

THESE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR-INGENIEUR

en

GEOLOGIE DE L'INGENIEUR

par

Véronique SOUKATCHOFF-MERRIEN

~~~~~

Sujet

**VALORISATION DES FICHIERS QUALITE DES EAUX  
DE LA NAPPE DES GRES INFERIEURS DU TRIAS**

~~~~~

Soutenue publiquement le 15 novembre 1985 devant la Commission d'Examen :

JURY

MM. R. HOUPERT Président
C. CHAMBON
L. DEMASSIEUX
S. RAMON
J. RICOUR

THESE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR-INGENIEUR

en

GEOLOGIE DE L'INGENIEUR

par

Véronique SOUKATCHOFF-MERRIEN

~~~~~  
Sujet

**VALORISATION DES FICHIERS QUALITE DES EAUX  
DE LA NAPPE DES GRES INFERIEURS DU TRIAS**

~~~~~

Soutenue publiquement le 15 novembre 1985 devant la Commission d'Examen :

JURY

MM. R. HOUPERT Président
C. CHAMBON
L. DEMASSIEUX
S. RAMON
J. RICOUR

AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans cette thèse a été réalisé au Centre de Recherches en Mécanique et Hydraulique des Sols et des Roches de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de Nancy. Il a été financé par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse et le C.R.M.H.S.R.

J'adresse mes remerciements à M. le Professeur HOUPERT qui m'a accueillie au Laboratoire qu'il dirige et me fait l'honneur de présider mon Jury de thèse.

Je remercie également M. DEMASSIEUX qui a bien voulu diriger mon travail au cours de ces deux années.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la contribution du B.R.G.M. et je remercie MM. RICOUR et BABOT qui ont su me conseiller tout au long de cette étude.

L'A.F.B.R.M. a également permis la réalisation de cette thèse et j'adresse en particulier mes remerciements à M. RAMON pour l'intérêt et le soutien qu'il a bien voulu m'accorder.

M. le Professeur CHAMBON a accepté de faire partie de mon Jury et de revoir mon manuscrit ; je lui en suis reconnaissante.

Je tiens également à remercier les personnes qui m'ont conseillée et aidée lors de ce travail ; notamment MM. LABORDE, MALLET, ROYER (E.N.S.G.), GRAS, GUILLET (Laboratoire de Pédologie), RENAUD (B.R.G.M.) et les ingénieurs et opérateurs du C.I.R.I.L.

La frappe et la mise en page ont été réalisées par Mme RAMELLA et les dessins par M. GAIRE. Je leur adresse mes remerciements les plus reconnaissants.

S O M M A I R E

	Pages
<u>Résumé</u>	1
<u>Introduction</u>	3

1ère partie

Présentation de la nappe

I - Géologie	5
I.1 - Situation et extension latérale	5
I.2 - Stratigraphie	5
I.2.1 : Mur du Trias	5
I.2.2 : Le Trias inférieur	5
I.2.3 : Toit du Trias inférieur	12
I.3 - Structures	12
II - Hydrogéologie	14
II.1 - Extension horizontale	14
II.2 - Limites stratigraphiques de la nappe	14
II.2.1 : Limite inférieure de la nappe	14
II.2.2 : Limite supérieure de la nappe	14
II.3 - Fonctionnement de la nappe	14

2ème partie

Acquisition des données

I - Les analyses d'eau	17
I.1 - Description des fichiers informatiques	17
I.2 - Uniformisation des fichiers informatiques	18
I.3 - Fusion des fichiers	19
I.3.1 : Fusion des données chimiques	19
I.3.2 : Fusion des fichiers "caractéristiques"	20

	Pages
1.4 - Analyses anciennes	20
1.5 - Analyses à différentes profondeurs	21
1.6 - Fichiers finals	21
II - Les limites naturelles	25

3ème partie

Description des analyses : mode d'expression. Eléments analysés et représentation des analyses

I - Mode d'expression de la composition d'une eau	35
II - Description des paramètres	35
II.1 - Paramètres biochimiques	36
II.1.1 : Analyses bactériologiques	36
II.1.2 : Oxydabilité	36
II.2 - Paramètres physiques	36
II.2.1 : Résistivité	37
II.2.2 : Turbidité	37
II.3 - Paramètres chimiques	37
II.3.1 : Dureté ou Titre Hydrotimétrique	38
II.3.2 : Titre Alcalimétrique Complet	38
II.3.3 : pH	39
II.3.4 : Essai au marbre	39
II.3.5 : Résidu sec	39
II.3.6 : Fer	40
II.3.7 : Magnésium	40
II.3.8 : Silice	40
II.3.9 : Phosphates	40
II.3.10 : CO ₂	41
II.3.11 : Eléments traces	41
III - Représentation des analyses : diagrammes de Piper	41
III.1 - Graphiques en colonnes	41
III.2 - Diagrammes verticaux	42
III.3 - Diagrammes triangulaires	42

4ème partie

Critique et analyses des données

I - Méthodes de vérification	45
I.1 - Absence d'identification	45
I.2 - Balance ionique	45
I.3 - Vraisemblances géochimiques	46
I.3.1 : Le produit résidu sec x résistivité	46
I.3.2 : Comparaison du TAC par rapport à HCO_3	47
I.4 - Vraisemblance statistique	49
I.4.1 : Histogrammes	49
I.4.2 : Coefficient de corrélation	51
I.5 - Remarques sur les méthodes de vérification	84
II - Comparaison des différentes fonctions étudiées entre elles : analyse en composantes principales	86
II.1 - Principe	86
II.2 - ACP sur les valeurs arithmétiques	86
II.2.1 : 24 variables	86
II.2.2 : 16 puis 15 variables	89
II.3 - ACP sur les valeurs logarithmiques	89
II.3.1 : 24 variables	96
II.3.2 : 16 variables	96
III - Evolution de la composition de l'eau dans l'espace	96
III.1 - Comparaison des teneurs de la nappe aux teneurs d'alimentation	96
III.2 - Editions des cartes	99
IV - Utilisation des diagrammes de Piper	99

5ème partie

Cartographie des différents paramètres

I - Présentation des programmes utilisés	105
I.1 - Position du problème	105

I.2 - Estimation de la fonction	105
I.3 - Archivage des données	107
I.4 - Représentation	107
II - Choix des méthodes de cartographie	107
II.1 - Différentes méthodes d'estimation.....	107
II.2 - Choix du pas	108
II.3 - Lissage	108
II.4 - Echelle de la représentation.....	108
III - Domaine d'étude, cartographie des limites naturelles et cartographies antérieures	111
III.1 - Domaine d'étude	111
III.1.1 : Limites du dessin	111
III.1.2 : Limites est	112
III.1.3 : Cartographie des points de prélèvements	113
III.2 - Limites naturelles	113
III.3 - Cartographies antérieures	113
IV - Présentation des cartes tracées	113
IV.1 - Choix d'une analyse par point	113
IV.2 - Cartographie sur les données brutes	114
IV.3 - Cartographie sur le fichier final	117
IV.3.1 : Cartographie des paramètres mesurés	118
IV.3.2 : Cartographie des rapports	122
IV.3.3 : Essai de représentation de l'agressivité de l'eau	124
<u>Conclusion</u>	131
<u>Bibliographie</u>	133
<u>Liste des annexes</u>	137

RESUME

Le réservoir des Grès Inférieurs du Trias a fait l'objet de nombreuses études. Le présent travail est un essai de synthèse des données de qualité des eaux, disponibles sur cet aquifère, en Lorraine.

Les mesures réalisées sur les forages et les sources captant cette nappe avaient été archivées en parallèle par différents organismes. Elles étaient disponibles sous forme de fichiers informatiques qu'il a fallu harmoniser puis concaténer. Cette dernière opération a permis l'obtention d'un fichier général de 10 600 analyses correspondant à 1 952 points de prélèvements.

Le fichier global a été ensuite critiqué afin d'essayer de détecter puis de corriger les nombreuses erreurs. Différents critères de sélection des valeurs aberrantes ont été mis en oeuvre. Le comportement similaire de certains éléments a pu être mis en évidence.

Enfin, certains paramètres mesurés et les rapports de plusieurs éléments ont été cartographiés sur l'ensemble du domaine d'étude. Ces cartes permettent la visualisation des variations des teneurs des différents paramètres dans l'aquifère, en particulier, l'influence des grands éléments structuraux et la différence entre les parties libre et captive de la nappe.

INTRODUCTION

La nappe des Grès Inférieurs du Trias est le plus important aquifère de l'est de la France et la principale ressource en eau potable de cette région. En effet, environ 30 % des prélèvements d'eaux souterraines en Lorraine proviennent de cet aquifère.

De nombreuses études ont été réalisées sur cette nappe :

- un modèle de fonctionnement de la nappe a été présenté par J.J. PERAUDIN dans sa thèse "Conception et réalisation d'un modèle de gestion de la nappe des Grès Inférieurs du Trias en Lorraine", soutenue en octobre 1983. Cette étude concernait l'aspect quantitatif de la nappe ;

- des modèles de gestion de la nappe ont été effectués par le B.R.G.M. (notamment le S.G.A.L.). Des études sur son aspect qualitatif ont été réalisées mais soit elles concernaient des parties géographiquement restreintes (par exemple l'anomalie chlorurée de la zone de Sarralbe), soit elles n'étudiaient que quelques paramètres caractéristiques.

L'étude actuelle doit présenter une synthèse des données chimiques de l'aquifère : évolution dans l'espace de la qualité de la ressource en fonction des zones d'alimentation et des conditions d'écoulement.

1ère partie : PRÉSENTATION DE LA NAPPE

I - GEOLOGIE

1.1 - Situation et extension latérale

Les grès du Trias inférieur (Buntsandstein) s'étendent de la bordure ouest du département de la Meuse jusqu'aux Vosges où ils affleurent (cf. figures I.1 et I.2). A l'ouest et au sud de leur affleurement, les grès du Trias s'amenuisent (cf. figure I.3, coupes BB' et CC') ; on observe encore des faciès gréseux mais qui appartiennent stratigraphiquement au Muschelkalk.

La figure I.4 représente la paléogéographie du nord-est de la France au Trias.

1.2 - Stratigraphie

1.2.1 : Mur du Trias

Le Trias peut reposer sur trois types de substratum :

- le socle cristallin ou métamorphique région de Plombières),
- le carbonifère (dans l'anticlinal sarro-lorrain),
- le Permien. Ce dernier est constitué de grès rouges à violacés et il est différenciable du Buntsandstein par la présence de feldspaths (beaucoup moins abondants dans les faciès du Trias inférieur) et par sa plus faible porosité. Le Permien se termine souvent par un banc d'argile limite de 2 à 3 mètres d'épaisseur, ou parfois par des grès à gros éléments non usés, anguleux, de couleur rouge brique.

1.2.2 : Le Trias inférieur (Buntsandstein)

Un Log lithostratigraphique du Trias est représenté sur la figure I.5. Le Trias inférieur est subdivisé en trois grands ensembles :

Fig. I.1 - Faciès détritiques grossiers du Trias.
(Ph. MAGET, B.R.G.M.)

Extrait de "Synthèse Géologique du Bassin de Paris"

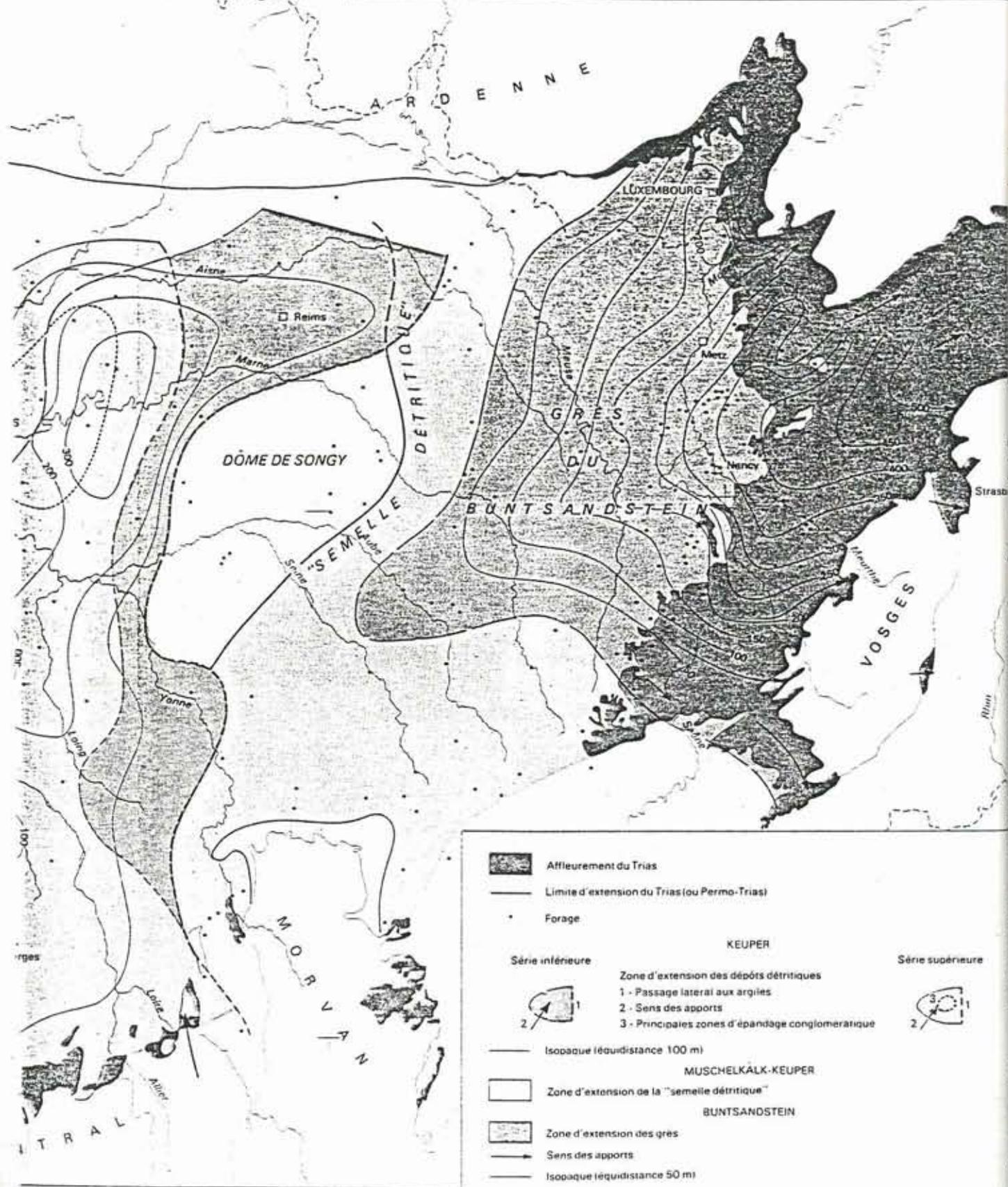
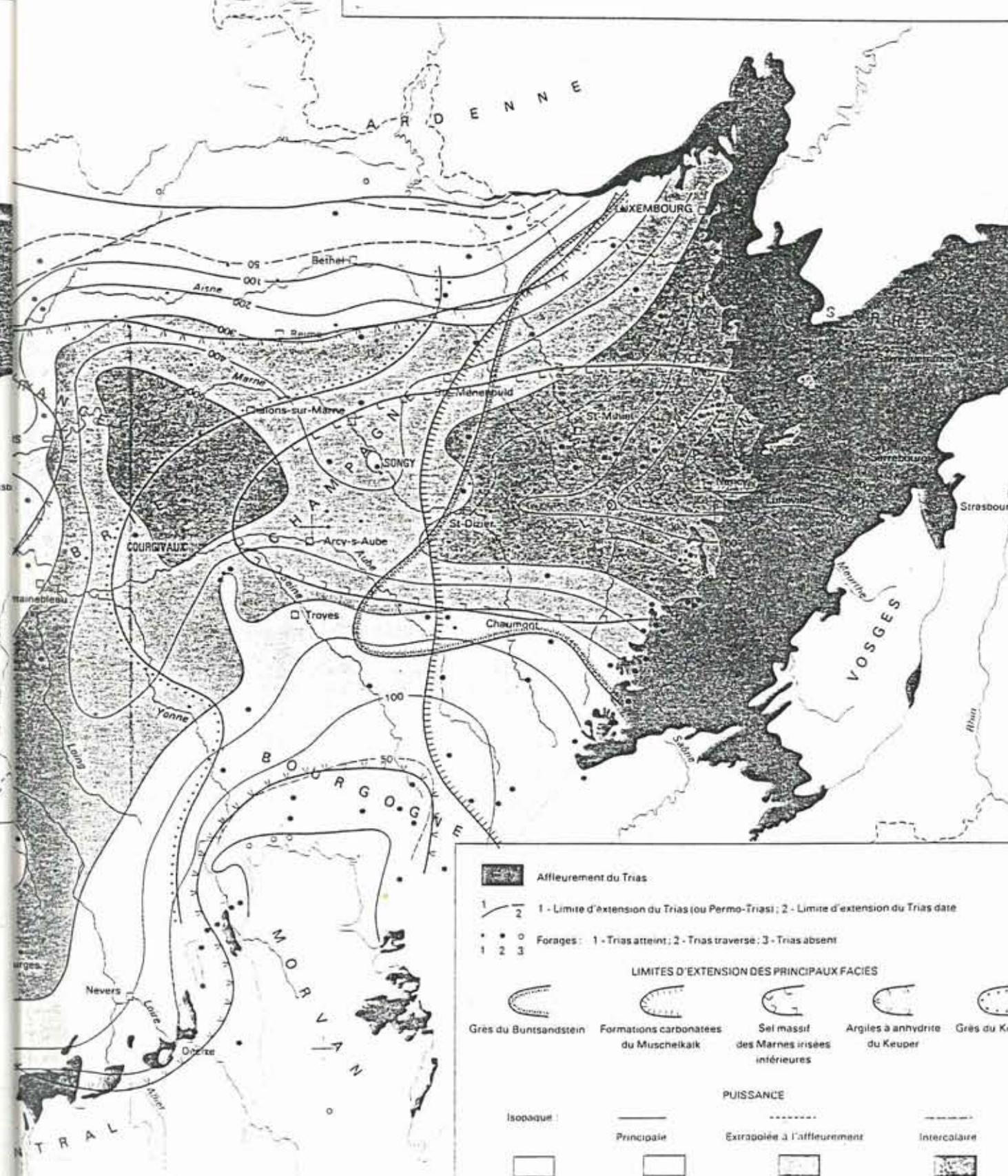


Fig. I.2 - Puissance totale et limite des principaux faciès du Trias.
(Ph. MAGET, B.R.G.M.)

Extrait de "Synthèse Géologique du Bassin de Paris"



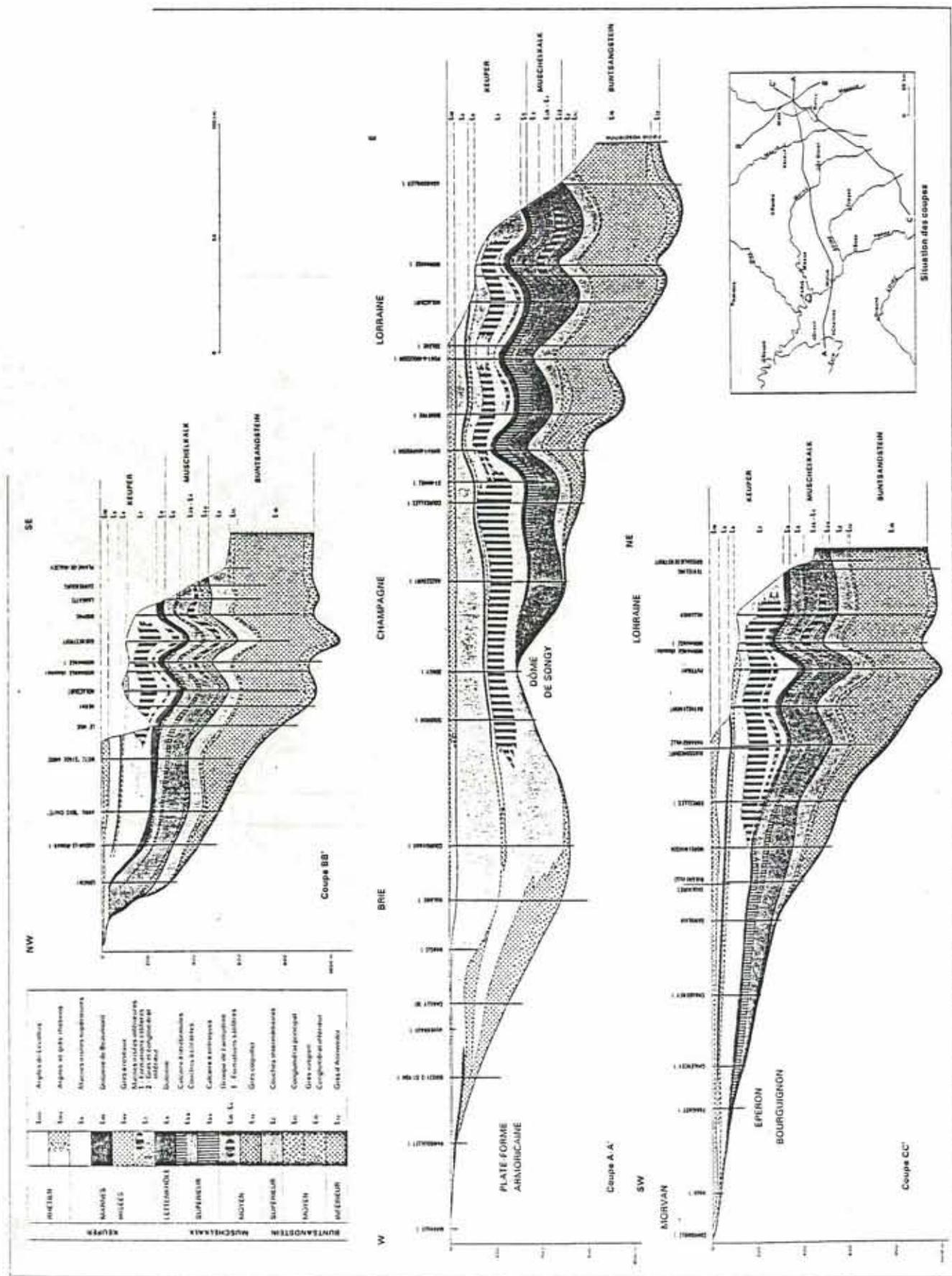
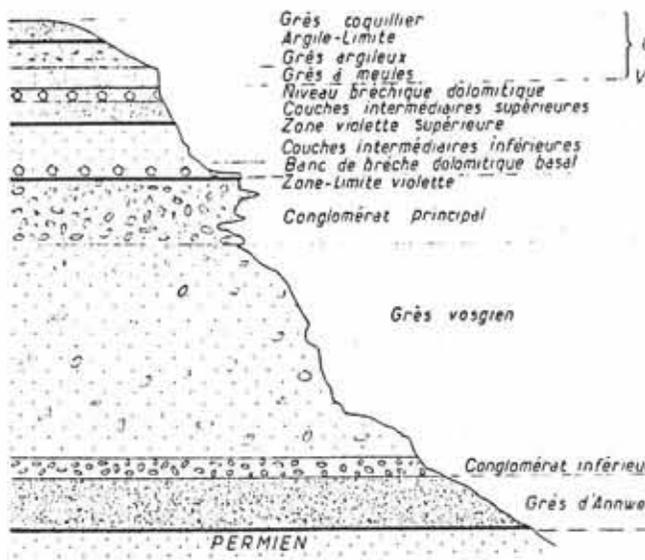
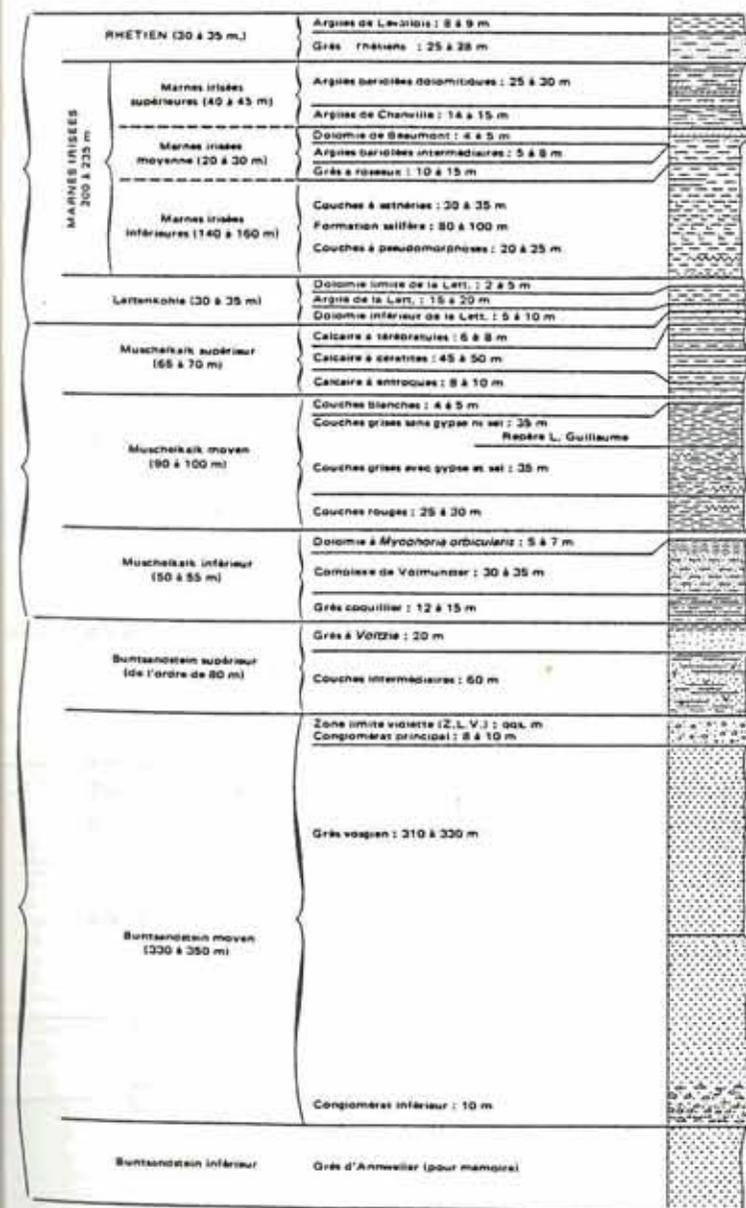


Fig. I.3 - Coupes lithostratigraphiques du Trias. (Ph. MAGET et C. MAÏAUX, B.R.G.M.) - Extrait de "Synthèse Géologique du Bassin de Paris"



Coupe schématique du Buntsandstein des Vosges gréseuses
 Fig. I.5 - Coupe schématique des faciès lorrains dans l'axe synclinal de Sarreguemines. (C. MAÏAUX)



Fig. I.4 - Esquisse paléogéographique du nord-est de la France pendant le Trias.

a) Le Grès d'Annweiler (Buntsandstein inférieur)

Ce faciès n'est présent qu'au nord-est de la Lorraine (région de Forbach) où il peut atteindre une épaisseur de 60 mètres. Il est constitué d'un grès, quartzo-feldspathique (80 % de quartz, 20 % de feldspaths) à grains fins, de couleur rouge foncé à brun-rouge, qui renferme des nodules de dolomie et de larges taches de pseudomorphose d'oxyde de manganèse. Ces grès ne contiennent pas de galets ; l'usure des grains de quartz est faible et ils se distinguent des grès du Permien par un bon classement granulométrique.

b) Le Grès Vosgien (Buntsandstein moyen)

Ce faciès se présente sous la forme de bancs de grès roses, fins à moyens, plus ou moins feldspathiques, à ciment ferrugineux et à stratification oblique ou en chenaux.

La base et le sommet de ces grès sont beaucoup plus grossiers et passent à un conglomérat à galets de quartz, quartzite et lydienne (respectivement conglomérat inférieur et conglomérat principal).

Le Grès Vosgien a une épaisseur maximale de 400 mètres (dans la région de Wissembourg) ; elle diminue rapidement vers l'ouest et le sud : 80 mètres à Bruyères, 15 à 30 mètres dans le bassin de Vittel-Contrexéville (cf. figure I.6).

Dans certains secteurs, un horizon violacé et bariolé de faible épaisseur (en général inférieur à 2 mètres), surmonte le conglomérat principal. C'est la Zone-Limite-Violette (Z.L.V.) caractérisée par des grès argileux fins de couleur violette qui contiennent souvent des nodules de dolomie et des lentilles de quartz et de calcite. Parfois, cet horizon peut devenir dolomitique (forage d'Escles). Quand elle existe, la Z.L.V., considérée comme un paléosol, constitue un excellent repère en forage.

c) Les Grès Bigarrés (Buntsandstein supérieur)

Ils ont une épaisseur maximale d'une centaine de mètres (cf. figure I.7) et peuvent être subdivisés en deux niveaux :

. Les Couches Intermédiaires

Elles sont constituées d'une alternance de grès feldspathiques grossiers brun-rouge et de minces niveaux sablo-argileux rouges ou verts, ou parfois d'argiles (au nord-est notamment).

Ce faciès intermédiaire entre le Grès Vosgien et le Grès à Voltzia se distingue du premier par la teinte plus sombre, la présence de muscovite et d'oxydes de manganèse dans certains bancs, et du dernier par la présence de bancs de dolomie et des couleurs variées (de lie-de-vin à gris-jaune).

Ces couches ont une épaisseur variant de 30 à 80 mètres environ ; elles sont plus épaisses au nord-est et se réduisent vers le sud-est.

. Le Grès à Voltzia

Il comprend de la base au sommet :

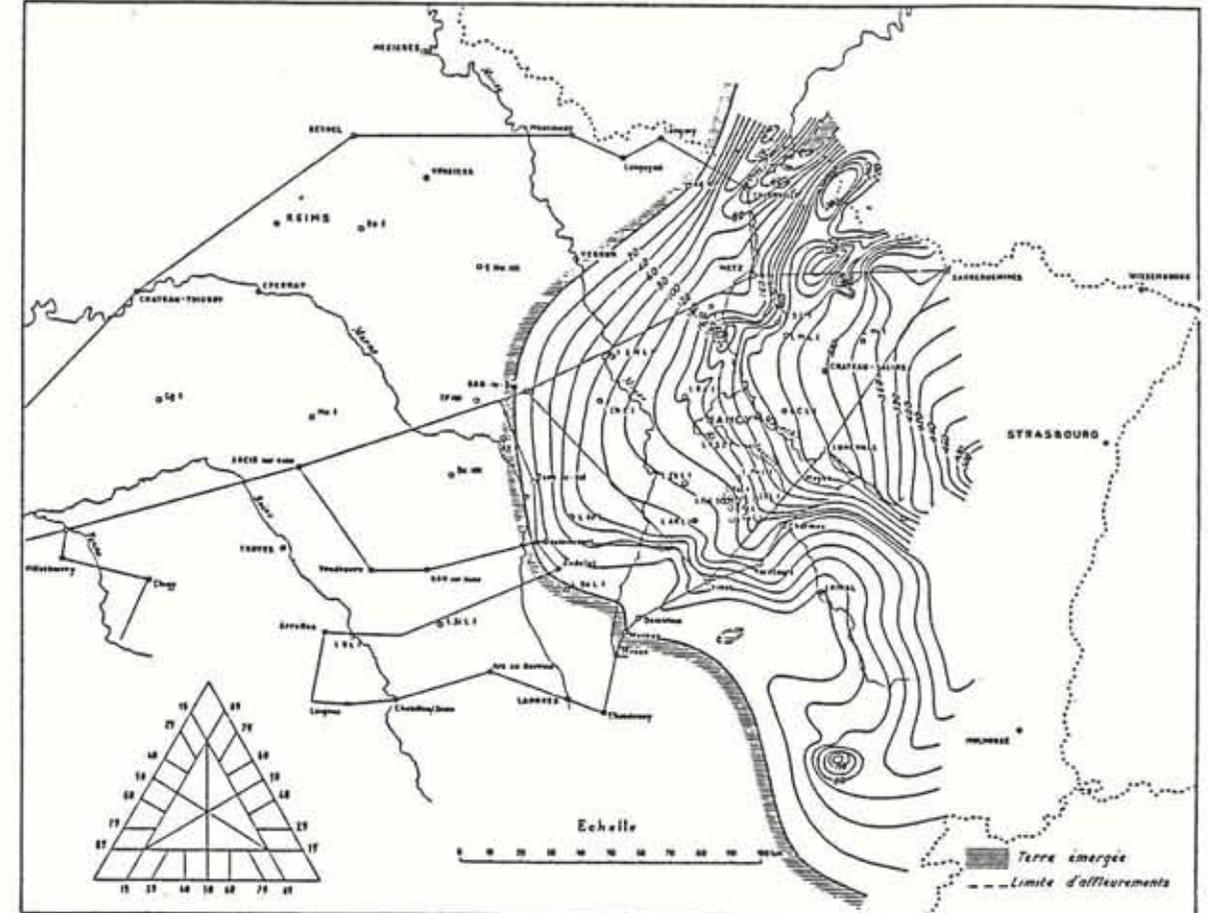


Fig. I.6 - Isopaques des Grès vosgiens du Trias inférieur.

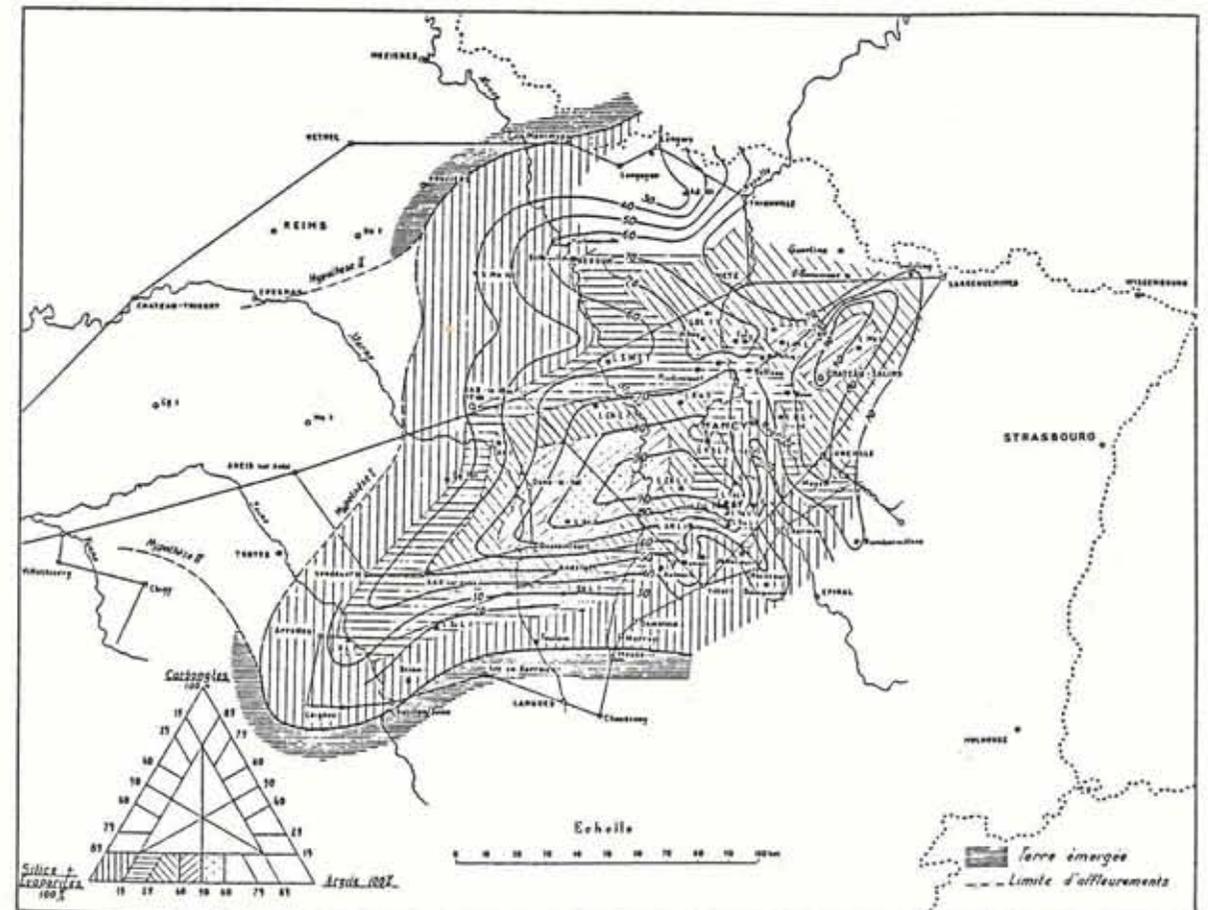


Fig. I.7 - Isopaques des Grès bigarrés du Trias inférieur.

- un horizon à plantes (*Voltzia heterophylla*) gris verdâtre à jaunâtre ;

- le Grès à Meules constitué de grès fins feldspathiques gris clair ou rouges, en bancs massifs séparés par des lentilles de grès argileux ou d'argiles ;

- le Grès Argileux comprenant une alternance de bancs gréseux, argileux et carbonatés ;

- l'Argile Limite termine en certains endroits le Grès à Voltzia. C'est un banc argileux rouge à vert, épais de 1 à 2 mètres.

Le Grès à Voltzia s'épaissit vers le sud-ouest où il peut atteindre une puissance d'environ 50 mètres.

Remarque :

La composition minéralogique des différents faciès et leur répartition, comme nous le verrons plus loin, peuvent avoir une influence sur la chimie de l'eau de la nappe.

I.2.3 : Toit du Trias inférieur

Le passage entre le Trias inférieur et le Trias moyen s'effectue progressivement entre le Grès à Voltzia et les Grès Coquilliers du Muschelkalk.

I.3 - Structures

Les Grès inférieurs triasiques sont affectés par de grands plis nord-est/sud-ouest. Du nord-ouest au sud-est, on distingue (cf. figure I.8) :

- l'anticlinal des Ardennes,
- le synclinal du Luxembourg,
- l'anticlinal du Hunsrück,
- le synclinal de Neukirchen,
- l'anticlinal Sarro-Lorrain,
- le synclinal de Sarreguemines,
- l'anticlinal Vosges - Forêt Noire.

Des failles de même direction ou de direction orthogonale (direction conjuguée) recoupent ces structures.

Des dômes anticlinaux ou des ennoyements d'axes synclinaux peuvent, par ailleurs, compliquer localement ces structures.

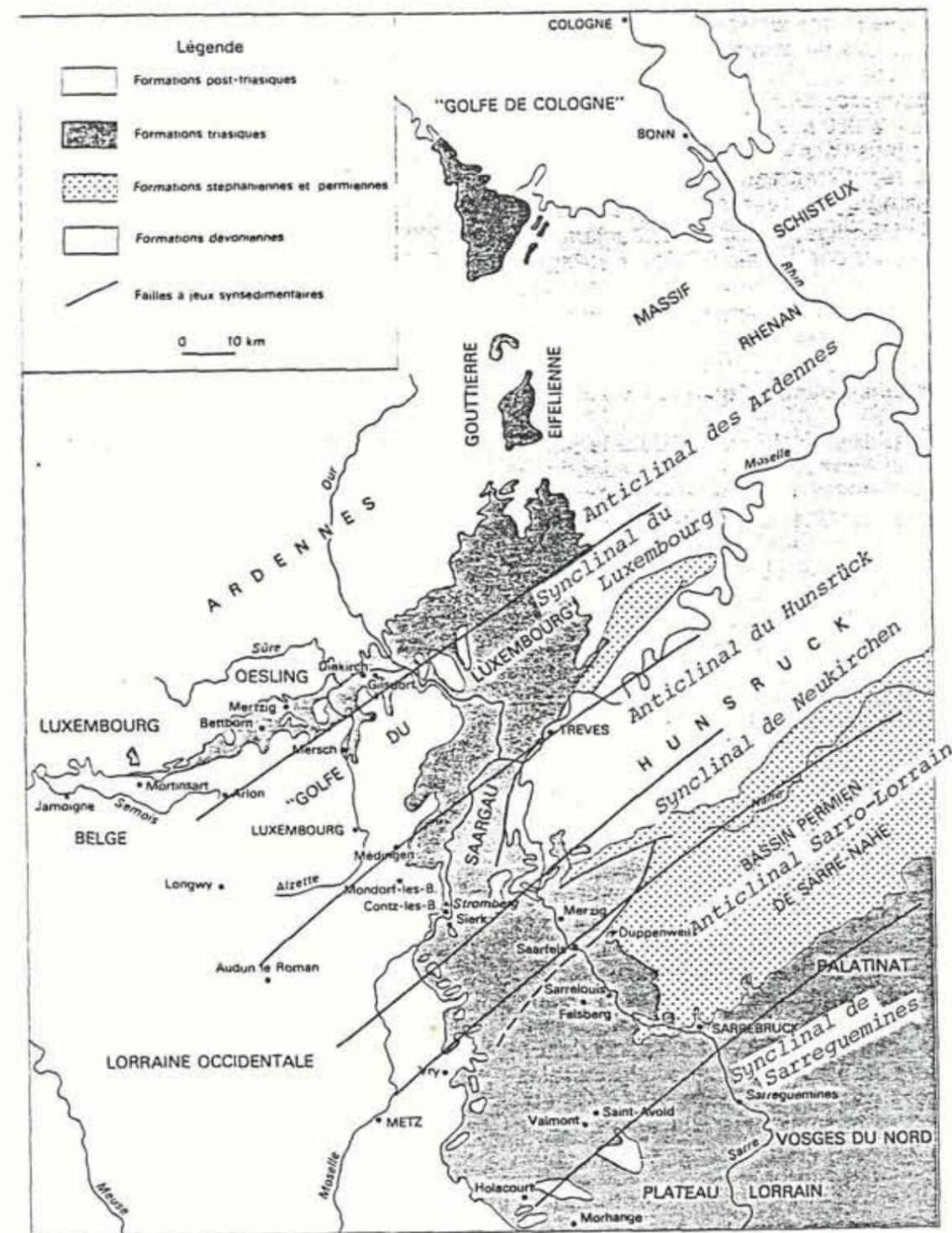


Fig. I.8 - Grands axes anticlinaux et synclinaux.
(F. MENILLET)

II - HYDROGEOLOGIE

II.1 - Extension horizontale

La nappe des G.I.T. a pour limites :

- au nord et à l'est : l'affleurement du Trias. (Au niveau des affleurements, la nappe est séparée par la ligne de partage des eaux entre le versant lorrain et le versant alsacien) ;

- à l'ouest : la disparition du faciès du Buntsandstein. L'amincissement progressif des Grès Vosgiens jusqu'à la disparition du faciès ne constitue pas une limite précise de la nappe. Il peut en effet exister un relais avec la nappe du Muschelkalk ;

- au sud : la limite de drainage constituée par le seuil Morvano-Vosgien. En effet, au sud de Vittel, la nappe des G.I.T. est drainée à contre-pendage vers la Saône.

II.2 - Limites stratigraphiques de la nappe

II.2.1 : Limite inférieure de la nappe

Quand le Trias inférieur repose sur le socle cristallin ou sur le Houiller, la limite inférieure de la nappe est définie par ces terrains de faible perméabilité.

Dans certains secteurs où les grès permien sont épais, on suppose qu'il existe une certaine continuité entre la nappe des grès du Trias et une nappe permienne.

II.2.2 : Limite supérieure de la nappe

Le passage entre le Grès à Voltzia (sommet du Trias inférieur) et les Grès Coquilliers du Muschelkalk ne constitue par une limite imperméable.

La limite supérieure de la nappe des Grès a été prise au sommet des Grès Coquilliers du Muschelkalk ; c'est pourquoi, on parlera de la nappe des Grès Inférieurs du Trias (G.I.T.) plutôt que de la nappe des Grès du Trias Inférieur (G.T.I.).

Les variations latérales de faciès des différentes unités et leurs variations de puissance ne permettent pas de capter la nappe toujours au même niveau stratigraphique. Les différentes lithologies pourront avoir une influence sur la chimie de l'eau.

II.3 - Fonctionnement de la nappe

La nappe des G.I.T. est alimentée par les précipitations sur les affleurements du Buntsandstein (Vosges et région houillère) et sans doute, dans certains secteurs, par drainance à partir des calcaires du Muschelkalk. Cette drainance pourrait être importante localement (région de Vittel).

Les exutoires naturels de la nappe sont :

- à l'est, le long des affleurements, les vallées de l'Eichel, la Zinsel, la Sarre amont et la Meurthe ;

- au niveau des Houillères du Bassin Lorrain, les vallées de la Rosselle, du Merle, de la Bist, du Grossbech et du Lauterbach ;

- la vallée de la Moselle au niveau de la fenêtre de Sierck-les-Bains.

L'écoulement de la nappe a été modifié par l'utilisation de la nappe et l'exploitation du Houiller.

La série gréseuse triasique présente une perméabilité de pores et de fissures ; cette perméabilité varie verticalement et latéralement. Dans cet ensemble lithologique, les niveaux conglomératiques (Conglomérat Principal et Conglomérat de Base) jouent le rôle de drains préférentiels alors que le reste de la série, à majorité gréseuse, détermine une roche magasin de porosité utile variant entre 10 et 15 %.

Le réservoir présente donc une forte anisotropie qui peut jouer un rôle sur la stratification de l'eau du point de vue qualitatif.

2ème partie : ACQUISITION DES DONNEES

Pour permettre l'étude ultérieure, deux types de données devaient être mis sous forme de fichiers cohérents :

- les données des analyses d'eau ;
- les limites naturelles géographiques et géologiques.

I - LES ANALYSES D'EAU

Les données de base sont des analyses chimiques effectuées dans des forages atteignant les G.I.T. ou sur les sources localisées dans les zones d'affleurements des grès.

Ces données sont disponibles sous deux formes :

. Les archives du code minier

Ces archives sont parfois complétées par des rapports établis par le ou les organismes qui ont suivis le forage (maître d'oeuvre en particulier, ou service géologique conseil).

.. Des fichiers informatiques

Les différents fichiers, n'ayant pas été établis en parallèle, ne sont pas sous la même forme. Ils n'avaient pas tout à fait le même objectif et donc des paramètres différents ont été archivés. De plus, pour des variables identiques, des unités différentes ont pu être utilisées.

1.1 - Description des fichiers informatiques

Les fichiers informatiques disponibles avaient été établis par différents organismes. Nous disposons :

- d'un fichier Eaux Souterraines (E.S.) établi par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse (A.F.B.R.M.),

- d'un fichier E.R.H. établi par le Service Géologique Alsace (B.R.G.M./S.G.A.L.) pour l'A.F.B.R.M.,

- d'un fichier établi par le B.R.G.M. au S.G.R./LOR.

Ces trois fichiers sont en fait constitués de deux types de sous-fichiers :

- les sous-fichiers "caractérisation" qui contiennent toutes les données relatives au point de prélèvement (forage ou source) : le nom du point, son emplacement, l'exploitant. Ces indications permettent l'identification du point ;

- les sous-fichiers "analyses" qui contiennent les analyses chimiques proprement dites. Dans ces derniers sont enregistrés un numéro permettant de repérer le point (coordonnées Lambert ou indice code minier), la date de l'analyse et les valeurs des paramètres chimiques mesurés.

Les données archivées dans les trois fichiers "analyses" diffèrent les unes des autres d'une manière importante :

- par les paramètres mesurés,
- par les unités utilisées (souvent non homogènes),
- par les objectifs qui sont en général assez éloignés.

Nous trouverons en annexe 1 une description plus détaillée de ces trois fichiers.

Nous disposons en plus de fichiers établis par J.J. PERAUDIN lors de sa thèse. Ils sont à rapprocher des fichiers "caractérisation".

1.2 - Uniformisation des fichiers informatiques

Les trois fichiers présentés plus haut se recoupent mais aucun des trois n'est général. Notre premier travail a été d'harmoniser l'ensemble de ces données pour en faire un fichier général.

L'uniformisation de données semble facile quand on dispose de fichiers déjà informatisés ; en fait, ce travail a été particulièrement laborieux. Chaque organisme utilise ses propres codes et les transpositions ne sont pas toujours immédiates. On peut citer par exemple, l'identification des laboratoires d'analyses qui est caractérisée :

- par un code dans le fichier E.S.,
- par un code différent dans le fichier E.R.H.,
- par la désignation en clair dans le fichier B.R.G.M.

Dans ce dernier, pour un même laboratoire, on peut trouver plusieurs écritures. Le "Laboratoire d'Hygiène et de Recherches en Santé Publique de Nancy" est, par exemple, dénommé de vingt-et-une façons différentes ; par exemple :

"INSTITUT REGIONAL D'HYGIENE -NANC" à
"LAB. HYG. REC. SANTE PUBLIQUE" ... etc.

Cette différence dans l'appellation rend impossible la recherche des noms voisins et donc le traitement informatique.

La fusion des fichiers devait dans un premier temps être faite par l'A.F.B.R.M. Ce travail n'ayant pu être effectué, nous nous sommes chargé de l'uniformisation des fichiers et l'A.F.B.R.M. a effectué la fusion finale qui consistait en une concaténation de l'ensemble des données et une élimination des analyses en double.

Le fichier "global" retourné par l'Agence a été disponible le 29 février 1984 mais, comme on le verra plus loin, le fichier était en fait incomplet (cf. §.I.3.1) et comportait encore des analyses en double.

1.3 - Fusion des fichiers

L'A.F.B.R.M. ayant effectué la fusion des données, l'harmonisation s'est faite sur le modèle du fichier E.S.

Dans un premier temps, la fusion n'a porté que sur les données "analyses". Les analyses E.R.H. et B.R.G.M./S.G.R./LOR ont été incluses dans le fichier "analyses" de l'A.F.B.R.M. L'Agence a ensuite extrait de son fichier général un fichier : "analyses de la nappe des G.I.T."

I.3.1 : Fusion des données chimiques

Du fait de l'organisation du fichier E.S. (cf. annexe 1) pour obtenir une analyse concernant la nappe des G.I.T., il faut "s'adresser" d'abord au fichier de caractérisation pour reconnaître les points captant la nappe étudiée. A partir de là, les analyses correspondant à ce point peuvent être extraites.

Les analyses chimiques des fichiers E.R.H. et B.R.G.M./S.G.R./LOR ont été incluses dans le fichier "analyse" E.S., sans qu'aucune fusion des fichiers "caractérisation" n'ait été faite en parallèle. Certaines analyses ont donc été archivées alors qu'il n'existait pas, dans le fichier "caractérisation", de point correspondant. Ces analyses ne pouvaient pas être récupérées et n'ont donc pas été prises en compte dans le fichier "analyses de la nappe des G.I.T." fourni par l'Agence.

Ces points sans étiquettes proviennent essentiellement du fichier B.R.G.M./S.G.R./LOR. Une fusion avec ce dernier fichier a dû être refaite.

La synthèse finale a permis d'obtenir un fichier global (geo-gl-trie) comportant 10 600 analyses (beaucoup de points ont plusieurs analyses correspondant à des prélèvements effectués à différentes dates).

Pour chaque point de prélèvement, les moyennes et écarts-types des valeurs prises pour chaque variable à des dates différentes ont été calculés. Ils ont été archivés dans un fichier contenant 2 263 articles, correspondant à 2 263 points de prélèvements distincts. Pour un point de prélèvement donné, un paramètre sera présent dans ce fichier s'il figure au moins dans l'une des analyses effectuées sur ce point.

A ce stade, nous possédons donc :

- . 10 600 analyses,
- . 2 263 points de prélèvements.

Ce fichier général a été achevé début avril 1984.

I.3.2 : Fusion des fichiers "caractérisation"

Une fusion des fichiers "caractérisation" a été faite en parallèle.

Le fichier de l'Agence incluait déjà le fichier E.R.H. La fusion a donc été effectuée entre :

- le fichier "caractérisation" de l'Agence ;
- le fichier "caractérisation" du B.R.G.M./S.G.R./LOR ;
- les fichiers de J.J. PERAUDIN pour certains points manquants dans les autres fichiers.

Ces fichiers ont été concaténés et les doubles éliminés. Des vérifications aux archives du code minier ont été réalisées pour des points ayant même indice code minier, mais dont les noms et les coordonnées diffèrent suivant le fichier d'origine.

Un fichier de nom (nom-point) comportant 1 952 données a été obtenu. Cette concaténation a encore été longue car le fichier de l'Agence contenait de nombreuses erreurs, notamment sur les zones Lambert. Ces erreurs - qui n'étaient pas systématiques - ont dû être corrigées à la main.

Le fichier nom-point ne comporte que 1 952 analyses alors que le fichier d'analyses correspond à 2 263 points (cf. paragraphe précédent). Les points manquants provenaient des sources ou des forages implantés dans les Grès Coquilliers du Muschelkalk ou dans le Permien. En effet, les analyses sur ces points avaient été incluses dans le fichier "analyse" mais l'identification du point n'avait pas été archivée en parallèle dans le fichier "caractérisation".

Le fichier général de "caractérisation" a été utilisable à la fin de juin 1984.

Remarque sur le fichier E.S. :

Si un forage capte plusieurs nappes, par exemple celle du Muschelkalk et celle des G.I.T., dans le fichier "caractérisation" seront portés les codes correspondant à ces deux aquifères.

On ne pourra pas différencier le cas où le forage capte les deux nappes simultanément du cas où le forage a capté successivement la première, puis la seconde nappe. Dans le premier cas, les analyses ne doivent pas être prises en compte dans le traitement car l'eau prélevée correspond à un mélange de l'eau des deux aquifères. Dans le second cas, seules les analyses concernant les G.I.T. sont à inclure dans le fichier d'analyses, mais cette dernière différenciation est difficile à réaliser. L'examen des dates de prélèvement permettra éventuellement de différencier les analyses pertinentes.

I.4 - Analyses anciennes

En parallèle avec le travail d'uniformisation des données, nous avons recherché dans les archives du code minier s'il existait des analyses effectuées sur d'anciens forages pour la recherche de charbons (forages du début du siècle dans la région de Pont-à-Mousson en particulier) ou sur des forages pétroliers. Les analyses réalisées sur ces forages n'avaient en effet pas été reportées sous forme informatique. Cette recherche a été menée à partir des fichiers établis par J.J. PERAUDIN. Ces derniers constituent un inventaire à peu près exhaustif des forages atteignant les G.I.T. Nous avons donc examiné dans les archives du

code minier, les dossiers des forages charbons et des forages pétroliers des zones où peu d'analyses avaient été effectuées ; une centaine de dossiers a été ainsi consultée.

Interprétation des analyses anciennes :

Les résultats des analyses anciennes ne se présentent pas sous la même forme qu'actuellement et les méthodes d'analyses utilisées étaient différentes. Ce sont souvent les oxydes des différents éléments chimiques qui y sont reportés.

Ces analyses posent des problèmes de transcription. Une forme de conversion a été proposée et une vérification de la balance ionique a été effectuée après conversion quand les éléments majeurs étaient analysés, mais il n'en reste pas moins que les valeurs obtenues doivent être considérées avec la plus grande prudence. Malgré tout, ces analyses ont été ajoutées au fichier initial car elles fournissent des renseignements non négligeables dans des zones mal connues du point de vue géochimique.

I.5 - Analyses à différentes profondeurs

Nous avons profité de la consultation des archives pour rechercher les forages comportant des analyses d'eau à différentes profondeurs afin d'essayer d'étudier, par la suite, la stratification de l'eau donc l'influence de l'anisotropie. Malheureusement, ces données n'ont pas pu être exploitées car elles étaient trop partielles et trop dispersées géographiquement.

I.6 - Fichiers finals

La critique des données (cf. 4ème partie) a amené à transformer certaines analyses et à en éliminer d'autres. Le fichier global a donc été modifié tout au long de l'étude.

Les tableaux II.1 et II.2 récapitulent l'état du fichier global (geo-gl-trie) et du fichier de moyennes. Pour chaque paire de variables, le nombre de couples existant a été calculé. Dans ces tableaux, la dernière ligne et la dernière colonne notées "nom" indiquent le nombre d'analyses qui portent un nom (en effet, certaines n'ont pas d'identification). Les nombres de la diagonale représentent le nombre total d'analyses pour chaque variable. Ces tableaux permettent de mettre en évidence la fréquence des différentes analyses.

Dans le tableau II.1, on remarque que le nombre de couples présents est toujours de l'ordre de 5 000, c'est-à-dire environ une analyse sur deux. Quand on regarde en parallèle le tableau des moyennes (tableau II.2), on constate que le nombre de couples présents y est de l'ordre de 300, soit 1/5 des données. Ceci indique qu'il existe de nombreux points où nous avons, à des dates différentes, des analyses relativement complètes, et d'autres points avec seulement quelques valeurs mesurées, généralement la résistivité et la dureté totale. Ces paramètres sont en effet mesurés dans plus de 90 % des cas (respectivement 9 653 et 10 282 mesures). Pour ces deux variables, dans le tableau II.2, nous avons respectivement 2 069 et 2 181 données sur un total de 2 263, donc pratiquement tous les points comportent ces mesures.

