50376
1979
193

50376
1979
193

N° 761

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE
U.E.R. DES SCIENCES DE LA TERRE

THESE
PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE
EN
SCIENCES NATURELLES
MENTION GEOLOGIE APPLIQUEE

# TRAITEMENT DE L'INFORMATION HYDROGEOLOGIQUE, SOCIO-ECONOMIQUE ET ECONOMIQUE

## Application au bassin de la Sambre (Nord de la France)

par

Bruno DELPORTE

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE
Section de SCIENCES
LILLE

Commission d'examen:

| | | |
|---|---|---|
| MM. | M. WATERLOT | President |
| | P. DEBRABANT | Rapporteur |
| | J. MANIA | Examinateur |
| | T.T. CAO | Invite |
| | A. TALBOT | Invite |

Soutenue a Lille le 18 juin 1979

La couverture de cette thèse a été réalisée sur table traçante grâce au programme GUTTEN de T.T. CAO.

## RESUME

L'étude hydrogéologique du bassin de la Sambre (Nord de la France) conduit à la création d'une base de données à caractère régional et de plusieurs maillons d'une chaîne de traitement des informations stockées. Ces outils servent à analyser la masse de connaissances recueillies à propos des aquifères et des rivières. L'accent est porté sur les possibilités d'exploitation des eaux superficielles (quantités importantes, mais obligation de traitement) et souterraines (quantités plus faibles, localisées, mais n'exigeant pas de traitement autre qu'une chloration). L'analyse des facteurs socio-économiques permet par ailleurs de préciser l'évolution de la demande en eau grâce à deux hypothèses basées sur l'expansion préalable de l'économie nationale. Enfin, les coûts de l'eau et les facteurs dont ils dépendent sont analysés pour les différents types de captages (forages ou puits, carrières, rivières ou retenues collinaires) en considérant la production de l'eau brute d'une part et son traitement d'autre part. Ces éléments économiques, ainsi structurés, offrent à l'hydrogéologue un nouvel outil de décision pour la recherche des sites d'exploitation de l'eau et l'évaluation du coût des ouvrages à prévoir.



## SUMMARY

The hydrogeologic study of the Sambre river basin (North of France) leads to the creation of a regional data base and of several links in programs chain for the stored information. These tools serve to analyse the mass of data dealing with aquifers and rivers. Emphasis was placed on the exploitation possibilities of surface waters (large quantities but in need of a treatment) and ground waters (smaller quantities, localised, but needing only chloration). In addition, the analysis of socio-economic factors allowes us to precise the evolution of water demand through two schemes based on the expansion of the national economy. Finally, costs and others factors (contributing to) the price of water are analysed for different types of water collectors (bores, quarries, rivers or reservoirs) considering the raw water production and its treatment. Thes economical elements give the hydrogeologist a new tool in the selection of sites for water exploitation.

# S O M M A I R E


Pages

1 - GENERALITES..... 1

2 - BASE DE DONNEES ET CHAINE DE TRAITEMENT DE CES DONNEES..... 7
21 - Conservation des données acquises..... 9
22 - La base de données HYDRE..... 10
221 - Fichier définition de l'ouvrage (00)..... 11
222 - Fichier géologie de l'ouvrage (10)..... 12
223 - Fichier aquifère et caractéristiques hydrodynamiques (20)..... 13
224 - Fichier prélèvement d'eau (30)..... 13
225 - Fichier consommations d'eau (40)..... 14
226 - Fichier analyses physico-chimiques et bactériologiques (50)... 14
227 - Fichier relevés pluviométriques (60)..... 16
228 - Fichier relevés débitmétriques (70)..... 17
229 - Fichier relevés thermométriques (80)..... 17
2210- Fichier relevés piézométriques (90)..... 17
23 - Interrogation et sélection des informations dans HYDRE..... 18
24 - Chaîne de traitement des données..... 19
241 - Présentation des données spatiales..... 19
242 - Chaîne hydroclimatologie et hydrologie sensu-stricto..... 21
243 - Chaîne hydrochimie..... 23
2431 - Programme ANACHIM : traitement primaire des données.... 24
2432 - Programme ROSE : représentation spatiale des données... 26
2433 - Programme SCHOELLER ou diagramme "d'analyse d'eau"..... 30
244 - Traitement informatique des exhaures d'eau..... 32
25 - Conclusions..... 33

3 - ASPECTS ET CONTRAINTES QUANTITATIVES..... 35
31 - Facteurs naturels gérant les ressources..... 37
311 - Géologie..... 37
312 - Climatologie..... 45
3121 - Précipitations..... 45
3122 - Températures..... 50
3123 - Evapotranspiration..... 51
32 - Ressources en eau superficielle..... 54
321 - Introduction..... 54
322 - Hydrographie..... 54
323 - Etude générale du régime des cours d'eau..... 56
3231 - Ecoulements annuels..... 56
3232 - Ecoulements intersaisonniers..... 58
3233 - Ecoulements intermensuels..... 59
3234 - Ecoulements journaliers..... 60

Pages

3235 - Analyse des hydrogrammes..... 61
3236 - Déficit d'écoulement..... 64
3237 - Relations entre les débits spécifiques des différentes stations de jaugeage..... 66
324 - Recherche des zones favorables de captage..... 67
3241 - Cartographie des débits d'étiage..... 67
3242 - Simulation et cartographie des débits moyens..... 67
3243 - Lacs et retenue collinaires..... 79
33 - Ressources en eau souterraine..... 84
331 - Les aquifères..... 84
3311 - Aquifères du Dévonien moyen..... 84
3312 - Aquifère du Famennien ..... 87
3313 - Aquifères et nappes du Dinantien..... 87
3314 - Aquifères du Turonien..... 94
3315 - Aquifère des sables tertiaires..... 94
3316 - Aquifère des limons..... 95
3317 - Aquifère des alluvions..... 95
332 - Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères..... 95
3321 - Calcul des coefficients de diffusivité - Méthodologie 95
3322 - Calcul des transmissivités..... 99
333 - Relations des aquifères et des cours d'eau sus-jacents..... 101
3331 - Pertes localisées sur la Tarsy..... 101
3332 - Pertes localisées sur les ruisseaux d'Eclaibes et d'Ecuelin..... 104
3333 - Pertes localisées sur la Solre et le Quiévelon..... 105
3334 - Pertes localisées sur l'Helpe mineure..... 106
3335 - Pertes localisées sur l'Helpe majeure..... 106
3336 - Observations synthétiques..... 106
34 - Conclusions du chapitre..... 107

4 - ASPECTS ET CONTRAINTES QUALITATIVES..... 109
41 - Introduction..... 111
42 - Chimisme des eaux souterraines..... 111
421 - Analyse spatiale..... 111
422 - Traitement statistique des données hydrochimiques..... 113
423 - Analyse temporelle..... 126
43 - Chimisme des eaux superficielles..... 126
431 - Analyse spatiale..... 128
432 - Potabilité des eaux..... 129
4321 - Prélèvements sur la Sambre entre Berlaimont et Jeumont. 129
4322 - Autres échantillonnages dans le bassin..... 133
433 - Etude sommaire des constituants..... 134
434 - Analyse statistique et réactions chimiques spécifiques..... 135
4341 - Matrice des corrélations..... 135
4342 - Analyse des correspondances..... 137

Pages

435 - Analyse temporelle..... 138
44 - Pollution : prévention et traitement actuel..... 139
441 - Prévention..... 139
442 - Traitement des eaux usées : les stations d'épuration..... 141
4421 - Aperçu des méthodes actuelles de traitement..... 141
4422 - Capacité de traitement dans le département du Nord..... 142
4423 - Epuration des eaux dans l'Avesnois..... 143
45 - Conclusions du chapitre..... 146

5 - ASPECTS ET CONTRAINTES SOCIO ECONOMIQUES..... 147
51 - Structure actuelle de la demande et des prélèvements d'eau..... 149
511 - Répartition entre les différents groupes..... 149
512 - Répartition géographique des prélèvements..... 151
513 - Répartition géographique des consommations..... 155
52 - Evolution de la consommation..... 157
521 - Evolution mensuelle..... 157
522 - Evolution annuelle..... 158
523 - Analyse des correspondances..... 160
524 - Evolution de l'utilisation de l'eau..... 161
53 - Prévisions..... 162
54 - Conclusion du chapitre..... 162

6 - ASPECTS ET CONTRAINTES ECONOMIQUES..... 165
61 - Introduction..... 167
62 - Structure économique de la distribution publique..... 167
63 - Coûts et facteurs du coût de l'eau..... 169
631 - Coût de prélèvement de l'eau brute..... 170
6311 - Cas de l'eau souterraine..... 170
6312 - Cas de l'eau de rivière..... 176
6313 - Cas de l'eau de carrière..... 178
6314 - Cas de l'eau de retenues collinaires..... 179
632 - Coût du traitement de l'eau..... 180
6321 - Cas de l'eau souterraine..... 180
6322 - Cas de l'eau de surface..... 181
6323 - Cas de l'eau de carrière..... 182
6324 - Cas de l'eau de retenues collinaires..... 182
633 - Coût du transport de l'eau..... 183
64 - Cartographie du coût de l'eau..... 184
65 - Conclusions du chapitre..... 187

7 - CONCLUSIONS..... 189

BIBLIOGRAPHIE..... 195

# LISTE DES FIGURES


Pages

FIGURE 1 Situation géographique du secteur étudié..... 1
FIGURE 2 Formatage de la carte 00 : définition de l'ouvrage..... 12
FIGURE 3 Formatage de la carte 20 : caractéristiques hydro-dynamiques de l'aquifère..... 13
FIGURE 4 Formatage de la carte 30 : prélèvements d'eau..... 13
FIGURE 5 Formatage de la carte 40 : consommation d'eau..... 14
FIGURE 6 Formatage de la carte 50 : analyse physico-chimique..... 14
FIGURE 7 Formatage de la carte 51 : analyse physico-chimique..... 15
FIGURE 8 Formatage de la carte 52 : analyse physico-chimique..... 15
FIGURE 9 Formatage de la carte 53 : analyse physico-chimique..... 16
FIGURE 10 Formatage de la carte 60 : pluviométrie mensuelle et annuelle..... 17
FIGURE 11 Trame géographique de l'Avesnois exécutée par ordinateur..... 20
FIGURE 12 Sortie simplifiée des résultats du programme BILAN..... 22
FIGURE 13 Sortie sur table traçante du programme BILAN..... 23
FIGURE 14 Disposition des éléments de l'analyse physico-chimique sur la rosette..... 27
FIGURE 15 Extrait de carte correspondant à la région de Landrecies (sortie graphique du programme ROSE)..... 28
FIGURE 16 Exemple de sortie graphique du programme SCHOELLER..... 31
FIGURE 17 Evolution des RAM et microprocesseurs..... 34
FIGURE 18 Carte géologique simplifiée du bassin de la Sambre..... 38
FIGURE 19 Exemple de coupe lithostratigraphique d'un forage traversant les formations secondaires et quaternaires..... 40
FIGURE 20 Exemple de coupe stratigraphique d'un forage traversant les formations primaires..... 40
FIGURE 21 Coupe lithostratigraphique type d'un forage aux alluvions..... 41
FIGURE 22 Coupe géologique NS entre Bachant et Etroeungt..... 42
FIGURE 23 Carte des isobathes du toit du Primaire..... 44
FIGURE 24 Relation précipitation-altitude..... 46
FIGURE 25 Calcul de la lame d'eau tombée par la méthode de Thiessen..... 48
FIGURE 26 Carte des précipitations moyennes..... 48
FIGURE 27 Variations de la pluviométrie annuelle..... 49
FIGURE 28 Variations de la température intermensuelle..... 50
FIGURE 29 Comparaison des directions des cours d'eau avec l'hydrographie régionale, les failles et directions des axes synclinaux primaires..... 55
FIGURE 30 Evolution de la lame d'eau moyenne annuelle..... 57
FIGURE 31 Variations intersaisonnières de la lame d'eau écoulée..... 58
FIGURE 32 Variations intermensuelles de la lame d'eau écoulée..... 60
FIGURE 33 Débits journaliers et courbe des débits classés..... 61
FIGURE 34 Evolution intermensuelle du débit spécifique souterrain..... 63
FIGURE 35 Comparaison des différentes méthodes d'analyse de l'écoulement souterrain..... 64
FIGURE 36 Ajustements linéaires entre les débits spécifiques annuels..... 66
FIGURE 37 Carte des débits d'étiage..... 68
FIGURE 38 Décomposition du débit d'une rivière..... 74
FIGURE 39 Exemple d'ajustement des débits mensuels..... 77
FIGURE 40 Carte des débits annuels moyens..... 78
FIGURE 41 Principaux sites potentiels de retenues collinaires..... 80
FIGURE 42 Importance de la pente sur la superficie et le volume du réservoir..... 81
FIGURE 43 Différentes zones d'une retenue d'eau..... 83
FIGURE 44 Variations piézométriques de l'aquifère du Dévonien moyen..... 85
FIGURE 45 Piézométrie de la nappe du Dévonien moyen, monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon..... 86
FIGURE 46 Coupe schématique du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite..... 88

| | | Pages |
|---|---|---|
| FIGURE 47 | Variations piézométriques dans le synclinorium d'Avesnes-sur-Helpe | 89 |
| FIGURE 48 | Carte piézométrique du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite | 91 |
| FIGURE 49 | Variations piézométriques dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite | 93 |
| FIGURE 50 | Exemple d'ajustement d'une fonction exponentielle sur le tarissement d'un puits | 97 |
| FIGURE 51 | Carte des transmissivités et diffusivités | 99 |
| FIGURE 52 | Exemple de courbe de remontée d'un pompage d'essai | 100 |
| FIGURE 53 | Evolution du débit spécifique le long du ruisseau La Tarsy | 102 |
| FIGURE 54 | Relation entre la surface de la nappe carbonifère et le ruisseau La Tarsy | 103 |
| FIGURE 55 | Relation entre la surface de la nappe et La Solre et le Quiévelon | 105 |
| FIGURE 56 | Carte du chimisme des eaux souterraines | 112 |
| FIGURE 57 | Dendrogramme des variables principales des analyses d'eau souterraine | 115 |
| FIGURE 58 | Projection sur le plan 1-2 des variables et échantillons caractéristiques des analyses d'eau souterraine analysés par l'Analyse des Composantes Principales | 117 |
| FIGURE 59 | Projection sur le plan 1-3 des variables et échantillons caractéristiques des analyses d'eau souterraine analysés par l'Analyse des Composantes Principales | 117 |
| FIGURE 60 | Comportement et contribution de la silice dans l'axe factoriel 1 | 118 |
| FIGURE 61 | Diagramme Schoeller-Berkaloff du groupe I | 120 |
| FIGURE 62 | Diagramme Schoeller-Berkaloff du groupe II | 121 |
| FIGURE 63 | Diagramme Schoeller-Berkaloff du groupe $III_1$ | 122 |
| FIGURE 64 | Diagramme Schoeller-Berkaloff du groupe $III_2$ | 123 |
| FIGURE 65 | Diagramme Schoeller-Berkaloff du groupe $III_3$ | 124 |
| FIGURE 66 | Rôle de la silice et du magnésium dans la contribution de l'axe factoriel 3 | 125 |
| FIGURE 67 | Rôle du calcium, magnésium et aluminium dans la contribution de l'axe factoriel 3 de l'Analyse des Composantes Principales | 126 |
| FIGURE 68 | Evolution de la résistivité des eaux souterraines | 127 |
| FIGURE 69 | Carte du chimisme des eaux de surface | 128 |
| FIGURE 70 | Relations entre les principales variables corrélées des analyses d'eau de surface | 136 |
| FIGURE 71 | Evolution de la résistivité des eaux superficielles | 138 |
| FIGURE 72 | Carte des pollutions et préventions de la pollution | 140 |
| FIGURE 73 | Exemple de chaînes de traitement de l'eau | 142 |
| FIGURE 74 | Prélèvements des différents secteurs d'activité | 150 |
| FIGURE 75 | Consommation d'eau des industries et collectivités locales | 150 |
| FIGURE 76 | Evolution des prélèvements dans les 6 aquifères principaux | 152 |
| FIGURE 77 | Carte des prélèvements d'eau souterraine | 153 |
| FIGURE 78 | Carte des consommations d'eau par habitant | 155 |
| FIGURE 79 | Carte des consommations d'eau réelles par habitant | 156 |
| FIGURE 80 | Carte des consommations d'eau par unité de surface | 156 |
| FIGURE 81 | Evolution intermensuelle des prélèvements d'eau | 158 |
| FIGURE 82 | Evolution annuelle de la consommation d'eau | 159 |
| FIGURE 83 | Analyse des consommations annuelles d'eau par ACO | 160 |
| FIGURE 84 | Carte de la distribution de l'eau dans l'Avesnois | 167 |
| FIGURE 85 | Carte du réseau de distribution de l'eau | 169 |
| FIGURE 86 | Coût du mètre linéaire foré et tout équipé | 173 |
| FIGURE 87 | Coût des pompes et moteurs | 175 |
| FIGURE 88 | Carte du coût de l'eau (prélèvement + traitement) | 187 |

## LISTE DES TABLEAUX


| | | Pages |
|---|---|---|
| TABLEAU 1 | Exemple de sortie listing du programme ROSE | 29 |
| TABLEAU 2 | Exemple de sortie listing du programme SCHOELLER | 30 |
| TABLEAU 3 | Exemple de sortie listing du programme PRELEV | 33 |
| TABLEAU 4 | Principaux étages rencontrés dans l'Avesnois | 39 |
| TABLEAU 5 | Lithologie du Dinantien | 41 |
| TABLEAU 6 | Lithologie du Frasnien et du Givétien | 42 |
| TABLEAU 7 | Résultats des méthodes de Thiessen et de la moyenne arithmétique | 47 |
| TABLEAU 8 | Calcul des ETP et ETR | 52 |
| TABLEAU 9 | Débits et coefficients d'écoulement souterrains calculés d'après les différentes méthodes d'analyse des hydrogrammes | 62 |
| TABLEAU 10 | Calcul des déficits d'écoulement | 65 |
| TABLEAU 11 | Corrélation entre pluies et débits intermensuels | 70 |
| TABLEAU 12 | Corrélation entre pluies et débits mensuels | 71 |
| TABLEAU 13 | Corrélation entre excédents et débits mensuels | 72 |
| TABLEAU 14 | Corrélations et gain d'information entre les phases 2 et 3 | 73 |
| TABLEAU 15 | Comparaison des corrélations des différentes phases | 76 |
| TABLEAU 16 | Prélèvements et niveaux piézométriques des 2 forages à Jeumont | 85 |
| TABLEAU 17 | Paramètres hydrauliques calculés pour l'ensemble des piézomètres de l'Avesnois | 98 |
| TABLEAU 18 | Quantification des pertes (ruisseaux d'Eclaibes et d'Ecuelin) | 104 |
| TABLEAU 19 | Matrice de corrélation des variables principales des analyses d'eau souterraine | 114 |
| TABLEAU 20 | Localisations des échantillonnages d'eau superficielle | 127 |
| TABLEAU 21 | Potabilité de certains éléments non polluants | 130 |
| TABLEAU 22 | Valeurs limites des différentes classes d'utilisation d'eau | 130 |
| TABLEAU 23 | Potabilité de certains éléments polluants | 131 |
| TABLEAU 24 | Indices de potabilité des eaux de la Sambre à Assevent et Pont-sur-Sambre | 132 |
| TABLEAU 25 | Indices de potabilité et statistiques primaires d'eaux de surface à Ferrière-la-Petite. | 133 |
| TABLEAU 26 | Comparaison entre les moyennes et coefficients de variation des eaux souterraines et superficielles | 135 |
| TABLEAU 27 | Matrice des coefficients dc corrélation des variables principales des analyses d'eau superficielle | 136 |
| TABLEAU 28 | Caractéristiques des stations d'épuration des collectivités locales | 144 |
| TABLEAU 29 | Caractéristiques des stations d'épuration des industries alimentaires | 145 |
| TABLEAU 30 | Evolution des pourcentages d'exhaures dans les principaux aquifères | 152 |
| TABLEAU 31 | Les prélèvements et leurs caractéristiques | 154 |
| TABLEAU 32 | Les communes et leurs distributeurs d'eau | 168 |
| TABLEAU 33 | Détails des coûts de l'eau des forages | 186 |


## LISTE DES ANNEXES


ANNEXE I Listing du programme BILAN.

ANNEXE $II_1$ Listing du programme ANACHIM.

ANNEXE $II_2$ Sortie sur imprimante du programme ANACHIM.

ANNEXE III Listing du programme ROSE.

ANNEXE IV Listing du programme SCHOELLER.

ANNEXE V Listing du programme PRELEV.

ANNEXE VI Détails du programme DIFFU.

ANNEXE VII Méthodes de traitement des eaux.

## Chapitre I

# Généralités

Lors de toute étude portant sur la gestion régionale des ressources en eau, l'hydrogéologue a le choix entre de nombreuses méthodes d'investigation n'ayant pas toutes la même efficacité. Jusqu'à présent, il regroupait d'abord toutes les informations existant sur telle partie de l'étude puis les traitait ; il répétait ensuite cette opération pour chaque partie restante. Cette technique a l'inconvénient d'aboutir à plusieurs collectes de mêmes données à des moments différents. Lorsque la région a fait l'objet d'une étude préalable, l'acquisition de certaines données est également répétée.

Un stockage permettant la consultation des informations est ainsi envisagé grâce aux outils informatiques actuellement disponibles. Rapidement, cette notion de stockage implique des besoins de restitution sélective et de traitement automatique des données, mettant en oeuvre des programmes différents qui sélectionnent et traitent les informations stockées.

Quelle que soit la discipline envisagée, les données sont subdivisées en trois groupes. Le premier réunit les informations permanentes (à un paramètre précis correspond une seule et même valeur : telle la transmissivité en hydrogéologie) ; le second comprend les historiques, c'est-à-dire les données évoluant seulement dans le temps (exhaures d'un forage, par exemple) ; le troisième regroupe les informations économiques. Ces dernières valeurs fluctuent fortement dans le temps (taux d'intérêts, coûts des matériels, etc...) et dans l'espace (les coûts sont différents d'une région à l'autre ou même d'une société à l'autre). De plus, elles sont sujettes à des fluctuations dues à la concurrence : ce sont des informations modifiables par l'homme. Les deux premiers groupes posent évidemment peu de difficultés de stockage. Par contre, les données économiques peuvent difficilement être mémorisées car elles ne sont valables que pour un laps de temps souvent très court, rarement identique pour deux études.

Dans le but d'étudier, indépendamment de l'aspect précédent, la partie française du Bassin de la Sambre, nous avons réalisé une base de données permettant le stockage et l'interrogation des renseignements hydrogéologiques (groupes 1 et 2 entrevus précédemment).

De la même manière, une chaîne de programmes de traitements automatique en aval de cette base est élaborée. Ces programmes ont permis, dans de nombreux cas, d'accéder rapidement aux données voulues et, notamment en géochimie, de traiter automatiquement et rapidement une masse importante d'informations.

Puis après cette étude de la meilleure utilisation des données hydrogéologique nous examinons les aspects et contraintes quantitatives afin de satisfaire au mieux le demandeur. Dans cette quête, une importance assez grande est réservée aux ressou ces en eau superficielle. Nous cherchons ensuite à connaître la qualité de ces eaux

L'étude de l'évolution temporelle et spatiale de la demande et du prélèvement déterminent l'aspect socio-économique de ce mémoire. Les contraintes économiques sont ensuite discutées en insistant particulièrement sur les facteurs influençant le coût de l'eau.

L'étude hydrogéologique générale a donc porté sur le Bassin de la Sambre compc des régions naturelles de l'Avesnois et de la Thiérache (figure 1). Ses limites son définies à l'Est par la frontière franco-belge, au Nord par les villes de Jeumont e Maubeuge, à l'Ouest approximativement par les villes de Berlaimont et Catillon-sur-Sambre. Enfin, au Sud, par les villes de Fourmies et du Nouvion-en-Thiérache. Les feuilles topographiques intéressées sont Le Quesnoy (29), Maubeuge (30), Avesnes (3 Trélon (39), Guise (50) et Hirson (51) (au 1/50 000).

Le Bassin de la Sambre forme transition entre les plaines crayeuses, à l'Ouest et le massif ardennais, plus élevé, dont il constitue le contre-fort occidental. Cette situation détermine un climat et une hydrographie caractéristiques. La géolog du sous-sol influence également l'hydrographie. C'est une région d'agriculture et d'élevage. L'industrialisation s'est surtout développée le long de la Sambre canali qui permet les échanges entre la Belgique et le Bassin Parisien.

L'étude hydrogéologique de la région a déjà été amorcée grâce au plan E.R.H. (Evaluation des Ressources Hydrauliques) par Clément (1970), Caudron et Clément (1972), Richard et Tirat (1973) et Philippart (1976). On trouvera une bibliographie détaillée concernant l'Avesnois à la fin de cet ouvrage.

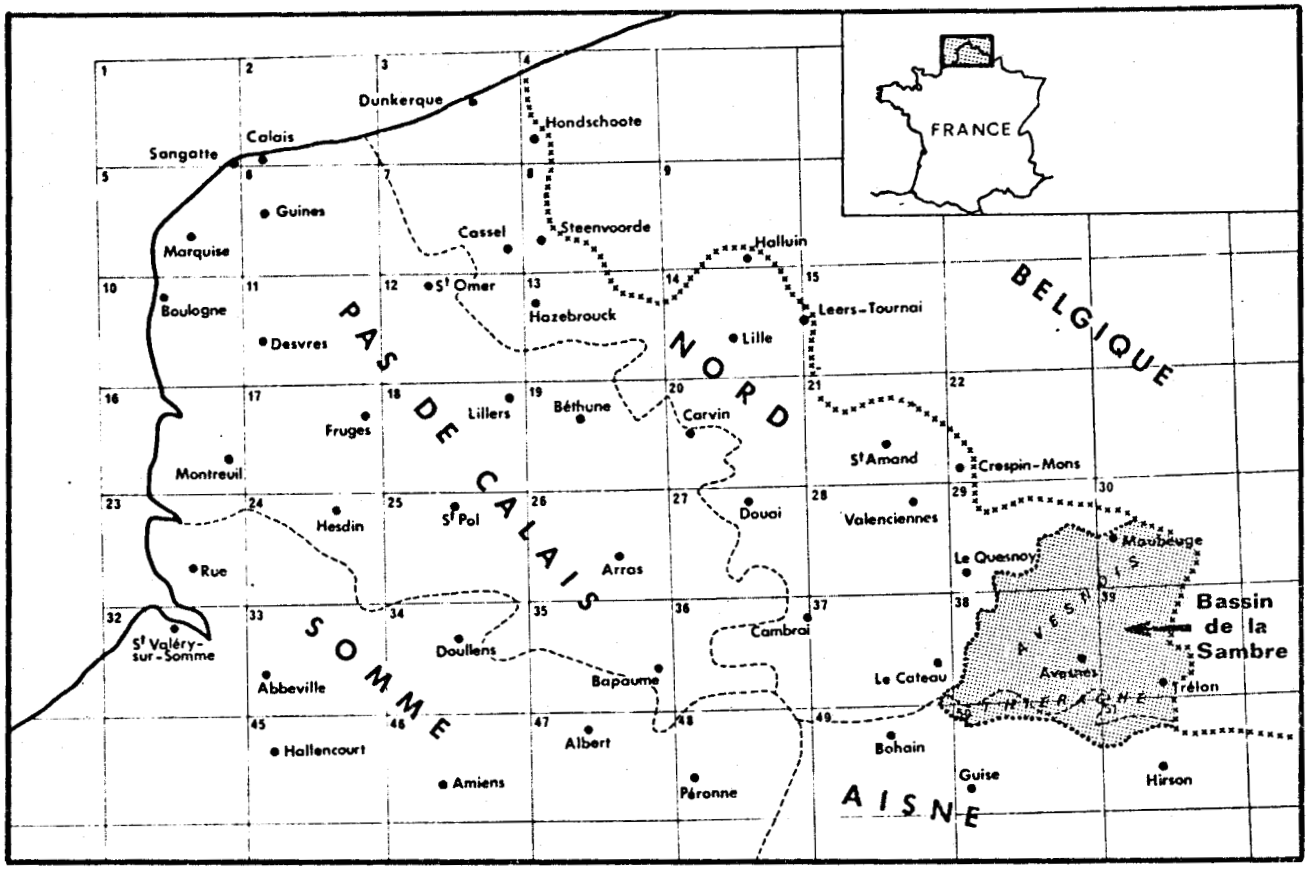



Figure 1 : Situation géographique du secteur étudié.

BUS LILLE

## Chapitre II

# Base de données et chaîne de traitement

21 - Conservation des données acquises

Toute étude peut être considérée comme la somme de deux opérations distinctes :

- l'acquisition des données et leur mise à jour dans le cas où elles sont partiellement répertoriées,
- le traitement des informations.

Ces deux opérations, pour être rentables doivent être rapides et fiables. L'utilisation de l'informatique permet de concilier ces impératifs. Les programmes autorisant le traitement devront être :

- simples d'emploi, autant pour une personne initiée à l'informatique que pour une personne non informée,
- rapides : de cette rapidité dépendront le coût du traitement qui doit être minimum, et la disponibilité du temps gagné par l'opérateur pour effectuer des taches que la machine ne peut faire,
- performantes : toute question posée par l'utilisateur doit être résolue dans la mesure où le problème formulé peut être traité par l'informatique.

Ces considérations sur le stockage et le traitement des données nous ont conduit à mettre au point une base de données (BDD) à l'échelon REGIONAL ainsi que certains maillons d'une chaîne de traitement de ces données (CTD). Cette BDD ne prétend en aucun cas rivaliser ou concurencer la banque de données du sous-sol (BSS)* qui centralise d'une manière infiniment plus précise toutes les données hydrogéologiques et géotechniques relatives à l'ensemble de la France. En effet, il a fallu 30 années-ingénieur (BNIST, 1976) pour monter l'ensemble de cette banque. La présente BDD, que nous appellerons HYDRE (compte-tenu de son caractère hydrogéologique et de son système de ramifications) est d'un emploi simple et d'un encombrement faible. Ces deux qualités sont dues en majeure partie au fait que toutes les informations correspondant aux nombreux détails des coupes stratigraphiques et lithologiques des forages n'apparaissent pas. Seules les données couramment utilisées en hydrogéologie, en hydrologie et en climatologie (bilans) sont développées.

Les notions de bases et de banques de données sont assez confuses ; elles diffèrent ou se chevauchent suivant les différents auteurs. Martin (1977) définit la base de données comme un ensemble de renseignements sur un sujet répondant aux critères d'exhaustivité et de non redondance des informations et de structure de la base. On retrouve la même définition pour les banques de données dans le rapport de Simon Nora (1978). Il semble en fait (Jouffroy et Létang, 1977) que les banques de données aient un caractère plus général englobant certains traitements.

---

* mise au point par le B.R.G.M.

La BSS mise au point par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières permet le stockage des informations hydrogéologiques, géotechniques, géologiques et minières. Ce stockage est basé sur les anciens dossiers de données existant avant l'informatisation. Un dossier complet comprend (groupe de travail BSS, 1972):

- un dossier enveloppe dont les renseignements sont mémorisables,
- une ou plusieurs annexes mémorisables,
- un ou plusieurs intercalaires, non mémorisables.

Ces dossiers, améliorés, contiennent de nombreux mots-clés interrogeables par la chaîne GEISHA** ou, plus récemment par un"fichier technique eau" (Leprêtre et Derec,1978) mis au point pour permettre à l'utilisateur d'accéder aux informations désirées. En hydrogéologie, l'interrogation peut se faire notamment sur:

- l'indice national de l'ouvrage,
- la désignation de l'ouvrage,
- le numéro de département,
- le numéro de la commune,
- le numéro de la feuille au 1/50 000,
- les coordonnées de l'ouvrage,
- etc...

Les Agences Financières de Bassin ont, pour leur part, mis au point un stockage d'informations basé sur la configuration d'un fichier-carte (80 caractères). Ce fichier, très spécialisé puisque cantonné seulement au chimisme des eaux superficielles, n'en est qu'à ses débuts. Au départ, il était composé de deux fichiers séquentiels sur bande magnétique. Le premier (fichier localisation) comprenait les informations à caractère permanent, concernant la description du point de prélèvement. Le second (fichier qualité) était constitué des analyses physico-chimiques et bactériologiques et des observations relatives aux conditions de prélèvement. Les modifications apportées par Thellier (1977) transforment ce mode de stockage en une BDD apportant une diminution importante des temps de traîtement (dus à un système d'adressage parallèle) ainsi qu'une sélection et une impression au choix de l'utilisateur.

