1	12.16
55k-3-13	5.8	43	0.5	4	0.2	1.5	0.05	0.8	5.1	41	0.5	4	0.5	4	-	-	22	0.070	-1.5	12.69
55k-3-14	5.4	42	0.5	4	0.4	3	0.03	0.2	5.8	45	0.2	1.5	0.5	4	-	-	30	0.074	-0.25	12.83
55k-3-15	5.5	40	0.4	3	0.4	3	0.11	0.9	5.0	44	0.4	3	0.5	4	-	-	31	0.069	-0.25	13.11
55k-3-16	5.6	44.5	0.4	3	0.3	2.5	0.07	0.5	5.9	47	0.4	1.5	0.3	2.5	-	-	30.5	0.074	0	12.55
55k-3-17	6	45	0.4	3	0.2	1.5	0.20	1.5	6.2	46	0.1	0.7	0.3	2	-	-	31.5	0.045	-0.5	13.40
55k-3-18	5.8	44	0.7	5	0.1	0.8	0.01	-	5.9	45	0.3	2	0.3	2	-	-	31	0.051	-2	13.11
55k-3-19	6.3	44.5	0.5	3.5	0.1	0.7	0.01	-	5.7	40	0.7	5	0.2	1.5	0.4	4	32	0.122	-7	14.11
55k-3-20	6.2	44.5	0.5	3.2	0.2	1.3	0.01	-	6.5	36	0.2	1.9	0.2	1.3	1.5	10	33.5	0.031	-7.5	15.31
55k-3-21	5.9	42.5	0.6	4.5	0.1	0.7	0.04	0.3	6.4	48	0.3	2.2	0.2	1.5	-	-	33.5	0.047	-1	13.44
55k-3-22	5.8	47.5	0.2	1.5	0.1	0.8	0.03	0.5	5.3	43	0.5	4	0.3	2.5	-	-	29	0.074	-2	12.23
55k-3-24	8	39	1	5	0.3	1.5	0.01	-	6.3	38.5	1.3	6.5	0.6	3	2.5	12	40	0.074	-9.5	20.41
55k-3-25	9.9	32.5	2.6	2.5	2.6	2.5	0.50	1.5	5.8	22.5	5.6	12.5	2.3	3.5	-	-	62	0.075	-0.10	40.3
55k-3-26	5.3	41	0.4	3	0.4	3	0.13	1	4	41	1.6	12	1.1	2.5	-	-	27	0.07	-1.20	12.02
55k-3-27	5.9	44.5	0.7	5.2	0.5	3.7	0.07	0.6	3.2	28.5	0.2	6	1.5	11.2	-	-	23	0.24	-2	13.20

INDICES	TAC CO ₃ ²⁻ et CO ₃ H ⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Co	Cl-NO Cl	Total en mg/l
	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%	mol/l	%				
554-3-28*	11,8		1,5		1,4		0,01		6,6		4		1,4				53			22,51
554-3-29	8,2	43	0,2	4	0,1	0,5	<0,01		0,1	34	1,9	11	0,7	4			49	4,340	-6	12,81
554-3-30	3,6	40	0,3	3,5	0,1	1	0,42	5	3,7	43,5	0,2	2,3	0,2	2,3			12,5	0,058	-1	2,53
554-3-31	6,7	40	0,6	3,8	0,2	1,2	0,27	3	6,6	41	0,5	3	0,9	5,7			35,5	0,025	-3,5	15,97
554-3-32	6,3	43	0,2	1,4	0,4	2,8	0,21	1,5	6	41	0,9	6	0,6	4			34,5	0,150	-0,5	14,61
554-3-33	6,4		4,1		0,8		0,09		3,9		0,9		0,9				24			14,49
554-3-34	6,4	47	0,4	3	0,1	0,7	0,03	0,2	6,3	46	0,3	2,2	<0,1	0,7			33	0,047	0	13,43
554-3-36	5,8	48	0,2	1,7	0,1	0,8	0,01		5,1	42,5	0,4	3,3	0,4	3,3			27,5	0,077	-3	12,01
554-3-37	6	47,5	0,2	1,6	0,1	0,8	<0,01		5,9	47	0,3	2,6	<0,1	0,8			34	0,057	0	12,61
554-3-39*	2,8	36	1,6	2,5	1,2	5,5	0,15	0,3	7,3	33,5	1,5	7	2,2	10			44	0,205	-0,22	21,25
554-3-39*	2,9	42,5	0,3	1,7	0,3	1,7	0,01		6,7	32,5	1,5	2,5	0,7	4			41	0,224	-1,33	12,41
554-3-41	2,2	42	0,9	4,6	0,4	2	<0,01		8,4	43	0,6	3	0,9	4,5			45	0,107	-1,25	12,41
554-3-44	6,8	44,5	0,6	4	0,2	1,3	0,10	2,6	6,3	62	0,5	3,2	0,5	3,2			34	0,029	-1,5	15,30
554-3-45	5,8	44	0,4	3	0,2	1,5	0,24	1,7	6,1	46	0,3	2,3	0,2	1,5			30	0,049	0	13,22
554-4-2	5,1	45,5	0,3	2,7	0,1	0,9	0,15	1,3	5	44,5	0,4	3,6	0,2	1,8			27	0,080	-1	4,25
554-4-3	5,4	46	0,3	2,6	0,1	0,8	0,06	0,5	5,2	44	0,3	2,6	0,4	3,4			23,5	0,057	-3	11,26
554-4-5	5	46	0,3	2,7	0,1	0,9	0,03	0,3	4,7	43,5	0,3	2,8	0,4	3,7			25	0,064	-3	10,23
554-4-6	8,3	46	0,6	3,3	0,1	0,5	0,01		8,4	47	0,4	2,2	0,1	0,5			44	0,048	0	17,91
554-4-8	5,3	42	0,7	5,5	0,2	1,6	0,01		5,3	42	0,5	4	0,6	4,2			29	0,024	-2	12,67
554-4-9	5,3	44,5	0,5	4,2	0,1	0,8	0,02	0,15	5,6	47	0,2	1,7	0,2	1,7			29	0,035	-1	11,92
554-4-10	5,4	43	0,5	4	0,1	0,8	0,01		5,5	44	0,4	3,2	0,6	4,8			29,5	0,073	-5	12,51
554-4-11	4,8	44,5	0,5	4,5	0,1	0,9	0,07	0,6	4,8	44,5	0,4	3,7	0,2	1,9			26	0,073	-1	10,87
554-4-12	5,5	42,5	0,4	3,5	0,1	0,8	0,01		4,9	42	0,5	4,3	0,2	1,7			27	0,102	-1	11,61
554-4-14	5,4	44	0,4	3,2	0,1	0,8	0,09	0,7	5,2	47	0,1	0,8	0,4	3,2			29,5	0,017	-3	12,29
554-4-15	5,4	45	0,3	2,5	0,1	0,9	0,09	0,7	5,5	47,5	0,1	0,9	0,3	0,3			28	0,018	-2	11,59
554-4-16	5,1	42,5	0,3	2,9	0,1	0,9	0,01		4,8	45	0,2	1,9	0,2	1,9			25	0,044	-1	10,31
554-4-17	4,9	44	0,3	2,7	0,1	0,9	0,03		5,5	49	0,3	2,7	0,1	0,9			29	0,054	0	11,23
554-4-18	4,9	46,5	0,3	2,7	0,1	0,9	0,02		4,7	45	0,1	0,9	0,4	3,8			24	0,024	-3	14,52
554-4-19	5,7	42	0,6	4,4	0,2	1,5	0,11	0,8	6	44	0,1	0,7	0,6	4,4			30,5	0,016	-2	13,66
554-4-20	5,7	42,5	0,3	2,5	0,1	0,8	0,04	0,3	5,4	45	0,3	2,5	0,1	0,8			28,5	0,056	0	11,94
554-4-23	5	47	0,3	2,8	0,1	0,9	0,07	0,6	4,5	42	0,3	2,8	0,4	3,7			24	0,067	-3	10,67
554-4-24	6,4	46	0,3	2,5	0,1	0,8	0,05	0,5	4,8	41	0,5	4,3	0,5	4,3			26,5	0,104	-4	11,65
554-4-27	5,1	46,5	0,3	2,8	0,1	0,9	0,01		4,8	44	0,3	2,8	0,3	2,8			25,5	0,043	-2	10,91
554-4-28	6,2	41	0,4	2,7	0,3	2	0,11	0,7	6,8	46	0,3	2	0,6	4			35,5	0,044	-1	14,71
554-4-29	5,3	46	0,2	1,8	0,1	0,9	<0,01		5	43,5	0,4	3,5	0,4	3,5			27	0,080	-3	11,44
554-4-30	5,4	46	0,3	2,6	0,1	0,8	0,07	0,6	5	43	0,2	1,7	0,6	5,2			26	0,040	-5	11,62
554-4-32	5,4	44	0,3	2,4	0,2	1,6	0,09	0,7	5,5	44,5	0,3	2,4,5	0,5	4			29	0,058	-1,5	12,29
554-4-33	5,8		0,3		0,2		0,21		5,4		0,3		0,4				33,5			
554-4-34	5,8	43,5	0,3	2,8	0,2	1,5	0,33	2,5	6	44,5	0,1	0,7	0,7	5,2			30,5	0,016	-2,5	13,43
554-4-35	5	39,5	0,3	2,3	0,2	1,6	0,23	1,8	4,2	33	0,6	4,5	0,7	5,5			24	0,144	-2,5	11,23
554-4-36	7,2	44,5	0,3	2	0,1	0,7	0,03	0,3	6	41,5	0,6	4	0,6	4			33	0,100	-5	14,83
554-4-37	2,1	49,8	0,4	3,6	2	17,9	1,4	10,2	4,1	37	0,7	6,3	0,7	6,3			24	0,170	+6,45	14,44
554-4-38	5	45	0,2	1,8	0,1	0,9	0,05	0,4	4,5	40,5	0,7	6,4	0,5	4,5			26	0,155	-0,4	11,05
554-5-1	6,4	40,5	0,2	5,1	0,1	0,6	0,01	5,1	8,2	39,5	0,2	5,1	0,4	3,8			35	0,027	-5	15,71
554-7-1	4,6	38,5	0,7	6	0,3	1,7	0,11	0,9	3,9	33,3	1	8,5	1,3	10,3			24,5	0,250	-5	11,44
554-7-2	6,6	36,5	1,2	6,7	0,7	3,9	0,28	1,5	6,3	35	1,7	9,4	1,3	7,2			40	0,230	-0,85	12,09