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE VALUE	LARGEST CASE VALUE
1	BACT24H	6599	103.1943	2302.8985	9513	100000.0000
2	BACT72H	6596	133.6669	1817.9964	9	100000.0000
3	COLIF	6820	6.3862	28.0868	4	100000.0000
4	E.COLI	5746	1.7685	12.3949	48	10484
5	STREPTO	6844	11.4854	846.1888	4	70000.0000
6	CL.SUL.R	5494	0.6196	9.6654	4	3630
7	OXYDABIL	7181	0.4087	1.0191	2558	50.0000
8	NH4	7954	0.2913	4.7900	8108	40.0000
9	NO2	7985	0.1504	10.3159	10269	909.0000
10	NO3	8130	5.2616	10.8363	10269	400.0000
11	CL	8864	129.9255	1776.2616	4415	99998.9990
12	DUR.TOT	10202	18.3540	38.1777	248	2404.0000
13	TAC	6355	14.1036	65.8885	10269	5021.0000
14	SO4	8675	66.1367	196.6825	251	5300.0000
15	FER	8489	0.8812	4.3399	10353	300.0000
16	NA	4810	69.9305	334.4195	2171	9
17	K	4665	7.4247	48.3083	1615	7201
18	CA	4932	63.6135	143.6562	7692	3001.0000
19	MG	4807	20.1473	49.1243	498	2198.0000
20	TURBID.	6602	39.0794	95.9559	1267	300.0000
21	RESIST.	9653	7848.2364	8240.2813	654	1600.0000
22	PH	8548	6.8804	0.8142	1721	6783
23	O2 DISS	5830	0.6122	2.0378	48	90909.3145
24	SI02	6481	2.0477	4.9886	4419	7630
25	MN	5818	0.0271	0.5655	48	10.9000
26	CO3--	6230	0.1116	4.0938	4	244
27	HCO3--	7639	39.0237	88.5745	9553	14.1000
28	PO4---	5733	0.0587	1.5975	8	3972
29	PH2	5299	0.1719	1.1401	48	157.9000
30	TAC2	5299	0.3402	2.4268	48	96.0000
31	R.S.	6986	197.4562	1110.0898	48	10337
32	PHENOLS	5253	0.0000	0.0000	48	10000
33	CO2	5940	7.2194	260.3187	48	25000.0000
34	AL	5372	0.0031	0.0605	48	20000.0000
35	AS	5293	0.0002	0.0069	48	6626
36	CD	5255	0.0000	0.0002	48	2835
37	CR	5292	0.0001	0.0016	48	9528
38	CN	5291	0.0000	0.0001	48	754
39	CU	5293	0.0002	0.0021	48	0.0120
40	F	5298	0.0068	0.1165	48	790
41	PB	5292	0.0003	0.0138	48	10077
42	ZN	5292	0.0033	0.0380	48	9587

Tableau II.1 - Etat du fichier initial (10 600 analyses).
Valeurs à -3 et -5 transformées en 0 (pas de valeurs exclues)

PAIRWISE FREQUENCIES WITH BOTH VARIABLES PRESENT

	BACT24H	BACT72H	COLIF	E.COLI	STREPTO	CL.SUL.R	OXYDABIL	NH4	NO2	NO3
BACT24H	1	6599								
BACT72H	2	6581	6596							
COLIF	3	6549	6545	6820						
E.COLI	4	5464	5464	5713	5746					
STREPTO	5	6561	6562	6792	5721	6844				
CL.SUL.R	6	5423	5429	5455	5152	5464	5494			
OXYDABIL	7	4400	6398	6589	6404	6409	5334	7181		
NH4	8	6513	6511	6498	6454	6723	5407	7075	7954	
NO2	9	6513	6513	6701	6455	6723	5408	7049	7871	7985
NO3	10	6521	6520	6707	6452	6733	5414	7114	7804	7811
CL	11	6544	6544	6727	6457	6756	5432	7147	7922	7956
DUR.TOT	12	6501	6505	6491	6442	6715	5406	7131	7841	7879
TAC	13	6492	6494	6489	6408	6714	5214	7043	6250	6247
SO4	14	6530	6532	6705	6429	6731	5422	7110	7872	7877
FER	15	6513	6513	6483	6420	6706	5418	7040	7784	7792
NA	16	6443	6443	6423	6354	6452	5430	7030	6309	6311
K	17	6429	6431	6411	6348	6440	5422	7090	6279	6277
CA	18	6282	6281	6284	6202	6294	5444	6181	6193	6194
MG	19	6271	6275	6255	6206	6284	5263	6144	6149	6162
TURBID.	20	6274	6273	6272	6204	6282	5175	6089	6477	6479
RESIST.	21	6531	6534	6713	6444	6713	5440	7012	7543	7802
PH	22	6523	6529	6702	6435	6713	5418	7079	7498	7713
O2 DISS	23	6237	6238	6472	6447	6440	5171	6460	6732	6732
SI02	24	6290	6288	6503	6264	6516	5224	6459	5925	5947
MN	25	6255	6255	6471	6259	6484	5190	6428	5754	5759
CO3--	26	6275	6273	6486	6260	6493	5204	6478	5865	5838
HCO3--	27	6514	6515	6324	6287	6534	5270	6499	6491	7000
PO4---	28	6245	6249	6545	6248	6442	5440	6481	6495	6495
PH2	29	6479	6478	6194	6194	6195	4923	5292	5291	5291
TAC2	30	6479	6478	6194	6194	6195	4923	5292	5291	5291
R.S.	31	6986	6986	6986	6986	6986	6986	6986	6986	6986
PHENOLS	32	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
CO2	33	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
AL	34	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
AS	35	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
CD	36	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
CR	37	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
CN	38	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
CU	39	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
F	40	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
PB	41	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523
ZN	42	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523	6523

Tableau II.1 (fin)

BACT24H	BACT72H	COLIF	E.COLI	STREPTO	CL.SUL.R	OXYDABIL	NH4	NO2	NO3	NO2	NO3	NO2	NO3
BACT24H	2738												
BACT72H	4842												
COLIF	964												
E.COLI	232												
STREPTO	320												
CL.SUL.R	90												
OXYDABIL	7104												
NH4	2524												
NO2	346												
NO3	6463												
CL	8843												
DUR.TOT	10201												
TAC	6352												
S04	8475												
FER	5080												
NA	4804												
K	4659												
CA	4930												
MG	4747												
TURBID.	6224												
RESIST.	9653												
PH	8546												
O2 DISS	637												
SI02	1288												
MN	421												
CO3--	20												
HCO3-	2441												
PO4---	336												
PH2	118												
TAC2	118												
R.S.	1802												
PHENOLS	0												
CO2	750												
AL	107												
AS	65												
CO	25												
CR	47												
CN	2												
CU	58												
F	107												
PB	63												
ZN	92												

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE VALUE	LARGEST CASE VALUE
1	BACT24H	2738	248.7148	3570.4894	25	6198
2	BACT72H	4842	182.0874	2119.8602	4	6197
3	COLIF	964	45.1805	61.8983	19	8402
4	E.COLI	252	40.3254	44.2202	1911	10484
5	STREPTO	320	245.6437	3911.8127	255	8546
6	CL.SUL.R	90	37.8222	65.9008	5619	3630
7	OXYDABIL	7104	0.4134	1.0235	9586	2547
8	NH4	2524	0.9235	8.4673	37	7201
9	NO2	346	3.5097	49.5013	43	10304
10	NO3	6463	6.6215	11.7749	8840	8086
11	CL	8843	130.2340	1778.3583	10303	4180
12	DUR.TOT	10201	18.3607	38.1736	10564	4155
13	TAC	6352	14.1103	65.9033	10550	248
14	S04	8475	67.6975	198.7242	10550	8086
15	FER	5080	1.4738	5.5312	8627	3972
16	NA	4804	70.0179	334.6191	1970	9
17	K	4659	7.4343	48.3386	4326	7201
18	CA	4930	63.6393	143.6796	7681	4734
19	MG	4747	20.4019	49.3813	10115	300
20	TURBID.	6224	41.4528	98.3282	50	1943
21	RESIST.	9653	7848.2364	8240.2813	654	6783
22	PH	8546	6.8820	0.8075	8507	7630
23	O2 DISS	637	5.6028	3.1708	7124	24
24	SI02	1288	10.3213	6.3035	3638	3972
25	MN	421	0.3750	2.0733	6907	3972
26	CO3--	20	34.7500	65.0179	5546	6318
27	HCO3-	2441	122.1314	120.0170	7909	7259
28	PO4---	336	1.0017	6.5360	19	3350
29	PH2	118	7.7199	0.3072	1768	10337
30	TAC2	118	15.2788	6.0397	10544	10000
31	R.S.	1802	765.4989	2084.2917	837	4310
32	PHENOLS	0				2500
33	CO2	750	57.1779	731.0754	4	6626
34	AL	107	0.1551	0.4018	9585	2835
35	AS	65	0.0124	0.0615	425	9528
36	CO	25	0.0022	0.0022	942	754
37	CR	47	0.0089	0.0140	1876	790
38	CN	2	0.0025	0.0021	9585	9584
39	CU	58	0.0143	0.0149	9574	10077
40	F	107	0.3347	0.7531	4110	10309
41	PB	63	0.0220	0.1254	2139	1962
42	ZN	92	0.1922	0.2171	2368	9587

Tableau II.3 - Etat du fichier (10 600 analyses) en excluant les valeurs -5, -4, -3 et 0.0

CL	DUR.TOT	TAC	S04	FER	NA	K	CA	MG	TURBID.
CL	8843								
DUR.TOT	10201								
TAC	6352								
S04	8475								
FER	5080								
NA	4804								
K	4659								
CA	4930								
MG	4747								
TURBID.	6224								
RESIST.	9653								
PH	8546								
O2 DISS	637								
SI02	1288								
MN	421								
CO3--	20								
HCO3-	2441								
PO4---	336								
PH2	118								
TAC2	118								
R.S.	1802								
PHENOLS	0								
CO2	750								
AL	107								
AS	65								
CO	25								
CR	47								
CN	2								
CU	58								
F	107								
PB	63								
ZN	92								

Tableau II.3 (fin)

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE VALUE	LARGEST CASE VALUE
1	BACT24H	519	476.4759	6236.4196	3	0.0000
2	BACT72H	620	384.2032	4315.2173	3	0.0000
3	COLIF	477	6.6205	32.1964	3	0.0000
4	E.COLI	391	2.8338	14.4023	10	0.0000
5	STREPTO	445	0.4742	4.9477	3	0.0000
6	CL.SUL.R	306	1.1993	12.2460	3	0.0000
7	OXYDABIL	710	0.5086	0.6610	1576	0.0000
8	NH4	510	0.1324	0.4705	10	0.0000
9	NO2	512	0.2814	6.1875	3	0.0000
10	NO3	780	5.9622	18.3030	26	0.0000
11	CL	865	77.2678	479.7232	1834	0.0050
12	DUR.TOT	1881	11.7030	24.1621	1826	0.2500
13	TAC	487	18.2712	117.0638	1599	0.1640
14	SO4	852	57.8849	236.3006	514	0.0000
15	FER	650	0.4816	1.4985	10	0.0000
16	NA	429	92.5845	374.2741	1128	0.1000
17	K	413	11.3598	76.4355	1033	0.3000
18	CA	484	60.0642	122.9753	1875	1.0000
19	MG	475	25.4033	138.6821	576	0.0000
20	TURBID.	339	30.1150	62.0019	249	0.0000
21	RESIST.	1771	11481.4581	9851.5536	1868	18.6200
22	PH	939	6.5864	0.8451	1659	0.5900
23	O2 DISS	431	2.1147	3.5011	10	0.0000
24	SI02	482	3.6322	5.0804	10	0.0000
25	MN	416	0.0701	0.6241	10	0.0000
26	CO3--	377	0.6989	9.8517	3	0.0000
27	HCO3-	567	65.4310	104.8123	10	0.0000
28	PO4---	392	0.0424	0.1842	3	0.0000
29	PH2	306	0.3360	1.4652	10	0.0000
30	TAC2	306	0.5374	2.9121	10	0.0000
31	R.S.	558	327.1030	1191.8899	10	0.0000
32	PHENOLS	299	0.0000	0.0000	10	0.0000
33	CO2	442	56.1354	952.4467	10	0.0000
34	AL	319	0.0165	0.1400	10	0.0000
35	AS	306	0.0000	0.0000	10	0.0000
36	CD	300	0.0000	0.0000	10	0.0000
37	CR	306	0.0000	0.0003	10	0.0000
38	CN	306	0.0000	0.0000	10	0.0000
39	CU	306	0.0003	0.0021	10	0.0000
40	F	309	0.0324	0.3114	10	0.0000
41	PB	306	0.0001	0.0011	10	0.0000
42	ZN	306	0.0035	0.0290	10	0.0000

	BACT24H 1	BACT72H 2	COLIF 3	E.COLI 4	STREPTO 5	CL.SUL.R 6	OXYDABIL 7	NH4 8	NO2 9	NO3 10
BACT24H 1	519	420	477	391	445	306	710	510	780	865
BACT72H 2	420	620	477	391	445	306	710	510	780	865
COLIF 3	477	477	391	445	306	710	510	780	865	865
E.COLI 4	391	391	445	306	710	510	780	865	865	865
STREPTO 5	445	445	306	710	510	780	865	865	865	865
CL.SUL.R 6	306	306	710	510	780	865	865	865	865	865
OXYDABIL 7	710	710	510	780	865	865	865	865	865	865
NH4 8	510	510	780	865	865	865	865	865	865	865
NO2 9	780	780	865	865	865	865	865	865	865	865
NO3 10	865	865	865	865	865	865	865	865	865	865

	CL 11	DUR.TOT 12	TAC 13	SO4 14	FER 15	NA 16	K 17	CA 18	MG 19	TURBID. 20
CL 11	865	1881	487	852	650	429	413	484	475	339
DUR.TOT 12	1881	487	487	487	487	487	487	487	487	487
TAC 13	487	487	487	487	487	487	487	487	487	487
SO4 14	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852
FER 15	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
NA 16	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429
K 17	413	413	413	413	413	413	413	413	413	413
CA 18	484	484	484	484	484	484	484	484	484	484
MG 19	475	475	475	475	475	475	475	475	475	475
TURBID. 20	339	339	339	339	339	339	339	339	339	339

	RESIST. 21	PH 22	O2 DISS 23	SI02 24	MN 25	CO3-- 26	HCO3- 27	PO4--- 28	PH2 29	TAC2 30
RESIST. 21	1771	939	431	482	416	377	567	392	306	306
PH 22	939	431	431	482	416	377	567	392	306	306
O2 DISS 23	431	431	431	482	416	377	567	392	306	306
SI02 24	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482
MN 25	416	416	416	482	416	377	567	392	306	306
CO3-- 26	377	377	377	482	416	377	567	392	306	306
HCO3- 27	567	567	567	482	416	377	567	392	306	306
PO4--- 28	392	392	392	482	416	377	567	392	306	306
PH2 29	306	306	306	482	416	377	567	392	306	306
TAC2 30	306	306	306	482	416	377	567	392	306	306

	R.S. 31	PHENOLS 32	CO2 33	AL 34	AS 35	CD 36	CR 37	CN 38	CU 39	F 40
R.S. 31	558	299	442	319	306	300	306	306	306	309
PHENOLS 32	299	299	442	319	306	300	306	306	306	309
CO2 33	442	442	442	319	306	300	306	306	306	309
AL 34	319	319	319	319	306	300	306	306	306	309
AS 35	306	306	306	306	306	300	306	306	306	309
CD 36	300	300	300	300	300	300	306	306	306	309
CR 37	306	306	306	306	306	306	306	306	306	309
CN 38	306	306	306	306	306	306	306	306	306	309
CU 39	306	306	306	306	306	306	306	306	306	309
F 40	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309

Tableau II.4 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier initial de médianes pour les points ayant une identification (1 952 points). Les valeurs à 0.000 sont prises en compte.

Tableau II.4 (suite)

CORPAIR CORRELATION MATRIX

	BACT24H	BACT72H	COLIF	E. COLI	STREPTO	CL. SUL. R	OXYDABIL	NH4	NO2	NO3	
BACT24H	1	1.0000									
BACT72H	2	0.0194	1.0000								
COLIF	3	0.0618	0.1191	1.0000							
E. COLI	4	0.1031	0.1094	0.1151	1.0000						
STREPTO	5	0.0123	0.0043	0.0080	0.0090	1.0000					
CL. SUL. R	6	0.1014	0.0851	0.0355	0.1989	0.0889	1.0000				
OXYDABIL	7	0.0157	0.0102	0.0317	-0.0311	-0.0516	-0.0122	1.0000			
NH4	8	-0.0127	0.0241	-0.0004	-0.0034	0.1714	0.0014	0.0421	0.0884	1.0000	
NO2	9	-0.2044	-0.2040	-0.0004	-0.0034	0.1714	0.0014	0.0421	0.0884	1.0000	
NO3	10	-0.2044	-0.2040	-0.0004	-0.0034	0.1714	0.0014	0.0421	0.0884	1.0000	
CL	11	-0.2044	-0.2040	-0.0004	-0.0034	0.1714	0.0014	0.0421	0.0884	1.0000	
NUR. TOT	12	-0.0247	-0.0152	0.0078	-0.0542	0.0248	-0.0143	0.1182	0.4193	0.0051	1.0000
TAC	13	-0.0127	-0.0124	0.0041	-0.0574	0.0050	-0.0189	-0.0054	0.4144	-0.0051	-0.0003
S04	14	-0.0123	-0.0098	0.0015	-0.0234	0.0179	-0.0121	0.0291	0.3102	0.0020	0.0091
FER	15	-0.0122	-0.0180	0.0092	-0.0443	0.0102	-0.0310	0.0595	0.3398	0.0430	-0.0743
HA	16	0.0122	-0.0203	0.0092	-0.0194	0.0049	-0.0123	0.0872	0.2873	0.0513	-0.0712
K	17	-0.0044	-0.0003	-0.0003	-0.0421	-0.0023	-0.0092	-0.0180	0.0518	0.0399	-0.0252
CA	18	-0.0130	-0.0195	0.0040	-0.0511	0.0100	-0.0137	0.0419	0.2078	0.0024	0.0024
MG	19	-0.0103	-0.0014	-0.0144	-0.0144	0.0039	-0.0102	0.0019	0.2021	0.0419	-0.0024
TURBID.	20	0.1401	0.0788	0.0438	0.0701	0.2409	-0.0077	0.1353	0.3315	0.2351	-0.1092
RESIST.	21	0.0473	0.0036	-0.0727	0.0123	-0.0425	-0.0277	0.0112	-0.1084	-0.0290	-0.0917
PH	22	-0.0353	-0.0293	0.0171	-0.0143	0.0647	-0.0281	-0.1354	-0.0907	-0.0231	-0.0651
O2 DISS	23	0.1379	-0.1498	0.1431	0.0798	0.0820	0.1009	0.1929	0.1422	0.0140	0.0508
SI02	24	0.1394	0.1553	0.1389	-0.0048	-0.0599	-0.0142	0.2444	0.1248	-0.0144	-0.0799
MN	25	-0.0071	0.0124	0.0014	-0.0004	0.0109	0.0042	-0.0010	0.0324	-0.0040	0.0024
CO3--	26	-0.0036	0.0233	-0.0003	0.0030	-0.0070	0.0902	-0.0145	0.2594	0.4943	-0.0943
HCO3--	27	0.1727	0.1422	0.2027	0.0071	0.0479	0.1089	0.0188	-0.0132	-0.0258	-0.1079
PO4---	28	-0.0071	0.0124	0.0014	-0.0004	0.0109	0.0042	-0.0010	0.0324	-0.0040	0.0024
PH2	29	-0.0234	-0.0214	0.0022	0.0132	-0.0019	0.0737	0.1853	-0.0149	0.0124	0.1123
TAC2	30	-0.0186	-0.0178	0.0105	0.0117	0.1300	-0.0177	0.1532	-0.0255	-0.0199	-0.0613
R.S.	31	0.0212	0.0043	0.0082	-0.0124	0.0019	-0.0030	-0.1203	-0.0142	-0.0144	-0.0253
PHENOLS	32	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AL	33	-0.0073	-0.0014	0.0538	0.0195	-0.0050	0.0342	0.0043	0.0470	-0.0340	-0.0144
AS	34	-0.0187	-0.0183	0.0071	-0.0042	0.0000	-0.0030	-0.0138	0.2104	-0.0028	-0.0395
CR	35	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CN	36	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CU	37	-0.0120	-0.0115	-0.0748	-0.0159	-0.0112	-0.0087	-0.0208	-0.0194	-0.0094	-0.0794
F	38	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PB	39	-0.0145	-0.0142	0.0299	0.0072	-0.0041	-0.0104	0.0641	-0.0244	-0.0121	-0.0301
ZH	40	-0.0144	-0.0142	0.0034	-0.0108	-0.0076	-0.0059	0.0450	0.0103	-0.0077	-0.0214
	41	-0.0144	-0.0142	0.0034	-0.0108	-0.0076	-0.0059	0.0450	0.0103	-0.0077	-0.0214
	42	-0.0144	-0.0142	0.0034	-0.0108	-0.0076	-0.0059	0.0450	0.0103	-0.0077	-0.0214

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE VALUE	LARGEST CASE VALUE
1	BACT24H	268	922.7276	8662.6726	5	10000.0000
2	BACT72H	569	418.6397	4503.1794	26	10000.0000
3	COLIF	112	28.1964	61.8985	692	50.0000
4	E. COLI	53	20.9057	34.2144	754	180.0000
5	STREPTO	38	5.5526	16.2725	145	10.0000
6	CL. SUL. R	9	40.7778	62.4635	450	20.0000
7	OXYDABIL	703	0.5137	0.6623	335	7.5000
8	NH4	124	0.5446	0.8304	229	4.8750
9	NO2	39	3.6944	22.4030	1818	14.0000
10	NO3	709	6.5592	19.0964	3	40.0000
11	CL	865	77.2678	479.7232	1834	10180.0000
12	DUR. TOT	1881	11.7030	24.1621	1826	510.0000
13	TAC	487	18.2712	117.0638	1599	2511.3750
14	S04	838	58.8519	238.1490	1128	530.0000
15	FER	469	0.6675	1.7291	1660	15.7000
16	NA	429	92.5845	374.2741	1128	4390.0000
17	K	413	11.3598	76.4355	1033	1507.9000
18	CA	484	60.0642	122.9753	1875	1695.0000
19	MG	473	25.5107	138.9657	1730	300.0000
20	TURBID.	312	32.7212	63.9721	1238	60.0000
21	RESIST.	1771	11481.4581	9851.5536	1868	90909.3145
22	PH	939	6.5864	0.8451	1659	9.5000
23	O2 DISS	146	6.2426	3.2255	1947	11.6000
24	SI02	206	8.4986	4.3589	1809	31.6000
25	MN	118	0.2472	1.1565	917	12.0000
26	CO3--	6	43.9167	70.8593	1535	184.0000
27	HCO3--	304	122.0374	116.5766	1778	52.2500
28	PO4---	76	0.2187	0.3712	1843	2.6000
29	PH2	17	6.0479	2.0535	84	8.5900
30	TAC2	17	9.6724	8.2325	1843	28.3930
31	R.S.	290	629.3914	1595.9512	905	17355.0000
32	PHENOLS	0				
33	CO2	161	154.1108	1576.4364	1858	2000.0000
34	AL	20	0.2630	0.5097	1539	2.1200
35	AS	0				
36	CD	0				
37	CR	7	0.0016	0.0015	1711	0.0050
38	CN	0				
39	CU	12	0.0073	0.0079	1712	0.0240
40	F	14	0.7154	1.3312	1858	4.6750
41	PB	11	0.0041	0.0042	1539	0.0150
42	ZH	11	0.0987	0.1241	1711	0.4440

Tableau II.5 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier initial de médianes pour les points ayant une identification (1 952 points). Les valeurs à 0.0 sont exclues.

Tableau II.4 (fin)

La position des forages étant repérée par les coordonnées Lambert, nous avons adopté ce repère pour effectuer la saisie des limites naturelles.

Le C.I.R.I.L. - où ont été effectués les premiers travaux informatiques - ne disposant pas de table à digitaliser, la saisie des frontières naturelles a été réalisée sur la table à digitaliser d'un APPLE II au Centre de Recherches en Mécanique et Hydraulique des Sols et des Roches. Il a fallu créer un programme permettant de digitaliser des frontières sur des cartes orientées de façon quelconque par rapport aux bords de la table, avant de pouvoir effectuer la saisie de ces frontières.

Les limites géologiques ont été stockées à partir des cartes géologiques au 1/50 000 et les frontières géographiques à partir de cartes au 1/100 000. Etant donné la grandeur des cartes et les dimensions réduites de la table (environ 30 cm x 30 cm), ces opérations ont nécessité beaucoup de temps.

3ème partie : DESCRIPTION DES ANALYSES : MODE D'EXPRESSION. ELEMENTS ANALYSES ET REPRESENTATION DES ANALYSES

I - MODE D'EXPRESSION DE LA COMPOSITION D'UNE EAU

Nous rappellerons ici les principales unités de mesures utilisées pour l'expression de la composition chimique d'une eau. Certaines unités particulières mesurant un seul paramètre (par exemple la turbidité) dépendent de la méthode d'analyse. Elles seront précisées dans le paragraphe suivant qui décrit plus amplement les paramètres mesurés.

La plupart des mesures effectuées sont exprimées en milligrammes par litre (mg/l).

Pour pouvoir comparer les quantités relatives des espèces dissoutes, nous utilisons comme unité de mesure le milliéquivalent par litre (m.eq./l) :

$$\text{concentration (m.eq./l)} = \frac{\text{concentration (mg/l)} \times \text{valence de l'ion}}{\text{masse molaire (g)}}$$

Certaines grandeurs, telles que la dureté et l'alcalinité s'expriment souvent en degrés.

Un degré français est équivalent, par convention, à 10 mg/l de CaCO_3 . On passe donc du milliéquivalent au degré français par la relation :

$$1 \text{ m.eq.} = 5 \text{ d}^\circ \text{ Fr}$$

II - DESCRIPTION DES PARAMETRES

Les différents éléments archivés dans le fichier d'analyses type E.S. seront décrits afin de préciser les cas où des problèmes dans les méthodes de mesures ou dans les unités utilisées se sont présentés. Nous préciserons de plus la façon dont les transcriptions d'analyses ont été effectuées lors de la transformation des fichiers E.R.H. et B.R.G.M. en fichier E.S.

II.1 - Paramètres biochimiques

II.1.1 : Analyses bactériologiques

Ces analyses permettent de mettre en évidence la présence de bactéries. Les résultats sont à interpréter en fonction de l'utilisation envisagée pour l'eau. Comme beaucoup de captages de la nappe des G.I.T. se font dans l'objectif d'une alimentation en eau potable, nous cherchons à déceler la présence de bactéries pathogènes pour l'homme. Comme nous n'avons pas étudié la répartition de ces paramètres, nous nous contenterons de les rappeler :

- Numération totale :
 - . germes totaux mesurés au bout de 24 heures à 37° C pour 1 ml d'eau ;
 - . germes totaux mesurés au bout de 72 heures à 22° C pour 1 ml.
- Coliformes (mesurés dans 100 ml).
- Escherichia Coli (dans 100 ml).
- Streptocoques Fécaux (dans 100 ml).
- Clostridium Sulforéducteur (dans 100 ml).

II.1.2 : Oxydabilité

Cette mesure fournit une estimation de la teneur en matière organique des eaux.

Différents types d'analyses peuvent être réalisées : l'oxydation est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid, en milieu alcalin ou en milieu acide. Suivant l'acidité du milieu et la température, l'oxydation est plus ou moins énergique.

Or, dans le fichier global, tous ces types d'analyses sont regroupés sans distinction, ce qui nous fait douter dès à présent de leur "utilité pratique".

Remarque :

Lors de la transcription du fichier E.R.H., où les analyses en milieu alcalin et en milieu acide étaient repérées de façon distincte, c'est l'analyse en milieu alcalin à chaud qui a été prise. Quand cette dernière n'avait pas été effectuée, la mesure en milieu acide a alors été reportée.

De même pour les analyses provenant du fichier B.R.G.M., c'est l'analyse en milieu alcalin qui a été prise et à défaut celle en milieu acide.

La mesure de l'oxydabilité est en général exprimée en mg/l d'oxygène consommé. Il peut arriver que le laboratoire donne cette mesure en mg/l de permanganate de potassium consommé ; les résultats doivent alors être divisés par 3.95 (1 mg/l O₂ = 3.95 mg/l KMnO₄). Dans tous les fichiers informatiques, les résultats étaient théoriquement exprimés en mg/l d'O₂.

II.2 - Paramètres physiques

Nous ne mentionnerons que les paramètres archivés dans le fichier E.S. Nous pourrions cependant noter que les fichiers E.R.H. et B.R.G.M. contenaient d'autres

mesures, notamment des mesures de température. Il aurait été intéressant qu'il en soit de même dans le fichier E.S., en particulier lorsque nous avons voulu nous intéresser par la suite aux équilibres carbonatés et à l'agressivité des eaux.

II.2.1 : Résistivité

La mesure de la résistivité ou de son inverse la conductivité, permet d'évaluer approximativement la minéralisation globale de l'eau. Le tableau III.1 donne une indication de la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.

La résistivité s'exprime en ohms.cm²/cm ou ohms.cm, la conductivité en µSiemens/cm ou, ce qui est équivalent, en µmhos/cm² ou µmhos/cm avec la relation :

$$\text{résistivité en ohms.cm} = 1/\text{conductivité en } \mu\text{S/cm} \times 10^{-6}$$

Les laboratoires donnent soit la mesure de la résistivité, soit celle de la conductivité. Dans le fichier E.R.H., c'est la conductivité qui a été reportée. Une transformation a donc été effectuée lors de la transcription en fichier E.S.

conductivité < 100 S/cm	: minéralisation très faible
100 S/cm < conductivité < 200 S/cm	: minéralisation faible
200 S/cm < conductivité < 333 S/cm	: minéralisation moyenne accentuée
333 S/cm < conductivité < 666 S/cm	: minéralisation moyenne
666 S/cm < conductivité < 1000 S/cm	: minéralisation importante
conductivité > 1000 S/cm	: minéralisation excessive

Tableau III.1 - Estimation de la minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité.

II.2.2 : Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence de matières en suspension, finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques...

Elle est en général exprimée en gouttes de mastic mais peut aussi l'être en degrés silice ou en unités "formazine" (méthode néphélométrique).

Dans les différents fichiers informatiques, la turbidité est exprimée en gouttes de mastic.

II.3 - Paramètres chimiques

La plupart des paramètres chimiques mesurés sont des ions pour lesquels la mesure est exprimée en mg/l. Nous ne mentionnerons en détail que les paramètres dont la mesure peut prêter à confusion ou qui sont exprimés dans une autre unité que le mg/l.

II.3.1 : Dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH)

Une eau dure est "une eau où les légumes cuisent mal" et qui "consomme beaucoup de savon". Ce qui intervient dans ces phénomènes, c'est la précipitation des sels de calcium et de magnésium.

La dureté mesure la concentration en ions Ca^{++} et Mg^{++} qui peuvent être associés aux ions carbonates, chlorure, sulfates, etc.

La mesure reportée dans les fichiers est celle de la dureté totale :

$$\text{TH} = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$$

Cette mesure est exprimée en degrés français.

II.3.2 : Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Le titre alcalin complet est égal en degrés français ($\text{d}^\circ \text{Fr}$) à :

$$\text{TAC} (\text{d}^\circ \text{Fr}) = 5\,000 [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{--}] + [\text{HCO}_3^-] \quad (1)$$

Dans les eaux naturelles, $[\text{OH}^-]$ est pratiquement nul et pour les eaux dont le pH est inférieur à 8.3 $[\text{CO}_3^{--}]$ aussi (cf. figure III.1). Nous avons donc pratiquement :

$$\text{TAC} = 5\,000 [\text{HCO}_3^-] \quad (2)$$

ou :

$$\text{TAC} (\text{d}^\circ \text{Fr}) = \frac{5 \times \text{HCO}_3 (\text{mg/l})}{61} = 0.082 \text{ HCO}_3 (\text{mg/l}) \quad (3)$$

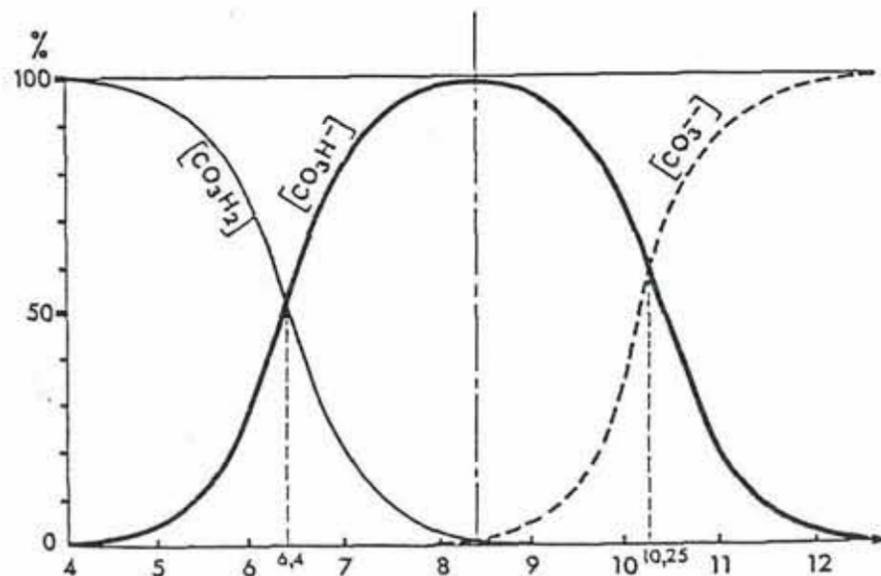


Fig. III.1 - Dissociation de l'acide carbonique en fonction du pH.

II.3.3 : pH

Il n'est pas précisé dans les analyses si la mesure du pH a été faite sur le terrain, au moment du prélèvement ou au laboratoire (cas le plus général). Il peut exister des variations relativement importantes entre ces deux mesures, fonction de la nature de l'eau, du soin apporté au prélèvement et de la pression initiale de l'eau. La figure III.2 montre que ces variations, dont nous ne pouvons pas toujours prévoir le sens et l'amplitude, sont parfois importantes.

Les mesures dont nous disposons sont généralement effectuées au laboratoire. Il sera donc difficile de s'en servir comme mesures de référence, notamment quand nous nous intéresserons à l'agressivité de l'eau.

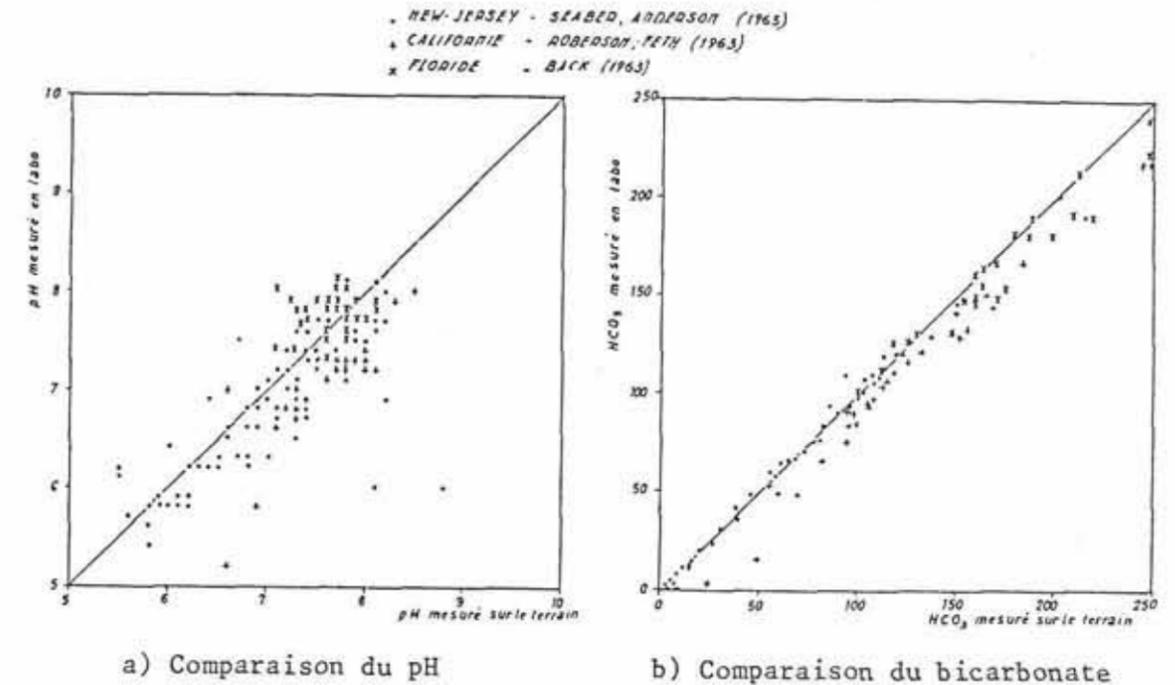


Fig. III.2 - Comparaison des mesures au laboratoire et sur le terrain.

II.3.4 : Essai au marbre

L'essai au marbre a pour but de déterminer si l'eau étudiée est incrustante ou agressive par rapport au marbre, c'est-à-dire si elle dépose du calcaire ou si elle en fixe.

Pour ce faire, l'eau est laissée l'eau en contact 48 heures avec du marbre finement divisé. Le pH et l'alcalinité dits de saturation (pH_2 et TAC_2) sont ensuite mesurés. Si pH et TAC sont les valeurs initiales du pH et de l'alcalinité de l'eau, nous avons :

- $\text{pH}_2 > \text{pH}$ et $\text{TAC}_2 < \text{TAC}$ → eau agressive
- $\text{pH}_2 = \text{pH}$ et $\text{TAC}_2 = \text{TAC}$ → eau équilibrée
- $\text{pH}_2 < \text{pH}$ et $\text{TAC}_2 < \text{TAC}$ → eau incrustante

II.3.5 : Résidu sec

Le résidu sec permet d'estimer la quantité de matières dissoutes et en

suspension d'une eau. Cette détermination peut se faire à différentes températures (105 ou 110° C, 180° C, 500° C).

La mesure reportée dans les différents fichiers informatiques est le résidu sec à 105° C (ou parfois à 110° C).

II.3.6 : Fer

Le fer peut se trouver sous différentes formes dans l'eau :

- sous forme soluble : il est alors généralement à l'état ferreux (si 4.5 < pH < 9.0) ;
- en solution :
 - . à l'état colloïdal, plus ou moins combiné à la matière organique, sous forme de complexes organiques ou minéraux ;
 - . sous forme de particules en suspension (à l'état ferrique).

Dans le fichier E.S., la valeur reportée est théoriquement celle du fer total. Dans les autres fichiers informatiques, nous distinguons une mesure du fer total et une mesure du fer ferreux. Lors de la transformation de ces fichiers, quand la mesure du fer total n'existait pas, c'est la teneur en Fe++ qui y a été transférée.

II.3.7 : Magnésium

La teneur en magnésium n'est en général pas déterminée directement ; elle résulte de la différence entre la mesure de la dureté totale et celle du calcium. La précision et la validité de la teneur en magnésium seront donc fonction de celle des deux mesures dont elle est issue.

II.3.8 : Silice

Nous ne mentionnons cette mesure que pour signaler que les valeurs reportées pour les analyses anciennes, forages charbons notamment, doivent être prises avec beaucoup de précautions. Nous remarquons en effet que ces teneurs sont systématiquement plus fortes que celles données dans les analyses récentes.

Il se peut que dans ces analyses, la silice en suspension ait été également dosée.

II.3.9 : Phosphates

Cette mesure n'a pas été étudiée en détail. Nous pouvons cependant remarquer que lors de l'exécution de forages, il peut y avoir une défloculation des argiles aux triphosphates qui amènerait des teneurs élevées en PO₄---. Pour les fortes teneurs en phosphates, il faudrait donc comparer la date d'exécution du forage et celle du pompage d'essai, à la date de l'analyse.

La mesure reportée est celle du CO₂ libre, c'est-à-dire le CO₂ aqueux (ou dissous) et le H₂CO₃ dissous.

Pour que cette donnée ait un sens, il faut, comme pour le pH, que la mesure ait été effectuée au point de prélèvement.

II.3.11 : Eléments traces

Ces éléments sont très rarement mesurés.

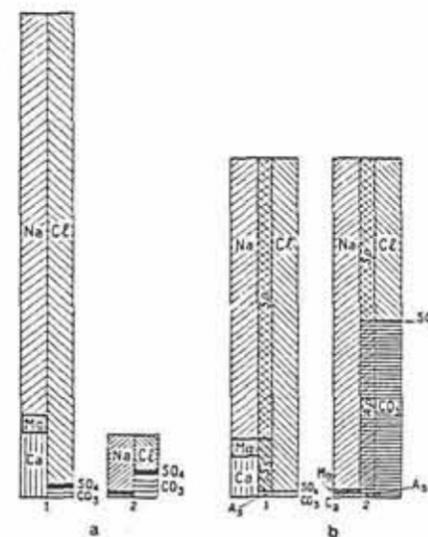
III - REPRESENTATION DES ANALYSES : DIAGRAMMES DE PIPER

Plusieurs types de représentation graphique peuvent être adoptés :

III.1 - Graphiques en colonnes

On superpose dans deux colonnes (une pour les cations, une pour les anions), les teneurs des différents éléments, exprimées en milliéquivalent, dans l'ordre : Na, Ca, Mg pour les cations, et Cl, SO₄, HCO₃ pour les anions.

Sur la figure III.3 sont reportées deux versions de cette représentation.



a - Diagramme de COLLINS.
b - Diagramme de ROZENS; Sp, salinité primaire; Ss, salinité secondaire; Ap, alcalinité primaire; As, alcalinité secondaire.

Fig. III.3 - Diagrammes en colonnes.

III.2 - Diagrammes verticaux

Sur l'axe des abscisses sont disposés, à intervalles réguliers et successivement, les radicaux rCa , rMg , rSO_4 , $r(HCO_3+CO_3)$. Nous portons sur l'axe des ordonnées, le nombre de milliéquivalents de chacun des radicaux. Les points sont reliés par des droites.

L'échelle de l'axe des ordonnées peut être arithmétique ou plus fréquemment logarithmique (diagrammes semi-logarithmiques de Schoeller). Grâce à l'inclinaison des traits, nous pouvons alors définir les rapports des éléments entre eux (par exemple des rapports caractéristiques comme rMg/rCa , rSO_4/rCl , $[(rCl-(rNa+rK)]/rCl$, rNa/rCl et rNa/rCa).

Un dérivé de cette représentation verticale est le diagramme Schoeller-Berkaloff qui reprend la représentation en milliéquivalents en lui associant celle en mg/l (cf. figure III.4).

III.3 - Diagrammes triangulaires

C'est le seul type de représentations, avec en particulier le diagramme de Piper, qui a été utilisé de façon systématique lors de cette étude.

La méthode d'utilisation des diagrammes de Piper est donnée en annexe 2.

Un programme a été créé sur l'APPLE II pour permettre le tracé des diagrammes et le report de points automatiquement.

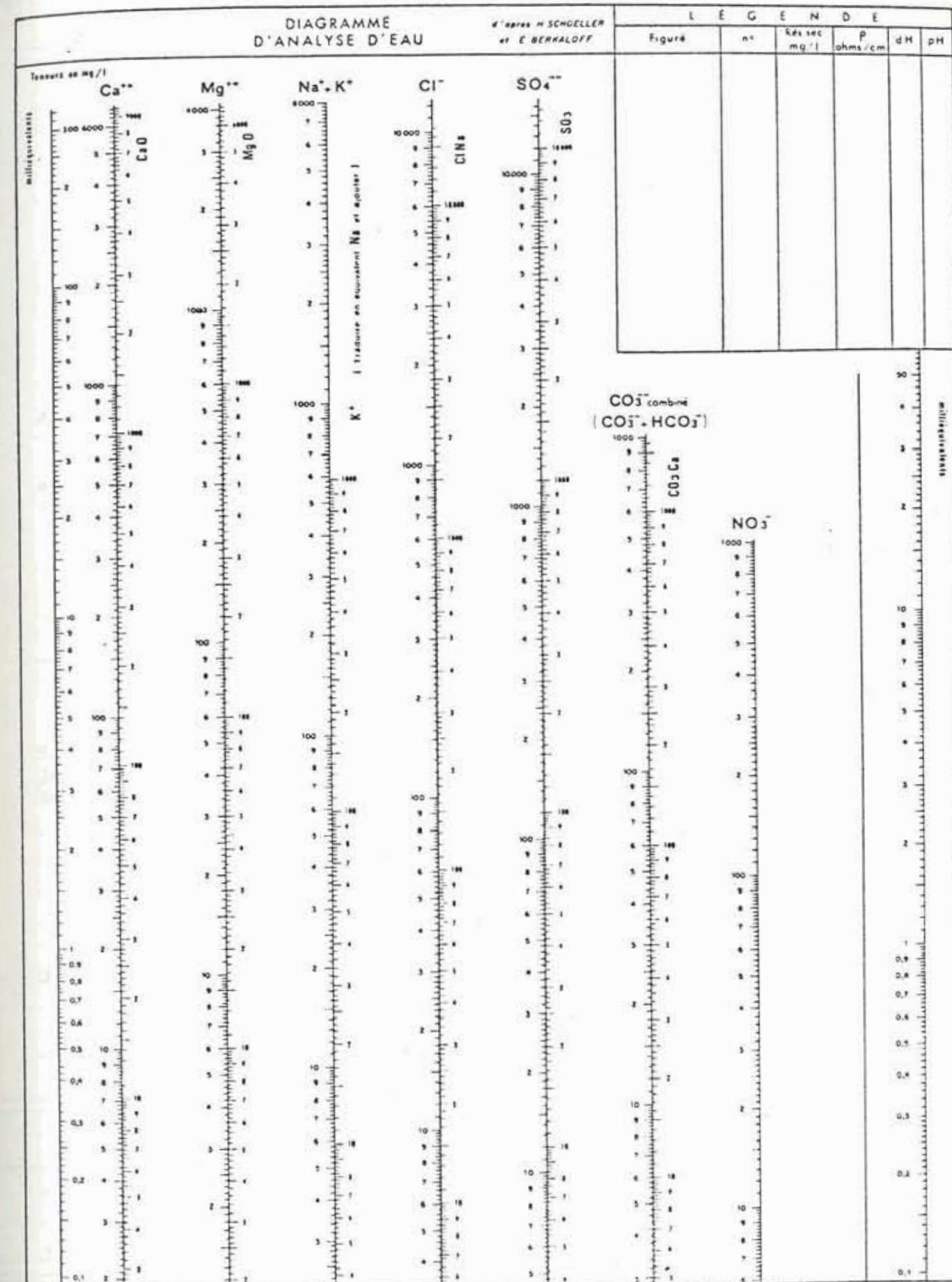


Fig. III.4 - Diagramme d'analyses d'eau. (d'après H. SCHOELLER et E. BERKALOFF)

4ème partie : CRITIQUE ET ANALYSES DES DONNÉES

Le premier travail, une fois le fichier global établi, a été une critique des données.

Des vérifications des analyses chimiques par différentes méthodes ont été effectuées.

I - METHODES DE VERIFICATION

1.1 - Absence d'identification

Un certain nombre de points n'avaient pas d'identification (cf. §.I.3.2 de la 2ème partie). Ces analyses, qui ne correspondaient pas aux Grès du Trias Inférieur au sens strict, ont été éliminées (533 analyses ont été ainsi écartées).

1.2 - Balance ionique

Sur les 10 600 analyses du fichier initial, seulement un tiers (exactement 3 708) comporte les huit éléments majeurs : Mg, Ca, Na, K, SO₄, Cl, HCO₃, NO₃.

Un essai de vérification de la balance ionique de ces analyses a été établi.

L'erreur r sur la balance ionique...

$$r = \frac{\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions}}{\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions}} \times 100 \text{ (teneurs exprimées en m.eq)}$$

... a été calculée sur les analyses contenant au moins les huit éléments majeurs.

Cette erreur était supérieure à 10 % pour 2 599 analyses (donc pour 70 % des 3 708 analyses).

Le nombre d'analyses pour lesquelles la balance se trouvait déséquilibrée étant trop important, il n'était par conséquent pas possible de les vérifier.

Lorsque nous avons recherché l'origine des erreurs sur la balance ionique, nous avons constaté qu'un grand nombre d'analyses pour lesquelles la balance ionique était déséquilibrée comportait au moins une valeur à 0.000 parmi les analyses des éléments majeurs. Le fichier n'aurait pas dû comporter de telles valeurs, puisque les mesures à 0.000 sont notées -3.000, les traces -5.000 et les valeurs manquantes -4.000 (cf. annexe 1).

Nous ne pouvions donc pas savoir à quoi correspondaient ces valeurs notées 0.000. Comme ces données étaient inutilisables, elles ont été considérées par la suite comme des valeurs manquantes et ont donc été rectifiées en -4.000.

Après cette transformation, le nombre d'analyses comportant les huit éléments majeurs n'était plus que de 796. Sur ces 796 analyses, 50 ont une erreur sur la balance ionique supérieure à 10% (et 114 analyses une erreur supérieure à 5%).

La balance ionique est un bon critère de vérification qui, malheureusement, n'a pas permis de vérifier que moins de 10 % des analyses.

1.3 - Vraisemblances géochimiques

1.3.1 : Le produit résidu sec x résistivité

La résistivité d'une eau varie en sens inverse de la concentration ionique. Il existe une relation empirique entre la valeur du résidu sec à 105° C (exprimée en mg/l) et la résistivité (exprimée en ohms/cm/cm²) à 20° C :

$$\text{résidu sec} \times \text{résistivité} = 0.65 \cdot 10^6$$

La figure IV.1 représente l'histogramme du produit résistivité x résidu sec.

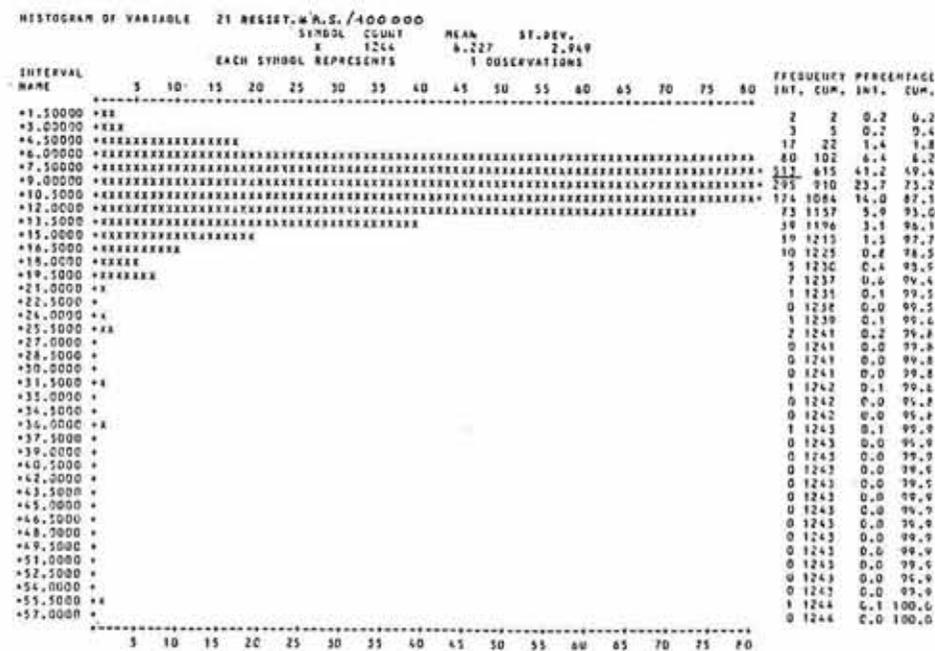


Fig. IV.1 - Histogramme de la variable : résistivité x résidu sec

100 000

Les analyses pour lesquelles ce produit s'écarte trop de cette constante paraissent anormales ; celles pour lesquelles le produit est supérieur à 120 10⁴ ou inférieur à 20 10⁴ ont donc été comparées aux originaux figurant aux archives quand cela était possible. Cette fourchette a été choisie après examen de l'histogramme.

Les erreurs les plus fréquentes provenaient alors :

- d'erreurs d'unités,
- d'erreurs de puissance de dix,
- d'une confusion entre résistivité et conductivité.

Ces erreurs ont naturellement été corrigées quand cela était possible.

1.3.2 : Comparaison du TAC par rapport à HCO₃

Nous avons vu (cf. §.II.3.2 de la 3ème partie) que pour les eaux dont le pH est inférieur à 8.3, nous obtenons :

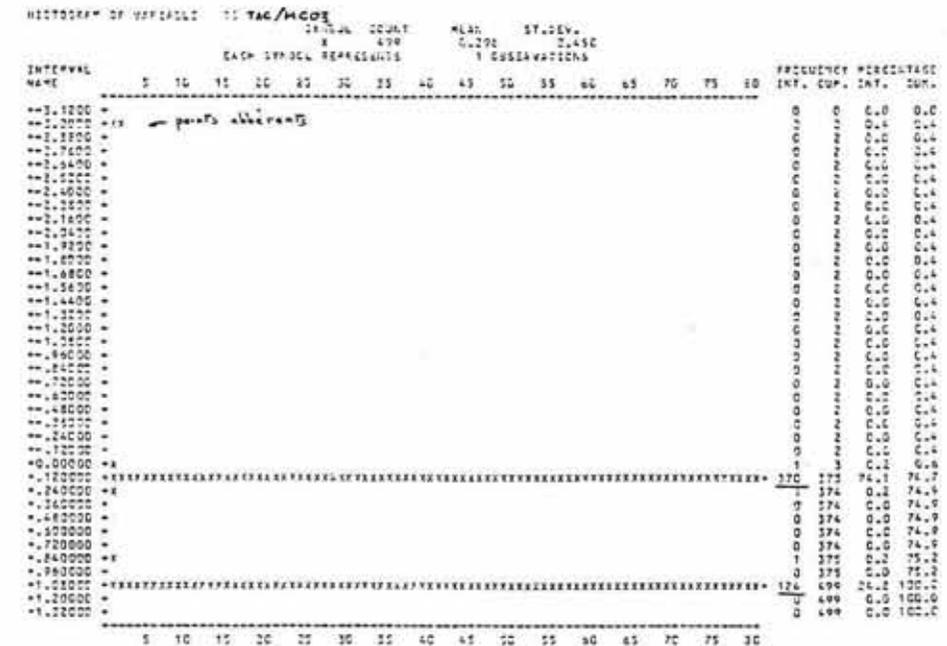
$$\text{TAC} = 5\ 000 [\text{HCO}_3] \quad (2)$$

Dans le système d'unité choisie pour le fichier informatique, cette relation s'écrit :

$$\text{TAC (d° Fr)} = \frac{\text{HCO}_3 \text{ (en mg/l)}}{5 \times 61} = 0.082 \text{ HCO}_3 \text{ (mg/l)} \quad (3)$$

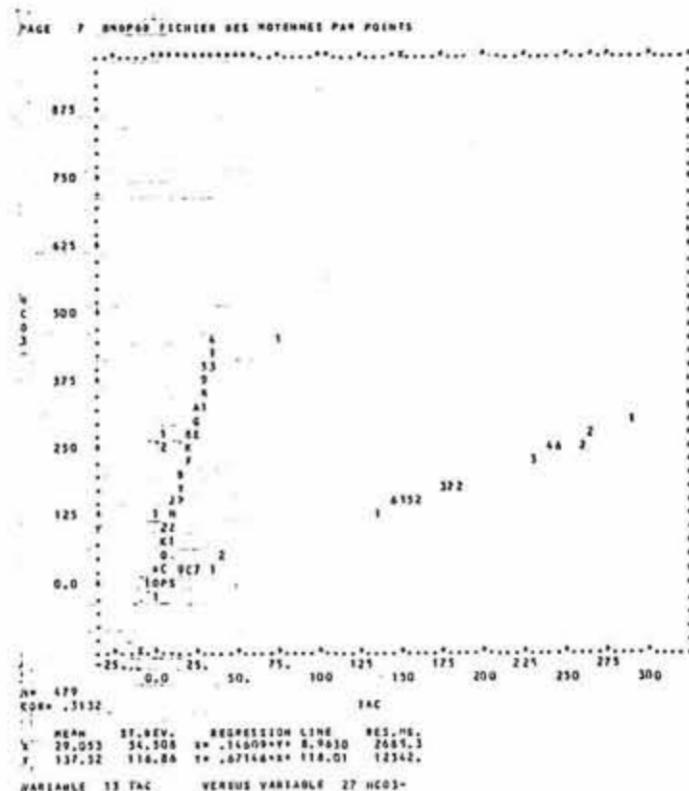
Un histogramme du rapport TAC/HCO₃ a été tracé (cf. figure IV.2). Nous y remarquons deux pics :

- un pic situé entre 0.96 et 1 (correspondant à un tiers des valeurs),
- un second pic entre 0 et 0.12. Ce pic est en accord avec l'approximation (2).



Pour un tiers des valeurs, nous obtenons donc un rapport égal à 1. En examinant plusieurs originaux correspondant à de telles analyses, nous avons constaté que le TAC y était exprimé en mg/l d'HCO₃ et non en degré français.

Afin de mieux visualiser les variations de chaque élément du rapport, les valeurs de HCO₃ ont été tracées en fonction du TAC (cf. figure IV.3). Nous remarquons sur ce graphique que pour beaucoup d'analyses où le rapport TAC/HCO₃ est de 1 (points situés sur la première bissectrice), les valeurs du TAC sont supérieures à 75. Il ne peut donc s'agir que de valeurs exprimées en mg/l car si nous considérons qu'il s'agit de valeurs en degrés français, la teneur en HCO₃ (en mg/l) serait alors supérieure à 900 mg/l, ce qui est bien plus important que toutes les autres valeurs observées.



N.B. Sur ce graphique, le chiffre 1 représente la position et le nombre de points ; quand le nombre de points est > 10, c'est une lettre qui est reportée (B = 12). pour un nombre de points > 36, c'est une étoile.

Fig. IV.3 - Variation des bicarbonates en fonction du TAC dans le fichier initial.

Les deux constatations énoncées plus haut nous permettent de penser que chaque fois que le rapport TAC/HCO₃ est égal à 1, c'est l'unité d'expression du TAC qui est mauvaise (mg/l au lieu de d° Fr) et non celle de la teneur en HCO₃. Pour toutes les analyses où TAC/HCO₃ = 1 (123 cas), la valeur du TAC a donc été transformée.

Pour les analyses où nous ne connaissons pas simultanément HCO₃ et le TAC, il avait été envisagé de corrélérer ce dernier paramètre avec une autre variable, afin de détecter les analyses où l'unité de mesure est erronée. Il n'existe

malheureusement pas de variable avec laquelle cela a pu être fait.

La correction aurait été possible en envisageant une régression multiple entre le TAC et d'autres variables ; cette solution n'a pas été essayée.

1.4 - Vraisemblance statistique

1.4.1 : Histogrammes

Des histogrammes (cf. annexe 3) ont été tracés pour l'ensemble des variables avec d'une part des coupures arithmétiques et d'autre part des coupures logarithmiques. Dans les figures de l'annexe 3, la plupart des variables sont présentées dans des histogrammes logarithmiques sauf en ce qui concerne les variables : pH, oxygène dissous, pH₂, TAC₂, As, Cd, Cr, CN, Cu, F, Pb et Zn. D'après la forme des histogrammes, des coupures arbitraires ont permis de mettre à l'écart des trop fortes, et dans certains cas des trop faibles, valeurs qui paraissaient anormales vis-à-vis de la population étudiée. Ces valeurs ont ensuite été systématiquement vérifiées. Dans le tableau IV.1 sont reportées, pour chaque variable, les valeurs au-dessus desquelles les données ont été vérifiées.

NH ₄	36	Turbid.	1200	Phénols	0
NO ₂	25	Résist.	65000	CO ₂	600
NO ₃	120	pH	9.9	Al	1
Cl	12000	O ₂ diss.	12.5	As	0.15
Dur. tot.	560	SiO ₂	35	Cd	4.10 ³
TAC	300	Mn	4	Cr	0.02
SO ₄	2250	CO ₃	50	Cn	0
Fer	40	HCO ₃	550	Cu	0.05
Na	4600	PO ₄	3	F	1
K	300	pH ₂	8.6	Pb	0.03
Ca	1800	TAC ₂	28	Zn	6
Mg	300	R.S.	18000		

Tableau IV.1 - Coupures "admissibles" pour les différents paramètres.

Remarque :

Lors de la représentation logarithmique, les teneurs à 0.0 ne sont pas reportées (puisqu'elles correspondraient en log à des valeurs infinies) ; par contre, ces mêmes teneurs n'ont pas été éliminées des représentations arithmétiques. Dans ce dernier cas, les valeurs à 0.0 sont nombreuses du fait de l'erreur signalée au §.I.6 de la 2ème partie (sur l'histogramme de HCO₃, par exemple, il y a plus de la moitié des valeurs à 0.0).

Quelques exemples de l'utilisation des histogrammes peuvent être cités :

- la figure 17 de l'annexe 3 représente les valeurs du pH. Les analyses dont le pH est inférieur à 4.0 ou supérieur à 9.9 ont été vérifiées dans les archives du code minier quand cela était possible. Beaucoup de ces analyses étaient absentes des archives ou inaccessibles ; il était alors impossible d'effectuer des corrections éventuelles ;

- la figure 28 de l'annexe 3 donne les valeurs de la teneur en aluminium. En recherchant les originaux des analyses à forte teneur en aluminium, nous avons

constaté que ces dernières correspondaient systématiquement à des analyses anciennes (antérieures à 1940). Or, dans les originaux des analyses anciennes, c'est la teneur en alumine qui est reportée et la méthode d'analyse doit être différente de celle utilisée actuellement. Les teneurs en aluminium des analyses anciennes, reportées dans le fichier informatique, ont donc été recalculées à partir d'une teneur en alumine (lors de la saisie informatique). Elles sont difficilement comparables aux teneurs mesurées actuellement.

Les histogrammes ont permis de déceler certaines sources d'erreurs mais ne permettent pas toujours leur correction. Les fortes valeurs, en oxydabilité par exemple, correspondaient à des teneurs exprimées en mg/l de $KMnO_4$, au lieu de mg/l d' O_2 . Ces fortes valeurs ont été corrigées, mais la même erreur subsiste sans doute pour des valeurs plus faibles et elle ne peut alors être détectée sur les histogrammes. (Ces valeurs pourraient être localisées si un autre paramètre était très bien corrélé à l'oxydabilité, ce qui est douteux si on se rappelle les conditions dans lesquelles ce paramètre est estimé au départ et reporté dans les fichiers initiaux par la suite.)

Dans beaucoup de ces histogrammes, nous remarquons un pic dans les faibles valeurs qui correspond à la limite de détectabilité des analyses ou à la limite avec laquelle les mesures ont été effectuées.

Par exemple sur l'histogramme du NO_2 (figure IV.4), nous observons deux pics successifs dans les faibles valeurs : le premier entre -2.1 et 1.95 en log qui correspond à des teneurs de 0.01 mg/l et le second équivalent à 0.1 mg/l.

Sur l'histogramme des sulfates (figure IV.9), nous remarquons de la même façon un pic à 0.0 en log qui correspond à des valeurs de 1 mg/l et un pic à 0.0 en log équivalent à des valeurs de 1 mg/l, et dans les plus faibles teneurs, un pic vers -0.3 en log, soit 0.5 mg/l.

Pour le paramètre turbidité (figure 15 de l'annexe 3), trois pics successifs dans les faibles valeurs sont signalés correspondant à 1, ou 3 puis 5 gouttes. Cette répartition est liée à la méthode de mesure de la turbidité ; en effet, la mesure en gouttes de mastic ne peut pas être continue (on ne peut pas mesurer une fraction de goutte).

Quand plusieurs analyses ont été réalisées sur le même point de prélèvement, la valeur médiane des teneurs pour chaque variable a tout d'abord été calculée. Ensuite, des histogrammes ont également été tracés sur ces valeurs médianes, c'est-à-dire avec une valeur par point. Dans ce cas, nous avons de plus, différencié les données suivant deux critères :

- la nature du point de prélèvement (forage houiller, forage autre, source, inconnu) ;
- la zone de prélèvement (zone houillère, nappe libre, zone sous couverture, inconnue).

Ces deux critères s'excluent parfois ; par exemple, nous ne pouvons pas avoir de source dans la zone sous couverture, c'est pourquoi tous les croisements de ces critères deux à deux ne sont pas toujours reportés.

Cette même représentation, selon les deux critères, n'a pas pu être effectuée sur le fichier total du fait de la capacité trop faible du programme.

A la fin de l'annexe 3 sont reportés les histogrammes du fichier final, c'est-à-dire après correction ; ces représentations pourront ainsi être comparées à celles du fichier initial et les améliorations appréciées.

Comparons par exemple les deux histogrammes représentant les concentrations en sulfates (figures n° 9 et n° 87). Pour ce paramètre, les teneurs supérieures à 2 250 mg/l (soit 3.3 en log) ont été systématiquement vérifiées et un certain nombre d'erreurs ont ainsi pu être éliminées. Nous constatons en effet que la moitié des valeurs supérieures à 2 250 a été supprimée entre le fichier initial et le fichier final.

Les fortes valeurs (supérieures à 2 250 mg/l) qui n'ont pas été éliminées ne sont pas forcément exactes ; elles correspondent souvent à des analyses pour lesquelles les originaux n'ont pas été retrouvés. Nous pouvons par contre affirmer que les fortes valeurs écartées étaient fausses car la mesure portée dans les archives était différente.

Les deux histogrammes de la résistivité (figures n° 16 et n° 94) peuvent être comparés de la même façon. Nous remarquons que des mesures ont été éliminées dans les faibles valeurs et dans les fortes valeurs entre le fichier initial et le fichier final.

Pour le paramètre pH (figures n° 17 et n° 95), seules des faibles valeurs ont été supprimées.

I.4.2 : Coefficient de corrélation

Les coefficients de corrélation des différentes variables deux à deux ont été calculés. Pour les variables bien corrélées, les valeurs manquantes auraient pu être estimées par régression linéaire simple ou multiple, si la population commune aux deux ou plusieurs variables est suffisante. La génération de données manquantes à partir de la population initiale n'a pu être effectuée car les mesures composant cette dernière ne sont pas assez fiables. Il est alors illusoire de vouloir créer de nouvelles valeurs qui soient significatives.

Dans le tableau IV.2 sont reportés les coefficients de corrélation des variables deux à deux ; le nombre de couples sur lequel a été calculé ces coefficients est porté dans le tableau II.3.

Remarque :

Quand le coefficient de corrélation est calculé à partir de deux points seulement, une erreur dans le programme entraîne une mauvaise valeur du coefficient (qui devrait dans ce cas être égal à 1).

Nous n'avons pas tenu compte des valeurs à 0.0 (code -3) ou des traces (code -5) pour le calcul des coefficients de corrélation. En effet, ces valeurs correspondent en fait à la limite de sensibilité des analyses chimiques. Il semble aberrant de tenter une corrélation entre les valeurs nulles et les données d'une autre variable qui, elles, varient significativement.

Pour certains paramètres, les éléments traces en particulier, beaucoup de mesures sont à 0.0. Pour le fluor par exemple, 5 000 analyses environ existent ; sur ces 5 000, une centaine seulement sont différentes de 0.0 ; il aurait donc été absurde de corrélérer l'ensemble des teneurs en fluor avec une autre variable.

Il est important de noter le nombre de couples sur lequel a été effectué le calcul du coefficient de corrélation. Par exemple, le coefficient de corrélation

entre les carbonates et le chrome est de -0.987 ! mais ce dernier n'a été calculé qu'à partir de trois points !

Lors du calcul des coefficients de corrélation, nous prenons en compte toutes les analyses. Nous pouvons remarquer qu'un point sur lequel de nombreuses analyses ont été faites aura beaucoup plus de poids qu'un point n'ayant qu'une seule analyse. Pour remédier à cet inconvénient, les coefficients de corrélation ont été également calculés sur les médianes de chaque point.

Lors du tracé des histogrammes, nous avons remarqué que la distribution des variables était dans l'ensemble log-normale ; les coefficients de corrélation ont donc été également calculés entre les logarithmes des différentes variables.