## 2.2. La base de données HYDRE

HYDRE s'est inspirée de certains aspects de ces précédents travaux afin de constituer une entité servant à l'ensemble de l'hydrogéologie. Sa réalisation a pris forme petit à petit suite aux problèmes soulevés lors de l'étude générale de l'Avesnois. Elle n'a donc pas été construite à partir d'un projet global mais a été

---

* Banque du Sous-Sol

** Gestion et Exploitation des Informations par un Système Hiérarchique Arboresce

bâtie pour porter remède aux difficultés rencontrées. HYDRE possède la structure d'un fichier-carte (longueur du bloc = 80 caractères) compte-tenu du type rudimentaire de saisie des données (cartes perforées). Une saisie plus directe telle que celle réalisée sur mini ou micro-ordinateurs ou sur console en "on line" avec l'ordinateur contenant la BDD, aurait certainement changé la configuration de HYDRE. Cette saisie directe aurait également permis d'éviter certains défauts inhérents à une longueur de bloc aussi réduite. La structure générale est la suivante:

00 FICHIER DE DEFINITION DE L'OUVRAGE
10 FICHIER DE LA GEOLOGIE DE L'OUVRAGE
20 FICHIER DE L'AQUIFERE ET DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES
30 FICHIER DES PRELEVEMENTS D'EAU
40 FICHIER DES CONSOMMATIONS D'EAU
50 FICHIER DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES
60 FICHIER DES RELEVES PLUVIOMETRIQUES
70 FICHIER DES RELEVES DEBITMETRIQUES
80 FICHIER DES RELEVES THERMOMETRIQUES
90 FICHIER DES RELEVES PIEZOMETRIQUES

Cette configuration permet une extension des informations dans le cas ou une "carte" est insuffisante. Ce sera par exemple le cas du fichier analyses physico-chimiques et bactériologiques. Dans ce cas, le nombre très important de variables mesurées ne permet pas de tout disposer sur un seul enregistrement. Pour chaque nouvel enregistrement, une unité sera ajoutée au code du fichier correspondant. Dans l'exemple précédent, on aura donc:

50 1ère carte des analyses,
51 2ème carte,
etc..., au-delà de 59, on pourra continuer en utilisant des lettres: 5A puis 5B, etc... On aura donc la possibilité de 36 sous-fichiers pour définir une structure primaire (fichier). Le code de chaque enregistrement permet une sélection très rapide des informations qui ne répondent pas à la question posée ou qui ne sont pas nécessaires au traitement du problème en cours. Les programmes composant la chaîne de traîtement utiliseront ces codes pour trier les blocs.

### 2.2.1. - Fichier "Définition de l'ouvrage" (code 00)

Sur la première carte (00) se retrouve la plupart des informations générales de l'ouvrage. Ces informations comportent l'identification de l'ouvrage et permettent:

la localisation géographique (coordonnées Lambert X, Y et Z, la commune, le département et le bassin), le code d'identification du point (forage, puits, carrière, prélévement d'échantillons d'eau,etc...), l'identification du point donnée par le propriétaire, le propriétaire et le code numérique fourni par l'Agence de Bassin. Tout ouvrage mentionné dans un des quelconques fichiers (01 à 09) doit automatiquement être décrit par l'enregistrement 00 afin que l'on puisse reporter ce point sur une carte ou que l'on connaisse son propriétaire,etc...

Le formatage de l'enregistrement 00 est représenté par la figure 2. Les interrogations primaire (0 de la première colonne) et secondaire (0 de la seconde colonne) ayant été faites, l'interrogation tertiaire se portera sur:

- l'indice de l'ouvrage (et/ou),
- les coordonnées Lambert (et/ou),
- le département (et) la commune (et/ou),
- le bassin (et/ou),
- le code d'identification (et/ou),
- le code numérique Agence de Bassin.

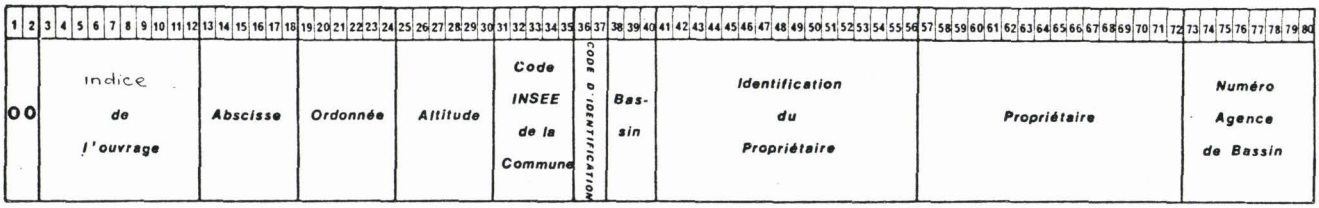



Figure 2 : Formatage de la carte 00 : définition de l'ouvrage.

Les codes d'identification de l'ouvrage ont été choisis comme suit:

| | | | |
|---|---|---|---|
| SØ | = SONDAGE | ST | = STATION THERMOMETRIQUE |
| PU | = PUITS | SD | = STATION DEBITMETRIQUE |
| SJ | = STATION DE JAUGEAGE | SE | = SOURCE EQUIPEE |
| FØ | = FORAGE | RI | = CAPTAGE DANS UNE RIVIERE |
| CA | = CARRIERE | LA | = CAPTAGE DANS UN LAC |
| SP | = STATION PLUVIOMETRIQUE | PR | = ECHANTILLONNAGE D'EAU DE RIVIERE |

### 2.2.2. Fichier "Géologie de l'ouvrage" (code 10)

Hormis la cartographie du toit du Primaire, nous n'avons pas utilisé de renseignements géologiques en quantité suffisante pour traiter le formatage de ce fichi

### 2.2.3. Fichier "Aquifère et caractéristiques hydrodynamiques" (code 20)

Dans la plupart des études hydrogéoloqiques,cinq paramètres principaux sont demandés:

- l'aquifère capté,
- la transmissivité,
- le coefficient d'emmagasinement,
- la diffusivité,
- le débit spécifique.

Le dernier paramètre n'est pas toujours connu directement, deux autres facteurs (débit soutiré et rabattement correspondant) sont également mentionnés. La figure 3 donne le formatage adopté pour ce fichier.

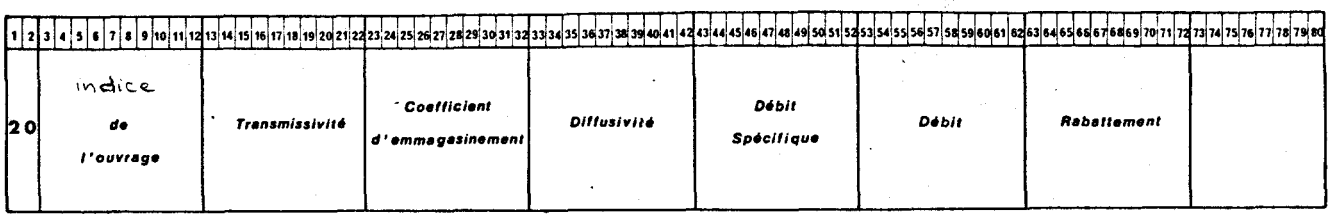



Figure 3 : Formatage de la carte 20 : caractéristiques dynamiques de l'aquifère.

### 2.2.4. Fichier "Prélèvements d'eau" (code 30)

Comme pour tous les fichiers, les deux premières colonnes sont occupées par le code de la carte, ici 30, puis dans les 10 colonnes suivantes se retrouve l'identification de l'ouvrage. L'année du prélèvement est donnée par deux chiffres (colonnes 13 et 14), correspondant à l'année réelle moins 1900 (exemple 78 pour 1978). Les prélèvements mensuels (exprimés en dizaines de mètres cubes) sont representés entre les colonnes 15 et 74 (5 colonnes par valeur). Le total annuel des prélèvements, nécessaires lorsque les prélèvements mensuels ne sont pas connus, se situe entre les colonnes 75 et 80 (valeur exprimée également en dizaines de mètres cubes). La figure 4 représente le format de cette carte.

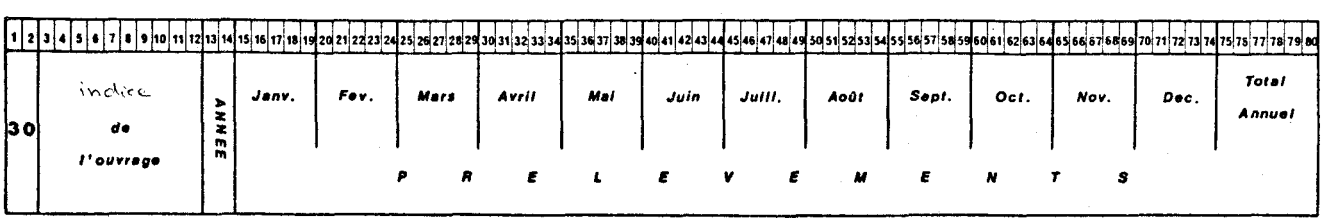



Figure 4 : Formatage de la carte 30 : prélèvements d'eau.

### 2.2.5. Fichier "Consommations d'eau" (code 40)

Par consommations d'eau, on entend bien sûr la quantité d'eau annuelle qu'utilise une commune (cf. chapitre V). Dans la présente étude, ces consommations n'ont pas été introduites dans HYDRE compte-tenu de la mauvaise définition des données des buts à atteindre. Une ouverture d'utilisation est donc laissée pour permettre une redéfinition ou une modification de cette carte. Les données définies concernent l'année, la commune, la superficie, la population, le nombre de logements et la consommation de l'année considérée (figure 5).

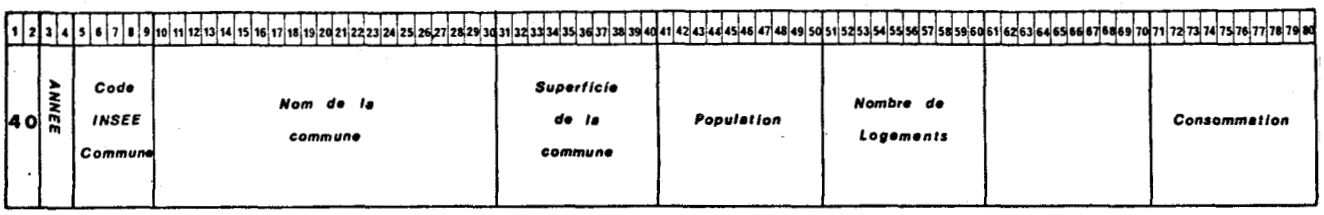



Figure 5 : Formatage de la carte 40 : consommations d'eau.

### 2.2.6. Fichier "Analyses physico-chimiques et bactériologiques" (code

Il n'est pas possible d'indiquer toutes les variables d'une analyse d'eau sur une même carte. Aussi avons-nous dû scinder les informations en plusieurs enregistrements de la manière suivante:

a) carte 50 ( figure 6)

Hormis le code de la carte dans les colonnes 1 et 2, l'indice de l'ouvrage où s'est effectuée l'analyse (colonnes 3 à 12), la carte comporte la date (colonnes 13 à 18) et 12 variables analysées (sur 5 caractères) : paramètres mesurés sur le terrain (résistivité,pH,Eh,$CO_2$, température de l'eau, température de l'air et oxygène dissous). Viennent ensuite, suivant le même format, les variables correspondant à une analyse de type II*: TH, TAC, oxydabilité, $NH_4^+$ et

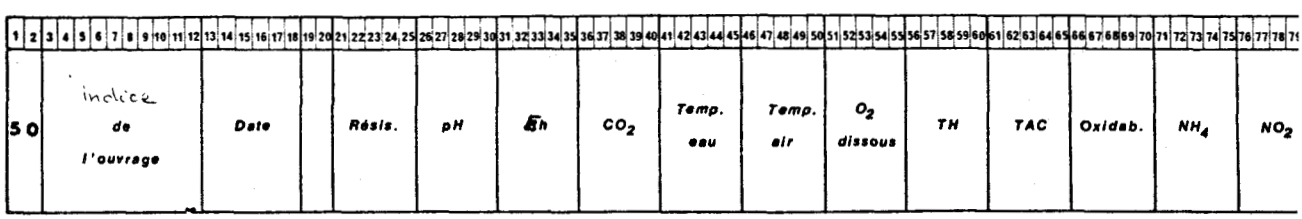



Figure 6 : Formatage de la carte 50 : analyse physico-chimique.

---

* Défini par l'arrêté ministériel du 15 mars 1962.

b) - carte 51 (figure 7 )

On retrouve les indications générales correspondant à la carte 50 (identification de l'analyse, date de l'analyse). Viennent ensuite, avec le même format que la carte précédente, les variables restantes d'une analyse de type II ($NO_3^-$, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Fe^{++}$ et résidu sec) puis une partie des variables correspondant à une analyse de type I* ($SiO_2$, $Ca^{++}$, $Mg^{++}$, $K^+$, $Mn^{++}$ et $Al^{+++}$).

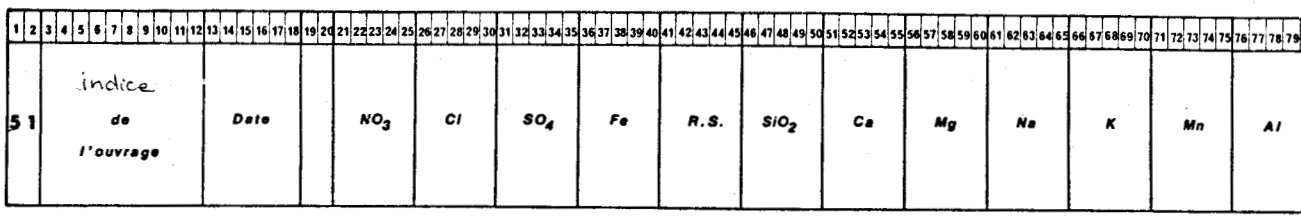



Figure 7 : Formatage de la carte 51 : analyse physico-chimique.

c) - carte 52 (figure 8 )

Les indications jusqu'à la colonne 20 sont toujours identiques aux deux cartes précédentes. Les autres variables d'une analyse de type I sont présentes : $PO_4^{--}$, $CO_3^{--}$, $HCO_3^-$, $Pb^{++}$, $As^{++}$, $Cr^{6+}$, $CN^+$, $F^-$, $Cu^{++}$, $Zn^{++}$, phénols ainsi que le MES (matières en suspension).

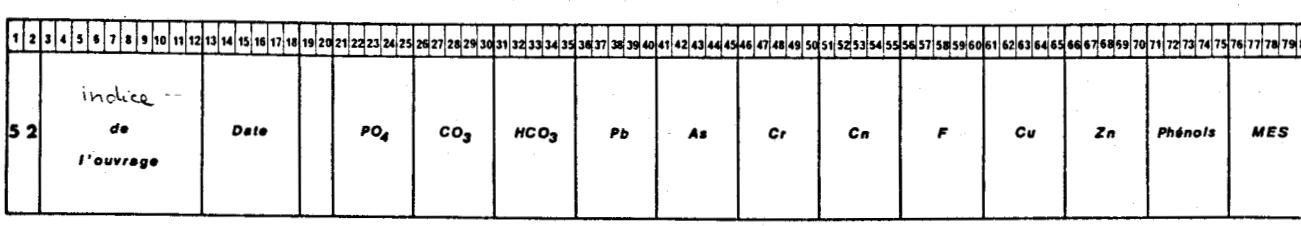



Figure 8 : Formatage de la carte 52 : analyse physico-chimique.

d) carte 53 (figure 9 )

Les colonnes 3 à 20 sont toujours identiques. La suite des variables utilisées pour le contrôle des eaux de surface ou des eaux usées est donnée par la $DBO_5$, DCO, azote total, $H_2S$ (colonnes 21 à 40). Dans les colonnes suivantes se trouvent les

---

* Défini par l'arrêté ministériel du 15 mars 1962

résultats des analyses bactériologiques :

B24 = nombre de colonies après 24 heures à 37°C,
B72 = nombre de colonies après 72 heures à 20°C,
COLIF = nombre de bactéries coliformes,
ECOLI = nombre d'Escherichia Coli,
SF = nombre de streptocoques fécaux,
CSR = nombre de Clostridium sulfito-réducteurs,
BF = nombre de bactériophages fécaux.

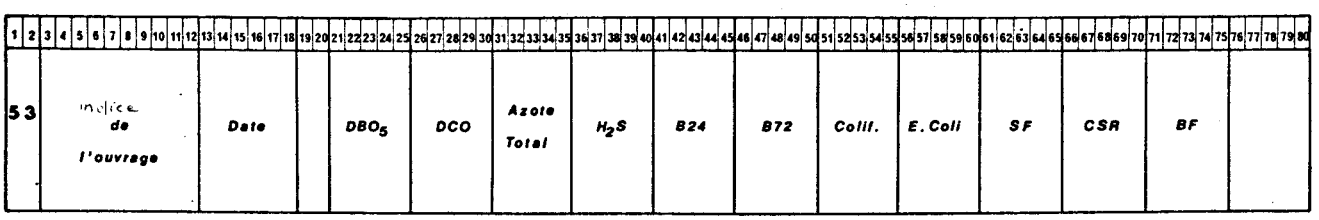



Figure 9 : Formatage de la carte 53 : analyse physico-chimique.

L'absence de mesure ou de valeur pour telle ou telle variable est caractérisée par un "blanc" dans les cinq cases imparties. La présence d'au moins une mesure nécessite les quatres cartes 50, 51, 52 et 53.

### 2.2.7. - Fichier "Relevés pluviométriques" (code 60)

La configuration de la carte est la suivante: (figure 10)

- colonnes 1 et 2 : code de la carte = 60,
- colonnes 3 à 12 : identification de la station pluviométrique,
- colonnes 13 et 14 : année,
- colonnes 15 à 74 : 12 valeurs mensuelles de pluviométrie en dizième de millimètres d'eau,
- colonnes 75 à 80 : valeur annuelle.

Il faut noter que le numéro d'identification peut être, dans ce fichier, le n d'une commune en abrégé ou un code dans le cas où l'indice national n'existe pas Pour eviter des orthographes différentes lors des sélections (et des cartes qui sont donc jamais retrouvées), il est préférable d'affecter un indice national à station.

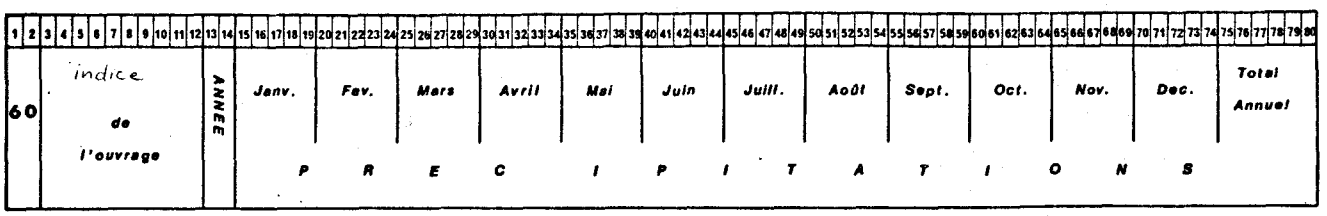



Figure 10 : Formatage de la carte 60 : pluviométrie mensuelle et annuelle.

### 2.2.8. - Fichier "Relevés_débitmètriques" (code 70)

Cette carte, excepté son code est en tout point identique à la précédente. Seules les unités changent (centaines de mètres cubes). Le formatage est donc similaire à celui de la figure 10.

### 2.2.9. - Fichier "Relevés_thermométriques" (code 80)

Le format utilisé est également celui des cartes 30, 60, et 70. L'unité des mesures est ici en dizièmes de degré Celcius.

### 2.2.10. - Fichier "Relevés_piézométriques" (code 90)

Aucune utilisation d'un tel fichier n'a été faite. Il est évident que la contrainte d'une dimension de bloc de 80 caractères alourdit fortement ce fichier. En effet, si l'on veut reporter les valeurs journalières, il nous faut 31 cartes successives plus une première carte indiquant l'année (il n'est pas nécessaire de répéter l'année sur chacune des cartes suivantes). La gestion du fichier piézométrique (mise à jour, rapidité d'obtention) est très bien menée à la BSS, aussi avons nous utilisé cette structure qui, même à l'échelon régional, est beaucoup plus apte à répondre au problème posé.

## 23 - Interrogation et sélection des informations dans HYDRE

Les informations contenues dans HYDRE sont classées hiérarchiquement. On y accède en deux étapes : une première sélection est faite sur la code de chaque enregistrement (image-carte) ; la seconde porte sur la position de l'information dans cet enregistrement. Ainsi, pour connaître les concentrations en potassium des analyses physico-chimiques répertoriées (cf. figure 7), il suffit de sélectionner les enregistrements dont le code (colonnes 1 et 2) est égal à "51" puis choisir la 13ème information (correspondant au potassium) dans l'ensemble de ces enregistrements. Le choix répond alors à la simple question 5113?.De la même manière, la question "6009?" demandera la valeur des précipitations du mois de juillet (cf. figure 10).

Mais, dans bien des cas, toutes les informations d'un même type ne sont pas demandées ; des conditions de restriction sont alors ajoutées telles que : connaît les prélèvements d'eau des années 1970 à 1975 pour tel ou tels forages ainsi que leurs propriétaires.

Supposons par exemple que l'on souhaite éditer l'indice national, les coordonnées Lambert et l'exhaure annuelle de tous les forages compris entre les coordonné 723.00 et 833.00 pour X et 220.00 et 250.00 pour Y, pendant les années 1970, 1971 1975 ; on ne s'intéresse qu'aux débits supérieurs à 200 000 m3/an. Les questions posées à HYDRE seront donc les suivantes :

```
 1)    0001
 2)    0002
 3)    0003
 4)    3015
 5)    stop
 6)    0002    >723.00  ET <833.00
 7)    0003    >220.00  ET <250.00
 8)    3002      (1970 ET 1971) ET (1975)
 9)    3015    >= 200000.00
10)    0006      FØ
```

Les instructions 1 à 4 correspondent à l'édition (0001 = indice national ; 0002 = abscisse du point ; 0003 = ordonnée du point ; 3015 = prélèvement annuel). Les instructions 6 à 10 correspondent aux conditions.

## 24 - Chaîne de traitement des données

Une chaîne de traitement est un ensemble de programmes sur ordinateur permettant l'exploitation optimale de données. En hydrogéologie, les problèmes les plus fréquemment rencontrés se classent de la manière suivante (Derec, 1973) :

- présentation des données,
- hydroclimatologie,
- hydrométrie,
- hydrodynamique,
- hydrochimie,
- économie.

A cela nous pouvons ajouter l'hydrogéologie "socio-économique" que nous définissons comme la partie de l'hydrogéologie qui traite des prélèvements et des consommations d'eau, autant dans le temps que dans l'espace. Dans chacune de ces sections peut intervenir une chaîne de traitement de données (CDT) afin de faciliter l'étude hydrogéologique. De nombreux programmes formant des maillons de ces CTD ont déjà été réalisés par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Derec, 1973) et par l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Groupe Hydrologie ; 1970).

Nous nous attacherons à décrire certains maillons créés ou modifiés au cours du présent mémoire en insistant principalement sur la chaîne hydrochimie qui a été particulièrement travaillée. Brièvement les programmes seront les suivants :

- hydroclimatologie = BILAN
- hydrochimie = ANACHIM
  = ROSE
  = SCHOELLER
- hydrogéologie "socio-économique" = PRELEV

### 241 - Présentation des données spatiales

La cartographie automatique en géologie souffre de l'absence d'un contexte géographique pouvant situer et visualiser ces informations par rapport aux principaux traits régionaux. Pour pallier cet inconvénient, un fichier annexe a été créé de manière à situer les informations cartographiées par rapport aux limites

des bassins versants importants, aux limites frontalières et départementales ains qu'aux rivières principales et secondaires. Les données entrées dans ce fichier sont de deux sortes et correspondent aux coordonnées Lambert des différents point L'accès à une table de digitalisation (Communauté Urbaine de Lille) a permis de constituer ce fichier de façon assez rapide. Le Nord de la France a ainsi été "digitalisé" avec une précision assez grossière tandis que l'Avesnois l'a été d'une manière beaucoup plus précise (figure 11). Le programme ROSE, décrit succinctement au paragraphe 2432, utilisera ce fichier et les subroutines de traitement pour réaliser le fond géographique. Une sélection au niveau des cartes de contrôle permet de préciser le secteur voulu et l'échelle souhaitée. Au stade actuel de l'avancement du fichier, il est également possible de ne reporter sur l graphe qu'une partie des informations contenues dans le fichier. On pourra de la sorte ressortir simplement les informations correspondant aux bassins versants et rivières principales, ou simplement aux rivières (principales et secondaire), etc

Le fichier n'a pas été structuré. Le temps d'accès à l'information n'est don pas optimisé. Pour plus de renseignements à ce sujet, le lecteur peut se reporter aux travaux effectués par Cao (1978).

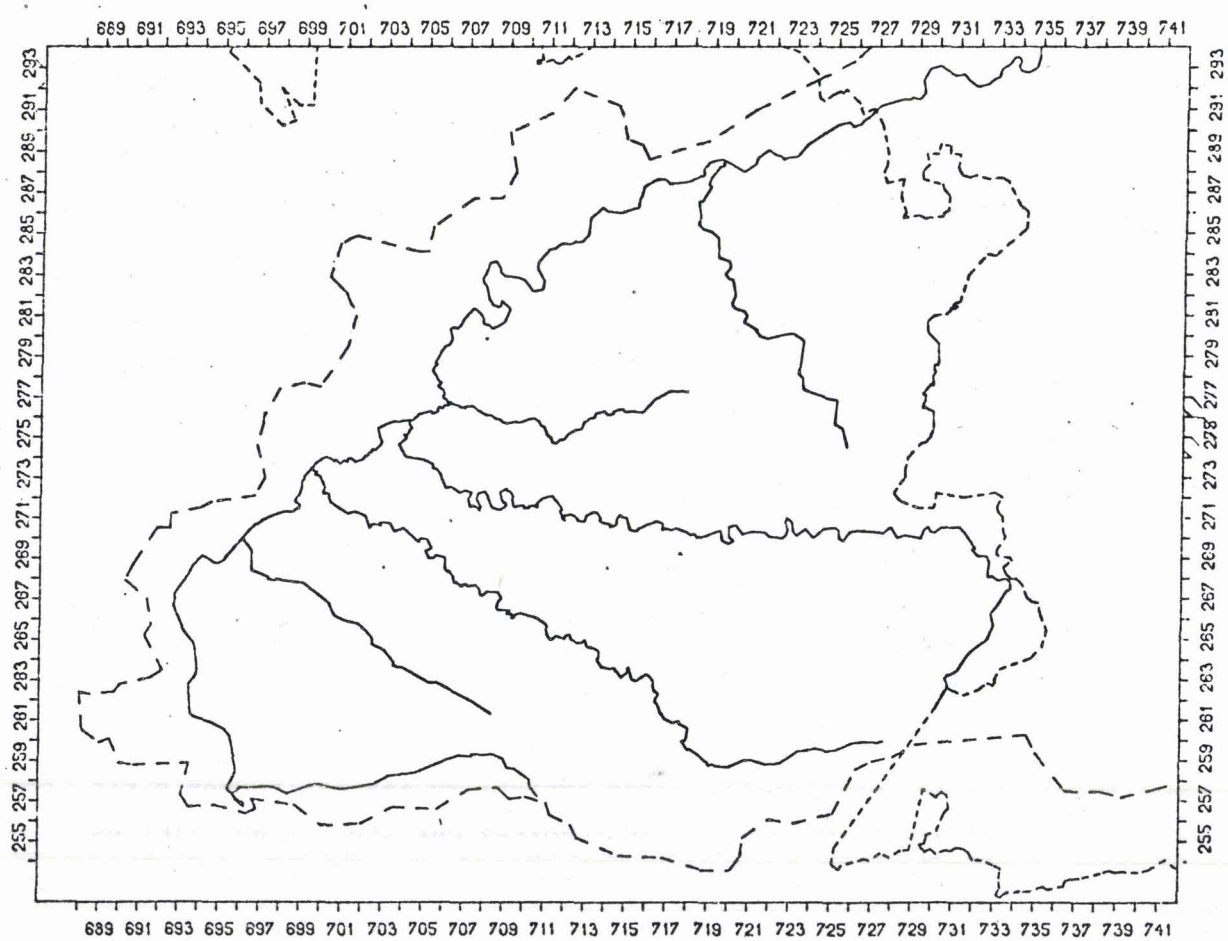



Figure 11 : Trame géographique de l'Avesnois exécutée par ordinateur.

## 242 - Chaîne "Hydroclimatologie-Hydrologie sensu-stricto

En hydroclimatologie il importe de connaître la répartition des pluies (et/ou de la lame d'eau utile) sur le secteur étudié. Cette notion nous permettra d'aborder des sujets portant sur la définition des modèles hydrodynamiques des nappes souterraines ou sur les phénomènes d'infiltration. C'est l'aspect spatial.

Par ailleurs, il est nécessaire, pour connaître l'état actuel d'un aquifère, de se reporter dans le passé pour déterminer les variations de la pluviosité ou des excédents d'eau. C'est l'aspect temporel.

La cartographie des données spatiales n'a pas reçue jusqu'ici de solution satisfaisante. Seul un programme réalisé par O. Bouillin (Derec, 1973) permet de cartographier la pluie journalière sur un bassin. Ce programme utilisant la décomposition de l'espace par les polygones de Thiessen exige une entrée de la surface de ces polygones qui doit donc être calculée par l'utilisateur. Ce problème de cartographie automatique a été abordé depuis longtemps dans toutes les disciplines de la géologie (Davis, 1973). Entre chacune des valeurs, l'interpolation peut être polynomiale (Crain, 1970) ou se faire par des fonctions splines (De Boor, 1962), par la méthode des moindres carrés, par des méthodes de pondération en fonction de la distance (Diskin, 1970) ou encore selon des méthodes probabilistiques (Matheron, 1969 ; Delhomme, 1976).

Dans le domaine temporel, il s'agit de connaître les variations des excédents d'eau (accessoirement les précipitations) en fonction du temps. On effectue donc le bilan hydrologique défini par l'équation :

$$P = ET + I + R \pm \Delta RFU \qquad (1)$$

où : P = précipitations,
ET = évapotranspiration,
R = ruissellement superficiel,
I = infiltration,
ΔRFU = variation de la réserve facilement utilisable.

Le programme BILAN, établi sur la base d'un ancien programme (Cauchetier et Ramon, 1972) a été conçu pour permettre :

a) - une simplification des données introduites,
b) - deux sorties (simplifiée ou complète) au choix,
d) - deux sorties graphiques en option, soit sur table traçante, soit sur listing.

Décrit dans un précédent rapport (Delporte, 1978), le programme ne sera pas commenté. Les figures 12 et 13 donnent respectivement la sortie simplifiée des résultats (excédents mensuels, annuels, intermensuels et interannuels) et la sortie graphique sur table traçante. Le listing du programme est répertorié en annexe I.

BILANS HYDROLOGIQUES MENSUEL ET INTERMENSUEL
CALCULES PAR LA METHODE DE THORNTHWAITE.

LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES PROVIENNENT DE LA STATION PLUVIOMETRIQUE DE MARBILLES
LES DONNEES THERMOMETRIQUES PROVIENNENT DE LA STATION THERMOMETRIQUE DE MARBILLES
POUR LA PERIODE S ECHELONNANT DE JANVIER 1963 A DECEMBRE 1976

LA RFU INITIALE A ETE ETABLIE A 100 MILLIMETRES
TANDIS QUE LA RFU MAXIMALE A 100.0

DONNEES THERMOMETRIQUES (EN DEGRES)

| | JANV | FEV. | MARS | AVRI | MAI | JUIN | JUIL | AOUT | SEPT | OCT. | NOV. | DEC. | MOYENNE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANNEE 1963 | -5.0 | -2.6 | 5.7 | 8.7 | 10.3 | 14.9 | 16.4 | 14.5 | 13.8 | 9.8 | 8.1 | -1.9 | 7.7 |
| ANNEE 1964 | .1 | 4.3 | 3.3 | 8.3 | 13.5 | 14.7 | 17.1 | 16.1 | 14.3 | 7.5 | 6.6 | 1.9 | 9.0 |
| ANNEE 1965 | 2.0 | .1 | 5.0 | 7.3 | 11.5 | 14.7 | 14.7 | 15.3 | 12.4 | 10.5 | 4.5 | 4.8 | 8.6 |
| ANNEE 1966 | .4 | 6.7 | 4.6 | 8.8 | 12.1 | 15.2 | 14.9 | 15.2 | 13.4 | 11.4 | 3.8 | 4.0 | 9.2 |
| ANNEE 1967 | 2.3 | 5.2 | 6.4 | 6.8 | 11.7 | 14.2 | 17.9 | 16.2 | 14.0 | 12.3 | 4.2 | 2.4 | 9.5 |
| ANNEE 1968 | 1.5 | 1.9 | 5.9 | 8.6 | 10.3 | 14.1 | 16.0 | 16.5 | 13.5 | 12.1 | 4.9 | .3 | 8.8 |
| ANNEE 1969 | 4.6 | .8 | 4.9 | 7.4 | 12.3 | 14.2 | 17.7 | 16.5 | 13.5 | 10.6 | 5.8 | -1.1 | 8.9 |
| ANNEE 1970 | 2.6 | 2.3 | 2.1 | 6.0 | 11.7 | 16.7 | 15.4 | 16.4 | 14.0 | 9.8 | 7.5 | 1.5 | 8.8 |
| ANNEE 1971 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 7.9 | 13.8 | 13.3 | 17.4 | 16.4 | 12.7 | 9.2 | 3.8 | 4.0 | 8.7 |
| ANNEE 1972 | 1.9 | 3.7 | 6.2 | 7.4 | 10.9 | 12.8 | 16.8 | 15.3 | 11.2 | 7.9 | 5.2 | 3.2 | 8.5 |
| ANNEE 1973 | 2.7 | 2.4 | 3.9 | 5.9 | 11.8 | 15.7 | 16.2 | 18.1 | 9.9 | 8.5 | 4.5 | 2.3 | 8.5 |
| ANNEE 1974 | 5.4 | 4.0 | 5.6 | 8.7 | 10.6 | 14.8 | 15.4 | 15.1 | 12.6 | 6.7 | 6.1 | 5.7 | 9.2 |
| ANNEE 1975 | 5.8 | 3.5 | 4.2 | 7.3 | 10.2 | 14.1 | 17.4 | 19.6 | 14.6 | 8.4 | 8.7 | .9 | 9.6 |
| ANNEE 1976 | 2.0 | 3.1 | 2.5 | 7.8 | 12.4 | 17.6 | 19.3 | 18.8 | 13.1 | 11.2 | 5.8 | .9 | 9.6 |
| MOYENNE | 2.0 | 2.7 | 4.5 | 7.6 | 11.6 | 14.8 | 16.6 | 16.4 | 13.1 | 9.7 | 5.7 | 2.1 | 8.9 |

DONNEES PLUVIOMETRIQUES (EN MILLIMETRES D EAU)

| | JANV | FEV. | MARS | AVRI | MAI | JUIN | JUIL | AOUT | SEPT | OCT. | NOV. | DEC. | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANNEE 1963 | 24.0 | 23.0 | 64.0 | 51.0 | 82.0 | 133.0 | 36.0 | 154.0 | 33.0 | 63.0 | 142.0 | 10.0 | 815.0 |
| ANNEE 1964 | 5.0 | 27.0 | 65.0 | 36.4 | 53.0 | 81.0 | 30.0 | 58.0 | 80.0 | 108.0 | 80.0 | 50.0 | 673.0 |
| ANNEE 1965 | 112.0 | 32.0 | 54.0 | 83.0 | 103.0 | 62.0 | 83.0 | 90.0 | 111.0 | 27.0 | 95.0 | 206.0 | 1058.0 |
| ANNEE 1966 | 47.0 | 66.0 | 59.0 | 99.0 | 45.0 | 92.0 | 116.0 | 72.0 | 25.0 | 107.0 | 99.0 | 170.0 | 997.0 |
| ANNEE 1967 | 34.0 | 82.0 | 59.0 | 51.0 | 81.0 | 7.0 | 53.0 | 56.0 | 82.0 | 70.0 | 77.0 | 100.0 | 756.0 |
| ANNEE 1968 | 92.0 | 76.0 | 64.0 | 30.0 | 57.0 | 68.0 | 153.0 | 77.0 | 173.0 | 37.0 | 31.0 | 59.0 | 917.0 |
| ANNEE 1969 | 44.0 | 35.0 | 67.0 | 82.0 | 95.0 | 165.0 | 45.0 | 165.0 | 9.0 | 7.0 | 115.0 | 51.0 | 884.0 |
| ANNEE 1970 | 50.0 | 135.0 | 94.0 | 108.0 | 33.0 | 27.0 | 60.0 | 85.0 | 31.0 | 72.0 | 93.0 | 28.0 | 813.0 |
| ANNEE 1971 | 72.0 | 57.0 | 36.0 | 29.0 | 81.0 | 109.0 | 67.0 | 60.0 | 32.0 | 14.0 | 147.0 | 22.0 | 723.0 |
| ANNEE 1972 | 74.0 | 33.0 | 64.0 | 103.0 | 89.0 | 60.0 | 76.0 | 88.0 | 66.0 | 30.0 | 105.0 | 27.0 | 826.0 |
| ANNEE 1973 | 30.0 | 73.0 | 11.0 | 61.0 | 83.0 | 60.0 | 74.0 | 23.0 | 92.0 | 45.0 | 47.0 | 58.0 | 657.0 |
| ANNEE 1974 | 91.0 | 72.0 | 61.0 | 17.3 | 21.0 | 60.0 | 64.0 | 53.0 | 158.0 | 166.0 | 123.0 | 93.0 | 979.0 |
| ANNEE 1975 | 87.0 | 12.0 | 100.0 | 65.0 | 59.0 | 51.0 | 37.0 | 105.0 | 99.0 | 27.0 | 140.0 | 28.0 | 810.0 |
| ANNEE 1976 | 48.0 | 54.0 | 41.0 | 15.0 | 39.0 | 4.0 | 70.0 | 23.0 | 54.0 | 70.0 | 84.0 | 42.0 | 544.0 |
| MOYENNE | 58.8 | 55.9 | 60.1 | 59.3 | 65.6 | 69.9 | 68.9 | 79.2 | 74.6 | 60.2 | 98.4 | 67.4 | 818.4 |

EXCEDENTS ( EN MILLIMETRES D EAU)

| | JANV | FEV. | MARS | AVRI | MAI | JUIN | JUIL | AOUT | SEPT | OCT. | NOV. | DEC. | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANNEE 1963 | 24.0 | 23.0 | 35.0 | .9 | 13.3 | 31.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 74.0 | 10.0 | 211.2 |
| ANNEE 1964 | 4.6 | 12.7 | 48.4 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 36.1 | 43.9 | 143.6 |
| ANNEE 1965 | 105.2 | 31.7 | 29.6 | 42.3 | 26.4 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 32.6 | 188.7 | 456.2 |
| ANNEE 1966 | 45.4 | 47.0 | 35.6 | 48.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 41.1 | 156.7 | 367.6 |
| ANNEE 1967 | 32.2 | 62.5 | 27.8 | 12.9 | 3.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 79.9 | 217.1 |
| ANNEE 1968 | 87.2 | 69.3 | 35.3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 65.1 | .0 | .0 | 52.5 | 309.4 |
| ANNEE 1969 | 31.7 | 32.1 | 42.7 | 39.8 | 14.0 | 69.1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 45.0 | 274.4 |
| ANNEE 1970 | 43.9 | 126.7 | 83.8 | 74.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 14.8 | 343.2 |
| ANNEE 1971 | 65.3 | 49.5 | 27.7 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 32.5 | 8.2 | 183.1 |
| ANNEE 1972 | 72.1 | 24.9 | 33.5 | 61.6 | 16.3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 4.2 | 15.1 | 227.8 |
| ANNEE 1973 | 19.4 | 63.0 | .0 | 13.9 | 1.2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 23.3 | 120.8 |
| ANNEE 1974 | 73.9 | 56.5 | 32.9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 125.1 | 99.6 | 73.3 | 458.3 |
| ANNEE 1975 | 65.8 | .0 | 77.3 | 22.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 24.0 | 25.5 | 215.1 |
| ANNEE 1976 | 41.5 | 43.1 | 27.5 | .3 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | 26.9 | 139.0 |
| MOYENNE | 50.3 | 45.2 | 38.4 | 22.6 | 5.4 | 7.1 | .0 | .0 | 4.6 | 8.9 | 24.6 | 54.6 | 261.7 |

VALEURS INTERMENSUELLES ET INTERANNUELLES (EN MM.)
DU BILAN HYDROLOGIQUE DE L ANNEE MOYENNE 1963-1976

| | JANV | FEV. | MARS | AVRI | MAI | JUIN | JUIL | AOUT | SEPT | OCT. | NOV. | DEC. | MOYENN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T | 2.37 | 2.86 | 4.49 | 7.64 | 11.65 | 14.79 | 16.61 | 16.43 | 13.07 | 9.71 | 5.68 | 2.28 | 8.9 |
| P | 58.79 | 55.93 | 60.07 | 59.29 | 65.57 | 69.93 | 68.86 | 79.21 | 74.64 | 60.21 | 98.43 | 67.43 | 68.2 |
| RFU | 100.00 | 99.95 | 99.25 | 92.57 | 75.63 | 47.62 | 23.76 | 24.20 | 31.72 | 42.03 | 94.88 | 100.00 | |
| ETP | 8.48 | 10.83 | 22.36 | 43.36 | 77.14 | 100.56 | 114.09 | 102.78 | 68.92 | 44.04 | 21.00 | 7.76 | 51.7 |
| ETR | 8.48 | 10.83 | 22.36 | 43.36 | 77.14 | 90.80 | 92.72 | 78.77 | 62.47 | 40.97 | 21.00 | 7.76 | 46.3 |
| EXCEDENT | 50.31 | 45.20 | 38.36 | 22.60 | 5.37 | 7.15 | .00 | .00 | 4.65 | 8.94 | 24.58 | 54.55 | 21.8 |

BUS LILLE

Figure 12 Sortie simplifiée des résultats du programme BILAN

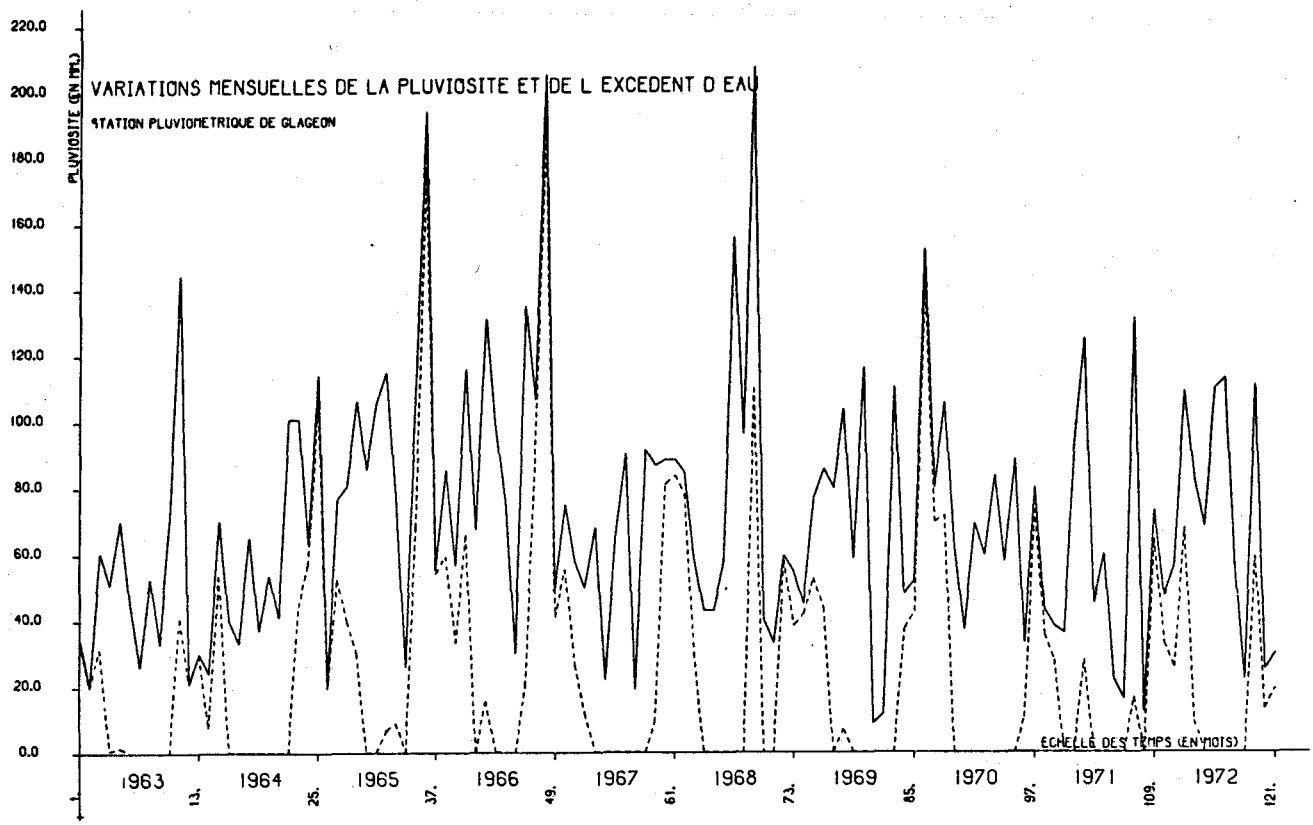



Figure 13 : Sortie sur table traçante des résultats du programme BILAN.

### 243 - Chaîne "Hydrochimie"

C'est en hydrochimie que l'automatisation des processus de traitement peut être la plus importante. A ce jour, les programmes existants ne permettaient de traiter qu'une seule des nombreuses ramifications de cette discipline. Aussi devait-on jongler avec les données (qu'elles soient sur cartes perforées ou sur fichiers-disque ou bande magnétique) pour les relancer chaque fois derrière un programme à vocation différente. On s'est donc efforcé de minimiser les manipulations de programmes et de tendre vers le programme unique (hypothétique) capable de traiter les données du début à la fin. On s'est aussi attaché à combler les maillons manquant à la chaîne générale. Le programme unique ne peut, en fait, exister pour plusieurs raisons :

a) - certains traitements ne sont possibles qu'après un dégrossissage préalable des données. Ainsi les diagrammes de Schoeller-Berkaloff, ou de Piper, ne peuvent être utilisés qu'après une étude du comportement général des données. Dans ce cas, on ne fera pas le graphique de toutes les données mais simplement de celles caractérisant la moyenne ou les extrêmes. On peut toutefois se demander

si un traitement automatique peut choisir des échantillons représentatifs de ces valeurs statistiques,

b) - d'autres traitements (tels que les analyses statistiques multivariables nécessitent des données très cohérentes. Les matrices initiales doivent être complètes puisque, comme pour l'analyse des correspondances, on se base sur la notion de profil. Une variable manquante dans une analyse physico-chimique supprime donc soit l'échantillon, soit la variable,

c) - enfin, on ne désire pas toujours exploiter toutes les données dans tel ou tel domaine. L'utilisateur scinde alors les analyses après un pré-traitement.

Nous allons maintenant commenter les programmes réalisés au cours de ce mémoire et expérimentés avec les données acquises dans l'Avesnois.

### 2431 - Programme ANACHIM : Traitement primaire des données

Les résultats des analyses d'eaux fournis par les différents laboratoires sont donnés en milligrammes par litre (mg/l) ou autres unités pour les pH, TH, résistivité, températures, analyses bactériologiques, etc... C'est donc en partant de ces unités que seront traitées les analyses d'eau dans le programme ANACHIM. Les données introduites sont extrêmement simples et correspondent à un formatage quelconque. Celui qui a été utilisé pour l'étude de l'Avesnois est bien entendu celui décrit dans la carte 50 de HYDRE (paragraphe 226).

Le programme ANACHIM permet de ressortir les analyses physico-chimiques dans l'ordre désiré, mais aussi avec les variables désirées. On peut, par exemple éviter la sortie des éléments majeurs et des caractères physiques. Il permet également de disposer les variables d'une analyse dans un ordre déterminé par l'utilisateur.

La sortie générale consiste (annexe II ) en une série de tableaux :

a) - de 1 à 4 tableaux de 12 éléments d'une analyse d'eau. Ces tableaux, où se retrouvent tous les échantillons, correspondent aux variables exprimées en mg/l ou autres unités,

b) - 1 tableau donnant les indices de potabilité par rapport au résidu sec, TH, $Cl^{-}$, $SO_4^{--}$, $Mg^{++}$, $NO_3^{-}$, $NO_2^{-}$, $Fe^{++}$, $Mn^{++}$ et $NH_4^{+}$, l'indice de potabilité général, la classe de potabilité, l'indice de saturation par rapport à la calcite et enfin, le faciès chimique de l'eau. Tous les échantillons ne se retrouvent plus obligatoirement dans ce tableau. Seuls ceux qui possèdent au moins une valeur y sont mentionnés. Les autres sont éjectés automatiquement,

c) - 1 tableau des principaux rapports ioniques, calculés avec les valeurs en milliéquivalents par litre de chacune des variables. Ces différents rapports sont : $SO_4^{--}/Cl^-$, $NO_3^-/SO_4^{--}$, $NO_3^-/Cl^-$, $Ca^{++}/Na^+ + K^+$, $Na^+/K^+$, $Na^+ + K^+/Cl^- + SO_4^{--}$, $Na^+ + K^+$/anions, $Ca^{++}/Mg^{++}$,

d) - 1 tableau récapitulant les pourcentages des quantités en réaction (R%) des principaux ions. C'est donc le complément du tableau précédent. La somme des ions y est égale à 100.

Chacun de ces tableaux possède à sa partie inférieure les paramètres statistiques pour chaque variable : moyenne, écart-type, valeurs maximale et minimale et nombre de valeurs.

f) - un ou deux tableaux correspondant à la matrice des coefficients de corrélation des variables. Cette matrice a la particularité de pouvoir être calculé dans tous les cas, même lorsque des valeurs manquent aux variables ou échantillons de la matrice initiale de données. Un algorithme nouveau a donc dû être développé pour permettre d'effectuer les corrélations entre couple de variables (X, Y) tout en éliminant $X_i$, si, $Y_i$ n'est pas exprimé.

Le programme ANACHIM (listing en annexe II) permet non seulement de lister des analyses d'eau, de transformer les composants majeurs en milliéquivalents/litre et de calculer la balance ionique, mais encore de connaître :

- la potabilité de l'eau par rapport à divers composants de cette eau. L'indice de potabilité* étant calculé par rapport aux normes françaises données à une eau potable, on pourra savoir rapidement quel est ou quels sont le ou les composants en excés (les indices de potabilités seront alors supérieurs à l'unité);
- la classe de potabilité de cette eau, c'est-à-dire l'utilisation qui peut en être faite. L'eau de la classe 6 pourra par exemple être utilisée par n'importe quel type d'industrie alors qu'une eau de classe 1, non potable, ne peut être utilisée que par les brasseries ou les tanneries ;
- la saturation par rapport à la calcite : cette variable est très importante pour les distributeurs d'eau : de sa valeur dépendra le degré d'entartrage des conduites et des chaudières;
- le faciès chimique de l'eau qui définit par exemple si une eau est bicarbonatée-calcique ou chlorurée sodique;
- les pourcentages de composés en réaction des principaux ions. L'importance de tel ou tel ion se remarque d'autant plus que toutes les valeurs sont calculées en pourcentage;

---

* Indice de potabilité $= \frac{\text{valeur mesurée}}{\text{norme légale}}$

- les corrélations entre chacune des variables de l'analyse d'eau. La matrice des coefficients de corrélation acquiert une grande importance lorsque l'on aborde les traitements statistiques multivariables comme l'analyse des correspondances;

- les statistiques pour chaque variable (moyenne, écart-type, etc..) ; ces statistiques permettent ainsi de définir un échantillon moyen, représentatif de l'ensemble de ceux qui ont été analysés.

Mais le programme pourrait être plus performant s'il pouvait répondre aux problèmes suivants :

- un classement automatique par numéro de feuille, de huitième de feuille, puis d'après le numéro dans le huitième de feuille et enfin par la date,

- branchement direct sur un programme de cartographie automatique (voir programme ROSE ci-après). Pour cela, il faut que les coordonnées Lambert des point de prélèvement d'eau soient répertoriées (dans le fichier-carte 00 par exemple) et qu'une procédure d'élimination des points trop rapprochés les uns des autres soit créée,

- sélection de trois échantillons de la population totale des analyses d'eau. Ces trois échantillons caractéristiques des deux extrêmes et de la moyenne seraient représentés par 3 diagrammes de Schoeller-Berkaloff sur table traçante,

- traçage automatique (sur table traçante également) des diagrammes gausso-logarithmiques des principaux constituants de l'analyse d'eau. Ce programme, en cours de réalisation au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service géologique régional Nord-Pas-de-Calais pourrait être rattaché prochainement à ANACHIM,

- branchement sur l'actuel programme PIPER (Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Orléans) qui trace les diagrammes du même nom. Dans le cas où une table traçante n'est pas disponible, il y a alors possibilité d'effectuer le diagramme de PIPER sur le listing.

Naturellement, des options permettraient à l'utilisateur d'éviter telle ou telle représentation selon sa convenance.

### 2432 - Programme ROSE : Représentation spatiale des données

La cartographie du chimisme des eaux souterraines ou superficielles peut être réalisée à l'aide de plusieurs procédés (Margat et Monition, 1967). Le premier d'entre eux permet la représentation ponctuelle des principaux ions grâce à des échelles verticales. Bien que très facile à réaliser automatiquement, elle a le désavantage de manquer de clarté dans la définition des mécanismes essentiels régissant le chimisme du secteur cartographié. La seconde représentation est

celle de Tickel (Margat et Monition, 1967). Elle consiste à représenter le chimisme d'une eau par un diagramme en étoile formé de segments de droites concourants faisant entre eux , des angles égaux. Chaque segment est proportionnel à la concentration de chaque ion. Une forme polygonale quelque peu différente du diagramme de Tickel améliore celui-ci en joignant simplement les extrémités de chaque segment pour définir une surface. Une légère modification des éléments de l'analyse d'eau ou de leur position sur la "rosette" nous a conduit à la configuration adoptée dans le programme ROSE.

Un troisième type de représentation du chimisme est donné par les courbes d'isoteneur. Si l'on souhaite donner autant de renseignements que dans les diagrammes précédents, il est nécessaire de tracer 8 cartes. Ceci est prohibitif et ne constitue pas un document de synthèse. De plus, il faut signaler que ce type de document ne peut s'adresser (dans le cas d'eau souterraine) qu'à la même nappe. Les hétérogénéités dans cette nappe doivent donc être faibles. Autant dire que dans des cas complexes comme l'Avesnois où se retrouvent plusieurs nappes souvent bien individualisées, on arrive à une multitude de cartes ne comportant chacune que quelques informations qu'il est difficile ensuite de replacer dans le contexte général.

La figure 14 montre la disposition des éléments d'une analyse chimique sur une rosette. Cette forme de représentation convient donc très bien pour indiquer le faciès chimique : la rosette accusera un allongement net suivant la direction des ions prédominants (cf. le faciès bicarbonaté calcique sur la figure 15). Elle mettra également en évidence les pollutions, soit par la distortion de l'ensemble, soit par une protubérance au niveau des indicateurs de pollution (nitrates, chlorures et sulfates).

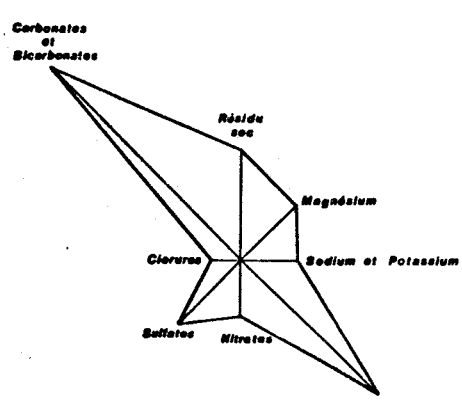



Figure 14 : Disposition des éléments de l'analyse physico-chimique sur la rosette.

Les entrées du programme ROSE sont les suivantes : sur la première carte est l le titre, sur la seconde sont lus les coordonnées de positionnement (abscisses et or données minimales et maximales), le facteur d'échelle des rosettes sachant qu'une unité de ce facteur équivaut à une unité me/l, l'échelle de la carte, le numéro du fichier des données, un code relatif aux données (en mg/l ou en me/l), un code demar dant ou non le traçage du fond topographique (voir paragraphe 231) et enfin le numér du fichier géographique.

La troisième carte permet à l'utilisateur de choisir les composantes de ce fond topographique ; il a ainsi le choix d'indiquer ou non sur la carte :

- les bassins versants des principales rivières,
- les principales rivières,
- les rivières secondaires,
- les limites frontalières et départementales,
- les points limites des cartes au 1/50 000,
- les points limites des huitièmes de feuilles.

Sur la quatrième carte sont lues dans le fichier de données les positions respectives des éléments RS, Mg, Na, K, Ca, Cl, $SO_4$, $NO_3$, $HCO_3$ et $CO_3$. Il est évident que dans le cas où l'on utilise exclusivement le formatage proposé dans HYDRE (paragraphe 226) cette carte et la suivante (cinquième carte, format des données) sont inutiles.

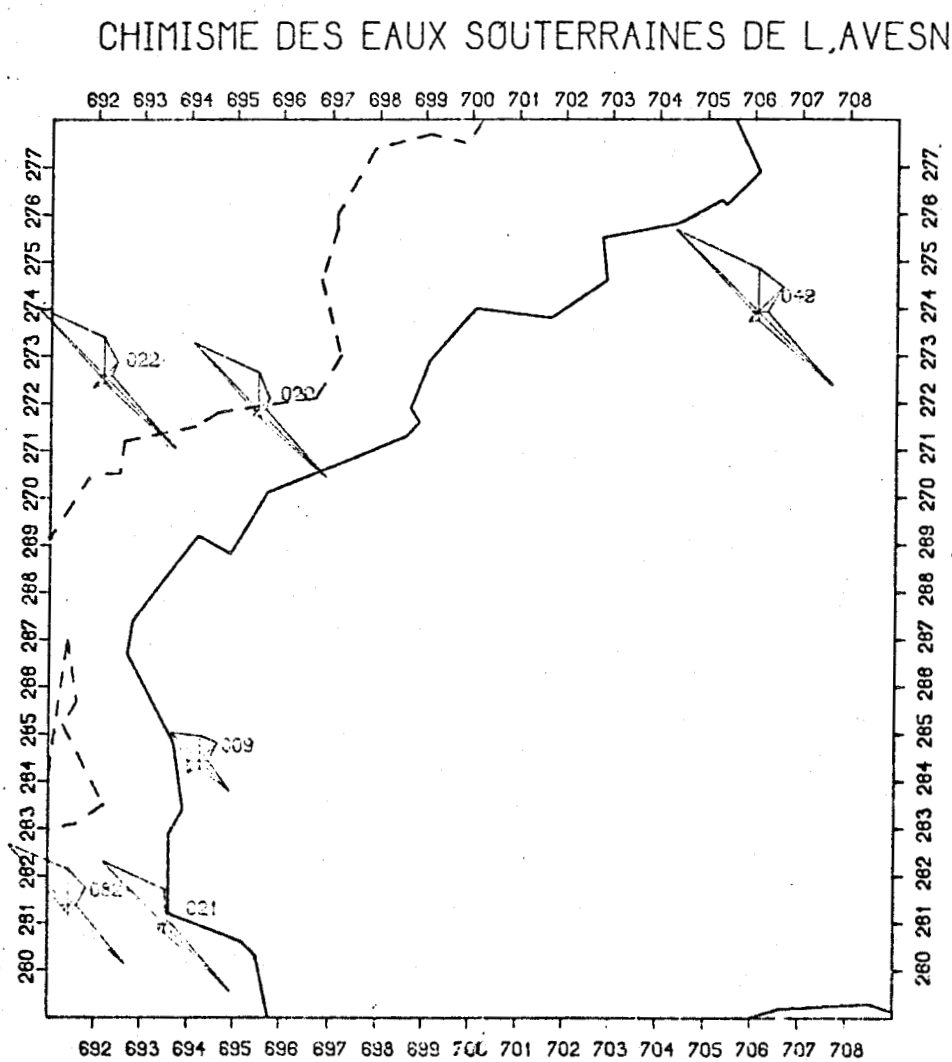



Figure 15 : Extrait de carte corr pondant à région de Landrecies (sortie gr phique du programme ROSE).

La sixième carte définit le code permettant de reconnaître l'absence pour chaque paramètre. Ce code permet au programme de tester chaque analyse d'eau et d'éliminer celle où au moins une valeur est manquante.

Dans le cas où le fichier des analyses chimiques est sur cartes, le programme lit ensuite ces cartes ; sinon il lit les données sur fichier-disque ou bande magnétique.

Les sorties du programme sont de deux sortes :

- une sortie graphique sur table traçante (figures 15 et 56) : elle comporte un fond topographique (ou non), un positionnement par rapport aux coordonnées Lambert, un titre, et, pour chaque analyse d'eau, une rosette avec l'indice national dans le huitième correspondant à celle-ci,
- une sortie sur listing récapitulant les données entrées ainsi que les valeurs en milliéquivalents par litre des analyses chimiques (tableau 1).

PROGRAMME BDROSE : REPRESENTATION DES FACIES CHIMIQUES DES EAUX

TITRE = CORBEHEM CHIMISME DES EAUX AUTOUR D'UNE DECHARGE DE GOUDRONS

649.400 289.400 651.000 290.400 .10 105 1 0 0 6426

Position de RS MG NA K CA CL SO4 NO3 HCO3 CO3
4 6 7 8 5 2 3 1 10 9

Format des données = (2F10,3,7,A3,A2,A3,17,35X,3F5,2,5S,F5,2,7,20X,4F5,2,15X2F5,2,7)

Valeurs correspondant au manque d'information :

| RS | MG | NA | K | CA | CL | SO4 | NO3 | HCO3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 999,99 | 999.99 | 999.99 | 999.99 | 999.99 | 999.99 | 999.99 | 999.99 | 999.99 |

| Abscisse | Ordonnée | Identification | Date | RS | MG | NA+K | CA | NO3 | SO4 | CL | HCO3+CO3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 649.888 | 289.904 | 27 6 053 | 281077 | 1831.00 | 3.70 | 9.97 | 14.47 | 1.97 | 23.59 | .29 | 2.80 |
| 649.929 | 289.864 | 27 6 056 | 281077 | 595.00 | 1.48 | 1.01 | 7.39 | .99 | .29 | .00 | 8.95 |
| 649.832 | 290.028 | 27 6 065 | 281077 | 8251.00 | 19.98 | 4.58 | 35.93 | .90 | 49.26 | .00 | 7.72 |
| 649.784 | 290.092 | 27 6 066 | 281077 | 630.00 | 1.97 | 1.62 | 7.48 | 1.04 | 3.83 | .75 | 5.39 |
| 649.742 | 290.136 | 27 6 067 | 281077 | 622.00 | 1.48 | 1.31 | 7.09 | 1.41 | 4.21 | 1.02 | .36 |
| 649.964 | 290.064 | 27 6 068 | 281077 | 670.00 | 2.06 | .94 | 8.48 | 1.10 | 4.33 | .97 | 5.39 |
| 650.074 | 290.107 | 27 6 069 | 281077 | 536.00 | 1.56 | .93 | 5.89 | 1.24 | 3.25 | .39 | 5.61 |
| 650.026 | 289.724 | 27 6 070 | 281077 | 536.00 | 1.89 | .80 | 6.29 | 1.24 | 3.21 | .39 | 4.36 |
| 650.128 | 289.510 | 27 6 071 | 281077 | 698.00 | 1.56 | 1.74 | 8.18 | .18 | 5.41 | 1.18 | 3.61 |
| 649.742 | 289.822 | 27 6 072 | 281077 | 556.00 | 1.56 | .98 | 6.59 | 1.07 | 2.54 | .68 | 5.11 |
| 649.695 | 290.020 | 27 6 073 | 281077 | 758.00 | 1.97 | 1.36 | 9.28 | 2.20 | 1.98 | 1.51 | 7.52 |
| 649.873 | 290.226 | 27 6 074 | 281077 | 577.00 | 2.14 | .93 | 6.69 | 1.27 | 3.52 | .91 | 3.92 |

Tableau 1 : Exemple de sortie listing du programme ROSE.