INDICES	TAC		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		TH	Mg Ca	Cl-NO Cl	Total on me/l
	Co ₂	Co ₃ H	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%	me/l	%				
555-1-5	4,2	28,5	1,8	11,8	2,1	13	0,01	-	5,2	34	0,8	5,2	2,1	13	-	-	30	0,152	0	15,01
555-1-6	4,5	26,5	1,9	11,2	2,1	11,8	0,01	-	5,8	34	0,5	29,5	2,2	13	-	-	31,5	0,086	-0,1	16,91
555-1-8	5,8	29,5	1,1	2,2	1,2	6	1,72	8,6	8,8	45	0,2	1	0,9	0,9	-	-	45	0,023	+0,25	19,62
555-1-9	5,2	28,5	0,2	1,7	0,1	0,9	0,07	-	4,9	41	1,4	12	0,1	0,8	-	-	31,5	0,285	0	11,92
555-1-11	5,2	47	0,3	2,7	0,1	0,9	0,05	0,4	4,8	43,5	0,2	1,8	0,4	3,6	-	-	25	0,042	-3	11,05
555-1-12	4,2	44	0,3	3,2	0,1	1	0,17	0,18	3,9	40,5	0,4	4	0,5	5,2	-	-	21,5	0,103	-4	9,57
555-1-14	5	41	0,6	4,9	0,1	0,8	0,03	0,2	5,2	43	0,7	5,7	0,5	4	-	-	29,5	0,135	-4	12,13
555-1-16	4,4	42	0,5	4,8	0,1	1	0,03	0,3	4,2	40	0,8	7,6	0,4	3,7	-	-	25	0,190	-3	10,43

B.R.G.M.
Hydrogéologie

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

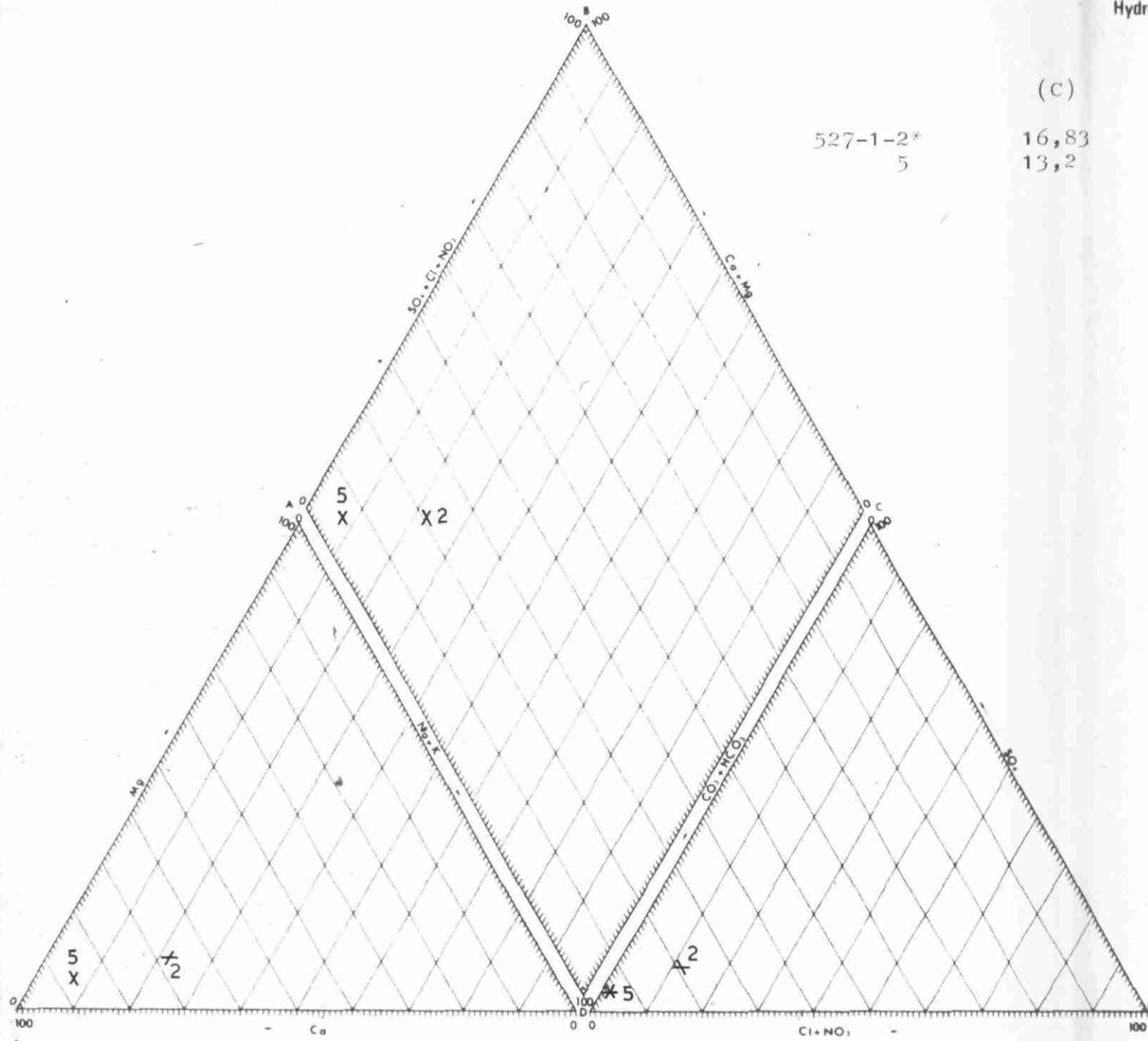
ANNEXE II 1

d'après PIPER (U.S. Geological Survey)

(c)

527-1-2*
5

16,83
13,2



(c)