Pour visualiser les relations entre variables, des graphiques représentant une variable en fonction d'une autre ont été systématiquement tracés. Cette représentation permet de vérifier si la relation entre les variables est linéaire ou non. En effet, le coefficient de corrélation ne permet pas, à lui seul, d'estimer le lien entre deux variables. Si deux variables ne sont pas liées linéairement ou s'il existe un facteur limitant pour l'un des paramètres, le coefficient de corrélation entre les deux variables pourra être relativement faible, alors que les deux paramètres varient l'un en fonction de l'autre suivant un processus que nous pouvons interpréter. A l'inverse, il se peut que le coefficient de corrélation entre deux variables soit élevé alors qu'il n'existe pas de véritable lien entre les variables. C'est le cas notamment lorsque nous avons une série de faibles valeurs et un point très éloigné des autres.

Nous ne présentons pas l'ensemble des graphiques exécutés car leur nombre est trop important (903 figures) et qu'ils ne présentent pas tous le même intérêt.

Les mêmes représentations ont été effectuées pour certains paramètres sur le fichier de valeurs moyennes et celui de valeurs médianes. Certains des graphiques ont été également tracés avec des axes logarithmiques.

Les graphiques IV.4 à IV.23 représentent les variations de certains paramètres (ou de leur logarithme) en fonction d'une autre variable.

Les figures IV.4 à IV.6 donnent des couples de variables pour lesquels le coefficient de corrélation est de l'ordre de ± 0.7 et qui semblent liés par une relation linéaire.

Les figures IV.7 et IV.8 correspondent à des coefficients de corrélation du même ordre de grandeur, mais le lien entre les paramètres semble différent. Dans le premier cas (fig. IV.7), la relation entre les deux variables semble hyperbolique ; dans le second cas, la dispersion des points est due au fait que le pH varie très peu alors que les teneurs en HCO₃⁻, elles, varient. La reconstitution de données par régression ne serait donc pas valable dans ce cas.

La figure IV.9 représente un couple de concentrations pour lequel le phénomène est un peu le même que précédemment : le pH varie peu ; les teneurs en phosphates par contre diffèrent. Mais contrairement à la figure précédente (IV.8) et alors que la dispersion des points est assez semblable, le coefficient de corrélation est pratiquement égal à 0.

Les figures IV.10 à IV.12 présentent trois autres cas où le coefficient de corrélation est relativement élevé, mais la liaison entre les paramètres n'est pas linéaire. Dans le premier cas, le coefficient de corrélation est calculé sur seulement trois points et comme ceux-ci sont pratiquement alignés, le coefficient est donc voisin de 1. Dans le second cas (fig. IV.11), il existe un point (où la

teneur en fer est d'environ 20 mg/l et celle en CO₃⁻⁻ de 50 mg/l) très éloigné des autres mesures et le nombre de couples servant au calcul du coefficient de corrélation est très faible. Ce dernier ne pourrait donc pas être utilisé pour reconstituer des valeurs manquantes par régression.

Les figures IV.13 à IV.17 représentent des cas où contrairement aux exemples précédents, la présence de quelques points excentrés par rapport au nuage où sont regroupés les autres points, entraîne des coefficients de corrélation très faibles. Sur les figures IV.15, IV.16 et IV.17 en particulier, nous remarquons que si nous ne prenons en compte que les couples pour lesquels le résidu sec est inférieur à 10 000, la relation entre les deux variables représentées est beaucoup plus linéaire.

La figure IV.18 reproduit une autre paire de paramètres pour lesquels le coefficient de corrélation est très faible, car ils ne sont pas liés linéairement. Ceci ne signifie pas qu'il n'existe pas de relation entre les deux variables ; en effet, ces dernières semblent varier en "sens inverse".

Pour l'un des paramètres portés sur les figures IV.19 à IV.23, il existe un phénomène de saturation ; c'est-à-dire que quelles que soient les variations de la seconde variable, la première ne dépasse par une certaine valeur. Sur la figure IV.19, nous remarquons en effet que les teneurs du fer sont très dispersées ; par contre, la plupart des valeurs du TAC ne dépasse pas 45° Fr. De même, quelles que soient les valeurs en sodium (fig. IV.20), les concentrations en sulfates sont inférieures à 1 500 mg/l. Le phénomène est le même pour la variation du sodium en fonction du magnésium (fig. IV.21) et il peut être également observé sur la figure IV.22 où sont représentées les valeurs logarithmiques moyennes sur un point de prélèvement ; le coefficient de corrélation entre les deux variables est de 0.6 et la relation ne semble pas linéaire. Les teneurs en magnésium ne dépassent pas une certaine valeur quelle que soit la valeur de la teneur en sodium. Ce phénomène de "saturation" paraît fréquent.

Les quelques graphiques présentés à titre d'exemple, nous permettent de dégager trois types de phénomènes principaux :

- bon coefficient de corrélation et relation entre les paramètres relativement mauvaise ;
- mauvais coefficient et bonne corrélation entre les variables, mais cette relation n'est pas linéaire ;
- phénomène de saturation.

Remarque :

Les coefficients de corrélation ont été également calculés sur le fichier de médiane. Les tableaux IV.3 à IV.6 représentent les coefficients de corrélation des variables deux à deux sur le fichier final (après toutes les corrections).

Désignation du fichier	Nombre d'analyses du fichier	Analyses exclues du comptage	Nom du tableau
Fichier global final	10 029	-4	IV.3
		valeurs < = 0	IV.4
Fichier final de médianes	1 957	valeurs < 0	IV.5
		valeurs < = 0	IV.6

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE VALUE	LARGEST CASE VALUE
1	BACT24H	2738	248.7148	3570.4894	25	10000
2	BACT72H	4842	182.0874	2119.8602	4	10000
3	COLIF	964	45.1805	61.8983	19	10000
4	E. COLI	252	40.3254	44.2202	1911	10484
5	STREPTO	320	245.6437	3911.8127	255	10000
6	CL. SUL. R	90	37.8222	65.9008	5619	40000
7	OXYDABIL	7104	0.4134	1.0235	9586	0.0200
8	NH4	2524	0.9235	8.4673	37	0.0100
9	NO2	346	3.5097	49.5013	43	0.0100
10	NO3	6463	6.6215	11.7749	8840	0.0200
11	CL	8843	130.2340	1778.3583	10303	0.0050
12	DUR. TOT	10201	18.3607	38.1736	10564	0.1000
13	TAC	6352	14.1103	65.9033	10550	0.0160
14	SO4	8475	67.6975	198.7242	10550	0.0400
15	FER	5080	1.4738	5.5312	8627	0.0010
16	NA	4804	70.0179	334.6191	1970	0.0900
17	K	4659	7.4343	48.3386	4326	0.2000
18	CA	4930	63.6393	143.6796	7681	1.0000
19	MG	4747	20.4019	49.3813	10115	0.0300
20	TURBID.	6224	41.4528	98.3282	50	1.0000
21	RESIST.	9653	7848.2364	8240.2813	654	5.0000
22	PH	8546	6.8820	0.8075	8507	0.1000
23	O2 DISS	637	5.6028	3.1708	7124	0.0800
24	SI02	1288	10.3213	6.3035	3638	0.2000
25	MN	421	0.3750	2.0733	6907	0.0010
26	CO3--	20	34.7500	65.0179	5546	3.0000
27	HCO3-	2441	122.1314	120.0170	9909	0.9800
28	PO4--	336	1.0017	6.5360	19	0.0100
29	PH2	118	7.7199	0.3072	1768	6.9000
30	TAC2	118	15.2788	6.0397	10544	3.0000
31	R.S.	1802	765.4989	2084.2917	837	5.0000
32	PHENOLS	0				
33	CO2	750	57.1779	731.0754	4	0.3000
34	AL	107	0.1551	0.4018	9585	0.0020
35	AS	65	0.0124	0.0615	425	0.0010
36	CO	25	0.0022	0.0022	942	0.0010
37	CR	47	0.0089	0.0140	1876	0.0010
38	CN	2	0.0025	0.0021	9585	0.0010
39	CU	58	0.0143	0.0149	9574	0.0010
40	F	107	0.3347	0.7531	4110	0.0100
41	PB	63	0.0220	0.1254	2139	0.0010
42	ZN	92	0.1922	0.2171	2368	0.0050

Tableau IV.2 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier initial (10 600 analyses), en excluant les valeurs -5, -4, -3, 0.000

PAIRWISE FREQUENCIES WITH BOTH VARIABLES PRESENT

Table with 13 columns (BACT24H, BACT72H, COLIF, E.COLI, STREPTO, CL.SUL.R, OXYPARIL, HNA, H02, H03, H01) and 42 rows of pairwise frequencies.

Table with 13 columns (CL, HUM.TOT, TAC, SO4, FER, NA, E, CA, HE, TURNER) and 20 rows of pairwise frequencies.

Table with 13 columns (RESIST., PH, OZ BISS, SI02, HM, CO3--, HCO3--, PO4---, PH2, TAC2) and 10 rows of pairwise frequencies.

Table with 13 columns (R.S., PHENOLS, CO2, AL, AS, CA, CN, CU, F, PH, EN) and 10 rows of pairwise frequencies.

Table with 2 columns (PH, EN) and 2 rows of pairwise frequencies.

Tableau IV.2 (suite)

CORPHER CORRELATION MATRIX

Table with 13 columns (BACT24H, BACT72H, COLIF, E.COLI, STREPTO, CL.SUL.R, OXYPARIL, HNA, H02, H03, H01) and 42 rows of correlation coefficients.

Table with 13 columns (CL, HUM.TOT, TAC, SO4, FER, NA, E, CA, HE, TURNER) and 20 rows of correlation coefficients.

Table with 13 columns (RESIST., PH, OZ BISS, SI02, HM, CO3--, HCO3--, PO4---, PH2, TAC2) and 10 rows of correlation coefficients.

Table with 13 columns (R.S., PHENOLS, CO2, AL, AS, CA, CN, CU, F, PH, EN) and 10 rows of correlation coefficients.

Table with 2 columns (PH, EN) and 2 rows of correlation coefficients.

Tableau IV.2 (fin)

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE	SMALLEST VALUE	LARGEST CASE	LARGEST VALUE
1	BACT24H	3508	160.4441	2666.4554	4	0.0000	6114	10000.0000
2	BACT72H	5099	163.2304	2052.9823	9	0.0000	6113	10000.0000
3	COLIF	2254	17.2134	44.8469	4	0.0000	8063	100.0000
4	E.COLI	668	12.5539	30.8030	92	0.0000	9925	20.0000
5	STREPTO	1692	45.4232	1701.7575	4	0.0000	8206	7000.0000
6	CL.SUL.R	524	4.9885	27.8337	4	0.0000	3600	30.0000
7	OXYDABIL	6903	0.4076	1.0281	109	0.0000	2544	50.0000
8	NH4	4622	0.4012	2.0136	4	0.0000	2544	83.0000
9	NO2	2849	0.0839	2.6576	4	0.0000	7819	140.0000
10	NO3	7032	5.5607	10.9349	4	0.0000	7819	40.0000
11	CL	8572	107.9020	959.3698	4373	0.0000	4678	72671.9980
12	DUR.TOT	9659	17.4942	28.1381	10005	0.1000	4678	559.0000
13	TAC	6139	11.6345	10.4419	8207	0.0000	4250	107.0000
14	SO4	8328	61.1044	145.4937	248	0.0000	7819	530.0000
15	FER	5905	1.1808	2.8872	33	0.0000	6884	34.8000
16	NA	4674	72.4987	345.9600	2168	0.0000	6884	5440.0000
17	K	4531	6.8775	20.2698	1612	0.0000	6521	984.0000
18	CA	4772	60.8796	135.0008	7445	0.0000	4678	2198.0000
19	MG	4647	19.5056	48.5169	495	0.0000	9658	300.0000
20	TURBID.	6429	38.5144	89.5822	1264	0.0000	2018	110.0000
21	RESIST.	9151	7851.0415	8240.2358	9824	18.6200	6671	90909.3145
22	PH	8223	6.8888	0.7943	7828	4.5000	7383	10.9000
23	O2 DISS	622	5.4944	3.1776	1698	0.0000	242	14.1000
24	SI02	1269	10.0989	4.2408	4480	0.0000	6221	54.0000
25	MN	549	0.2086	0.6556	231	0.0000	8093	12.0000
26	CO3--	841	0.3484	3.7904	4	0.0000	6234	74.0000
27	HCO3-	2383	119.8674	118.8121	6525	0.0000	7020	838.0000
28	PO4--	473	0.6012	5.0373	8	0.0000	3322	96.0000
29	PH2	110	7.6935	0.3000	1765	6.9000	9804	8.5900
30	TAC2	110	15.7617	5.9624	9985	3.0000	9472	28.3930
31	R.S.	1734	710.4591	1952.0235	6766	10.0000	4	19360.0000
32	PHENOLS	1	0.0000	0.0000	2002	0.0000	2002	0.0000
33	CO2	727	26.8465	23.6075	6568	0.0000	2004	203.0000
34	AL	132	0.2150	0.8833	418	0.0000	6221	9.0000
35	AS	74	0.0042	0.0035	418	0.0000	2004	0.0160
36	CD	72	0.0008	0.0017	418	0.0000	751	0.0120
37	CR	90	0.0045	0.0110	418	0.0000	787	0.0850
38	CN	4	0.0013	0.0019	418	0.0000	9179	0.0040
39	CU	102	0.0084	0.0134	418	0.0000	9549	0.0580
40	F	102	0.3074	0.7087	2750	0.0000	9481	5.7000
41	PB	97	0.0038	0.0068	418	0.0000	9560	0.0500
42	ZN	95	0.1851	0.2171	418	0.0000	9182	1.2200

Tableau IV.3 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier final (10 029 analyses), -3 et -5 transformés en 0

PAIRWISE FREQUENCIES WITH BOTH VARIABLES PRESENT

	BACT24H 1	BACT72H 2	COLIF 3	E.COLI 4	STREPTO 5	CL.SUL.R 6	STYDANIL 7	NA 8	NOZ 9	NO3 10
BACT24H	1	3508								
BACT72H	2	3485	3099							
COLIF	3	1953	2097	2254						
E.COLI	4	546	546	634	688					
STREPTO	5	1582	1597	1837	1492	485				
CL.SUL.R	6	448	474	474	224	374	324			
STYDANIL	7	3222	4907	2031	538	1472	374	4903		
NA	8	2275	2859	1687	493	1474	415	1759	4622	
NOZ	9	1564	1472	1437	426	1428	407	1768	2688	2849
NO3	10	3100	4438	2046	573	1574	449	4020	4264	2826
CL	11	3428	5014	2174	592	1592	454	4873	4592	2821
BUR.TOT	12	2431	4025	1140	368	402	298	6854	4551	2764
TAC	13	1440	5025	2174	592	1592	454	5409	2974	1168
SO4	14	2602	3521	1734	454	1491	427	4531	3843	2639
FER	15	1444	2474	752	144	370	315	3803	2137	945
NA	16	1373	2230	715	143	361	310	3767	2110	934
K	17	1363	2218	704	142	359	309	3528	2323	1174
CA	18	2924	4107	1581	109	1048	229	3913	3410	1349
TURBID.	19	3440	5043	2190	414	1444	501	4755	4287	2514
RESIST.	20	241	267	267	1601	439	4606	4369	2402	4814
PH	21	279	308	262	44	218	195	439	409	513
O2 BISS	22	220	230	215	40	236	226	341	435	595
NO1	23	1102	217	208	53	214	201	411	440	499
CO3--	24	1129	1079	80	1058	271	1478	1614	1610	1943
HC03--	25	21	21	21	204	185	314	372	345	438
PO4---	26	11	21	21	2	2	2	110	41	10
PH2	27	295	322	273	75	238	235	314	110	100
TAC2	28	0	0	0	0	0	0	1	854	824
R.S.	29	238	267	220	57	205	184	545	488	441
PHENOLS	30	1	1	1	8	8	8	125	56	28
AL	31	1	1	1	1	1	1	74	34	8
AS	32	0	0	0	0	0	0	72	32	7
CA	33	12	3	3	1	1	1	90	54	8
CR	34	0	0	0	0	0	0	4	1	1
CU	35	1	1	1	3	3	3	102	38	10
F	36	1	1	1	1	1	1	101	40	12
PH	37	1	1	1	1	1	1	97	37	10
IN	38	1	1	1	1	1	1	95	38	10

	CL 11	BUR.TOT 12	TAC 13	SO4 14	FER 15	NA 16	K 17	CA 18	MG 19	TURBID. 20
CL	11	8572								
BUR.TOT	12	8395	7458							
TAC	13	6123	6104	6139						
SO4	14	8493	8193	8035	8328	5905				
FER	15	5870	5812	5707	5744	2842	4553			
NA	16	4460	4418	4375	4474	2642	4284	4142	4772	
K	17	4439	4402	4361	4402	3042	3815	4244	4174	4174
CA	18	4749	4487	4375	4474	2642	4524	4553		
MG	19	4627	4592	4502	4499	3147	4264	4142		
TURBID.	20	4420	4384	4344	4379	4310	4445	4070	3440	3436
RESIST.	21	7904	8940	4011	7728	5501	4412	4491	3440	3436
PH	22	8011	8159	4057	7824	5581	4574	4457	4384	4282
O2 BISS	23	1247	804	272	569	545	554	541	550	544
NO1	24	1247	804	272	569	545	554	541	550	544
NO2	25	535	524	244	1189	1137	1053	944	1197	1113
CO3--	26	837	824	150	529	502	494	525	524	232
HC03--	27	2344	2289	479	2271	2220	1049	1400	1285	1275
PO4---	28	449	457	231	444	432	425	441	454	222
PH2	29	108	109	110	109	109	110	109	109	102
TAC2	30	110	108	109	110	109	110	109	109	102
R.S.	31	1479	1471	1471	1471	1471	1471	1471	1471	1471
PHENOLS	32	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AL	33	703	704	301	685	643	631	597	671	644
AS	34	130	124	122	130	122	121	119	129	103
CA	35	74	74	72	74	74	74	74	74	74
CR	36	72	72	72	72	72	72	72	72	72
CU	37	90	89	89	90	90	90	90	89	85
F	38	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PH	39	102	100	100	102	102	101	102	101	97
IN	40	102	98	99	102	102	101	102	101	92
PH	41	97	95	95	97	97	96	97	96	94
IN	42	95	93	93	95	95	94	95	94	91

	RESIST. 21	PH 22	O2 BISS 23	NO1 24	NO2 25	CO3-- 26	HC03-- 27	PO4--- 28	PH2 29	TAC2 30
RESIST.	21	9159								
PH	22	7973	8223							
O2 BISS	23	401	612	622						
NO1	24	1111	1162	106	1249					
NO2	25	498	553	401	613	549				
CO3--	26	801	793	212	413	841	2383			
HC03--	27	2158	2179	587	1124	280	451	473		
PO4---	28	444	454	332	390	372	234	673		
PH2	29	110	110	94	110	104	4	109	95	110
TAC2	30	110	110	94	110	104	4	109	95	110
R.S.	31	1245	1314	552	1194	512	774	1349	430	109
PHENOLS	32	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AL	33	675	712	443	643	348	455	684	315	104
AS	34	118	119	95	130	113	114	118	100	106
CA	35	74	74	74	74	74	74	74	73	73
CR	36	72	72	72	72	72	72	72	72	72
CU	37	90	89	89	90	90	90	90	89	85
F	38	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PH	39	102	102	88	102	101	7	103	91	101
IN	40	102	98	88	102	101	7	101	87	97
PH	41	97	95	83	97	97	4	94	85	94
IN	42	95	93	83	95	95	3	94	84	94

	R.S. 31	PHENOLS 32	CO2 33	AL 34	AS 35	CA 36	CR 37	CU 38	F 39	PH 40
R.S.	31	1734								
PHENOLS	32	1	1							
CO2	33	704	1	727						
AL	34	130	1	111	132					
AS	35	74	1	74	73	74				
CA	36	72	1	72	71	72	72			
CR	37	90	1	88	89	73	72	90		
CU	38	4	1	0	2	1	1	90	4	
F	39	101	1	98	100	74	72	4	102	
PH	40	101	1	97	94	72	71	4	95	102
IN	41	97	1	93	94	73	71	4	94	92
IN	42	95	1	91	94	74	71	4	94	89

Tableau IV.3 (suite)

PAIRWISE CORRELATION MATRIX

	BACT24H 1	BACT72H 2	COLIF 3	E.COLI 4	STREPTO 5	CL.SUL.R 6	STYDANIL 7	NA 8	NOZ 9	NO3 10
BACT24H	1	1.0000								
BACT72H	2	0.1218	1.0000							
COLIF	3	0.0771	0.0032	1.0000						
E.COLI	4	0.1811	0.0771	0.0032	1.0000					
STREPTO	5	-0.2015	0.0230	0.3749	0.5134	1.0000				
CL.SUL.R	6	0.0284	0.0974	0.0203	0.4332	0.0181	1.0000			
STYDANIL	7	0.0147	0.0264	0.0014	0.0877	0.0181	0.0095	1.0000		
NA	8	-0.0074	-0.1091	0.0240	0.1093	-0.0034	0.0095	0.0095	1.0000	
NOZ	9	-0.2015	-0.2020	-0.0005	-0.0073	-0.0006	0.0224	0.0102	0.0049	1.0000
NO3	10	0.0004	-0.2045	-0.0745	-0.1177	-0.0092	0.0119	0.0114	0.0707	0.0983
BUR.TOT	11	0.0140	-0.0047	0.0098	0.1301	-0.0038	-0.0399	0.1434	0.0585	-0.0055
TAC	12	-0.2015	-0.2099	0.0482	-0.2445	-0.2034	-0.0092	0.1254	0.1728	-0.2024
SO4	13	-0.2083	-0.2099	0.0273	-0.0014	-0.0057	-0.0384	0.0741	0.0409	-0.2024
FER	14	0.0142	-0.0304	0.1111	0.0530	-0.0034	-0.0348	0.0871	0.1855	0.2185
NA	15	-0.0109	-0.0385	-0.0418	-0.0504	-0.0753	-0.0574	0.1403	0.1072	-0.0386
K	16	-0.0209	-0.0059	-0.0631	-0.0584	-0.0717	-0.0512	0.0920	0.0875	-0.0116
CA	17	0.0318	0.0265	-0.0188	-0.2532	-0.0002	-0.0431	0.1943	0.1451	-0.0179
TURBID.	18	0.0188	0.0122	0.0482	-0.0732	0.0701	-0.0095	0.1011	0.1480	-0.0024
RESIST.	19	0.2015	0.2019	0.0485	0.1054	-0.0299	-0.0518	0.2142	0.2053	0.0423
PH	20	0.3032	-0.0138	-0.1348	-0.1849	-0.0028	-0.0847	-0.0234	-0.1203	-0.0744
O2 BISS	21	0.0013	0.0404	-0.0847	0.1054	-0.0299	-0.0518	0.0724	-0.0181	-0.1340
NO1	22	0.2044	0.0137	-0.0515	-0.1385	-0.0038	-0.0497	-0.0727	-0.0227	0.0385
NO2	23	-0.0317	-0.2059	-0.0284	-0.0844	-0.0099	-0.0318	0.0502	-0.0159	-0.0307
CO3--	24	0.0512	-0.0203	-0.0087	-0.0448	0.0099	0.1180	0.0309	0.0447	-0.0110
HC03--	25	-0.0105	-0.0022	0.0334	-0.0750	-0.0021	-0.0221	0.1090	0.0033	0.2192
PO4---	26	0.0000	-0.1841	-0.2253	-0.042					

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE	SMALLEST VALUE	LARGEST CASE	LARGEST VALUE
1	BACT24H	2593	217.0605	3099.6101	25	1.0000	6114	10000.0000
2	BACT72H	4660	178.6077	2146.8882	4	1.0000	6113	10000.0000
3	COLIF	878	44.1902	63.0349	19	1.0000	8063	1000.0000
4	E.COLI	216	38.8241	43.8052	1908	1.0000	9925	200.0000
5	STREPTO	270	284.6519	4258.6948	252	1.0000	8206	7000.0000
6	CL.SUL.R	65	40.2154	69.9434	5541	4.0000	3600	300.0000
7	OXYDABIL	6876	0.4092	1.0298	9181	0.0200	2544	50.0000
8	NH4	2469	0.7511	2.7072	37	0.0100	2544	83.0000
9	NO2	345	0.6928	7.6191	9482	0.0010	7819	140.0000
10	NO3	6224	6.2826	11.4264	8500	0.0200	7819	400.0000
11	CL	8551	108.1670	960.5324	9770	0.0050	4678	72671.9980
12	DUR.TOT	9659	17.4942	28.1381	10005	0.1000	4678	559.0000
13	TAC	6138	11.6364	10.4417	9991	0.0160	4250	107.0000
14	SO4	8198	62.0734	146.4377	9991	0.0400	7819	5300.0000
15	FER	4977	1.4009	3.0955	8287	0.0010	6884	34.8000
16	NA	4671	72.5452	346.0663	1967	0.0900	6884	5440.0000
17	K	4525	6.8866	20.2817	4285	0.2000	6521	984.0000
18	CA	4771	60.8924	135.0121	7434	1.0000	4678	2198.0000
19	MG	4595	19.7273	48.7461	9585	0.0300	9658	3000.0000
20	TURBID.	6059	40.8663	91.7550	50	1.0000	2018	1100.0000
21	RESIST.	9151	7851.0415	8240.2358	9824	18.6200	6671	90909.3145
22	PH	8223	6.8888	0.7943	7828	4.5000	7383	10.9000
23	O2 DISS	617	5.5389	3.1515	6886	0.0800	242	14.1000
24	SI02	1263	10.1469	4.1932	3608	0.2000	6221	54.0000
25	MN	409	0.2800	0.7465	6789	0.0010	8093	12.0000
26	CO3--	17	17.2353	21.0959	5468	3.0000	6234	74.0000
27	HCO3-	2368	120.6267	118.8030	1967	1.2500	7020	838.0000
28	PO4---	322	0.8832	6.0877	19	0.0100	3322	96.0000
29	PH2	110	7.6935	0.3000	1765	6.9000	9804	8.5900
30	TAC2	110	15.7617	5.9624	9985	3.0000	9472	28.3930
31	R.S.	1734	710.4591	1952.0235	6766	10.0000	4	19360.0000
32	PHENOLS	0						
33	CO2	720	27.1075	23.5723	4	0.3000	2004	203.0000
34	AL	102	0.2783	0.9971	9180	0.0020	6221	9.0000
35	AS	64	0.0048	0.0033	422	0.0010	2004	0.0160
36	CD	25	0.0022	0.0022	939	0.0010	751	0.0120
37	CR	46	0.0089	0.0142	1873	0.0010	787	0.0850
38	CN	2	0.0025	0.0021	9180	0.0010	9179	0.0040
39	CU	56	0.0152	0.0150	9169	0.0010	9549	0.0580
40	F	100	0.3135	0.7145	4078	0.0100	9481	5.7000
41	PB	58	0.0063	0.0078	2136	0.0010	9560	0.0500
42	ZN	89	0.1976	0.2187	2365	0.0050	9182	1.2200

Tableau IV.4 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier final (10 029 analyses), -3 et -5 exclus

PAIRWISE FREQUENCIES WITH BOTH VARIABLES PRESENT

Table with 10 columns (ACT24H to NO3) and 42 rows of pairwise frequencies.

Table with 20 columns (CL to TURBID) and 20 rows of pairwise frequencies.

Table with 10 columns (RESIST. to TAC2) and 10 rows of pairwise frequencies.

Table with 10 columns (N.S. to F) and 10 rows of pairwise frequencies.

Table with 2 columns (PH, IN) and 2 rows of pairwise frequencies.

Tableau IV.4 (suite)

PAIRWISE CORRELATION MATRIX

Correlation matrix with 10 columns (ACT24H to NO3) and 42 rows of correlation coefficients.

Correlation matrix with 20 columns (CL to TURBID) and 20 rows of correlation coefficients.

Correlation matrix with 10 columns (RESIST. to TAC2) and 10 rows of correlation coefficients.

Correlation matrix with 10 columns (N.S. to F) and 10 rows of correlation coefficients.

Correlation matrix with 2 columns (PH, IN) and 2 rows of correlation coefficients.

Tableau IV.4 (fin)

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE	SMALLEST VALUE	LARGEST CASE	LARGEST VALUE
1	BACT24H	483	525.8944	6464.9558	3	0.0000	622	10000.0000
2	BACT72H	601	397.9800	4382.3254	3	0.0000	621	10000.0000
3	COLIF	398	18.7035	41.2963	3	0.0000	1239	50.0000
4	E.COLI	192	16.1771	32.0388	12	0.0000	681	180.0000
5	STREPTO	279	5.4767	17.0658	3	0.0000	19	10.0000
6	CL.SUL.R	186	5.3656	22.5193	3	0.0000	1024	230.0000
7	OXYDABIL	706	0.5167	0.6609	335	0.0300	1123	7.5000
8	NH4	459	0.2492	0.6544	18	0.0000	1133	9.0000
9	NO2	409	0.4092	6.9581	3	0.0000	1114	140.0000
10	NO3	773	6.1267	18.3632	26	0.0000	1114	40.0000
11	CL	873	95.8194	574.6829	1839	0.0050	3	10180.0000
12	DUR.TOT	1883	11.8539	24.7632	1831	0.2500	3	510.0000
13	TAC	485	8.8800	9.9974	1603	0.1640	1927	74.5000
14	SO4	851	61.3118	239.9431	514	0.0000	1114	5300.0000
15	FER	587	0.6890	2.1697	137	0.0000	1010	34.8000
16	NA	434	113.5962	466.5153	1131	0.1000	1010	5440.0000
17	K	414	8.2231	21.4229	1036	0.3000	731	256.0000
18	CA	491	66.0389	134.3562	1880	1.0000	3	1695.0000
19	MG	481	25.8830	137.9561	576	0.0000	1783	3000.0000
20	TURBID.	337	30.3294	62.0513	249	0.0000	5	60.0000
21	RESIST.	1773	11471.5597	9849.6636	1873	18.6200	832	90909.3145
22	PH	939	6.6040	0.7822	1123	4.5000	1761	9.5000
23	O2 DISS	297	6.2356	3.1792	742	0.0000	576	11.6000
24	SI02	387	9.2127	4.8320	255	0.0000	720	54.0000
25	MN	249	0.1875	0.8331	21	0.0000	1243	12.0000
26	CO3--	206	0.9345	6.5339	3	0.0000	731	74.0000
27	HCO3-	486	134.2377	121.9104	742	0.0000	1927	522.5000
28	PO4---	214	0.3009	0.7343	3	0.0000	27	8.7800
29	PH2	55	7.7526	0.3393	84	6.9000	1862	8.5900
30	TAC2	55	14.3663	6.4283	1952	3.0000	1715	28.3930
31	R.S.	471	527.8524	1300.8916	907	10.0000	3	17355.0000
32	PHENOLS	1	0.0000	0.0000	94	0.0000	94	0.0000
33	CO2	322	24.4444	21.1540	1897	0.0000	109	138.5000
34	AL	72	0.3470	1.1545	70	0.0000	720	9.0000
35	AS	30	0.0037	0.0031	100	0.0000	109	0.0100
36	CD	28	0.0012	0.0023	32	0.0000	43	0.0120
37	CR	41	0.0043	0.0078	32	0.0000	44	0.0420
38	CN	3	0.0010	0.0017	32	0.0000	1543	0.0030
39	CU	48	0.0089	0.0139	32	0.0000	1726	0.0580
40	F	47	0.3489	0.7606	1863	0.0200	1716	4.7250
41	PB	44	0.0033	0.0032	43	0.0000	1716	0.0110
42	ZN	44	0.1735	0.1628	32	0.0000	109	0.7900

Tableau IV.5 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier final de médianes (1 957 points) ; les valeurs à 0.0 sont prises en compte

Table with 14 columns (BACT24H, BACT72H, COLIF, E.COLI, STREPTO, CL.SUL.R, DEYRABIL, HNA, HNZ, HNS, HOS) and 42 rows of pairwise frequency data.

Table with 14 columns (CL, BUR.TOT, TAC, SOA, FER, HA, K, CA, ME, TURBID., PHENOLS) and 20 rows of pairwise frequency data.

Table with 14 columns (RESIST., PH, OZ.BISS, SIOZ, NM, COLI--, HCOI--, PH2, TACZ) and 10 rows of pairwise frequency data.

Table with 14 columns (R.S., PHENOLS, COZ, AL, AS, CB, CR, CN, CU, F) and 10 rows of pairwise frequency data.

Table with 2 columns (PH, IN) and 2 rows of pairwise frequency data.

Tableau IV.5 (suite)

Table with 14 columns (BACT24H, BACT72H, COLIF, E.COLI, STREPTO, CL.SUL.R, DEYRABIL, HNA, HNZ, HNS, HOS) and 42 rows of pairwise correlation coefficients.

Table with 14 columns (CL, BUR.TOT, TAC, SOA, FER, HA, K, CA, ME, TURBID., PHENOLS) and 20 rows of pairwise correlation coefficients.

Table with 14 columns (RESIST., PH, OZ.BISS, SIOZ, NM, COLI--, HCOI--, PH2, TACZ) and 10 rows of pairwise correlation coefficients.

Table with 14 columns (R.S., PHENOLS, COZ, AL, AS, CB, CR, CN, CU, F) and 10 rows of pairwise correlation coefficients.

Table with 2 columns (PH, IN) and 2 rows of pairwise correlation coefficients.

Tableau IV.5 (fin)

VARIABLE NO.	NAME	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	SMALLEST CASE	SMALLEST VALUE	LARGEST CASE	LARGEST VALUE
1	BACT24H	411	618.0219	7005.5906	5	1.3000	622	10000.0000
2	BACT72H	578	413.8166	4468.0800	26	1.3000	621	10000.0000
3	COLIF	258	28.8527	48.3778	214	1.3000	1239	50.0000
4	E.COLI	97	32.0206	39.1109	756	1.0000	681	180.0000
5	STREPTO	92	16.6087	26.5106	145	1.3000	19	10.0000
6	CL.SUL.R	34	29.3529	46.0164	450	2.0000	1024	20.0000
7	OXYDABIL	706	0.5167	0.6609	335	0.0300	1123	7.5000
8	NH4	287	0.3985	0.7912	1660	0.0130	1133	9.0000
9	NO2	81	2.0662	15.6029	58	0.3050	1114	140.0000
10	NO3	719	6.5868	18.9614	3	0.1000	1114	40.0000
11	CL	873	95.8194	574.6829	1839	0.3050	3	10180.0000
12	DUR.TOT	1883	11.8539	24.7632	1831	0.2500	3	510.0000
13	TAC	485	8.8800	9.9974	1603	0.1640	1927	74.5000
14	SO4	847	61.6014	240.4725	1131	0.0700	1114	5300.0000
15	FER	544	0.7435	2.2450	1664	0.3040	1010	34.8000
16	NA	434	113.5962	466.5153	1131	0.1000	1010	5440.0000
17	K	414	8.2231	21.4229	1036	0.3000	731	256.0000
18	CA	491	66.0389	134.3562	1880	1.3000	3	1695.0000
19	MG	480	25.9369	138.0949	1735	0.0300	1783	3000.0000
20	TURBID.	315	32.4476	63.6489	1241	0.5000	5	60.0000
21	RESIST.	1773	11471.5597	9849.6636	1873	18.6200	832	90909.3145
22	PH	939	6.6040	0.7822	1123	4.5000	1761	9.5000
23	O2 DISS	296	6.2566	3.1637	1952	0.1500	576	11.6000
24	SI02	384	9.2846	4.7813	1814	0.4000	720	54.0000
25	MN	203	0.2300	0.9177	919	0.3010	1243	12.0000
26	CO3--	12	16.0417	23.0488	440	1.5000	731	74.0000
27	HCO3-	485	134.5145	121.8833	1783	2.0000	1927	522.5000
28	PO4---	168	0.3832	0.8099	1029	0.0100	27	8.7800
29	PH2	55	7.7526	0.3393	84	6.9000	1862	8.5900
30	TAC2	55	14.3663	6.4283	1952	3.0000	1715	28.3930
31	R.S.	471	527.8524	1300.8916	907	10.0000	3	17355.0000
32	PHENOLS	0						
33	CO2	321	24.5206	21.1428	1863	0.3800	109	138.5000
34	AL	60	0.4164	1.2548	94	0.3030	720	9.0000
35	AS	28	0.0040	0.0030	32	0.3010	109	0.0100
36	CD	14	0.0024	0.0029	48	0.3010	43	0.0120
37	CR	26	0.0068	0.0089	1716	0.3010	44	0.0420
38	CN	1	0.0030	0.0000	1543	0.3030	1543	0.3030
39	CU	33	0.0130	0.0151	1540	0.3010	1726	0.0580
40	F	47	0.3489	0.7606	1863	0.0200	1716	4.7250
41	PB	34	0.0042	0.0030	57	0.3010	1716	0.0110
42	ZN	42	0.1818	0.1621	111	0.0100	109	0.7900

Tableau IV.6 - Etat et coefficients de corrélation sur le fichier final de médianes (1 957 points) ; les valeurs à 0.0 sont exclues

PAIRWISE FREQUENCIES WITH BOTH VARIABLES PRESENT

	BACT24H	BACT72H	COLIF	E.COLI	STREPTO	CL.SUL.B	SYNPHIL	MM4	NO2	NO3	NO4
BACT24H	1										
BACT72H	2	411									
COLIF	3	379	578								
E.COLI	4	218	251	258							
STREPTO	5	87	89	80	97						
CL.SUL.B	6	31	34	25	20	23					
SYNPHIL	7	388	539	248	91	90	704				
MM4	8	54	42	45	41	28	272	287			
NO2	9	391	238	170	58	62	58	58	81		
NO3	10	295	542	250	95	82	14	454	278	77	719
CL	11	408	549	257	96	92	14	702	287	80	713
SUM.TOT	12	409	578	258	97	92	14	704	287	81	717
TAC	13	291	357	214	79	80	33	453	260	56	430
SO4	14	401	544	257	95	91	33	481	281	79	495
FER	15	293	370	191	59	47	29	438	256	68	440
NA	16	274	314	179	50	40	30	345	237	58	368
K	17	265	310	176	50	40	30	353	234	58	357
CA	18	269	314	177	50	40	30	373	224	40	372
MG	19	254	310	176	50	39	30	369	221	40	368
TURBID.	20	254	272	167	47	59	28	289	213	45	290
RESIST.	21	401	571	256	94	91	14	481	283	77	702
PH	22	404	549	257	95	90	14	481	284	79	703
O2 BISS	23	212	276	134	41	49	23	270	165	18	248
SI02	24	234	270	152	44	51	28	324	190	55	317
MM	25	126	154	77	21	29	12	175	104	38	181
CO3---	26	6	9	4	1	2	4	9	4	2	9
NO3---	27	263	313	174	50	38	29	382	207	40	390
PO4---	28	123	160	81	23	24	14	151	102	33	159
PH2	29	47	49	27	9	9	3	55	43	10	54
TAC2	30	47	49	27	9	9	3	55	43	10	54
H.S.	31	257	294	165	48	53	28	354	203	57	351
PHENOLS	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO2	33	232	254	148	44	50	29	290	174	47	281
AL	34	44	44	24	10	11	3	37	40	11	31
AS	35	28	27	13	3	4	1	28	26	7	28
CA	36	14	14	4	1	1	0	14	14	2	14
CR	37	20	21	10	4	3	1	14	14	6	25
CN	38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CU	39	33	33	12	4	5	1	33	23	7	32
F	40	38	40	19	5	4	2	47	34	9	43
PH	41	27	29	13	4	5	2	34	24	8	33
IN	42	35	37	19	4	4	1	42	33	9	41

	CL	SUM.TOT	TAC	SO4	FER	NA	K	CA	MG	TURBID.
CL	11	873								
SUM.TOT	12	859	1882							
TAC	13	484	484	485						
SO4	14	434	434	434	847					
FER	15	534	540	542	513	544				
NA	16	431	425	426	424	434				
K	17	411	410	410	407	414				
CA	18	485	481	481	424	412	491			
MG	19	478	471	472	421	416	478	480		
TURBID.	20	315	315	315	294	292	294	293	315	
RESIST.	21	792	1710	1674	1649	1714	1688	1714	1710	315
PH	22	809	951	479	792	510	408	453	441	315
O2 BISS	23	294	294	294	289	285	293	289	211	
SI02	24	382	379	276	375	341	371	363	230	
MM	25	201	200	147	200	200	201	199	142	
CO3---	26	10	10	7	10	9	10	9	4	
NO3---	27	478	484	517	472	424	384	423	414	282
PO4---	28	168	168	113	168	165	164	164	145	127
PH2	29	55	55	55	55	55	55	55	54	50
TAC2	30	55	55	55	55	55	55	55	54	50
H.S.	31	462	458	302	458	408	375	459	267	315
PHENOLS	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO2	33	318	321	248	317	295	309	301	318	235
AL	34	40	57	37	40	54	55	52	59	47
AS	35	28	28	28	28	28	28	28	28	28
CA	36	14	14	14	14	14	14	14	14	14
CR	37	20	26	26	26	26	26	26	25	23
CN	38	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CU	39	33	33	33	33	33	33	33	32	29
F	40	47	47	44	47	46	47	47	44	41
PH	41	34	34	34	34	34	34	34	34	33
IN	42	42	42	42	42	42	42	42	42	40

	RESIST.	PH	O2 BISS	SI02	MM	CO3---	NO3---	PO4---	PH2	TAC2
RESIST.	21	1773								
PH	22	898	959							
O2 BISS	23	290	295	294						
SI02	24	362	371	269	384					
MM	25	199	199	167	185	203				
CO3---	26	10	10	7	9	9	12			
NO3---	27	452	465	291	344	200	9	485		
PO4---	28	168	167	136	154	126	8	164	188	
PH2	29	55	55	55	53	53	5	55	45	55
TAC2	30	55	55	55	53	53	5	55	45	55
H.S.	31	399	422	288	364	194	9	419	164	55
PHENOLS	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO2	33	312	318	271	294	160	6	314	144	55
AL	34	32	54	43	40	49	3	55	39	45
AS	35	28	28	28	27	27	0	28	27	28
CA	36	14	14	14	14	14	1	14	14	14
CR	37	20	26	26	26	26	3	26	26	24
CN	38	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CU	39	33	33	33	32	32	3	33	27	33
F	40	47	47	44	47	44	3	47	39	44
PH	41	34	34	34	34	34	2	34	28	34
IN	42	42	42	42	42	42	3	42	37	42

	H.S.	PHENOLS	CO2	AL	AS	CA	CR	CN	CU	F
H.S.	31	471								
PHENOLS	32	0	0							
CO2	33	315	321							
AL	34	40	48	40						
AS	35	28	28	27	28					
CA	36	14	14	14	14	14				
CR	37	20	26	26	26	26	26			
CN	38	1	1	1	1	1	1			
CU	39	33	33	32	32	32	32	33		
F	40	47	47	44	47	44	47	44	44	
PH	41	34	34	34	34	34	34	34	34	47
IN	42	42	42	42	42	42	42	42	42	31

	PH	IN
PH	41	42
IN	42	42

Tableau IV.6 (suite)

CORPAIR CORRELATION MATRIX

	BACT24H	BACT72H	COLIF	E.COLI	STREPTO	CL.SUL.B	SYNPHIL	MM4	NO2	NO3	NO4
BACT24H	1	1.0000									
BACT72H	2	0.0172	1.0000								
COLIF	3	0.0097	0.1044	1.0000							
E.COLI	4	0.1543	0.3040	0.4820	1.0000						
STREPTO	5	-0.1174	-0.1479	0.0382	0.1882	1.0000					
CL.SUL.B	6	-0.0870	-0.0641	0.0951	-0.0845	0.0111	1.0000				
SYNPHIL	7	0.0135	0.0282	0.0108	-0.0034	-0.1130	-0.1011	1.0000			
MM4	8	-0.0302	0.0191	0.0243	-0.1394	-0.0281	-0.0281	0.1213	1.0000		
NO2	9	-0.0192	-0.0274	-0.0278	-0.2174	-0.1419	-0.1419	0.1172	-0.0154	1.0000	
NO3	10	-0.0018	-0.0119	0.1084	0.0409	-0.1442	-0.0581	0.0247	0.0192	0.2644	1.0000
CL	11	-0.0074	0.0208	0.1072	0.1612	-0.0555	-0.0640	0.1158	0.1081	-0.0571	-0.0153
SUM.TOT	12	-0.0144	-0.0178	0.1014	0.0113	0.0926	0.1273	-0.0044	0.1290	-0.0444	0.0056
TAC	13	-0.0011	0.0192	0.1525	0.2104	0.2042	0.2042	-0.0653	-0.0653	-0.1617	-0.0582
SO4	14	-0.0139	-0.0095	0.0012	-0.0458	-0.0180	-0.0599	0.0316	0.2634	0.0643	0.4880
FER	15	-0.0141	-0.0233	0.2313	-0.1693	-0.0387	-0.0349	0.0484	0.2405	0.0597	-0.0914
NA	16	0.0548	0.0180	0.0841	0.0377	-0.1466	-0.0499	0.0843	0.1049	0.1019	-0.0640
K	17	0.0302	0.0243	0.1351	-0.1018	-0.1258	0.1731	0.1327	0.2841	0.1999	0.0136
CA	18	-0.0192	-0.0284	0.0992	-0.0245	-0.0515	0.0830	0.0584	0.3229	0.0991	-0.0205
MG	19	0.0117	-0.0091	0.1354	0.0833	0.0324	0.1227	0.0015	0.1637	0.1901	0.0088
TURBID.	20	0.1319	0.0995	0.0015	-0.1802	0.0778	0.2159	0.0315	0.1750	-0.1077	-0.1077
RESIST.	21	0.0991	0.0049	-0.1104	-0.1902	-0.1525	-0.1525	0.3194	-0.0994	-0.0213	-0.1030
PH	22	-0.0399	-0.0390	0.1440	0.2521	0.2592	0.2409	-0.1105	-0.0627	-0.0585	-0.0541
O2 BISS	23	0.0163	0.0498	-0.0174	-0.1931	0.0129	-0.1390	0.0152	-0.0978	-0.1444	0.2010

Fig. IV.5 - Variation du pH après essai au marbre en fonction de la résistivité.

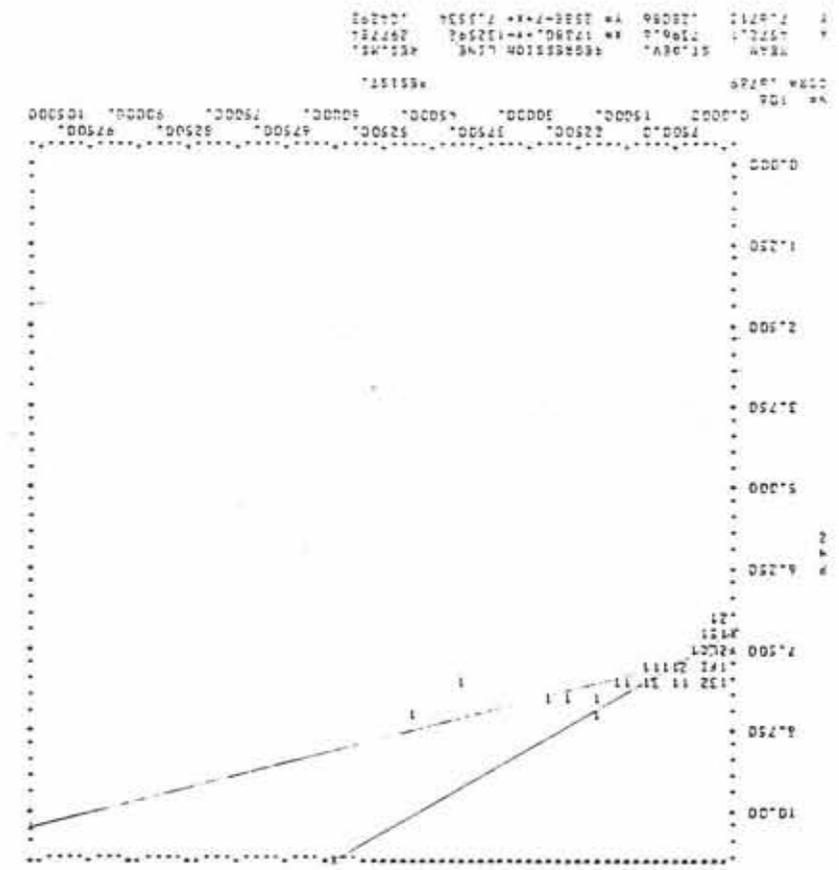


Fig. IV.4 - Variation du pH après essai au marbre en fonction du TAC après essai au marbre.

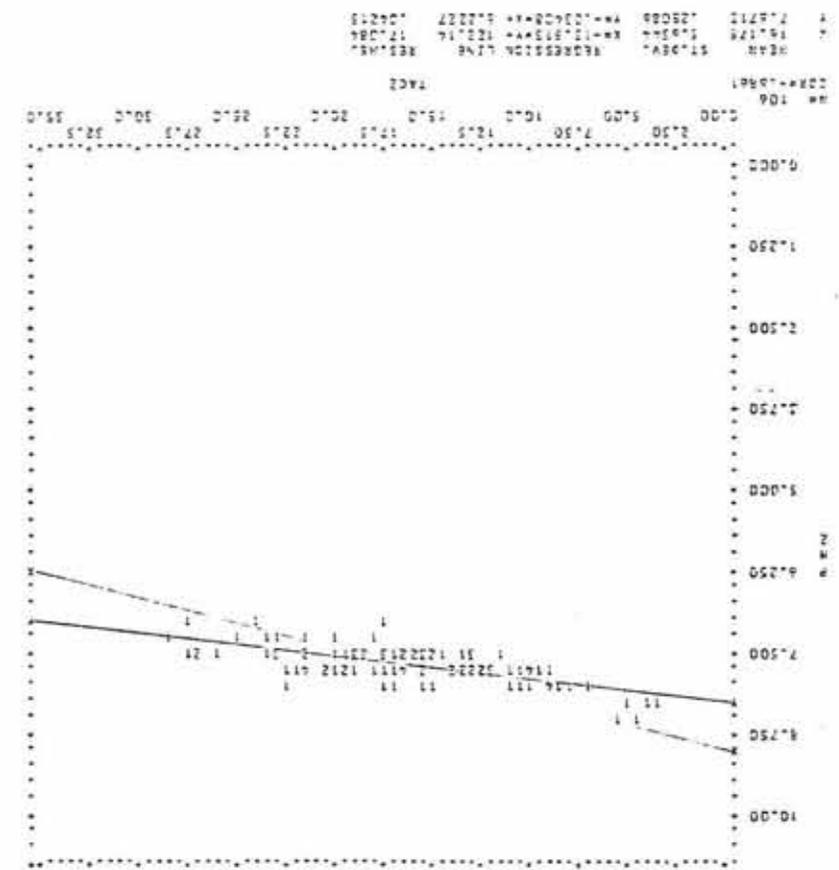


Fig. IV.7 - Variation des teneurs en bicarbonates en fonction de la résistivité.

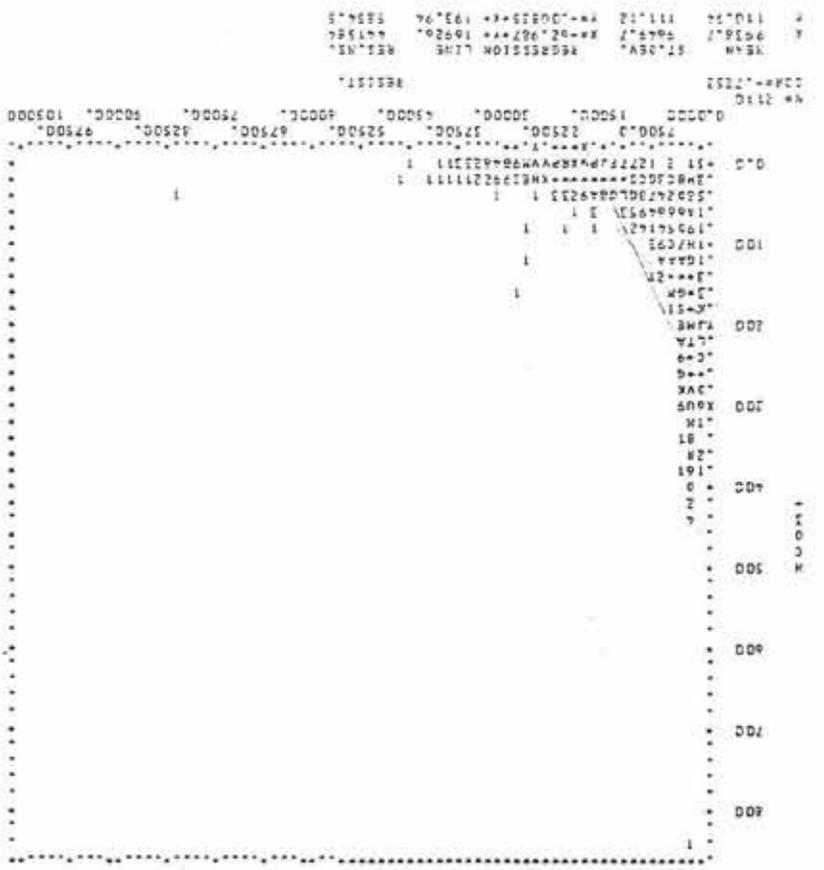
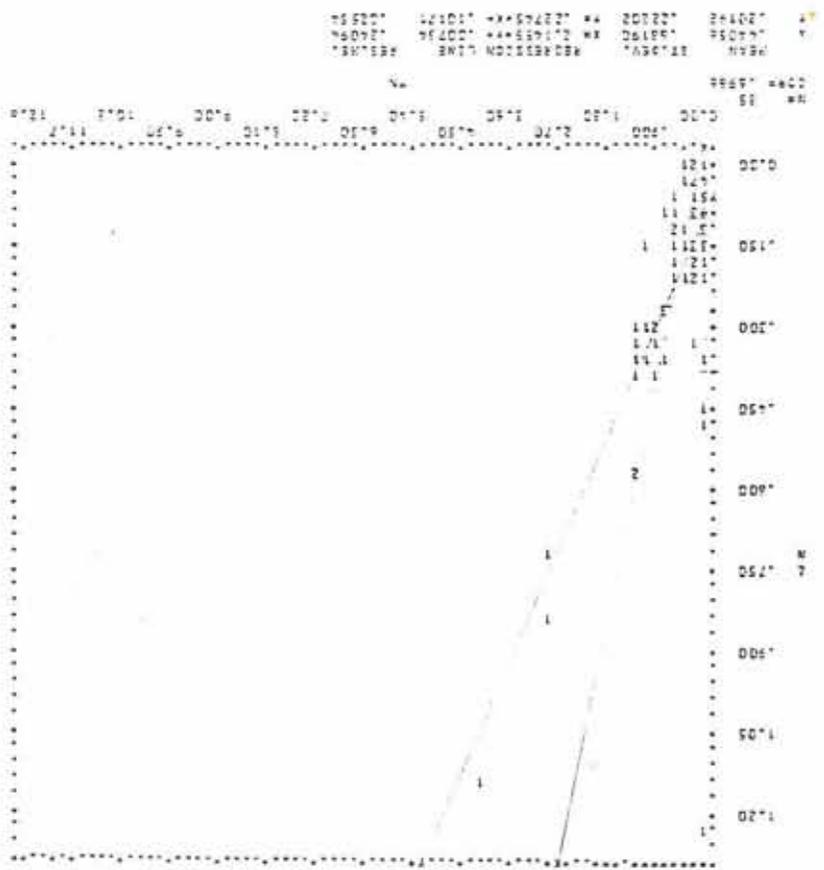


Fig. IV.6 - Variation des teneurs en zinc en fonction des teneurs en manganèse.



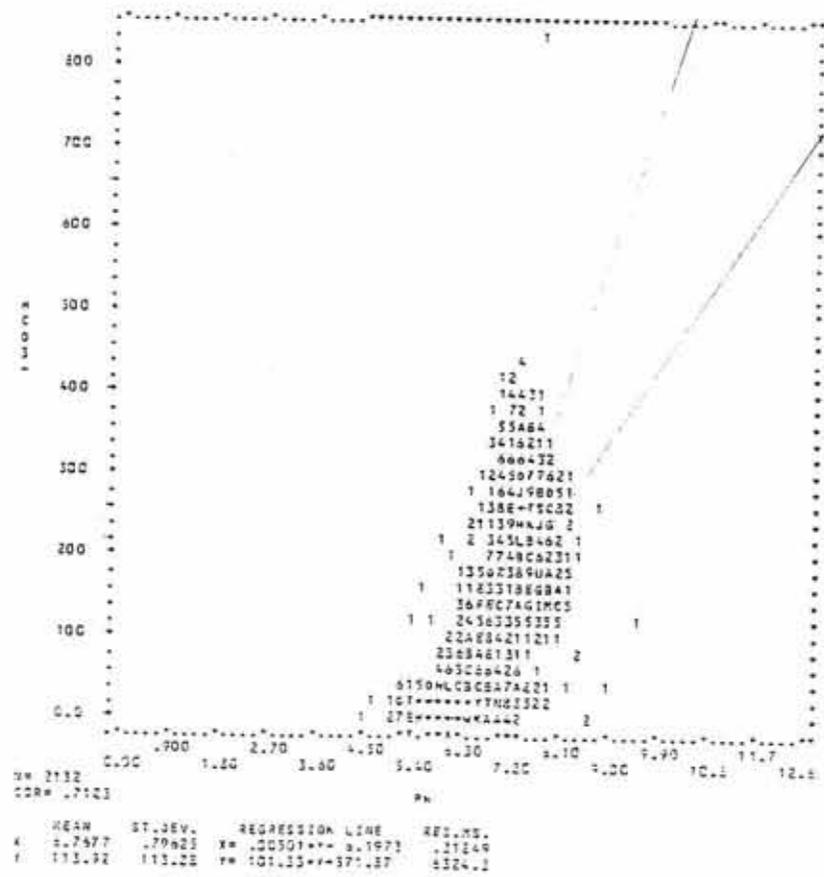


Fig. IV.8 - Variation des teneurs en bicarbonates en fonction du pH.

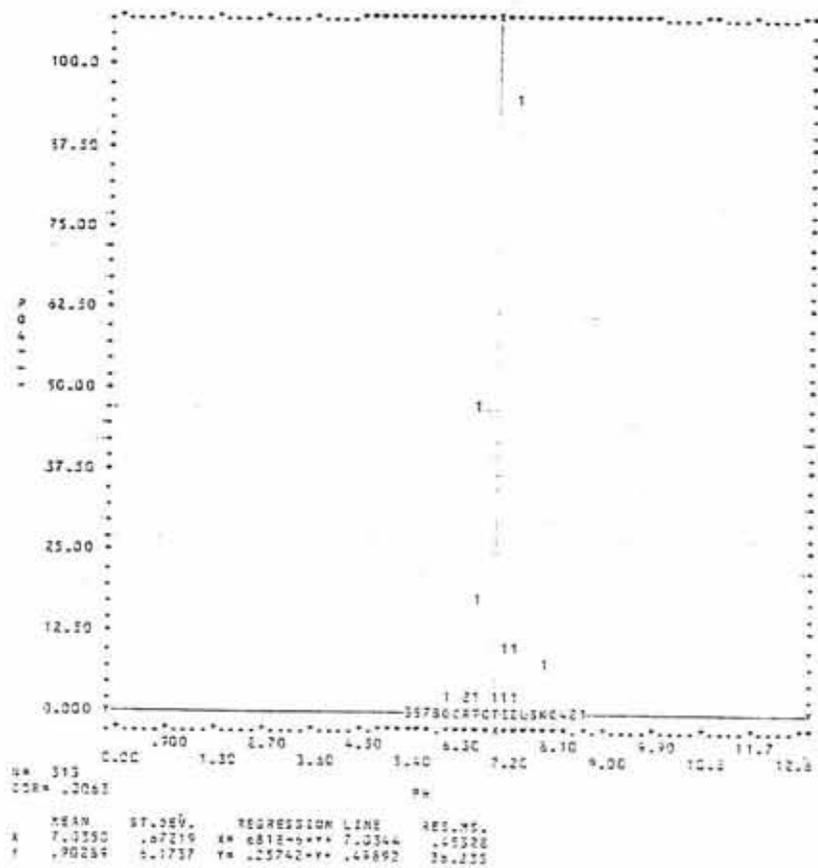


Fig. IV.9 - Variation des teneurs en phosphates en fonction du pH.

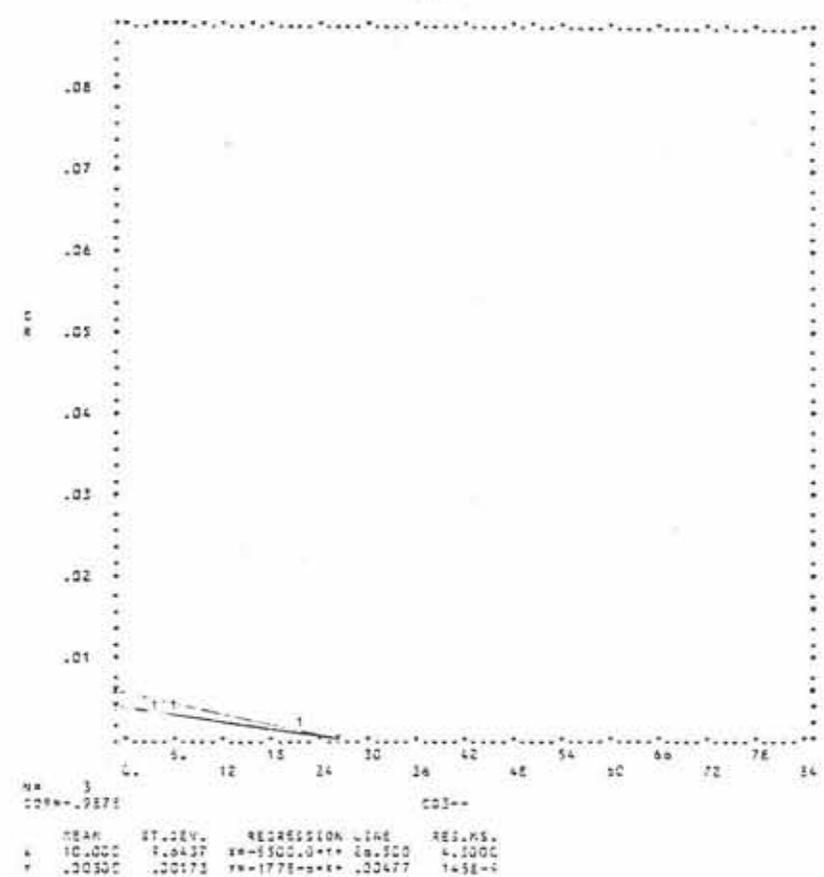


Fig. IV.10 - Variation des teneurs en chrome en fonction des teneurs en carbonates.