## 2433 - Programme SCHOELLER ou diagramme "d'analyse d'eau" (annexe I

Le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, décrit amplement par Margat (1963) et Castany (1963, 1968), permet de comparer les chimismes d'eaux de provenances diffé rentes. Cette comparaison est très rapide et peut s'avérer d'un intérêt important à condition que les graduations soient indiquées sur les différentes échelles loga rithmiques. Un programme permettant de tracer ce diagramme existe au B.R.G.M. mais dans une version simplifiée (n'indiquant ni les échelles, ni les graduations) et n fonctionnant pas sur la table du C.I.T.I.* (Lille). Pour ces deux raisons, nous av jugé bon de créer un nouveau programme ayant la possibilité d'être branché sur le programme ANACHIM (paragraphe 2331).

La lecture s'effectue sur cartes ou sur disque pour le fichier de données, e sur cartes seulement pour les informations annexes. La première carte lue recueil deux informations : le numéro du fichier des données ainsi qu'un code permettant traçage des échelles. Une fois encore le fichier des données peut être contenu da HYDRE. La seconde carte permet, comme dans le programme ROSE, de lire la position des éléments à tracer ($Ca^{++}$, $Mg^{++}$, $Na^{+}$, $K^{+}$, $Cl^{-}$, $SO_4^{--}$, $CO_3^{--}$, $HCO_3^{-}$, $NO_3^{-}$) dans fichier de données. Si les données sont stockées sur cartes, la lecture des échan tillons s'effectue à partir de la quatrième ; dans le cas contraire le programme appelle le fichier indiqué. Pour préciser les analyses à mettre sur graphe, l'uti lisateur n'a plus qu'à inscrire sur les cartes suivantes, les identifications et leurs dates.

Tableau 2 : Exemple de sortie listing du programme SCHOELLER.

COURBE N° 1

Les valeurs suivantes sont données en milligrammes par litres

| N° Ech. | Date | Ca | Mg | Na | K | Cl | $SO_4$ | $CO_3$ | $HCO_3$ | NO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 8 010 | 07/07/76 | 98,00 | 30,60 | 7,40 | 2,00 | 18,00 | 38,40 | ,00 | 354,00 | 17, |
| 30 2 002 | 18/10/77 | 94,00 | 13,00 | 8,30 | 1,00 | 13,00 | 52,00 | ,00 | 278,00 | 16, |
| 30 5 106 | 18/10/77 | 104,00 | 19,00 | 9,70 | 2,50 | 16,00 | 46,00 | ,00 | 344,00 | 29, |
| 30 5 045 | 26/10/76 | 142,00 | 15,00 | 20,00 | 4,10 | 29,00 | 115,00 | ,00 | 368,00 | 37, |
| 30 6 108 | 07/07/76 | 140,00 | 18,50 | 16,50 | ,00 | 28,00 | 108,00 | ,00 | 361,00 | 27, |
| 38 1 020 | 15/02/77 | 100,00 | 10,70 | 9,20 | 1,20 | 13,00 | 20,00 | ,00 | 305,00 | 17, |
| 39 5 110 | 05/04/77 | 104.00 | 15,60 | 7,80 | 2,50 | 16,00 | 55,00 | ,00 | 310,00 | 12, |

COURBE N° 2

Les valeurs suivantes sont données en milligrammes par litres

| N° Ech. | Date | Ca | Mg | Na | K | Cl | $SO_4$ | $CO_3$ | $HCO_3$ | NO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 7 014 | 18/10/77 | 108,00 | 25,00 | 6,40 | 1,40 | 11,00 | 30,00 | ,00 | 400,00 | 19, |
| 50 1 049 | 22/03/72 | 117,00 | 19,90 | 9,60 | 5,80 | 14,00 | 16,60 | ,00 | 440,00 | 1, |

* Centre Interuniversitaire de Traitement Informatique.

respectives. L'intercalation d'une carte "STOP" permet de scinder la masse totale en groupes qui correspondent chaque fois à un nouveau graphe. La carte "FIN" indique la fin des données . Lorsque les groupes ont un nombre d'analyses d'eau inférieurs à 10, le programme coupe automatiquement ces groupes par 10. Chaque graphe ne comportera donc au maximum que 10 analyses d'eau afin de ne pas le charger.

Deux types de sorties sont offertes par le programme: la première (tableau 2) se présente sur le listing et donne la récapitulation des groupes (donc des graphes) ainsi que les valeurs des différents ions des analyses physico-chimiques. La seconde sortie correspond à autant de diagrammes Schoeller-Berkaloff que de groupes indiqués sur le listing. La figure 16 offre un exemple de diagramme effectué à l'aide de la table traçante.

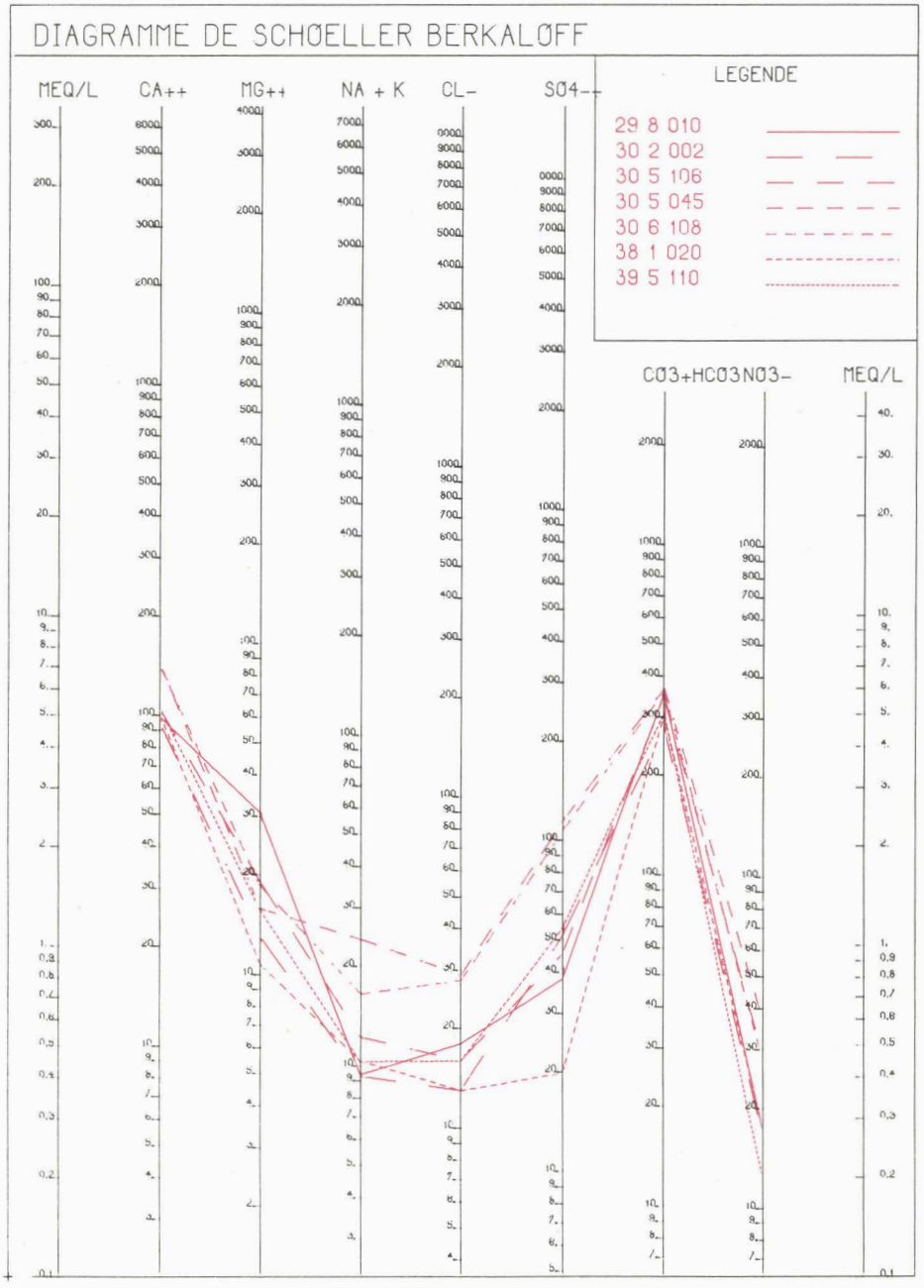



Figure 16 : Exemple de sortie graphique du programme SCHOELLER.

## 244 - Traitement informatique des exhaures d'eau

Les nombreux problèmes de bilan hydrologique de tel ou tel secteur ou synclinorium dans l'Avesnois nous ont conduit à mettre au point un programme de traiteme des prélèvements d'eau. Ce programme dénommé PRELEV est basé principalement sur un tri selon les caractéristiques suivantes :

. nom du bassin (de 1 à 9 noms), et/ou,
. numéro de feuilles 1/50 000 et 1/8 de feuille (1 à 6 feuilles), et/ou,
. coordonnées maximales et minimales, et/ou,
. communes, et/ou,
. années du prélèvement (1 à 15 ans).

Dans le cas où une carte définissant un paramètre ne porte aucune information ce paramètre n'est pas pris en considération.
Le programme identifie ainsi un code sur la première colonne de chaque carte pour connaître le nombre de variables à lire. Dans l'exemple de la carte de sélection des bassins, si dans la 1ère colonne se trouve un 3, alors le programme lira sur la même carte les 3 codes de bassins ou seuls les prélèvements sont à conserver. Dans le cas où la 1ère colonne est vide ou comporte un zéro, tous les bassins sont sélectionnés.

Pour son fonctionnement, le programme utilise les cartes 00 et 30 définies au paragraphes 221 et 224. Après avoir lu les cartes-paramètres de sélection ou de tr PRELEV lit une première fois le fichier HYDRE pour sélectionner les cartes prélèvement (40) correspondant aux années demandées. Ces informations sont alors stocké en mémoire centrale dans divers tableaux ou vecteurs. Une instruction REWIND perme de se replacer au niveau du premier enregistrement du fichier HYDRE. Une seconde boucle est effectuée afin de sélectionner les cartes-informations (00) en éliminan

a) - celles qui ne correspondent à aucune carte prélèvement (c'est-à-dire que sur le point, aucun prélèvement d'eau n'est effectué),
b) - celles dont le bassin n'est pas demandé,
etc....

En fin de boucle, l'édition des informations souhaitées est opérée. Un exemple de sortie est donné dans le tableau 3 tandis que le listing du programme est donné en annexe 4 .

BASSIN(S) A SELECTIONNER : SAM
FEUILLES ET 1/8 EMES A SELECTIONNER:
38 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0
29 ,3 ,4 ,7 ,8 ,0 ,0 ,0 ,0
PAS DE SELECTION DE COORDONNEES LAMBERT MAXIMALES ET MINIMALES
LES PRELEVEMENTS DES ANNEES SUIVANTES SONT SELECTIONNES : - 1970 --

| - INDICE - | COORDONNEES LAMBERT | | - COMMUNE - | IDENT. - | DENOMINATION - | PROPRIETAIRE - | N/ AGENCE - | PRELEVEMENT - |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38- 4- 193 | 709,260 | 279,700 | 59041 | FO | FO3 HORIPETTE | S. EAU ET FORCE | 63730030 | 229620 |
| 38- 3- 46 | 707,660 | 280,270 | 59033 | FO | FO1 | S.I.D.E.N. | 63740076 | 280270 |
| 38- 3- 49 | 706,100 | 273,930 | 59583 | PU | PO1 | S.I.D.E.N. | 63740041 | 115650 |

Tableau 3 : Exemple de sortie du programme PRELEV.

## 25 - Conclusions du chapitre

La base de données (HYDRE) correspond à un complément utile des grosses banques de données travaillant principalement à l'échelon national ou international. HYDRE n'a ainsi qu'une vocation régionale, limitée par exemple à un département ou à quelques bassins hydrologiques de moyenne importance. Son utilisation dans l'Avesnois a nécessité le stockage de l'équivalent de 5 K octets pour environ 40 à 50% du total des informations aujourd'hui disponibles. Ces observations nous permettent d'estimer que pour le stockage de l'ensemble des informations d'un bassin de moyenne importance, comme celui de la Sambre, il soit nécessaire de posséder une capacité de 30 à 40 K octets, portée pour l'ensemble d'un département au million d'octets environ. Les progrés de la technologie informatique nous font penser que d'ici 1982, il sera possible de fabriquer des RAM (Random Access Memory ou mémoire vive) de l'ordre de 1 M octets pouvant être adressés à l'aide de microprocesseurs de 16 bits (Altman et Cohen, 1977 ; Elektor, 1979). La figure 17 montre la progression passée et le développement futur en matière de mémoires vives, microprocesseurs et micro-ordinateurs pour la période 1970-1985 (Altman et Cohen, 1977). Grâce à ce matériel, HYDRE pourra être utilisée au maximum puisqu'elle sera contenu entièrement en mémoire centrale. Son interrogation pourra également s'effectuer en accès conversationnel, ce qui offrira beaucoup de facilité pour l'utilisation des programmes développés en aval.

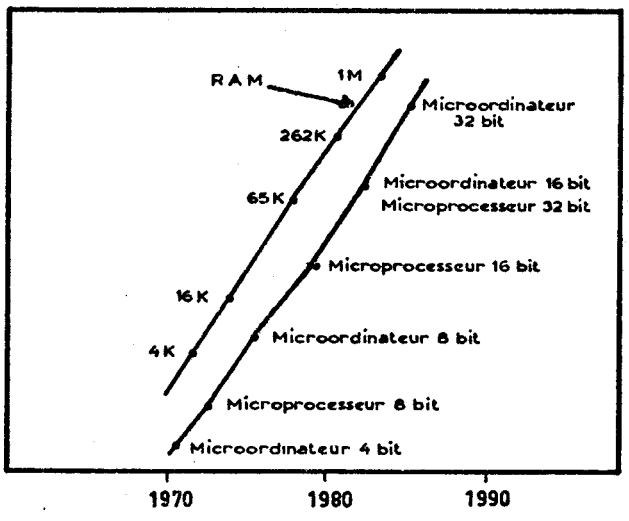



Figure 17 : Evolution des RAM et des microprocesseurs (d'après Altman et Cohen , 1977).

L'extraction d'informations stockées dans la banque de données du sous-sol ( B.R.G.M. Orléans ) peut être réalisée par l'intermédiaire d'un petit programme transformant ces informations en données triées, utilisables par HYDRE. Les traitements ultérieurs opérés sur HYDRE seraient donc plus rapides et moins coûteux. Ils seraient en outre utilisables sur des ordinateurs de faible capacité.

Les programmes décrits ont eu principalement pour but d'être organisés en chaînes de traitement permettant d'éviter le maximum de manipulation de données par l'utilisateur . Sans vouloir condamner les programmes isolés , nécessaires à certaines études hydrogéologiques particulières , nous avons préconisé l'utilisation de chaînes de traitement spécifiques à chacune des branches de l'hydrogéolodie, à savoir:

- la présentation des données;
- l'hydroclimatologie;
- l'hydrodynamique;
- l'hydrométrie;
- l'hydrochimie;
- l'hydroéconomie;
- l'hydrosocio-économie.

La branche de l'hydrochimie (dont font partie les programmes ANACHIM,SCHOELLER et ROSE) a plus particulièrement été travaillée compte tenu de la relative facilité de traitement par l'informatique des analyses d'eau.

*Chapitre III*

# *Aspects et contraintes quantitatives*

Les quantités d'eau disponibles pour les consommations humaines et industrielles sont définies par deux facteurs naturels principaux : la géologie et la climatologie de la région.
De la géologie dépendront les variables suivantes :

- la texture des roches : elle influencera le transit de l'eau sur et dans le sol.
- la composition des roches qui gérera, principalement pour les eaux souterraines, l'acquisition du chimisme de l'eau.
- la structure des roches qui constituera une "sectorisation" des ressources en eau.

De la climatologie dépendront :

- la pluie disponible, spacialement et temporellement.
- la température.
- la végétation qui influencera la composition chimique des eaux, le drainage et l'écoulement superficiel ainsi que la perméabilité.

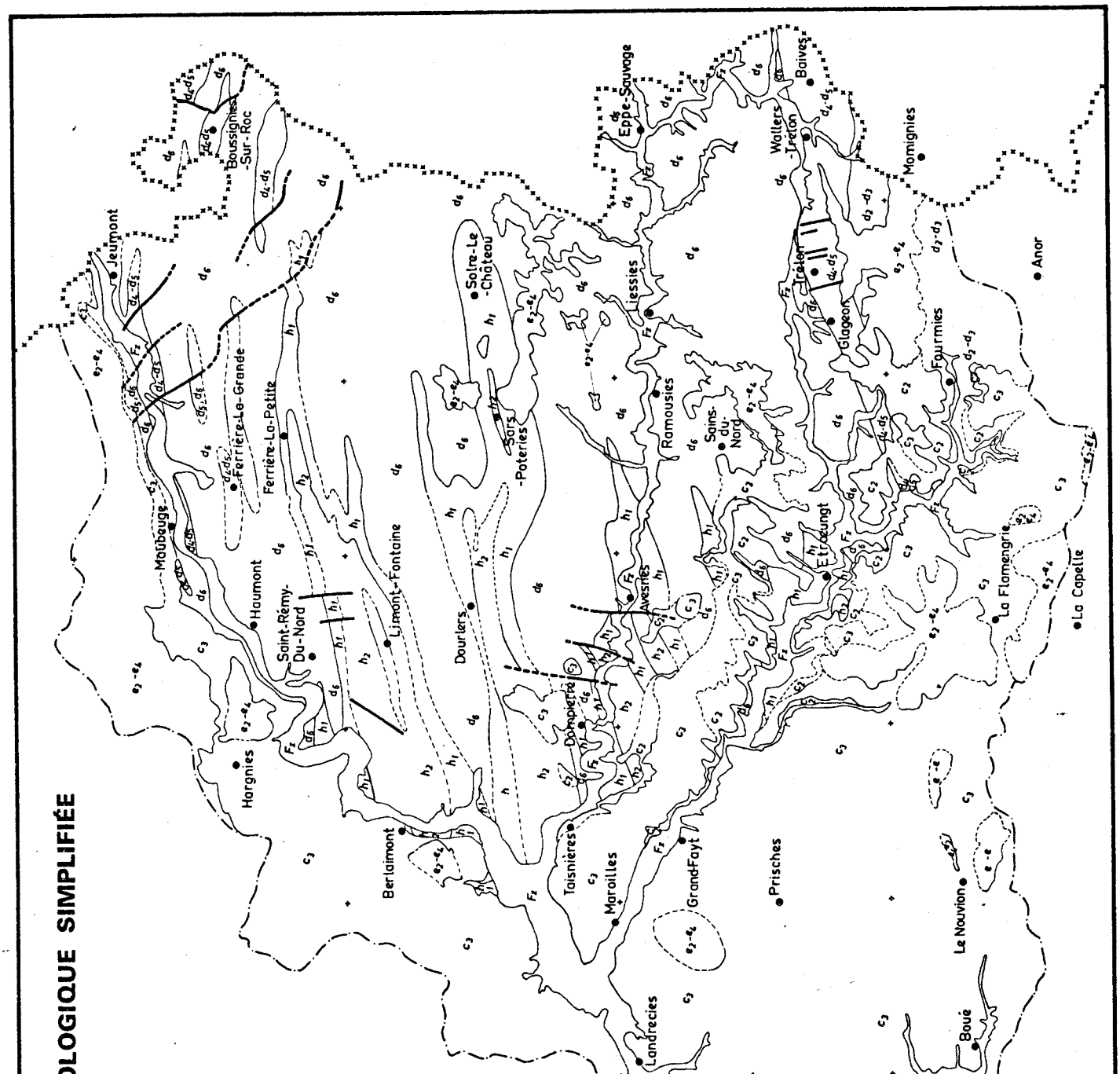
## 31 - Facteurs gérant les ressources

### 311 - Géologie

Les trois ères géologiques sont présentes dans l'Avesnois : ce sont le Paléozoïque ou Primaire, le Mésozoïque ou Secondaire et le Cénozoïque ou Tertiaire et Quaternaire. Le tableau 4 détaille ces trois ères et les principaux étages qui leur sont associés et présents dans le Bassin de la Sambre :

Les terrains les plus fréquents sont d'âge palézoïque ; ils s'étagent du Dévonien au Carbonifère et, hormis le Turonien et les alluvions de la Sambre, ces formations constituent les principaux aquifères exploités.

Dans le détail (figures 19, 20 et 21) ces formations ont les caractéristiques suivantes :


CARTE GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉE
Jeumont
Maubeuge
Boussignies-Sur-Roc
Ferrière-La-Grande
Ferrière-La-Petite
Haumont
Saint-Rémy-Du-Nord
Limont-Fontaine
Hargnies
Berlaimont
Dourlers
Solre-Le-Château
Sars-Poteries
Eppe-Sauvage
Liessies
Ramousies
Avesnes
Wallers-Trélon
Baives
Trélon
Glageon
Mamignies
Fourmies
Anor
Sains-du-Nord
Etroeungt
La Flamengrie
La Capelle
Domeries
Taisnières
Maroilles
Grand-Fayt
Prisches
Le Nouvion
Landrecies
Boué
Oisy
Catillon
N
0 1 2 3 4 5 km

- Alluvions de la Sambre, résultent de la transgression flandrienne qui, en relevant le niveau de base des cours d'eau, a permis le remblaiement des vallées. A la base, les sondages nous indiquent des sables de granulométrie variable, des graviers et galets (figure 21). L'épaisseur de ces alluvions récentes et de l'ordre de 2 à 3 mètres à l'amont du bassin et peut dépasser une dizaine de mètres à l'aval : 13 mètres à Landrecies, 15 mètres à Catillon-sur-Sambre.

| | | | Aquicludes | Aquifères |
|---|---|---|---|---|
| CENOZOIQUE | Quaternaire | Holocène | | Alluvions récentes (Fx) |
| | | Pléistocène | Limons des Plateaux (LP) | |
| | Tertiaire | Eocène | | Yprésien (e4) |
| | | Paléocène | | Landénien (e2) |
| MESOZOIQUE | Secondaire | Crétacé | Cénomanien (C1-C2) | Turonien (C3) |
| PALEOZOIQUE | Primaire | Carbonifère | | Dinantien (h1-h2) |
| | | Dévonien | Famennien (d6)<br>Couvinien (d3)<br>Emsien (d2) | Frasnien (d5)<br>Givétien (d4) |

Tableau 4 - Principaux étages rencontrés dans l'Avesnois.

- Turonien (figure 19 ). Cet étage comporte 3 faciès différents : le Turonien supérieur (C3c) constitué de craie à gros silex cornus, plus marneuse vers la base : le Turonien moyen (C3b) formé de marnes argileuses dans lesquelles s'intercalent des bancs de craie marneuse blanche (épaisseur 25 m à Landrecies) et le Turonien inférieur composé de marnes très argileuses, bleues, compactes et plastiques dont l'épaisseur est de l'ordre de 30 à 35 mètres. La localisation de ces assises est donnée par la figure 18.

- Dinantien. Le tableau 5 récapitule les principales caractéristiques de cet étage. Globalement, il est composé de calcaires et calcaires dolomitiques avec intercalation d'un niveau schisteux à la base. Ce Dinantien a été déformé lors de la phase asturienne constituant alors une série de synclinoriums (figures 18 et 22) de direction approximative Est-Ouest, s'ennoyant lentement à l'Ouest, sous les formations crétaciques.

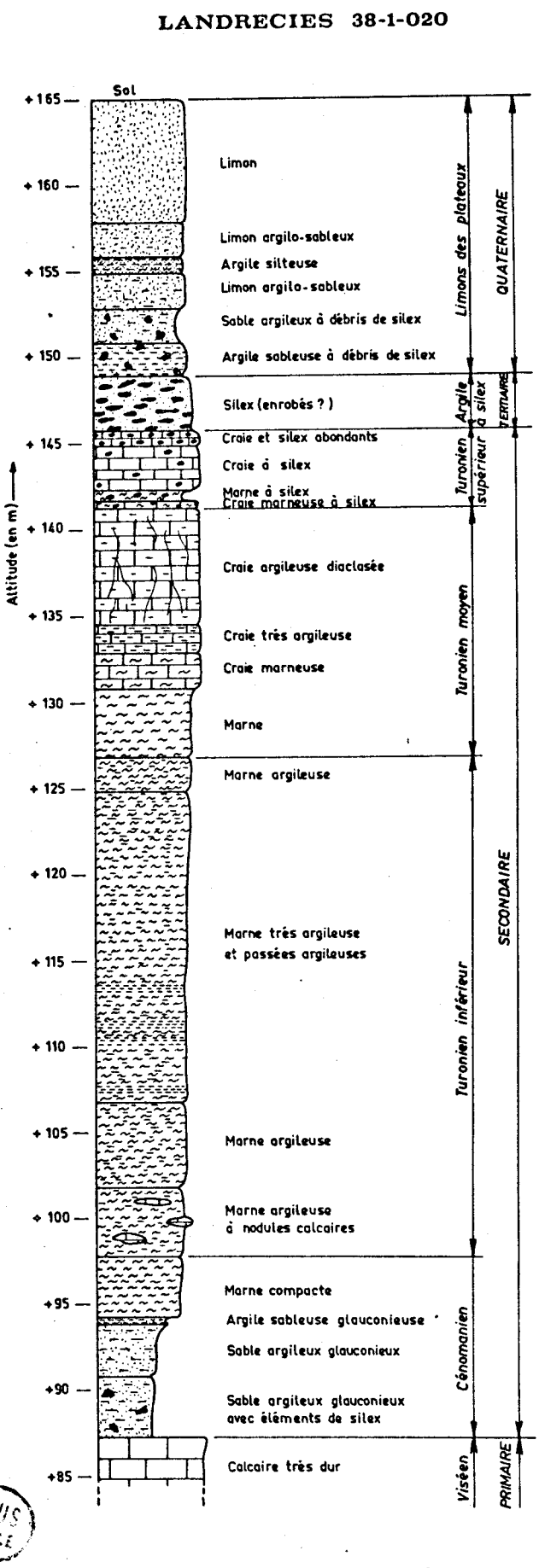



Figure 19 : Exemple de coupe lithostratigraphique d'un forage traversant les formations secondaires et quaternaires.

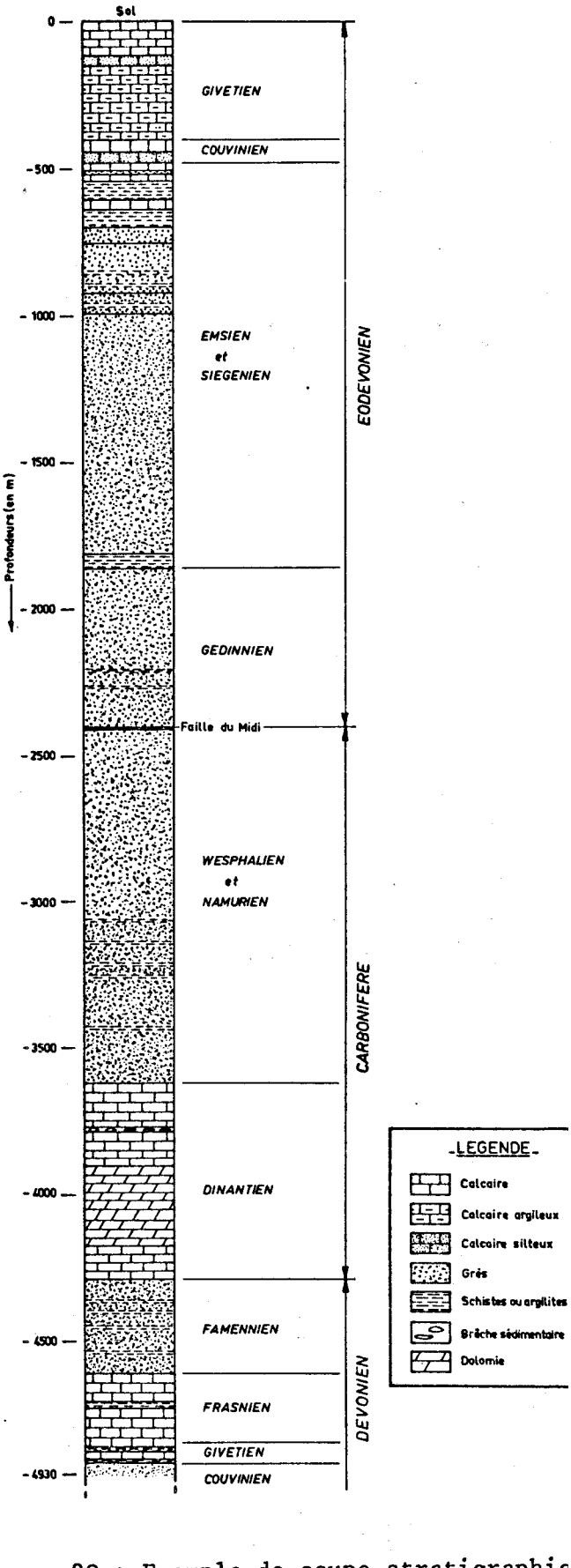



Figure 20 : Exemple de coupe stratigraphiq d'un forage traversant les formations primaires.

BUS LILLE

**LANDRECIES 38-5-001**

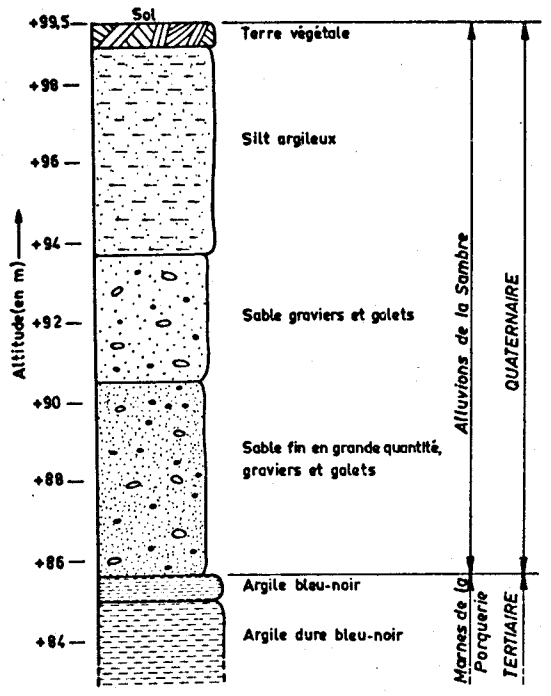



Figure 21 : Coupe lithostratigraphique type d'un forage aux alluvions.

| | | Faciès | Epaisseurs |
|---|---|---|---|
| VISEEN | Sup. | Schistes noirs et phtanites alternées avec des calcaires compacts<br>Calcaire de St Hilaire et de St Rémy chaussée, compact, oolithique<br>Calcaire bréchiforme de Limont avec niveaux dolomitiques | 7 m<br>30 m à Taisnières, 7 m à Avesnes |
| | Moy. | Calcaire massif, très pur (97 à 99 % de $CaCO_3$), bancs épais, niveau supérieur à texture oolithique | 45 m à Bachant, 39 m à Taisnières, 15 à 20 m dans le synclinal d'Avesnes. |
| | Inf. | Calcaires sombres et dolomies<br>Au Sud : calcaires dolomitiques et dolomies massives, grises<br>Au Nord : calcaire noir de Bachant | 25 à 30 m<br>45 m |
| TOURNAISIEN | Sup. | Dolomie du "Camp de César"<br>Calcaire compact à gros cherts | 20 m |
| | Moy. et Inf. | - Schistes d'Avesnelles<br>- Calcaire d'Avesnes, noir, compact | 20 m<br>4 à 8 m |

Tableau 5 - Lithologie du Dinantien.