527-2-8
14*
18

13,76
20,96
12,6

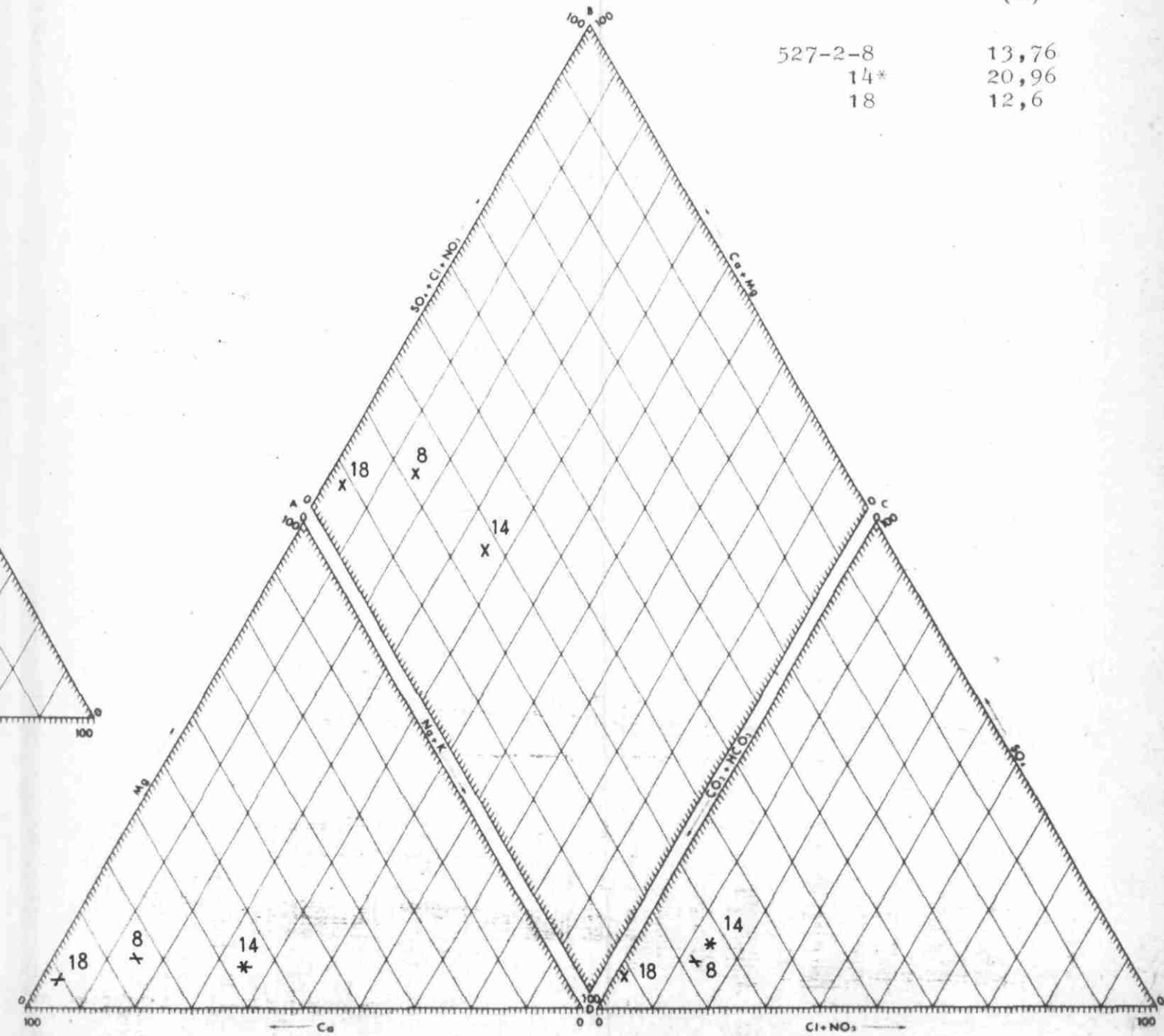


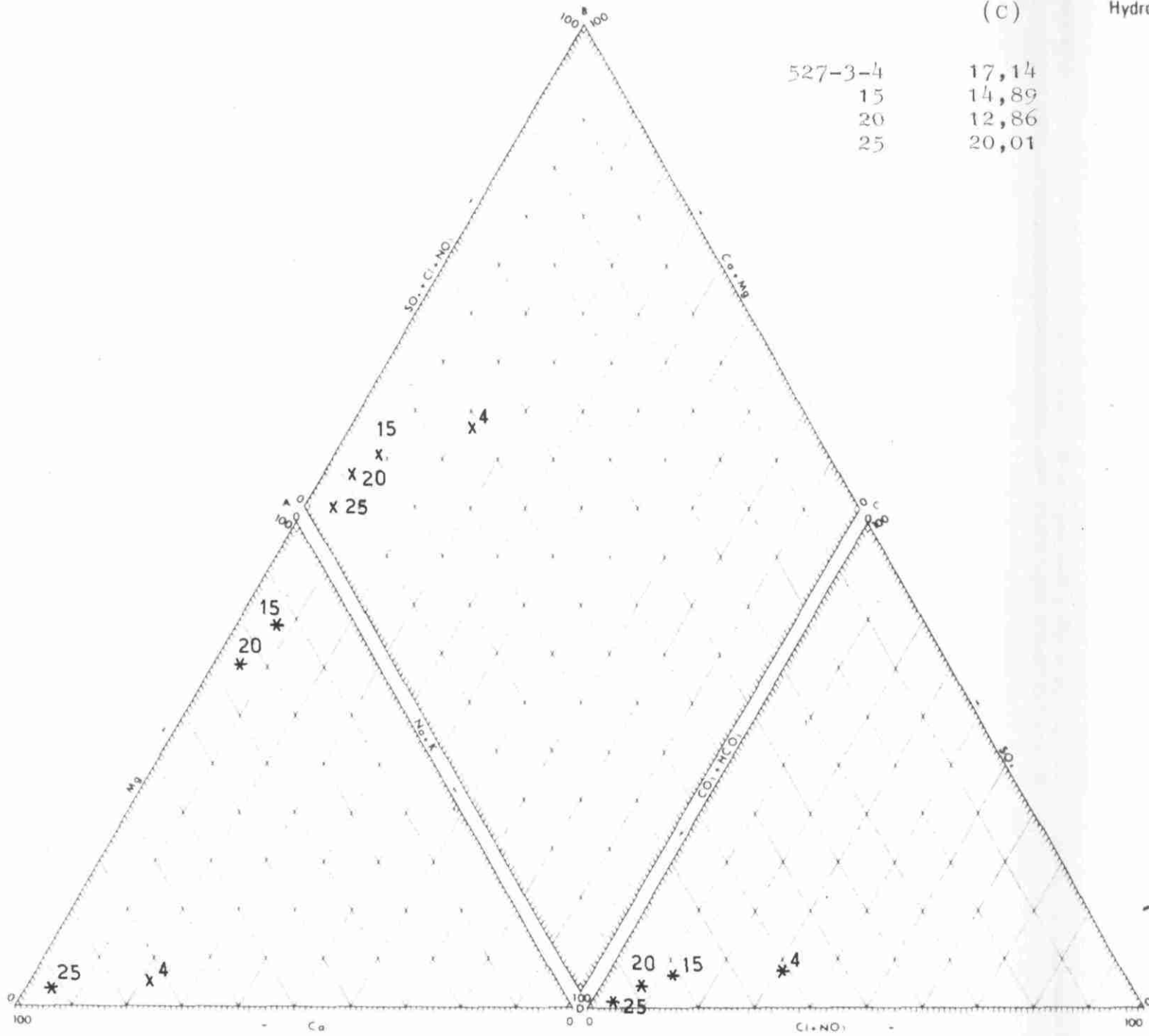
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

(après PIPER (U.S. Geological Survey))

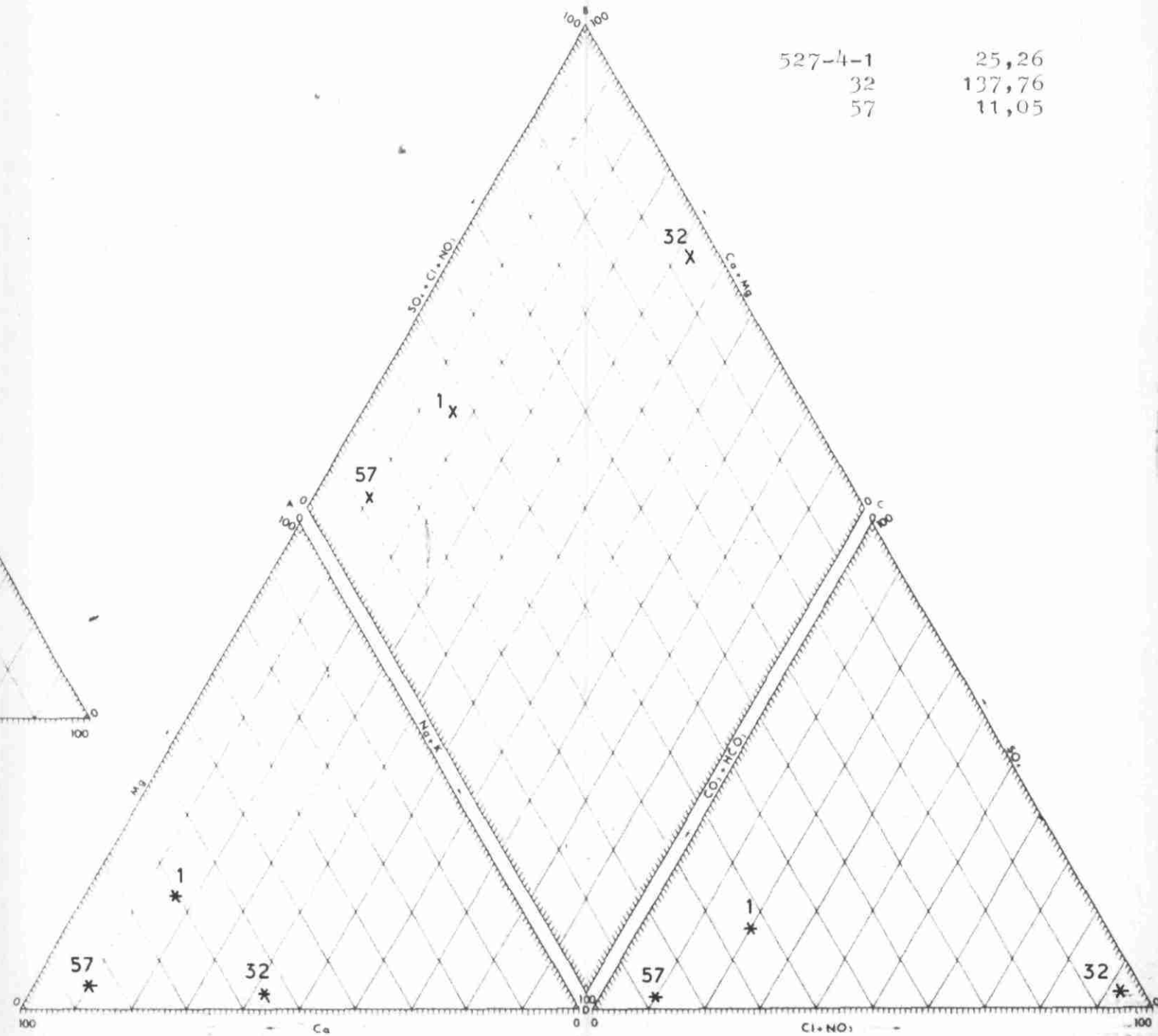
B.R.G.M.
Hydrogéologie

(C)