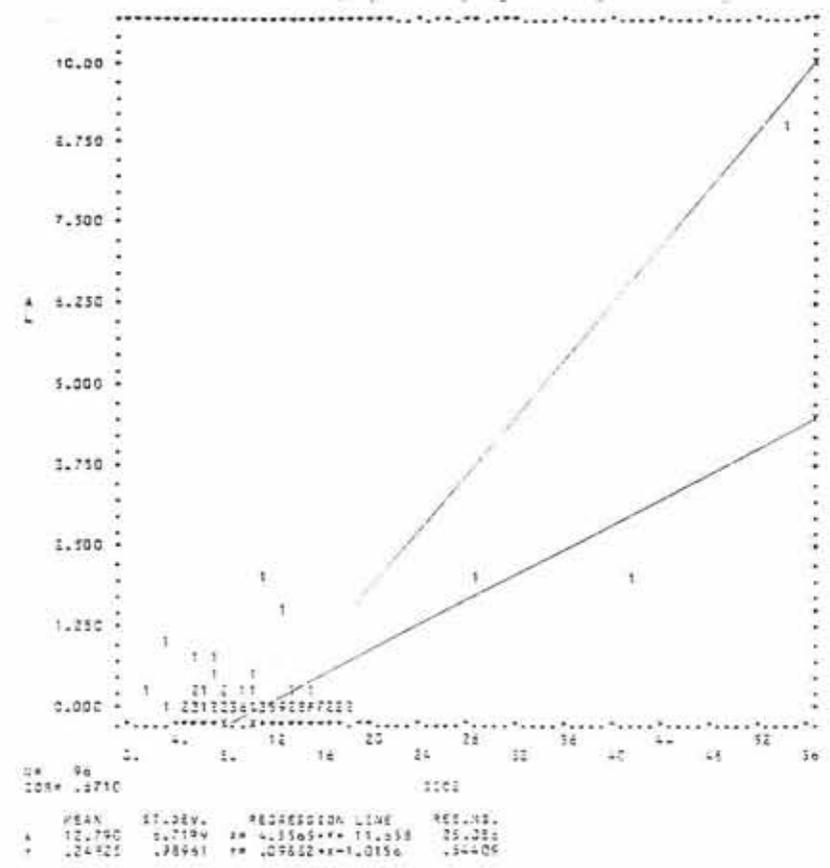


Fig. IV.11 - Variation des teneurs en aluminium en fonction des teneurs en silice.

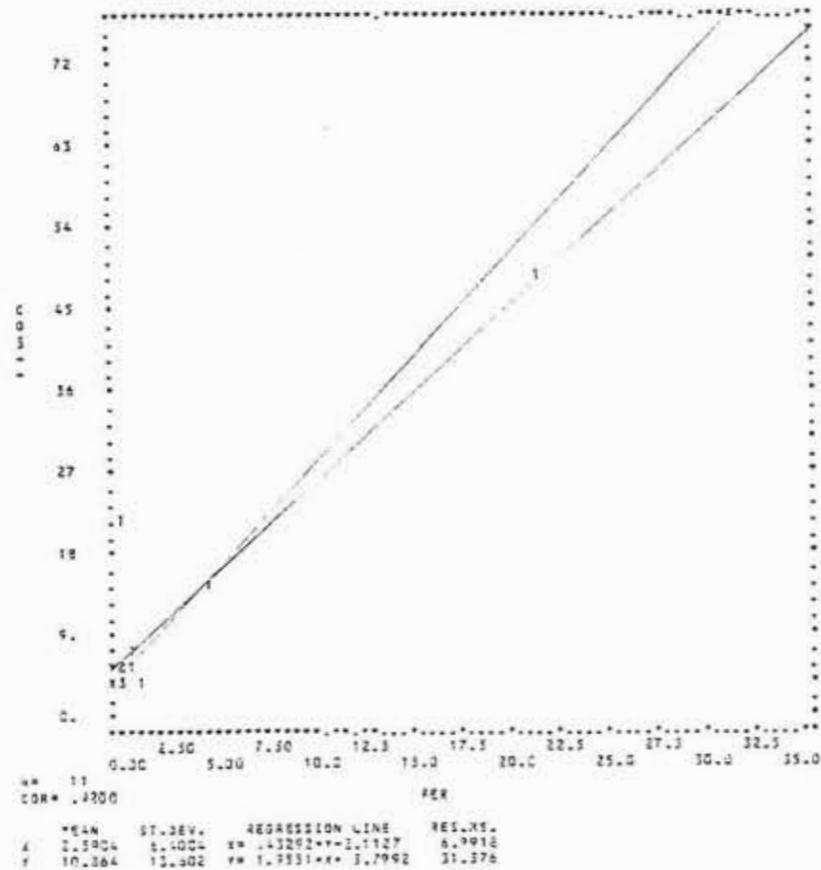


Fig. IV.12 - Variation des teneurs en carbonates en fonction des teneurs en fer.

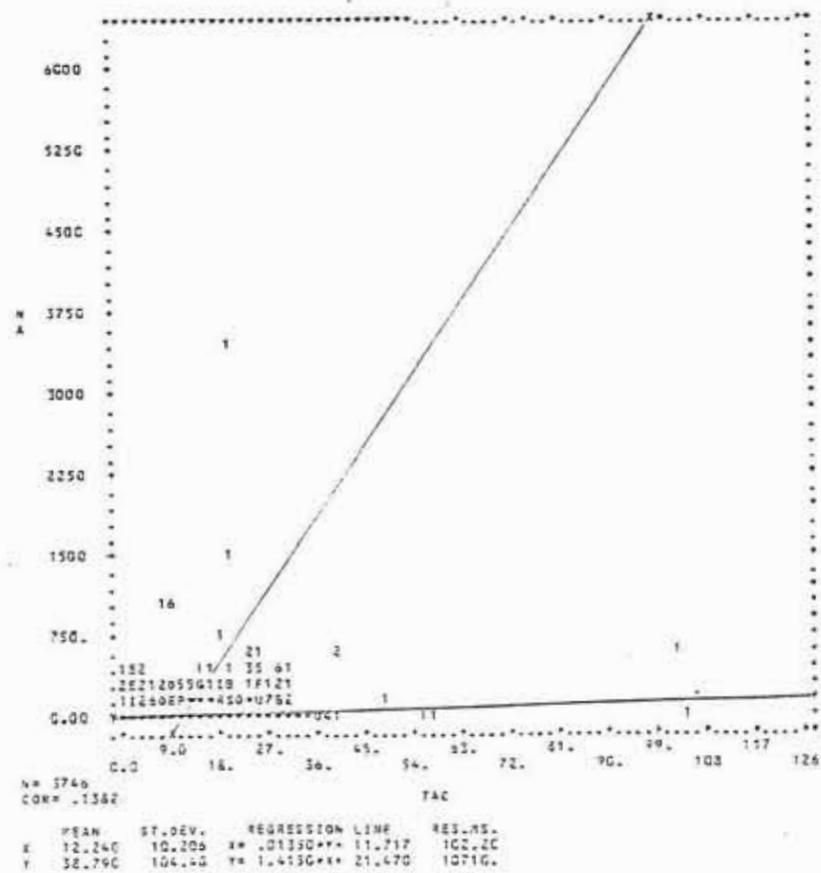


Fig. IV.13 - Variation des teneurs en sodium en fonction du TAC.

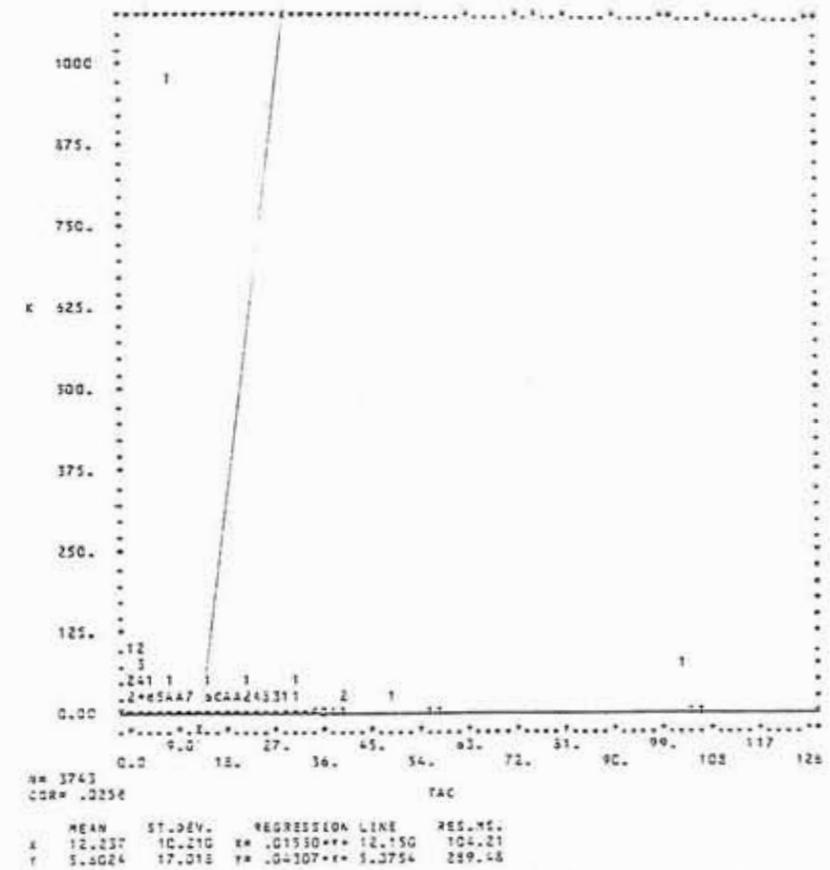


Fig. IV.14 - Variation des teneurs en potassium en fonction du TAC.

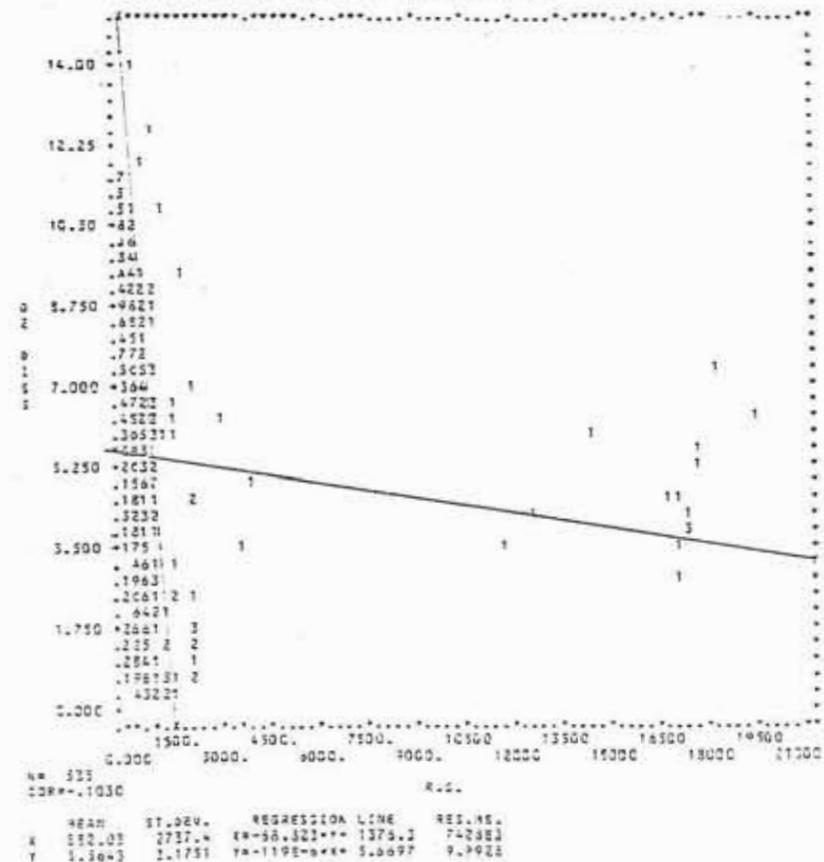


Fig. IV.15 - Variation de l'oxygène dissous en fonction du résidu sec.

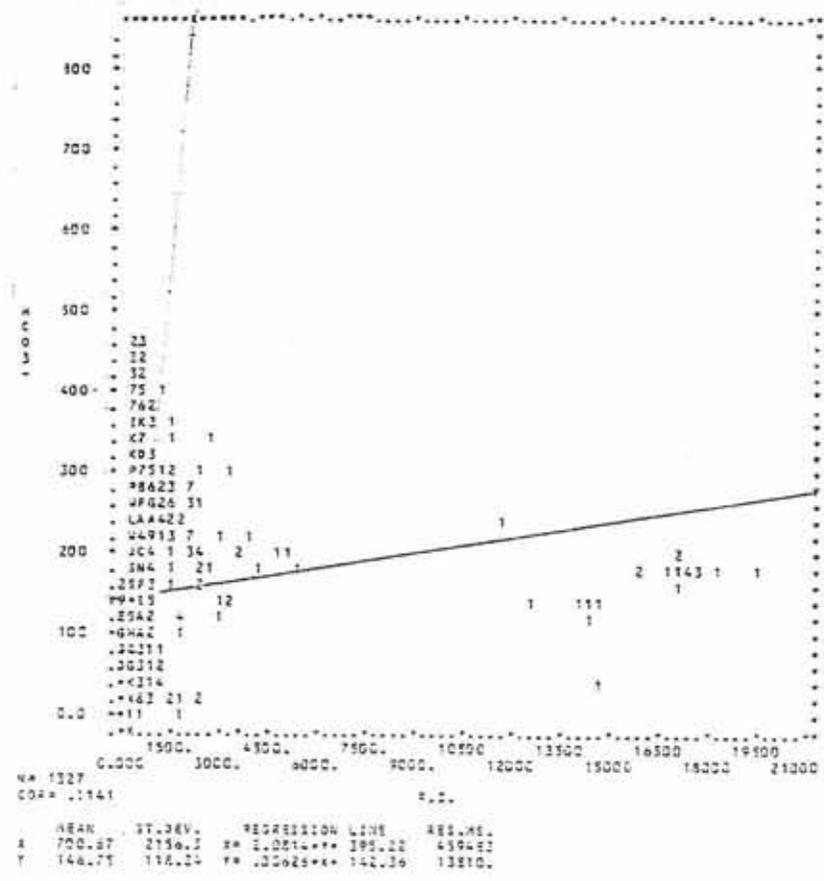


Fig. IV.16 - Variation des teneurs en bicarbonates en fonction du résidu sec.

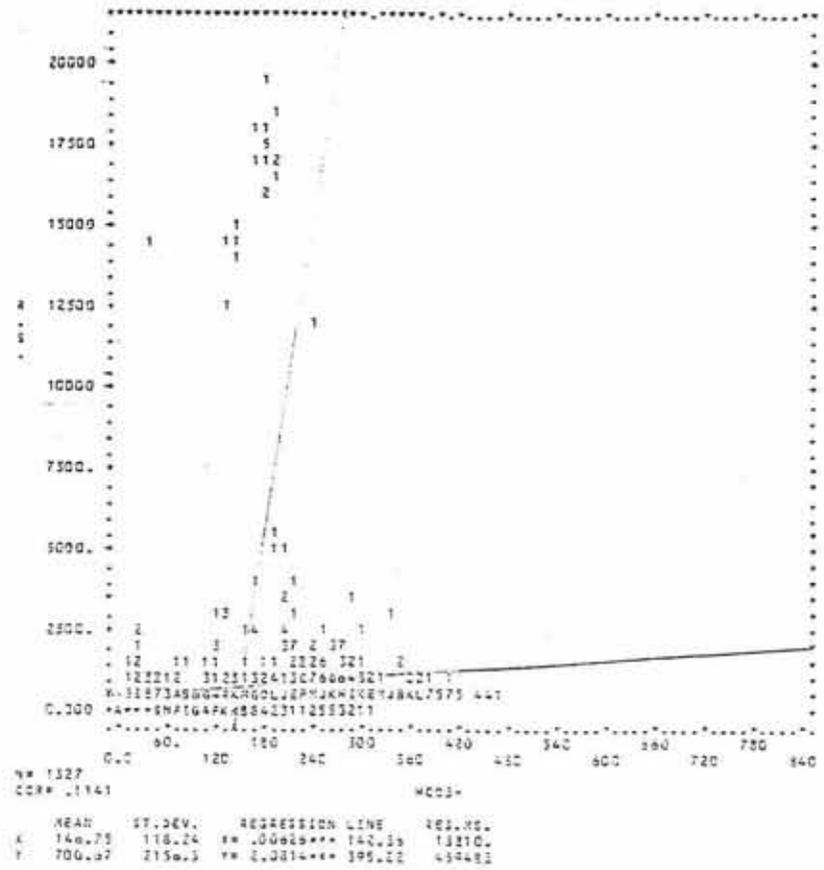


Fig. IV.17 - Variation du résidu sec en fonction des teneurs en bicarbonates.

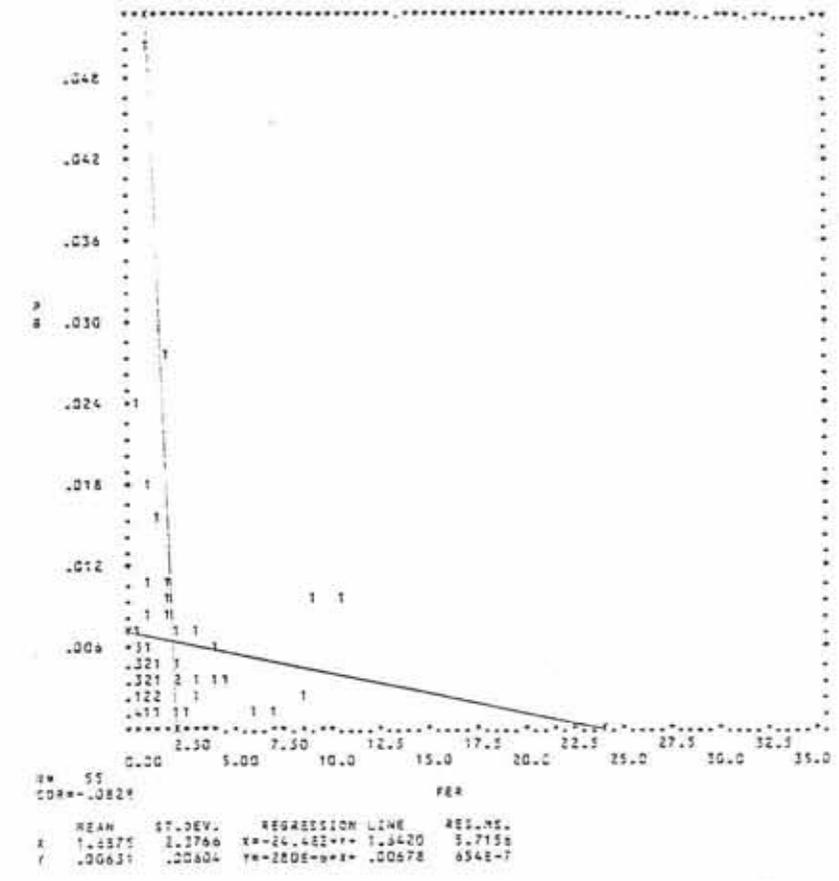


Fig. IV.18 - Variation des teneurs en plomb en fonction des teneurs en fer.

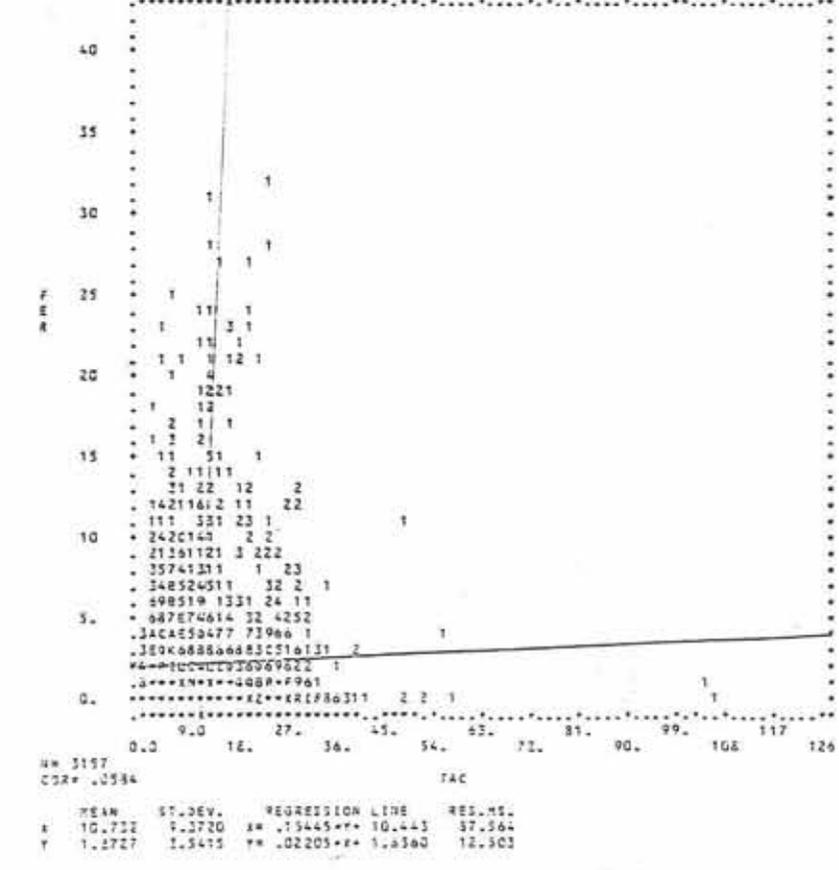


Fig. IV.19 - Variation des teneurs en fer en fonction du TAC.

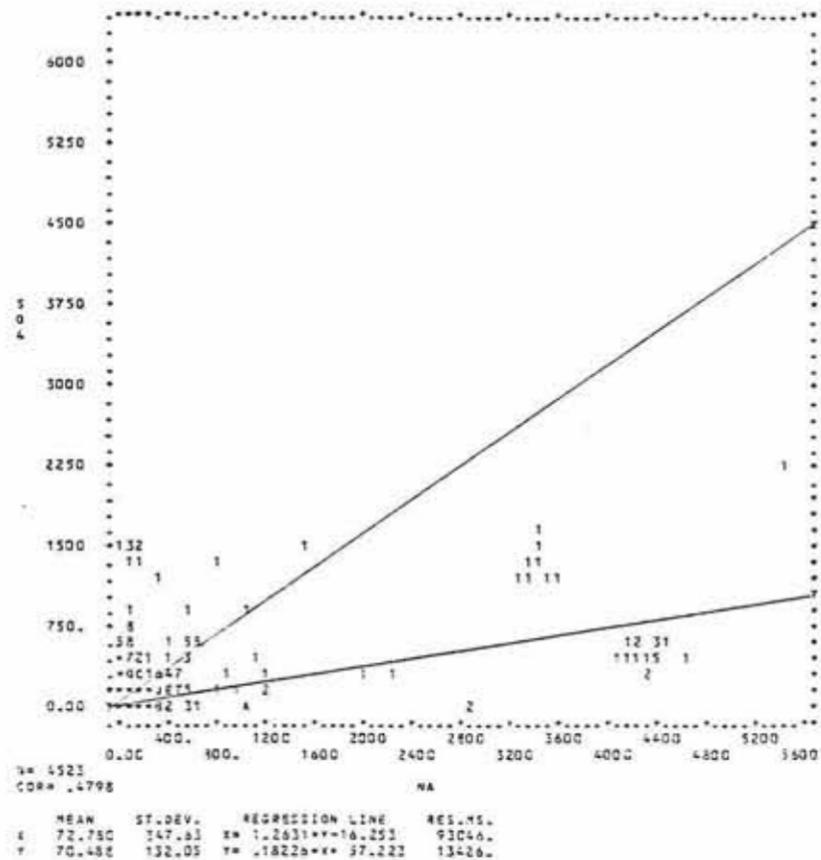


Fig. IV.20 - Variation des teneurs en sulfates en fonction des teneurs en sodium.

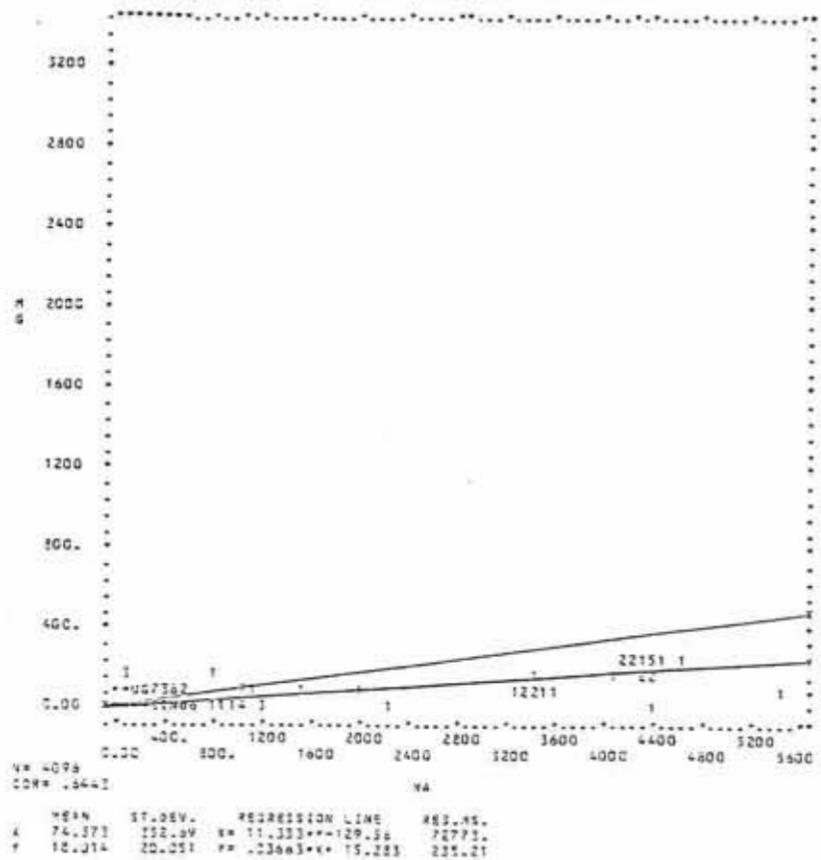


Fig. IV.21 - Variation des teneurs en magnésium en fonction des teneurs en sodium.

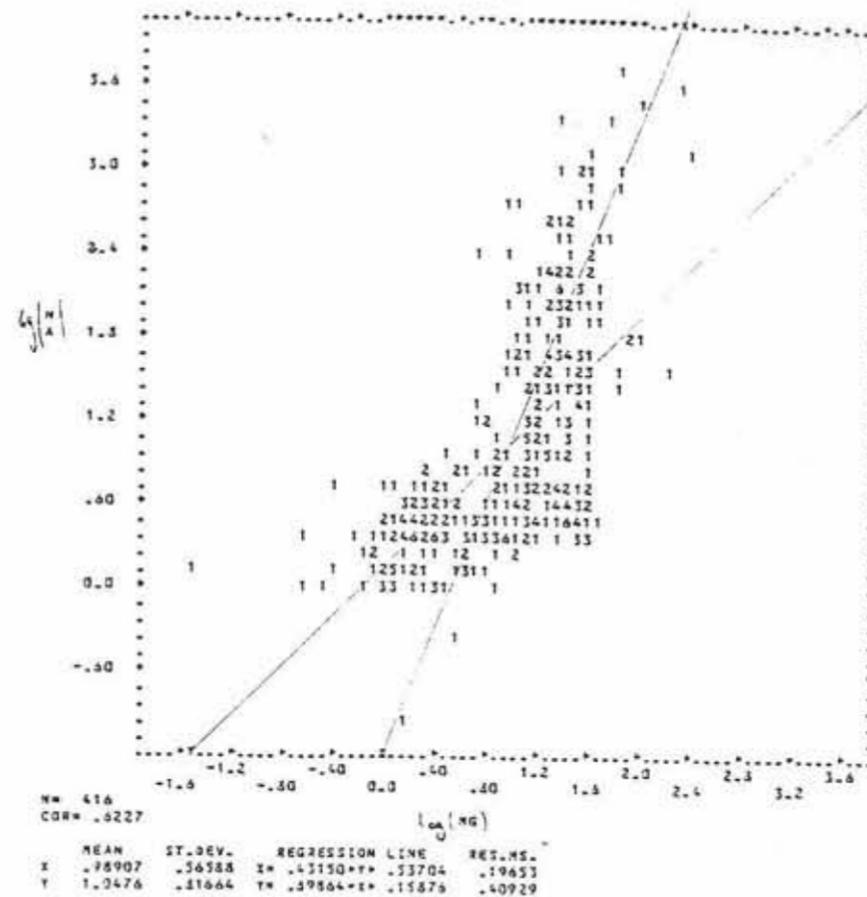


Fig. IV.22 - Variation des logarithmes des teneurs en sodium en fonction des logarithmes des teneurs en magnésium.

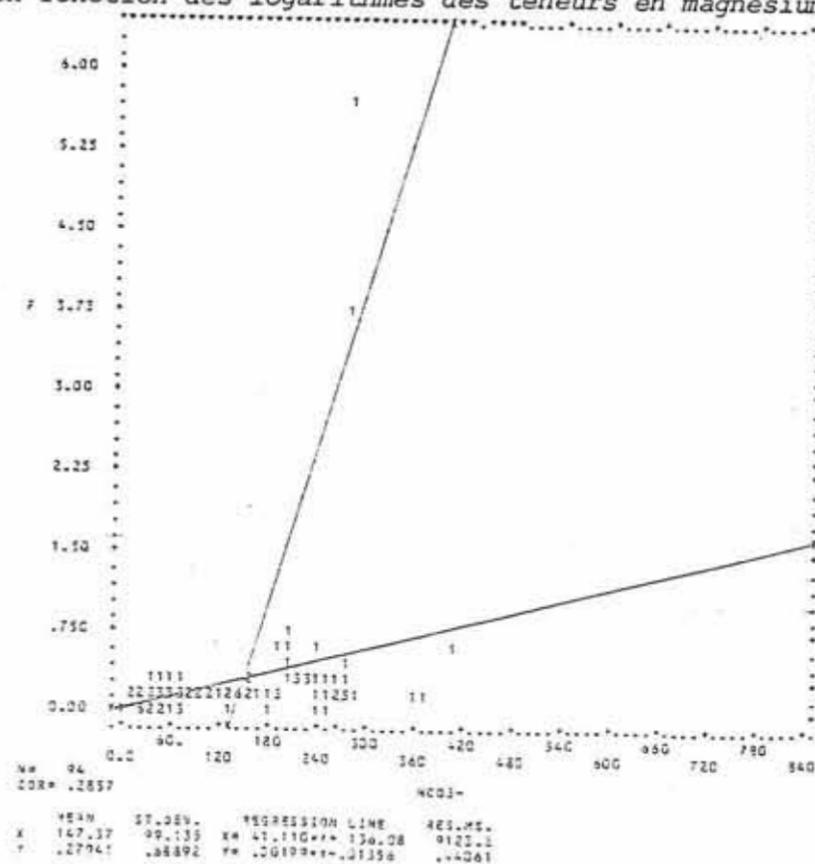


Fig. IV.23 - Variation des teneurs en fluor en fonction des teneurs en bicarbonates.

1.5 - Remarques sur les méthodes de vérification

Un certain nombre d'erreurs systématiques sont identifiables par les méthodes citées plus haut. Ces erreurs sont résumées dans le tableau IV.7. D'autres, plus aléatoires, sont difficilement décelables ; il s'agit notamment de celles effectuées lors des reports sur les bordereaux d'analyses ou lors de la frappe des fichiers informatiques.

Ces erreurs affectent tous les paramètres. Il s'agit :

- d'erreurs d'unité (nous le remarquons notamment par la présence de valeurs à -0.5 au lieu de -5) ;

- décalage lors de la transposition : parfois, lors de la frappe, une ligne a été omise et les valeurs reportées ne correspondent plus aux paramètres effectivement mesurés ;

- erreurs de frappe en général.

La plupart des méthodes de vérifications ont été utilisées dans un premier temps pour rechercher de façon systématique, les anomalies et permettre une vérification des données. La recherche dans les archives a été longue et souvent les vérifications ne pouvaient pas être faites car les originaux n'existent plus.

Pour les valeurs suspectes, l'ensemble des analyses du point de prélèvement (analyses effectuées à différentes dates) ont été alors comparées entre elles afin de dépister les variations anormales des analyses dans le temps, et de les éliminer. En fait, dans la majorité des cas, aucune correction n'a pu être faite car nous ne pouvions pas certifier que les variations exceptionnelles correspondaient à des "erreurs".

Environ seulement 20 % des analyses "suspectes" ont pu être effectivement "corrigées".

Quand les originaux des analyses n'existent pas et que les variations dans le temps ne semblent pas aberrantes, nous nous trouvons devant le choix suivant :

- éliminer toutes les valeurs fortes et donc rejeter certaines valeurs exceptionnelles significatives ;

- garder toutes ces fortes valeurs et donc un certain nombre de valeurs fausses.

Dans un second temps, il a été décidé que les valeurs suspectes seraient conservées dans le fichier mais transformées en leur opposé pour les différencier. Nous ne travaillerons par la suite, que sur les valeurs positives. Si les valeurs négatives apparaissent pertinentes, elles pourront être à nouveau intégrées pour les traitements ultérieurs. Un certain nombre de valeurs pourront aussi être reconstituées par régression linéaire.

* <u>Oxydabilité:</u>	- valeurs exprimées en mg/l de KMnO4 au lieu de mg/l d'O2; - confusion entre les analyses en milieu alcalin et celles en milieu acide.
* <u>TAC:</u>	exprimé en mg/l d'HCO3 au lieu de d° Fr.
* <u>Turbidité:</u>	problème d'unités suivant la méthode de mesure employée.
* <u>Résistivité:</u>	confusion avec la valeur de la conductivité.
* <u>Silice (SiO2):</u>	problèmes pour les analyses anciennes (notamment dans les forages charbons) où les valeurs semblent fortes.
* <u>Al+++:</u>	valeurs des analyses anciennes fortes par rapport aux autres.
* Amoniaque	
* Nitrites	
* Nitrates	
* Chlorures	
* Dureté totale	
* Sulfates	
* Fer	
* Sodium	
* Potassium	
* Calcium	
* Magnésium	
* pH (pH1)	
* Oxygène dissout	
* Manganèse	
* Carbonates (CO3--)	
* Bicarbonates (HCO3-)	
* Phosphates	
* Essai) pH2	
* au)	
* marbre) TAC2	
* Résidu sec à 105°	
* Phénols	
* CO2	
* As	
* Cd	
* Cr	
* CN	
* Cu	
* F	
* Pb	
* Zn	

Tableau IV.7 - Erreurs systématiques pour certains paramètres.

II - COMPARAISON DES DIFFERENTES FONCTIONS ETUDIEES

ENTRE ELLES : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (A.C.P.)

II.1 - Principe

Soient p variables sur lesquelles ont été effectuées n observations. Nous pouvons difficilement obtenir une représentation lisible de la position des observations dans un espace à p dimensions dès que $p > 3$.

L'ACP a pour but de rechercher un espace de dimension p' ($p' < p$) qui déforme le moins possible la position de ces n observations les unes par rapport aux autres, ou encore un espace de dimension p' qui conserve le maximum de variance par rapport à la variance initiale.

Pour ce faire, nous remplaçons les p variables initiales qui définissent l'espace des individus par p composantes orthogonales entre elles qui expliquent chacune une part décroissante de la variance initiale.

Pour ne pas privilégier les variables ayant une forte variance, nous travaillerons sur des variables centrées et réduites (ACP normée).

Comme nous ne disposons pas en fait de n observations complètes sur les analyses d'eau, l'ACP a été effectuée à partir des coefficients de corrélation des variables prises deux à deux. Ceci pourra amener une certaine distorsion dans les résultats et nous ne pourrons pas représenter la projection des individus sur l'espace des composantes.

Une ACP a été faite sur 24 variables puis sur les valeurs logarithmiques de ces 24 paramètres. Les coefficients de corrélation utilisés ont été calculés à partir du fichier global après correction.

L'ACP a été effectuée sur APPLE II.

II.2 - ACP sur les valeurs arithmétiques

II.2.1 - 24 variables

(cf. figures IV.24 à IV.29 et tableaux IV.8 et IV.9)

La première composante n'explique que 34 % de la variance. Elle est fortement liée à la minéralisation totale.

L'axe 2 est lié aux variables qui dépendent du pH. En effet, il isole le pH, le TAC et HCO_3 par rapport aux autres variables.

L'axe 3 semble différencier des variables dont les teneurs sont souvent très faibles (NO_2 , NO_3 et CO_3 principalement) et dont les mesures correspondent souvent à la limite de détectabilité des méthodes d'analyses.

L'axe 4 explique encore 9 % de la variance totale, soit pratiquement autant que chacun des axes 2 et 3. Les variables expliquées par cet axe 4 sont des paramètres dont la valeur dépend de l'état du forage. En effet, les teneurs en manganèse, fer, ou la turbidité, sont sans doute plus à relier au captage et à son équipement lui-même qu'à la géochimie de la nappe.

Numéro des variables			Nom des variables
ACP avec 24 variables	ACP avec 16 variables	ACP avec 15 variables	
1	-	-	Ammoniaque
2	-	-	Nitrites
3	-	-	Nitrates
4	1	1	Chlorures
5	2	2	Dureté totale
6	3	3	T.A.C.
7	4	4	Sulfates
8	5	5	Fer
9	6	6	Sodium
10	7	7	Potassium
11	8	8	Calcium
12	9	9	Magnésium
13	10	10	Turbidité
14	11	-	Résistivité
15	12	11	pH
16	-	-	Oxygène dissous
17	13	12	Silice
18	14	13	Manganèse
19	-	-	Carbonates
20	15	14	Bicarbonates
21	-	-	Phosphates
22	-	-	pH après essai au marbre
23	-	-	TAC après essai au marbre
24	16	15	Résidu sec

Tableau IV.8 - Numéro des variables pour les différentes A.C.P.

VALEURS PROPRES:															
SEULES LES 4 PREMIERES COMPOSANTES ONT ETE ETUDIEES.															
1	0.2178														
2	3.4594														
3	2.8041														
4	2.2409														
POURCENTAGES D'INERTIE EXPLIQUEE:															
1	34 %	*****													
2	14 %	*****													
3	12 %	*****													
4	9 %	*****													
VARIABLES, COMPOSANTES, VECTEURS PROPRES															
CINQUE COLONNES DONNE LES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE UNE VARIABLE ET LES 4 PREMIERES COMPOSANTES RETENUES															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	.3115	.1663	.9543	.6173	.8837	.6326	.7124	.4592	.7711	.6665	.7932	.7714	.3427	-.5698	.2742
2	.8274	.203	.4745	.3488	-.8757	-.4542	.2884	.2477	.3754	.4239	.1577	-.1894	-6.1E-8	.5232	-.7804
3	-.2478	.4743	.6524	-.4774	-.2204	.1033	.2474	.2674	-.5374	-.1881	-.2085	-.0842	-.8324	-.2748	-.074
4	.5374	-.1974	-.3789	-.1124	-.8117	-.241	-.8244	.3575	-.1242	-.1319	-.1007	.8444	.8227	.8541	-.3847
	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
1	-.2531	.2497	.2488	.514	.4799	.8307	-.782	.3458	.8921						
2	.2466	.172	.824	.6241	-.7461	-.8792	3.4E-03	-.4512	.2741						
3	7.1E-03	.1184	.2413	.4734	.1777	-.1184	-.3157	.2814	-.481						
4	-.3882	.2974	.7487	-.4841	-.225	.1879	-.1443	-.92	-6.1E-8						
POUR OBTENIR LES VECTEURS PROPRES NORMES IL SUFFIT DE DIVISER LES ELEMENTS DE CINQUE LIGNE PAR LA RACINE CARREE DE LA VALEUR PROPRE CORRESPONDANTE															

Tableau IV.9 - ACP sur les valeurs arithmétiques. 24 variables.

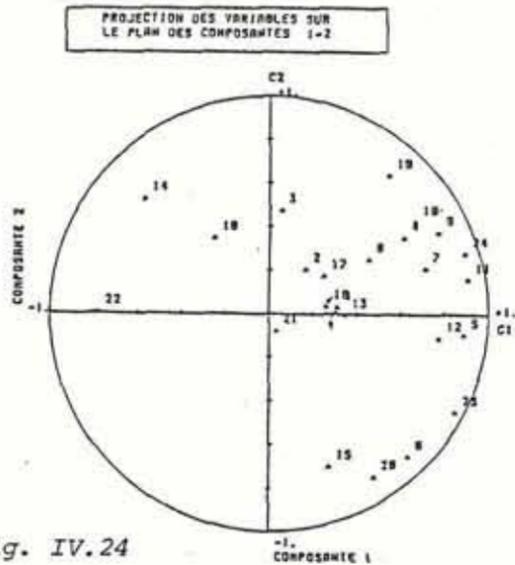


Fig. IV.24

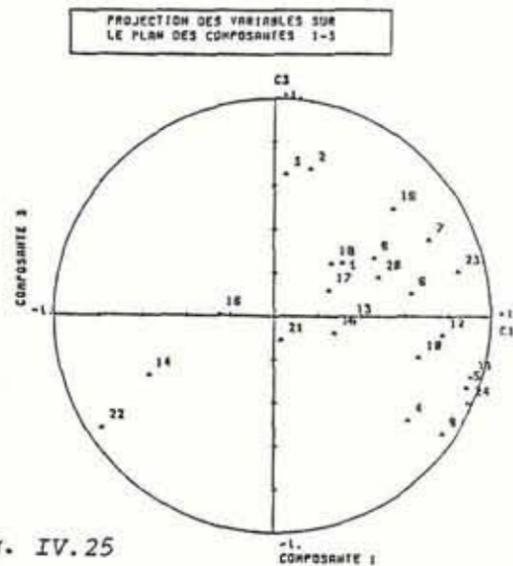


Fig. IV.25

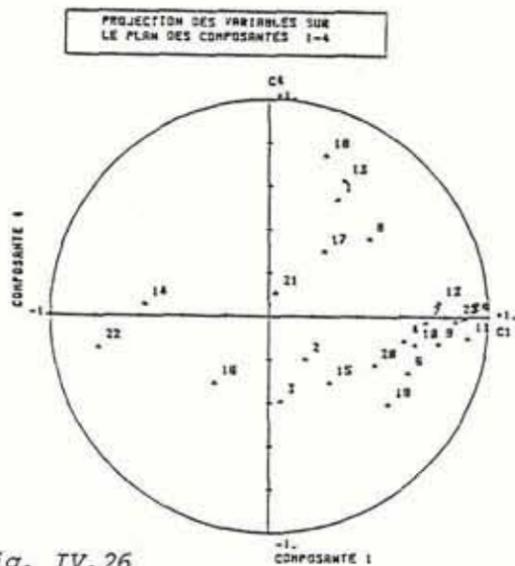


Fig. IV.26

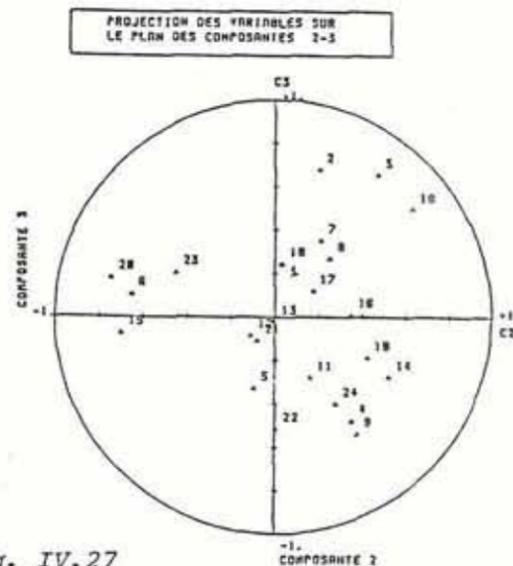


Fig. IV.27

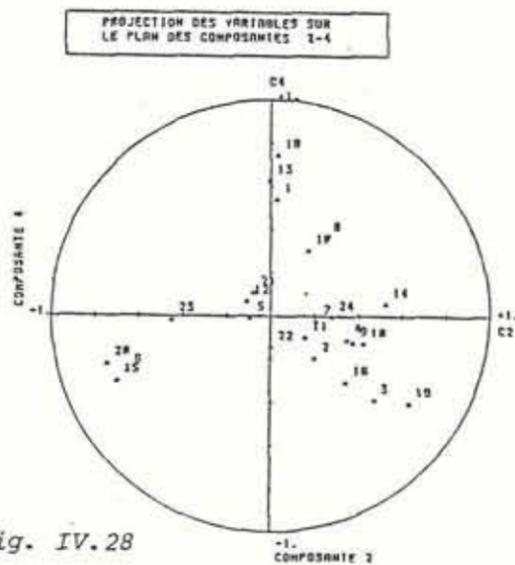


Fig. IV.28

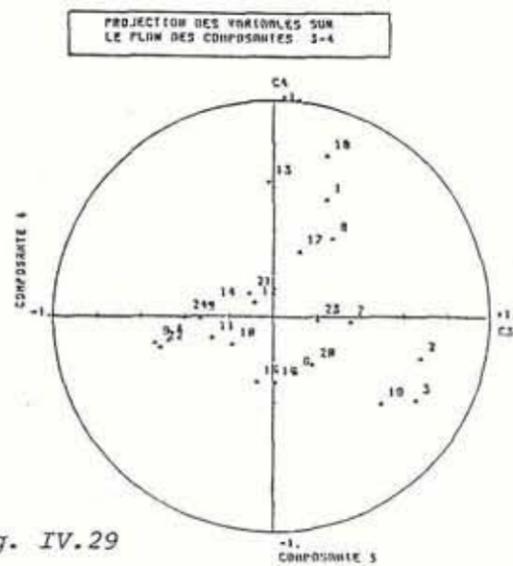


Fig. IV.29

A partir des projections sur les plans 1-2 et 1-3, nous pouvons définir trois pôles de regroupement des variables :

- les variables chlorures, dureté, sodium, potassium, magnésium et résidu sec forment un pôle lié à la minéralisation totale ;
- les variables fer, turbidité, silice et manganèse se différencient comme un pôle définissant l'état du forage ;
- les variables TAC, pH, HCO₃ sont toutes influencées par l'équilibre calcocarbonique.

II.2.2 : 16 puis 15 variables

(cf. figures IV.30 à IV.41 et tableaux IV.10 et IV.11)

Une seconde ACP a été effectuée en éliminant :

- les variables pour lesquelles le nombre d'observations est trop faible (inférieur à 2 % des observations totales) car ces dernières doivent introduire un biais non négligeable, par l'intermédiaire des coefficients de corrélation ;
- des variables dont l'étude n'a pas été poursuivie par la suite (pas de cartographie notamment) et dont les mesures semblaient sujettes à caution.

Dans un second temps, la résistivité a aussi été supprimée. En effet, ce paramètre est fortement lié à la minéralisation globale, mais par une relation qui n'est pas linéaire. Nous avons vu que la résistivité est inversement proportionnelle au résidu sec. Comme les coefficients de corrélation traduisent les liaisons linéaires entre les variables, la signification du coefficient de corrélation entre la résistivité et les autres variables ne traduit pas le lien réel entre ces différents paramètres. La résistivité a donc été mise de côté, et une autre ACP a été faite à partir de 15 variables. Les résultats obtenus avec 15 ou 16 variables étant cependant très proches, nous les décrirons en même temps.

En éliminant certaines variables, l'inertie expliquée par les premières composantes devient plus importante. 72 % de l'inertie est interprétée par les trois premières composantes alors qu'à partir de 24 variables, les trois premières composantes n'en expliquaient que 60 %.

Nous retrouvons les liaisons décrites pour l'ACP à partir de 24 variables :

- l'axe 1 correspond à la minéralisation totale,
- l'axe 2 est lié au pH,
- l'axe 3 à l'état du forage,
- l'axe 4 n'explique dans ce cas "plus grand chose".

II.3 - ACP sur les valeurs logarithmiques

Les coefficients de corrélation ont été calculés dans ce cas à partir du logarithme (de base 10) des teneurs, sauf pour le pH et le pH après essai au marbre, qui sont déjà des variables logarithmiques.

SEULES LES 4 PREMIERES COMPOSANTES ONT ETE ETUDIEES.

- 1 6.348
- 2 2.385
- 3 1.9577
- 4 1.3526

POURCENTAGES D'INERTIE EXPLIQUEES:

- 1 42 %
- 2 18 %
- 3 12 %
- 4 7 %

VARIABLES, COMPOSANTES, VECTEURS PROPRES

CHACUNE DES COLONNES DONNE LES COEFFICIENTS DE CORRELATIONS ENTRE UNE VARIABLE ET LES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	.7227	.384	.5272	.5845	.3257	.3955	.5717	.5325	.7757	.3731	-.6773	.2322	.1954	.1653	.3341	.1532
2	.3555	-.4331	-.7743	.2535	.1253	.377	.5375	.143	-.1314	.2545	.8438	-.7415	.1934	.1937	-.2419	.2331
3	.313	.1327	.2258	-.2138	-.583	.2387	.1253	.1781	-.1183	-.3325	.1953	.195	-.2434	-.5551	-.3314	.1953
4	.2352	-.1324	-.148	.2352	.254	.3758	.1538	-.173	-.5327	.2558	-.2441	.1937	.2322	-.1933	.3343	.3344

POUR OBTENIR LES VECTEURS PROPRES NORMES IL SUFFIT DE DIVISER LES ELEMENTS DE CHAQUE LIGNE PAR LA RACINE CARREE DE LA VALEUR PROPRE CORRESPONDANTE

Tableau IV.10 - ACP sur les valeurs arithmétiques. 16 variables.

VALEURS PROPRES:

SEULES LES 4 PREMIERES COMPOSANTES ONT ETE ETUDIEES.

- 1 6.4547
- 2 2.5099
- 3 1.82
- 4 1.0511

POURCENTAGES D'INERTIE EXPLIQUEES:

- 1 43 %
- 2 17 %
- 3 12 %
- 4 7 %

VARIABLES, COMPOSANTES, VECTEURS PROPRES

CHACUNE DES COLONNES DONNE LES COEFFICIENTS DE CORRELATIONS ENTRE UNE VARIABLE ET LES 4 PREMIERES COMPOSANTES RETENUES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	.7461	.7449	.5231	.6644	.3237	.3236	.3901	.7451	.762	.3782	.2322	.254	.1915	.2223	.1931
2	.2854	-.1338	-.2345	.0345	.1984	.272	.3607	.0321	-.1595	.1606	-.7722	.3255	.264	-.3415	.1979
3	.3701	.3879	-.1345	-.2312	-.3506	.3234	.1794	.1557	-.1485	-.3774	.2662	-.3227	-.3214	-.155	.1139
4	.2773	-.2324	-.1243	.0462	.0921	.3784	.1706	-.1652	-.548	.3172	.2317	.2178	-.2314	.2439	.0539

POUR OBTENIR LES VECTEURS PROPRES NORMES IL SUFFIT DE DIVISER LES ELEMENTS DE CHAQUE LIGNE PAR LA RACINE CARREE DE LA VALEUR PROPRE CORRESPONDANTE

Tableau IV.11 - ACP sur les valeurs arithmétiques. 15 variables.

PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN DES COMPOSANTES 1-2

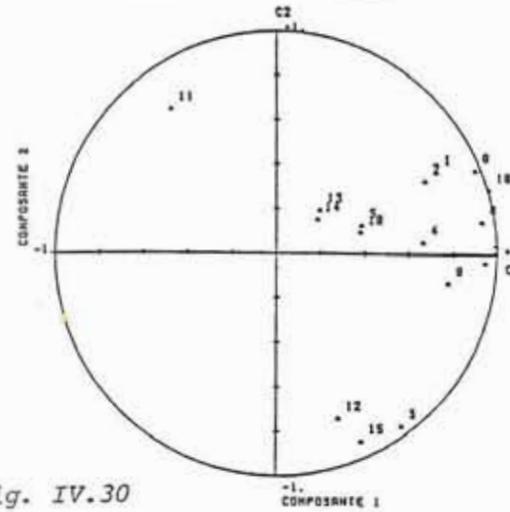


Fig. IV.30

PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN DES COMPOSANTES 1-3

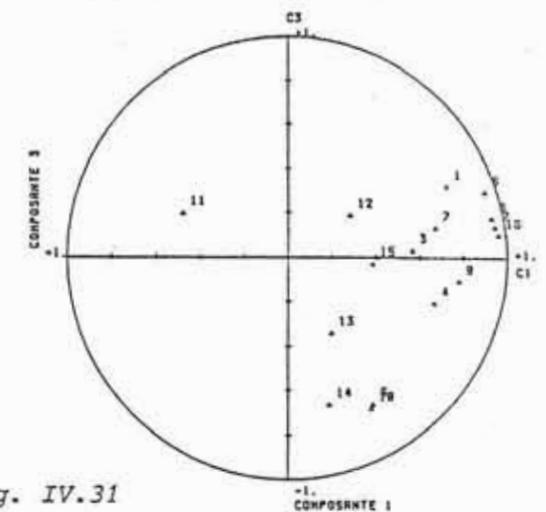


Fig. IV.31

PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN DES COMPOSANTES 1-4

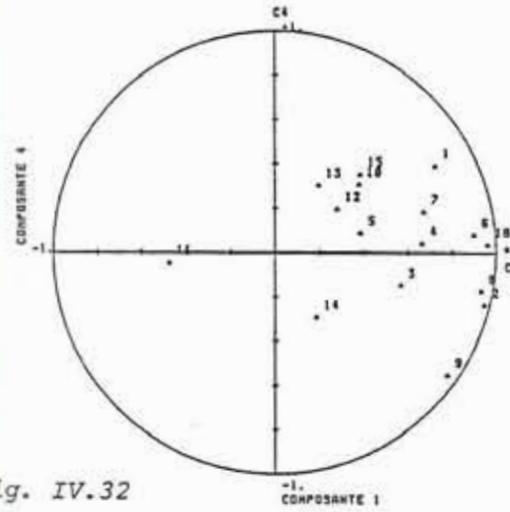


Fig. IV.32

PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN DES COMPOSANTES 2-3

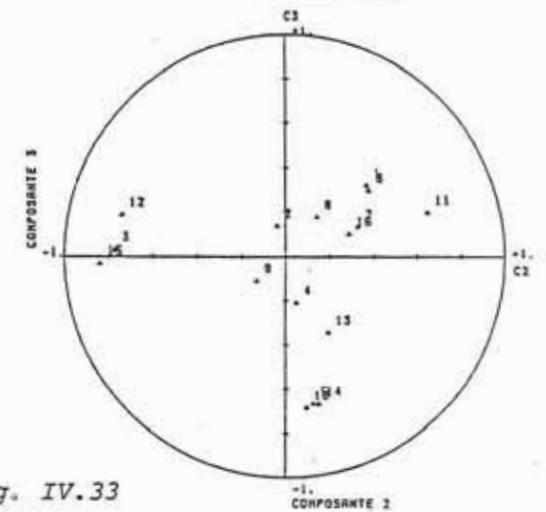


Fig. IV.33

PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN DES COMPOSANTES 2-4

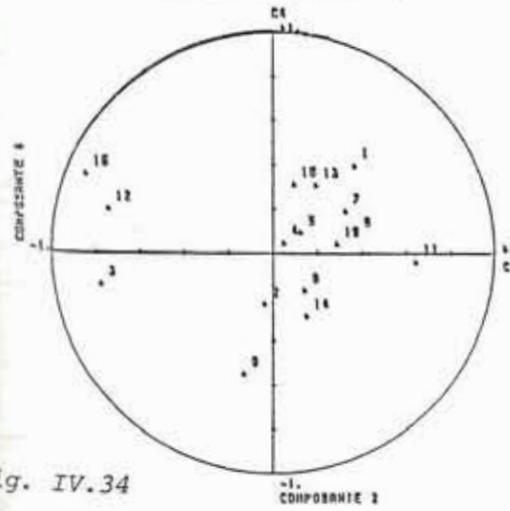


Fig. IV.34

PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN DES COMPOSANTES 3-4

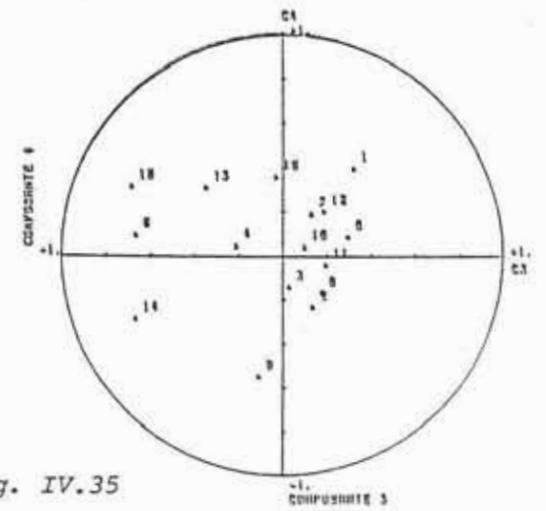


Fig. IV.35

ACP sur les valeurs arithmétiques : 15 variables

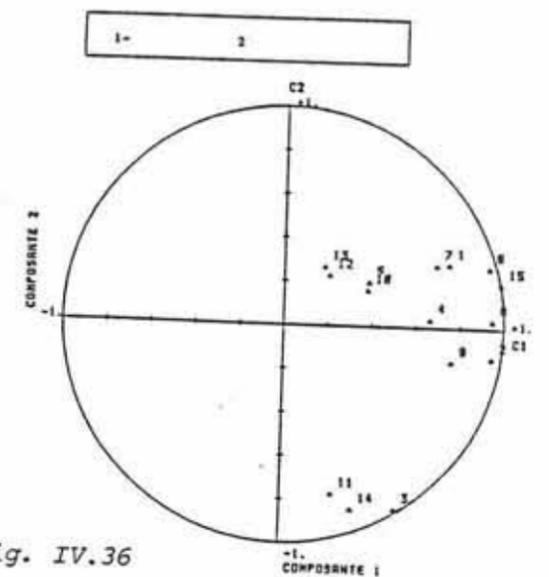


Fig. IV.36

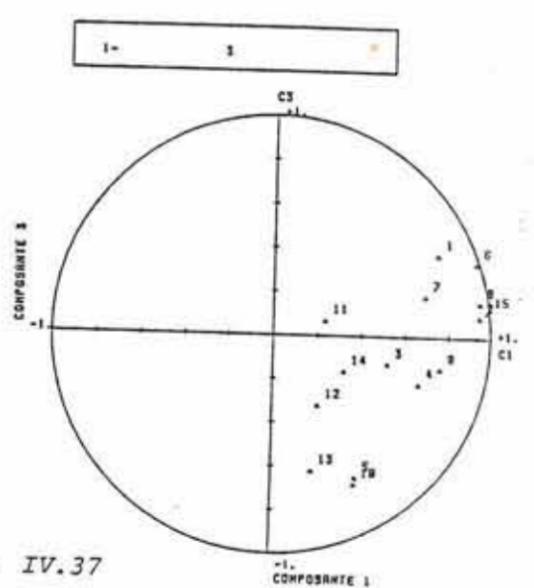


Fig. IV.37

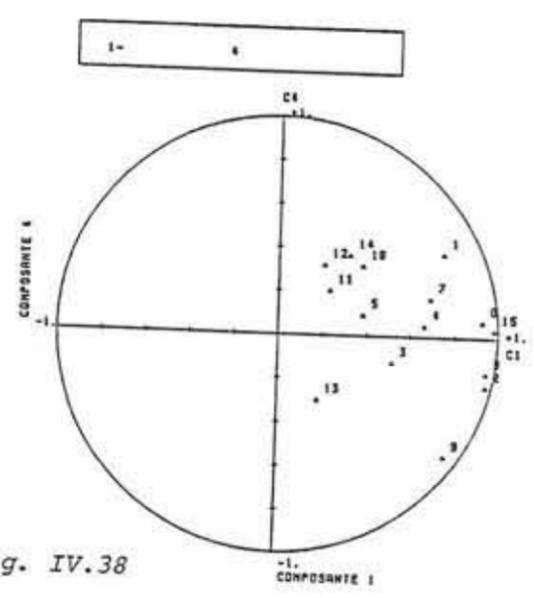


Fig. IV.38

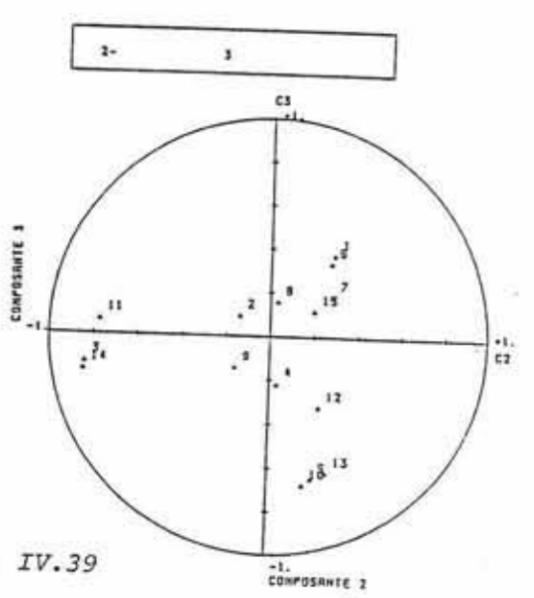


Fig. IV.39

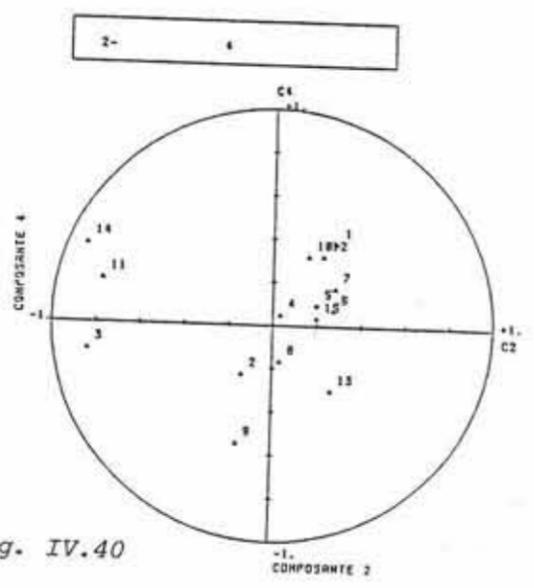


Fig. IV.40

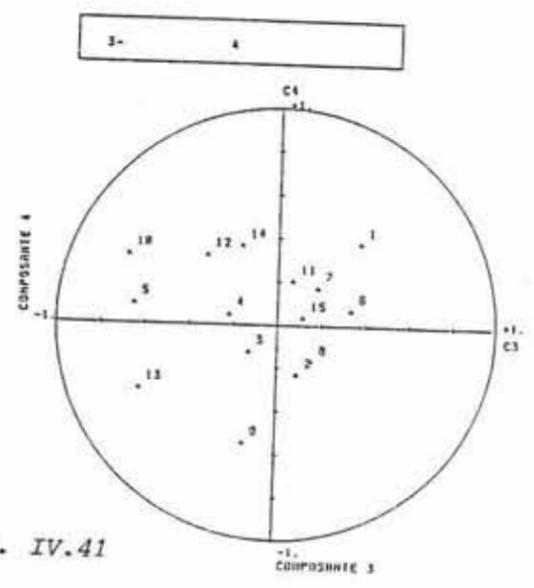


Fig. IV.41

VALEURS PROPRES :

SEULES LES 4 PREMIERES COMPOSANTES ONT ETE ETUDIEES.