BRGM LILLE

- Frasnien et Givétien se rencontrent uniquement au Nord et au Sud de l'Avesnois (figure 18). Au Sud, le monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon constitue un aquifère et une source de matériaux importants. Les principales caractéristiques de ces deux formations sont répertoriées tableau 6.

| | Faciès | Epaisseur |
|---|---|---|
| FRASNIEN | Assise de Matagne : Calcaires à biohermes et biostromes, schistes fins et feuilletés | 100 m à 230 m |
| | Assise de Bossières : schistes verts, contenant parfois des lentilles calcaires | 100 m au Sud<br>65 m au Nord |
| | Assise de Fromelennes : calcaires noirs noduleux, calschistes et schistes noirs | 130 m au Sud<br>40 m au Nord |
| GIVETIEN | Faciès calcaires : micrites, biomicrites et calcshistes<br>Calcaires compacts, noirs ou bleus foncés généralement en gros bancs métriques. | 400 m |

Tableau 6 - Lithologie du Frasnien et du Givétien.

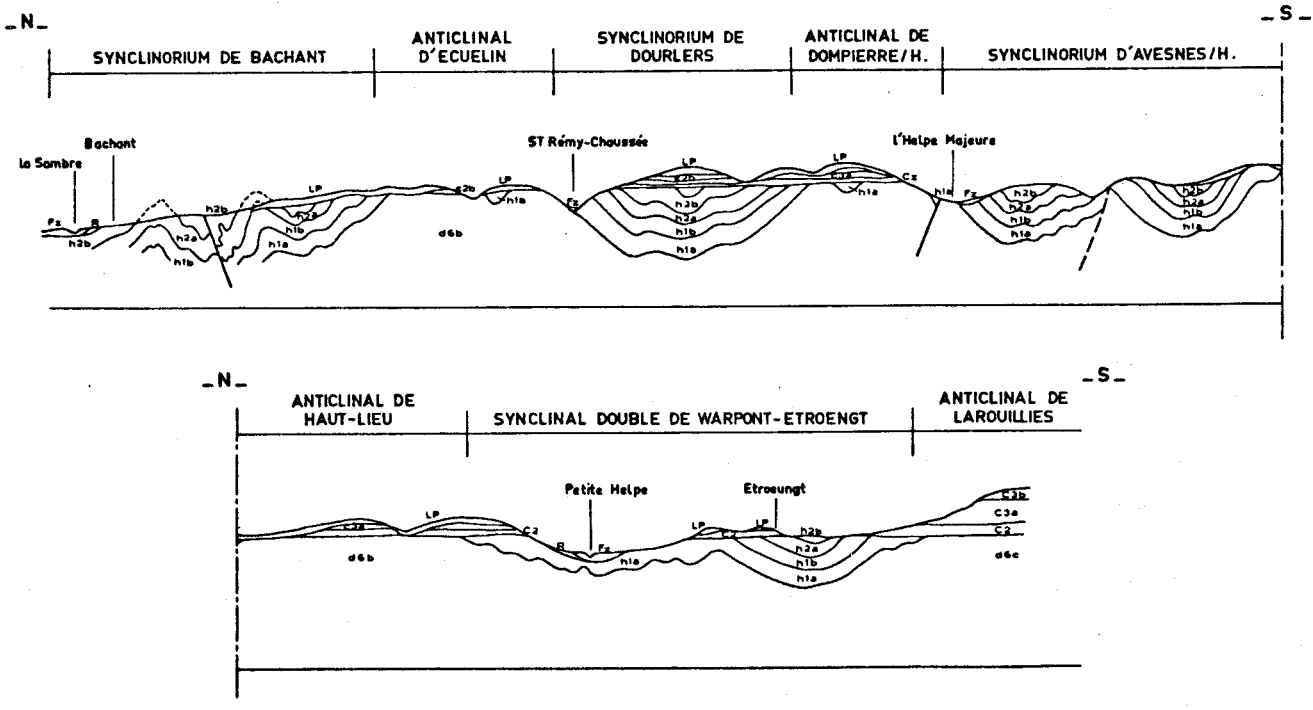



Figure 22 : Coupe géologique entre Bachant et Etroeungt d'après Waterlot et al., 1969.

BUS LILLE

Certaines formations tertiaires comme les sables landéniens et yprésiens ont une grande importance pour la région. En effet, ces deux assises sont composées de sables argileux offrant à l'heure actuelle l'un des stockages de déchets urbains les moins dangereux.

Les terrains paléozoïques offrent une grande partie des ressources en eau de la région ; de plus, il se produit un développement dans le Nord de la France de la géothermie d'eaux à températures moyennes. Il est donc intéressant pour ces raisons de connaître l'extension des formations primaires sous recouvrement à l'Ouest du bassin.

Les données utilisées pour la réalisation d'une carte du toit du Primaire (figure 23) proviennent de différentes sources :

. Forages répertoriés au B.R.G.M.
. Forages mentionnés sur les cartes géologiques d'Avesnes-sur-Helpe, de Guise et du Quesnoy.
. Forages des Houillères.
. Profils géophysiques des pétroliers (Clément, 1963 ; Munck, 1957).

Tous ces renseignements ne couvrent malheureusement pas uniformément ou complétement le secteur. On peut noter deux lacunes dans le carroyage des sondages et forage la première est située à l'Est de Catillon-sur-Sambre, la seconde autour d'Englefontaine. Ce manque d'information peut être pallié en procédant au forage d'au moins deux ouvrages dans ces secteurs.

L'ennoyage, vers l'Ouest, du Primaire sous les formations crétaciques varie sensiblement. Entre Aulnoye-Aymeries et Le Quesnoy, cet ennoyage est de l'ordre de 5 mètres par kilomètre, avec un gradient assez constant. Au Sud du Nouvion, où l'inclinaison est Sud-Ouest, la pente est presque quatre fois plus importante (18,3 mètres par kilomètre).

Cette rapidité d'ennoyage au Sud du bassin de la Sambre défavorise les captages d'eau du fait de la profondeur de l'aquifère. Dans pareil cas, l'exploitation devient onéreuse compte-tenu de la relevée d'eau, fréquemment supérieure à 50 m, et du chimisme de cette eau. En effet, l'eau à cette profondeur change de faciès et devient chlorurée-sodique. C'est le cas par exemple de l'eau provenant du forage 50-1-001 dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- résistivité : 614 ohm-mètres,
- chlorures : 310 mg/1,
- sulfates : 96,3 mg/1.

Le lissage apparent des isobathes du toit du Primaire (figure 22) est simplement dû au manque de données. On s'aperçoit lorsque l'on dispose d'un plus grand nombre de forages (ex : isobathe + 130 m) que la structure est nettement plus complexe.

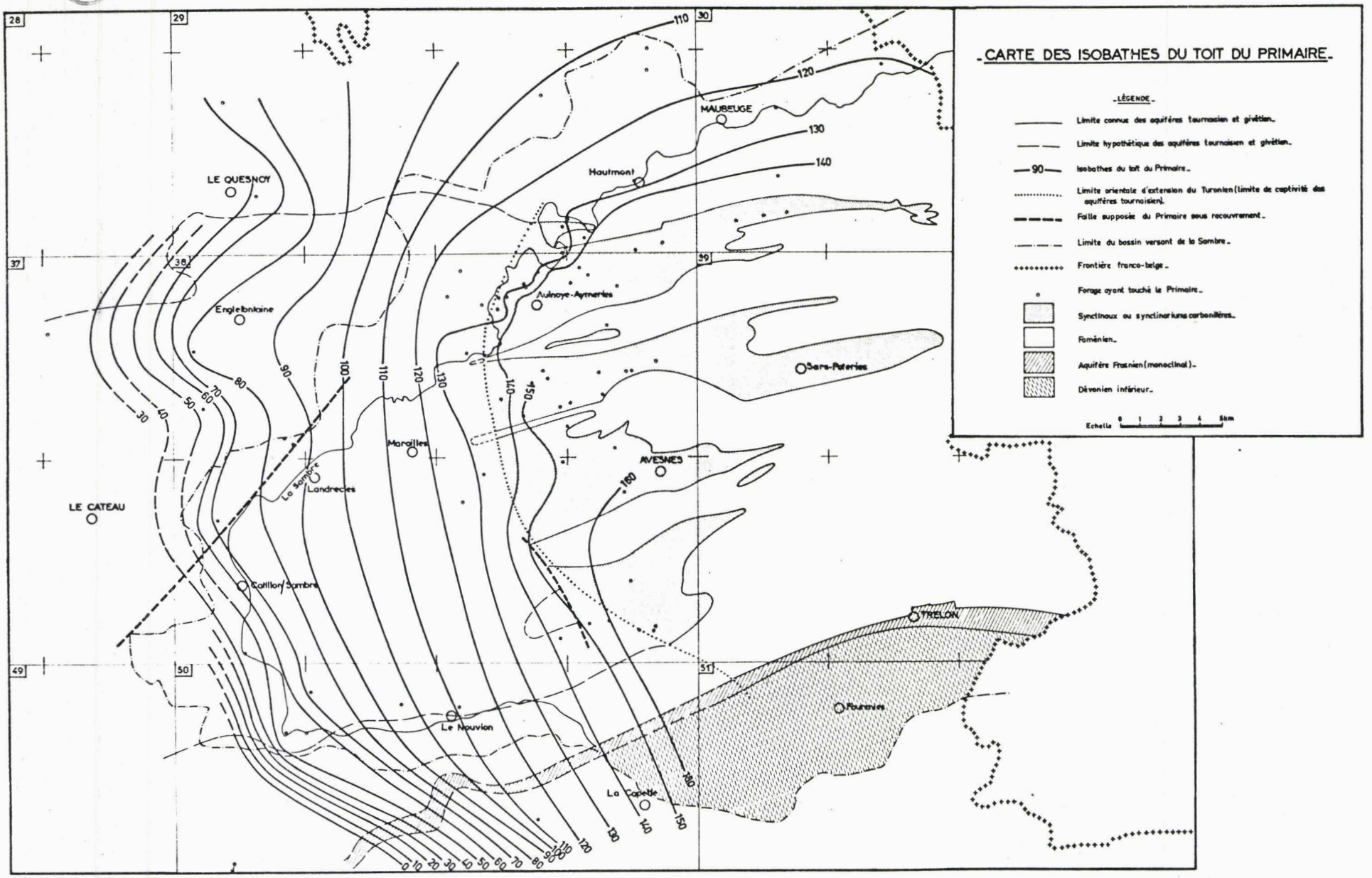



Figure 23 : Carte des isobathes du toit du Primaire.

## 312 - Climatologie

Le climat de l'Avesnois est un climat du type océanique de transition. Il possède en effet des caractères océaniques:maximum pluviométrique pour le mois de novembre,rapports constants et peu élevés entre les maxima et minima pluviométriques,mais aussi des caractères continentaux tel que le minimum pluviométrique en saison hivernale.

L'étude des facteurs climatologiques permettant l'évaluation de la lame d'eau efficace (eau disponible pour l'écoulement superficiel et souterrain) nécessite un réseau d'observation constitué par des stations pluviométriques et thermométriques.

Les données mensuelles, provenant de la Météorologie nationale, des Voies Navigables du Service de la protection des végétaux et de l'Institut Royal de Météorologie de Belgique, ont été stockées dans les fichiers 60 (relevés pluviométriques) et 80 (relevés thermométriques) de la base de données HYDRE (chapitre 2). Ces informations nous ont permis une étude climatologique de la région. Ce qui va suivre permettra de mieux apprécier les différents paramètres influençant l'infiltration ainsi que leur évolution. Les résultats seront par la suite confrontés avec les observations ayant trait aux cours d'eau et aux nappes. Pour ce faire, nous reprendrons les résultats d'une étude antérieure (Delporte, 1978).

### 3121 - Précipitations

19 stations pluviométriques ont été choisies afin de représenter les précipitations sur l'ensemble du bassin de la Sambre. La période d'observation de 14 années a été déterminée en fonction des relevés de 14 des 19 stations. On peut estimer (Binnie in Réméniéras, 1965) que les précipitations moyennes sur cette période n'accusent qu'une variation absolue de 12% par rapport aux moyennes enregistrées sur une longue période (supérieure à 100 ans). Les données des 5 stations pluviométriques ne possédant des relevés que sur 6 ou 8 années ont été étendues à la période de référence grâce aux coefficients des droites de régression obtenues entre les valeurs connues de la station étudiée et de la station la plus proche. Les corrélations définies par ce procédé étant toujours supérieures à 0,93 ; les résultats ont été jugés satisfaisants et utilisés par la suite.

Lorsque l'on compare l'évolution des modules pluviométriques interannuels ($P_a$) de chaque station avec l'altitude (h) de la station, on remarque que les rapports $P_a$ /h se cantonnent dans un fuseau de forme parabolique (figure 24). Un ajustement de la courbe parabolique moyenne peut se faire soit par une fonctio puissance, soit par une fonction exponentielle. Dans le premier cas, l'équation est de la forme :

$$P_a = 0{,}00104\ h^{2{,}13}$$

dans le second :

$$P_a = 19{,}31\ e^{0{,}0026h}$$

Mais, quelque soit l'ajustement, la corrélation reste faible : les coefficients de corrélation sont respectivement égaux à 0,74 et 0,75.

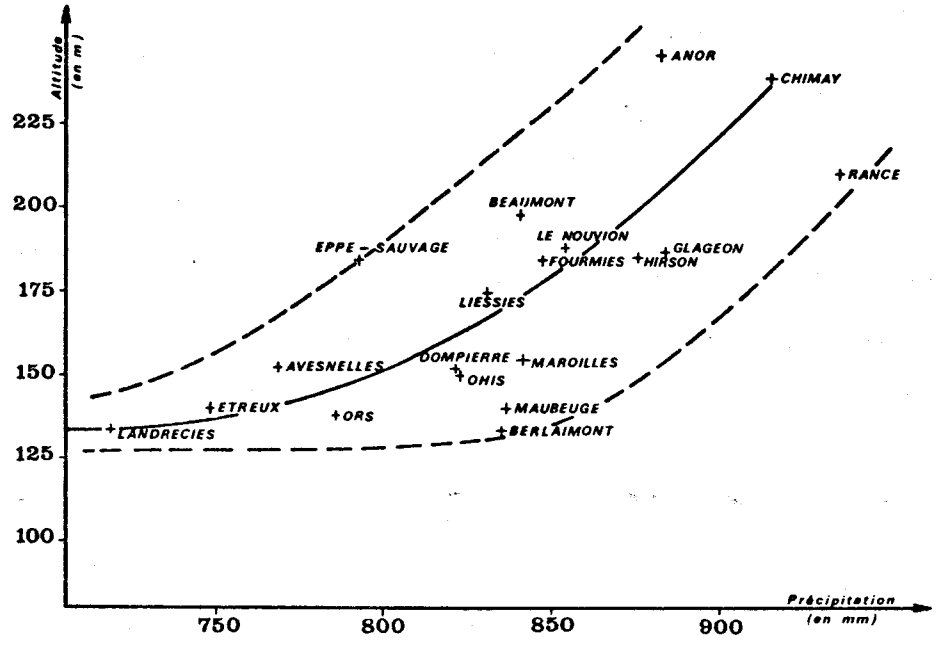



Figure 24 : Relation précipitation-altitude.

Cette relation peut encore être mise en évidence par la carte des isohyètes (cf. figure 26).

L'estimation de la lame d'eau moyenne tombant sur le bassin (on l'appelle également module pluviométrique interannuel) peut être calculée selon trois méthodes qui sont :

- la méthode de Thiessen,
- la méthode de la moyenne arithmétique,
- la méthode des isohyètes.

Les méthodes de Thiessen (figure 25) et de la moyenne arithmétique sont employées (tableau 7).

| STATION | Altitude en m | Module pluviométrique en mm | Superficie (1) en $km^2$ | Superficie (2) en $km^2$ | Volume d'eau précipité(1) $10^3$ $m^3$/an | Volume d'eau précipité(2) $10^3$ $m^3$/an |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EPPE-SAUVAGE | 185 | 794 | 6,00 | 9,56 | 4764,00 | 7590,64 |
| AVESNELLES | 152 | 769 | 12,40 | 12,40 | 9535,00 | 9535,00 |
| RANCE | 210 | 935 | 0,00 | 10,24 | 0,00 | 9574,40 |
| LANDRECIES | 134 | 719 | 4,40 | 4,40 | 3163,60 | 3163,60 |
| CHIMAY | 240 | 915 | 0,40 | 2,28 | 336,00 | 2086,20 |
| OHIS | 150 | 823 | 0,64 | 0,64 | 526,70 | 526,70 |
| LIESSIES | 175 | 831 | 10,52 | 10,52 | 8742,12 | 8742,12 |
| ANOR | 245 | 883 | 1,08 | 1,08 | 953,64 | 953,64 |
| DOMPIERRE | 152 | 822 | 8,40 | 8,40 | 6804,80 | 6804,80 |
| GLAGEON | 187 | 884 | 6,04 | 6,48 | 5339,36 | 5728,32 |
| ORS | 138 | 786 | 3,20 | 3,20 | 2515,20 | 2515,20 |
| MAROILLES | 155 | 842 | 7,56 | 7,56 | 6365,50 | 6365,50 |
| BEAUMONT | 198 | 841 | 7,76 | 18,20 | 6526,16 | 15306,20 |
| LE NOUVION | 188 | 854 | 10,40 | 10,40 | 8881,60 | 8881,60 |
| FOURMIES | 185 | 848 | 9,20 | 9,20 | 7801,60 | 7801,60 |
| MAUBEUGE | 140 | 837 | 17,32 | 18,08 | 14496,84 | 15132,96 |
| HIRSON | 185 | 876 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| BERLAIMONT | 133 | 835 | 10,44 | 10,44 | 8717,40 | 8717,40 |
| ETREUX | 140 | 748 | 4,80 | 4,80 | 3590,40 | 3590,40 |
| TOTAUX | | | 120,56 | 147,88 | 99059,92 | 123015,64 |
| Moyenne arithmétique | | 833,5 | | | | |

LAME D'EAU PRECIPITEE SUR LA PARTIE FRANCAISE DU BASSIN = 822,8 mm

LAME D'EAU PRECIPITEE SUR LA TOTALITE DU BASSIN = 827,2 mm

Tableau 7 : Résultats des méthodes de Thiessen et de la moyenne arithmétique

(1) - partie française du bassin

(2) - partie française + partie belge du bassin

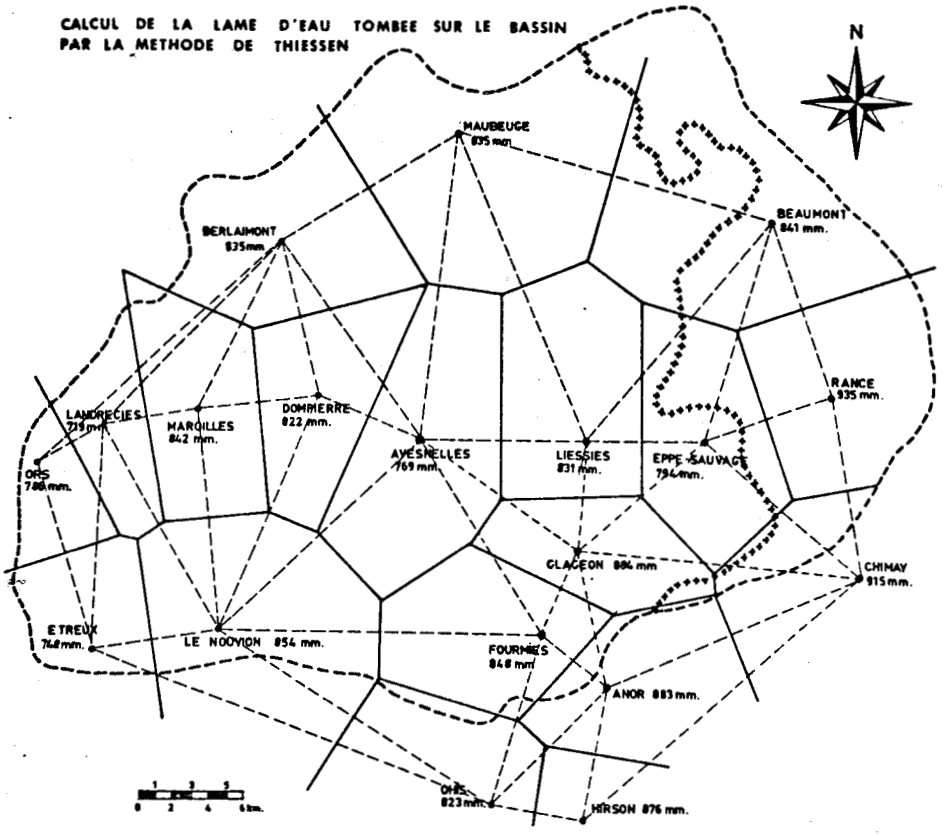



Figure 25 : Calcul de la lame d'eau tombée par la méthode de Thiessen.

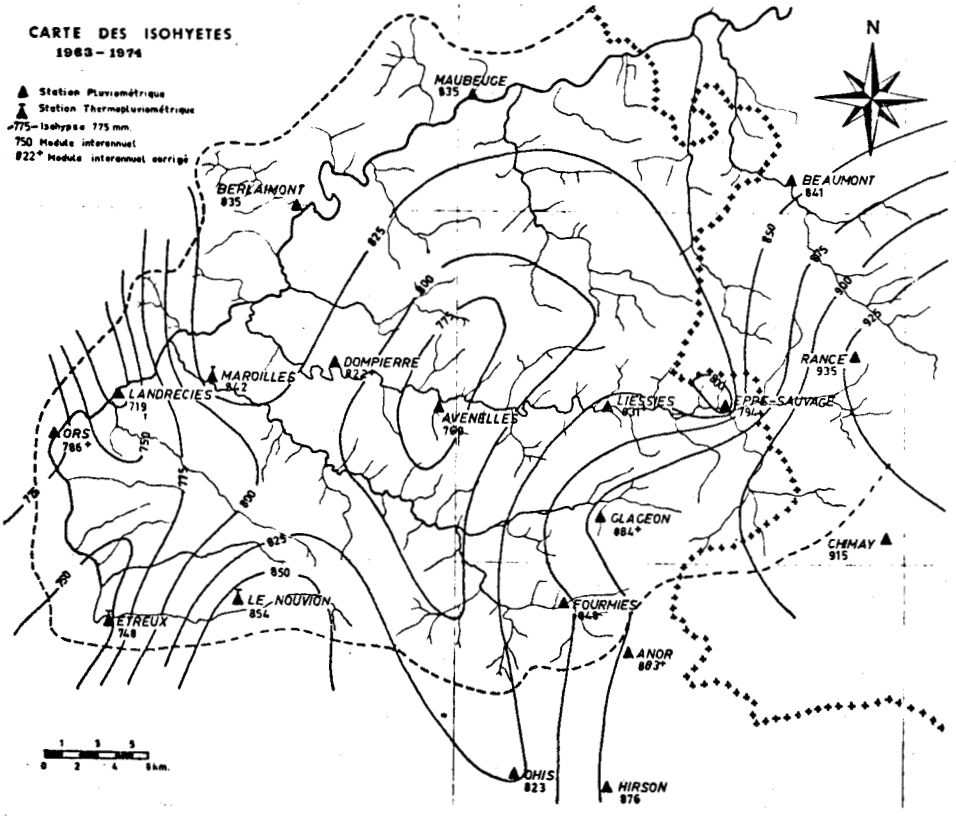



Figure 26 : Carte des précipitations moyennes (1963-1974).

BUS LILLE

Si l'on tient compte de l'ensemble du bassin et des stations météorologiques belges, on s'aperçoit que les méthodes de Thiessen et de la moyenne arithmétique offrent peu de différence : 827,2 mm pour la première et 833,5 mm pour la seconde, soit un écart relatif inférieur à 1%. Pour le cas présent, il semble que la méthode de Thiessen se rapproche plus certainement de la valeur réelle. En effet de par la construction de Thiessen, les stations situées au milieu du bassin ont plus d'importance que celles situées à son extrémité. C'est ainsi que cette méthode a diminué l'importance des stations situées à haute altitude et représentant déjà le régime pluvial du massif ardennais.

Dans son ensemble, la carte des isohyètes (figure 26) rend compte de l'accroissement de la pluviosité d'Ouest en Est suivant l'altitude. Cette relation n'est pourtant pas stricte : on note ainsi dans cet ensemble trois secteurs différents. Au SE, aux abords du massif ardennais, la relation "altitude-pluviosité" se fait nettement sentir. La moitié nord du bassin montre par contre une homogénéité des modules interannuels tandis qu'au SW, entre le Nouvion-en-Thiérache et Landrecies les isohyètes n'ont guère de rapport avec le complexe physique du bassin versant.

L'évolution temporelle des modules pluviométriques (figure27) a eu depuis 1963 un caractère régulier interrompu par deux phases bien distinctes : la première se situe en 1965 et 1966. Pendant ces deux années, les précipitations sont très fortement supérieures à la moyenne interannuelle puisque les modules accusent des valeurs

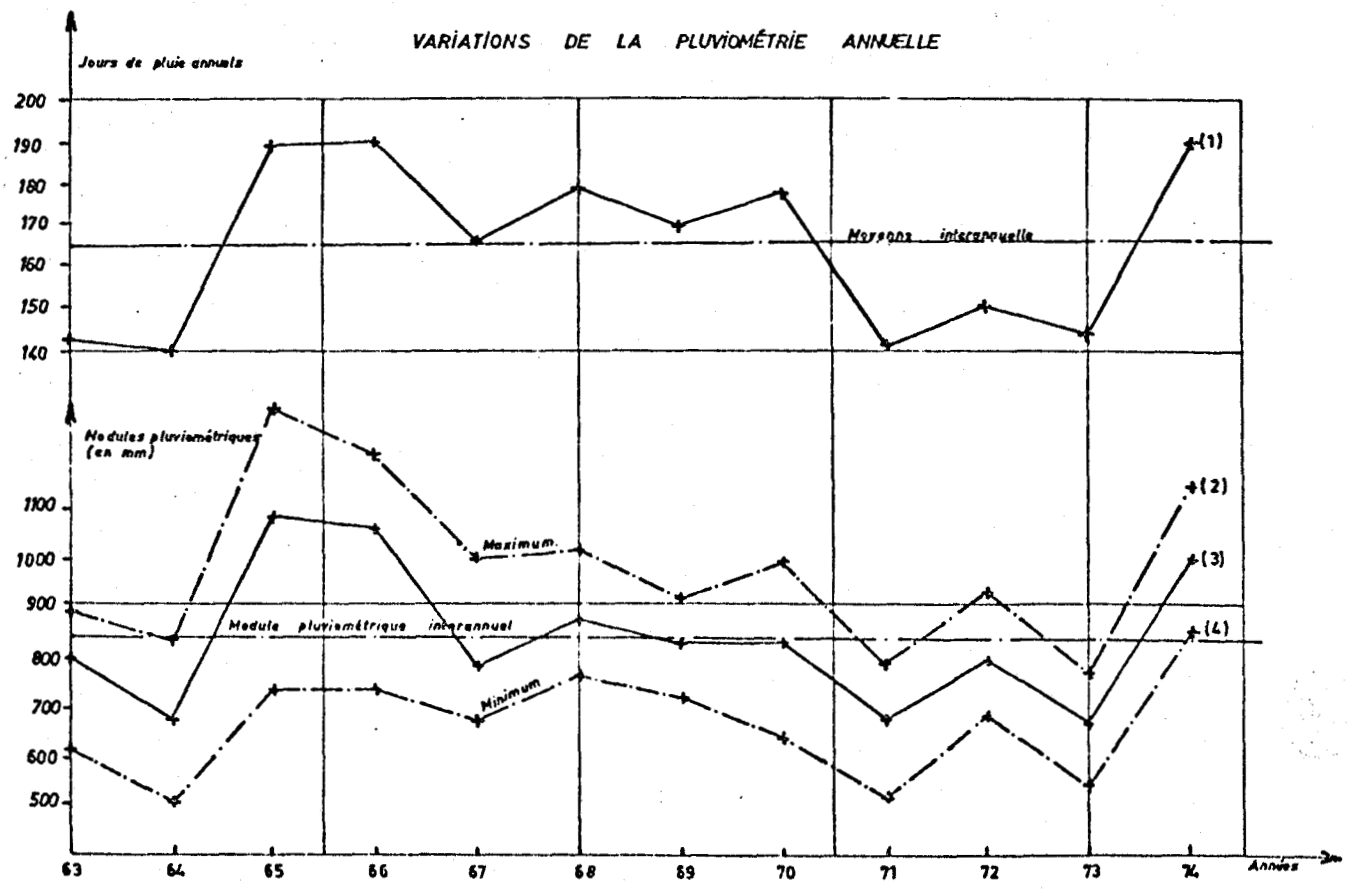



Figure 27 : Variations de la pluviométrie annuelle (courbe 3) et du nombre de jours de pluie annuel (courbe 1).

supérieures à 1 mètre. La seconde, en 1976, arrive 10 à 11 ans après la première phase (faut-il voir là un cycle bien connu en météorologie). Elle est caractérisée par une sécheresse très importante qui s'est déclarée exclusivement pendant les premiers mois de l'été. Dès 1977, le régime pluviométrique normal est rétabli conformément au module interannuel. Tous les modules annuels suivent, dans leur ensemb la loi de distribution de Galton caractérisée par une dissymétrie marquée entre la fréquence des modules inférieurs et supérieurs au mode (pic de la courbe). Cette lo a également été reconnue pour les moyennes pluviométriques mensuelles (Delporte, 19 Elle marque l'intéraction des deux tendances climatiques (océanique et continentale dont nous parlions au début du paragraphe.

### 3122 - Températures

Les mesures effectuées sur trois stations ont seulement pu être prises en considération pour définir les températures durant la période 1963-1977. Les données couvrent ainsi la même période que celle des précipitations. Les stations (Etreux, Le Nouvion-en-Thiérache et Maroilles) ne sont pas entièrement représentatives de l'ensemble du bassin car elles sont toutes trois situées dans sa partie SW. De plus la station d'Etreux sise à l'extrémité du bassin, présente un module thermométrique (et un module pluviométrique) nettement différent de ceux des stations de Maroilles et du Nouvion-en-Thiérache : 9,86°C contre 8,78°C et 8,80°C. On ne retiendra donc que les valeurs de ces deux dernières stations. Pour le calcul de l'évapotranspiration, elles seront employées, sachant que ce sont des données par excès : la température diminuant théoriquement, avec l'altitude, sur le reste du bassin.

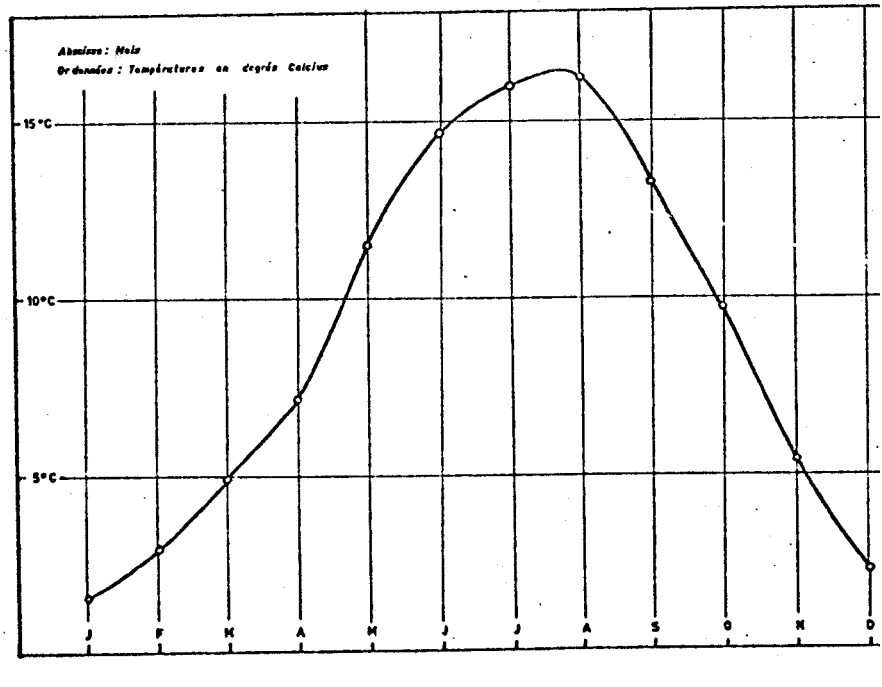



Figure 28 : Variations de la température intermensuelle (stations de Maroilles et du Nouvion).