527-3-4 17,14
 15 14,89
 20 12,86
 25 20,01



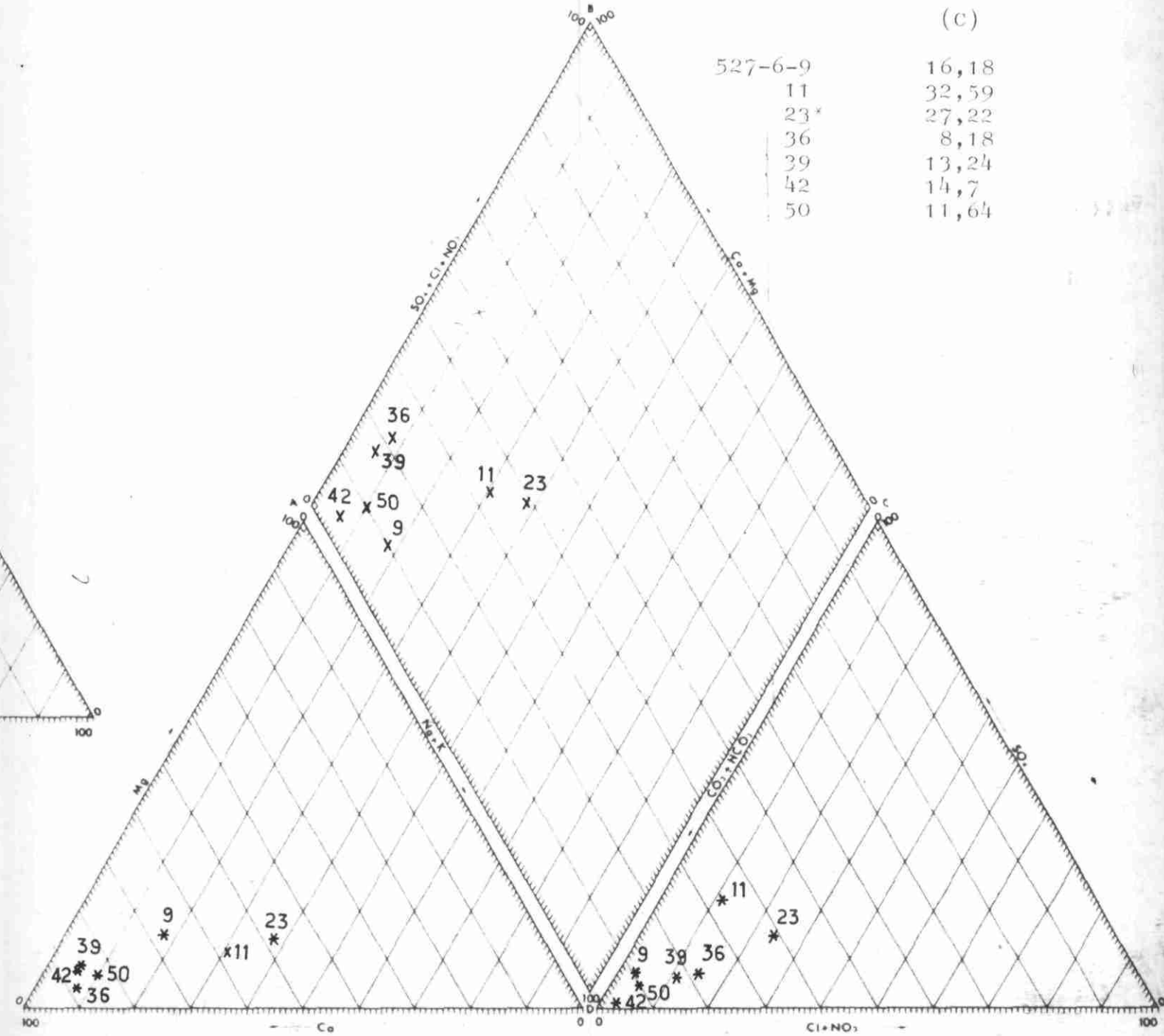
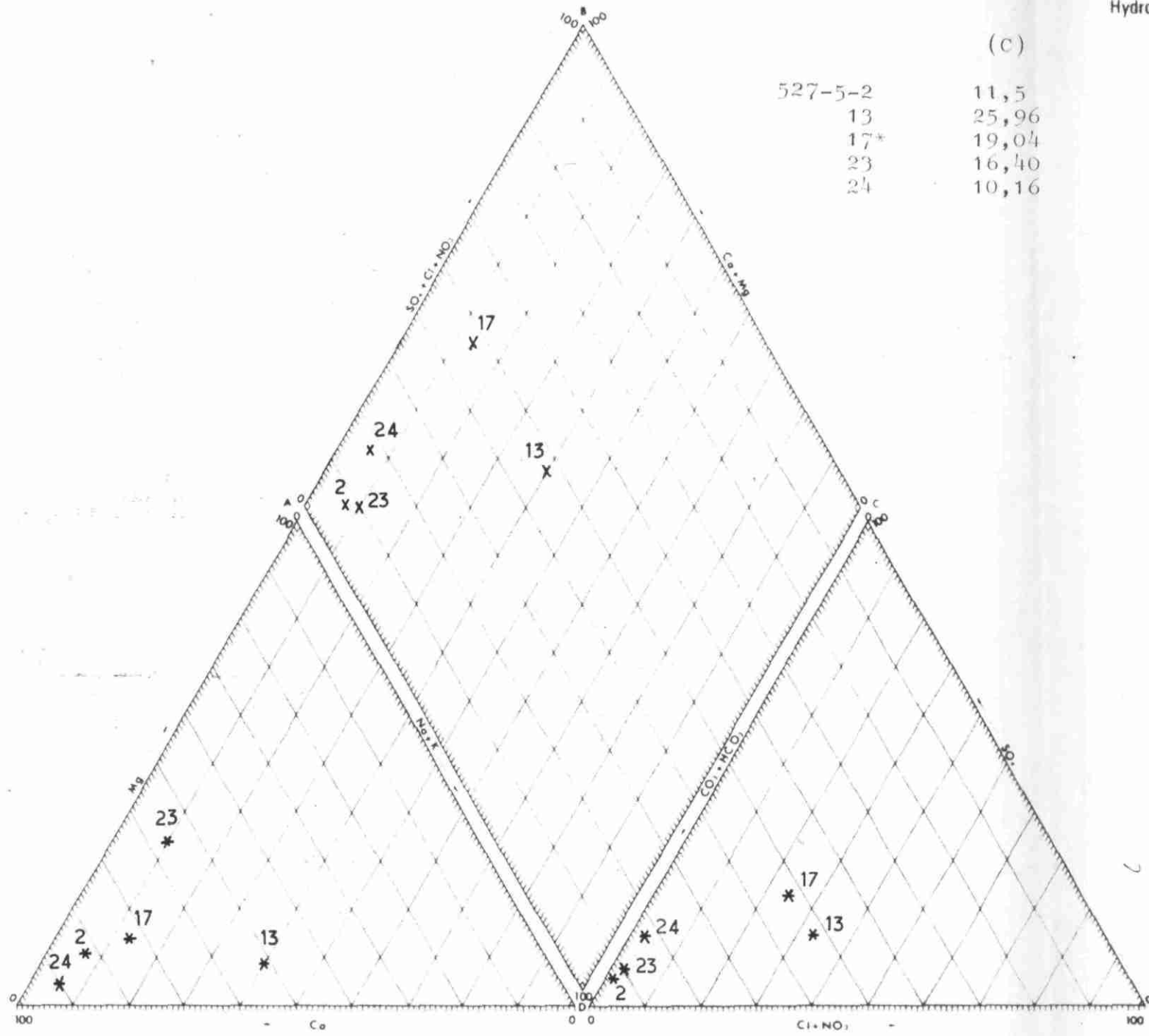
527-4-1 25,26
 32 137,76
 57 11,05



BRGM
Hydrogéologie

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S. Geological Survey)



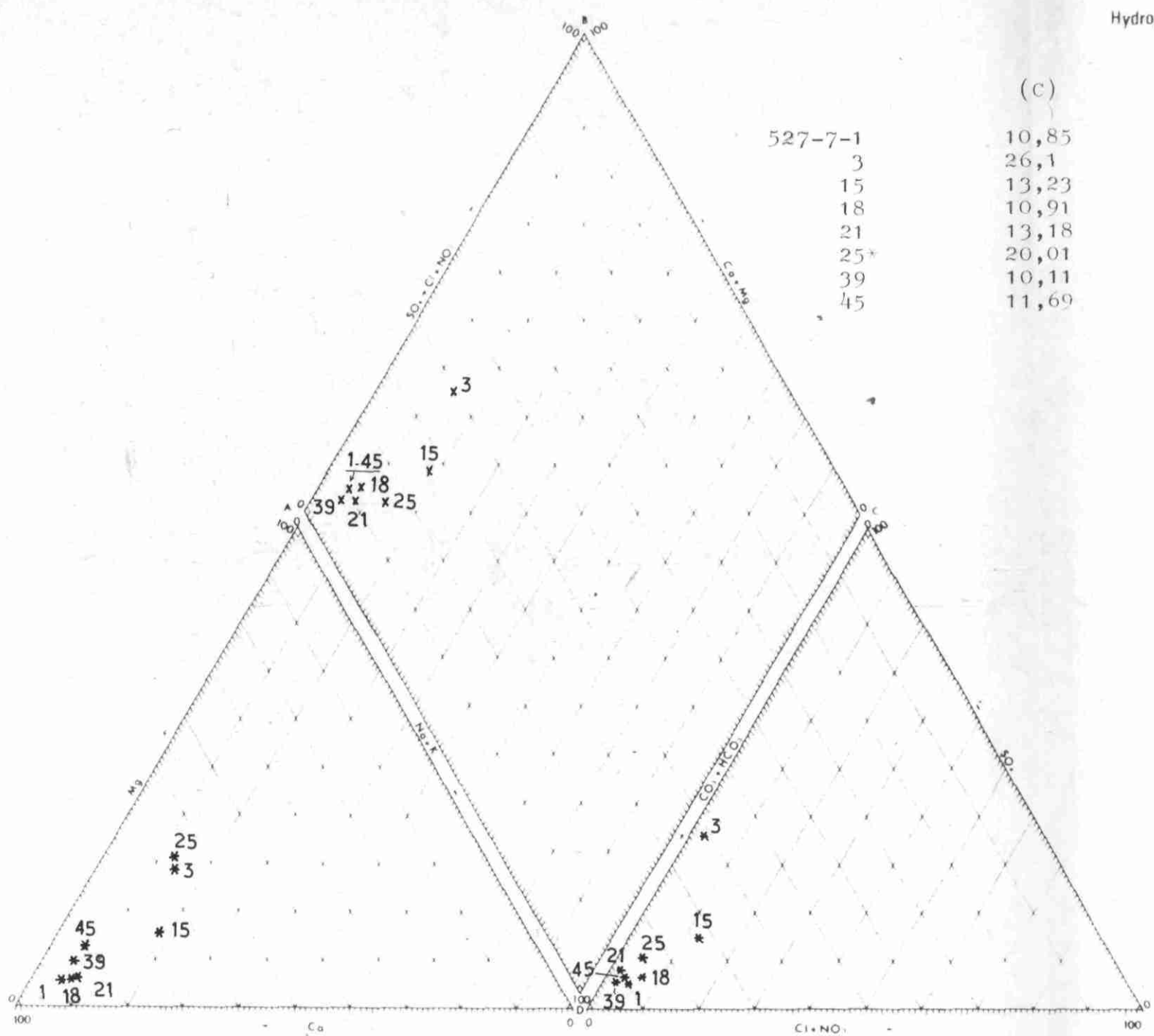
BRGM
Hydrogéologie

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S Geological Survey)