1	8.8111
2	2.4818
3	1.5213
4	.2957

POURCENTAGES D'INERTIE EXPLIQUEE :

1	25 %
2	15 %
3	12 %
4	5 %

VARIABLES. COMPOSANTES. VECTEURS PROPRES

CHARGEMENTS DE CORRELATIONS ENTRE UNE VARIABLE ET LES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	.7343	-.3372	.7781	.8275	.4264	.7081	.6374	.9033	.3443	.4522	-.3511	.5203	-.1475	.4232	.8527
2	.2711	-.2119	-.4624	-.1329	-.8276	.289	-.2871	-.1222	-.2554	.5825	.2633	-.5424	.4741	.6219	-.2545
3	.4488	-.1225	-.2425	.2472	-.5215	.4978	.4515	-.3225	-.1279	-.420	-.1245	-.1483	-.1123	-.3223	-.262
4	.2255	-.1547	.1517	-.1877	.2125	.1513	-.423	-.2543	-.2514	.2513	.2523	.257	.5524	-.2652	.1522

15

1	.9779
2	.4278
3	.107
4	.8528

POUR OBTENIR LES VECTEURS PROPRES NORMES IL SUFFIT DE DIVISER LES ELEMENTS DE CHAQUE LIGNE PAR LA RACINE CARREE DE LA VALEUR PROPRE CORRESPONDANTE

Tableau IV.12 - ACP sur les valeurs logarithmiques. 24 variables.

VALEURS PROPRES :

SEULES LES 4 PREMIERES COMPOSANTES ONT ETE ETUDIEES.

1	18.9837
2	2.4428
3	2.2261
4	1.7182

POURCENTAGES D'INERTIE EXPLIQUEE :

1	45 %
2	14 %
3	13 %
4	7 %

VARIABLES. COMPOSANTES. VECTEURS PROPRES

CHARGEMENTS DE CORRELATIONS ENTRE UNE VARIABLE ET LES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	.415	.2520	-.2545	.7139	.2022	.725	.2522	.222	.7811	.7245	.918	.8423	.4743	-.2523	.4124
2	.437	.4749	.4793	.182	-.2255	-.4741	.1874	.4228	.2483	.2537	-.1121	-.2553	.2232	.1721	-.7947
3	.3227	-.2551	-.3252	-.2823	.1541	-.8628	-.1223	.2723	-.1723	-.2254	-.1483	-.4981	.5841	.3152	.111
4	.8513	.4847	.23	-.4417	.2513	.2823	-.8527	-.4223	-.4514	-.3983	.144	.223	-.217	.2445	.2425

16

1	-.2579	.2227	.4528	.5139	.2823	1.65-25	-.8528	.215	.7717
2	.8329	.3224	.291	.5464	-.4942	.2515	-.4221	-.1273	-.267
3	-.2222	.1813	.4234	-.8252	.1514	.1023	.225	.8523	-.1225
4	.4323	-.1273	.2468	-.8525	.1024	.2875	-.2223	.1717	-.173

POUR OBTENIR LES VECTEURS PROPRES NORMES IL SUFFIT DE DIVISER LES ELEMENTS DE CHAQUE LIGNE PAR LA RACINE CARREE DE LA VALEUR PROPRE CORRESPONDANTE

Tableau IV.13 - ACP sur les valeurs logarithmiques. 16 variables.

ACP sur les valeurs logarithmiques : 24 variables

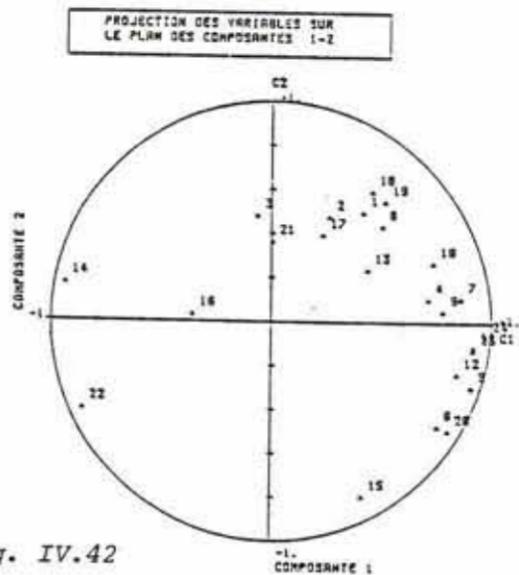


Fig. IV.42

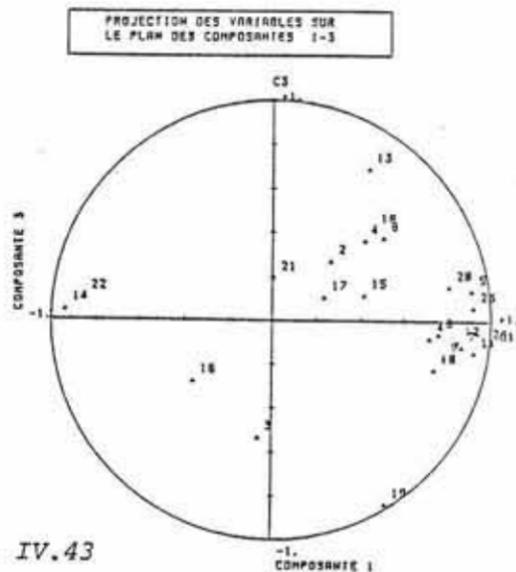


Fig. IV.43

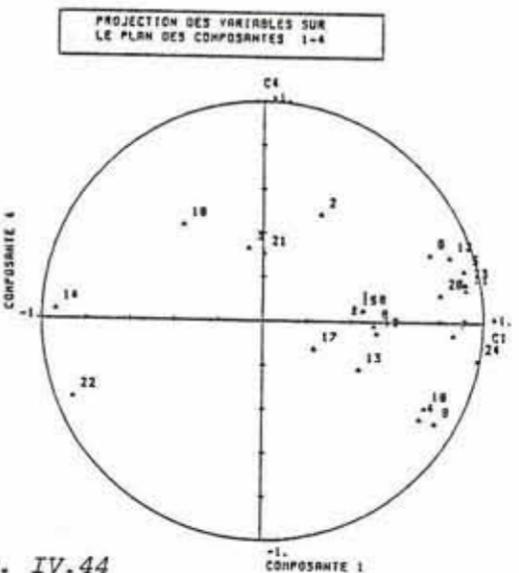


Fig. IV.44

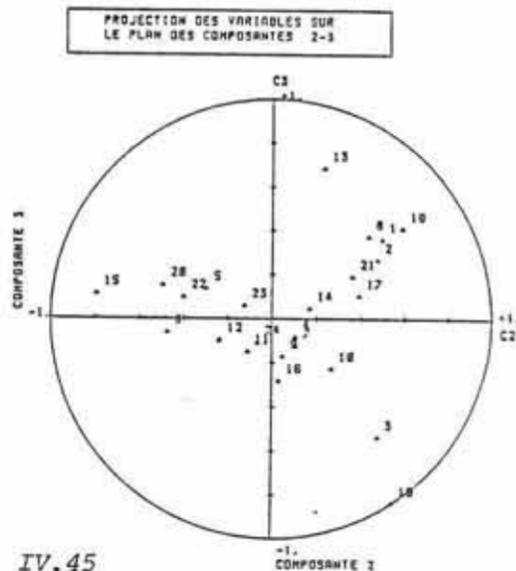


Fig. IV.45

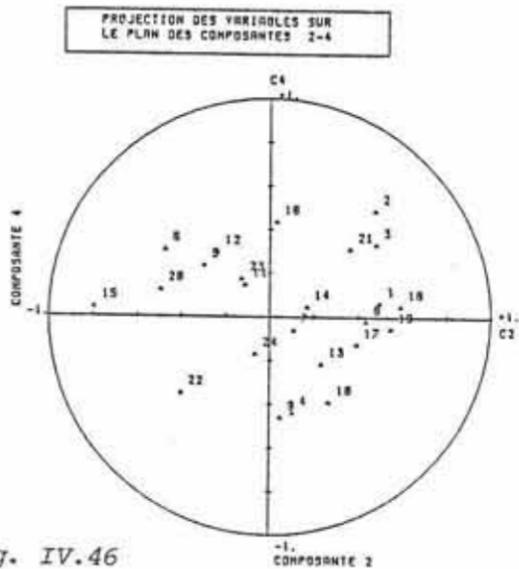


Fig. IV.46

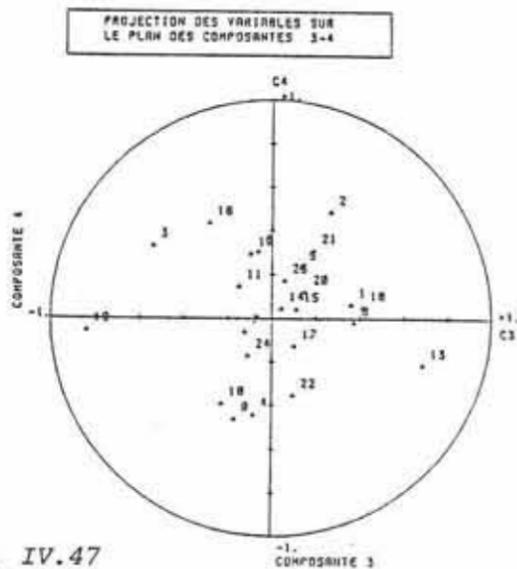


Fig. IV.47

ACP sur les valeurs logarithmiques : 16 variables

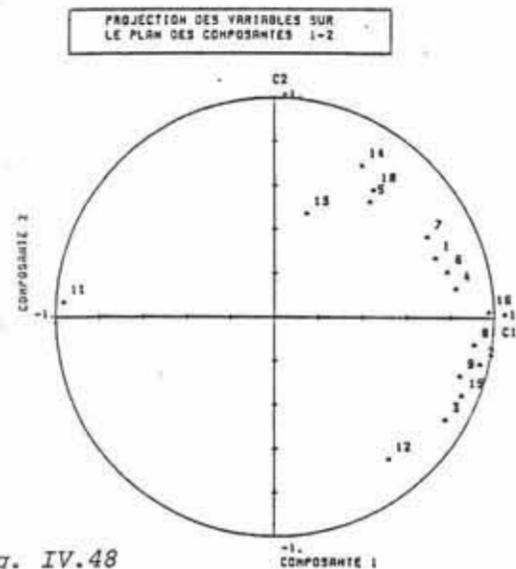


Fig. IV.48

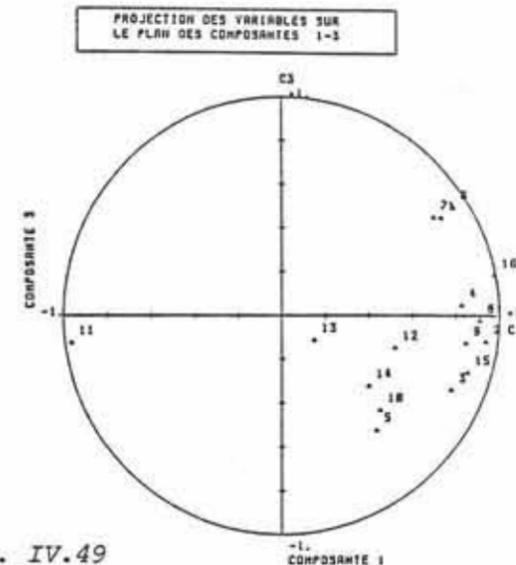


Fig. IV.49

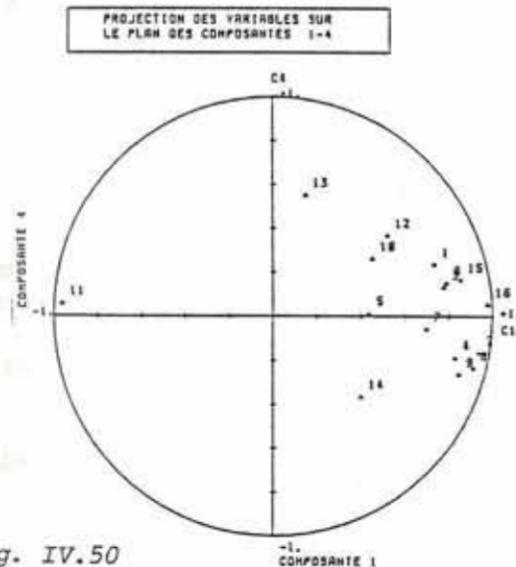


Fig. IV.50

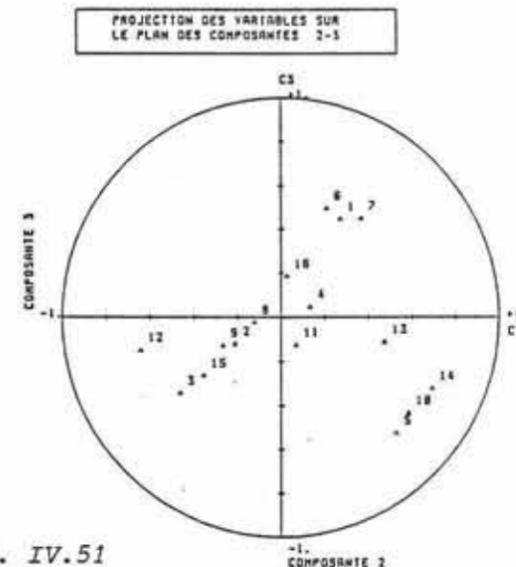


Fig. IV.51

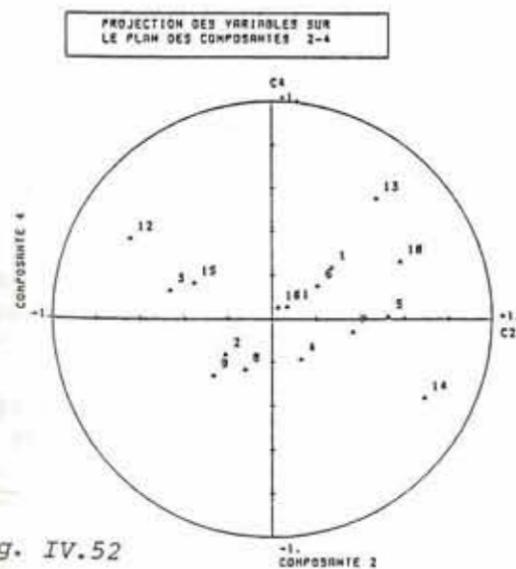


Fig. IV.52

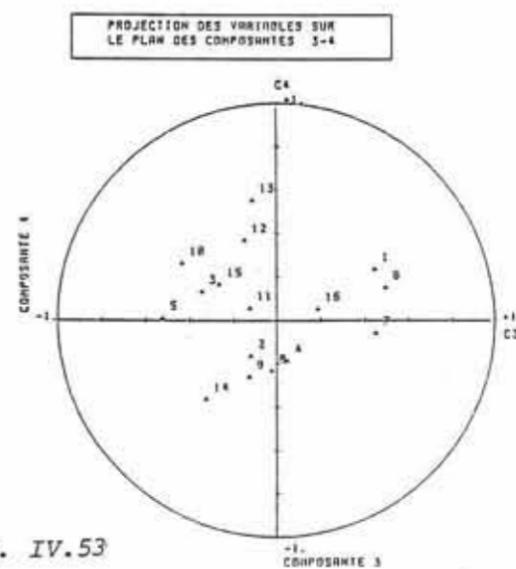


Fig. IV.53

II.3.1 - 24 variables

(cf. figures IV.42 à IV.47 et tableau IV.12)

Comme précédemment, nous retrouvons :

- l'axe 1 lié à la minéralisation totale avec ici la variable 14 (résistivité) qui est opposée à toutes les autres ;
- l'axe 2 en rapport avec le pH ;
- l'axe 3 différencie des variables aux teneurs faibles correspondant à la limite de détectabilité.

Deux groupes de variables se différencient :

- les variables liées à la minéralisation totale,
- les traces.

Certains paramètres semblent avoir un comportement indépendant des autres. Il s'agit de l'oxygène dissous, des nitrates, du pH après essai au marbre et des carbonates.

II.3.2 - 16 variables

(cf. figures IV.48 à IV.53 et tableau IV.13)

Ici encore, nous distinguons les deux groupes de variables précédemment cités, avec dans le groupe des variables liées à la minéralisation, deux pôles :

- le premier constitué par le potassium, le sodium, les chlorures et éventuellement les sulfates ;
- le second comprenant le calcium, le magnésium et la dureté et qui se rapproche du TAC, des bicarbonates et du pH ;
- les sulfates semblent intermédiaires entre ces deux pôles.

III - EVOLUTION DE LA COMPOSITION DE L'EAU DANS L'ESPACE

III.1 - Comparaison des teneurs de la nappe aux teneurs d'alimentation

Pour comparer l'évolution dans l'espace de la chimie des eaux de la nappe des G.I.T. à la composition de l'eau de la zone d'alimentation, des analyses de l'eau de pluie sont reportées dans les tableaux IV.14 et IV.15.

Comme nous ne disposons pas d'une étude générale sur les pluies dans toute la zone d'affleurement des Grès du Trias Inférieur, les tableaux présentent des analyses ponctuelles :

- sur le haut bassin de la Fecht (tableau IV.14),
- sur le versant du Geisberg (tableau IV.15),

Date de prélèvement	28 mai 1982	
Conductivité	60.5 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	
pH	3.78	
Ions	en $\mu\text{moles/l}$	en mg/l
NH ₄ ⁺	55	0.99
Na ⁺	34	0.78
K ⁺	26	1.02
Mg ⁺⁺	7	0.17
Ca ⁺⁺	18	0.72
H ⁺	166	0.17
Cl ⁻	51	1.80
NO ₃ ⁻	42	2.60
SO ₄ ⁻⁻	75	7.20
Alcalinité	81 $\mu\text{eq./l}$	
Σ Cations	331 $\mu\text{eq./l}$	
Σ Anions	394 $\mu\text{eq./l}$	

Tableau IV.14 - Analyse de l'eau de pluie dans le haut bassin de la Fecht.

pH au laboratoire	4.18	
Résistivité à 20° C	24 400 ohm.cm	
Cations	en moles/l	en mg/l
NH ₄ ⁺	44	0.79
Na ⁺	5	0.11
K ⁺	2	0.08
Mg ⁺⁺	4	0.10
Ca ⁺⁺	10	0.40
H ⁺	66 ?	-
Anions		
Cl ⁻	7	0.25
NO ₃ ⁻	31	1.92
SO ₄ ⁻⁻	40	3.85
Σ Cations	0.145 meq	
Σ Anions	0.139 meq	

Tableau IV.15 - Analyse de l'eau de pluie dans le versant de Geisberg (bassin de Sultzeren, 1980-81).

	Ca++ (mg/l)		K+ (mg/l)		Mg++ (mg/l)		Na+ (mg/l)		pH (mg/l)		SO4-- (mg/l)		NO3-- (mg/l)	
	1979	1982	1979	1982	1979	1982	1979	1982	1979	1982	1979	1982	1979	1982
Janvier	0.204	0.25	0.032	0.15	0.057	0.06	0.52	0.45	4.07	4.10	3.90	5.25	2.38	2.11
Février	0.026	2.02	0.044	0.13	0.030	0.18	0.28	2.00	4.10	4.24	4.65	9.75	2.16	5.26
Mars	0.244	0.60	0.087	0.21	0.033	0.09	0.20	0.99	4.37	4.56	2.40	5.10	1.32	3.62
Avril	0.332	1.87	0.066	0.28	0.042	0.29	0.23	0.60	4.19	4.90	4.35	5.11	2.35	3.35
Mai	0.572	1.46	0.176	1.07	0.060	0.14	0.11	0.56	4.31	6.40	4.05	5.85	2.09	4.90
Juin	0.470	0.39	1.590	0.09	0.071	0.06	0.41	0.24	4.37	4.62	4.20	2.25	2.04	1.10
Juillet	0.486	2.93	0.306	0.74	0.076	0.25	0.64	1.01	5.88	-	0.94	10.50	2.75	7.82
Août	0.384	1.03	0.317	0.17	0.057	0.10	0.07	0.34	4.94	4.45	3.75	4.87	2.13	2.74
Septembre	0.920	2.12	2.180	0.30	0.310	0.19	1.45	0.53	6.52	5.38	9.15	4.80	5.78	5.42
Octobre	0.471	0.38	0.138	0.41	0.056	0.10	0.44	0.28	4.47	5.88	2.55	2.40	1.17	1.38
Novembre	0.058	0.82	0.046	0.30	0.026	0.15	0.26	1.62	4.38	6.20	1.95	2.40	0.97	1.44
Décembre	0.092	0.23	0.084	0.07	0.068	0.05	0.60	0.32	3.64	5.18	2.40	0.60	1.53	0.46
Moyenne de l'année	0.355	1.175	0.422	0.326	0.074	0.138	0.434	0.745	4.60	5.08	3.69	4.91	2.22	3.30
Ecart-type de l'année	0.24	0.85	0.67	0.28	0.07	0.07	0.35	0.54	0.78	0.76	1.97	2.90	1.19	2.10
Moyenne sur les 2 années	0.76		0.374		0.106		0.589		4.83		4.30		2.76	
Ecart-type sur les 2 années	0.76		0.520		0.080		0.49		0.81		2.50		1.79	

Tableau IV.16 - Eau de pluie du bassin de Phalsbourg.

- sur le bassin de Phalsbourg (tableau IV.16). Ce dernier a été étudié tout au long de l'année 1979 et 1982. Ce sont les données les plus complètes ; elles nous ont été fournies par le Laboratoire de Pédologie de Nancy.

Nous exposons ici ces trois tableaux car les analyses qu'ils fournissent sont très différentes.

Nous reprendrons ces données dans la partie suivante lors de la description des cartes des différents paramètres.

III.2 - Editions des cartes

Quelques cartes avaient été tracées dès le début de l'étude sur les données "brutes".

Les méthodes de cartographie et l'ensemble des cartes sont décrits dans un chapitre ultérieur, mais la cartographie a été menée en parallèle avec la critique des données. L'examen de ces premières cartes nous a conduit :

- à rajouter certaines analyses qui n'étaient pas dans le fichier, en particulier dans les zones qui étaient dépourvues de points de mesures. Les points rajoutés correspondaient à des analyses anciennes ou des analyses très récentes ;

- à consulter à nouveau le code minier pour certains points autour desquels les tracés semblaient aberrants et par la suite éliminer certaines analyses.

Les erreurs provenaient notamment d'analyses sur la nappe du Muschelkalk et non sur celle des G.I.T. En effet, un grand nombre de forages traversent cette nappe avant de capter les G.I.T., et souvent un prélèvement a été effectué au cours du forage dans la première nappe (cf. §.I.3.2 de la 2ème partie). Quelques analyses ont ainsi été détectées par des valeurs aberrantes et pu être éliminées.

IV - UTILISATION DES DIAGRAMMES DE PIPER

A partir du fichier de valeurs médianes, les points où nous disposions des analyses à la fois de Ca, Mg, Na, K, HCO3, SO4, et Cl ont été sélectionnés.

La sélection n'a pas porté sur les teneurs en NO3-- et CO3--. Si l'analyse ne comportait pas de mesures de CO3-- ou de NO3--, ces teneurs ont été considérées comme égales à zéro. En effet, les concentrations pour ces deux éléments sont en général faibles et elles n'ont été mesurées que sur un nombre restreint de points. Si la sélection avait également porté sur ces deux paramètres, le nombre d'analyses pertinentes aurait été trop faible.

Des diagrammes ont été tracés pour les différents types de captages et les différentes zones de la nappe. Pour certains points, ces informations n'étaient pas précisées dans le fichier ; les analyses correspondantes ont été reportées dans des diagrammes séparés.

Sur la figure IV.54 est reporté l'ensemble des points où les sept éléments majeurs étaient mesurés. Nous constatons sur ce diagramme que la majorité des analyses correspond à une eau bicarbonatée calcique.

Nous retrouvons une dispersion des points à peu près analogue sur le diagramme où sont reportés les forages (figure IV.55).

Le diagramme correspondant aux sources montre par contre une absence de points vers le pôle Na+K, pour les cations, et les pôles SO₄ et Cl pour les anions. Les eaux des sources sont seulement bicarbonatées calciques.

L'examen de la figure IV.56 ne permet pas la description du comportement des forages houillers car le nombre de points reportés n'est pas suffisant. En effet, sur ce diagramme, un tiers seulement des forages houillers est représenté.

Sur la figure IV.61, correspondant à la zone d'affleurement, nous retrouvons les mêmes caractéristiques que sur le diagramme des sources (figure IV.57).

Le diagramme de la zone captive (figure IV.59) montre une assez grande dispersion des points avec cependant une absence de points vers le pôle sulfaté. Tous les points hyperchlorurés semblent par contre appartenir à cette zone.

Dans la zone houillère (figure IV.60), contrairement à la partie de la nappe sous couverture, un certain nombre de points sont très sulfatés. Ce fort pourcentage en sulfates pourrait correspondre à un apport en provenance du Muschalkalk dû soit à une drainance à partir de la cuesta du Muschelkalk (au niveau de la limite d'affleurement des G.I.T.), soit à un mélange d'eau au niveau de forages dont le tubage est détérioré et donc un mélange d'eau du Muschelkalk et des G.I.T.

Même si certains forages sont détériorés, il n'en reste pas moins que les captages de la zone houillère sont beaucoup plus riches en sulfates que ceux du reste de la nappe.

Fig. IV.54 - Diagramme de Piper sur l'ensemble des analyses.

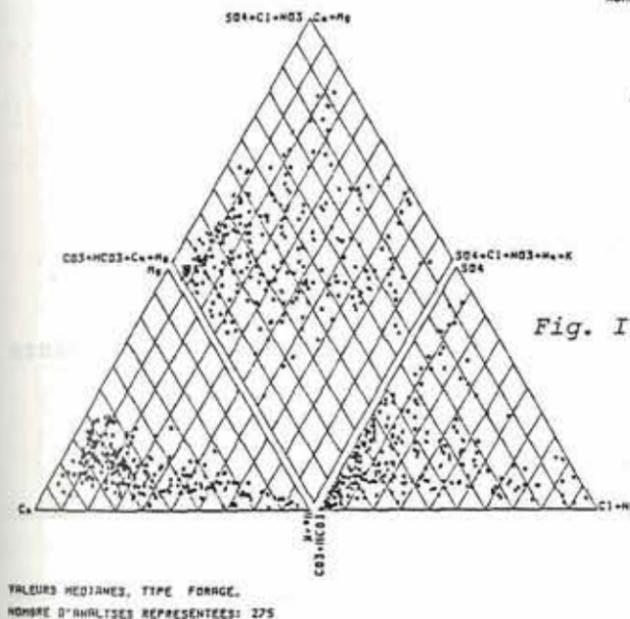
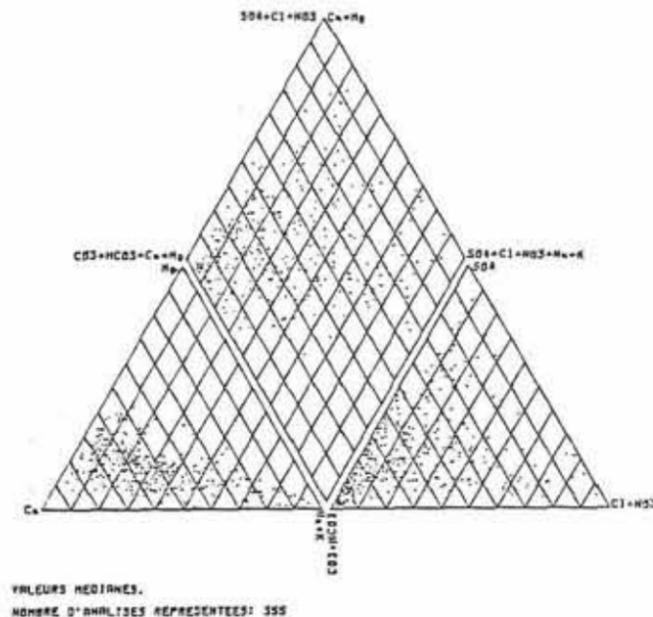


Fig. IV.55 - Diagramme de Piper sur les forages.

Fig. IV.56 - Diagramme de Piper sur forage houiller.

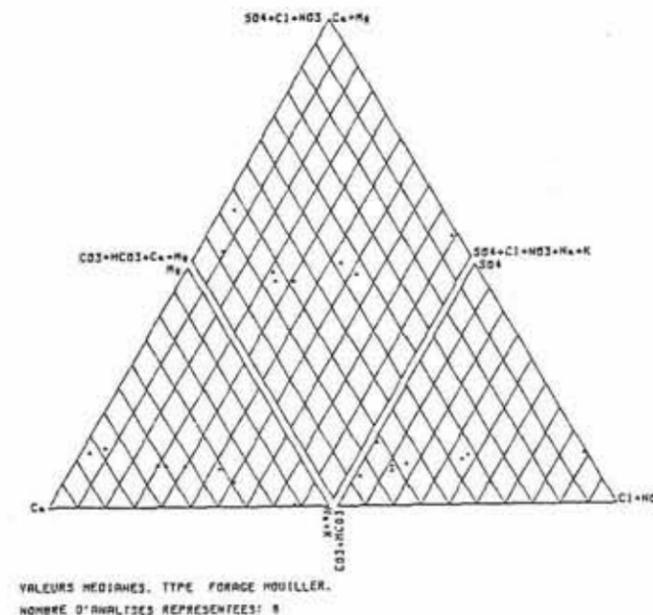
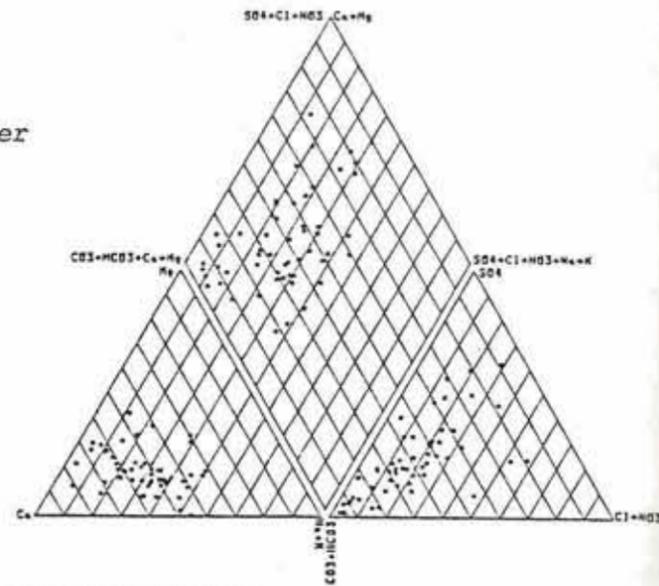


Fig. IV.57 - Diagramme de Piper sur les sources.



VALEURS MEDIANES. TYPE SOURCE.
NOMBRE D'ANALYSES REPRESENTEES: 55

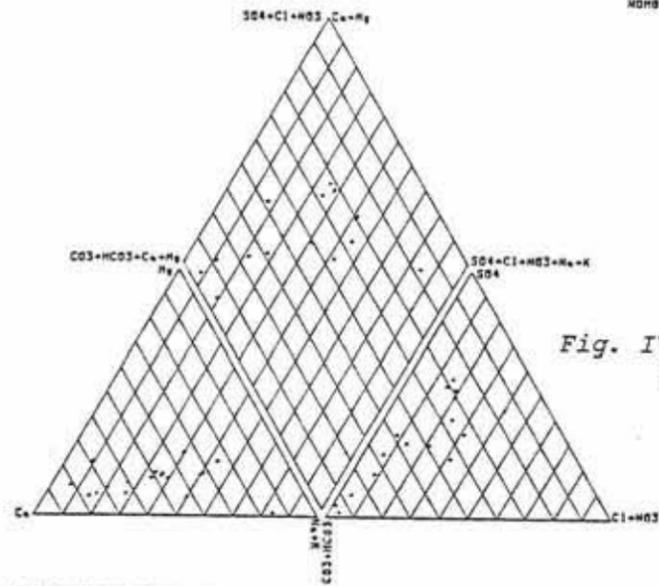


Fig. IV.58 - Diagramme de Piper sur les points de prélèvements non différenciés.

VALEURS MEDIANES. TYPE INCONNU
NOMBRE D'ANALYSES REPRESENTEES: 17

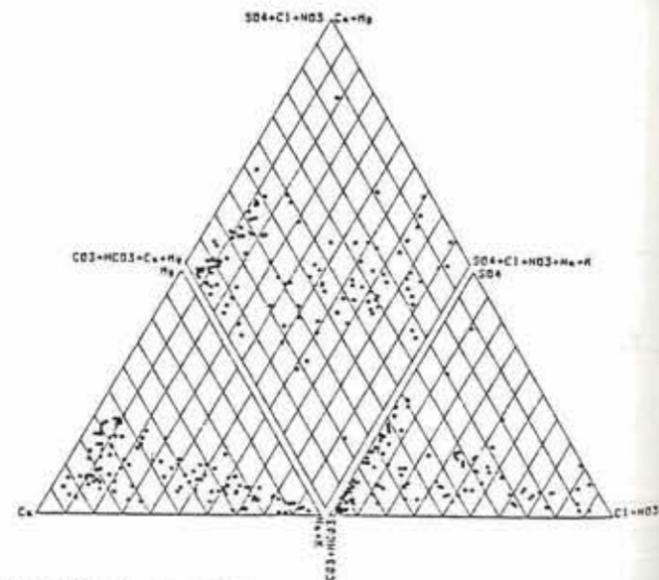
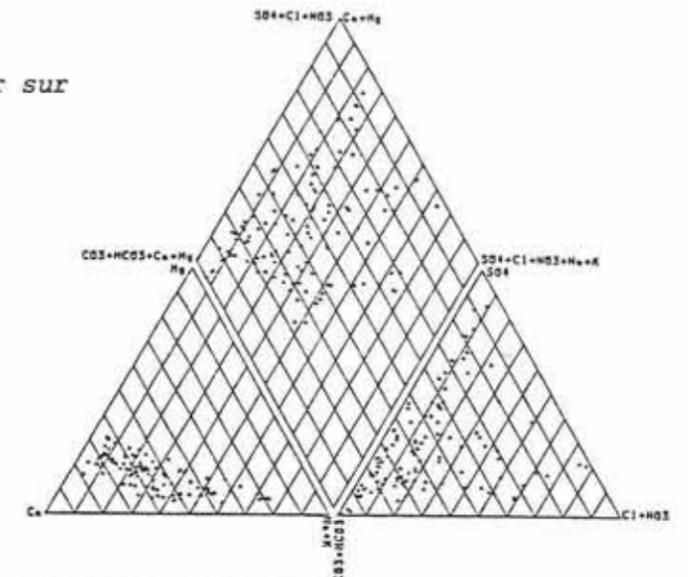


Fig. IV.59 - Diagramme de Piper sur la zone captive.

VALEURS MEDIANES. ZONE: CAPTIVE
NOMBRE D'ANALYSES REPRESENTEES: 120

Fig. IV.60 - Diagramme de Piper sur la zone houillère.



VALEURS MEDIANES. ZONE: REGION HOUILLIERE
NOMBRE D'ANALYSES REPRESENTEES: 113

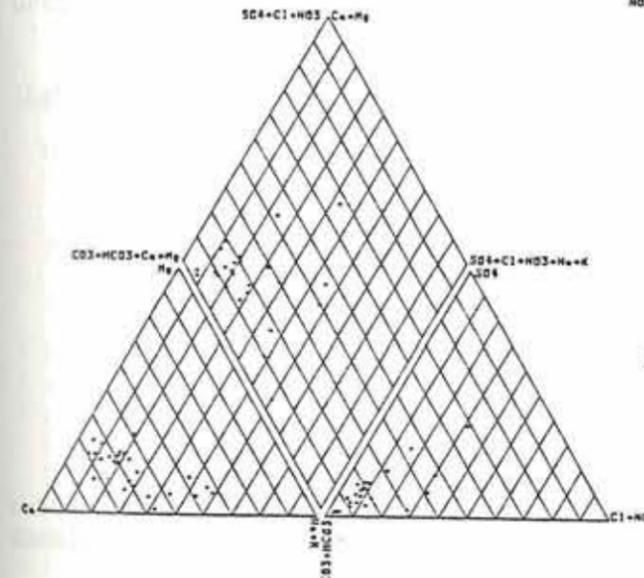


Fig. IV.61 - Diagramme de Piper sur la zone d'affleurement.

VALEURS MEDIANES. ZONE: AFFLEUREMENT
NOMBRE D'ANALYSES REPRESENTEES: 25

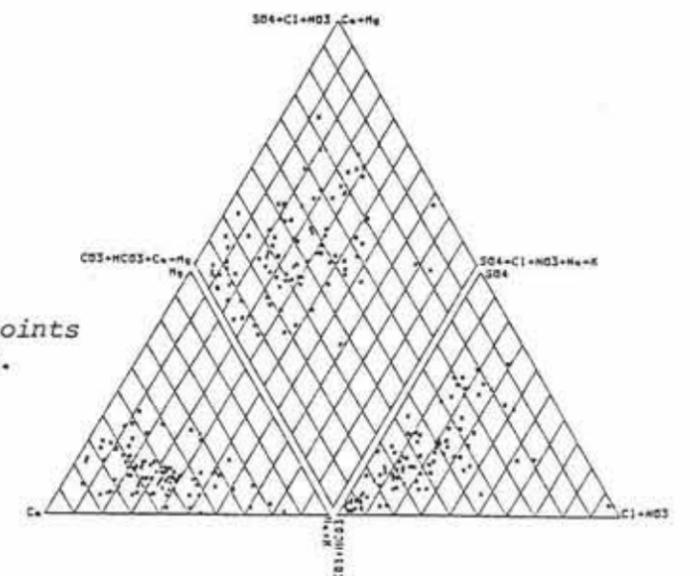


Fig. IV.62 - Diagramme de Piper sur les points de prélèvements de situation inconnue.

VALEURS MEDIANES. ZONE: INCONNUE.
NOMBRE D'ANALYSES REPRESENTEES: 97

5ème partie : CARTOGRAPHIE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES

Des cartes des différents paramètres ont été tracées grâce aux programmes de cartographie automatique écrits par J.L. MALLET :

- dans un premier temps, grâce à la bibliothèque CARTOLAB sur l'ordinateur DPS8 du C.I.R.I.L. (Centre Inter Régional d'Informatique Lorraine) ;

- ensuite avec les programmes du système GEOL sur un H.P. 9000 au L.I.A.D. (Laboratoire d'Informatique et d'Analyse des Données).

I - PRESENTATION DES PROGRAMMES UTILISES

1.1 - Position du problème

Nous cherchons à représenter les variations d'une fonction continue f , connue de façon discrète par des valeurs réparties de façon quelconque dans le domaine d'étude D .

Dans notre cas, le domaine d'étude est à 2 dimensions et la fonction $f(x,y)$ est un paramètre géochimique dont la valeur est connue au niveau d'un point d'eau (forage ou source).

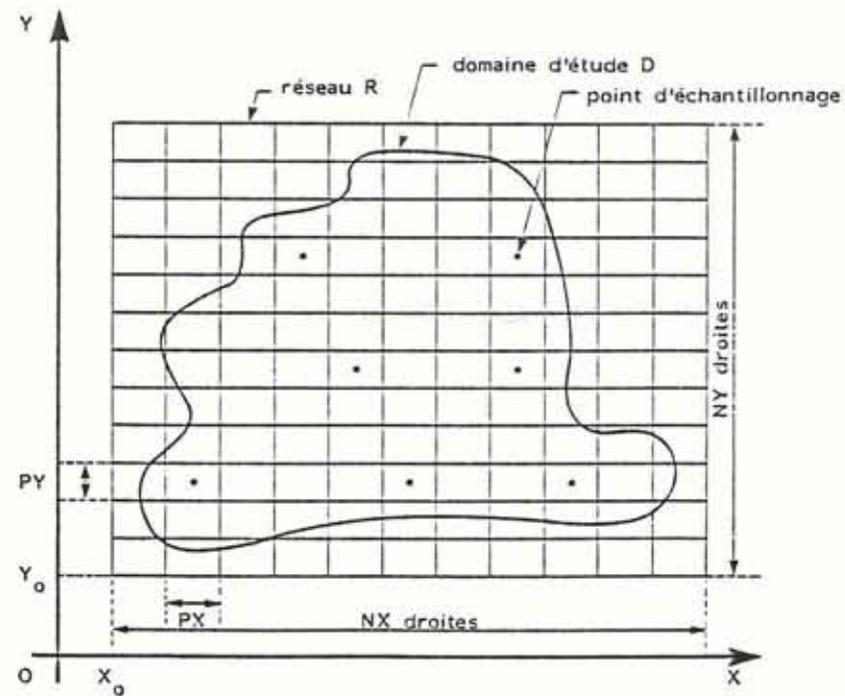
La première étape consiste à interpoler f aux noeuds d'un réseau régulier R .

Dans un second temps, la fonction interpolée peut être représentée sous diverses formes graphiques : courbes d'isovaleurs, zones hachurées, blocs diagrammes.

1.2 - Estimation de la fonction

f étant une fonction continue de deux variables, connue de façon discrète, nous cherchons à estimer les valeurs de cette fonction en tout point de son domaine d'étude D .

Dans un premier temps, nous interpolons la fonction aux noeuds d'un réseau régulier R (cf. figure V.1).



(X_0, Y_0) : origine du réseau
 PX : pas du réseau en X
 PY : pas du réseau en Y
 NX : nombre de droites parallèles à l'axe Y
 NY : nombre de droites parallèles à l'axe X

Fig. V.1 - Réseau de cartographie.

Le réseau R est constitué par l'ensemble des noeuds intersection de deux familles de droites orthogonales : la première famille comprend NX droites parallèles et équidistantes (distantes de PX) ; la seconde famille comprend NY droites parallèles équidistantes de PY.

Le réseau est donc défini par :

- un point origine de coordonnées X_0, Y_0 ,
- 2 directions orthogonales Ox et Oy,
- NX et NY le nombre de droites de direction respectivement Oy et Ox,
- PX et PY les pas du réseau ou l'équidistance entre les droites parallèles à Ox et Oy.

Remarque :

Le choix des pas PX et PY du réseau R détermine la précision avec laquelle nous désirons connaître les variations de la fonction f.

Les estimations de f sont en effet liées à la finesse de la maille du réseau.

Les estimations sont aussi liées :

- à la répartition des points d'observation dans le domaine D,
- à la précision avec laquelle f est connue en ces points d'observation. En effet, il est inutile d'estimer très précisément f si les données observées ne sont connues qu'avec une forte imprécision.

La bibliothèque CARTOLAB présente donc un ensemble de méthodes permettant d'estimer et de représenter une fonction f définie précédemment.

L'estimation de la fonction f en un noeud se fait à partir d'un nombre donné de plus proches voisins.

Remarque :

L'estimation de la fonction f peut être faite en prenant en compte des discontinuités (failles dans notre cas). L'estimation se fait alors par petits domaines limités par ces discontinuités.

1.3 - Archivage des données

L'estimation de f en tout point de R est archivée automatiquement dans un fichier où sont également portés les différents paramètres définissant le réseau : X_0, Y_0, NX, PX, NY, PY .

Dans ce fichier peuvent donc être stockées des estimations de fonctions calculées sur un même réseau ou un sous-ensemble du même réseau.

1.4 - Représentation

La fonction f étant estimée en tout point d'un réseau, elle peut être représentée de différentes manières :

- courbes d'isovaleurs (courbes simples, doubles...);
- zones hachurées, pour des valeurs de f comprises entre deux valeurs données ;
- blocs diagrammes.

Pour la plupart des cartes présentées, la fonction a été reproduite sous forme de courbes d'isovaleurs.

Dans les zones de la nappe où nous ne disposons pas d'analyses, la fonction n'est pas représentée.

Les tracés ont été réalisés au départ sur un traceur BENSON au C.I.R.I.L. à Nancy et ensuite sur un traceur CALCOMP au L.I.A.D.

II - CHOIX DES METHODES DE CARTOGRAPHIE

II.1 - Différentes méthodes d'estimation

Plusieurs méthodes d'estimation sont proposées : filtrage statistique au sens des moindres carrés, approximation au sens des moindres carrés, interpolation en μ moyenne quadratique, interpolation par la méthode des filtres autorégressifs, etc.

Un certain nombre de ces méthodes ont été testées sur un ou deux paramètres. Dans tous les cas, le nombre de voisins a été de 10.

Le choix de la méthode a été plus visuelle que "mathématique" ou "géochimique". La méthode des moindres carrés, par exemple, lisse trop énergiquement les données.

La méthode des filtres autorégressifs permet d'obtenir une représentation de la fonction étudiée qui respecte à la fois les particularités (anomalies) tout en ne leur donnant qu'une amplitude restreinte ; c'est cette méthode qui a, en définitive, été retenue.

11.2 - Choix du pas

Comme nous l'avons décrit plus haut (§. I.2), le choix du pas détermine la précision avec laquelle nous désirons connaître les variations de la fonction.

Le pas a été fixé "a priori" à 2.5 km. En effet, c'est le pas qui avait été adopté pour les cartographies de la piézométrie ; or, ces cartographies ont été effectuées à partir des mêmes points d'échantillonnage que les cartes de la géochimie.

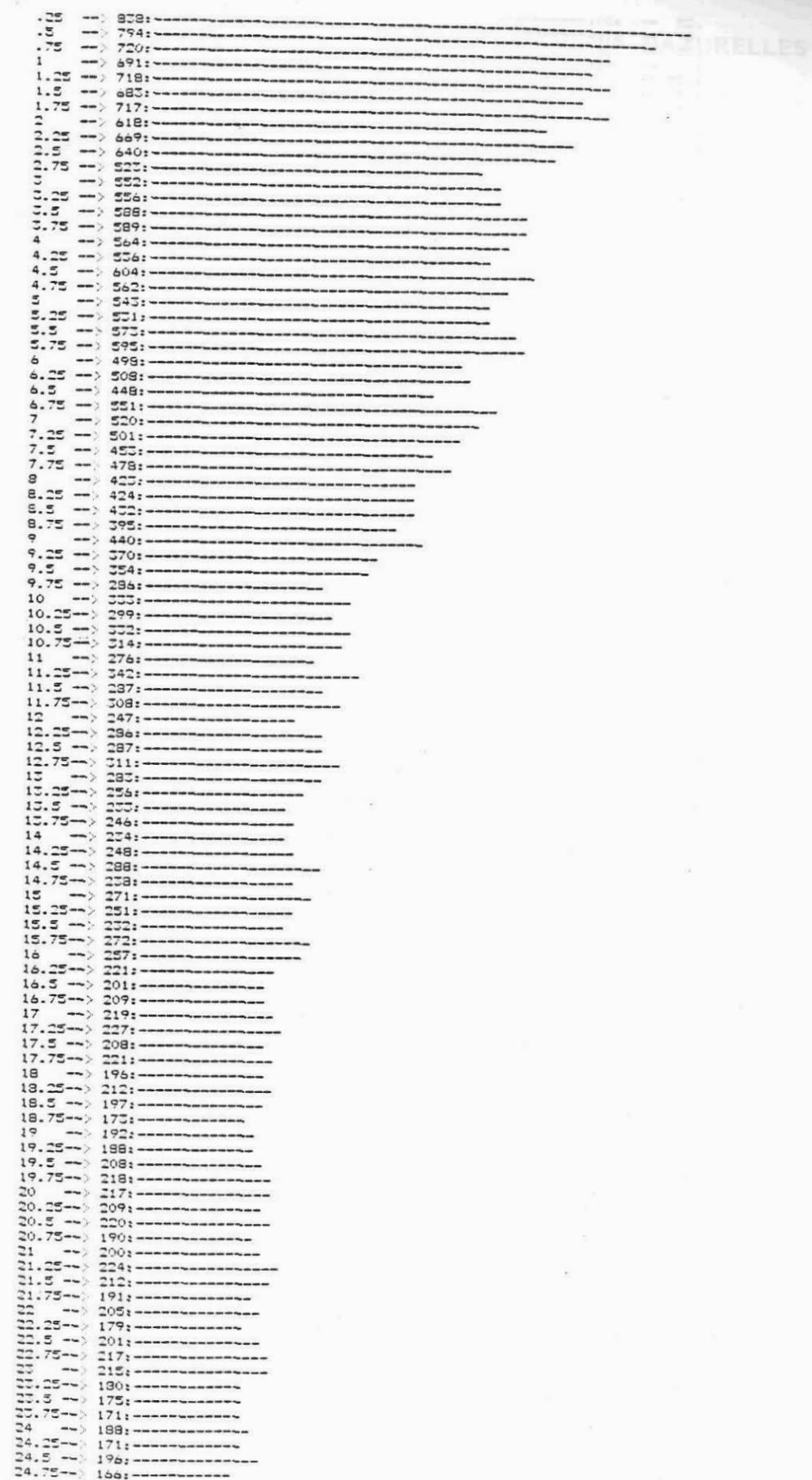
"A posteriori", des vérifications ont pu être faites. Les figures V.2 et V.3 représentent les histogrammes des distances entre les captages, dans les deux directions du réseau, c'est-à-dire nord-sud et est-ouest. Le mode de ces histogrammes étant situé entre 2.5 et 5 km, nous nous apercevons que le choix d'un pas à 2.5 km était justifié.

11.3 - Lissage

Pour un paramètre donné quand les valeurs varient rapidement dans l'espace, un lissage a été effectué ; sans ce lissage, la carte est en effet souvent illisible car les courbes de niveau sont trop détaillées. Elles représentent alors des variations spatiales qui n'ont pas de "sens géochimique". Nous préciserons pour chaque carte s'il y a eu ou non un lissage.

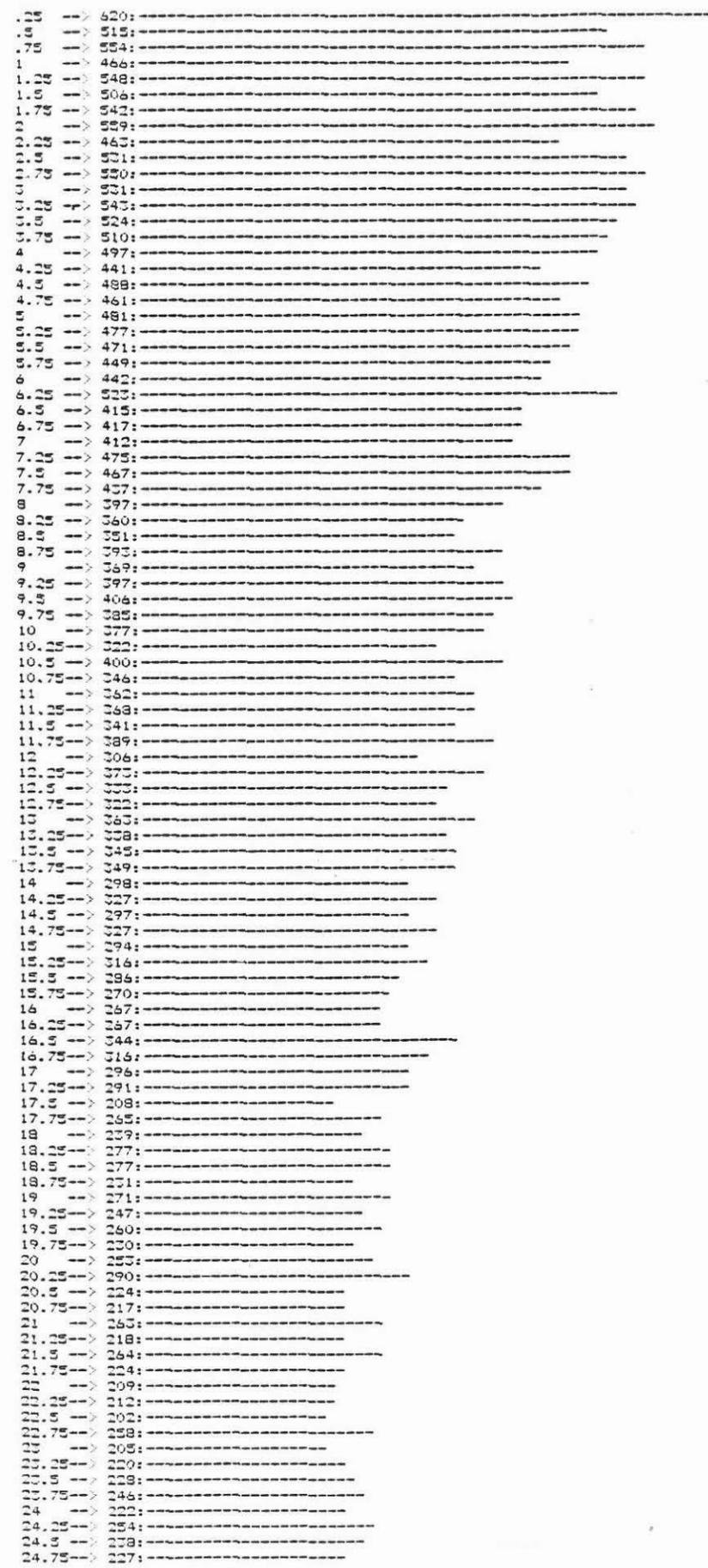
11.4 - Echelle de la représentation

Pour avoir une bonne visualisation, toutes les cartes ont été tracées au 1/500 000. Elles ont été ensuite réduites et celles qui sont présentées en annexe 4 sont à une échelle approximative de 1/741 000.



IL Y A AUSSI 44367 DISTANCES SUPERIEURES A 25 KM

Fig. V.2 - Histogramme des distances dans la direction nord-sud sur 400 sondages.



IL Y A AUSSI 44418 DISTANCES SUPERIEURES A 25 KM

Fig. V.3 - Histogramme des distances dans la direction est-ouest sur 400 sondages.

III - DOMAINE D'ETUDE, CARTOGRAPHIE DES LIMITES NATURELLES ET CARTOGRAPHIES ANTERIEURES

III.1 - Domaine d'étude

III.1.1 : Limites du dessin

La fonction étudiée n'est représentée que dans les régions où nous avons des points de mesures. Pour permettre cette représentation, nous considérons que la fonction peut être dessinée sur une fenêtre autour de chaque point de mesures. La zone de cartographie est la réunion de toutes ces fenêtres. La largeur et la longueur de la fenêtre sont données pour chaque dessin. Dans notre cas, nous avons pris une fenêtre dont les dimensions correspondent à six fois le pas du réseau, soit 15 km (figure V.4).

En outre, à ce système de fenêtre, il a été superposé un contour au-delà duquel la fonction ne sera pas tracée. Ce contour a été défini à partir de l'ensemble des points de captage ; il passe par les points les plus extérieurs.

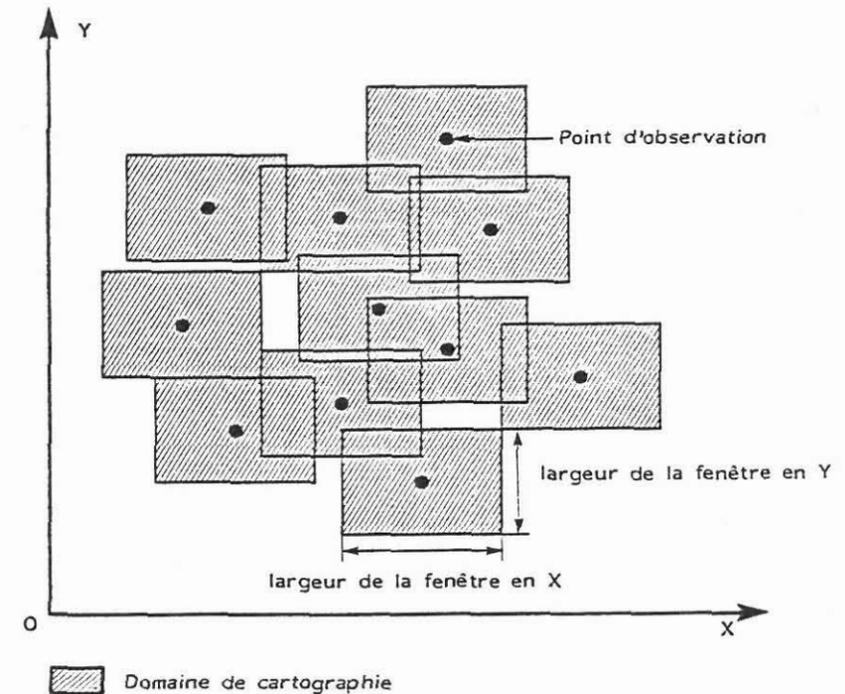
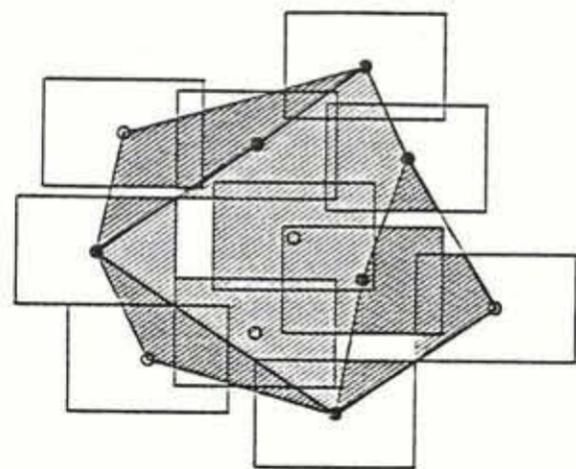


Fig. V.4 - Domaine cartographié en prenant en compte une fenêtre autour de chaque point de mesures.

Il peut arriver que pour un paramètre, le contour passe par un ensemble de points où ce paramètre n'a pas été mesuré ; dans ce cas, une partie de la cartographie sera à l'extérieur des points de mesure (figure V.5) et cette zone risque d'être incorrectement cartographiée.

Pour remédier à ce problème, il aurait fallu définir un contour par paramètre, ce qui obligerait à saisir et à archiver autant de contours que de variables cartographiées.



- Point de prélèvement
- Point de prélèvement où le paramètre étudié est mesuré
- Contour
- ▨ Zone de cartographie
- Partie de la cartographie à l'extérieur des points de mesures

Fig. V.5 - Domaine cartographié en prenant en compte une fenêtre autour des points de mesures et un contour.

III.1.2 : Limites est

Dans un premier temps, il avait été envisagé d'étudier les analyses de tous les captages des G.I.T., en particulier de prendre en compte les points situés sur le versant alsacien de la nappe.

En Alsace, du fait du jeu des failles, le Trias ne se retrouve que sous forme de blocs sans continuité avec le reste des couches du même étage. L'eau que peut renfermer certains blocs constitue donc de petites nappes indépendantes.

Dans la partie ouest de l'Alsace, au niveau de son affleurement, le Trias est encore en continuité du point de vue lithostratigraphique. Cette partie de la nappe est drainée vers l'Alsace et donc du point de vue hydrologique, cette zone n'appartient pas au bassin versant lorrain des G.I.T.

Comme nous disposons de très peu de points de mesures en Alsace, la cartographie dans cette région se serait faite en tenant compte des points relativement distants et dont la géochimie est assez éloignée de la géochimie de cette zone.

Il n'était donc pas raisonnable d'envisager de faire une cartographie au-delà de la limite de partage des eaux située à l'aplomb des affleurements vosgiens.

Nous verrons plus loin (§.IV.2) qu'une première cartographie sur les données brutes a néanmoins été effectuée avec les points situés en Alsace et qu'elle n'est pas interprétable.

III.1.3 : Cartographie des points de prélèvements

Afin de mieux visualiser le domaine de l'étude et la répartition des points de mesures dans ce domaine, des cartes de répartition des prélèvements sont présentées :

- carte de position de l'ensemble des points de prélèvement (carte n° 2),
- plan de position des forages (carte n° 3),
- plan de position des forages charbons (carte n° 4).

III.2 - Limites naturelles

Des éléments extérieurs, stockés par digitalisation (cf. §.II de la 2ème partie), sont représentés sur la carte n° 1 :

- frontières,
- rivières,
- villes,
- limites d'affleurement des grès.

III.3 - Cartographies antérieures

Nous faisons référence à certaines cartes tracées par J.J. PERAUDIN lors de l'étude de la piézométrie de la nappe. Ces cartes ont été reprises ici ; il s'agit de la carte structurale des Grès Inférieurs du Trias (carte n° 5) et de celle de la piézométrie et des lignes de courant (carte n° 6).

Ces cartes sont présentées à la même échelle que les autres.

IV - PRESENTATION DES CARTES TRACEES

IV.1 - Choix d'une analyse par point

Pour de nombreux points d'analyse, nous disposons de plusieurs mesures ; se pose alors le problème de savoir quelle mesure prendre pour la cartographie. Plusieurs possibilités peuvent être envisagées ; nous pouvons choisir de prendre :

- la première analyse effectuée sur le point, ou comme cette analyse est souvent incomplète, la première analyse connue pour chaque paramètre. On peut penser que cette méthode permet de tracer des cartes représentant l'état le plus proche de l'état initial (avant pompage) de la nappe.

Cette option présente cependant certains inconvénients : si le forage a été effectué à la boue, cela peut créer des modifications géochimiques encore sensibles lors de la première analyse. Nous remarquons assez souvent que la première analyse est sensiblement différente des analyses ultérieures.

- une seconde méthode consiste à prendre la dernière analyse connue. Cette méthode permettrait d'avoir une représentation proche de l'état actuel de la nappe.

La carte n° 11 a été exécutée à partir des données "brutes", c'est-à-dire avant qu'aucune correction n'ait été exécutée. Elle a été tracée à partir de 455 points. Les courbes d'isovaleurs suivantes y sont reportées :

- de 100 mg/l en 100 mg/l pour les valeurs de 100 mg/l à 1 000 mg/l (courbes en tiretés ;
- de 1 000 en 1 000 pour les valeurs de 1 000 à 10 000 mg/l (courbes en traits pleins).

La courbe 1 g/l a été dessinée en trait plus épais. Elle ne semblait pas correspondre à ce qui était connu (études ultérieures) en particulier à proximité de Château-Salins où les teneurs sont en général inférieures à 1 g/l.

A l'ouest de Nancy ainsi que dans la région de Neufchâteau, les courbes tracées ne correspondent à rien ; en effet, il n'existe aucune information dans ces zones.