La figure 28 donne un aperçu des variations intermensuelles pour les stations de Maroilles et du Nouvion-en-Thiérache. Le mois de janvier reste le plus froid (1,52°C) tandis que le mois d'août demeure le plus chaud (16,23°C). Les variations annuelles, par contre, sont faibles et oscillent dans la plupart des cas de 5% par rapport à la moyenne avec un écart maximal relatif de 2%.

### 3123 - Evapotranspiration

L'évapotranspiration réelle (ETR) peut être calculée par trois procédés différents : variations du gradient vertical de vapeur, lysimètrie et déficit d'écoulement (Castany, 1963 ). Les deux premières méthodes ne sont pas applicables au bassin faute de mesures et d'appareillage. Quant au déficit d'écoulement (D), il n'est pas mesurable directement puisque tous les cours d'eau du bassin ne sont pas jaugés régulièrement. On dispose par contre de nombreuses formules permettant d'estimer la valeur de l'évapotranspiration réelle. Ces équations sont empiriques et ne s'appliquent parfois qu'à un type de climat bien précis. La majorité des formules est de type annuel. Appliquées à la Sambre, elles donnent les résultats suivants :

- Formule 1 de M. COUTAGNE : $ETR = 210 + 30T = 473,4$ mm

  où T = température moyenne annuelle

- Formule 2 de M. COUTAGNE : $ETR = P - \lambda P^2 = 490,5$ mm

  où P = précipitations moyennes annuelles

  avec : $\lambda = \frac{1}{-0,8 + 0,14\ T}$ si $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

- Formule de L. TURC : $ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + (\frac{P}{L})^2}} = 467,6$ mm

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

- Formule de L. SERRA : $ETP = 270e^{0,0644T} = 475,3$ mm

Les valeurs utilisées ont été de 8,78°C pour la température moyenne interannuelle et de 830 mm pour le module pluviométrique interannuel.

Il faut noter que la formule de L. SERRA ne donne que l'évapotranspiration potentielle, c'est-à-dire l'évapotranspiration d'un sol constamment saturé d'eau.

La valeur calculée n'est que très faiblement supérieure aux précédentes. Elle se trouve être inférieure à l'ETR calculée avec la relation 2, établie par Coutagne.

La méthode de C.W. Thornwaithe (Réméniéras, 1965) vérifiée dans nombre de cas en France, est beaucoup plus précise puisqu'elle calcule les évapotranspirations (réelle et potentielle) à l'échelon du mois. Son calcul, fastidieux à la main, peu être fait grâce à l'ordinateur (Bonnet et al. ; 1970 ; Cauchetier et Ramon, 1972 ; Delporte, 1978). Un exemple en a été donné au chapitre 2. Le tableau 8 présente un aperçu de la méthode pour les deux stations pluvio-thermométriques du bassin (Maroilles et Le Nouvion-en-Thiérache).

MAROILLES

| | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D | Année |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ETP | 8,5 | 12,9 | 23,4 | 38,8 | 59,4 | 74,5 | 83,4 | 81,5 | 65,9 | 49,2 | 24,4 | 11,3 | 536,2 |
| P | 57 | 60 | 58 | 63 | 68 | 77 | 71 | 82 | 74 | 62 | 96 | 73 | 842 |
| Variation de la réserve d'eau du sol ( $\Delta$ RU ) | | | | | | | -124 | +0,5 | +8,1 | +3,8 | | | |
| Réserve d'eau utile | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 87,6 | 88,1 | 96,2 | 100 | 100 | 100 | |
| ETR | 8,5 | 12,9 | 23,4 | 38,8 | 59,4 | 74,5 | 83,4 | 81,5 | 49,2 | 27,2 | 27,4 | 11,3 | =ETP |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Réserve d'eau utile=0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| ETR | 8,5 | 12,9 | 23,4 | 38,8 | 59,4 | 74,5 | 71 | 81,5 | 65,9 | 49,2 | 27,4 | 11,3 | 523,8 |

| | J | F | M | A | M | J | Jt | A | S | O | N | D | Année |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ETP | 6,3 | 15,3 | 25,8 | 39,1 | 56,2 | 74,2 | 79,1 | 83,5 | 67,8 | 48,3 | 26,0 | 10,3 | 531,9 |
| P | 65 | 59 | 55 | 58 | 64 | 79 | 57 | 85 | 69 | 63,5 | 109 | 82 | 854 |
| $\Delta$ (RU) | | | | | | | -22,1 | +1,5 | +1,2 | +15,2 | +4,8 | | |
| RU | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 77,9 | 79,4 | 80,6 | 95,8 | 100 | 100 | |
| ETR | 6,3 | 15,3 | 25,8 | 39,1 | 56,2 | 74,2 | 79,1 | 83,5 | 67,8 | 48,3 | 26,0 | 10,3 | 531,9 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| RU=0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| ETR | 6,3 | 15,3 | 25,8 | 39,1 | 56,2 | 74,2 | 57 | 83,5 | 67,8 | 48,3 | 26,0 | 10,3 | 509,8 |

Tableau 8 : Calcul des évapotranspirations réelle et potentielle aux stations thermopluviométriques de Maroilles et du Nouvion-en-Thiérache.

Dans le cas où la réserve facilement utilisable (RFU) est prise à 100 mm d'eau, seul le mois de juillet accuse une variation négative de cette RFU. De plus, les évapotranspirations réelle et potentielle sont absolument identiques ; la RFU a ainsi le rôle de tampon pendant les mois de juillet à octobre (ou novembre). Inversement si la RFU utilisée est de 0 mm, ETP et ETR ne sont plus égales mais différentes de 3 à 5%, ce qui demeure faible. Ains, la RFU semble être beaucoup plus proche de 0 mm que de 100 mm (Philippart, 1974).

De l'ensemble des formules donnant l'ETR annuelle, celle de M. Coutagne ($D = P - \lambda P^2$) se rapproche le plus des résultats donnés par la formule mensuelle de Thorthwaite. L'écart relatif par défaut est de 3 à 6% entre les deux. C'est donc avec cette correction qu'elle donne pour l'ensemble du bassin une ETR de 512,5 mm. La lame d'eau équivalente, H, disponible pour l'infiltration et pour l'écoulement superficiel sera donc de 318,5 mm. 60% de l'eau fournie par les précipitations seront donc évaporés.

## 32 - Ressources en eau superficielle

### 321 - Introduction

L'Avesnois, de par la nature géologique de son sous-sol, est une région où les aquifères sont limités, créant ainsi de sérieux problèmes d'approvisionnements futurs en eau potable. Il faudra donc aller chercher une partie de l'eau nécessair à la surface (rivières et lacs, retenues collinaires à construire).

Trois organismes procèdent à des mesures de débits des cours d'eau sur le bassin de la Sambre. Ce sont la Première Circonscription Electrique (E.D.F.), le B.R.G.M. (S.G.R/Nord - Pas-de-Calais) et la Direction de la Navigation. Seule la Première Circonscription Electrique possède des stations de jaugeages dont les mesures sont effectuées journellement, ce sont :

- pour l'Helpe Majeure : station de Liessies, SAM 560,
  station de Taisnières, SAM 580,
- pour l'Helpe Mineure : station d'Etroeungt, SAM 380,
  station de Maroilles, SAM 390.

Les informations, trop fragmentaires, recueillies par le B.R.G.M. - S.G.R. Nord-Pas-de-Calais, ne seront pas utilisées. Ce sont des débits ponctuels journaliers relevés aléatoirement entre les périodes 1969 et 1975. Ces jaugeages ne doivent être utilisés qu'avec précaution car ils ne donnent le débit du ruisseau ou de la rivière qu'à un moment précis dans le mois et la journée. Il est évident qu'à un autre moment, le débit peut être complètement différent.

Les jaugeages effectués par le S.H.C.* sont également trop disséminés dans le temps pour pouvoir être une source d'information suffisante. Il en est de même pour les mesures réalisées par le Service des Voies Navigables sur la Sambre, près d'écluses perturbant son régime. Ces résultats ne seront pas pris en considération

### 322 - Hydrographie

Le bassin de la Sambre ne comprend que quelques rivières et ruisseaux ; seule la Sambre peut y être considérée comme une rivière importante. Depuis le siècle dernier, cet écoulement a été canalisé pour permettre le commerce entre la France et la Belgique. Une jonction, mettant en communication l'Oise et la Sambre, a été aménagée pour permettre le passage d'un bassin à l'autre.

---

* Service Hydraulique Centralisateur.

Les cours d'eau secondaires sont par ordre d'importance : l'Helpe Majeure, l'Helpe Mineure (qui couvrent ensemble plus de la moitié du bassin versant de la Sambre), la Rivièrette et la Tarsy. Tous ces cours d'eau s'écoulent sensiblement d'Est en Ouest, contrairement à un second groupe composé par la Solre, la Thure et le ruisseau d'Eclaibes qui se jettent dans la Sambre plus au Nord.

La comparaison entre le réseau hydrographique et la tectonique primaire (figure 29) met en évidence une similitude des directions tectoniques avec celles des cours d'eau. Cette similitude s'observe principalement au niveau des failles et des axes synclinaux carbonifères affleurant dans l'Avesnois. La relation n'est pas toujours directe : ainsi la direction principale des structures carbonifères n'est que faiblement représentée dans l'hydrographie du bassin. Par contre, la 2ème direction paléozoïque est étroitement associée à l'une des deux directions principales des cours d'eau (N90°).

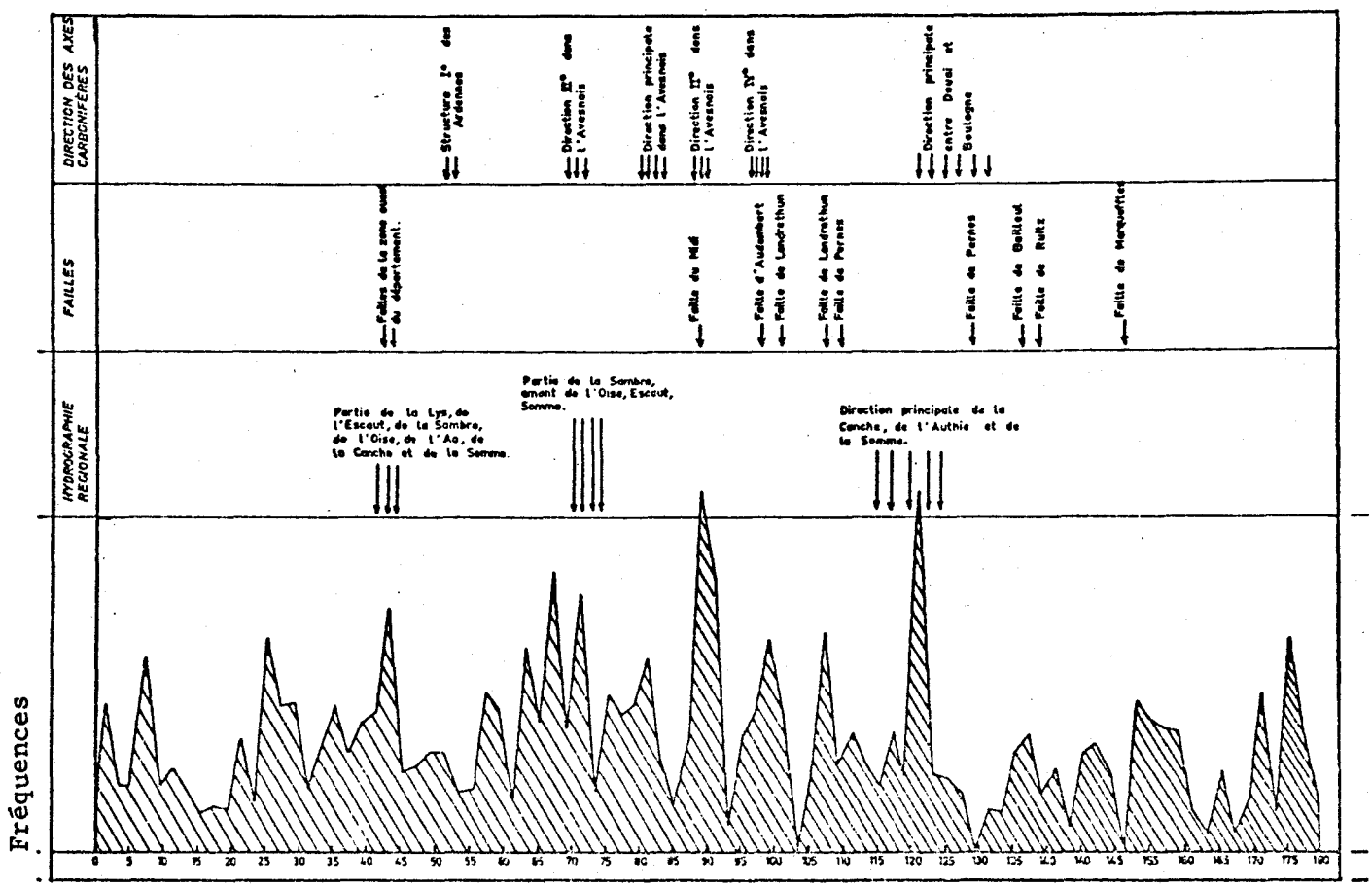



Figure 29 : Comparaison des directions des cours d'eau du bassin de la Sambre avec l'hydrographie régionale, les failles et directions des axes synclinaux primaires.

La densité de drainage est une caractéristique importante du réseau hydrographique : c'est un excellent élément pour la connaissance de l'écoulement souterrain Cependant, les mesures sont très difficiles et dépendent beaucoup des cartes utilisées, de l'échelle et de la prise en compte des vallées sèches (Rambert, 1972) Sa valeur (0,88) pour le bassin de la Sambre est très importante comparée à celle d bassin de la Selle (0,26). Cette différence semble être dûe à un sol en grande part imperméable alors que la Selle coule sur de la craie dont la perméabilité est plus importante.

## 323 - Etude générale du régime des cours d'eau

### 3231 - Ecoulements annuels

Plusieurs paramètres permettent de représenter les écoulements d'un bassin versant : les débits Q, en m3/s ou en l/s, les débits spécifiques q, en l/s/km2, ou les hauteurs d'eau écoulée h, en mm ou en m. Les relations unissant ces différentes variables sont les suivantes :

$$q = \frac{1000 * Q}{S}$$

$$h_a = 31{,}536 * q_a$$

$$h_m = \frac{31{,}536 * n}{365{,}25} * q_m$$

où :

$h_a$ = hauteur d'eau écoulée par an,
$h_m$ = hauteur d'eau écoulée par mois,
$n$ = nombre de jours dans le mois,
$q_a$ = débit spécifique annuel,
$q_m$ = débit spécifique mensuel,
$S$ = superficie du bassin versant

Nous avons utilisé la hauteur (ou lame) d'eau écoulée pour faciliter les comparaisons nécessaires avec la pluviométrie. Les relations entre bassins versants s'effectueront à l'aide des débits spécifiques. C'est en 1964 que l'écoulement a été le plus faible. Par contre, l'hydraulicité a été maximale en 1965. L'année 1966 se rapproche fortement de ce maximum (l'écoulement a été le plus important cette année à la station de jaugeage d'Etroeungt). La figure 30 montre la comparaison entre les différentes stations d'une part, et entre celles-ci et les précipitations d'autre part. On remarquera l'étroite dépendance entre précipitations et débits annuels.

Aucun retard majeur, supérieur à une période annuelle n'affecte les écoulements.

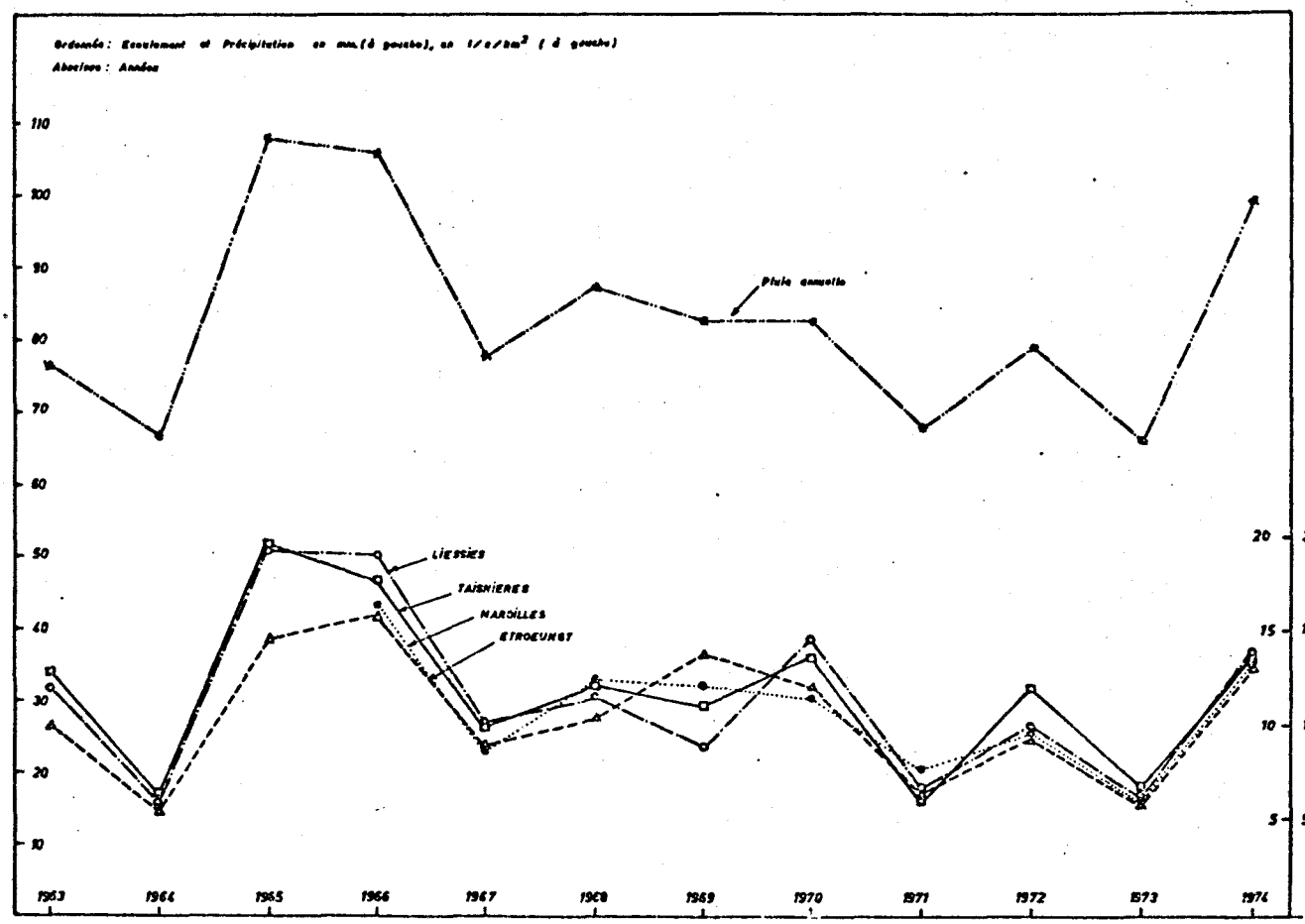



Figure 30 : Evolution de la lame d'eau moyenne annuelle entre 1963 et 1974 pour les stations de Taisnières, Etroeungt, Liessies et Maroilles.

Depuis 1967, une certaine régularité se traduit par des modules spécifiques ne variant que faiblement autour d'une moyenne de 10 1/s/km2. Les modules spécifiques sont très proches les uns des autres, par conséquent l'influence de la géologie des différents bassins versants est parfois très faible : comme en 1974 où les écoulements des quatre stations oscillent entre 14,14 1/s/km2 et 13,11 1/s/km2, présentant 8% d'écart relatif.

Pour l'ensemble des 12 années, cet écart ne dépasse pas 35%. Ces résultats sont peut être dûs au fait que les bassins versants de ces quatre stations de jaugeage sont constitués par des terrains très hétérogènes : calcaires, schistes, sables, marnes et limons. Dans l'ensemble, les différences pourraient se compenser. Il faut donc préciser que ces débits annuels bruts n'ont de signification que par leurs fluctuations dans le temps et leurs rapports avec la pluviométrie. Cependant, les relations probables avec la géologie et les différents aquifères ne peuvent être déduites de ces observations. Les coefficients d'écoulement ($C = \frac{Q}{P}$) ne permettent pas d'identifier les différentes unités géologiques et hydrologiques.

### 3232 - Ecoulements intersaisonniers

Les écoulements intersaisonniers seront définis par rapport à l'année hydrologique qui s'étend du 1er novembre au 31 octobre. Cette dernière date correspondant sensiblement au minimum des réserves en eau du sol. La différence entre les débits d'Etroeungt et ceux des trois autres stations s'observe très nettement pour les écoulements saisonniers. En hiver et au printemps, les débits spécifiques intersaisonniers à Etroeungt sont inférieurs d'environ 16% à ceux des autres stations débitmétriques (figure 31). Ce phénomène peut être dû à deux facteurs différents :

. emmagasinement de l'eau dans les couches géologiques,

. altération importante des roches en surface.

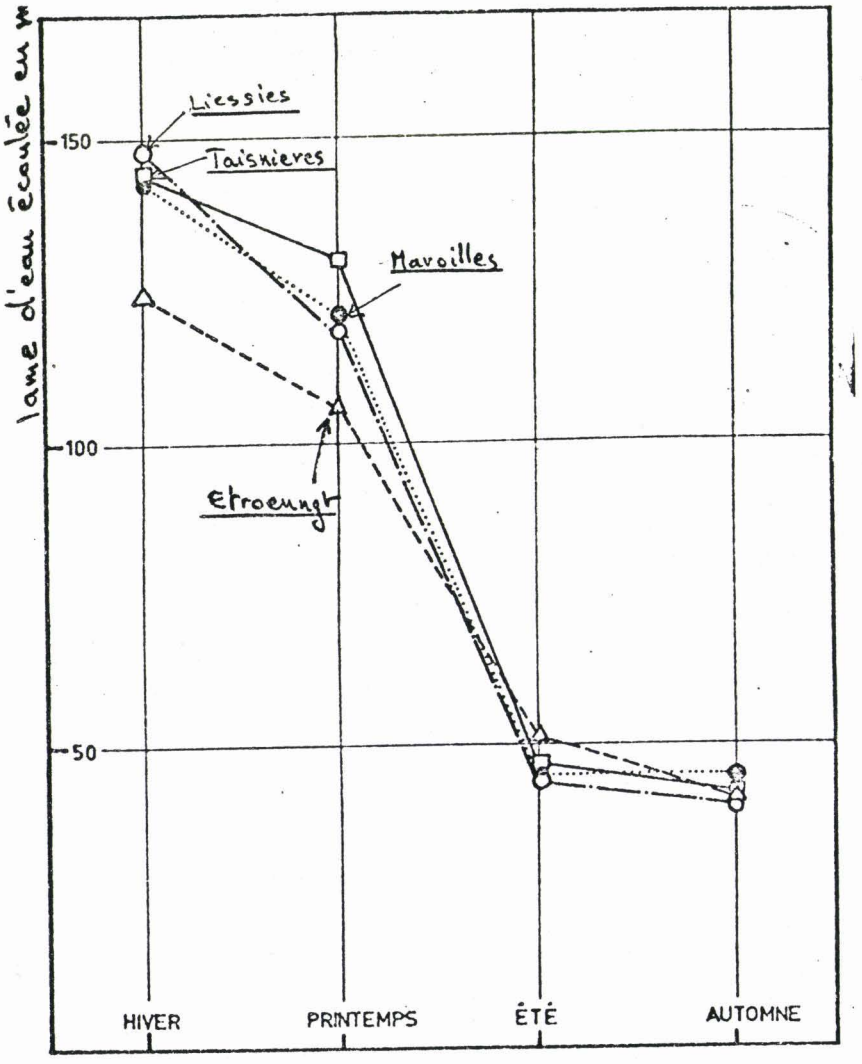



Figure 31 : Variations intersaisonnières (196 1974) de la lame d'eau écoulée.

Cette deuxième hypothèse semble la plus plausible. En effet, lors des deux saisons pluvieuses (hiver et printemps), les grès et schistes altérés, constituant la majorité du bassin versant de la Sambre, absorbent une partie de la pluie efficace et rechargent leur réserve utile en eau (R.U.). La R.U. n'est que très faiblement restituée à l'écoulement superficiel par l'intermédiaire de l'écoulement hypodermique. Elle est évaporée presque totalement lors des mois d'été et d'automne.

Cette hypothèse expliquerait l'écart entre les débits en hiver et au printemps ainsi que la similitude de ces débits en été et en automne.

### 3233 - Ecoulements intermensuels

Au-dessus de 100 mm écoulés, les débits mensuels maximaux s'observent toujours en décembre. Paradoxalement, lorsque la lame d'eau écoulée n atteint pas cette valeur, le maximum annuel est reporté aux mois de janvier ou de février. Les débits d'étiage sont réguliers dans le temps et oscillent tous dans l'intervalle $5 < h_m < 10$ mm ; ils s'échelonnent entre le mois de juin et le mois de septembre, parfois octobre. Aux stations de Maroilles et d'Etroeungt, sur l'Helpe mineure, les débits spécifiques sont pratiquement identiques sauf pour les débits élevés où la station de Maroilles révèle des débits supérieurs. Ceci semble être dû à l'écoulement favorisé par l'imperméabilité des marnes cénomano-turoniennes en aval d'Etroeungt. La même uniformité se rencontre sur l'Helpe Majeure. Les variations des débits spécifiques aux stations de Liessies (amont) et de Taisnières-en-Thiérache (aval) sont similaires. On note cependant des débits spécifiques d'étiage légèrement supérieurs pour cette dernière station. Cette constatation infirme l'hypothèse d'une régulation des débits par les calcaires carbonifères. Il semble que les schistes et psammites fissurés en amont du bassin constituent une réserve d'eau aussi importante que celle en aval dans les formations calcaires et dolomitiques. Ce potentiel aquifère n'est pas, à l'heure actuelle, mobilisable.

La figure 32 représente les variations du module débitmétrique mensuel pour les quatre stations jaugées par la Ière Circonscription Electrique. Les moyennes effectuées sur la période considérée donnent les indications suivantes :

- maximum d'écoulement en décembre et février,
- minimum aux mois d'été : 3,8 l/s/km2 comme module interannuel d'étiage,
- homogénéité des débits pour les différentes stations, sauf pour la station d'Etroeungt où les variations sont moins importantes.

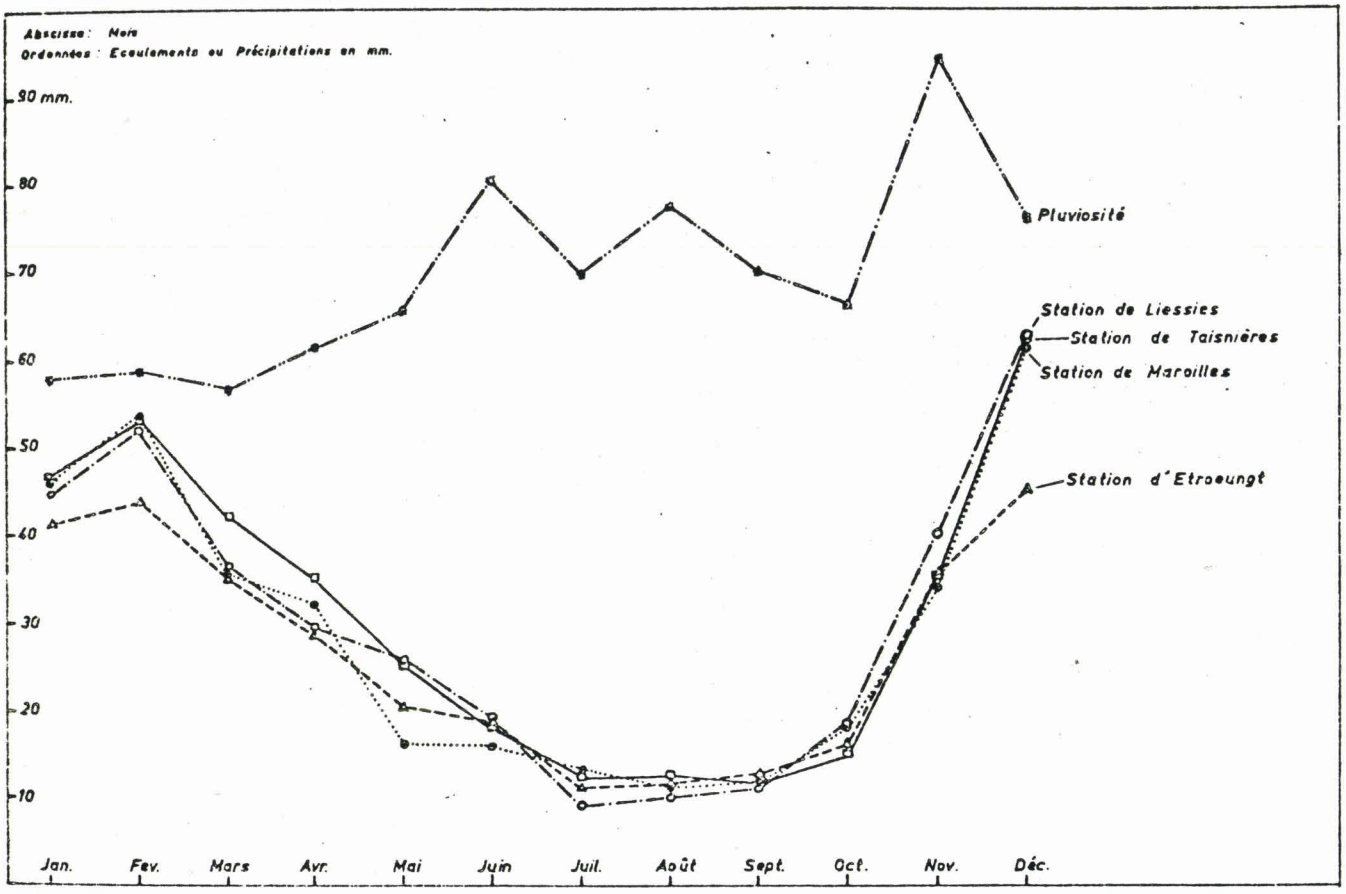



Figure 32 : Variations intermensuelles de la lame d'eau écoulée.

### 3234 - Ecoulements journaliers

Les diagrammes des débits journaliers classés permettent une approche de quelques paramètres hydrogéologiques. Ceux-ci définissent succinctement l'écoulement de base (assimilé à l'écoulement souterrain) en se servant des débits caractéristiques, notamment de celui d'étiage.

A titre indicatif, la figure 33 représente les variations des débits journaliers ainsi que la courbe des débits classés correspondant à l'année moyenne à la station de Liessies. Les différents débits caractéristiques sont donnés ci-après :

- DCM = débit dépassé 10 jours par an = 7,32 m3/s,
- DC1 = débit dépassé 1 mois par an = 4,40 m3/s,
- DC3 = débit dépassé 3 mois par an = 2,35 m3/s,
- DC6 = débit dépassé 6 mois par an = 0,85 m3/s,
- DC9 = débit dépassé 9 mois par an = 0,60 m3/s,
- DCE = débit dépassé 355 jours par an = 0,30 m3/s.

Les fortes variations du débit journalier, particulièrement en saison humide, montrent assez nettement la dominance du ruissellement. Celui-ci ne peut toutefois être chiffré d'après cette représentation car le nombre d'années considéré impliquerait trop de calculs.