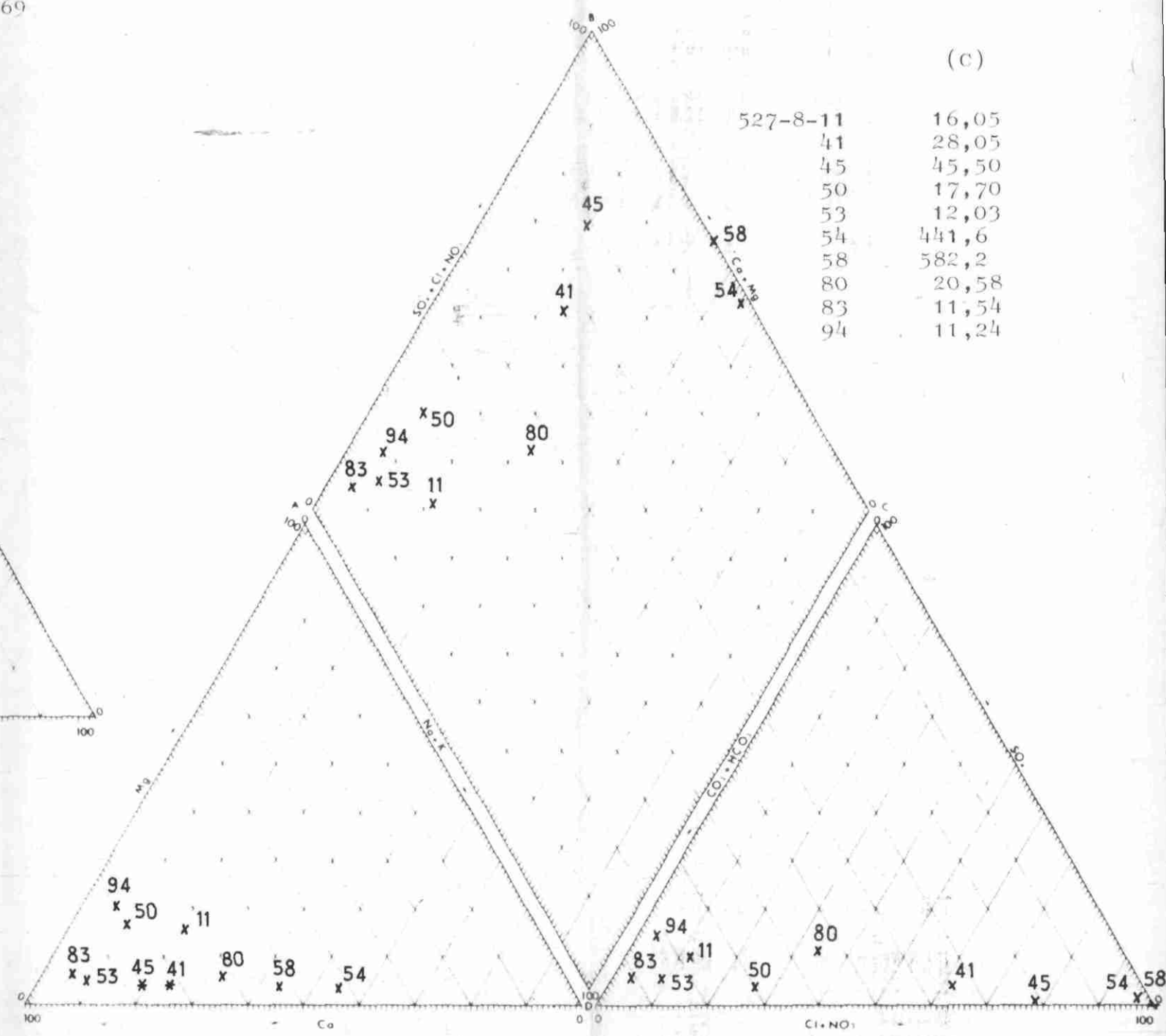
(c)

527-7-1	10,85
3	26,1
15	13,23
18	10,91
21	13,18
25*	20,01
39	10,11
45	11,69



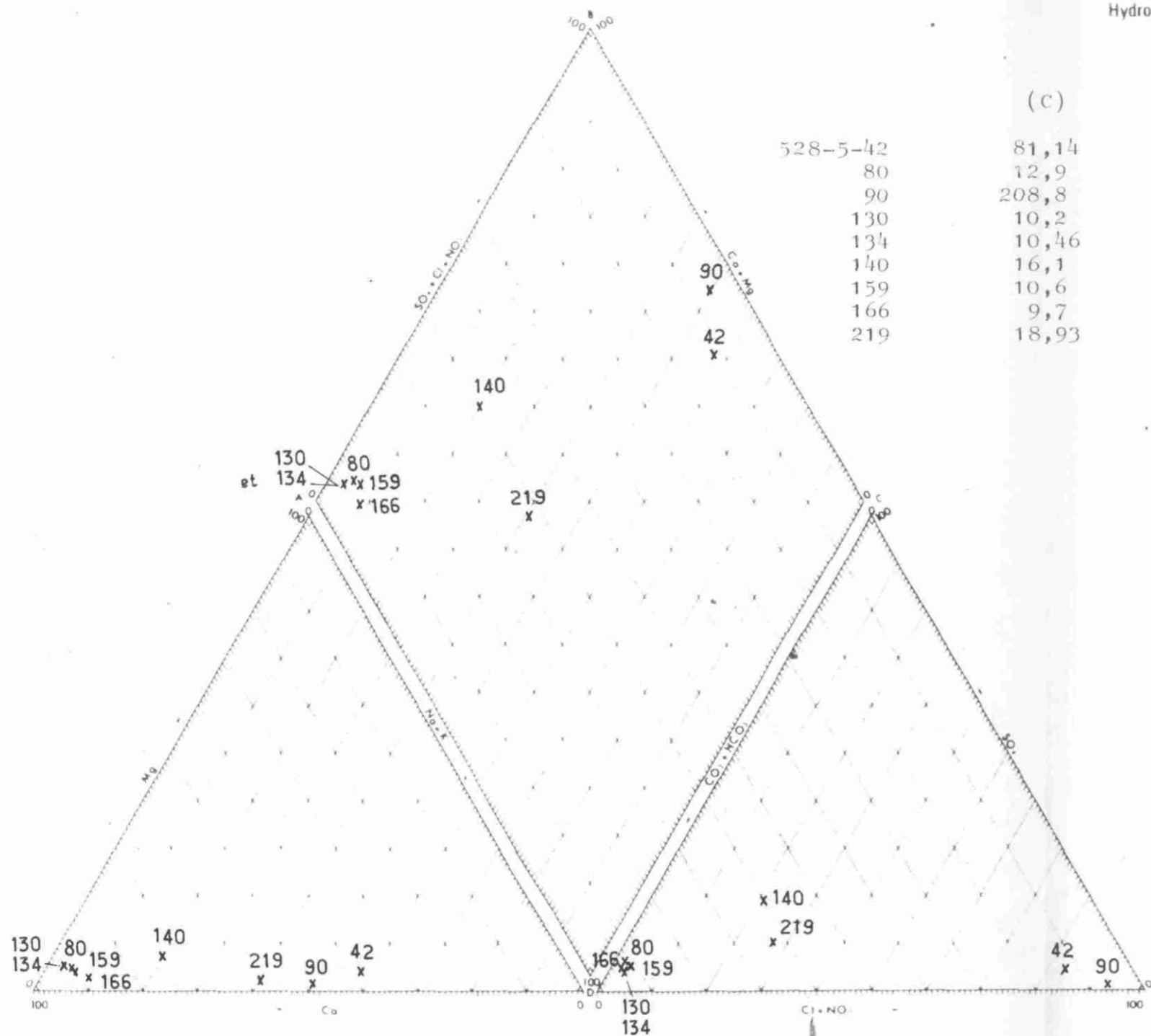
(c)

527-8-11	16,05
41	28,05
45	45,50
50	17,70
53	12,03
54	441,6
58	582,2
80	20,58
83	11,54
94	11,24

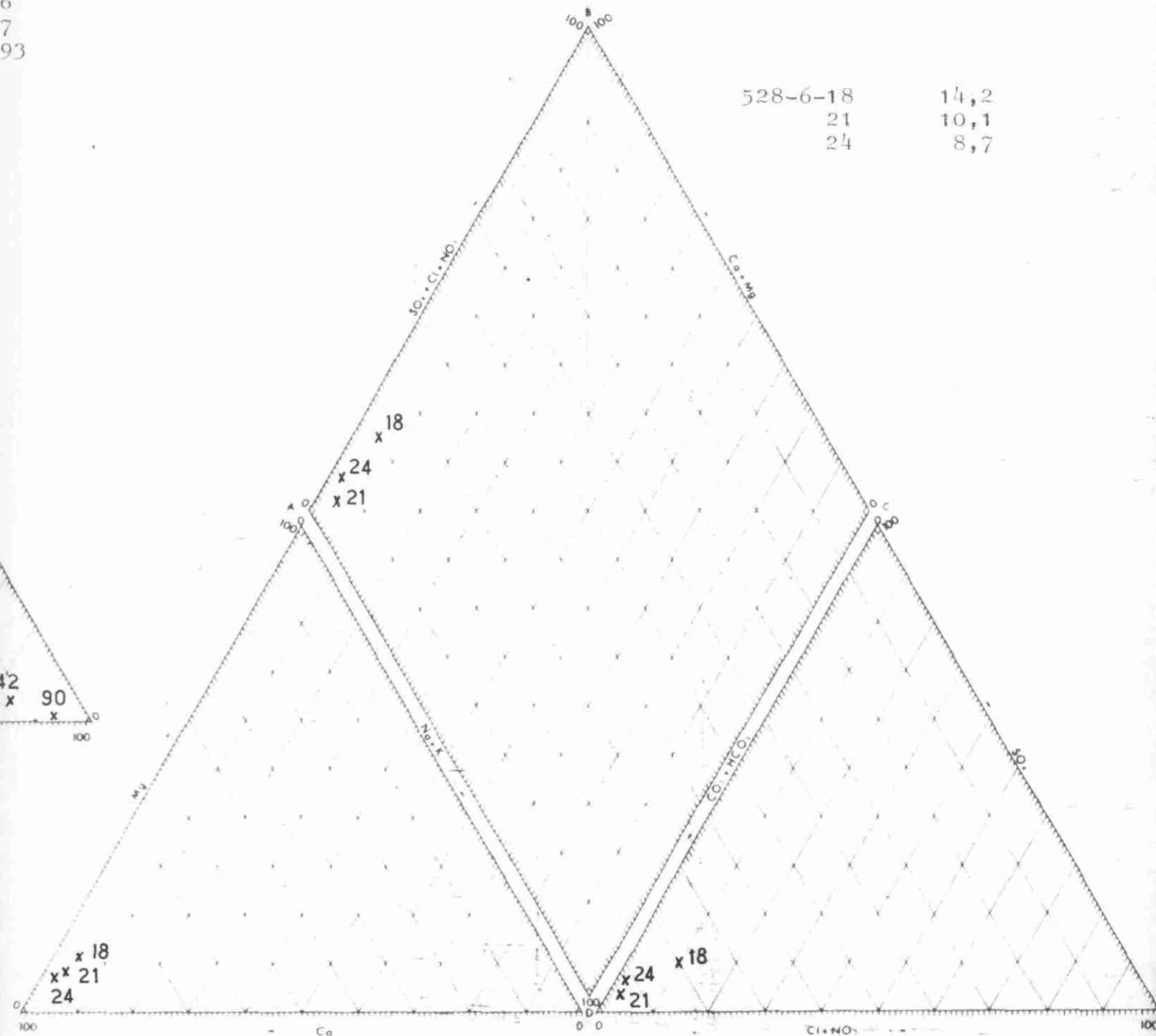


(c)