Après le tracé de cette première carte, nous avons donc été amené à :

- vérifier et éventuellement corriger les points des zones à très fortes teneurs ;
- redéfinir la frontière au-delà de laquelle les courbes ne doivent plus être tracées ;
- rajouter certaines valeurs : forages charbons de la région de Pont-à-Mousson en particulier.

Pour la carte n° 12, dessinée à partir de 460 points (certains ont été supprimés, d'autres ajoutés par rapport à la carte n° 11), les courbes suivantes ont été reportées :

- 100, 200, 500 mg/l : en tiretés,
- 1 000, 2 000, 5 000, 10 000 et 20 000 : en traits pleins.

Remarque :

Cette carte a été tracée sur une région légèrement plus petite car les zones sans information n'ont pas été représentées ; ceci permettrait de réduire le temps de calcul.

Les points de mesures ayant servi au tracé ont été reportés. Nous pouvons noter la grande densité d'informations au niveau des Houillères du Bassin Lorrain.

Sur cette carte, nous remarquons :

- globalement, une augmentation du résidu sec d'est en ouest, donc une augmentation de la minéralisation avec la distance d'affleurement ;
- une zone fortement minéralisée correspondant à la tache salée connue, de la région d'Albestroff ;
- une zone à très faible minéralisation entre la tache salée et la partie ouest fortement minéralisée également. Cette région correspond à une zone d'écoulement préférentiel ;
- l'orientation des courbes suivant deux directions perpendiculaires : NW-SE et SW-NE ;

- certains alignements dans l'axe de failles connues (carte n° 5) : Vittel, etc.

Cette carte est nettement plus cohérente que la précédente. Nous y retrouvons un certain nombre d'éléments connus. Cependant, un trop grand nombre "d'anomalies" semble encore dû à un seul point.

La carte n° 13 correspond aux mêmes points que la n° 12, mais elle utilise une méthode d'interpolation différente (interpolation par les moindres carrés) qui lisse beaucoup plus les données. Nous y retrouvons les mêmes grandes orientations que dans la carte précédente.

La carte n° 14 représente la résistivité. Elle devrait être complémentaire des cartes du résidu sec puisque :

$$\text{résidu sec (mg/l)} \times \text{résistivité (ohms.cm)} = 0.65 \cdot 10^{-5}$$

Les courbes suivantes sont reportées :

- 100 ohms.cm en traits pleins,
- 1 000, 2 000 et 5 000 ohms.cm en tiretés,
- 10 000 et 20 000 ohms.cm en traits pleins.

Nous retrouvons sur cette carte, une zonation est-ouest : la tache salée d'Albestroff.

Nous remarquons de nombreuses petites "patates" à faibles valeurs centrées sur un ou deux points. L'abondance de ces zones a amené à vérifier les données de départ et en particulier les points sur lesquels sont centrées ces zones d'anomalies.

Les cartes tracées sur les données brutes prennent en compte des points situés sur le versant alsacien des G.I.T. Nous observons, dans la partie nord-est, des cartes au fort gradient du paramètre tracé. Ce fort gradient est le résultat de différence importante entre les valeurs à l'affleurement et celles situées en Alsace. Comme ces points appartiennent à des domaines différents, le tracé de cette zone ne devrait pas être effectué de façon continue. Les forages alsaciens ont été éliminés des cartographies ultérieures.

Le dessin des cartes a été mené en parallèle avec la critique des données et de fréquentes vérifications ont dû être effectuées.

IV.3 - Cartographie sur le fichier final

Les cartographies ont donc été faites sur des données corrigées. Il existait cependant encore de nombreuses erreurs dans le fichier, qui n'avaient pas pu être rectifiées par les méthodes précédemment décrites.

Dans les zones où nous avons un fort gradient du paramètre cartographié qui semblait anormal, nous avons une nouvelle fois vérifié les points de mesures (par rapport aux archives et à l'ensemble des analyses effectuées sur le point). Quand ces points étaient manifestement faux, ils ont été corrigés lorsque cela était possible, ou supprimés. Cette correction ou suppression de point a été faite directement sur le fichier de valeurs médianes.

Nous présenterons donc, pour certains paramètres, deux séries de cartes : une avant correction sur le fichier de médiane, l'autre après correction.

Ces cartes ont toutes été tracées à partir des valeurs médianes pour chaque point de mesures. L'ensemble des points de mesures (source ou forage) est pris en compte.

Remarque :

Le fichier de médianes comprend 1 774 points issus d'un fichier global final comportant 9 759 analyses.

IV.3.1 : Cartographie des paramètres mesurés

Toutes les variables ont été interpolées par la méthode des filtres auto-régressifs.

a) Résidu sec

Sur la carte n° 16, nous observons :

- une augmentation globale de la minéralisation d'est en ouest, c'est-à-dire au fur et à mesure que l'on s'éloigne des affleurements ;
- une zone fortement minéralisée au niveau de Sarralbe : "la tache salée".

Cette région, fortement minéralisée, correspond à un synclinal (synclinal de Sarreguemines) donc à une zone plus profonde, plus chaude et où l'eau circule plus lentement.

Bien que cette région soit relativement proche des affleurements, l'eau qui y circule provient d'affleurements situés plus au sud et ce sont donc des eaux qui ont un temps de transfert relativement important (cf. carte n° 6).

La forme de cette zone à fortes valeurs du résidu sec semble influencée par la structure : en effet, nous observons une orientation SW-NE (marquée notamment par une "rentrée" de la courbe 1 g/l).

- un couloir à plus faibles valeurs du résidu sec situé entre la tache salée et les régions plus fortement minéralisées de la partie ouest de la nappe ;
- une augmentation du résidu sec dans la région de coordonnées Lambert (X,Y) = (960,130), qui correspond au drainage par la Zorn. (Ce drainage est marqué par la courbe 200 mg/l.) ;
- un infléchissement vers l'ouest des courbes d'isovaleurs 200 mg/l et 500 mg/l au niveau de la faille de Vittel.

Une deuxième carte a été tracée après suppression de certains points anormaux. Cette carte (n° 17) n'est pas sensiblement différente de la précédente.

b) Chlorures, sodium et potassium

Pour les chlorures et le sodium, lors de la seconde cartographie (cartes n° 20 et 23), il a été effectué un lissage.

Les cartes des deux éléments chlorure et sodium, se ressemblent énormément et elles sont toutes les deux une transposition de la carte du résidu sec, les chlorures représentant environ la moitié de la minéralisation totale et le sodium un quart.

Nous retrouvons donc dans ces cartes, les caractéristiques signalées au paragraphe précédent :

- la zone fortement minéralisée de la région de Sarralbe,
- un couloir plus faiblement minéralisé au sud-ouest de la zone précédente,
- un infléchissement des courbes marquant la faille de Vittel,
- une accentuation de la minéralisation au niveau de la Zorn.

Nous remarquons de plus :

- une anomalie négative au niveau des H.B.L., beaucoup plus marquée sur la carte du résidu sec,
- deux axes plus faiblement minéralisés entre la Zorn et la Moder et entre la Zorn et la Brüche,
- une anomalie positive de coordonnées approximatives (X,Y) = (910,80), qui est soulignée par la courbe 100 mg/l sur la carte du sodium et par les courbes 100 et 500 mg/l sur la carte des chlorures.

Cette région correspond à deux forages : celui d'Ortoncourt (d'indice au code minier : 305.1.31) et le forage communal de Rechaincourt (304.4.10). Les coupes de ces forages montrent qu'ils captent essentiellement les Grès Bigarrés. L'anomalie provient donc du niveau capté qui est différent pour les forages de cette région.

Sur le premier tracé de la carte du sodium (carte n° 22), nous observons une "bosse" dans la zone de coordonnées approximatives (X,Y) = (955,150). Cette anomalie est due à une teneur erronée au niveau de la source Volkberg (197.2.12). La teneur portée y est de 2 908 mg/l. Cette valeur a été supprimée sur la carte suivante (n° 23). Cette source étant située en Alsace, les archives du code minier la concernant se trouvent au B.R.G.M. de Strasbourg et elles n'ont pas été consultées.

Sur la première carte du potassium (n° 25), nous remarquons trois zones à teneur particulièrement forte :

- à environ (X,Y) = (890,60), l'anomalie est due à une teneur de 28 mg/l sur un point de prélèvement (339.3.30) situé au niveau d'une décharge à ordures (commune de Girancourt). Cette teneur élevée, qui semble donc plus caractéristique de l'environnement que de la géochimie de l'aquifère, a été supprimée pour le tracé de la carte suivante ;
- à (X,Y) = (930,90), nous observons une anomalie centrée sur le forage d'Hablainville (269.3.2), au niveau duquel la teneur en potassium archivée est de 30 mg/l. Nous avons vérifié les analyses de ce forage aux archives et nous avons constaté qu'il s'agissait en fait de la teneur en Na+K, et qu'aucune mesure de la concentration en potassium seul n'avait été effectuée. Cette valeur a donc été supprimée ;

- à (X,Y) = (900,140), nous remarquons une forte anomalie. Cette dernière est liée au forage de Moncheux (194.3.3) où la teneur en potassium archivée est de 256 mg/l. Nous n'avons pas trouvé de trace d'analyse effectuée sur ce forage dans les archives, mais comme la teneur portée dans le fichier informatique est aberrante, elle a été supprimée lors du tracé d'une nouvelle carte.

La carte n° 26 représente les concentrations en potassium après suppression des erreurs précédemment citées. Cette carte devient alors très proche des cartes du résidu sec, des chlorures et du sodium. Nous noterons que la faille de Vittel est particulièrement bien mise en évidence sur cette carte.

c) Calcium, magnésium et sulfates (cartes n° 27 à 35)

La carte des sulfates a été lissée avant tracé.

Les cartes du calcium et des sulfates se différencient de celles précédemment décrites.

Nous y retrouvons un certain nombre d'éléments des cartes précédentes :

- l'augmentation de la minéralisation lorsque l'on s'éloigne des affleurements ;
- la zone minéralisée à (X,Y) = (950,80) ;
- le couloir plus fortement minéralisé au niveau de la Zorn ;
- la faille de Vittel mais qui est ici plus faiblement marquée et qui ne semble pas influencer les teneurs en calcium.

Un certain nombre de points différencient ces deux cartes des précédentes :

- la tache salée n'est pas marquée : le synclinal de Sarreguemines ne semble donc pas jouer sur les valeurs du calcium et des sulfates ;
- une anomalie négative en calcium au niveau de Sarrebourg ;
- une anomalie positive (marquée par la courbe 200 mg/l) située entre Vittel et Epinal ;
- une anomalie positive en calcium et sulfates de coordonnées (X,Y) = (920,160). Cette anomalie n'est due qu'à deux forages :
 - . le forage de Teting (camp militaire), n° siviard 220, n° code minier 165.2.91, forage ancien datant de 1935 ;
 - . le forage Crehange F.601, n° code minier 165.6.14. Ce forage date de 1934 et il est défaillant depuis 1968.

Sur la première carte du calcium (n° 28), comme sur celle du magnésium, nous notons une anomalie positive à environ (X,Y) = (890,60). Cette anomalie correspond au forage de Ville-sur-Illion (339.1.1) ; elle est due à la première analyse effectuée sur le forage, qui en fait ne correspond pas aux Grès du Trias Inférieur. Les valeurs du calcium et du magnésium ont donc été modifiées et la carte du calcium retracée (celle du magnésium n'a pas été retracée).

Sur la première carte du magnésium (n° 31), nous observons une énorme anomalie dans les fortes valeurs, située aux coordonnées approximatives (X,Y) = (890,50). Cette "bosse" est due à une teneur de 3 000 mg/l ! au point d'indice 339.5.25. Cette valeur, manifestement fautive, a été supprimée. Cette anomalie montre comment une forte erreur peut avoir une influence locale très importante sur le tracé de la carte, mais qu'elle ne modifie pas l'ensemble de ce tracé.

Nous observons également une forte teneur (164 mg/l) au niveau du forage de Mont-sur-Meurthe (268.4.2).

Mis à part les deux anomalies de Mont-sur-Meurthe et de Ville-sur-Illion qui n'ont pas été éliminées du tracé de la seconde carte (n° 32), nous n'observons que de faibles variations des concentrations en magnésium qui croissent lentement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone d'alimentation de la nappe.

d) Résistivité (cartes n° 36 à 38)

Nous remarquons une certaine similitude avec la carte du résidu sec.

Le tracé des courbes a été lissé. La carte non lissée n'était pas lisible du fait de la forte variabilité des teneurs dues à deux raisons principales :

- la résistivité est un paramètre qui peut avoir localement des variations assez importantes ;
- mais surtout : il existe encore de nombreuses erreurs au niveau de ce paramètre, dues à la confusion entre résistivité et conductivité et aux erreurs d'unité.

Pour éliminer ces erreurs, il faudrait reprendre les points qui semblent erronés d'après la carte et pouvoir les vérifier.

e) pH

Nous observons une variation importante de ce paramètre au niveau de la zone d'affleurement. Le pH reste ensuite compris entre 7 et 8, avec des valeurs légèrement plus importantes au niveau de la tache salée.

Le pH de la zone d'affleurement semble lié à celui des eaux de pluie (cf. tableaux IV.14 à IV.16) ; il augmente ensuite jusqu'à la neutralité et se stabilise à une valeur d'environ 7.5.

Sur la carte d'isovaleurs (n° 41), nous remarquons, au niveau de Toul, que l'acidité est plus importante. En fait, cette zone à Ph inférieur à 7 n'est due qu'à un seul point de mesures (où pH = 6.20) ; nous ne pouvons donc rien conclure quant au sens de la variation du pH dans les zones plus minéralisées de la nappe.

f) HCO₃⁻ et CO₃⁻⁻

La carte des teneurs en HCO₃⁻ se caractérise par une forte variation des teneurs à l'affleurement ; ailleurs, les teneurs deviennent à peu près constantes. Ceci pourrait venir du fait que la teneur en HCO₃⁻ est acquise principalement au niveau du sol ; ensuite, elle ne varie plus beaucoup.

La faille de Vittel est marquée. A (X,Y) = (950,150), nous observons un "trou" (zone à valeur plus faible) en HCO₃. Ce trou est dû à une valeur erronée à 0.0.

Nous remarquons une valeur plus faible en HCO₃⁻ à l'ouest, au niveau du forage de Toul. Ce "trou" est à relier à la plus faible valeur du pH au niveau de ce forage.

La carte n° 44 représentant les points où les teneurs en CO₃⁻⁻ ont été mesurées, est donnée à titre indicatif. Ces teneurs sont toutes pratiquement à 0.0 sauf pour un forage situé à (X,Y) = (890,140), où la valeur donnée (74.0) est erronée. Cette valeur correspond au forage de Moncheux.

g) Fer

Les teneurs en fer sont reportées à la carte n° 45. La carte d'isovaleurs (n° 46) correspondante n'a pas une grande signification ; en effet, les teneurs en fer des forages sont plus caractéristiques de l'état du tubage que de la teneur en fer de l'eau de la nappe. Les fortes valeurs observées correspondent à des forages relativement âgés où le tubage est détérioré.

IV.3.2 : Cartographie des rapports

A partir des données du fichier initial, des cartes de certains rapports caractéristiques ont été tracées. Ces rapports sont calculés à partir des valeurs médianes. Ce mode de calcul permet d'avoir le maximum de points. En effet, les analyses sont souvent incomplètes ; en prenant une analyse "médiane" qui regroupe les valeurs médianes de chaque paramètre, nous obtenons une analyse plus complète. Certains rapports qui ne pouvaient pas être calculés avec une seule analyse, car il manquait des valeurs pour certains paramètres, pourront l'être à partir d'une analyse médiane.

Il aurait été intéressant de comparer, quand cela était possible, les médianes de rapports aux rapports calculés à partir de l'analyse médiane. Ceci n'a pas été fait, faute de temps.

Le calcul des différents rapports se fait à partir des teneurs exprimées en milliéquivalents par litre.

a) Indice d'échange de base (cartes n° 47 à 52)

Au cours de son trajet, l'eau est en contact avec des substances qui peuvent échanger leurs ions contre ceux contenus dans l'eau.

Il peut y avoir fixation ou échange de cations par ces substances (argiles notamment) et il se produit donc un échange de base.

Le degré de fixation des différents cations dépend de leur nature. Le pouvoir de fixation, f, est croissant du sodium, au potassium, au magnésium et au calcium :

$$fCa > fMg > fK > fNa$$

Les eaux naturelles renferment Na+, K+, Ca++, Mg++ et H+ comme principaux cations. Les échanges de bases pourront modifier les rapports entre ces différents cations, dans les eaux.

Si a est la teneur initiale en un cation et x sa concentration à l'équilibre, nous appelons indice d'échange de base (i.e.b) le rapport :

$$i.e.b. = \frac{a - x}{a} \quad (a \text{ et } x \text{ étant exprimés en m.eq})$$

Si nous admettons qu'au départ il y a autant d'ions chlorures que d'ions sodium et potassium, l'échange de Na+K de l'eau contre des alcalino-terreux des terrains traversés, peut être caractérisé par le rapport :

$$i.e.b. = \frac{rCl - rNa + rK}{rCl}$$

Cet indice (noté base) ainsi que le rapport...

$$base 2 = \frac{rCl - rNa}{rCl}$$

... ont été cartographiés.

Les cartes n° 48 et 51 ont été tracées à partir des valeurs médianes "brutes". Comme certaines teneurs en Na, K et Cl avaient été modifiées après examen des premières cartes de médianes, les cartes des deux i.e.b. ont été aussi retracées.

Nous remarquons que l'i.e.b. est voisin de 0 pratiquement partout, sauf au niveau d'un axe qui correspond à la frontière nappe libre - nappe captive ou, ce qui revient pratiquement au même au niveau de la limite de recouvrement des G.I.T.

Nous avons donc cet axe fortement négatif où l'i.e.b. est fortement déséquilibré avec de part et d'autre, c'est-à-dire du côté de l'affleurement et vers l'ouest, une augmentation de ce rapport.

b) R1 = rMg/rCa (cartes n° 53 à 55)

Sur cette carte, nous observons :

- à l'affleurement, un rapport de l'ordre de 0.5 qui augmente au niveau du passage sous couverture ;

- dans la partie ouest de la nappe ce rapport diminue fortement ;

- au niveau du synclinal de Sarreguemines, une zone où Mg et Ca sont dans les mêmes proportions. Cette région pourrait correspondre à un faciès du niveau capté différent de celui des régions voisines.

c) R2 = rSO4/rCl (cartes n° 56 à 58)

Nous remarquons une augmentation de ce rapport dans la zone d'affleurement puis une diminution après le passage sous couverture. Dans la zone où la nappe est captive, le rapport se stabilise à une valeur d'environ 0.2.

Comme pour les i.e.b., nous distinguons donc une ligne de crête où le rapport est d'environ 1, proche de la limite de recouvrement des G.I.T.

Dans le secteur de Vittel, où la nappe est libre par suite du rabattement, nous observons une augmentation de R.2. Celle-ci pourrait s'expliquer par un apport par drainance à partir du Muschelkalk qui ferait augmenter la teneur en sulfates. La faille de Vittel est décelable sur cette carte.

Au niveau des H.B.L., nous constatons de très fortes valeurs du rapport qui peut devenir supérieur à 10. Cette anomalie correspond à une anomalie piézométrique (cf. carte n° 6). Cette zone, où les sulfates sont en plus fortes proportions, pourrait s'expliquer soit :

- par un apport par ruissellement au niveau de la limite de recouvrement des G.I.T., donc au niveau de la cuesta du Muschelkalk ;

- par une pollution venant de la surface (stériles des H.B.L.) ;

- par une zone de stagnation des eaux. En effet, si nous comparons cette carte à celle de la piézométrie établie par J.J. PERAUDIN, nous remarquons que la zone où le rapport est important, correspond à un point neutre, c'est-à-dire à une zone d'eau morte. Dans cette zone de stagnation, il pourrait donc y avoir augmentation de la teneur en SO₄⁻⁻.

d) R3 = rK/rNa (cartes n° 59 à 61)

Nous observons des phénomènes proches de ceux décrits pour les rapports précédents. A l'affleurement, le rapport R3 varie beaucoup ; ailleurs nous avons un plateau où le rapport est à peu près constant bien que les teneurs en sodium et potassium augmentent.

Nous pouvons penser que les teneurs à l'affleurement de K et Na sont influencées par la composition initiale des eaux de pluie et que par la suite, nous avons une dissolution à peu près constante et dans les mêmes proportions de ces deux éléments. Le rapport se stabiliserait donc progressivement. Dans la zone d'affleurement, où la proportion de K et Na initiale est importante par rapport aux teneurs acquises par dissolution, nous observons une influence de la teneur initiale ; par la suite, la part de ces éléments venant de la dissolution serait beaucoup plus forte que la part venant de la teneur initiale et nous avons donc un rapport constant.

e) RP1 = rCa/rNa (cartes n° 62 à 64)

Nous observons globalement une diminution de ce rapport depuis les zones d'affleurement vers l'ouest.

Quelques anomalies sont à signaler :

- à environ (X,Y) = (890,60), nous avons une zone où RP1 est supérieur à 10. Cette zone est due à un point où RP1 = 13.0. Un peu plus à l'ouest, un deuxième forage présente un rapport de 10.6 créant une seconde anomalie. Ces deux anomalies font ressortir la faille de Vittel ;

- à (X,Y) = (920,90), il existe deux forages où RP1 est égal d'une part à 9.5 et d'autre part à 9.3 ;

- au niveau des H.B.L., une zone à fort pourcentage de Ca par rapport au Na s'individualise. Cette région est due à un point où le rapport est d'environ 20 ;

- la tache salée se marque par une nette diminution du rapport ; il existe des points où le rapport est inférieur à 0.1 (points notés 0 sur la carte).

f) RP2 = (rCa + rMg) / (rNa + rK) (cartes n° 65 à 67)

Nous constatons sur cette carte des variations identiques à la carte précédente. Les mêmes anomalies se retrouvent.

IV.3.3 : Essai de représentation de l'agressivité de l'eau

Comme nous l'avons vu au paragraphe II.3.5 de la seconde partie, l'essai au marbre permet de déterminer l'agressivité d'une eau vis-à-vis du calcaire.

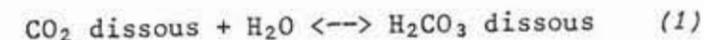
Après avoir fait quelques rappels sur l'équilibre calcocarbonique, nous décrirons les méthodes qui ont été envisagées pour visualiser la variation dans l'espace de l'agressivité.

a) Rappels sur l'équilibre calcocarbonique

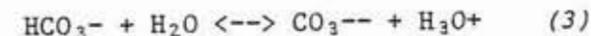
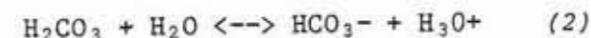
* Dissolution de l'anhydrite carbonique dans l'eau pure

Nous montrons que l'anhydrite carbonique CO₂ est soluble dans l'eau pure et que sa solubilité augmente avec la pression au-dessus de la solution.

Dans ce cas, la solution contient des molécules d'acide carbonique H₂CO₃ en équilibre avec l'eau liquide et le gaz carbonique dissous :



L'acide carbonique est un biacide faible qui va se dissocier par suite des réactions :



L'application de la loi d'action de masse permet d'écrire :

$$k_2 = \frac{(\text{H}_3\text{O}^+) (\text{HCO}_3^-)}{(\text{H}_2\text{CO}_3)} \quad k_3 = \frac{(\text{CO}_3^{--}) (\text{HCO}_3^-)}{(\text{HCO}_3^-)}$$

Du point de vue expérimental, comme nous ne pouvons pas différencier CO₂ dissous de H₂CO₃ dissous, nous dosons [H₂CO₃] + [CO₂] qui est appelé CO₂ libre et noté [H₂CO₃].

Nous pouvons montrer qu'il est possible d'écrire :

$$k_1 = \frac{(\text{HCO}_3^-) (\text{H}_3\text{O}^+)}{(\text{CO}_2) (\text{H}_2\text{CO}_3)_{\text{vrai}}}$$

ou :

$$k_1 = \frac{(\text{HCO}_3^-) (\text{H}_3\text{O}^+)}{(\text{H}_2\text{CO}_3)}$$

Remarque :

Les valeurs entre parenthèses représentent les activités, celles entre crochets les concentrations.

* Dissolution du carbonate de calcium dans l'eau pure

Le carbonate de calcium est très peu soluble dans l'eau pure (privée d'acide carbonique). Si nous mettons de l'eau pure en contact avec de la calcite, il se produit la réaction :



avec $k_4 = k_s = (\text{Ca}^{++}) (\text{CO}_3^{--})$.

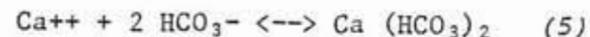
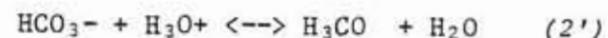
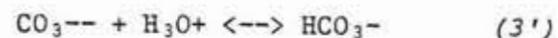
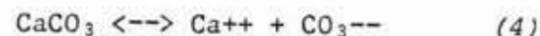
Les équilibres calcobaroniques se réalisent alors et nous obtenons une solution contenant les ions : CO_3^{--} , HCO_3^- , Ca^{++} , H_3O^+ , OH^- , H_2CO_3 .

* Dissolution du carbonate de calcium dans les eaux naturelles

Si nous considérons une eau agressive contenant du CO_2 , mise en contact avec du carbonate de calcium en excès, ce CaCO_3 est attaqué par le CO_2 , puis au bout d'un certain temps, il se produit un équilibre suivant la réaction :



... ou, si nous décomposons la réaction, nous obtenons la série d'équilibres suivants :



Remarque :

L'expérience montre que l'entartrage au CaCO_3 ne se produit que dans le cas où le produit $(\text{Ca}^{++})(\text{CO}_3^{--})$ dépasse la valeur $40 \cdot k_s$ (Legrand et Poirier).

b) Détermination de l'agressivité de l'eau

La première méthode envisagée pour déterminer l'agressivité de l'eau a été de prendre en compte les différences entre le pH après essai au marbre et le pH initial ($\text{pH}_2 - \text{pH}$) ou l'alcalinité avant et après essai au marbre ($\text{TAC}_2 - \text{TAC}$).

Le fichier de valeurs médianes ne comportait que 55 points où l'essai au marbre avait été effectué. Comme ces points étaient localisés dans deux régions restreintes (cf. carte n° 68), il n'a pu être possible d'établir une carte d'agressivité à partir de ces données.

Une seconde méthode d'estimation de l'agressivité décrite par M. LOUVIER a été envisagée. Elle consiste à calculer un indice de saturation par rapport à la calcite. Nous comparons le produit des activités en Ca^{++} et CO_3^{--} présents dans la solution avec le produit de solubilité k_s de la calcite (c'est-à-dire la valeur du produit $(\text{Ca}^{++})(\text{CO}_3^{--})$ à l'équilibre) :

$$\text{Rap} = \frac{(\text{Ca}^{++})(\text{CO}_3^{--})}{k_s} \times 100$$

En général (pour des pH inférieurs à 8.3), CO_3^{--} est voisin de 0 et donc il n'est pas mesuré de façon précise. Nous ne pouvons pas utiliser ce rapport directement.

En tenant compte de l'équilibre (3), le rapport peut s'écrire...

$$\text{Rap} = \frac{(\text{Ca}^{++}) k_3 (\text{HCO}_3^-)}{k_s (\text{H}_3\text{O}^+)} \times 100$$

ou :

$$\text{Rap} = \frac{a_{\text{Ca}^{++}} [\text{Ca}^{++}] a_{\text{HCO}_3^-} [\text{HCO}_3^-] k_3}{k_s (\text{H}_3\text{O}^+)} \times 100$$

... où a représente le coefficient d'activité de l'ion considéré.

Théoriquement :

- si $\text{Rap} = 100$, l'eau est en équilibre avec la calcite ;
- si $\text{Rap} > 100$ $(\text{Ca}^{++})(\text{CO}_3^{--}) > k_s$, donc l'eau a tendance à précipiter du CaCO_3 ; elle est incrustante ;
- si $\text{Rap} < 100$, l'eau a tendance à dissoudre du CaCO_3 ; elle est agressive.

Pour pouvoir utiliser cet indice, il faut satisfaire les conditions suivantes :

- Ca^{++} et HCO_3^- doivent être mesurés de préférence sur le terrain. A défaut, nous pouvons utiliser les mesures en laboratoire ; cependant, des modifications peuvent se produire pendant le transport de l'échantillon ;

- la température doit être mesurée sur le terrain car elle influence plusieurs paramètres du calcul : coefficient d'activité, constantes d'équilibres en particulier ;

- le pH doit obligatoirement être mesuré sur le terrain. Comme nous l'avons vu (cf. figure III.2 page 41), les variations de pH entre le terrain et le laboratoire peuvent être très importantes. Or, une variation de 0.5 du pH entraîne une multiplication (ou une division) d'un facteur 3 de l'activité (H_3O^+) et donc une variation de ce même facteur de l'indice de saturation.

Le rapport calculé peut donc donner une eau fortement incrustante ou fortement agressive ; la valeur du pH varie de 0.5.

- les ions majeurs Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^- , NO_3^- doivent tous être dosés pour pouvoir calculer la force ionique qui permet ensuite le calcul des coefficients d'activité.

Pour l'utilisation de cette méthode, il est spécifié :

"Si la température ou le pH ne sont pas mesurés, ou si un au moins, des éléments chimiques : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , n'est pas dosé, les calculs ne sont pas réalisables car les résultats ne seraient pas significatifs".

Notre fichier ne comportant aucune mesure de température et les pH étant en général mesurés au laboratoire, cette méthode ne pouvait donc pas être utilisée.

Une troisième méthode a alors été mise au point. Elle consiste à calculer un pH d'équilibre (pH_e) et à comparer ce pH calculé au pH initial de l'eau.

Pour pouvoir calculer ce pH d'équilibre, les mêmes précautions que celles décrites précédemment pour la deuxième méthode devraient être théoriquement prises.

Comme nous travaillons ici sur une différence de pH et non sur un rapport, les variations relatives de ce paramètre seront moins importantes si nous commettons une erreur sur une mesure.

Calcul du pH d'équilibre pHe :

En tenant compte des équilibres (3) et (4), nous pouvons écrire à l'équilibre :

$$[Ca^{++}] [CO_3^{--}] = \frac{k_s}{a_{Ca^{++}} a_{CO_3^{--}}} = k's$$

$$\frac{[CO_3^{--}] (H_3O^+)}{[HCO_3^-]} = \frac{k_3 a_{HCO_3^-}}{a_{CO_3^{--}}} = k'3$$

Donc :

$$\frac{k's}{[Ca^{++}]} = CO_3^{--} = \frac{k'3 [HCO_3^-]}{(H_3O^+)}$$

$$\frac{1}{(H_3O^+)} = \frac{k's}{k'3 [HCO_3^-] [Ca^{++}]}$$

$$pHe = pk'3 - pk's - \log [HCO_3^-] - \log [Ca^{++}]$$

Or :

$$\left. \begin{aligned} pk'3 &= 10.25 - 0.382 \sqrt{\mu} \\ pk's &= 8.32 - 4 \sqrt{\mu} \end{aligned} \right\} \text{(cf. SCHOELLER)}$$

μ étant la force ionique.

Donc :

$$pHe = 1.93 + 3.618 \sqrt{\mu} - \log [HCO_3^-] - \log [Ca^{++}]$$

La force ionique d'une solution est définie par la relation...

$$\mu = 1/2 \sum c_n v_n^2$$

... dans laquelle c_n est la concentration en moles/l de l'ion n et v_n sa valence électrochimique.

Dans la pratique, l'analyse ne fournissant en général pas tous les éléments pour le calcul de la force ionique, nous nous contenterons donc d'une formule empirique approchée qui tient compte d'autres données disponibles.

Il existe en particulier, une formule empirique définissant la force ionique à partir de la résistivité électrique r à 18° C :

$$\mu = \frac{16.5}{r} \quad (r \text{ étant exprimée en ohms } \times \text{ cm})$$

En tenant compte de cette formule, la relation devient :

$$pHe = 1.93 + 14.696 / \sqrt{r} - \log [HCO_3^-] - \log [Ca^{++}]$$

Si $\{HCO_3^-\}$ et $\{Ca^{++}\}$ sont les concentrations en HCO_3^- et Ca^{++} exprimées en mg/l :

$$[HCO_3^-] = \frac{\{HCO_3^-\}}{61.016 \cdot 10^3} \quad [Ca^{++}] = \frac{\{Ca^{++}\}}{40.08 \cdot 10^3}$$

$$pHe = 11.32 + 14.7 / \sqrt{r} - \log \{HCO_3^-\} - \log \{Ca^{++}\}$$

Cette formule nous donne donc une expression d'un pH d'équilibre qui doit être pris comme une valeur indicative de ce pH, compte tenu de toutes les approximations qui ont été faites. Nous rappelons qu'elle ne tient en particulier pas compte de la température qui a une influence sur les constantes d'équilibre.

A partir de ce pH d'équilibre, nous pourrions calculer une différence de pH noté dpHe ($dpHe = pHe - pH$). Cette différence n'aura de sens que dans la mesure où nous accordons un sens au calcul de pHe et que nous considérons que le pH initial donné par l'analyse est proche du pH mesuré sur le terrain.

c) Cartographie

La carte n° 69 regroupe les valeurs de la différence entre pH avant et après essai au marbre (première méthode citée) pour les points où cet essai a été effectué.

Une carte (n° 70) a été établie à partir du calcul du pH d'équilibre défini par la méthode n° 3. Nous insistons une nouvelle fois sur le fait que cette carte n'a qu'un caractère indicatif. Le calcul selon la méthode n° 3 a permis la cartographie de toute la zone étudiée ; en particulier dans les deux domaines où nous avons des valeurs du pH et du TAC après essai au marbre (cf. §.IV.3.3.b), cette méthode donne des résultats de dpHe calculé proches des valeurs réelles issues de la méthode n° 1.

CONCLUSION

A partir d'un ensemble d'analyses archivées selon des modes différents, nous avons obtenu un fichier synthétique du plus grand nombre possible d'analyses d'eau sur les ouvrages captant la nappe des G.I.T.

Ce fichier comportant de nombreuses erreurs, des méthodes de vérification des données ont donc été mises au point.

Etant donné les nombreuses imprécisions sur les valeurs mesurées, nous avons essayé d'utiliser des méthodes de contrôle relativement simples (balance ionique, rapports caractéristiques) pour détecter les anomalies les plus importantes.

Ces critères de sélection des "valeurs anormales" ne suffisaient pas, en général, pour déterminer avec certitude (ou avec tel pourcentage d'erreur), si nous pouvions garder ou rejeter une mesure. Une vérification systématique des analyses n'était pas envisageable, d'une part pour une question de temps, d'autre part car les originaux des analyses ne sont pas toujours accessibles.

Le fichier final corrigé obtenu est donc encore imparfait ; nous pouvons cependant affirmer que les analyses qui ont été éliminées de ce fichier étaient fausses.

La correction du fichier n'était pas le but du travail qui nous avait été confié ; elle reste incomplète car il fallait exploiter les données.

Il faudrait envisager une reprise totale de ces fichiers avec :

- une harmonisation systématique entre les fichiers établis par les différents organismes, avec un code suivant l'origine du fichier (afin de détecter des erreurs systématiques éventuelles). L'uniformisation des fichiers suivant le fichier Eau Souterraine de l'A.F.B.R.M. n'est pas forcément la meilleure ; comme nous l'avons vu, des lacunes existent au niveau de ce fichier (absence de mesure de température, absence de distinction entre les méthodes de mesures, comme par exemple l'oxydabilité au KMnO_4 ...)

- une critique systématique des nouvelles analyses lors de leur saisie, par les méthodes déjà en place, mais aussi avec les critères décrits dans la quatrième partie ;

- une comparaison des analyses par rapport aux analyses voisines enregistrées et une vérification des analyses par rapport aux cartes tracées. Ainsi, avant de

rentrer une nouvelle valeur dans le fichier, faudrait-il systématiquement comparer la teneur mesurée à une teneur estimée (par une fonction d'approximation) à partir des points voisins ;

- une différenciation dans le fichier entre les analyses vérifiées et celles qui ne l'auront pas été.

A partir du fichier incomplètement corrigé, des cartographies d'isovaleurs des différents paramètres étudiés ont été réalisées. Elles ont permis de mettre en évidence :

- d'une part, un certain nombre de caractéristiques de la nappe déjà connues, entre autres :

- . l'augmentation de la minéralisation avec la distance à l'affleurement ;
- . l'existence d'une "tache salée" fortement minéralisée au niveau de Sarralbe.

- d'autre part, des informations complémentaires :

- . la variation de la minéralisation en fonction de la structure (rôle de la faille de Vittel, du synclinal de Sarreguemines notamment) ;
- . une évolution des indices d'échanges de base de part et d'autre de la frontière nappe libre / nappe captive. Cette limite constitue un axe où les i.e.b. sont fortement négatifs ; de part et d'autre de cet axe, les rapports se rééquilibrent ;
- . le comportement différent de la zone libre et de la zone captive vis-à-vis des rapports caractéristiques entre les ions. Ces derniers varient au niveau de la zone d'affleurement et surtout au passage entre la partie libre de la nappe et la partie captive. Sous couverture, alors que la minéralisation totale augmente, ces rapports n'évoluent pratiquement plus, sauf au niveau de structures particulières (failles, synclinal de Sarreguemines).

Une cartographie de l'agressivité de l'eau de la nappe des G.I.T. a été tentée mais la validité des données introduites pour effectuer cette représentation n'est pas suffisante pour interpréter cette carte.

En définitive, l'étude de la géochimie de la nappe des G.I.T. ne pourra pas être menée plus loin, à moins de reprendre une à une les 10 600 analyses du fichier initial.

BIBLIOGRAPHIE

AUTEUR	DATE	TITRE
BABOT (Y.)	-	- MINERALISATION DE L'EAU DES GRES VOSSIENS DANS LA REGION DE SARRE-UNION. TEST DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE. - BRGM SGAL
	- 1972.	- ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE AQUIFERE DES GRES INFRATRIASIQUE DANS LE NORD-EST DE LA FRANCE. - BRGM NO: 72.SGN .047.GAL.
BABOT (Y.), MAIAUX (C.) RICOUR (J.)	- 1982.03.	- LE RESERVOIR DES GRES DU PERMO-TRIAS EN LORRAINE. UTILISATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES DE VALORISATION. - TECHNIQUES ET SCIENCES MUNICIPALES. - (L'EAU MARS 1982).
BRGM	- 198	- SYNTHESE GEOLOGIQUE DU BASSIN PARISIEN. - MEM. BRGM NO: 101,102,103.
BRGM/SGAL	- 1982.	- RECHERCHE PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE DE L'EXTENSION DE L'ANOMALIE CHLORUREE DE LA NAPPE DES GRES INFRATRIASIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA SARRE. - BRGM NO: 82.SGN.SGAL.044.
BRUMDER (E.)	- 1957.	- LE REGIME DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN HOUILLER DE LA SARRE. - BULL. SOC. GEOL. FR. .-PP. 1015-1024.
COMITE TECHNIQUE DE L'EAU POUR LA REGION LORRAINE	- 1967.10.	- RECHERCHE DU COMITE TECHNIQUE DE L'EAU. RAPPORT DES TRAVAUX DE LA PREMIERE ANNUITE. (OCTOBRE 1967). - UNIVERSITE DE NANCY.
DAGUE (P.)	- 1969.	- ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR DANS L'EST DE LA FRANCE. (DEPARTEMENT DE LA MEURTHE-ET-MOSELLE ET DES VOSGES). - THESE FAC. SCI.

- DAGUE (P.) - 1969. - DONNEES NOUVELLES CONCERNANT LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR DANS L'EST DE LA FRANCE (DEPARTEMENTS DE LA MEURTHE-ET-MOSELLE ET DES VOSGES). - MEM. BRGM NO: 0076. - PP 843-855.
- DEGREMONT - 1966. - MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU.
- DIXON (W.J.) & AL. - 1983. - BMDP STATISTICAL SOFTWARE. - BERKELEY : UNIVERSITY OF CALIFORNIA PRESS.
- DUSSART (B.). - 1966. - LIMNOLOGIE: L'ETUDE DES EAUX CONTINENTALES. - PARIS. GAUTHIER-VILLARS. - (COLLECTION GEOBIOLOGIE- ECOLOGIE - AMENAGEMENT).
- GARRELS (R.M.), CHRIST (C.L.) - 1967. - EQUILIBRE DES MINERAUX ET DE LEURS SOLUTIONS AQUEUSES. - PARIS: GAUTHIER-VILLARS. - (MONOGRAPHIES DE CHIMIE MINERALE).
- GEYM. MEBUS. A., MICHEL. GERT. - ISOTOPICAL DIFFERENTIATION OF GROUND-WATER OF DIFFERENT HYDROGEOLOGIC ORIGIN. - NIEDERESAECHS: LANDESAMT BODEN FORSCH HANNOVER DEU.
- GILLE (E.) - 1981. - FONCTIONNEMENT DE LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR DANS LE BASSIN HOUILLER LORRAIN. - MEMOIRE DE D.E.A.
- LAURENT (H.) - 1976. - ETUDE DES POSSIBILITES D'INJECTION CONTROLEE D'EFFLUENTS DANS LES GRES DU BUNDSANDSTEIN SUR LE SITE DE TOLL-DOMSER MAIN. - GIE RISELOR (REF. 102/B, MARS 19 76)
- LEGRAND (L.), POIRIER (G.) - 1976. - CHIMIE DES EAUX NATURELLES. AGRESSIVITE-CORROSIVITE-TRAITEMENTS-APPLICATI-ONS NUMERIQUES. - PARIS: EYROLLES. - (COLLECTION TECHNIQUES ET SCIENCES MUNICIPALES).
- LEGRAND (L.), LEROY (P.), POIRIER (G.) - 1981. - LES EQUILIBRES CARBONIQUES ET L'EQUILIBRE CALCOCARBONIQUE DANS LES EAUX NATURELLES: ETUDE GRAPHIQUE, UTILISATION DE CALCULATRICES. - PARIS: EYROLLES. - (COLLECTION A.G.H.T.M.).
- LOUVRIER (M.) - 1976.03. - ACQUISITION ET TRAITEMENTS DES DONNEES HYDROGEOCHIMIQUES: EXEMPLES D'APPLICATION. - BRGM DEPARTEMENT GEOLOGIE DE L'AMENAGEMENT- HYDROGEOLOGIE NO: 71.SGN.093.AME.
- LOUVRIER (M.), MONITION (L.). - 1971.05. - ACQUISITION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX MINERALES. - COMMUNICATION PRESENTEE A LA SOCIETE D'HYDROLOGIE ET CLIMATOLOGIE MEDICALES LE 3 MARS 1971. - BRGM NO: 71.SGN.190.HYDR.

- MALLET (J.L.) - 1976.02. - PROGRAMMES DE CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE: PRESENTATION DE LA BIBLIOTHEQUE CARTOLAB. - NANCY: SCIENCES DE LA TERRE. - (SERIE INFORMATIQUE GEOLOGIQUE NO: 7).
- MALLET (J.L.). - 1974.10. - PRESENTATION D'UN ENSEMBLE DE METHODES ET TECHNIQUES DE LA CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE NUMERIQUE. - NANCY: SCIENCES DE LA TERRE. - (SERIE INFORMATIQUE GEOLOGIQUE NO: 4).
- MINDOUX (G.) - CONTRIBUION A L'ETUDE DE LA NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR DANS LA REGION DE VITTEL- CONTREXEVILLE- LAMARCHE (VOSGES).
- MONITION (L.) - 1966.05. - LES GRAPHIQUES A BASE TRILINEAIRE REPRESENTATIFS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES: LE DIAGRAMME EN "LOSANGE". - BRGM NO: DS.66.A61.
- RAYON (S.) - 1971.01. - UTILISATION DE LA LOI DE GAUSS EN CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE POUR LA MISE EN EVIDENCE DES HETEROGENEITES. - BRGM SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL NORD-PAS DE CALAIS- DEPARTEMENT HYDROGEOLOGIE NO:71.SGN.074.HYD.
- RICOUR (J) - 1982. - ETUDE DE LA QUALITE DES EAUX D'EXHAURE DU BASSIN HOUILLER LORRAIN. - BRGM NO 82.SGN.807.LOR.
- RICOUR (J.) - 1978. - ESSAI DE CARTOGRAPHIE DE LA PRODUCTIVITE PROBABLE DES FORAGES AUX GRES DU TRIAS INFERIEUR. - BRGM NO: 78.SGN.705.LOR.
- RICOUR (J) - 1980. - NAPPE DES GRES DU PERMO-TRIAS EN LORRAINE. ESSAI D'EVALUATION DES PRELEVEMENTS PAR SYSTEMES AQUIFERES. - BRGM NO: 80.SGN.431.LOR.
- RICOUR (J.) - 1978. - ETUDE DE LA QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE CAPTIVE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR EN LORRAINE. - BRGM 78.SGN.733.LOR.
- RODIER (J.) - 1978. - L'ANALYSE DE L'EAU: EAUX NATURELLES, EAUX RESIDUAIRES, EAU DE MER. PARIS BORDAS. - (DUNOD TECHNIQUE).
- SCHOELLER (H.). - 1962. - LES EAUX SOUTERRAINES. HYDROLOGIE, DYNAMIQUE ET CHIMIQUE. RECHERCHE, EXPLOITATION ET EVALUATION DES RESSOURCES. - PARIS: MASSON & CIE.
- SRAEL - 1980. - COMPTE-RENDU DES TRAVAUX DE CIMENTATION DU FOND DU FORAGE DE LANGATTE (MOSELLE). ADUT-SEPTEMBRE 1980. - BRGM NO: SRAEL.DES.1980/46.

SRAEL - 1980. - NAPPE DES GRES DU TRIAS INFERIEUR. ETUDE DE LA SALINITE DES EAUX DANS LE DEPARTEMENT DE LA MOSELLE. - BRSM NO: SRAEL.DES.1980/134.

TARDY (Y.). - 1980 - GEOCHIMIE DES INTERACTIONS ENTRE LES EAUX, LES MINERAUX ET LES ROCHES. - TARBES: S.A.R.L. ELEMENTS.

LISTE DES ANNEXES

	Pages
<i>Annexe 1 - Organisation des fichiers informatiques</i>	139 à 142
<i>Annexe 2 - Diagrammes de Piper</i>	143 à 146
<i>Annexe 3 - Histogrammes</i>	147 à 198
<i>Annexe 4 - Cartes (en hors-texte)</i>	

ANNEXE 1 - ORGANISATION DES FICHIERS INFORMATIQUES

1 - LE FICHIER DE L'A.F.B.R.M. (E.S.)

Dans le fichier de l'A.F.B.R.M. est stocké l'ensemble des données relatives aux nappes du bassin Rhin-Meuse. Il est en fait constitué de plusieurs sous-fichiers dont : le fichier Maître (ou caractérisation) et le fichier analyses.

FICHIER MAITRE (fichier de caractérisation)

Ce fichier comporte les informations suivantes :

- X, Y : coordonnées Lambert
- zone Lambert
- indice code minier
- nom du point
- commune
- département
- nom de l'exploitant
- nappe(s) captée(s) (code stratigraphique : cf. tableau ci-dessous)

45 - Terre végétale	2995 - Keuper moyen (Marnes bariolées) 2992
4217 - Alluvions récentes	2994 - Keuper moyen (Grès à rossaux)
4257 - Alluvions anciennes	2991 - Keuper inférieur (Marnes irisées inférieures)
4255 - Limons des plateaux	2985 - Lettenkohle (Dolomie limite)
329 - Oxfordien	2983 - Lettenkohle (Marnes bariolées) 298
273 - Callovo-oxfordien	2981 - Lettenkohle (Dolomie inférieure)
272 - Callovien	2972 - Muschelkalk supérieur (Couches à Céraitites)
265 - Bathonien	2971 - Muschelkalk supérieur (Couches à Entroques)
269 - Bajocien	2945 - Muschelkalk moyen (Couches grises) 296
254 - Aalénien	2942 - Muschelkalk moyen (Couches rouges) 292
251 - Toarcien	2937 - Muschelkalk inférieur (Dolomie)
259 - Charmouthien	2932 - Muschelkalk inférieur (Marnes sableuses) 293
253 - Lotharingien	2931 - Muschelkalk inférieur (Grès coquillier)
255 - Sinéourien	2906 - Grès à Voltzia) 2905
252 - Mettangien	2904 - Couches intermédiaires)
2505 - Rhétien supérieur (Argiles de Levallois)	2903 - Conglomérat principal)
2502 - Rhétien inférieur (Grès et schistes)	2901 - Grès vosgien) 2902
2998 - Keuper supérieur (Marnes irisées supérieures)	2900 - Grès d'Annweiler
2997 - Keuper supérieur (Argiles de Chanville) 2993	100 - Permien
2996 - Keuper moyen (Dolomie moellon)	129 - Stéphanien)
	2902 - Süsssandstein 290

Code stratigraphique synthétique

FICHIER ANALYSE

Dans ce fichier, le point d'eau concerné est repéré par ses coordonnées Lambert, ce qui permet de retrouver ces caractéristiques dans le fichier Maître. Ce fichier contient :

- X, Y : coordonnées Lambert
- date de l'analyse
- code laboratoire + type d'analyse
- type d'ouvrage
- type de traitement
- teneurs des différents éléments (22 ou 42 paramètres)

Remarques :

1) Le type d'analyses (1 ou 2) correspond aux analyses les plus couramment pratiquées : DASS1 ou DASS2. S'il s'agit d'une analyse de type 1, l'ensemble des analyses a été effectué et théoriquement 42 paramètres ont été mesurés. Lorsque l'analyse est de type 2, elle est incomplète et seulement 22 paramètres sont mesurés (le résidu sec et les éléments traces ne sont pas analysés). Cette distinction permet de réduire la place occupée par le fichier : en effet, quand l'analyse est de type 2, on ne prévoit de place que pour 22 paramètres.

2) La rubrique "type d'ouvrage" correspond à des captages particuliers. Il a été prévu de reporter la lettre A :

- si l'analyse est effectuée dans un réservoir regroupant plusieurs sources. L'indice du code minier attribué à ce réservoir est alors l'indice le plus faible parmi ceux des sources captées ;

- si le point d'analyse capte plusieurs aquifères. A ce sujet se pose le problème de savoir ce que l'on appelle aquifères différents. En effet, il semble que ce code a parfois été employé pour noter le captage de niveaux stratigraphiques différents (ex : grès vosgiens et conglomérat principal pour la nappe des G.I.T.), d'autres fois pour le captage de deux nappes différentes (nappe du Muschelkalk et nappe des G.I.T.).

3) L'information "type de traitement" permet de savoir si l'eau analysée a subi une déferrisation.

Pour extraire des analyses concernant la nappe des grès vosgiens, il faut :

- extraire du fichier Maître les coordonnées Lambert des points ayant comme code de nappe captée une formation de la nappe des G.I.T., c'est-à-dire :

- . Grès coquillier
- . Grès à Voltzia
- . Couches intermédiaires
- . Conglomérat principal
- . Grès vosgien
- . Grès d'Annweiler
- . Buntsandstein (sans distinction)

- à partir des coordonnées Lambert, on extrait du fichier "analyses" les données correspondant au point identifié.

Si une analyse a été stockée sans nom, c'est-à-dire sans point correspondant dans le fichier Maître, cette analyse ne pourra pas être récupérée lors d'une interrogation des fichiers.

Dans le fichier "d'analyses de la nappe des G.I.T." fourni par l'Agence, les coordonnées Lambert avaient été remplacées par l'indice code minier. Ce fichier se présentait alors sous la forme d'enregistrement de 399 caractères.

LIBELLE	Format
)-n° feuille x coupure 1/3	15
[indice BRGM])-n° dossier	14
)-année de la mesure	12
Date)-mois x 100 + jour de la mesure	14
Code labo x 10 + type d'analyse	14
Type d'ouvrage	A1
Type de traitement	A1
Bactéria 24 h. (27*) /1 ml	FP.0
Bactéria 72 h. (22*) /1 ml	FP.0
Coliformes (27*) /100 ml	FP.0
Escherichia coli /100 ml	FP.0
Streptocoques /100 ml	FP.0
Clostridium sulfo réducteur /100 ml	FP.0
Oxydabilité	FP.3
Ammoniac en mg/l	FP.3
Nitrites (NO2) en mg/l	FP.3
Nitrates (NO3) en mg/l	FP.3
Chlorures (Cl-) en mg/l	FP.3
Dureté totale en degrés français	FP.3
TAC en degrés français	FP.3
Sulfates (SO4--) en mg/l	FP.3
Fer en mg/l	FP.3
Sodium en mg/l	FP.3
Potassium en mg/l	FP.3
Calcium en mg/l	FP.3
Magnésium en mg/l	FP.3

LIBELLE	Format
Turbidité en gouttes de mastix	FP.0
Résistivité en ohmcm	FP.3
pH (pH)	FP.3
Oxygène dissout en mg/l	FP.3
Silice (SiO2) en mg/l	FP.3
Manganèse (Mn) en mg/l	FP.3
Carbonates (CO3--) en mg/l	FP.3
Bicarbonates (HCO3-) en mg/l	FP.3
Phosphates en mg/l	FP.3
Essai) pH2	FP.3
au)	FP.3
marbre) TACC	FP.3
Résidu sec à 105° mg/l	FP.3
Phénols en mg/l	FP.3
CO2 en mg/l	FP.3
Al+++ mg/l	FP.3
As mg/l	FP.3
Cd mg/l	FP.3
Cr mg/l	FP.3
Cu mg/l	FP.3
Pb mg/l	FP.3
Zn mg/l	FP.3

codes particuliers:
 -4.000 valeur manquante
 -3.000 0.000 mesure
 -5.000 traces (équivalent à 0.000)

Remarque :

Il semble que les codes -5, -4 et -3 aient été parfois mal utilisés : d'une part lors de la transformation des différents fichiers en fichiers type E.S., une inversion entre -3. et -5. a été faite (A.F.B.R.M. m'ayant fourni de mauvais codes) ; d'autre part, il semble que des erreurs aient pu être faites lors de la saisie des données : inversion du code -4. (valeur manquante) avec -3 et -5.

Du fait de la confusion entre -3. et -5., nous ne pouvons plus différencier dans le fichier global, les 0.000 mesurés des éléments en traces.

2 - LE FICHIER E.R.H. (B.R.G.M./S.G.A.L.)

Ce fichier est composé d'une ou plusieurs cartes suivant les informations connues sur le forage. Ce fichier ayant été transformé sous la forme du fichier E.S., il ne sera pas décrit plus amplement.

3 - LE FICHIER DU B.R.G.M./S.G.R./LOR

Il a été aussi transformé sous la forme E.S. Il est constitué de deux fichiers : un fichier de caractéristiques et un fichier d'analyses. Le lien entre ces deux fichiers se fait par l'intermédiaire de l'indice code minier.

ANNEXE 2 - DIAGRAMMES DE PIPER

UTILISATION DES DIAGRAMMES DE PIPER

Il existe plusieurs sortes de présentation graphique des analyses d'eau. Les diagrammes triangulaires et plus particulièrement la représentation de Piper permettent de visualiser relativement bien la composition chimique d'une eau et de reporter un grand nombre de points dans le même diagramme (en effet, des diagrammes verticaux, type Schoeller, sont très rapidement illisibles dès que l'on veut représenter plus d'une dizaine de points).

Le diagramme de Piper est basé sur le fait que les eaux souterraines peuvent être considérées comme des eaux avec :

- 3 pôles représentant les cations suivants : Ca, Mg, Na + K ;
- 3 pôles représentant les anions suivants : SO₄, Cl + NO₃, CO₃ + HCO₃.

Une analyse est donc représentée par :

- un point dans un triangle de cations,
- un point dans un triangle d'anions,
- un point représentant la composition globale de l'eau, situé dans un losange regroupant les informations des deux triangles (cf. figure 1).

Construction du diagramme :

* Dans un premier temps, les différentes teneurs sont exprimées en milli-équivalents par litre.

* Ces teneurs sont ensuite transformées en pourcents par rapport à la somme des ions de même signe.

* Chaque sommet d'un triangle correspond à 100 % de la teneur en un élément ; chaque analyse est donc représentée par un point à l'intérieur des deux triangles d'anions et de cations (cf. figure 1). Si P1 et P2 sont ces deux points, le point P dans le losange est l'intersection des parallèles aux côtés du losange menées depuis P1 et P2.

Le diagramme ainsi établi permet :

- une détermination des faciès des eaux (cf. figure 2),
- la comparaison d'analyses entre elles. Cette comparaison ne peut être que relative car les valeurs exactes ne sont pas reportées,
- la visualisation de l'évolution de la chimie des eaux.