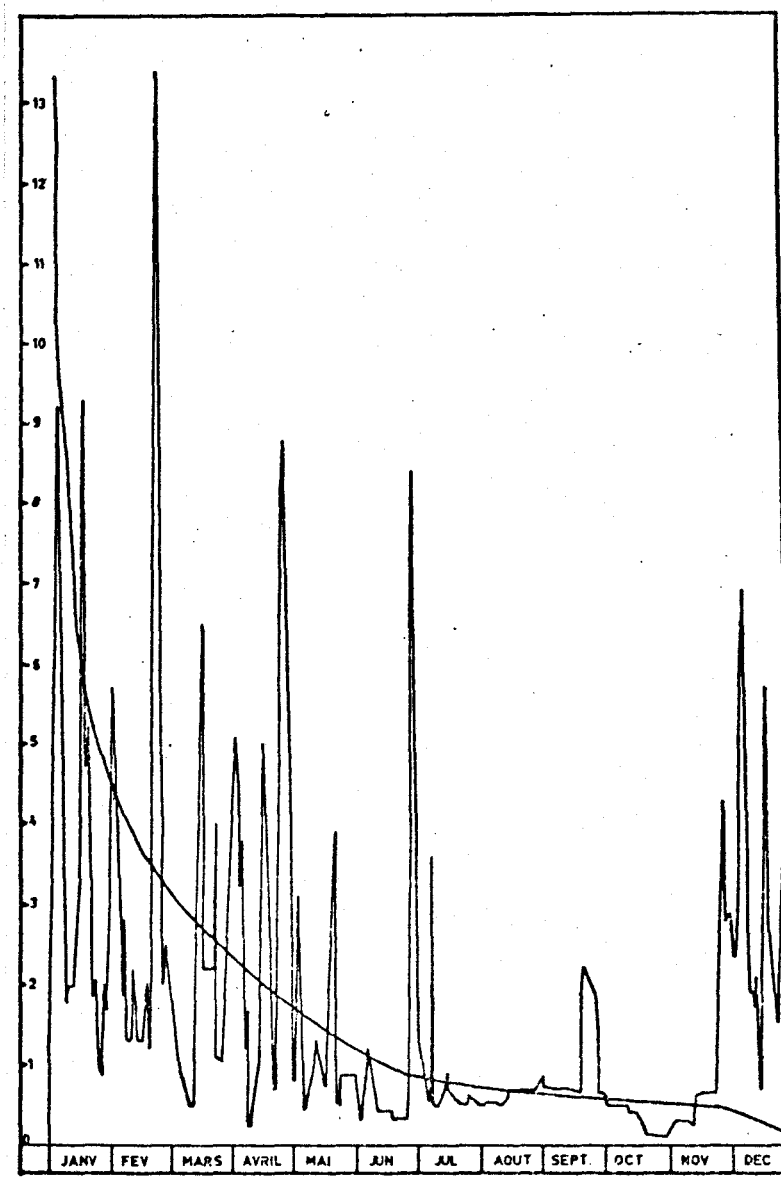



Figure 33 : Débits journaliers en m3/s et courbe des débits classés de l'année moyenne (1969) à la station de Liessies.

## 3235 - Analyse des hydrogrammes

Les débits de base des rivières sont le reflet fidèle des écoulements souterrains, c'est-à-dire de l'eau transitant dans les aquifères ; leur connaissance permet donc de quantifier les flux transitant à la surface et dans le sol.

L'application de méthodes de dépouillement des hydrogrammes (Rambert, 1971, 1972, 1973) telles que celles de Berkaloff et Castany, des débits moyens mensuels et de Rezaï-Valyce a donné, pour le bassin de la Sambre, les résultats synthétisés dans le tableau 9.

| Méthodes \ Caractéristiques \ Stations | | Débit total moyen ($Q_T$) en l/s/km2 | | | | Débit souterrain moyen ($Q_S$) en l/s/km2 | | | | Coefficient d'écoulement souterrain ($Q_S/Q_T$ x 100) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MAR. | LIES. | ETR. | TAIS. | MAR. | LIES. | ETR. | TAIS. | MAR. | LIES. | ETR. | TAIS. |
| Méthode de Berkaloff et Castany | Bassin aval tenant compte du bassin amont | 10.98 | 11.67 | 10.34 | 12.08 | 4.59 | | | 4.67 | 41.7 | | | 39.0 |
| | Bassin aval ne tenant pas compte de celui à l'amont | 10.98 | 11.67 | 10.34 | 12.08 | 5.14 | 3.43 | 4.27 | 6.51 | 46.8 | 29.4 | 41.3 | 53.9 |
| Méthode des débits moyens mensuels | | 10.98 | 11.67 | 10.34 | 12.08 | 4.26 | 3.34 | 3.99 | 4.42 | 38.8 | 28.6 | 38.6 | 36.6 |
| Méthode de Renzaï-Valyce | | 10.98 | 11.67 | 10.34 | 12.08 | 2.69 | 2.99 | 3.76 | 3.84 | 24.5 | 25.6 | 30.6 | 31.8 |

MAR. = MAROILLES ETR. = ETROEUNGT
LIES. = LIESSIES TAIS. = TAISNIERES

Tableau 9 : Débits et coefficients d'écoulement souterrains calculés d'après les différentes méthodes d'analyse des hydrogrammes.

On peut en dégager les caractères suivants :

- une constance dans les débits souterrains à la station de Liessies : les tro méthodes donnent pour celle-ci un coefficient d'écoulement souterrain compris entre 25,6 et 29,4%,
- une grande variété en ce qui concerne les valeurs de Maroilles (de 24,5 à 41,7%) et de Taisnières (de 31,8 à 53,9%). On peut supposer que ces deux stations en sont perturbées par la complexité et l'étendue de leur bassin versant,
- l'écoulement souterrain (figure 34) peut être estimé entre 30 et 40% pour le bassin de la Sambre. Pour préciser les conditions d'exploitation de l'eau qui transite ainsi dans les couches superficielles ou dans les aquifères, il serait mainten nécessaire de mettre en oeuvre des méthodes ponctuelles, telles que les pompages d'essais.

Les deux premières méthodes semblent avantager anormalement les écoulements souterrains de la station de Maroilles. On sait que son bassin versant ne possède pas réellement d'aquifère important aussi, les résultats obtenus sont sans doute très influencés soit par l'écoulement retardé, soit par le ruissellement ou l'écoulement de surface.

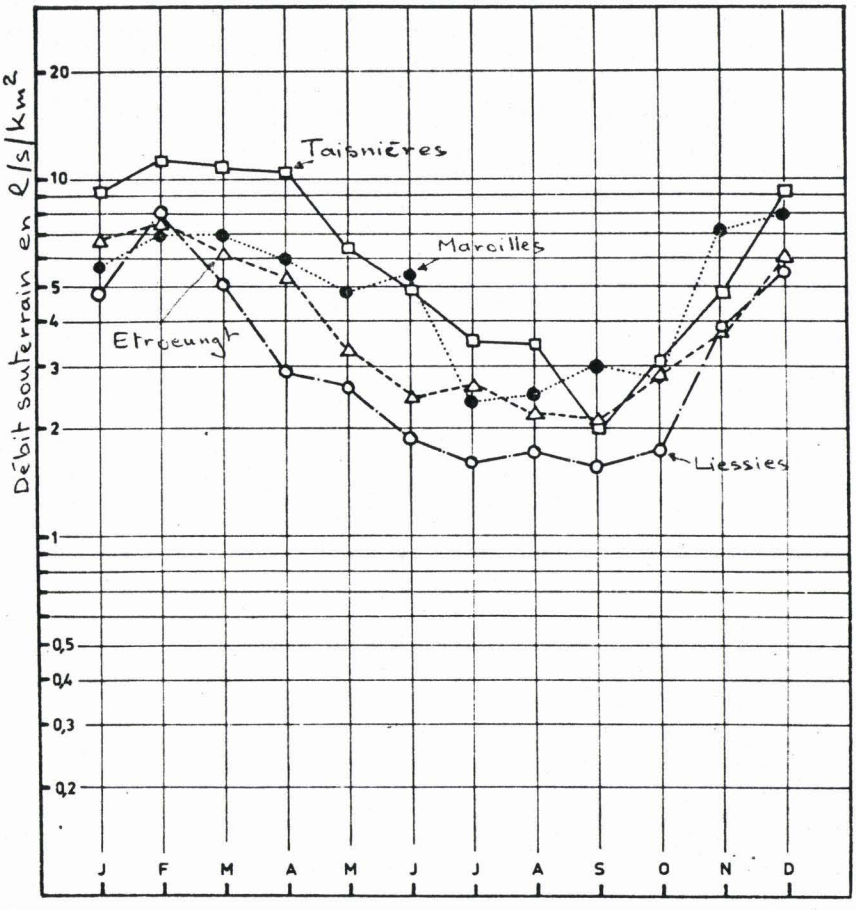



Figure 34 - Evolution intermensuelle du débit spécifique souterrain. Méthode de Berkaloff et Castany.

Seule la méthode de Rézaï-Valyce respecte les conditions hydrogéologiques des différents bassins.

Afin de définir les valeurs les plus plausibles, on a reporté les coefficients d'écoulement souterrain propres à chaque station et à chaque méthode sur la figure 35. Une variation arbitraire de 10 % a été choisie sur les coefficients afin de pouvoir synthétiser et déterminer les chevauchements les diverses méthodes.

La dernière colonne montre que seules Maroilles et Etroeungt sont mal définies. Les deux autres stations indiquent une homogénéité dans les résultats des 3 méthodes.

En conclusion, il semble que, la méthode de Rezaï-Valyce, soit celle qui définit le mieux les conditions réelles du bassin de la Sambre.

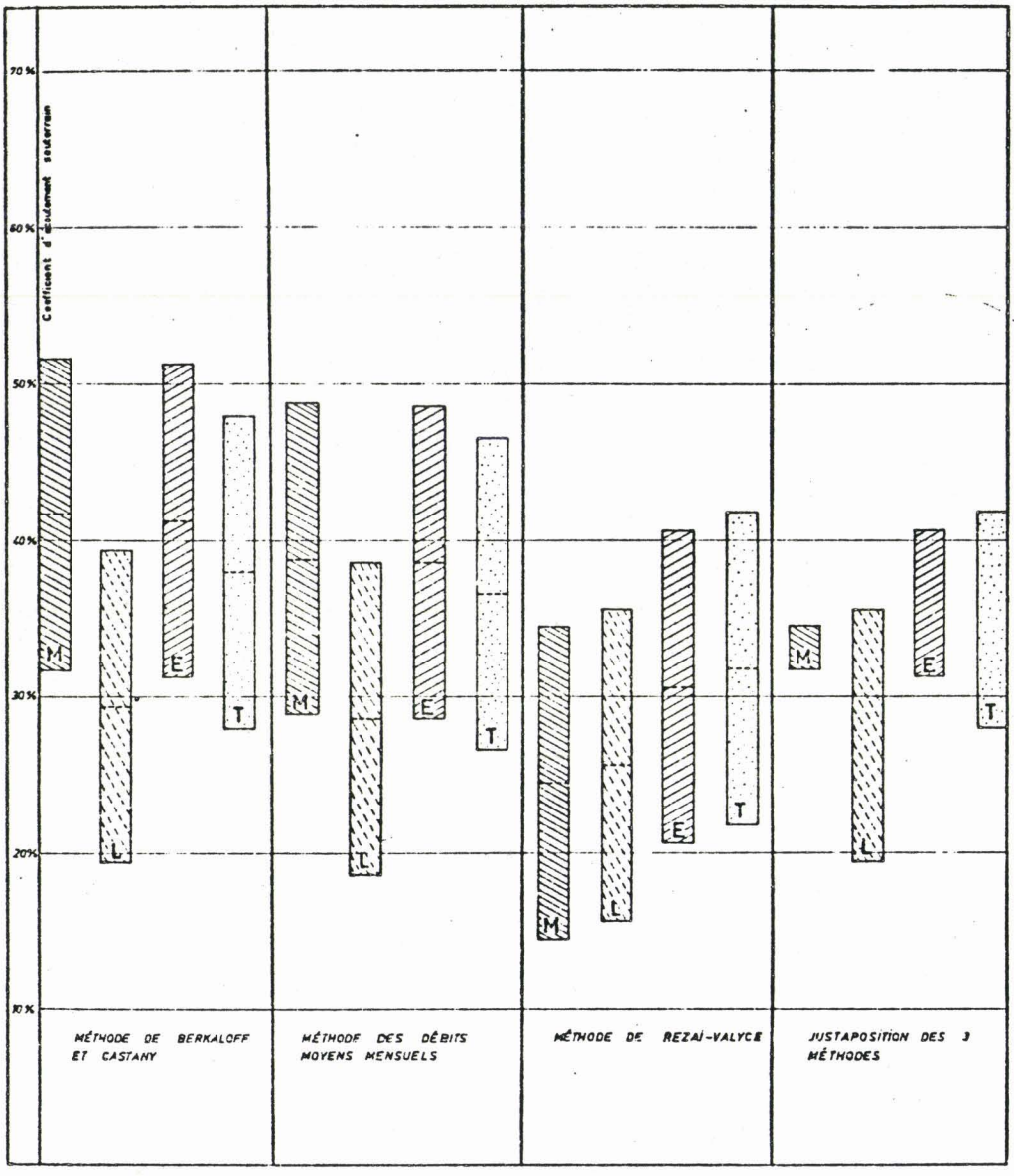



Figure 35 : Comparaison des différentes méthodes d'analyse de l'écoulement souterrain.
Légende : M = Maroilles ; L = Liessies ; E = Etroeungt ; T = Taisnière

### 3236 - Déficit d'écoulement

Le déficit d'écoulement moyen annuel (D) est calculé en établissant la différence entre les précipitations et les écoulements soit :

$$D = P - L$$

où les trois paramètres sont exprimés en millimètres. Les hauteurs d'eau tombées sur le bassin ont été évaluées par la méthode de Thiessen. Chaque station pluviométrique a ainsi été affectée d'un coefficient proportionnel à l'influence de celci sur les précipitations du bassin d'alimentation. Cette méthode permet d'évite toute perturbation et toute généralisation excessive dans les grandeurs. Les déficits d'écoulement correspondant aux bassins versants des stations de jaugeage son mentionnés dans le tableau 10.

| | MAROILLES | ETROEUNGT | TAISNIERES | LIESSIES |
|---|---|---|---|---|
| P | 830.9 | 846.6 | 837.0 | 863.6 |
| L | 346.7 | 326.2 | 374.6 | 367.9 |
| D | 484.3 | 520.4 | 462.4 | 495.7 |
| ETR | 446.1 | 508.2 | 506.5 | 510.9 |
| D - ETR | + 38.1 | + 12.2 | - 44.0 | - 15.2 |
| Ecart en % | + 7.8 | + 2.3 | - 8.5 | - 3.0 |
| $C = \frac{L}{P}$ | 0.42 | 0.38 | 0.45 | 0.43 |

Tableau 10 : Calcul des déficits d'écoulement.

Un calage avec l'évapotranspiration réelle (ETR) calculée a été effectué afin de connaître la fiabilité de cette dernière, calculée suivant la formule II de Coutagne (cf. § 3.6)

$$ETR = P - \lambda P^2$$

$$\text{où : } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14\ T}$$

P et T sont respectivement exprimés en mètre et en degrés Celcius. Cette valeur a été majorée de 3% compte-tenu des résultats obtenus comparativement avec l'évapotranspiration réelle mensuelle donnée par la formule de Thornthwaite : ceci pour une R.U. (ou R.F.U.) comprise entre 0 et 77 mm. On trouvera également dans le tableau 10 les différences entre D et ETR calculée, théoriquement nulles. Elles fluctuent entre plus et moins 10%, indiquant un bon calage de la méthode par la formule de Coutagne pour le bassin de la Sambre.

Les coefficients d'écoulement (C = L/P), permettant une autre visualisation des déficits d'écoulement, caractérisent les différentes unités géologiques, hydrogéologiques et météorologiques et indiquent les comparaisons possibles entre les modes d'écoulements des divers bassins. L'observation des quatre valeurs de C et en particulier celle d'Etroeungt plus faible que les autres, confirme l'hypothèse émise au paragraphe 3232. Il y a absorption plus importante des pluies hivernales par les couches superficielles altérées. Cette quantité d'eau n'est pas restituée sous forme d'écoulement mais est consommée en évaporation. On doit donc admettre que la capacité de rétention des schistes et grès à l'affleurement est supérieure à celle que l'on estimait.

### 3237 - Relations entre les débits spécifiques des différentes stations de jaugeage

La liaison fonctionnelle entre les débits spécifiques moyens annuels des stations de jaugeage des deux Helpe a été testée avec la méthode des ajustements linéaires. Pour les deux rivières, la corrélation entre débits amont et aval (figure 36) est très bonne puisqu'elle donne :

$r = 0{,}97$ pour l'Helpe mineure,

et $r = 0{,}97$ pour l'Helpe majeure.

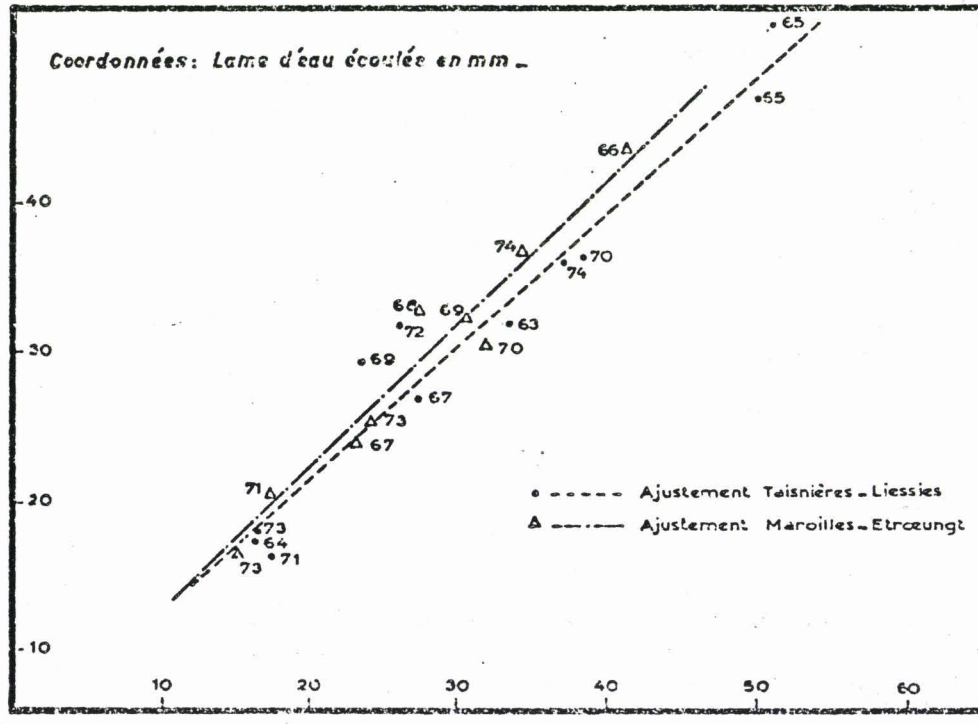



Figure 36 : Ajustements linéaires entre les débits spécifiques annuels des stations de Liessies, Taisnières, Maroilles et Etroeungt.

De plus, les coefficients angulaires des droites de régression sont tous deux proches de l'unité ($a_1 = 0{,}96$ ; $a_2 = 0{,}89$), ce qui revient à dire que les phénomène perturbateurs des régimes hydrauliques ne se font que faiblement sentir pour un pas de temps annuel.

## 324 - Recherche des zones favorables de captage

### 3241 - Cartographie des débits d'étiages

Une campagne de jaugeages effectuée en 1975 a permis d'avoir une idée plus précise sur les débits d'étiages (figure 37). Les rivières principales (Helpe Majeure et Mineure, la Solre et la Tarsy) ont des débits minimaux de 200 1/s, soit environ 700 m3/h. Ces valeurs permettent de supposer que l'utilisation de barrages-réservoirs ne serait pas affectée par des débits trop faibles en fin de saison sèche. Dans les rivières de 3ème degré (exemple : les affluents de l'Helpe Mineure), les débits d'étiage sont compris entre 2 et 10 1/s, soit 7 à 35 m3/h. On peut penser que si des retenues collinaires étaient réalisées sur certains de ces cours d'eau, des débits moyens de l'ordre de 100 m3/h seraient susceptibles d'être pompés sans rupture d'approvisionnement.

### 3242 - Simulation et cartographie des débits moyens des cours d'eau

Contrairement à la procédure utilisée pour les débits d'étiage, il n'est pas possible d'établir une carte des débits annuels moyens avec les données recueillies sur le terrain. Les débits moyens sont, en effet, des moyennes des relevés journaliers effectués tout au long d'une année. Quatre stations de jaugeage (Cf. paragraphe 321) répondent à un tel critère.

Nous tentons de pallier cet inconvénient en extrapolant les débits à un endroit quelconque du bassin connaissant l'évolution des débits en quatre endroits précis ainsi que les précipitations sur l'ensemble du bassin. Dans un premier temps, nous recherchons la meilleure formulation possible et les débits à son exutoire. Dans un second temps, nous simulons les débits pour l'ensemble du bassin de la Sambre grâce à la fonction F reliant pluies et débits. Le pas de temps utilisé pour cette modélisation sera le mois. Le modèle proposé entre dans le cadre d'une recherche d'un type de séries chronologiques où interviennent des processus markoviens. Le problème à résoudre est considéré depuis son état brut jusqu'à un aspect avancé où l'on considère que la relation entrée-sortie est suffisante pour la simulation. Chaque nouvelle phase du calcul, basée sur la précédente, conduit à une amélioration de la fonction F et à une progression vers la solution théorique.

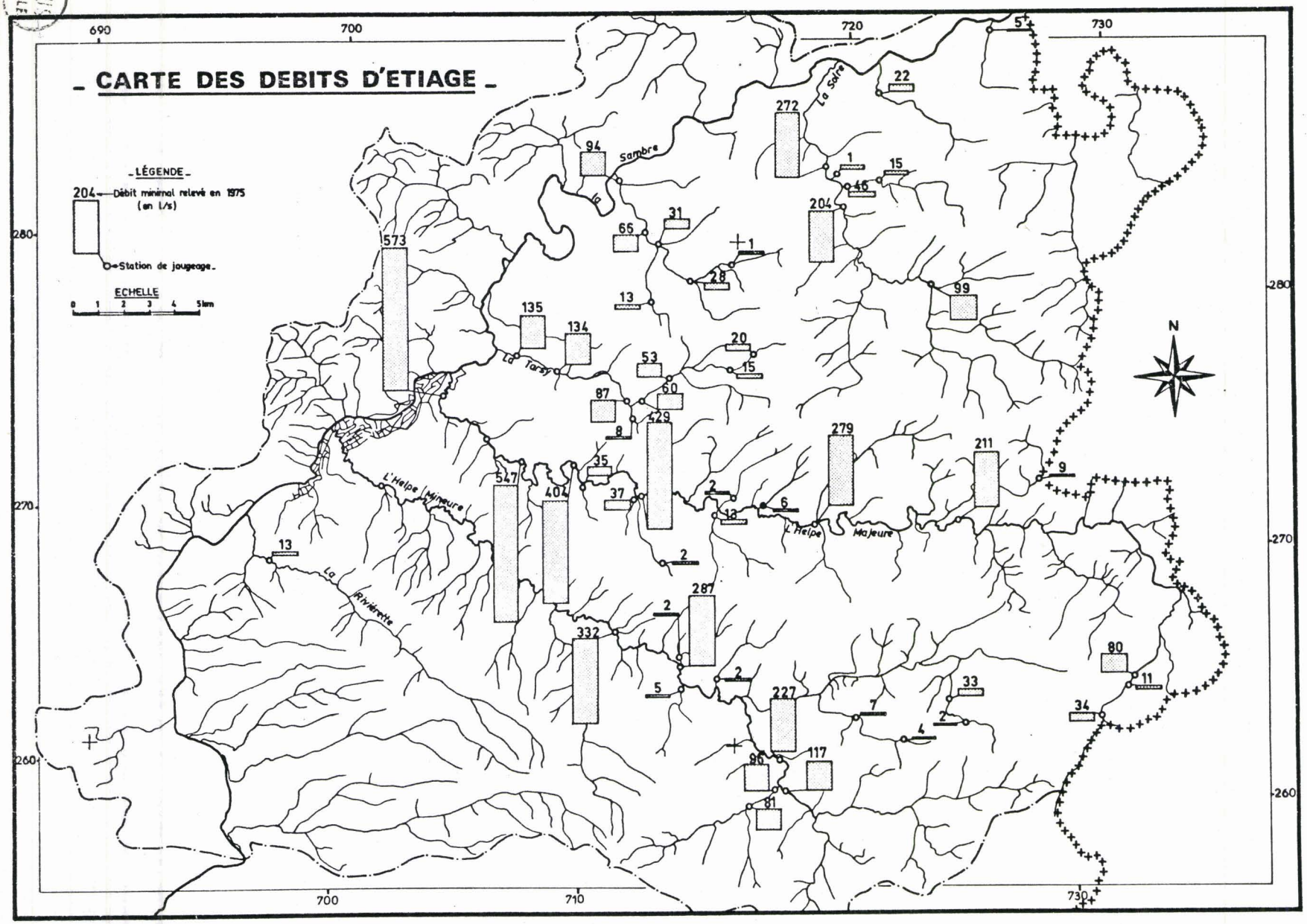



Figure 37 : Carte des débits d'étiage (1975).

Les modèles pluie-débit, réalisés à ce jour, ont été principalement des modèles globaux basés sur le produit de convolution :

$$Q(t) = \int_{\tau=0}^{\tau=m} P(t-\tau) \cdot T(\tau) \cdot d\tau$$

où : Q est un débit (grandeur de sortie), fonction du temps t,
P est une intensité de pluie (grandeur d'entrée), également fonction du temps,
T un opérateur, encore appelé fonction de réponse du bassin à une impulsion élémentaire, ou hydrogramme unitaire instantané,
m est la mémoire du système.

A partir de cette formule, divers modèles ont été mis au point : Blank et Delleur (1968) ont abordé le problème en faisant appel aux transformées de Fourier. On sait, en effet, que ces dernières permettent la décomposition de n'importe quelle série chronologique en une somme de fonctions cycliques ou exponentielles simples. Entre 1969 et 1973, le Laboratoire d'Hydrogéologie Mathématique de l'Ecole des Mines de Paris a mis au point un algorithme d'identification de l'opérateur (Emsellem et de Marsily 1969 ; Emsellem et al. , 1971 ; Poitrinal et de Marsily, 1973). La fonction utilisée par cette équipe est légèrement modifiée et admet un opérateur à deux variables, permettant de décrire des phénomènes non stationnaires. Les projections $a_i$ de l'opérateur sur une base orthonormée sont calculées en minimisant la norme de l'écart entre la sortie et l'application sur l'entrée (Poitrinal et de Marsily , 1973). Le travail le plus complet est réalisé avec le modèle STANFORD (Crawford and Linsley, 1966). Bien que son emploi soit peu aisé compte-tenu des nombreuses variables d'entrée, il est actuellement considéré comme le modèle le plus performant. Il permet notamment une optimisation des paramètres hydrologiques qui lui sont associés. De nombreuses versions de ce modèle ont ensuite été développées : modèles KENTURY (James et al. ; 1970) et MERO (in Delarozière-Bouillin et Lheureux, 1972).
Ce dernier très utilisé en France se base sur l'existence de deux réservoirs superficiel et profond."Les précipitations alimentent en premier lieu le réservoir U jusqu'à son remplissage maximal puis l'eau excédentaire, soustraction faite s'il y a lieu du ruissellement, est répartie entre le réservoir L et l'écoulement souterrain en fonction du taux de remplissage de L." (Delarozière-Bouillin et Lheureux, 1972). D'autres modèles ont ensuite été établis d'après le modèle MERO : le modèle SIMERO (Degallier, 1972) comporte trois phases distinctes de calcul. Il a le gros désavantage de présenter de nombreux paramètres à ajuster par tatonnements . Le modèle BEMER (Bezes, 1976) permet, au contraire, une utilisation très aisée.

Il possède la particularité de comporter cinq réservoirs dont trois d'entre eux correspondent aux réserves d'eau contenues dans les microfissures, fissures et diaclases de la roche réservoir.

Dans le cadre de ce mémoire, les différentes phases de la simulation des débits (Q) des bassins versants ont été les suivantes :

- Phase 1 :

Les précipitations P des stations pluviométriques sont pondérées suivant la méthode de Thiessen afin d'obtenir, pour chaque mois, la pluie pondérée moyenne ($P_p$) correspondant à chaque bassin versant. Une corrélation $P_p$, Q pour les valeurs intermensuelles donne les résultats suivants (tableau 11).

| | $\overline{P}_p$ | $\sigma_p$ | $\overline{Q}$ | $\sigma_Q$ | r | a | b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Liessies | 71,03 | 37,84 | 2,094 | 2,134 | 0,558 | 0,032 | - 0,155 |
| Etroeungt | 68,75 | 38,56 | 1,751 | 1,519 | 0,601 | 0,024 | 0,113 |
| Maroilles | 66,86 | 36,79 | 2,783 | 2,692 | 0,596 | 0,044 | - 0,148 |
| Taisnières | 67,13 | 36,06 | 3,638 | 3,606 | 0,523 | 0,053 | 0,1048 |

Tableau 11 - Corrélation entre pluies et débits intermensuels

avec : $\overline{Q} = a.\overline{P}_p + b$

où : Q est en m3/s et $\overline{P}_p$ en mm d'eau.

Les coefficients de corrélation (r) sont donc faibles mais significatifs.La différence entre chacun des ajustements est faible également puisque les r oscillent entre 0,5 et 0,6.

- Phase 2 :

Dans cette phase, l'analyse porte non plus sur des grandeurs intermensuelles mais sur les pluies pondérées et débits mensuels. Les coefficients de corrélation sont maintenant les suivants :

- Liessies : r = 0,555
- Etroeungt : r = 0,711
- Maroilles : r = 0,708
- Taisnières : r = 0,593

On trouve dans le tableau 12 le détail des calculs effectués pour les corrélations mensuelles des couples ($P_p$, Q) à la station de Maroilles. Le comportement saisonnier de r est le même dans les autres stations.

| | $P_p$ | $\sigma_p$ | $\overline{Q}$ | $\sigma_Q$ | r | a | b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier | 60.671 | 26.616 | 3.964 | 2.224 | .589 | .053 | .747 |
| Février | 55.207 | 34.067 | 5.107 | 3.028 | .875 | .084 | .485 |
| Mars | 59.121 | 21.668 | 3.756 | 1.475 | .793 | .058 | .320 |
| Avril | 58.379 | 30.445 | 3.152 | 2.104 | .823 | .061 | .420 |
| Mai | 62.136 | 23.240 | 1.685 | 1.014 | .684 | .032 | -.314 |
| Juin | 67.121 | 34.987 | 1.747 | 1.464 | .643 | .03 | -.20 |
| Juillet | 68.729 | 30.351 | 1.095 | .649 | .572 | .01 | .19 |
| Août | 72.150 | 32.518 | 1.141 | .839 | .638 | .02 | -.14 |
| Septembre | 70.993 | 51.507 | 1.351 | 1.931 | .631 | .03 | -.46 |
| Octobre | 62.014 | 46.758 | 1.691 | 1.935 | .698 | .03 | -.24 |
| Novembre | 96.114 | 28.157 | 3.716 | 2.255 | .653 | .06 | -1.70 |
| Décembre | 69.743 | 58.203 | 5.011 | 5.357 | .891 | .09 | -1.15 |
| Moyenne | | | | | .708 | | |

Tableau 12 - Corrélation entre pluies et débits mensuels (station de Maroilles)

Les mois d'été donnent en général les moins bonnes liaisons fonctionnelles pluie-débit alors que les mois pluvieux ont des corrélations oscillant autour de 0,8 (cf. tableau 12 ). En effet, la simulation est effectuée avec les pluies brutes desquelles l'évapotranspiration n'est pas otée. Les quantités d'eau évacuées par ce phénomène n'affectent la relation pluie-débit que pendant les mois chauds. C'est pour cette raison que nous travaillerons sur les excédents d'eau dans la troisième phase.

De ces deux premières étapes de la modélisation, nous pouvons conclure qu'une corrélation globale entre pluies et débits existe, mais médiocrement. Le passage à une analyse mois par mois améliore fortement la corrélation (0,71 contre 0,55) en éliminant les fluctuations saisonnières impliquées dans la corrélation globale de la première phase. Le gain (11 %) est surtout sensible sur les stations de jaugeage de l'Helpe Mineure (Etroeungt et Maroilles). Cette amélioration n'est pourtant pas suffisante, notamment pour les stations de l'Helpe Majeure ($\bar{r}$ = 0,572). Il existe donc une forte différence de corrélation (13 %) entre les deux Helpe. Cette différence serait due à une quantité d'eau

infiltrée moins importante dans le cas de l'Helpe Mineure. Le transit de l'eau vers l'exutoire se ferait donc en majeure partie le mois même par l'intermédiaire de cette rivière. Ce fait se conçoit assez bien si l'on se rappelle que les aquifères du bassin de la Sambre se trouvent principalement localisés sur le bassin versant de l'Helpe Majeure.