528-5-42	81,14
80	12,9
90	208,8
130	10,2
134	10,46
140	16,1
159	10,6
166	9,7
219	18,93

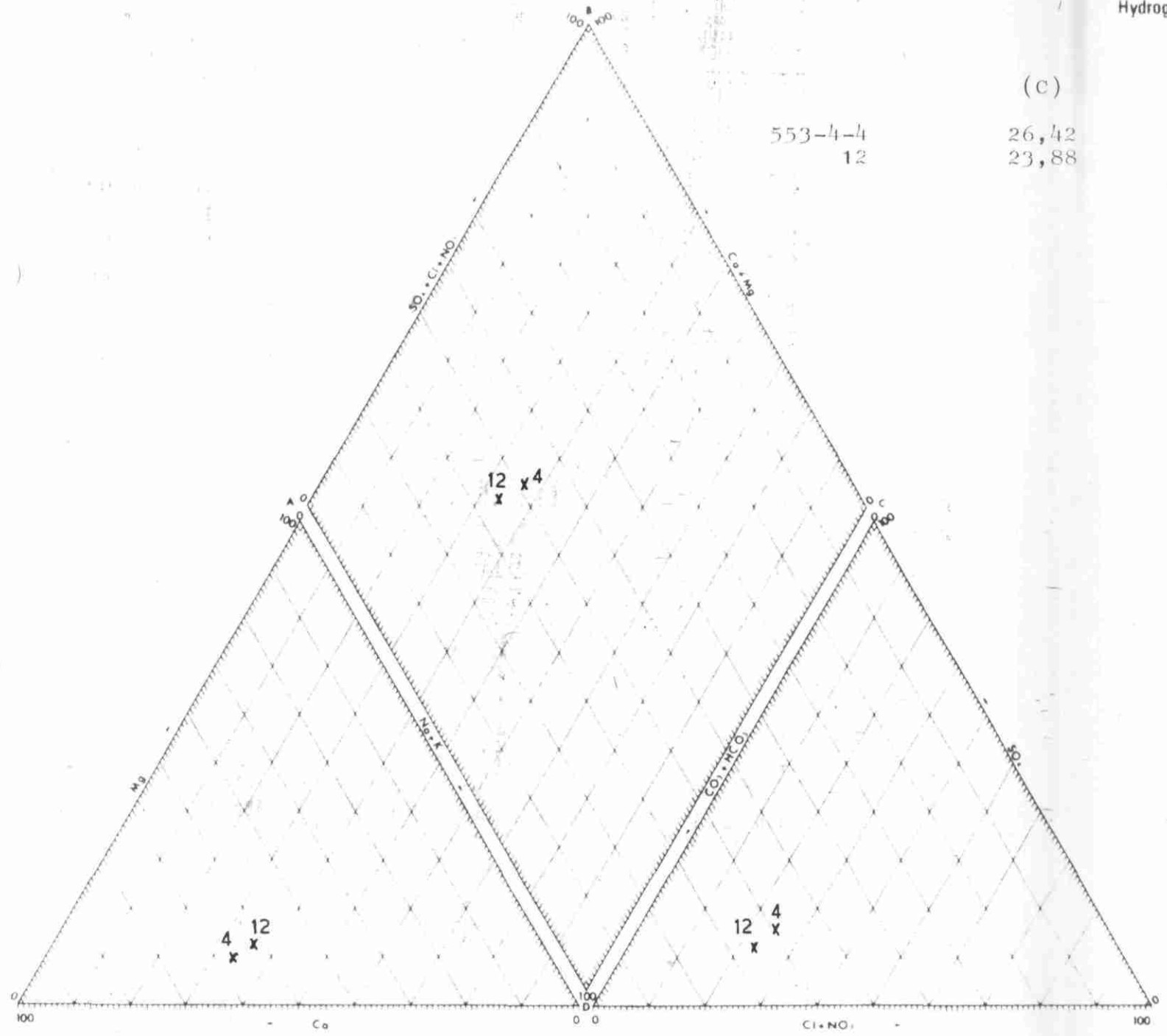


528-6-18	14,2
21	10,1
24	8,7



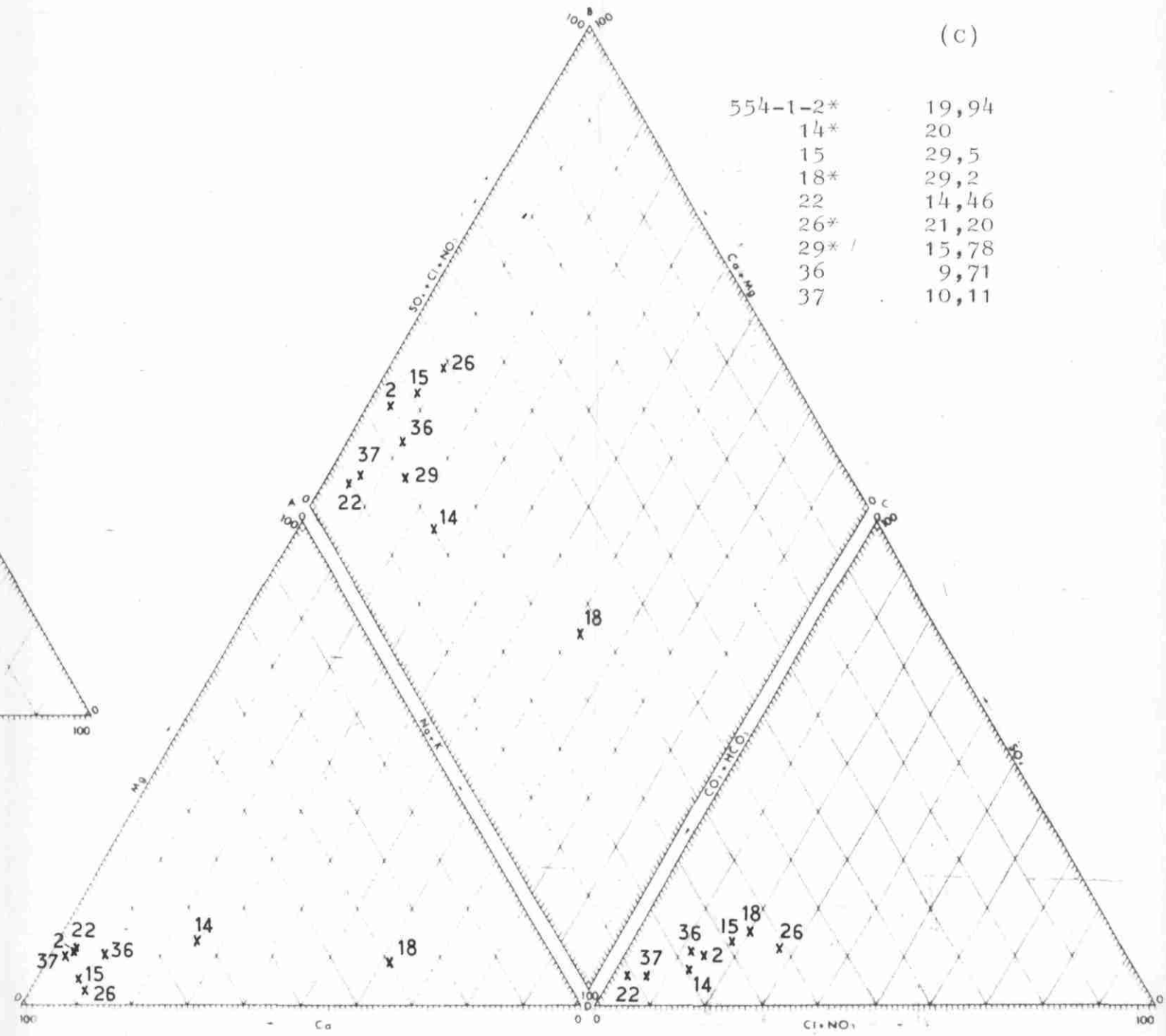
d'après PIPER (U.S. Geological Survey)

(c)
553-4-4
26,42
23,88
12



(c)

554-1-2* 19,94
14* 20
15 29,5
18* 29,2
22 14,46
26* 21,20
29* 15,78
36 9,71
37 10,11