Un exemple est reporté sur la figure 3. Il correspond aux 3 points de composition :

Ca	136	10	111	SO ₄	200	25	70
Mg	53	7	39	Cl	14	360	4
Na	7	276	6	NO ₃	2	1	3
K	3	3.7	2	CO ₃	0	1	0
				HCO ₃	10	50	100

Diagramme d'analyse d'eau (d'après Piper)

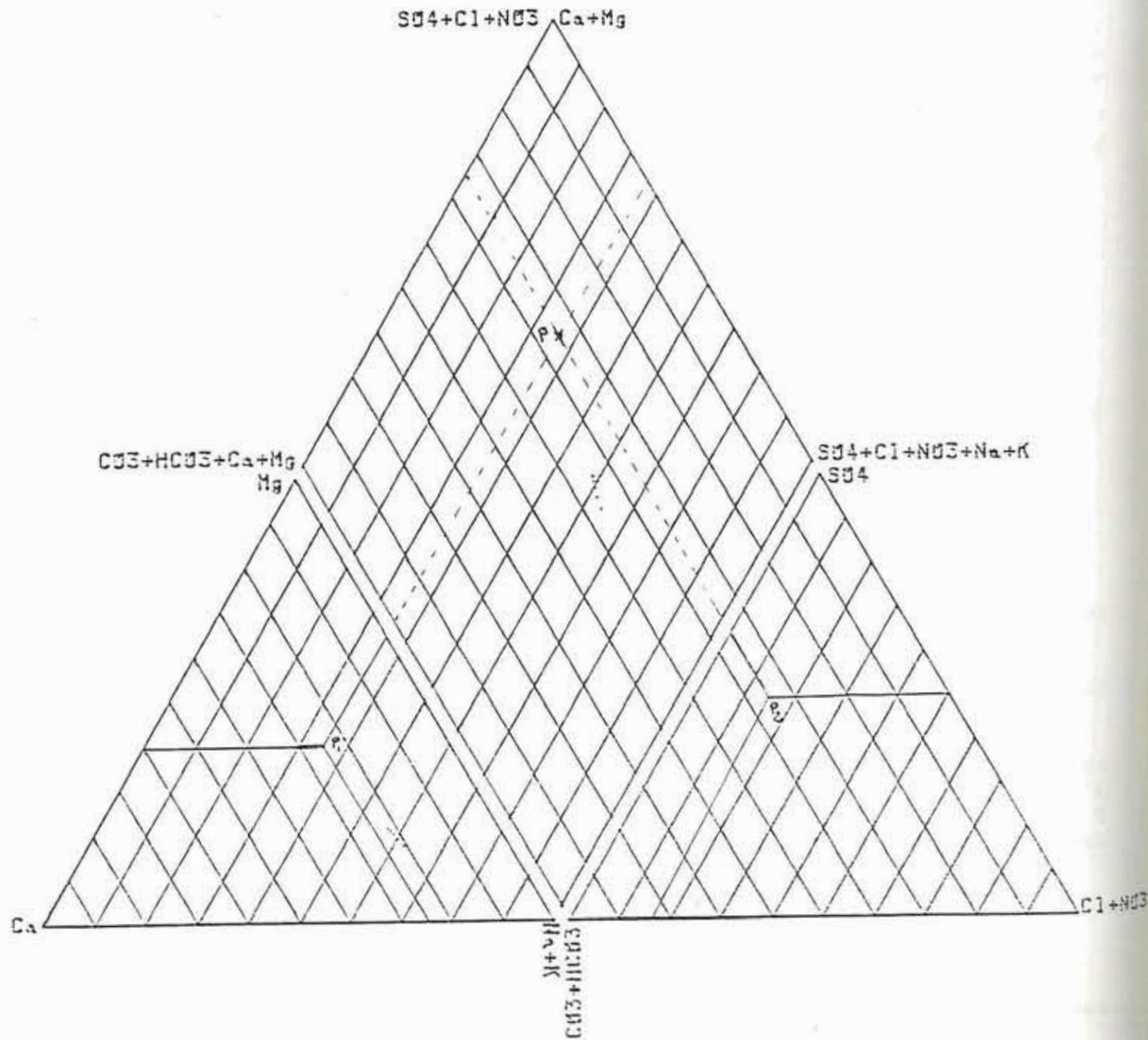


Figure n° 1

FACIES CHIMIQUES

Proposition de classification
(L. MONITON 1966)

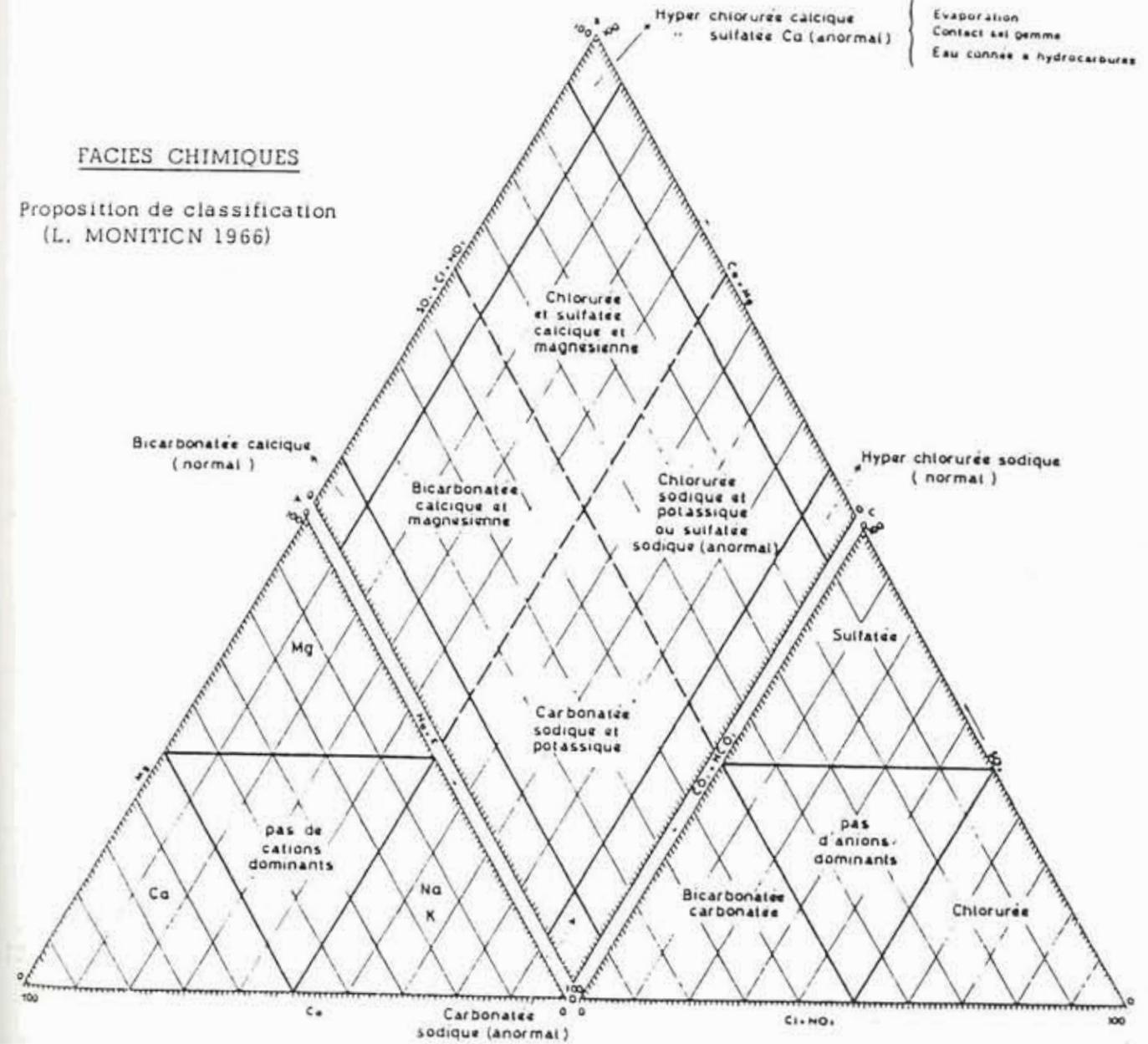


Figure 2

Diagramme d'analyse d'eau (d'après Piper)

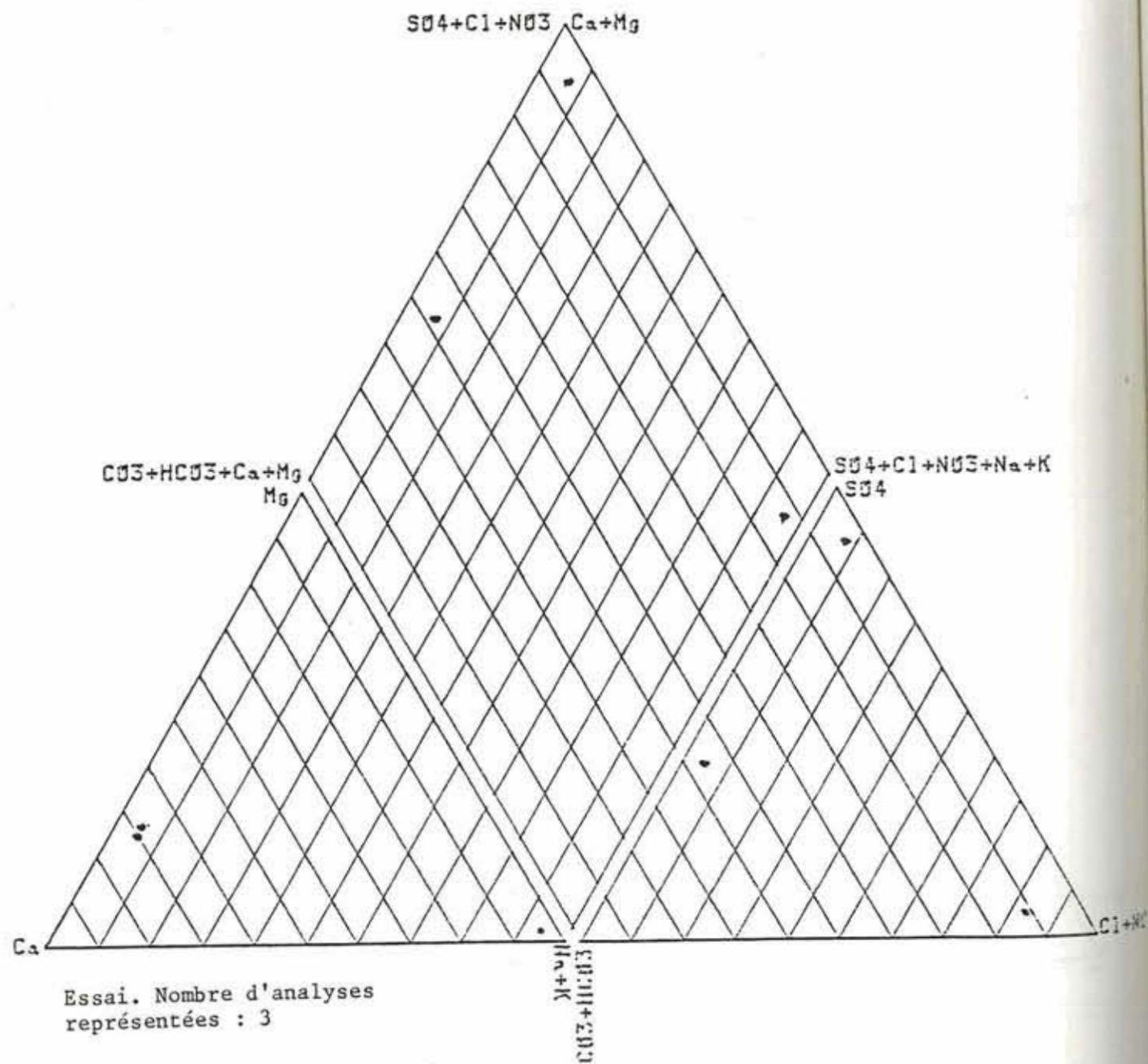


Figure 3

ANNEXE 3 - HISTOGRAMMES

Histogrammes en log sur le fichier initial

figures 1 à 36

Histogrammes en log sur le fichier initial des moyennes

figures 37 à 78

Histogrammes en log sur le fichier final

figures 79 à 114

HISTOGRAM OF VARIABLE SIOZ

SYMBOL COUNT MEAN ST.DEV.
X 1288 0.970 0.204
EACH SYMBOL REPRESENTS 1 OBSERVATIONS

INTERVAL NAME	EACH SYMBOL REPRESENTS										FREQUENCY		PERCENTAGE							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	INT.	CUM.	INT.	CUM.
-.64000 +x																	1	1	0.1	0.1
-.56000 +																	0	1	0.0	0.1
-.48000 +																	0	1	0.0	0.1
-.40000 +																	0	1	0.0	0.1
-.32000 +xx																	2	3	0.2	0.2
-.24000 +x																	1	4	0.1	0.3
-.16000 +x																	1	5	0.1	0.4
-.08000 +																	0	5	0.0	0.4
0.00000 +x																	1	6	0.1	0.5
0.08000 +xxx																	3	9	0.2	0.7
0.16000 +xx																	2	11	0.2	0.9
0.24000 +x																	1	12	0.1	0.9
0.32000 +xx																	2	14	0.2	1.1
0.40000 +xxx																	3	17	0.2	1.3
0.48000 +xxxxxx																	6	23	0.5	1.8
0.56000 +xxxxxxxxxxx																	11	34	0.9	2.6
0.64000 +xxxxxxxxxxxxxxxx																	17	51	1.3	4.0
0.72000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	45	96	3.5	7.5
0.80000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	109	205	8.5	15.9
0.88000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	128	333	9.9	25.9
0.96000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	197	530	15.3	41.1
1.04000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	265	795	20.6	61.7
1.12000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	259	1054	20.1	81.8
1.20000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	143	1197	11.1	92.9
1.28000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	63	1260	4.9	97.8
1.36000 +xxxxxxxxxxxxxx																	12	1272	0.9	98.6
1.44000 +xxxxx																	4	1276	0.3	99.1
1.52000 +xxxxxxxxxxx																	8	1284	0.6	99.7
1.60000 +x																	1	1285	0.1	99.8
1.68000 +																	0	1285	0.0	99.8
1.76000 +x																	1	1286	0.1	99.8
1.84000 +																	0	1286	0.0	99.8
1.92000 +																	0	1286	0.0	99.8
2.00000 +x																	1	1287	0.1	99.9
2.08000 +																	0	1287	0.0	99.9
2.16000 +																	0	1287	0.0	99.9
2.24000 +x																	1	1288	0.1	100.0
2.32000 +																	0	1288	0.0	100.0

Figure 19

HISTOGRAM OF VARIABLE MN

SYMBOL COUNT MEAN ST.DEV.
X 421 -1.111 0.739
EACH SYMBOL REPRESENTS 1 OBSERVATIONS

INTERVAL NAME	EACH SYMBOL REPRESENTS										FREQUENCY		PERCENTAGE							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	INT.	CUM.	INT.	CUM.
-3.3000 +																	0	0	0.0	0.0
-3.1500 +																	0	0	0.0	0.0
-3.0000 +xxxx																	4	4	1.0	1.0
-2.8500 +																	0	4	0.0	1.0
-2.7000 +																	0	4	0.0	1.0
-2.5500 +xxxxx																	5	9	1.2	2.1
-2.4000 +xxxxxxx																	7	16	1.7	3.8
-2.2500 +xxxxxx																	5	21	1.2	5.0
-2.1000 +xxxxxxxxxxx																	13	34	3.1	8.1
-1.9500 +xxxxxxxxxxxxxxxx																	32	66	7.6	15.7
-1.8000 +xxxxx																	4	70	1.0	16.6
-1.6500 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	34	104	8.1	24.7
-1.5000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	22	126	5.2	29.9
-1.3500 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	38	164	9.0	39.0
-1.2000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	40	204	9.5	48.5
-1.0500 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	22	226	5.2	53.7
-0.9000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	32	258	7.6	61.3
-0.7500 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	29	287	6.9	68.2
-0.6000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	30	317	7.1	75.3
-0.4500 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	25	342	5.9	81.2
-0.3000 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	19	361	4.5	85.7
-0.1500 +xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																	19	380	4.5	90.3
0.00000 +xxxxxxxxxxx																	12	392	2.9	93.1
0.150000 +xxxxxxxxxxxx																	16	408	3.8	96.9
0.300000 +xxxxx																	4	412	1.0	97.9
0.450000 +xxxxx																	4	416	1.0	98.8
0.600000 +xx																	2	418	0.5	99.3
0.750000 +x																	1	419	0.2	99.5
0.900000 +																	0	419	0.0	99.5
1.050000 +																	0	419	0.0	99.5
1.200000 +x																	1	420	0.2	99.8
1.350000 +																	0	420	0.0	99.8
1.500000 +																	0	420	0.0	99.8
1.650000 +x																	1	421	0.2	100.0
1.800000 +																	0	421	0.0	100.0
1.950000 +																	0	421	0.0	100.0
2.100000 +																	0	421	0.0	100.0
2.250000 +																	0	421	0.0	100.0

Figure 20

HISTOGRAM OF VARIABLE COJ--

SYMBOL COUNT MEAN ST.DEV.
X 20 1.121 0.591
EACH SYMBOL REPRESENTS 1 OBSERVATIONS

INTERVAL NAME	EACH SYMBOL REPRESENTS										FREQUENCY		PERCENTAGE							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	INT.	CUM.	INT.	CUM.
+.420000 +																	0	0	0.0	0.0
+.480000 +xxxxx																	5	5	25.0	25.0
+.540000 +																	0	5	0.0	25.0
+.600000 +																	0	5	0.0	25.0
+.660000 +																	0	5	0.0	25.0
+.720000 +xx																	2	7	10.0	35.0
+.780000 +x																	1	8	5.0	40.0
+.840000 +																	0	8	0.0	40.0
+.900000 +xx																	2	10	10.0	50.0
+.960000 +x																	1	11	5.0	55.0
+1.020000 +																	0	11	0.0	55.0
+1.080000 +																	0	11	0.0	55.0
+1.140000 +																	0	11	0.0	55.0
+1.200000 +x																	1	12	5.0	60.0
+1.260000 +																	0	12	0.0	60.0
+1.320000 +																	0	12	0.0	60.0
+1.380000 +x																	1	13	5.0	65.0
+1.440000 +																	0	13	0.0	65.0
+1.500000 +x																	1	14	5.0	70.0
+1.560000 +																	0	14	0.0	70.0
+1.620000 +																	0	14	0.0	70.0
+1.680000 +																	0	14	0.0	70.0
+1.740000 +xxx																	3	17	15.0	85.0
+1.800000 +x																				

Figure 40

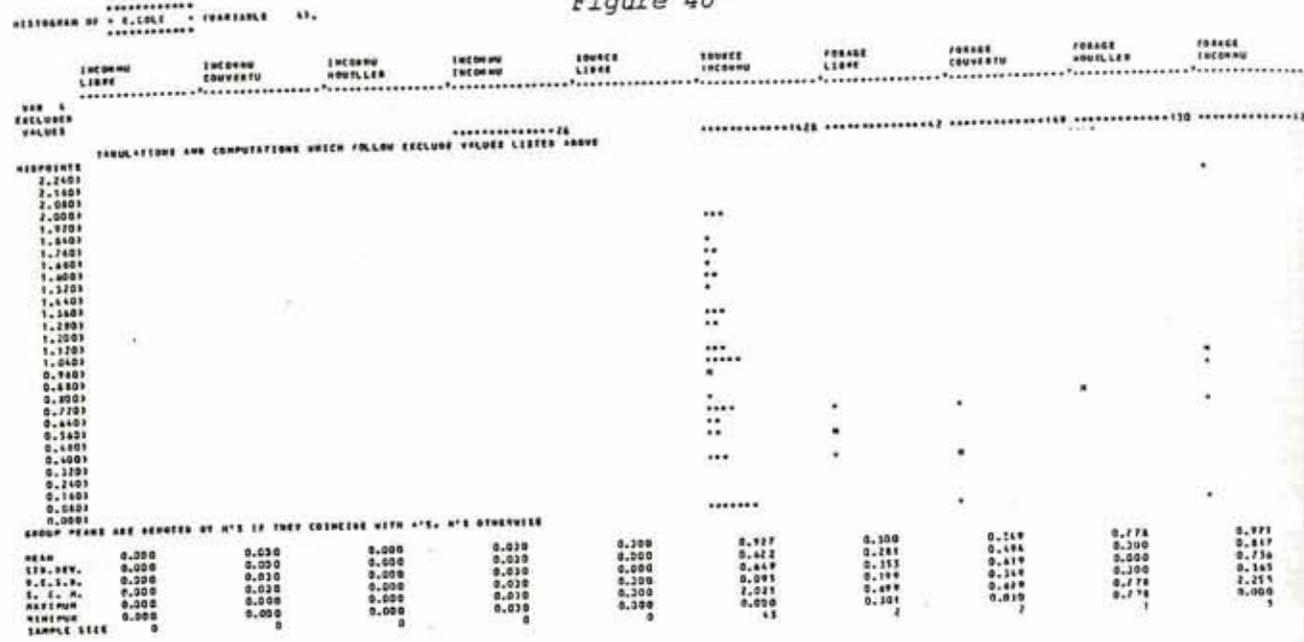


Figure 41

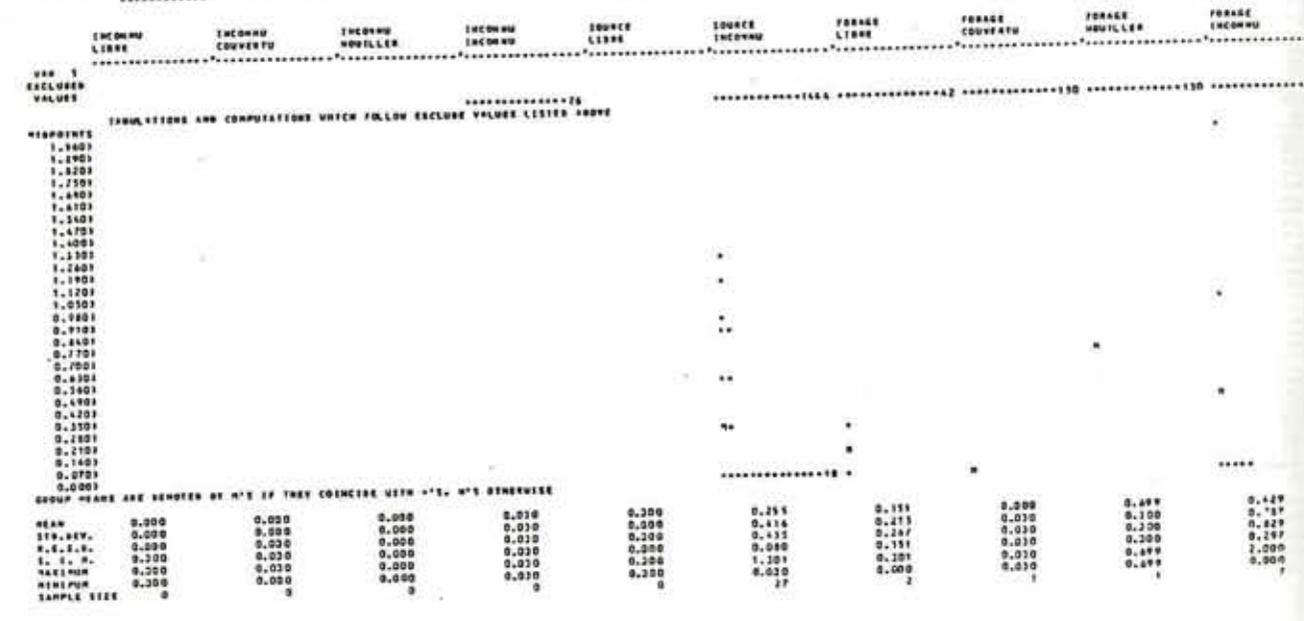


Figure 42

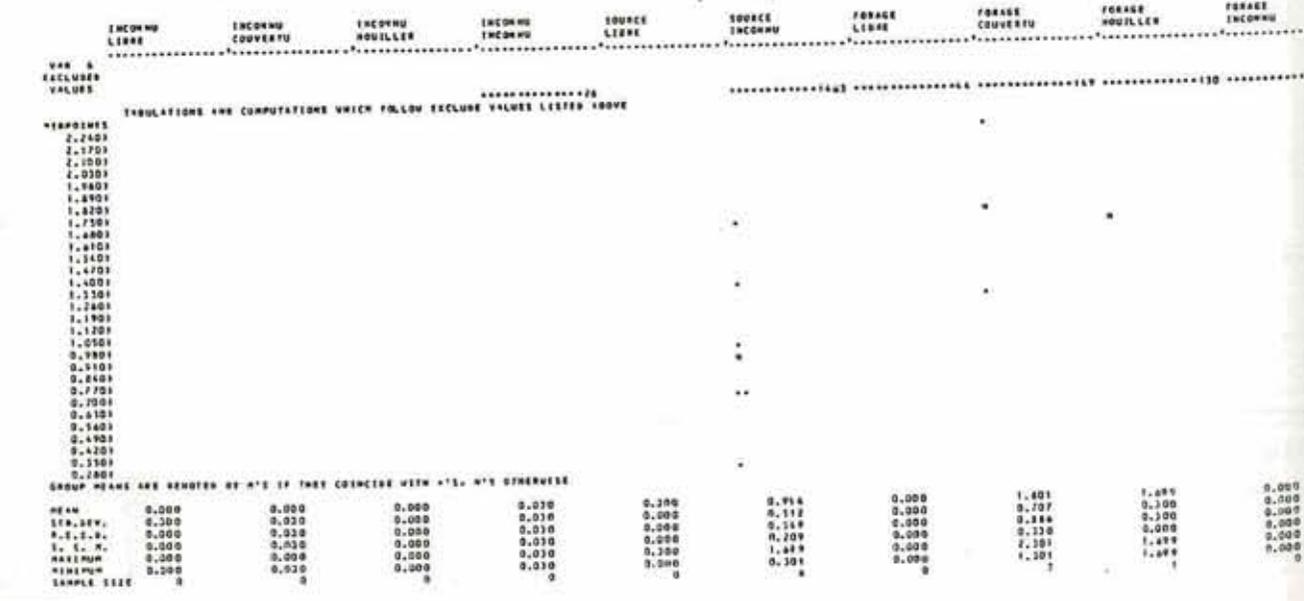


Figure 43

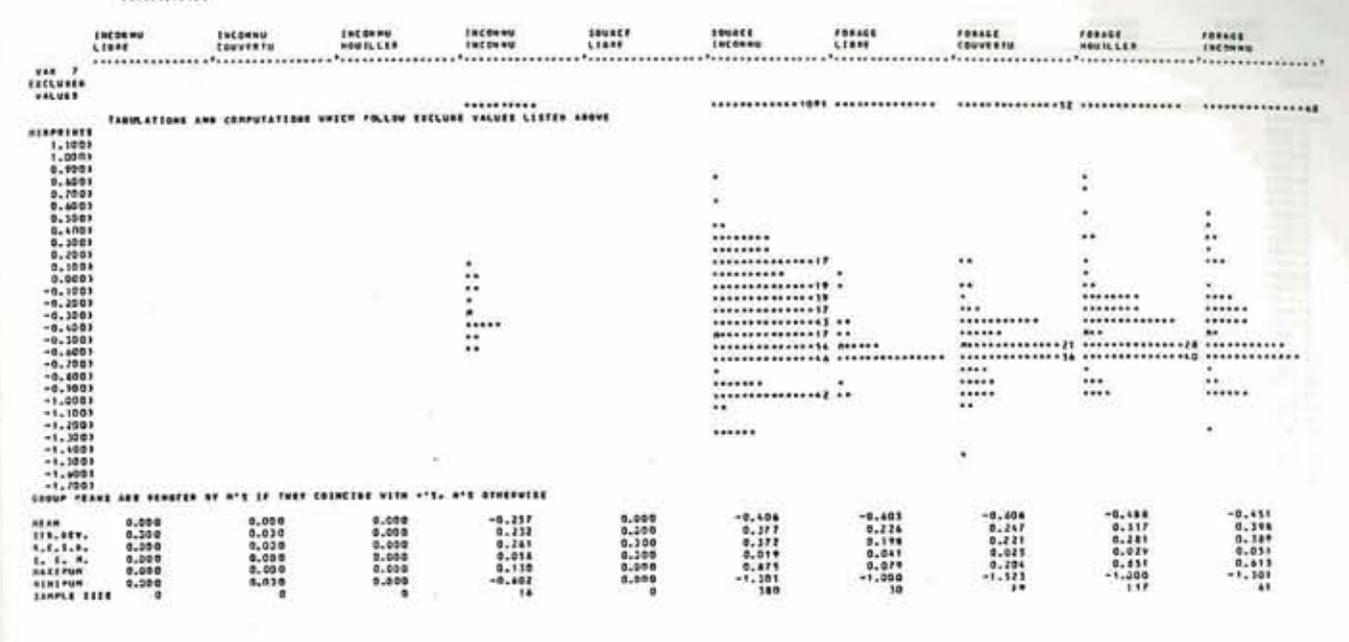


Figure 44

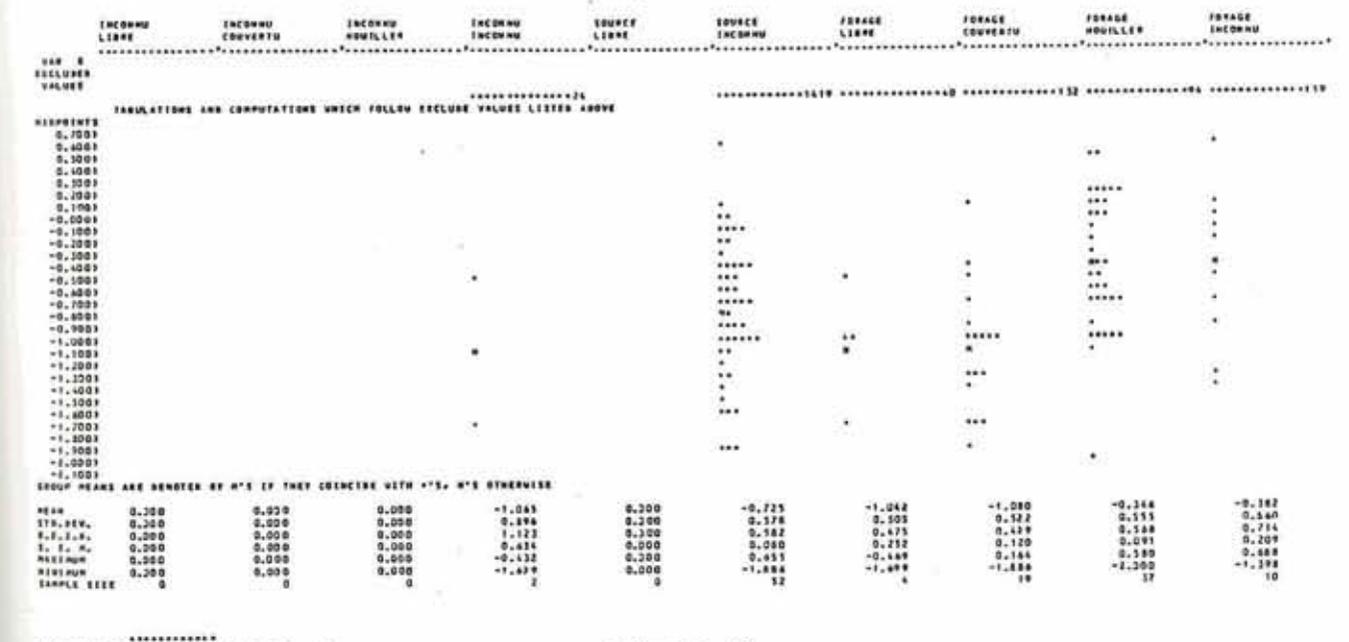


Figure 45

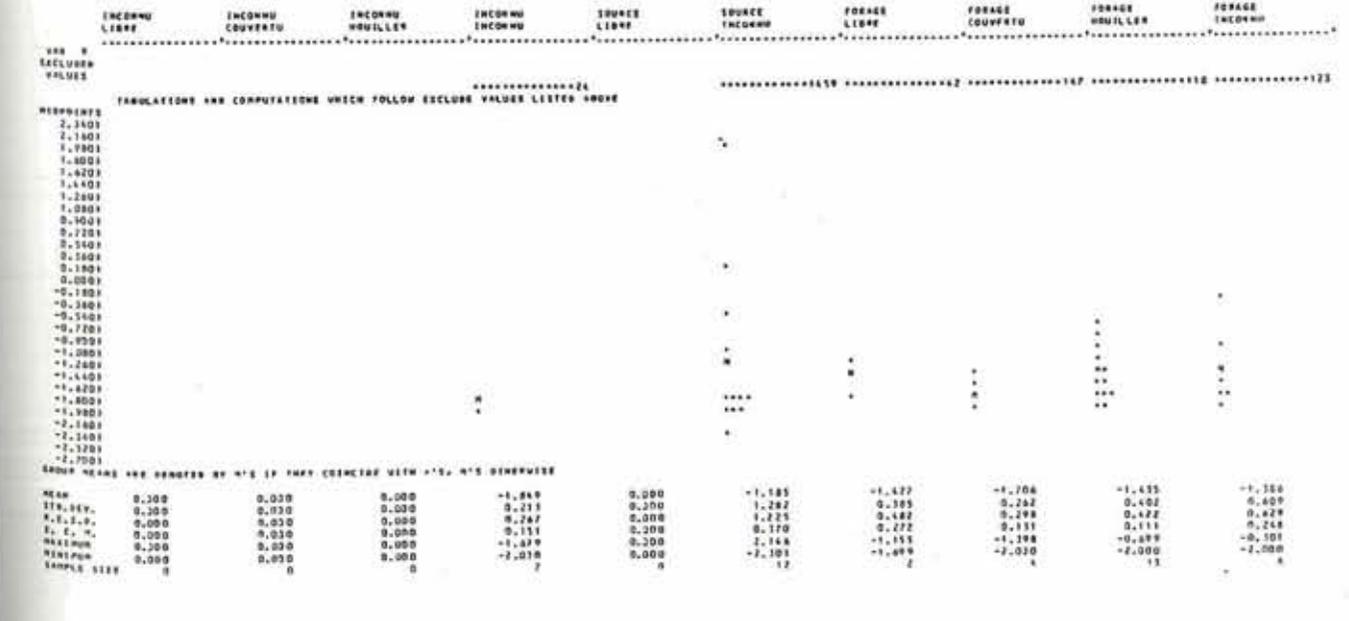


Figure 46

Table with 10 columns: INCDMM LINE, INCDMM COUVERTU, INCDMM MOULLER, INCDMM INCDMM, SOURCE LINE, SOURCE INCDMM, FORAGE LINE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLER, FORAGE INCDMM. Includes a list of excluded values and a summary table at the bottom.

Figure 47

Table with 10 columns: INCDMM LINE, INCDMM COUVERTU, INCDMM MOULLER, INCDMM INCDMM, SOURCE LINE, SOURCE INCDMM, FORAGE LINE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLER, FORAGE INCDMM. Includes a list of excluded values and a summary table at the bottom.

Figure 48

Table with 10 columns: INCDMM LINE, INCDMM COUVERTU, INCDMM MOULLER, INCDMM INCDMM, SOURCE LINE, SOURCE INCDMM, FORAGE LINE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLER, FORAGE INCDMM. Includes a list of excluded values and a summary table at the bottom.

Figure 49

Table with 10 columns: INCDMM LINE, INCDMM COUVERTU, INCDMM MOULLER, INCDMM INCDMM, SOURCE LINE, SOURCE INCDMM, FORAGE LINE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLER, FORAGE INCDMM. Includes a list of excluded values and a summary table at the bottom.

Figure 50

Table with 10 columns: INCDMM LINE, INCDMM COUVERTU, INCDMM MOULLER, INCDMM INCDMM, SOURCE LINE, SOURCE INCDMM, FORAGE LINE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLER, FORAGE INCDMM. Includes a list of excluded values and a summary table at the bottom.

Figure 51

Table with 10 columns: INCDMM LINE, INCDMM COUVERTU, INCDMM MOULLER, INCDMM INCDMM, SOURCE LINE, SOURCE INCDMM, FORAGE LINE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLER, FORAGE INCDMM. Includes a list of excluded values and a summary table at the bottom.

Figure 52

Table with 10 columns: INCOMHU LIBRE, INCOMHU COUVERTU, INCOMHU HOUILLER, INCOMHU INCOMHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCOMHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE HOUILLER, FORAGE INCOMHU. Includes a list of values and a summary table at the bottom.

Figure 53

Table with 10 columns: INCOMHU LIBRE, INCOMHU COUVERTU, INCOMHU HOUILLER, INCOMHU INCOMHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCOMHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE HOUILLER, FORAGE INCOMHU. Includes a list of values and a summary table at the bottom.

Figure 54

Table with 10 columns: INCOMHU LIBRE, INCOMHU COUVERTU, INCOMHU HOUILLER, INCOMHU INCOMHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCOMHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE HOUILLER, FORAGE INCOMHU. Includes a list of values and a summary table at the bottom.

Figure 55

Table with 10 columns: INCOMHU LIBRE, INCOMHU COUVERTU, INCOMHU HOUILLER, INCOMHU INCOMHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCOMHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE HOUILLER, FORAGE INCOMHU. Includes a list of values and a summary table at the bottom.

Figure 56

Table with 10 columns: INCOMHU LIBRE, INCOMHU COUVERTU, INCOMHU HOUILLER, INCOMHU INCOMHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCOMHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE HOUILLER, FORAGE INCOMHU. Includes a list of values and a summary table at the bottom.

Figure 57

Table with 10 columns: INCOMHU LIBRE, INCOMHU COUVERTU, INCOMHU HOUILLER, INCOMHU INCOMHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCOMHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE HOUILLER, FORAGE INCOMHU. Includes a list of values and a summary table at the bottom.

Figure 58

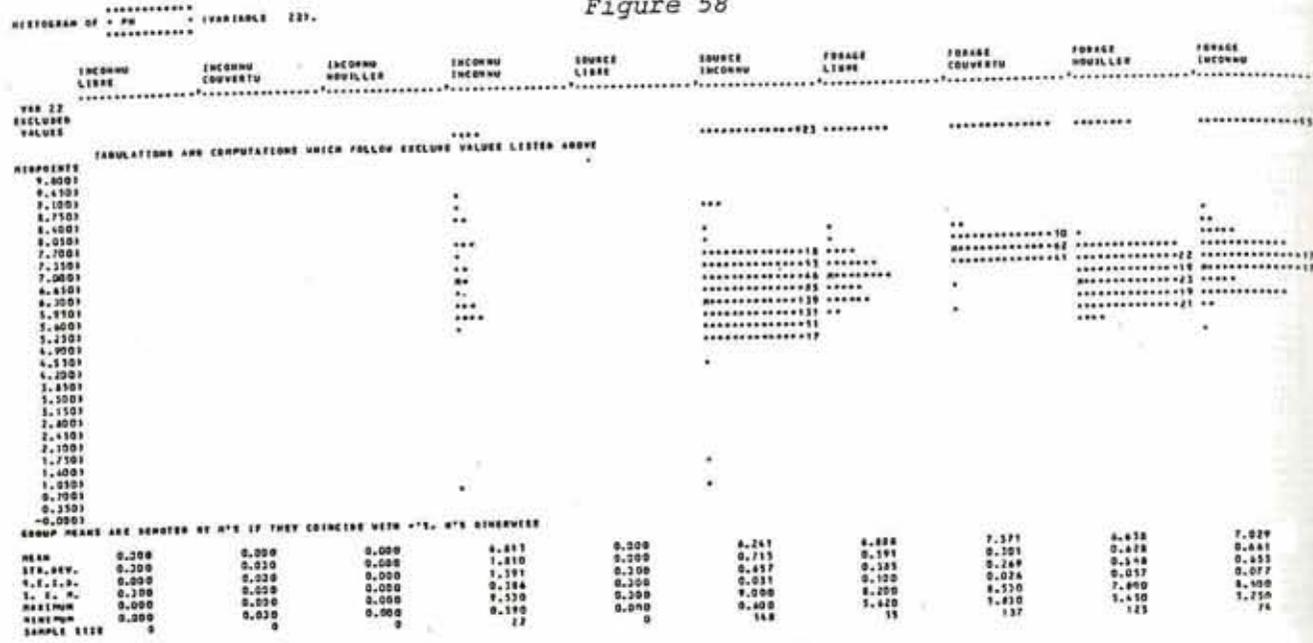


Figure 59

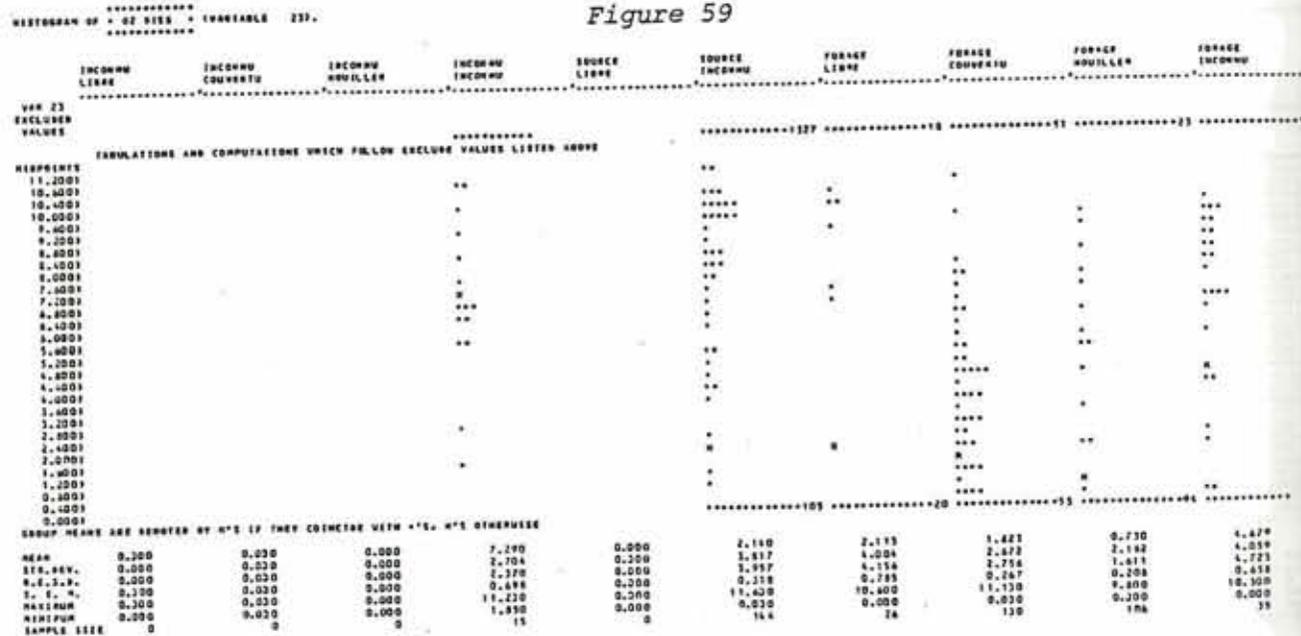


Figure 60

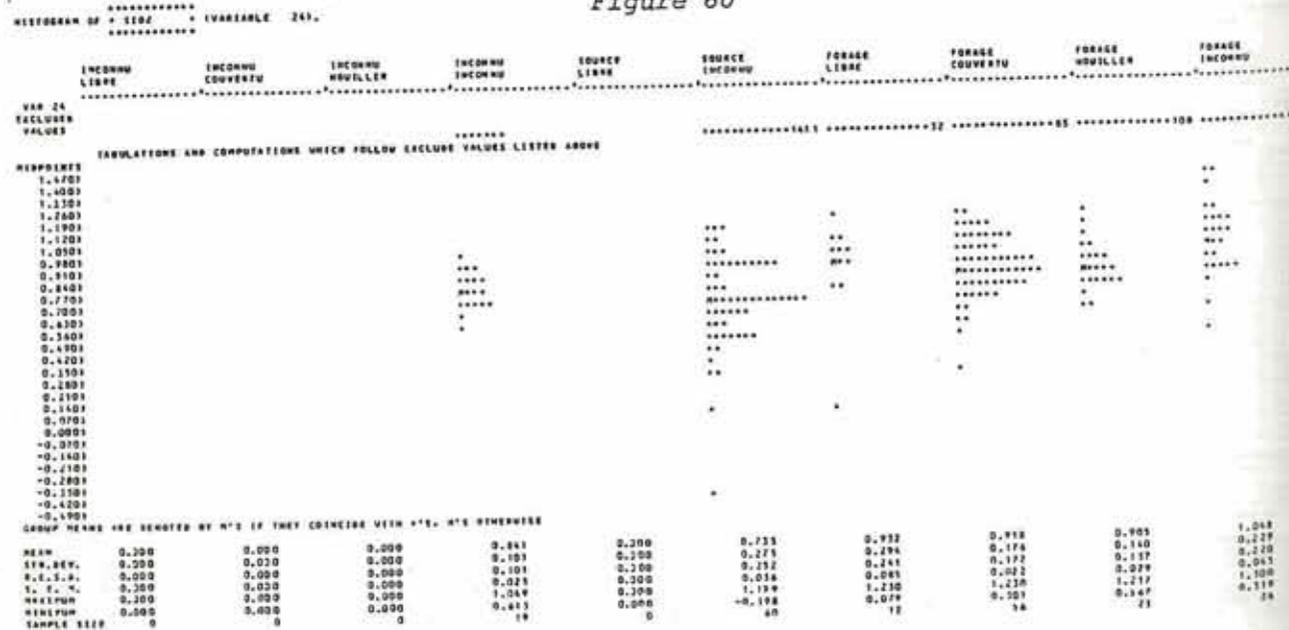


Figure 61

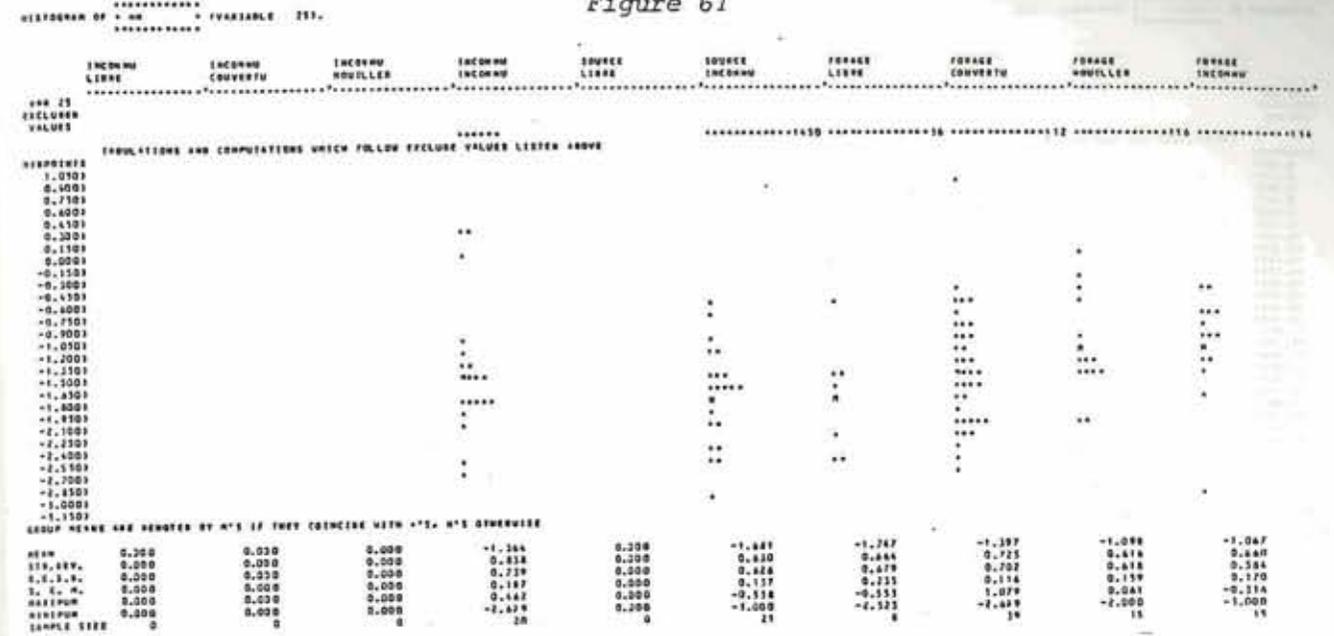


Figure 62

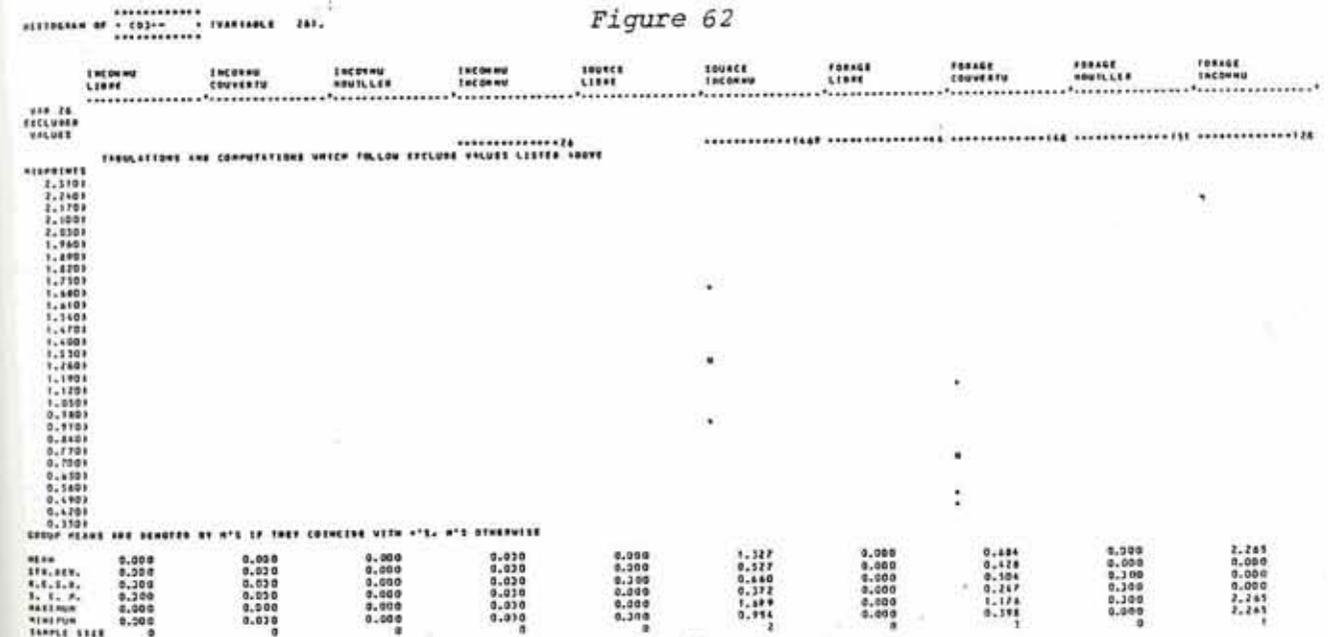


Figure 63

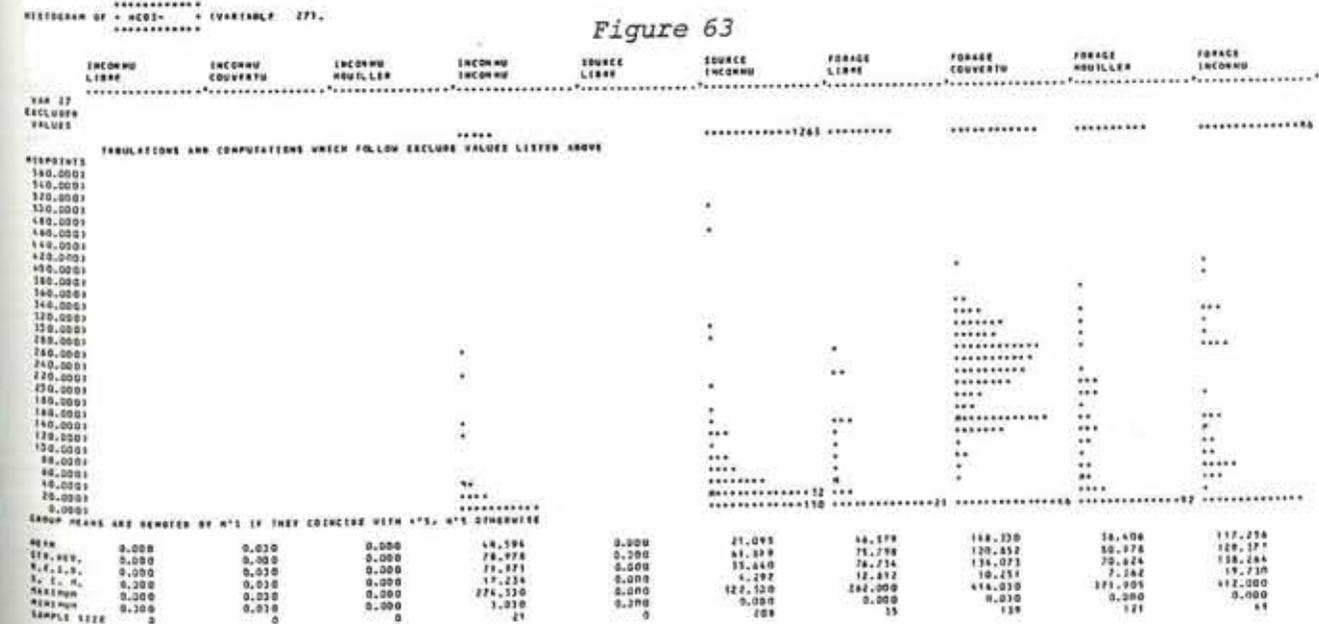


Figure 64

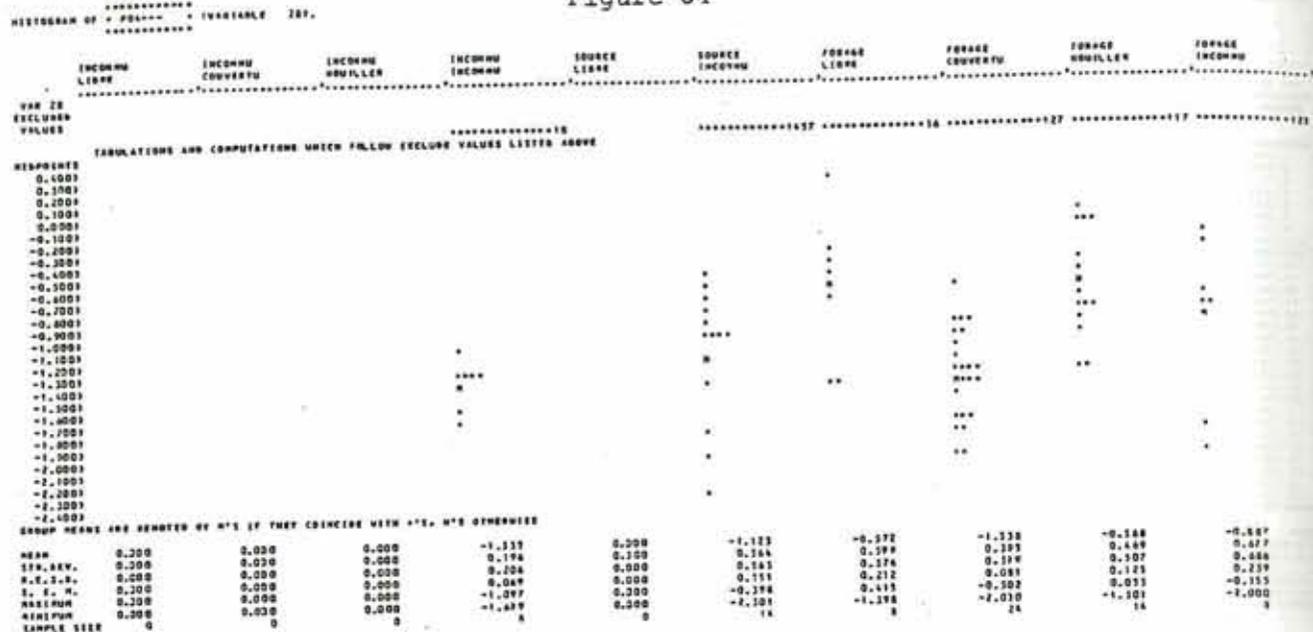


Figure 65

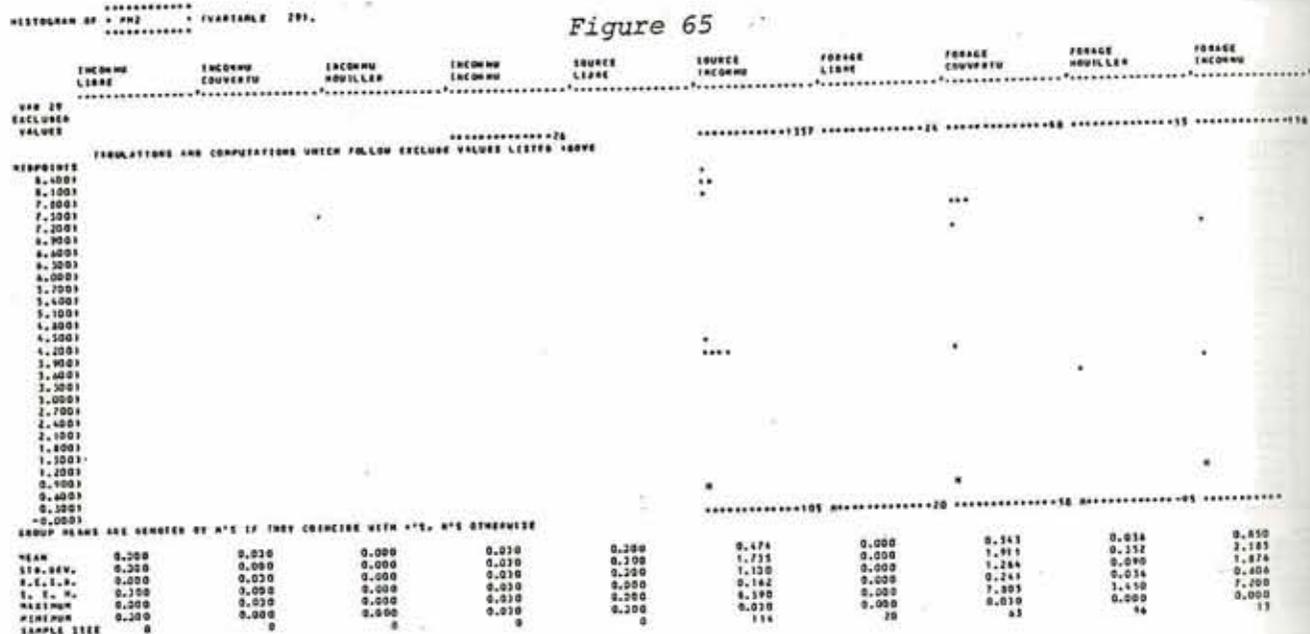


Figure 66

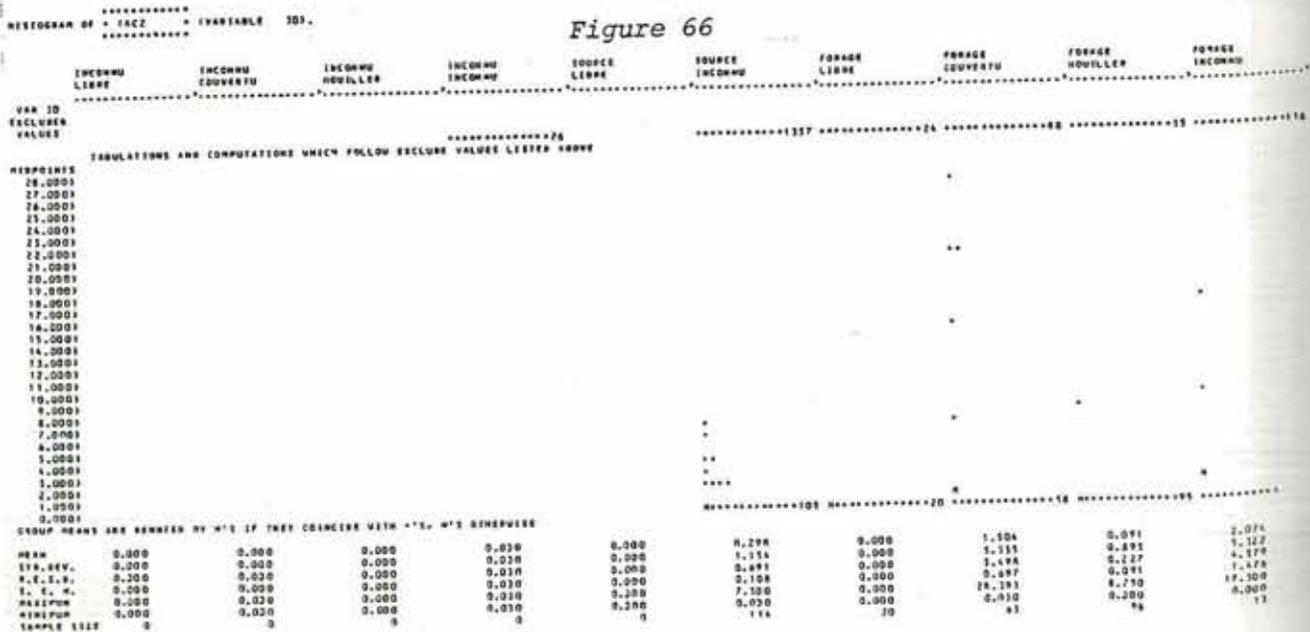


Figure 67

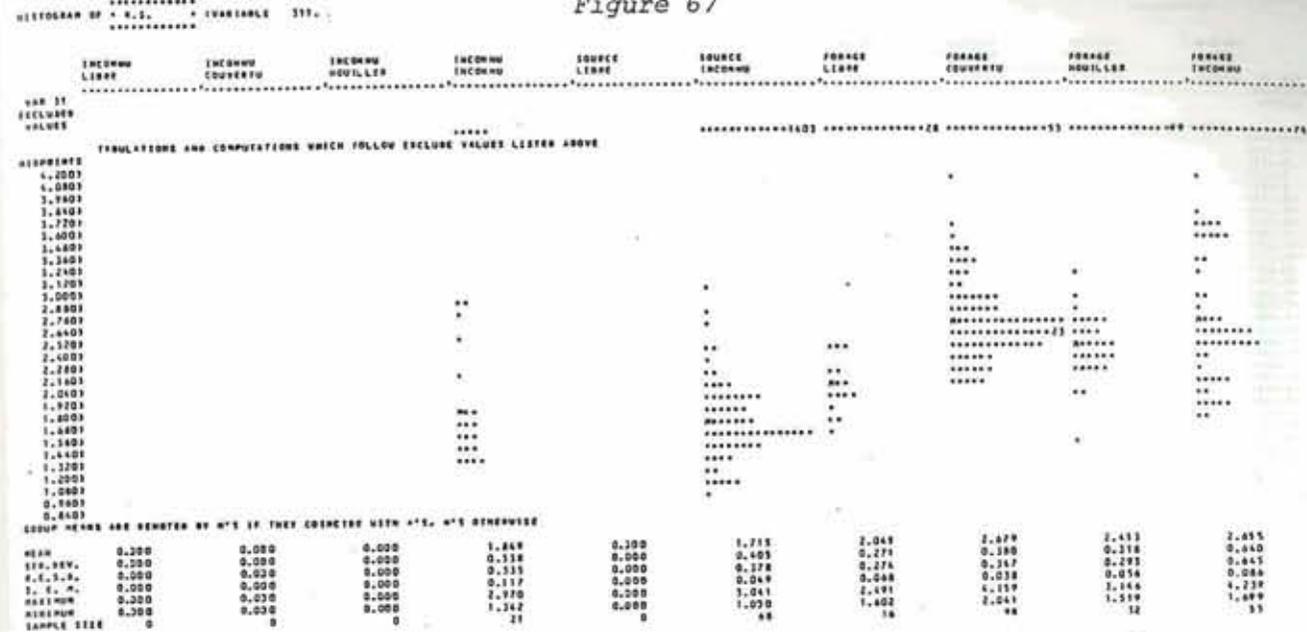


Figure 68

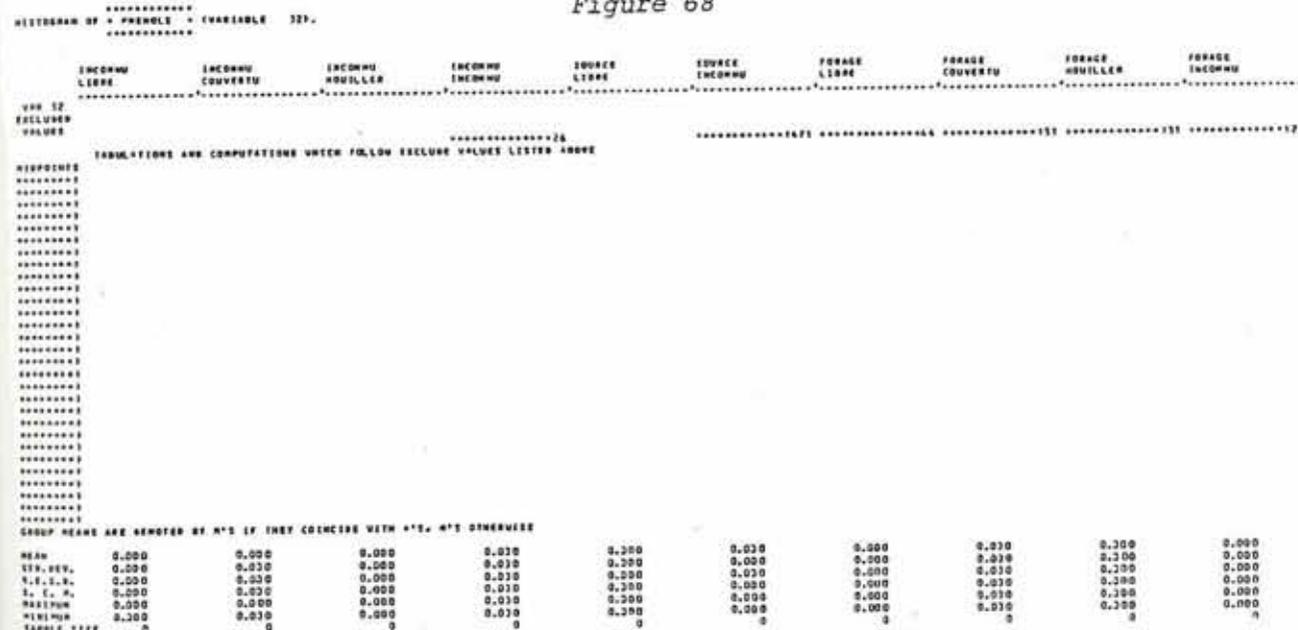


Figure 69

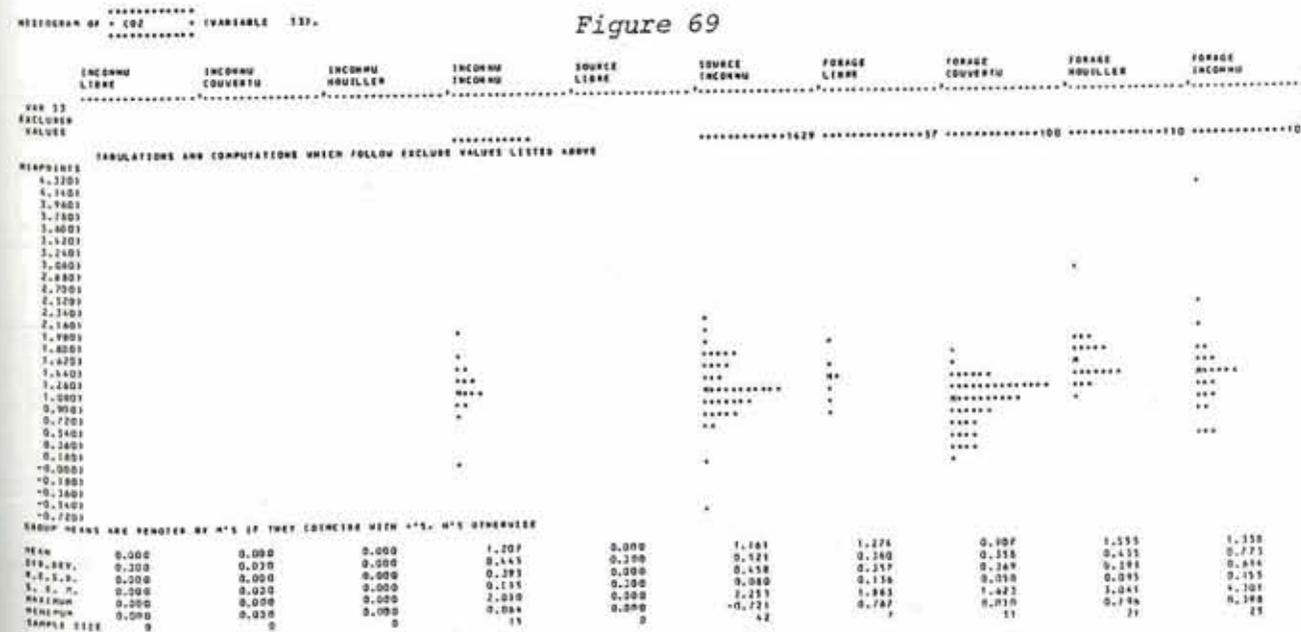


Figure 70

Table with 11 columns: INCDNHU LIBRE, INCDNHU COUVERTU, INCDNHU MOULLEL, INCDNHU INCDNHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCDNHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLEL, FORAGE INCDNHU. Includes summary statistics: MEAN, STP. REV., F. E. I. P., S. E. M., MAXIMUM, MINIMUM, SAMPLE SIZE.