BRGM
Hydrogéologie

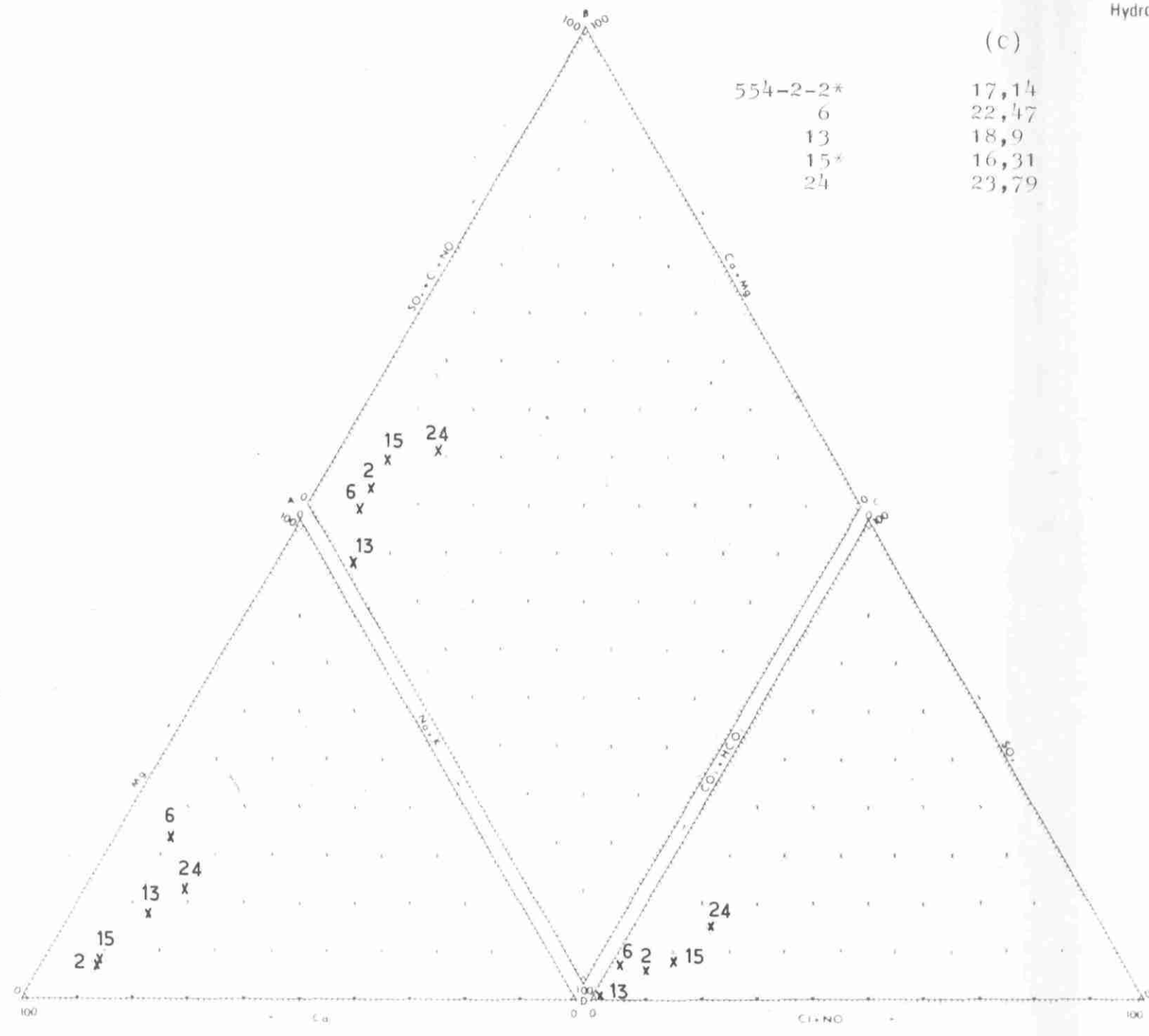
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S. Geological Survey)

(c)

554-2-2*
6
13
15*
24

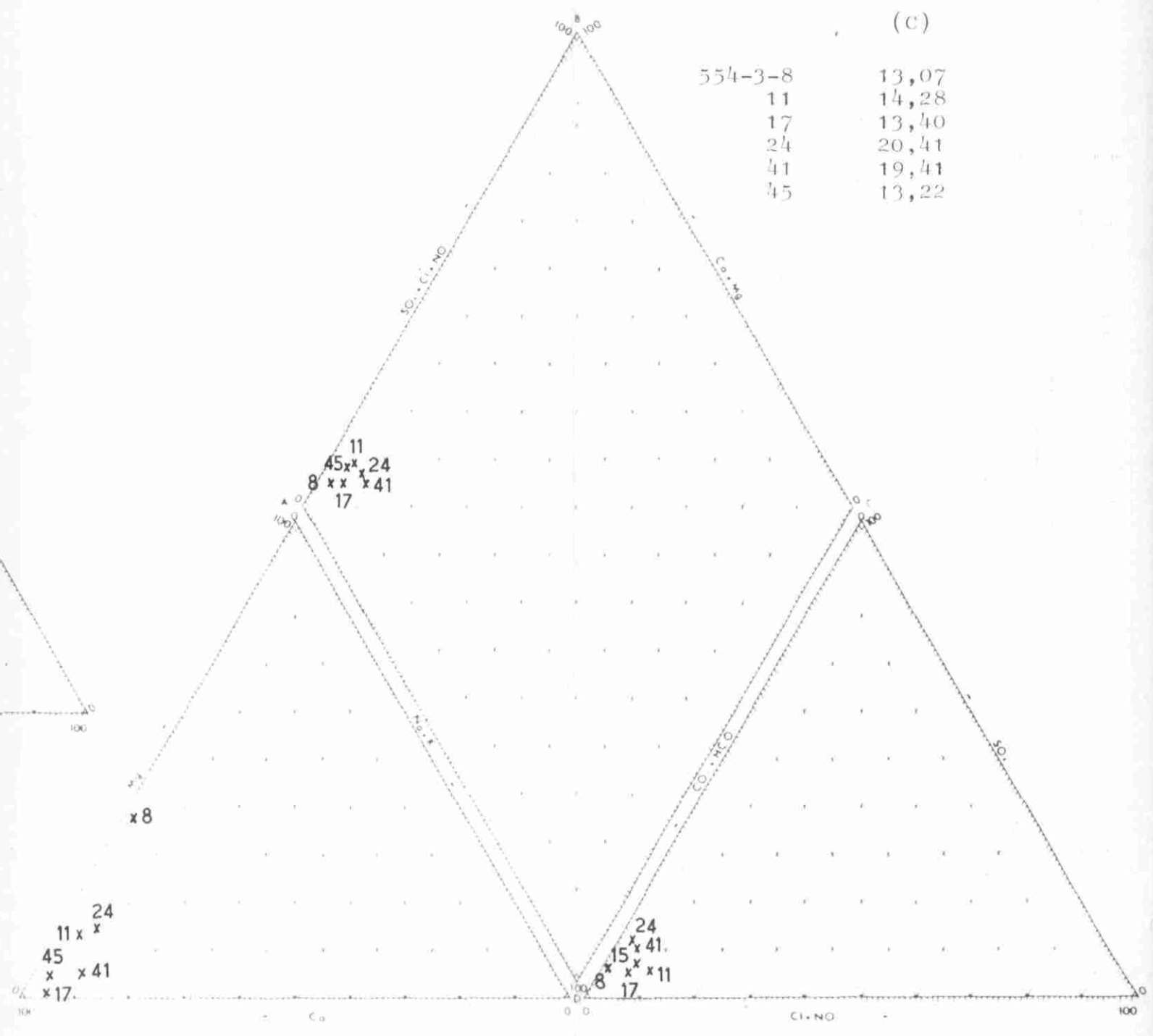
17,14
22,47
18,9
16,31
23,79



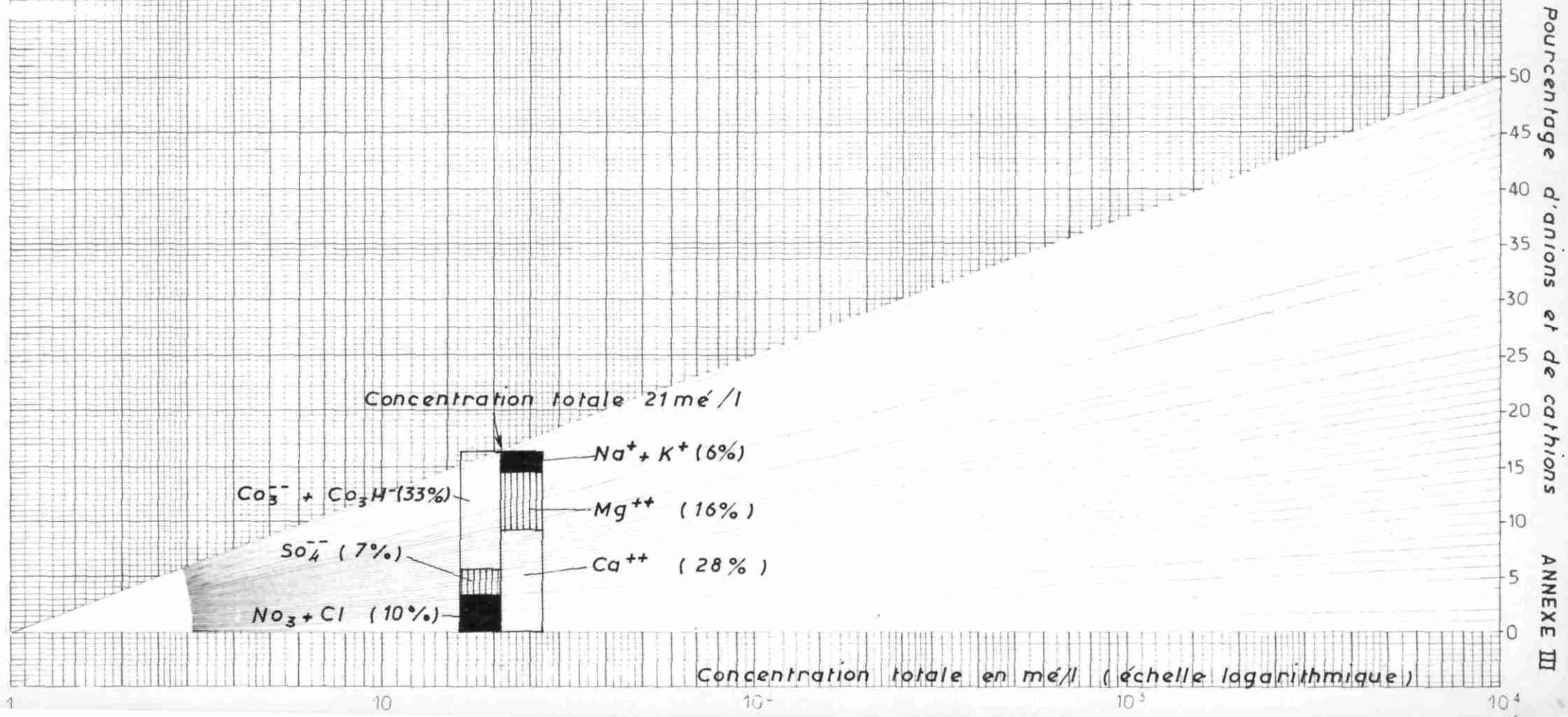
(c)

554-3-8
11
17
24
41
45

13,07
14,28
13,40
20,41
19,41
13,22

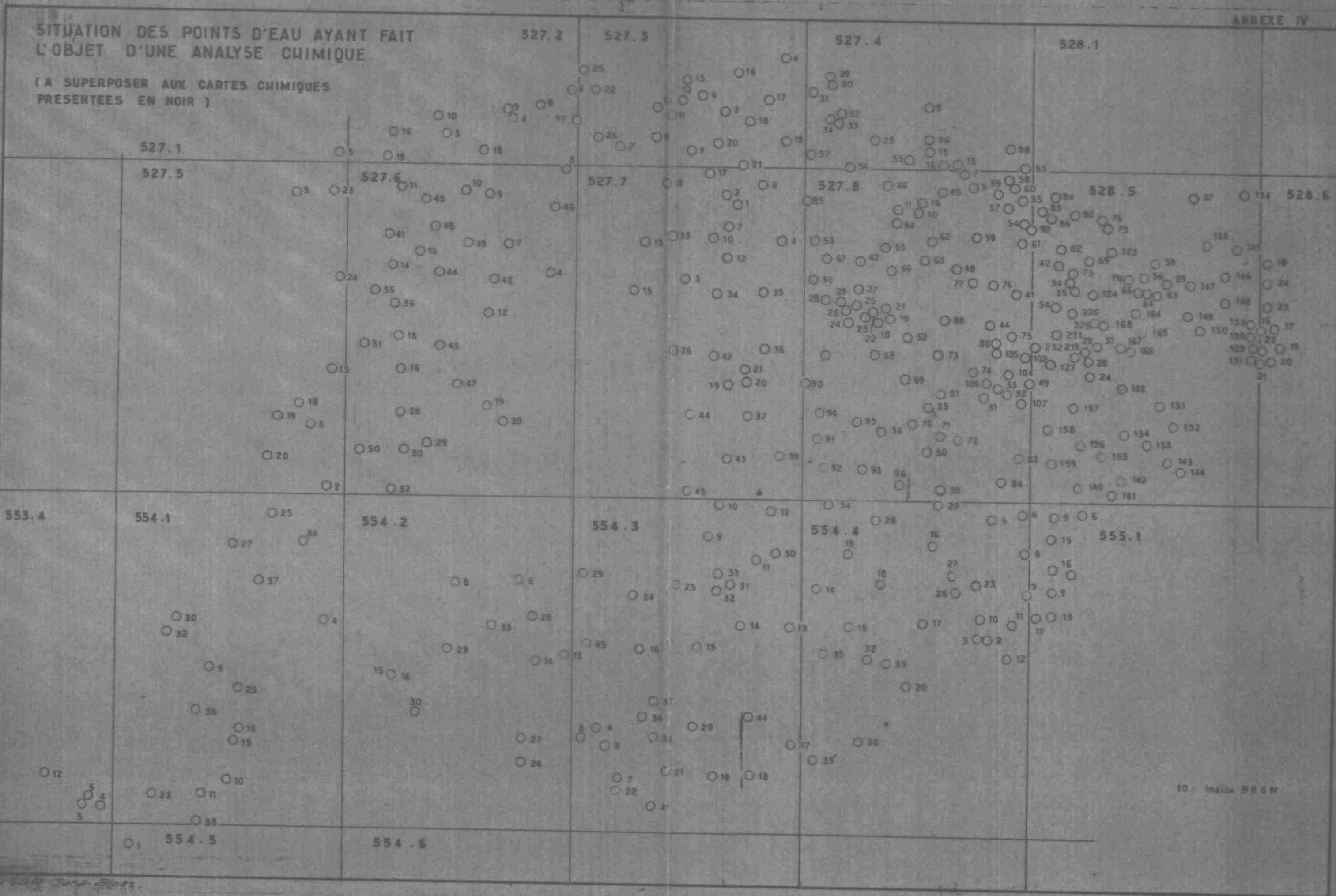


GRILLE POUR L'ETABLISSEMENT DES DIAGRAMMES RECTANGULAIRES - Faciès hydrochimiques des eaux -



SITUATION DES POINTS D'EAU AYANT FAIT L'OBJET D'UNE ANALYSE CHIMIQUE

(A SUPERPOSER AUX CARTES CHIMIQUES PRESENTEES EN NOIR)



10 - Indice BRGM

Carte Jura-Alpes

71 SON 180 341

CARTE HYDROCHIMIQUE DE SYNTHESE

LEGENDE

$Ca^{2+} + Co_3 H^{-}$ $Na^{+} + K^{+}$
 Mg^{2+}
 SO_4^{2-}
 $NO_3^{-} + Cl^{-}$

CONCENTRATIONS EN %
 Echelle des concentrations absolues : la hauteur des rectangles est proportionnelle au logarithme de la concentration en mg/l

Sens d'écoulement de la nappe

Pollution majeure de caractère industriel

Pollution résiduelle

Pollution secondaire domestique, agricole ou naturelle liée aux aquifères perchés

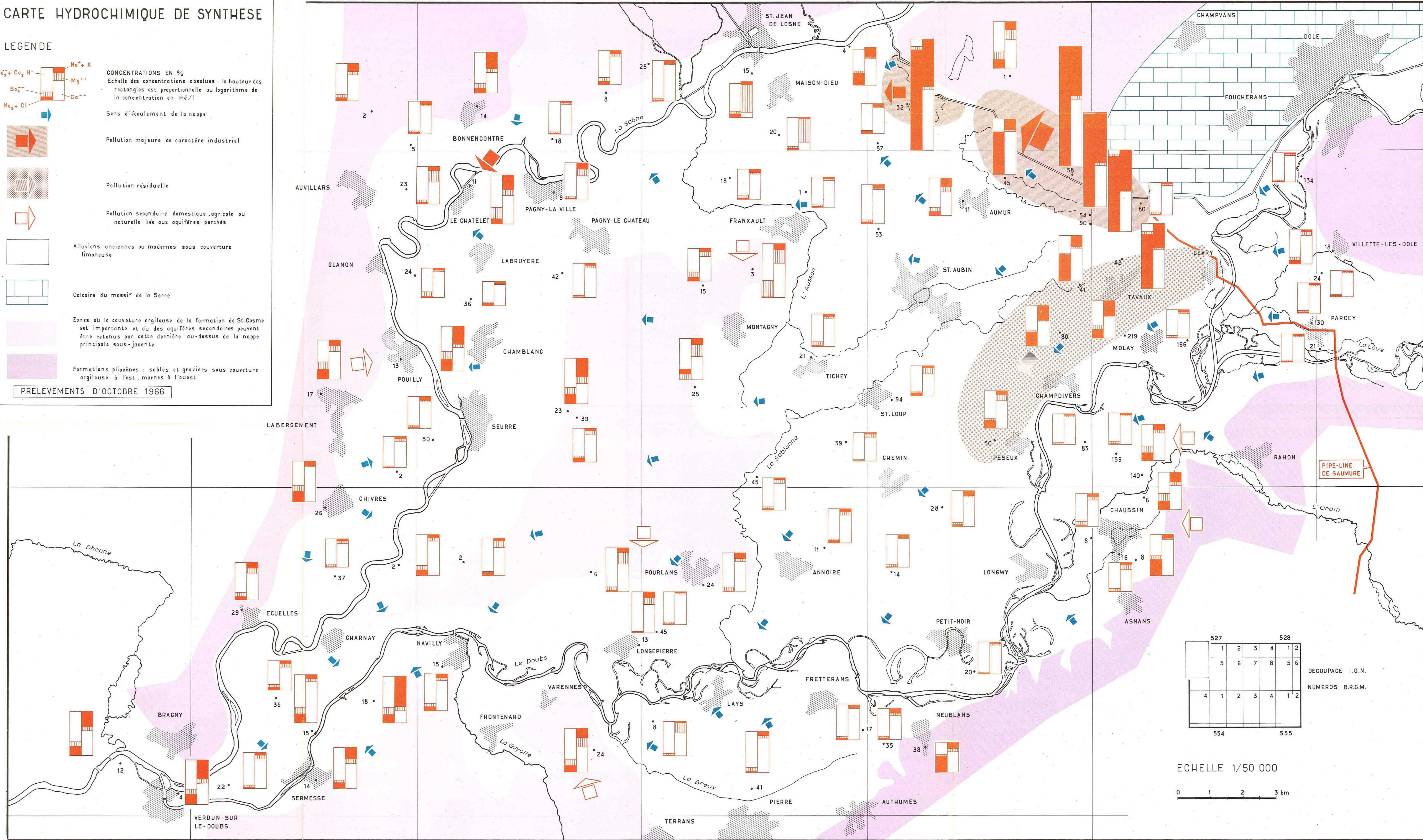
Alluvions anciennes ou modernes sous couverture limoneuse

Calcaire du massif de la Serre

Zones où la couverture argileuse de la formation de St. Cosme est importante et où des aquifères secondaires peuvent être retenus par cette dernière au-dessus de la nappe principale sous-jacente

Formations pliocènes : sables et graviers sous couverture argileuse à l'est, marnes à l'ouest

PRELEVEMENTS D'OCTOBRE 1966



527	1	2	3	4	1	2
	5	6	7	8	5	6
	4	1	2	3	4	1
554						555

DECOUPAGE I.G.N.
 NUMEROS B.R.G.M.

ECHELLE 1/50 000