Figure 71

Table with 11 columns: INCDNHU LIBRE, INCDNHU COUVERTU, INCDNHU MOULLEL, INCDNHU INCDNHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCDNHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLEL, FORAGE INCDNHU. Includes summary statistics: MEAN, STP. REV., F. E. I. P., S. E. M., MAXIMUM, MINIMUM, SAMPLE SIZE.

Figure 72

Table with 11 columns: INCDNHU LIBRE, INCDNHU COUVERTU, INCDNHU MOULLEL, INCDNHU INCDNHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCDNHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLEL, FORAGE INCDNHU. Includes summary statistics: MEAN, STP. REV., F. E. I. P., S. E. M., MAXIMUM, MINIMUM, SAMPLE SIZE.

Figure 73

Table with 11 columns: INCDNHU LIBRE, INCDNHU COUVERTU, INCDNHU MOULLEL, INCDNHU INCDNHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCDNHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLEL, FORAGE INCDNHU. Includes summary statistics: MEAN, STP. REV., F. E. I. P., S. E. M., MAXIMUM, MINIMUM, SAMPLE SIZE.

Figure 74

Table with 11 columns: INCDNHU LIBRE, INCDNHU COUVERTU, INCDNHU MOULLEL, INCDNHU INCDNHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCDNHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLEL, FORAGE INCDNHU. Includes summary statistics: MEAN, STP. REV., F. E. I. P., S. E. M., MAXIMUM, MINIMUM, SAMPLE SIZE.

Figure 75

Table with 11 columns: INCDNHU LIBRE, INCDNHU COUVERTU, INCDNHU MOULLEL, INCDNHU INCDNHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCDNHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULLEL, FORAGE INCDNHU. Includes summary statistics: MEAN, STP. REV., F. E. I. P., S. E. M., MAXIMUM, MINIMUM, SAMPLE SIZE.

Figure 76

HISTOGRAM OF VARIABLE 401.

Table with 10 columns: INCONHU LIBRE, INCONHU COUVERTU, INCONHU MOULINER, INCONHU INCONHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCONHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULINER, FORAGE INCONHU. Includes summary statistics like MEAN, ST. DEV., and GROUP MEANS.

Figure 77

HISTOGRAM OF VARIABLE 411.

Table with 10 columns: INCONHU LIBRE, INCONHU COUVERTU, INCONHU MOULINER, INCONHU INCONHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCONHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULINER, FORAGE INCONHU. Includes summary statistics like MEAN, ST. DEV., and GROUP MEANS.

Figure 78

HISTOGRAM OF VARIABLE 421.

Table with 10 columns: INCONHU LIBRE, INCONHU COUVERTU, INCONHU MOULINER, INCONHU INCONHU, SOURCE LIBRE, SOURCE INCONHU, FORAGE LIBRE, FORAGE COUVERTU, FORAGE MOULINER, FORAGE INCONHU. Includes summary statistics like MEAN, ST. DEV., and GROUP MEANS.

Table with 10 columns: VARIABLE NO., NAME, COUNT, MEAN, STANDARD DEVIATION, SMALLEST CASE VALUE, LARGEST CASE VALUE. Lists variables like BACT24H, COLIF, E.COLI, STREPTO, CL.SUL.R, OXYDABIL, NH4, NO2, NO3, CL, OUR.TOT, TAC, S04, FER, NA, K, CA, MG, TURBID., RESIST., PH, O2 DISS, SI02, HM, CO3--, HCO3--, PO4--, PH2, TAC2, R.S., PHENOLS, CO2, AL, AS, CO, CR, CN, CU, F, PB, ZN.

Figure 79

HISTOGRAM OF VARIABLE OXYDABIL

Table with columns: INTERVAL NAME, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, FREQUENCY INT., PERCENTAGE INT., CUM. INT., CUM. PERCENTAGE. Shows frequency distribution for OXYDABIL with intervals from -1.7000 to +2.3000.

Figure 80

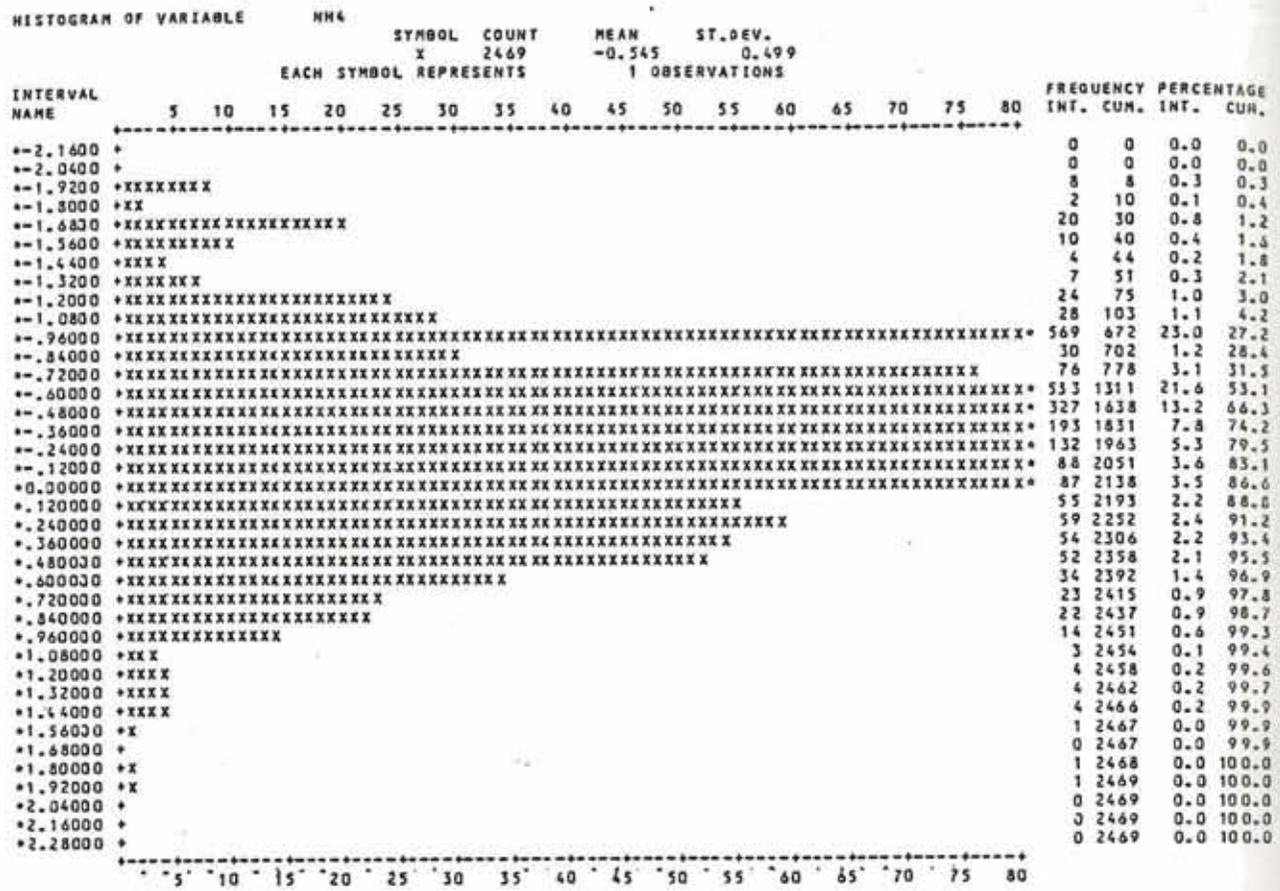


Figure 81

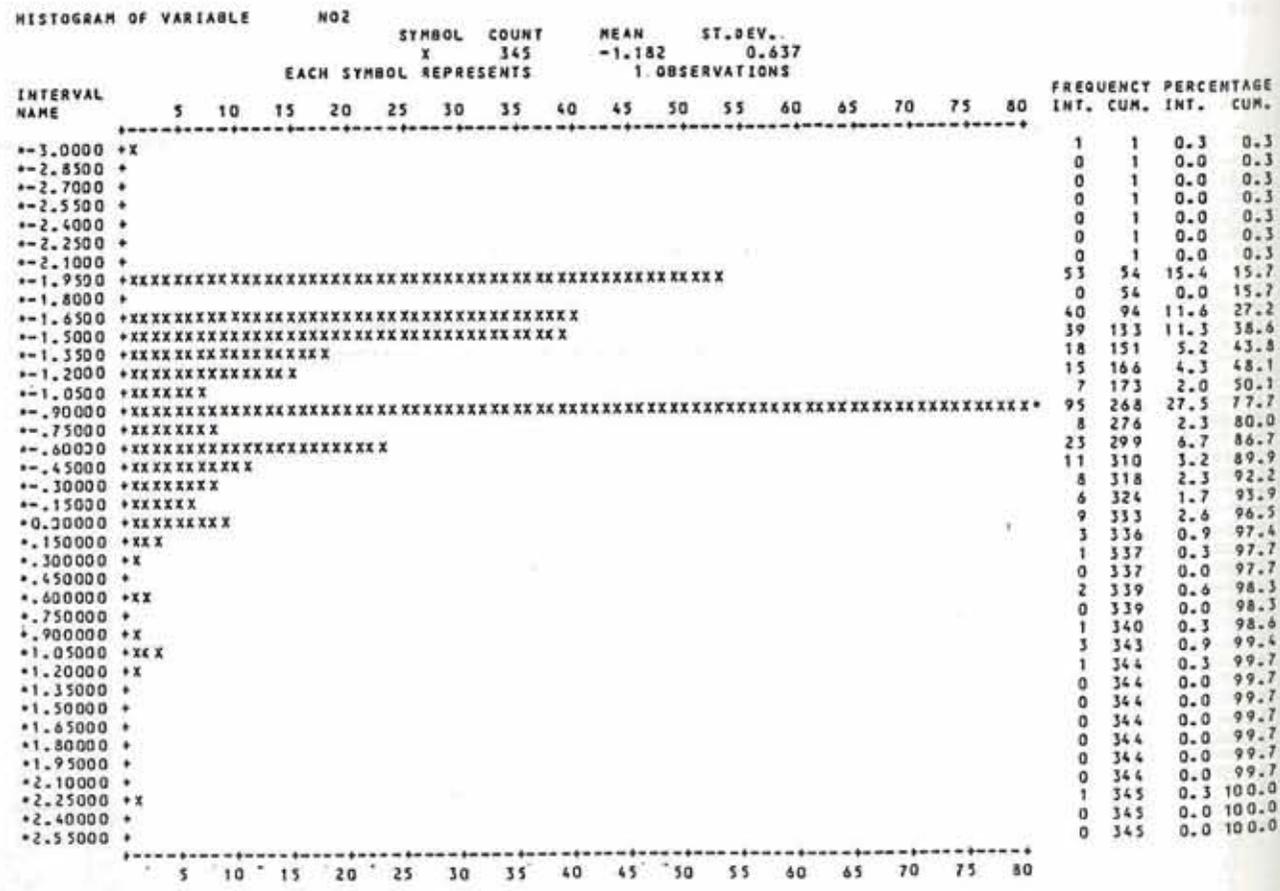


Figure 82

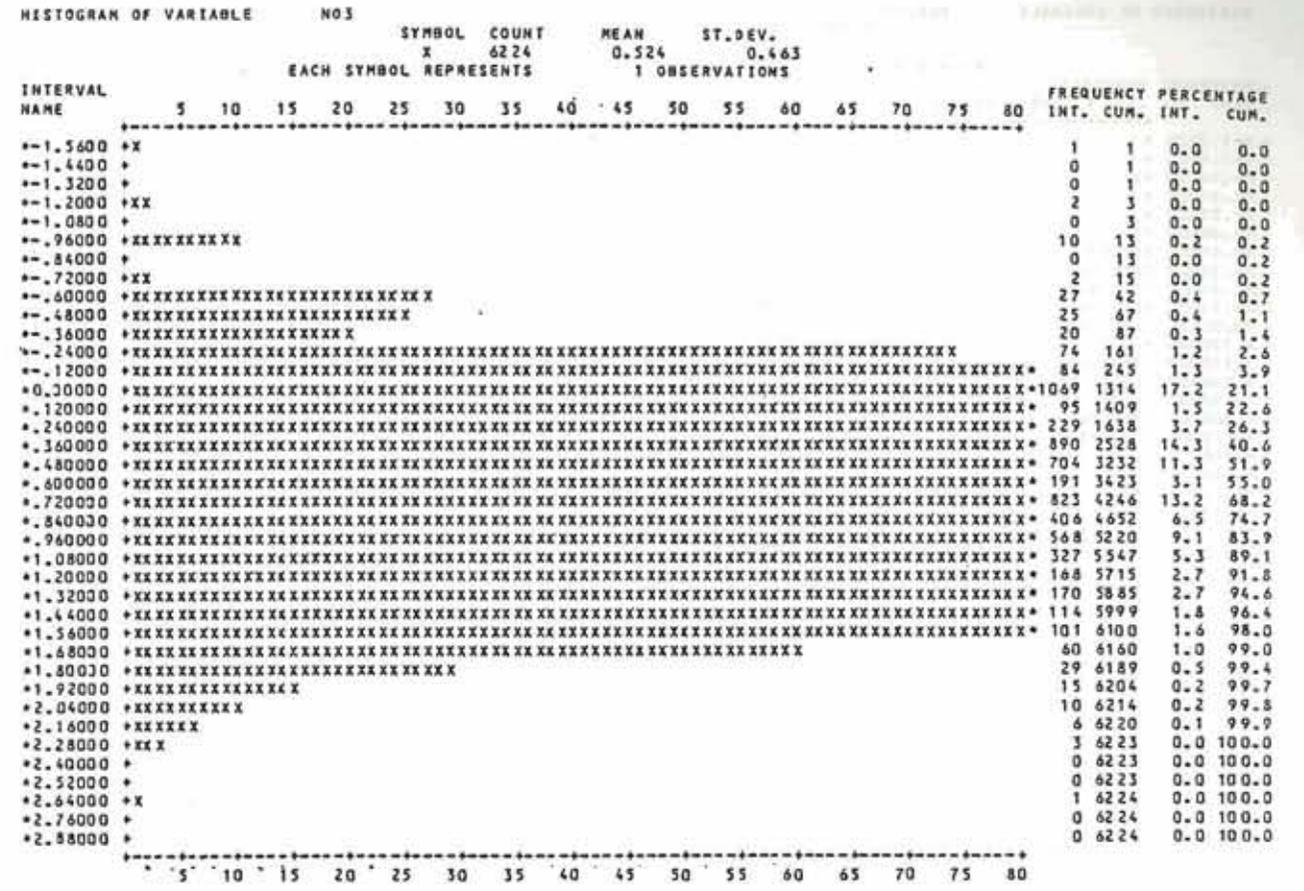


Figure 83

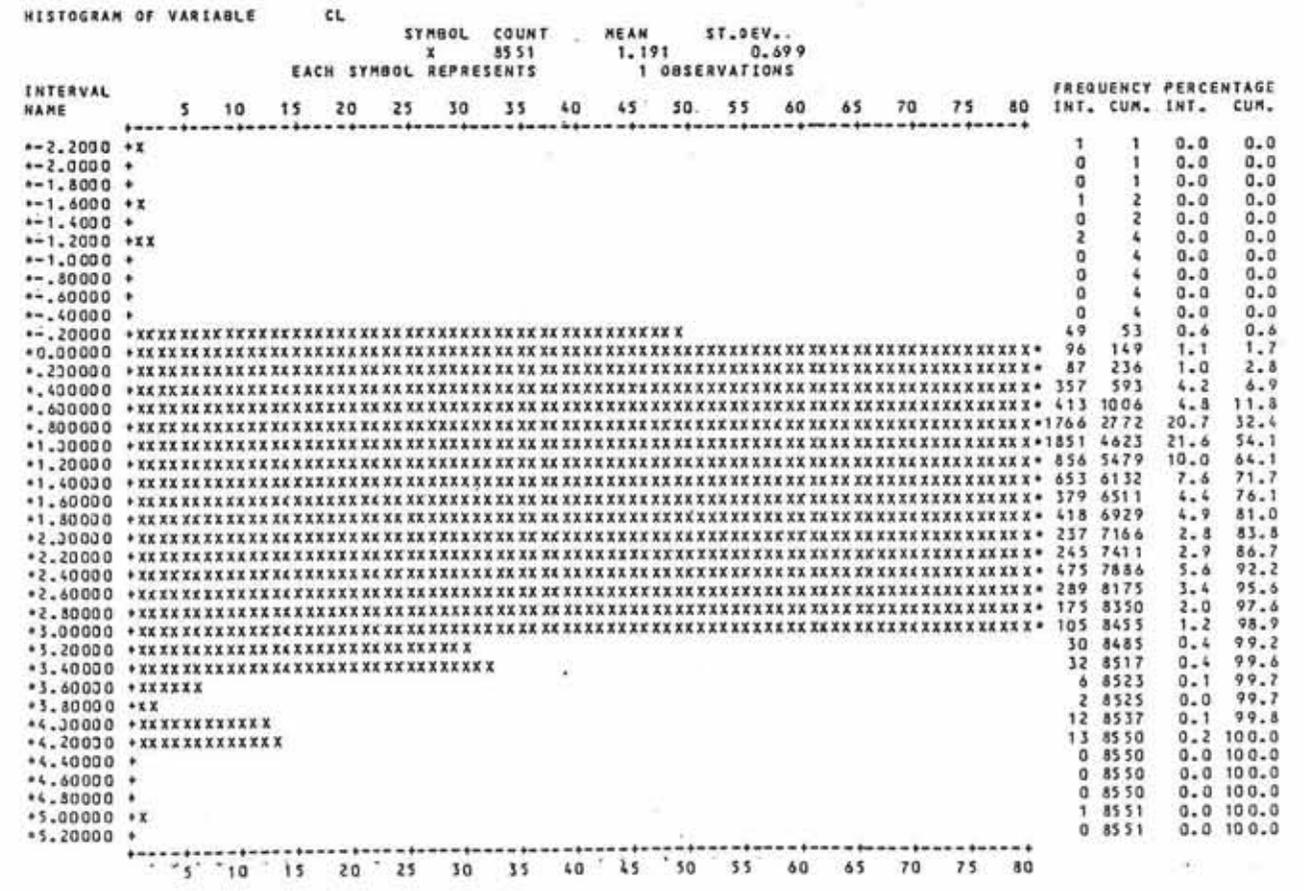


Figure 84

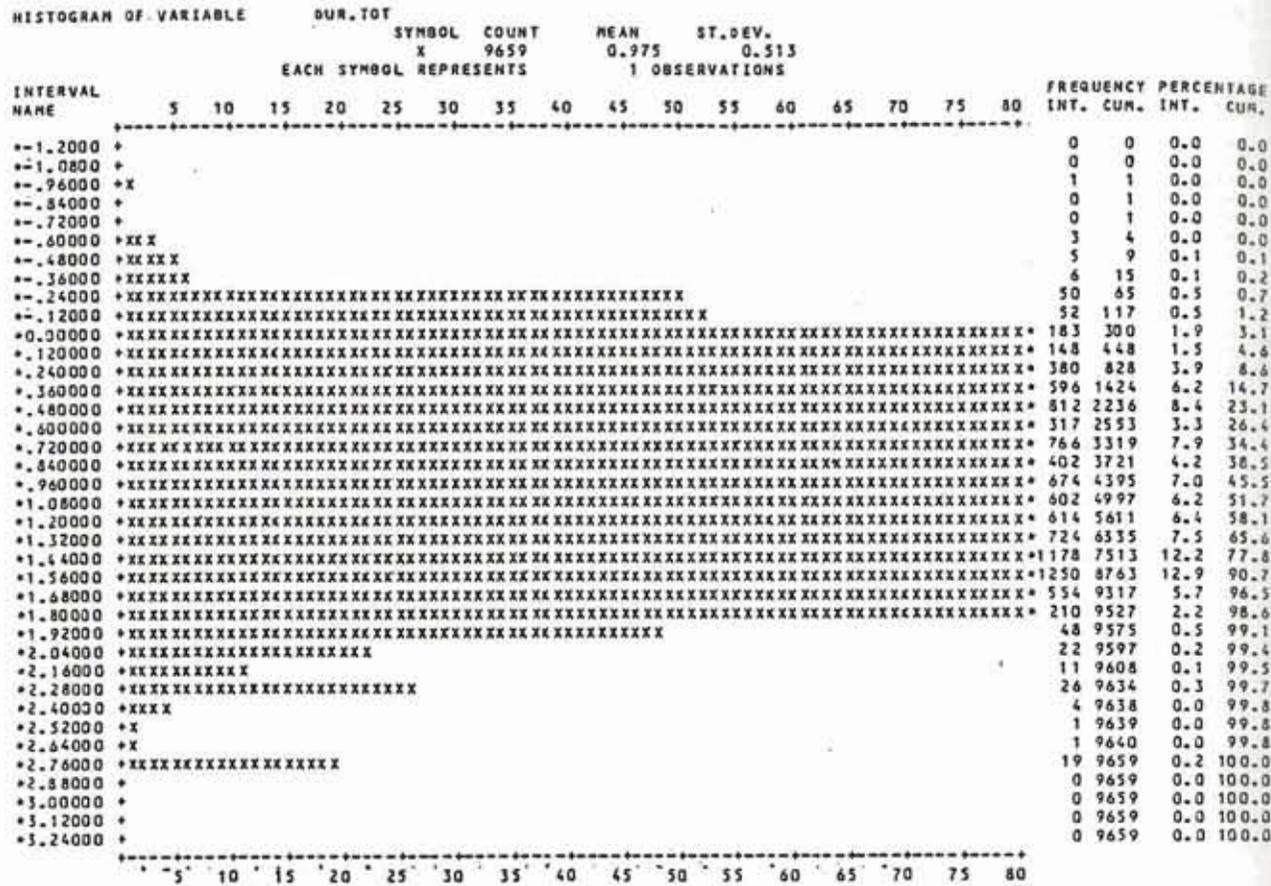


Figure 85

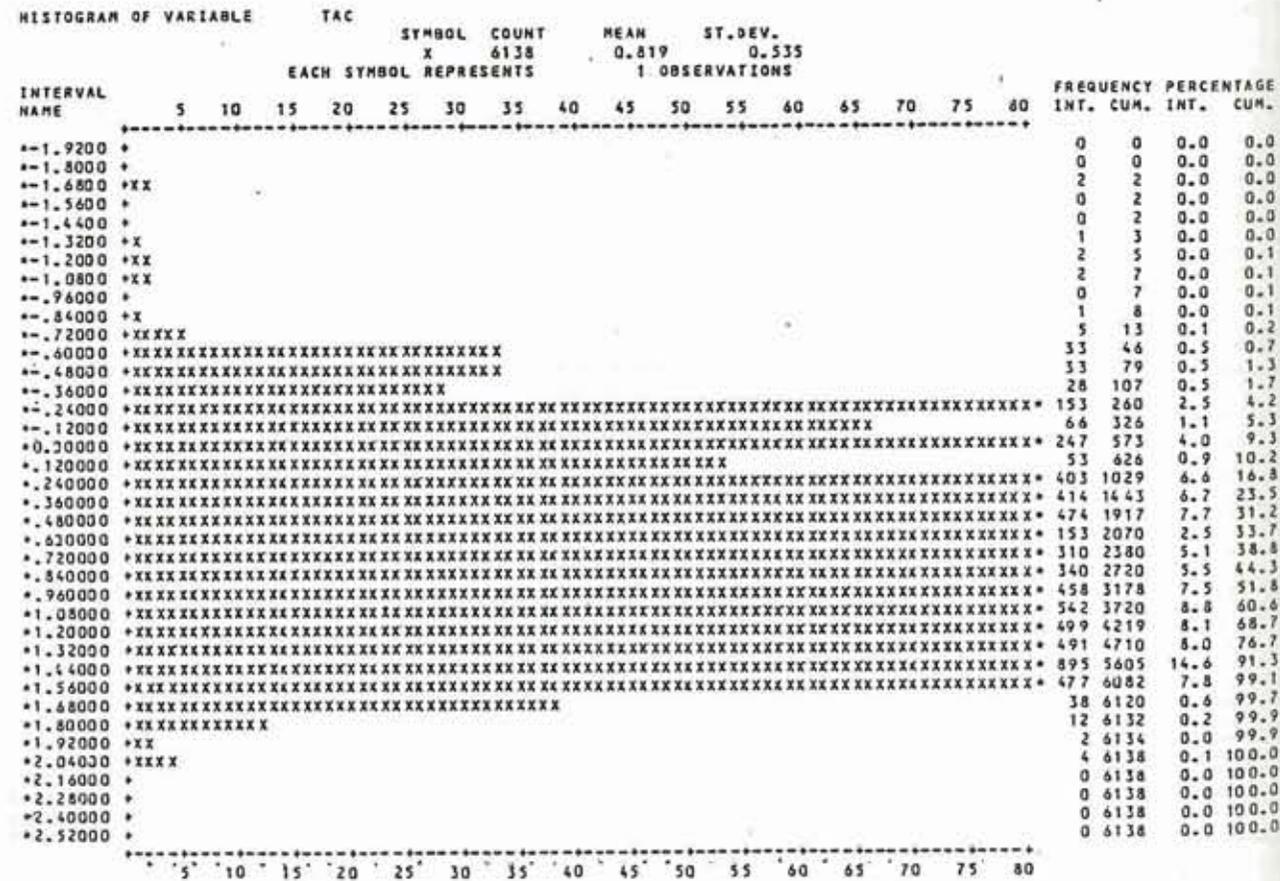


Figure 86

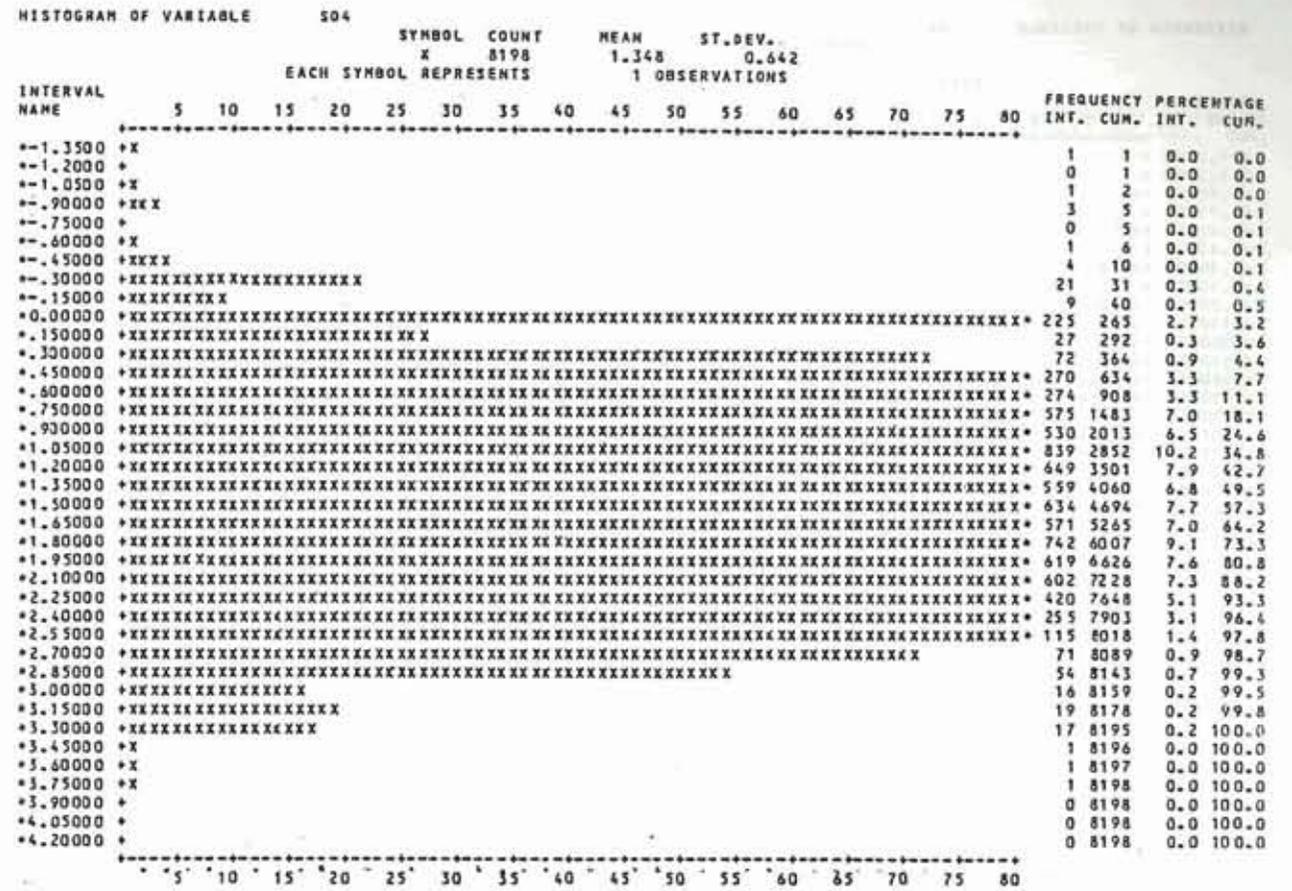
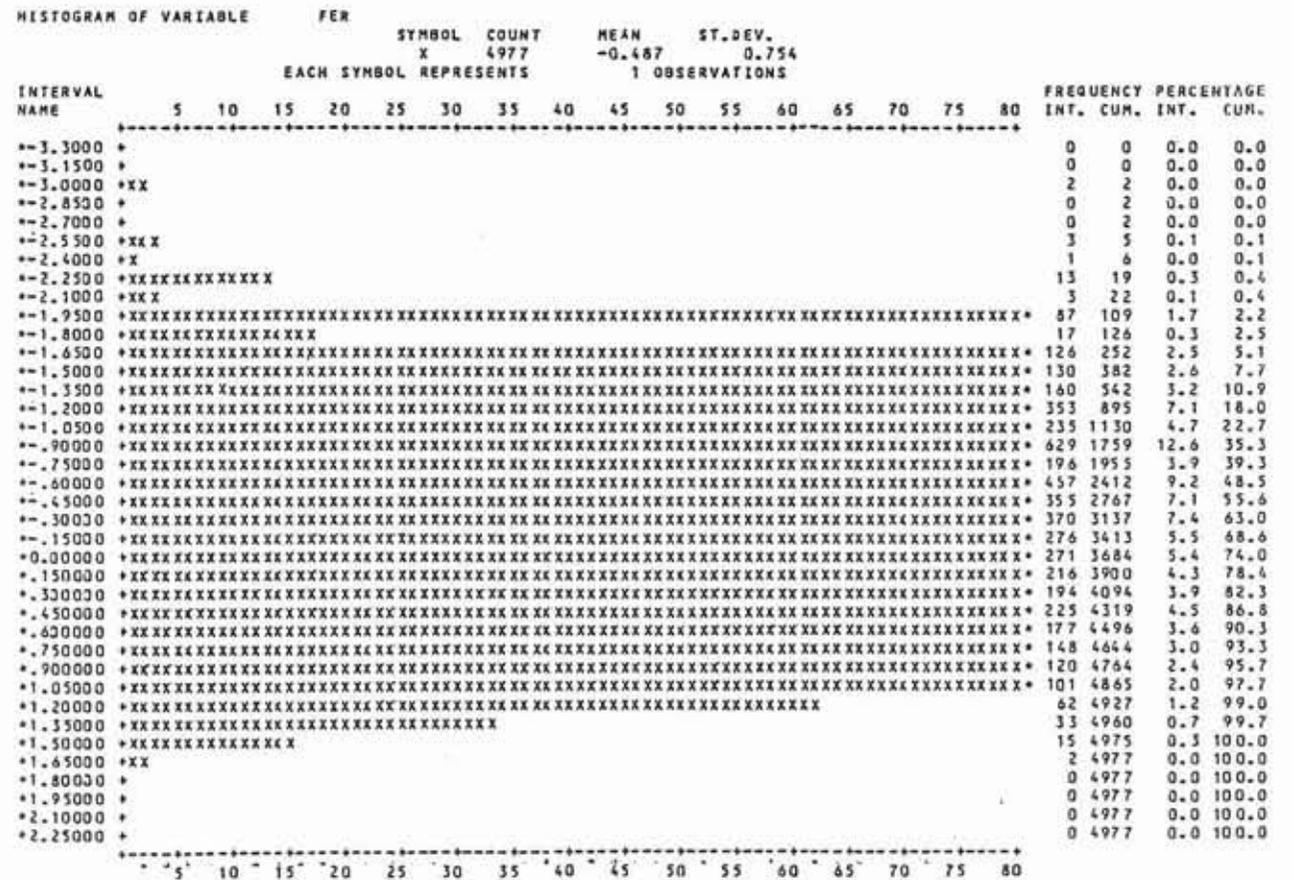


Figure 87



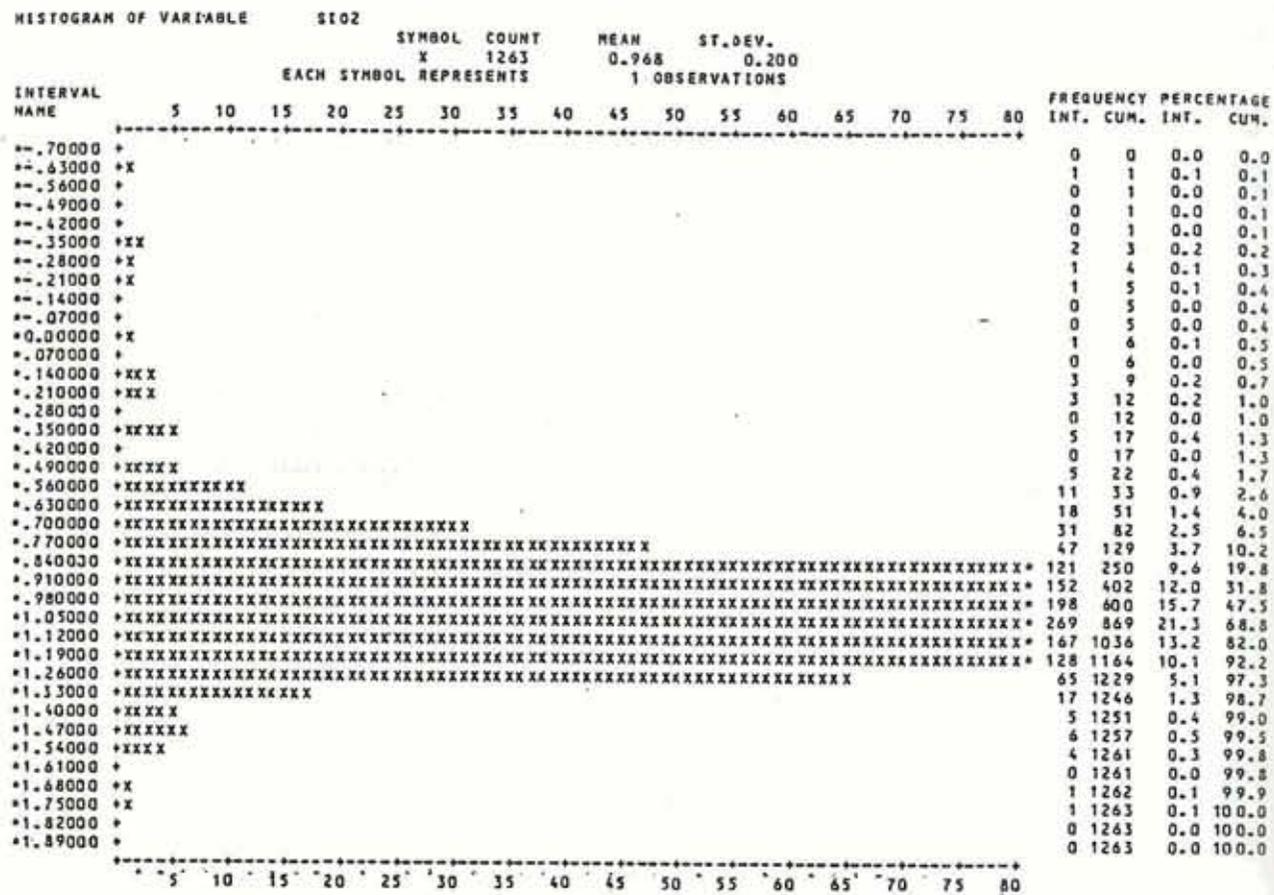


Figure 97

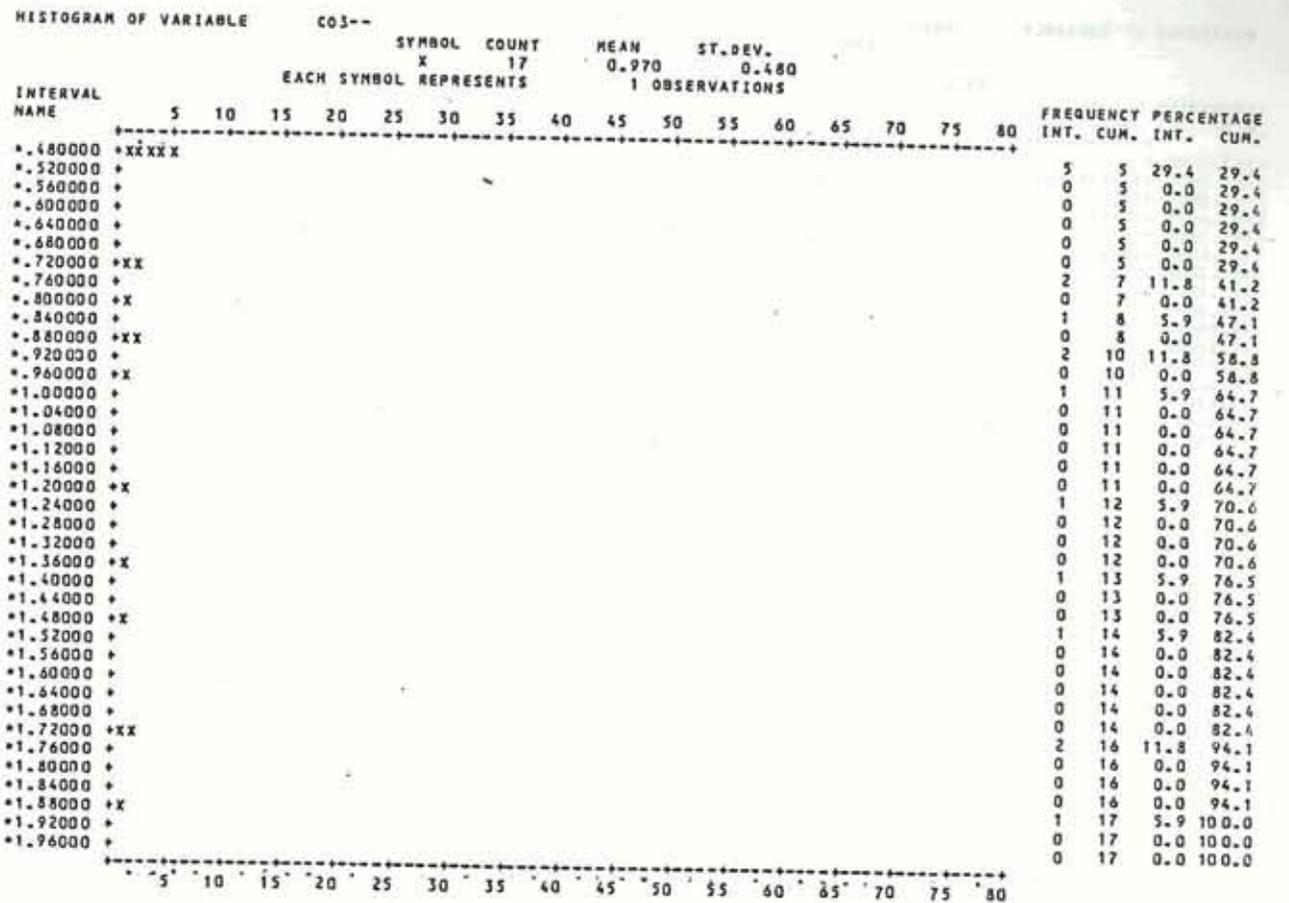
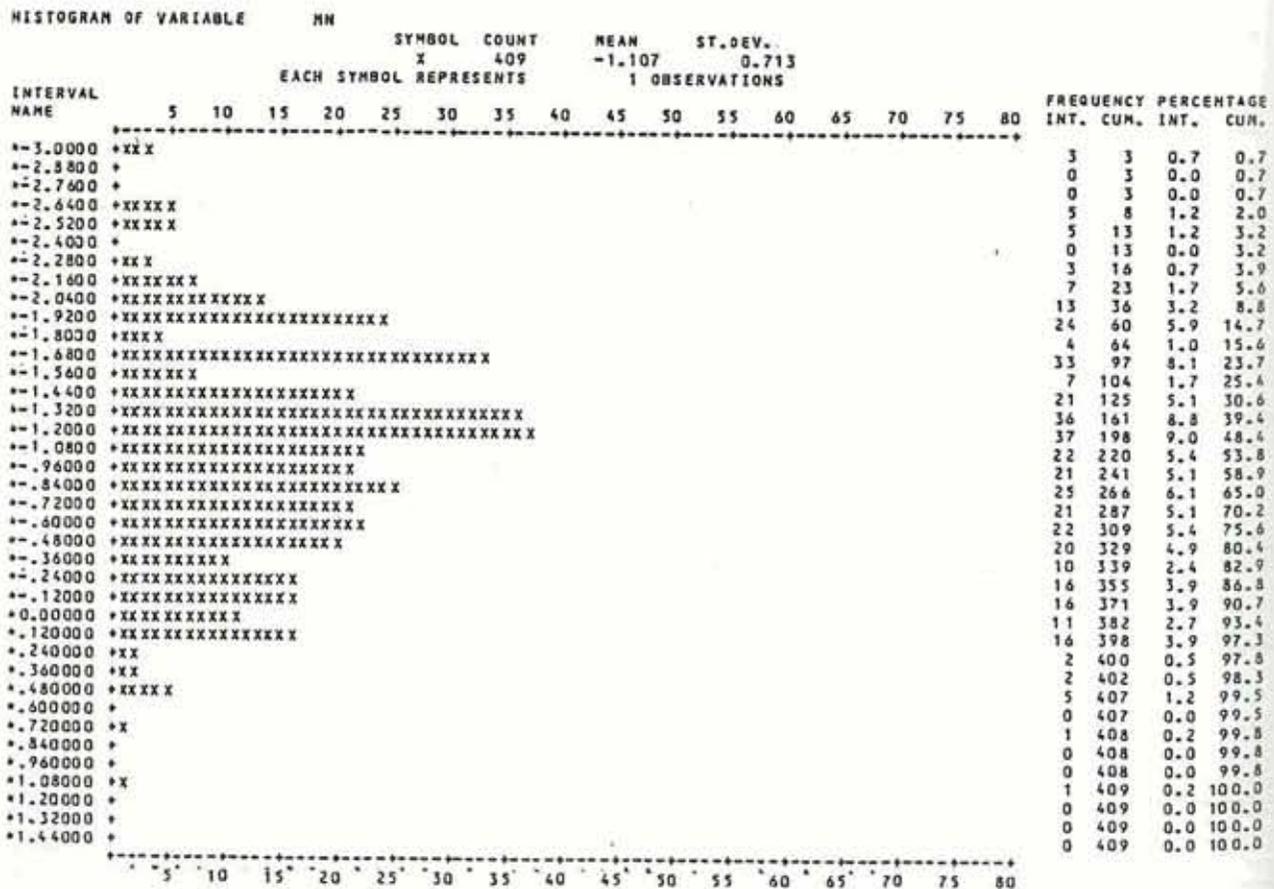


Figure 99



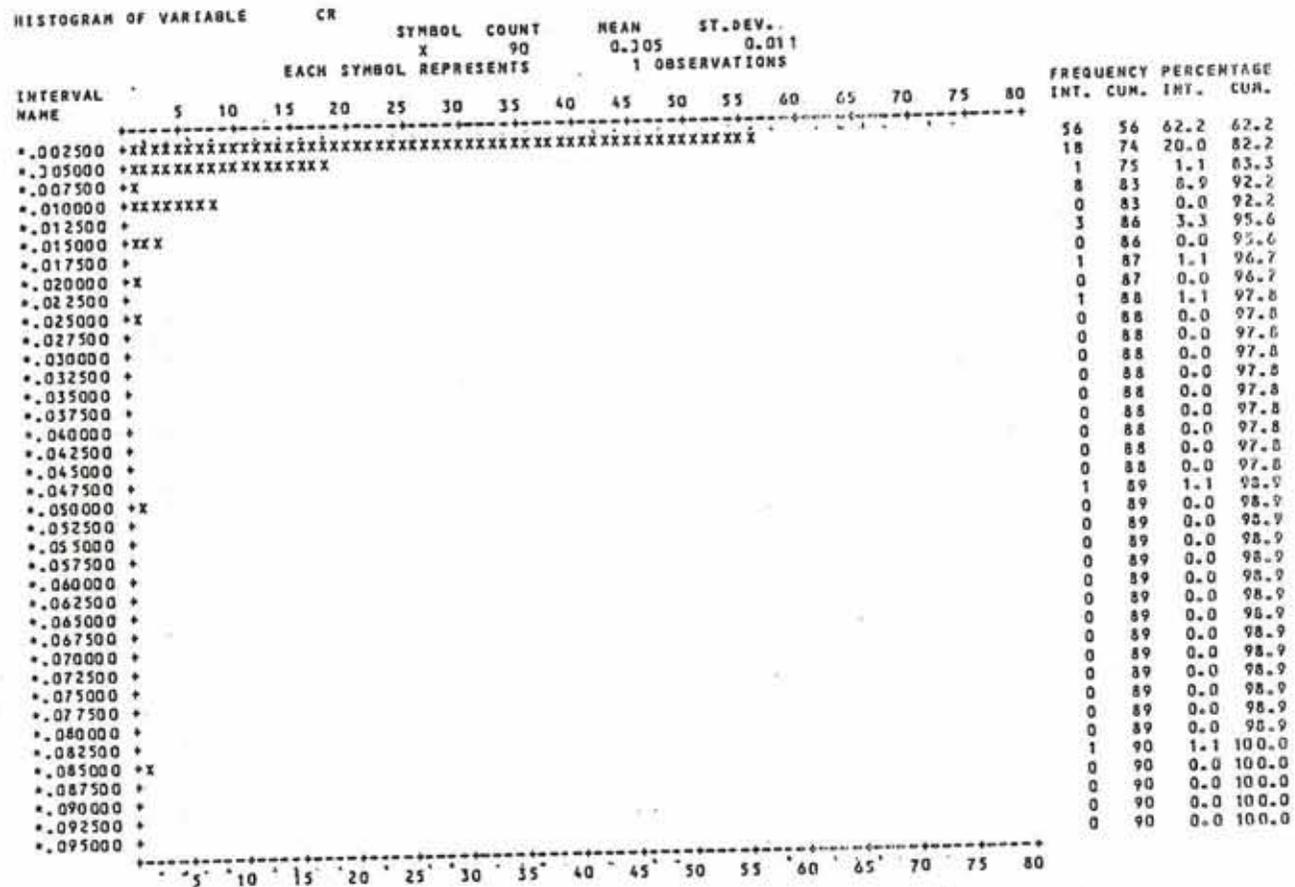


Figure 109

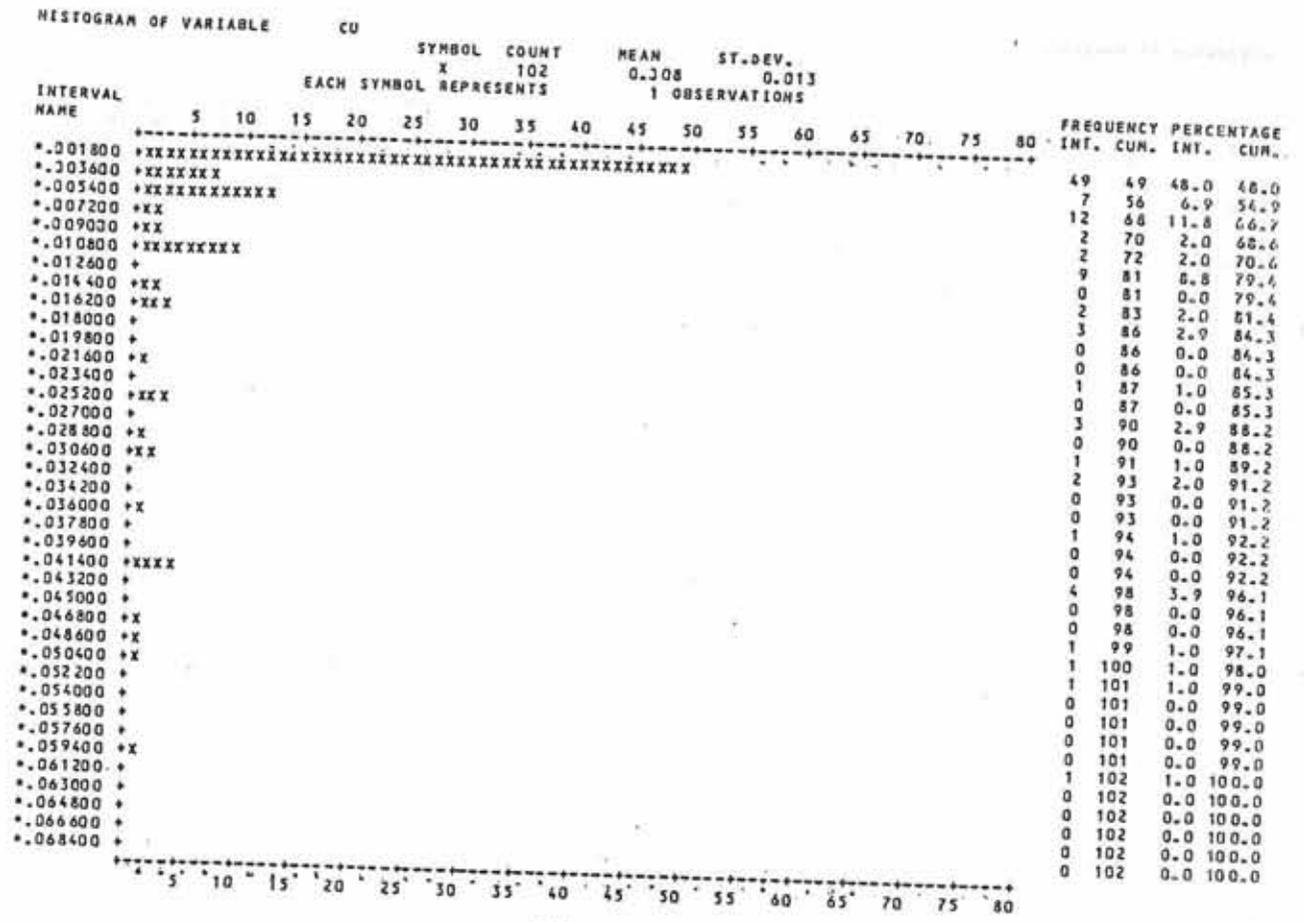
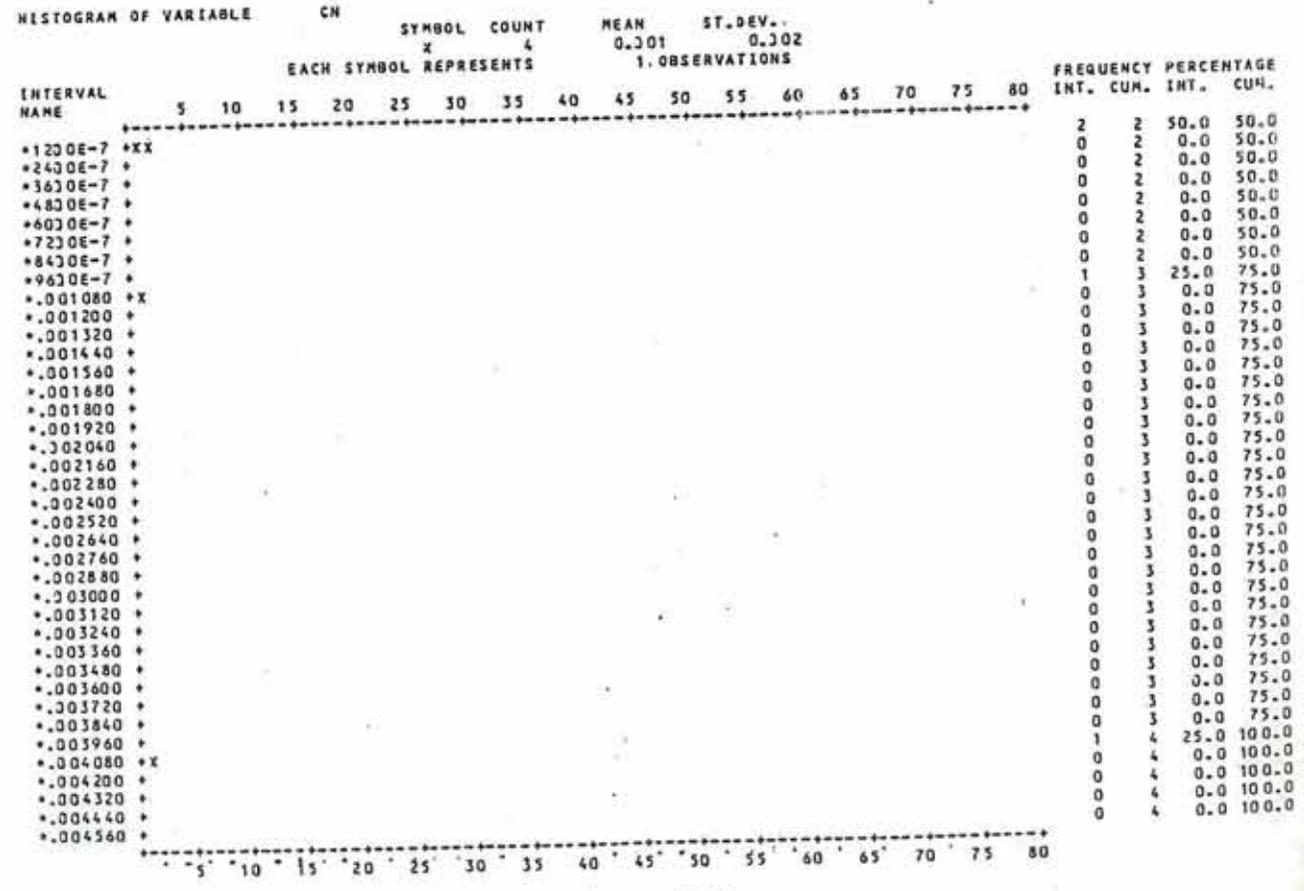


Figure 111



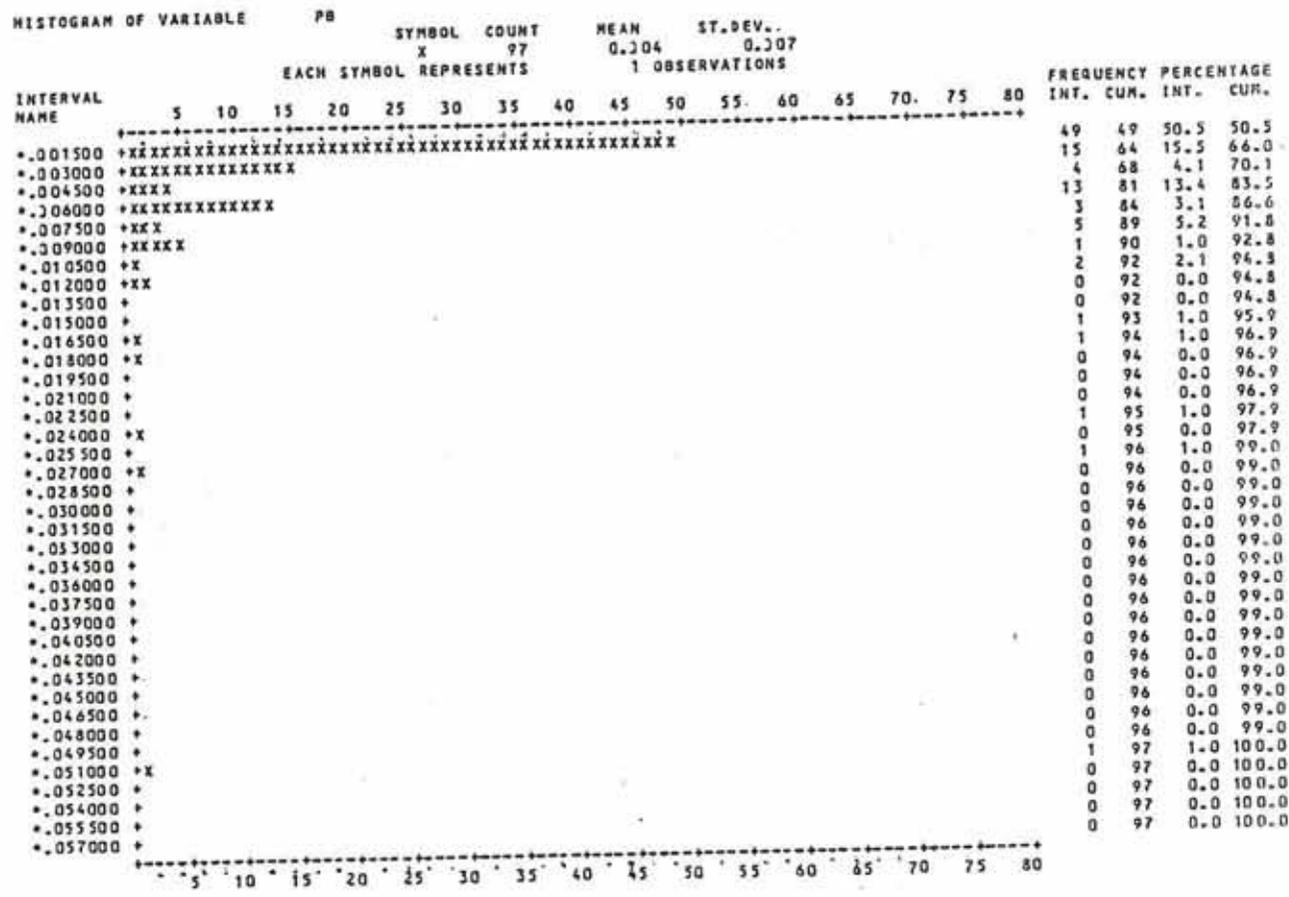


Figure 113

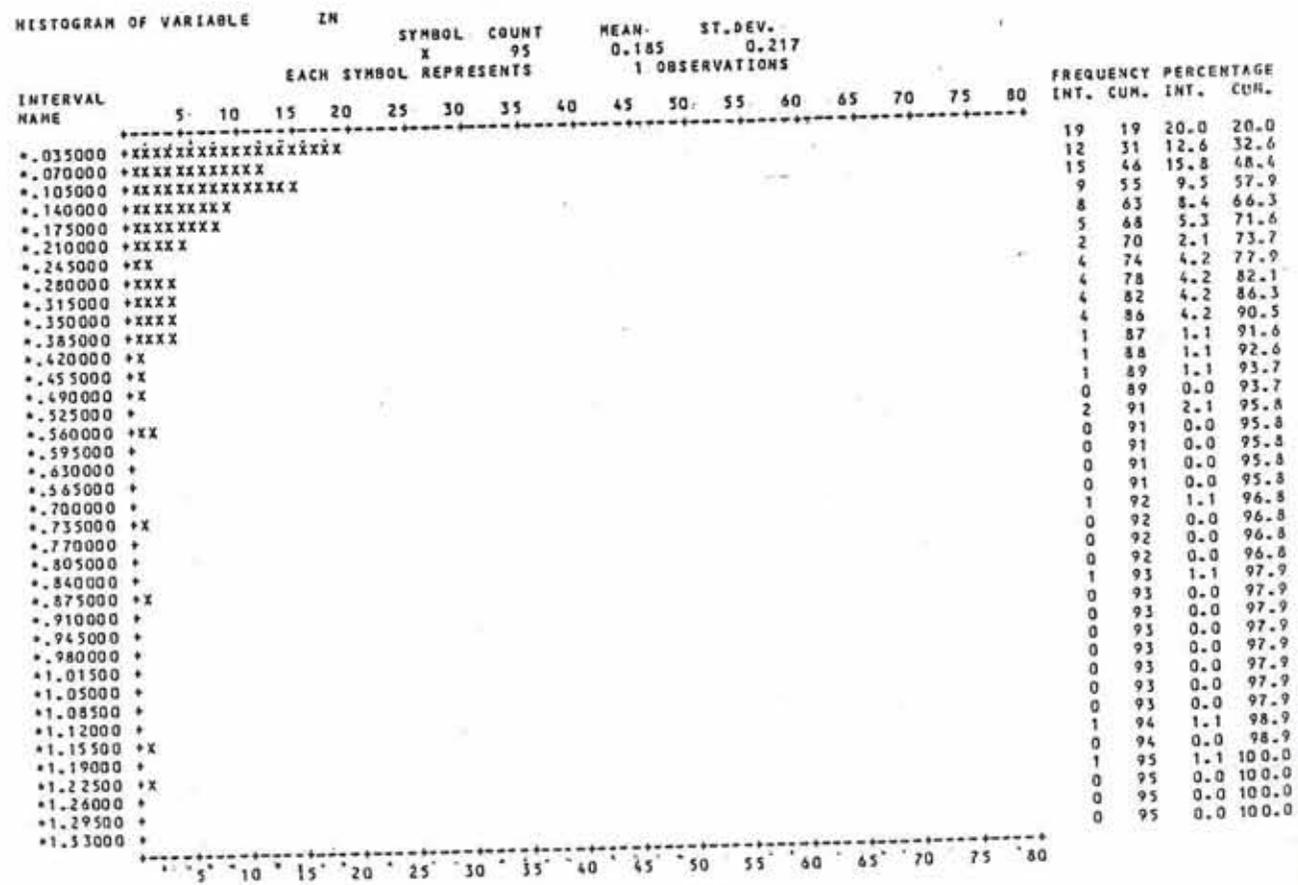


Figure 114