- Phase 3 :

Les excédents d'eau ont été calculés à partir des valeurs mensuelles pondérées des pluies correspondant à chaque bassin versant. La méthode de calcul, préconisée par Thornthwaite (1948), est appliquée aux données. Un exemple des résultats obtenus pour la station de Maroilles est donné dans le tableau 13 :

| | $\overline{EXC}$ | $\sigma_{EXC}$ | Q | $\sigma_Q$ | r | a | b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier | 51.777 | 24.068 | 3.964 | 2.224 | .494 | .05 | 1.42 |
| Février | 44.409 | 33.319 | 5.107 | 3.028 | .879 | .09 | 1.31 |
| Mars | 37.314 | 21.250 | 3.756 | 1.475 | .809 | .06 | 1.50 |
| Avril | 21.505 | 24.763 | 3.153 | 2.104 | .818 | .07 | 1.54 |
| Mai | 2.326 | 7.332 | 1.684 | 1.014 | .541 | .08 | 1.50 |
| Juin | 1.893 | 5.683 | 1.747 | 1.464 | .547 | .15 | 1.46 |
| Juillet | .000 | .000 | 1.095 | .649 | .000 | .00 | 1.09 |
| Août | .000 | .000 | 1.141 | .839 | .000 | .00 | 1.14 |
| Septembre | 4.633 | 17.336 | 1.351 | 1.931 | .893 | .11 | .85 |
| Octobre | 9.303 | 34.808 | 1.691 | 1.935 | .794 | .05 | 1.25 |
| Novembre | 24.534 | 33.057 | 3.716 | 2.255 | .599 | .04 | 2.64 |
| Décembre | 55.689 | 57.904 | 5.011 | 5.357 | .887 | .09 | .09 |
| Moyenne | 21.155 | | | | .602 | .07 | |

Tableau 13 : Corrélation entre excédents et débits mensuels (station de Maroil

Globalement, les coefficients de corrélation linéaires sont inférieurs lorsque les valeurs pluviométriques brutes sont remplacées par les excédents d'eau. La perte d'information est de l'ordre de 10 pour cent. Les corrélations de ces trois premières phases sont résumées ci-dessous :

| | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 |
|---|---|---|---|
| Liessies | .558 | .555 | .408 |
| Taisnières | .523 | .593 | .488 |
| Etroeungt | .601 | .711 | .655 |
| Maroilles | .596 | .708 | .602 |

Si l'on compare les résultats de la phase 2 avec ceux de la phase 3, nous obtenons pour chaque mois, les résultats suivants (tableau 14) :

| | Coefficient de corrélation entre P et Q | Coefficient de corrélation entre EXC et Q | Gain d'information en % |
|---|---|---|---|
| Janvier | .609 | .576 | - 3.3 |
| Février | .449 | .538 | 8.9 |
| Mars | .736 | .717 | - 1.9 |
| Avril | .819 | .795 | - 2.4 |
| Mai | .690 | .583 | -10.7 |
| Juin | .573 | .615 | 4.2 |
| Juillet | .508 | .000 | -50.8 |
| Août | .523 | .079 | -44.4 |
| Septembre | .559 | .461 | - 9.8 |
| Octobre | .701 | .834 | 13.3 |
| Novembre | .633 | .690 | 5.7 |
| Décembre | .893 | .895 | 0.2 |

Tableau 14 : Corrélations et gain d'information entre les phases 2 et 3.

La perte moyenne pour l'ensemble des mois de l'année correspond donc à une perte d'information de 7,55%. Ce sont principalement les mois d'été qui grèvent cette corrélation. Durant ces mois chauds, l'excédent d'eau est très souvent nul alors que les débits dans les rivières ne le sont pas. Les eaux qui forment ces étiages en été ne se sont infiltrées qu'un à plusieurs mois auparavant.

- Phase 4 :

On conçoit donc qu'un retard à la restitution dans les rivières est opéré sur une certaine quantité d'eau transitant dans le sol avant d'être récupérée dans les rivières. Le but de cette quatrième phase sera donc de rechercher les composantes de la fonction retard $\phi$. La formulation du problème (figure 38) peut être faite suivant l'équation :

$$Q(t) = q_1(t) + q_2(t)$$

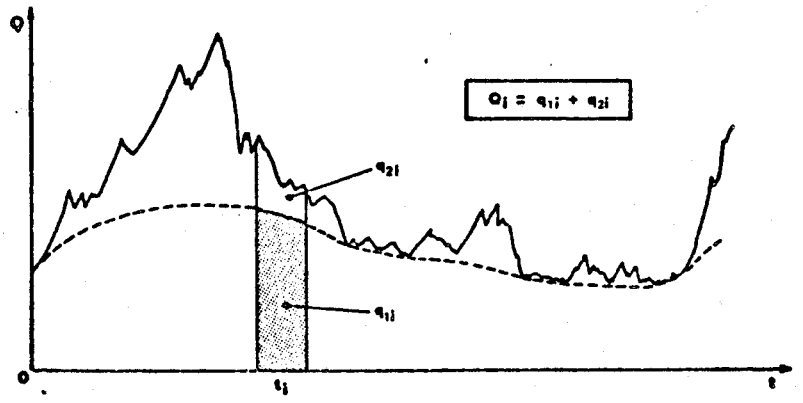



Figure 38 : Décomposition du débit total en écoulements de base et superficiel.

où : Q (t) est l'écoulement total dans le cours d'eau,

$q_1$ (t) est l'écoulement de base transitant dans l'aquifère,

$q_2$ (t) est la composante du ruissellement de surface et du ruissellement hypodermique. On considère que cette quantité est restituée le même moi

La valeur du ruissellement peut s'écrire :

$$q_2 (t) = EXC (t) . K$$

où : EXC (t) est l'excédent d'eau du mois t,

K le coefficient de répartition des eaux de surface et des eaux souterraines. Ce coefficient a été calculé dans le paragraphe 3235.

$q_1$ (t) peut être estimé par la relation :

$$q_1 (t) = (1-K) \int_{j=1}^{j=\infty} \phi_j . EXC_{i-\infty+j}$$

avec :

$\Phi$ = fonction de retard en relation avec le coefficient de tarissement.

Dans un espace discret, la relation devient :

$$q_1 (t) = (1 - K) \sum_{j=1}^{j=\infty} . \phi_j . EXC_{i-\infty+j}$$

La fonction retard ne comporte pas une infinité de composantes: on peut estimer que ce retard maximal est de l'ordre de 6 à 12 mois. Arbitrairement nous prendrons la valeur de 9 mois pour les calculs. La fonction $\phi$ peut donc être assimilée à une chaîne markovienne du neuvième degré. L'équation finale est donc :

$$Q (t) = EXC (t) . K + (1-K) . \sum_{j=1}^{j=9} \phi_j . EXC_{i-10+j}$$

Deux hypothèses sont faites au sujet des coefficients $Q_j$ de la fonction de retard :

- les $\phi_j$ décroissent à partir du mois i jusqu'au mois i - 9 selon une loi exponentielle,
- la fonction Q est stationnaire, c'est-à-dire que ses composantes ne varient pas dans le temps. Cette seconde hypothèse est sans doute erronée mais une non-stationarité des coefficients $\phi_j$ correspondrait à des calculs fastidieux, ne semblant pas apporter de modification notable dans l'ajustement.

Suivant la première hypothèse, l'équation précédente devient :

$$Q_i = EXC_i \cdot K + (1-K) \cdot \sum_{j=1}^{j=9} Ae^{B \cdot j} \cdot EXC_{i-10+j}$$

ou encore :

$$Q_i = EXC_i \cdot K + (1-K) \cdot A \cdot \sum_{j=1}^{j=9} e^{B\,j} \cdot EXC_{i-10+j}$$

où A et B sont les coefficients de la fonction exponentielle $y = Ae^{Bx}$ correspondant à la fonction tarissement des débits dans les cours d'eau. Comme base de départ, nous avons pris arbitrairement les coefficients $\phi_j$ suivants :

| | | |
|---|---|---|
| $\phi_1 = 0,0256$ | $\phi_4 = 0,0671$ | $\phi_7 = 0,1502$ |
| $\phi_2 = 0,0351$ | $\phi_5 = 0,0895$ | $\phi_8 = 0,1949$ |
| $\phi_3 = 0,0511$ | $\phi_6 = 0,1182$ | $\phi_9 = 0,2684$ |

correspondant aux constantes :

$A = 0,02039$
$B = 0,28775$

La valeur K sera prise comme la moyenne (0,7) de celles définies pour les quatre stations débimétriques (Cf. paragraphe 3235).

Deux essais ont été effectués sur les 168 valeurs mensuelles de chaque station débitmétrique. En premier lieu, la fonction de retard a été utilisée sur les pluies brutes, préalablement pondérées. Dans un second essai , $\phi$ a été appliquée sur les excédents d'eau. Le tableau 15 récapitule les résultats obtenus :

Tableau 15 - Comparaison des corrélations des différentes phases

| | r Phase 1 | r Phase 2 | r Phase 3 | r Phase 4 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Pluie globale | Excédent |
| Liessies | 0,558 | 0,555 | 0,408 | 0,620 | 0,833 |
| Taisnières | 0,523 | 0,593 | 0,488 | 0,593 | 0,855 |
| Maroilles | 0,596 | 0,708 | 0,602 | 0,642 | 0,885 |
| Etroeungt | 0,601 | 0,799 | 0,655 | 0,644 | 0,919 |

Ainsi, lorsque l'on applique un retard d'écoulement de l'ordre de 9 mois, les coefficients de corrélation s'améliorent de 6% pour les pluies brutes et de 30% pour les excédents d'eau.

Ce type de modèle semble donc s'accorder assez bien avec les phénomènes naturel La figure 39 donne un exemple d'ajustement pour la station débitmétrique de Liessie (qui possède la corrélation la moins bonne). On notera que la fonction retard emplo surestime les étiages tout en sous-estimant les crues.

Les droites de régression correspondant aux quatre stations débitmétriques sont les suivantes :

Liessies : $Q = 0{,}066190\ Q_c + 0{,}446173$

Taisnières : $Q = 0{,}126884\ Q_c + 0{,}921709$

Maroilles : $Q = 0{,}053700\ Q_c + 0{,}479110$

Etroeungt : $Q = 0{,}098130\ Q_c + 0{,}677197$

où : Q est le module débitmétrique mensuel observé en m3/s,
et : $Q_c$ est le module débitmétrique mensuel calculé en mm.

Les constantes a et b des équations ci-dessus semblent être en rapport avec la géologie des bassins versants. Plus le bassin versant possède un aquifère important plus a et b sont élevés. La progression est la suivante :

- Taisnières,
- Etroeungt,
- Liessies,
- Maroilles.

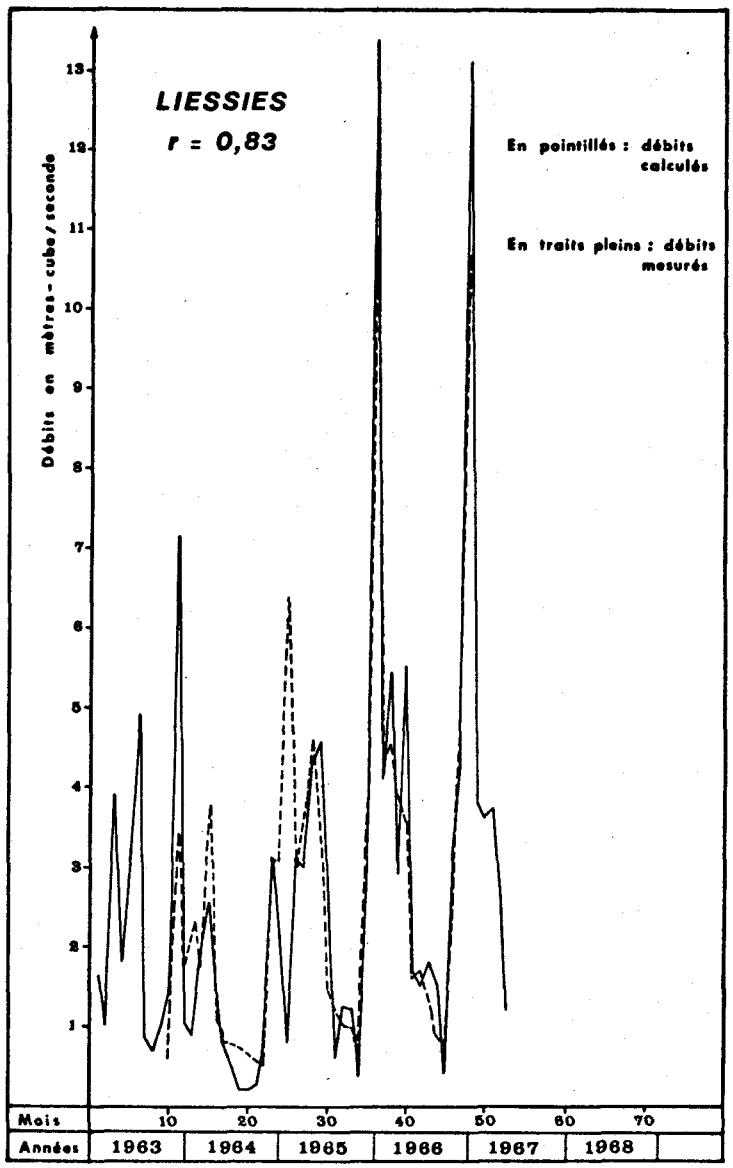



Figure 39 : Exemple d'ajustement après la phase 4. A noter que la station de Liessies représente l'ajustement le plus mauvais. On peut constater une erreur de mesure au début de l'année 1965.

L'extrapolation à l'ensemble du bassin ( figure 40 ) indique des débits annuels moyens importants . A Dourlers, par exemple , la simulation a donné un débit de 0,06 m3/s , soit 216m3/h répartis sur toute l'année et cela pour un bassin ne faisant que 7 km2 . Pour des points situés plus en aval des rivières comme à Pont-de-Sains ( près de Trélon ) ,le module débitmétrique interannuel est de l'ordre de 0,68 m3/s (2448 m3/h ) pour un bassin versant de 38 km2. Les valeurs à l'aval sont naturellement encore plus importantes . La quantité d'eau pouvant être utilisée à des fins industrielles ou publiques est donc largement suffisante même dans la partie amont du bassin de la Sambre. L'étude menée sur les données pluviométriques et débitmétriques indique ainsi que, quantitativement, la solution de prise d'eau directe dans les rivières ou de prise d'eau dans des retenues collinaires est plausible.

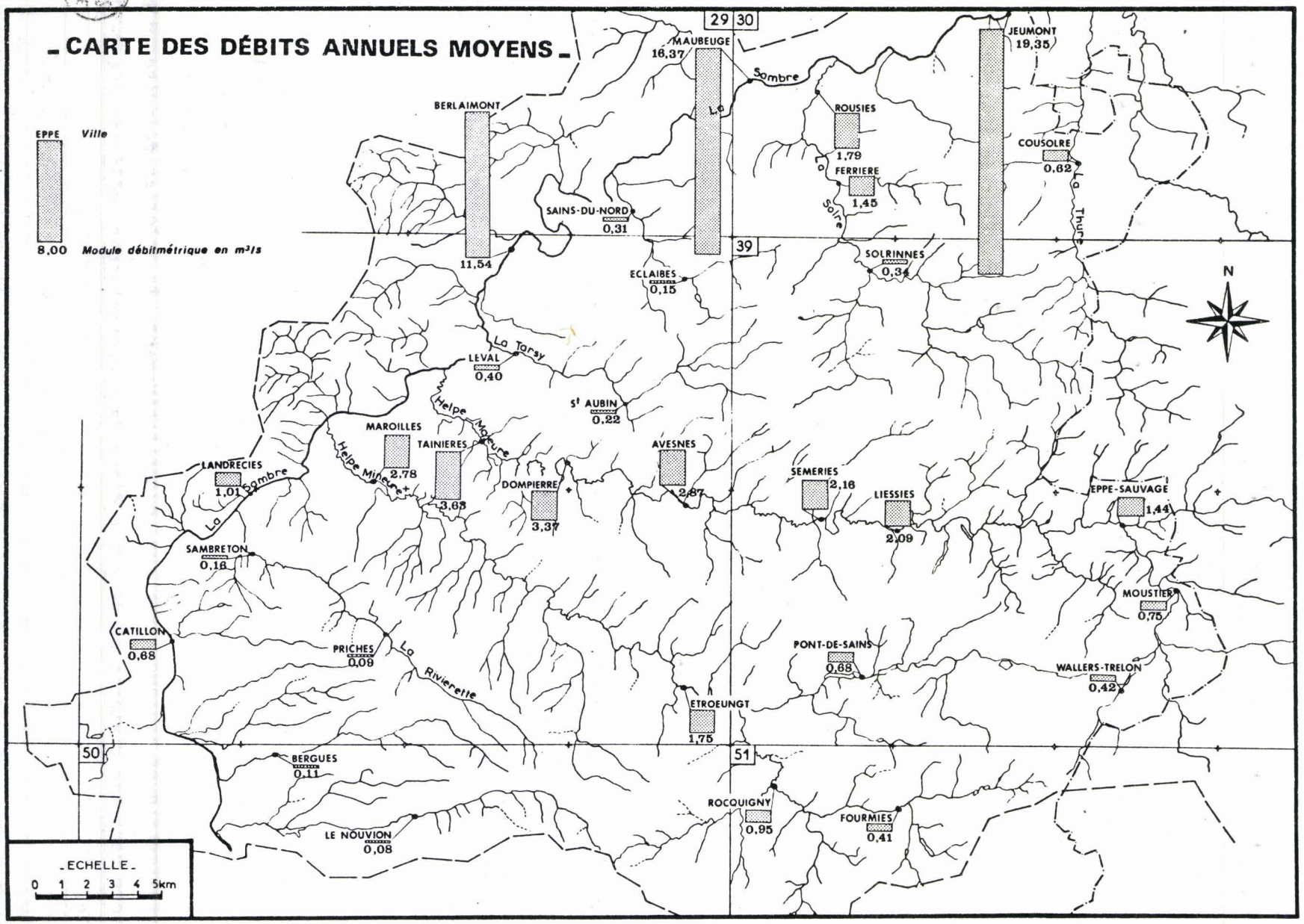



Figure 40 : Carte des débits annuels moyens des rivières.

## 3243 - Lacs et retenues collinaires

L'estimation budgétaire d'un projet d'alimentation, à partir de lacs et retenues collinaires, peut être entreprise en insistant sur les critères, contraintes, avantages et inconvénients d'une alimentation d'eau de surface. Par la suite, le terme de plan d'eau sera utilisé chaque fois que nous n'aurons pas à préciser le type : lac, étang, rivière ou retenue collinaire (potentielle ou existante).

### a) - Méthodologie

La recherche des sites potentiels de retenues collinaires et de lacs a été entreprise à partir des cartes géographiques I.G.N. au 1/25 000 ainsi que des photos aériennes couvrant le Bassin de la Sambre. Leur observation stéréoscopique a permis d'établir une carte des plans d'eau (figure 41 ). Certains des sites proposés furent ensuite examinés sur le terrain.

### b) - Critères de choix

Les critères suivants définissent la qualité de chaque plan d'eau :

- nature du sous-sol,
- volume,
- profondeurs maximale et moyenne,
- superficie,
- fluctuations du niveau d'eau,
- qualité chimique de l'eau, distance aval d'une agglomération (ou généralement d'une source de pollution),
- section de la vallée à l'emplacement du barrage ou de la retenue.

### c) - Nature du sous-sol

Le substratum du plan d'eau et de la retenue doit répondre à des exigences précises telles que l'imperméabilité (afin d'éviter le maximum de pertes par infiltration) et la résistance mécanique du sol (compacité, absence de plans de glissement ou de cisaillement, fracturation faible ou nulle, etc...). Ce second critère est nécessaire quant aux types de retenue et d'ancrages à adopter. Il est évident que la construction d'une retenue sur un site de plaine alluviale tourbeuse augmentera les risques de détérioration, le coût de l'étude géologique préliminaire ainsi que le coût des fondations. A noter cependant que la notion d'imperméabilité du substratum n'est pas obligatoire si le plan d'eau est au droit d'un aquifère surexploité. Il y a, dans ce cas, réalimentation artificielle de la nappe.

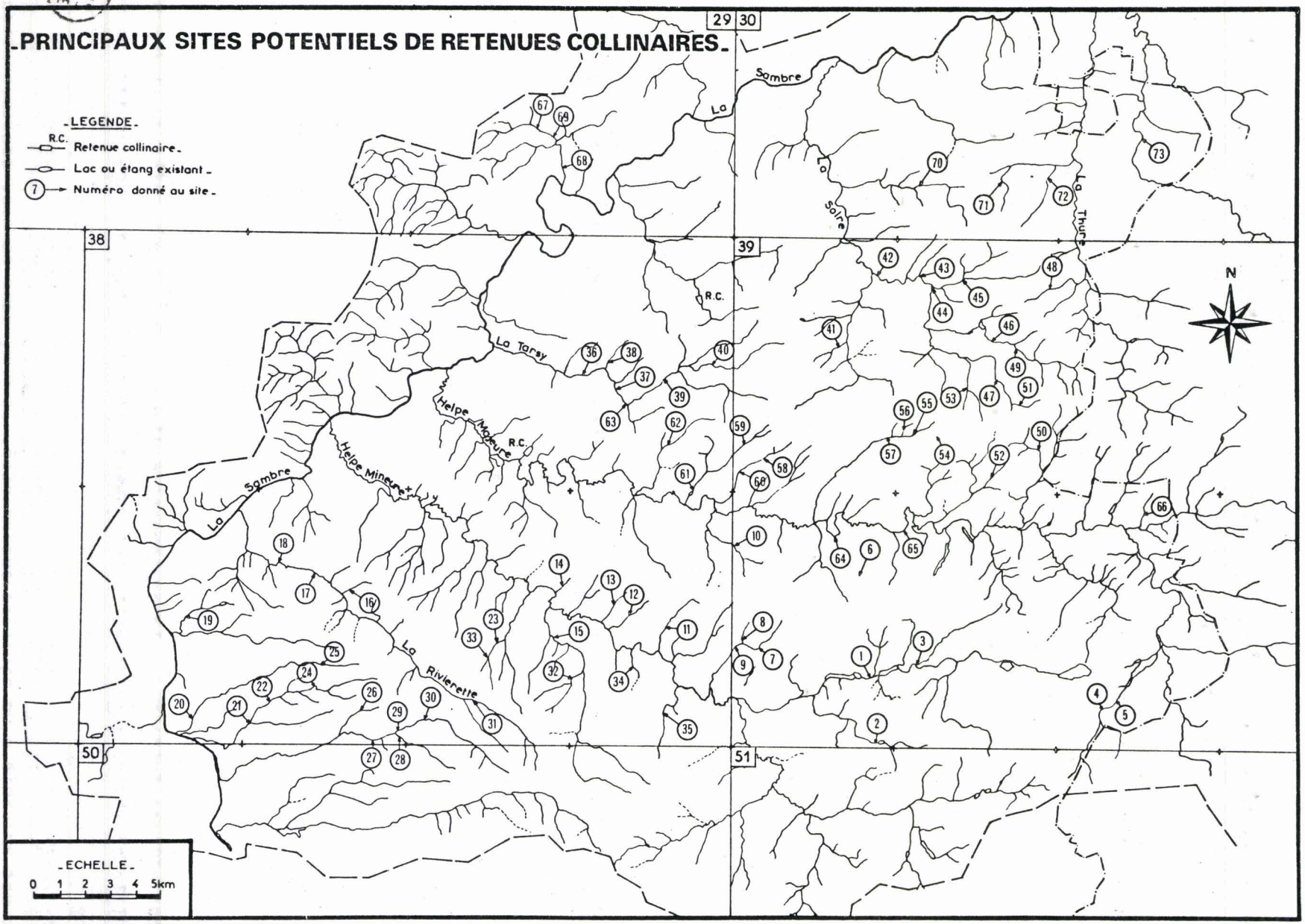



Figure 41 : Principaux sites potentiels de retenues collinaires.

La profondeur de la retenue est également en relation avec la hauteur du barrage (donc de l'investissement initial) ; il en est de même avec le volume et la superficie du plan d'eau.

f) - Superficie du plan d'eau (Sn)

La superficie de la retenue doit être la plus faible possible, pour deux raisons économiques essentielles :

- les terrains immergés, devant être acquis en toute propriété, une surface noyée minimale correspond à un investissement moindre ;
- les pertes par évaporation sont proportionnelles à la superficie.

On recherchera donc un site où la surface inondée (Sn) sera minimale tout en gardant un volume d'eau (Ve) maximal, en d'autres termes, on cherchera à maximiser le rapport Ve/Sn. Cette condition sera réalisée si la retenue noie une zone de rupture de pente du cours d'eau (figure 42).

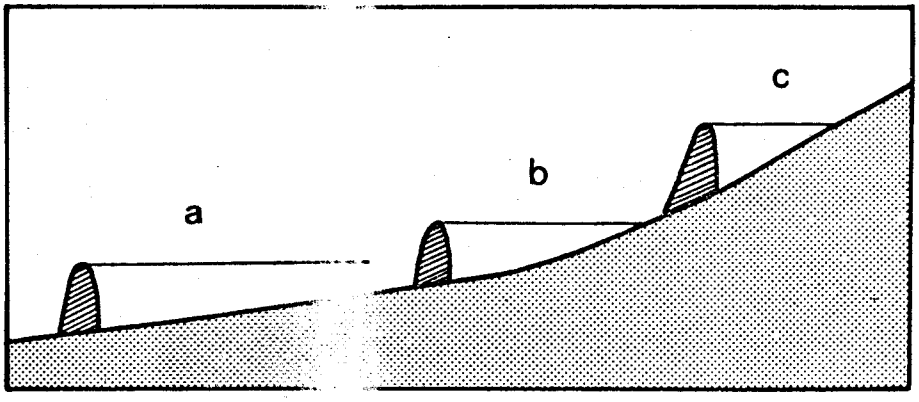



Figure 42 : Importance de la pente sur la superficie et le volume du réservoir.

Cependant, si l'exploitant décide d'utiliser en même temps le plan d'eau comme centre de loisir, une superficie plus importante peut être requise ; une pente faible (figure 42a) correspondra au site.

g) - Fluctuations du niveau d'eau

Parallèlement au volume, la hauteur du plan d'eau subit des fluctuations correspondant aux variations des apports. Trois zones sont prises en compte dans la retenue (figure 43) :

- zone de stockage des crues,
- zone active correspondant à l'eau disponible pour le pompage,
- zone morte.

Dans l'Avesnois, les terrains les plus propices à l'implantation de retenues sont les suivants :

a) - Alluvions quaternaires des vallées lorsque celles-ci sont argileuses.
b) - Argile à silex (terrain non daté).
c) - Marnes argileuses et marnes sableuses du Turonien inférieur et du Cénomanien.
d) - Schistes du Famennien.

d) - Volume du réservoir

La capacité d'une retenue collinaire est définie principalement par le régime hydraulique du cours d'eau qui l'alimente. Le débit d'étiage (Qe) et le module débitmétrique (Qm) de l'écoulement seront déterminants pour connaître le volume maximal (Vmax) du réservoir. En effet, Vmax ne sera atteint que si un écrétage sur Qm est réalisé : dans ce cas, le déficit produit lors de l'étiage sera compensé par les débits excédentaires de la saison hivernale. Nous avons vu précédemment qu'il était possible de déterminer les Qe et Qm par extrapolation. Le volume du réservoir sera également dépendant de la taille du barrage. Si $S_i$ est le volume d'eau au début de l'année i et $Y_p$ la capacité maximale définie par le barrage, alors :

$$S_i = Y_p - Q_i + S_{i-1}$$

où : $S_{i-1}$ est le volume d'eau dans le réservoir pour l'année i-1

et : $Q_I$ le module débitmétrique annuel de l'année i (Biswas, 1976).

La qualité du site proposé dépend aussi du rapport Ve/Vr où Ve est le volume d'eau stocké et Vr le volume de la retenue. Le projet est d'autant plus économique que ce rapport est élevé.

e) - Profondeurs maximale et moyenne

Plus la profondeur du réservoir est importante, plus la qualité de l'eau prélevée sera constante et meilleure. En effet, le prélèvement est généralement choisi dans la strate d'eau intermédiaire du réservoir. On évite ainsi le problème de la prolifération des algues microscopiques et les objets flottants (feuilles, huiles, etc...) à proximité de la surface ainsi que boues et sédiments du fond ; cette précaution permet de réduire le coût du traitement.

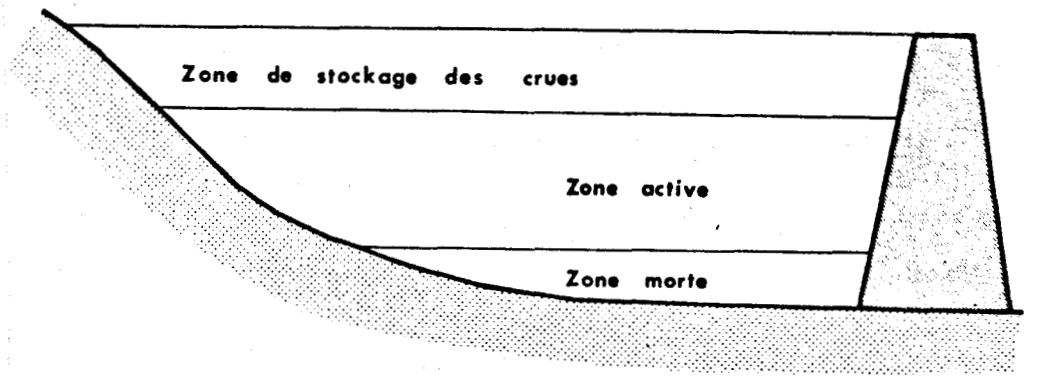



Figure 43 : Différentes zones d'une retenue d'eau.

La meilleure utilisation du plan d'eau s'effectuera dans la zone active du réservoir.

h) - Qualité chimique de l'eau

Celle-ci sera étudiée dans le chapitre IV (paragraphe 43).

i) - Section de la vallée à l'emplacement du barrage

Ce facteur est très important compte-tenu des répercutions financières de la taille du barrage sur le coût global. Disons simplement qu'un rétrécissement de vallée, accompagné d'une accentuation de l'angle de pente des flancs de cette même vallée doit être un des principaux critères de choix de l'emplacement du site. La carte de la figure 41 a été réalisée principalement en fonction de ce facteur.

## 33 - Ressources en eau souterraine

### 331 - Les aquifères

L'Avesnois doit principalement son approvisionnement aux nappes contenues dans les calcaires primaires. Moins de 10 pour cent de l'eau provient des alluvions (Sambre) et seulement 3 à 5 pour cent de l'aquifère du Turonien moyen et inférieur (Cf. Chapitre 5). Hormis ces nappes exploitables, le Bassin de la Sambre comporte d'autres aquifères d'importance plus faible qui sont :

- les nappes de limons des plateaux ;
- les nappes des sables tertiaires ;
- les nappes des schistes famenniens;
- les nappes du Dévonien inférieur (grès d'Anor).

#### 3311 - Aquifères du Dévonien moyen

Ces aquifères sont constitués principalement par des calcaires durs et compact du Givétien et du Frasnien (Dévonien supérieur) et, par extension, du Couvinien formé de calcaires et calschistes. La porosité de ces roches est très faible mais, grâce à leur fracturation, elles contiennent une nappe assez bien exploitée. Au Nord du Bassin de la Sambre, cet aquifère est morcelé par de nombreux synclinaux et anticlinaux souvent très étroits. L'eau ne peut pas s'accumuler dans les charnières synclinales occupées par les schistes famenniens imperméables. Elle s'emmagasine latéralement en surface dans la partie supérieure du Frasnien grossièrement fissuré (Caudron et Clément, 1972). La fissuration peut être observée dans les carrières de Jeumont et Marpent. A Jeumont les caractéristiques hydrauliques des ouvrages (30-6-108 - 30-6-113) sont assez bonnes ($0{,}11 \cdot 10^{-3} < T < 0{,}5 \cdot 10^{-2}$ m2/s) mais l'emmagasinement est faible. Les débits maximaux prélevés reflètent bien ces données puisque les deux forages ne donnent respectivement que 30 m3/h et 15 m3/h pour des niveaux dynamiques de 7 à 8 m et de 28 à 30 m (tableau 16 ).

Aucun piézomètre n'est installé au droit de cet aquifère. Aussi avons-nous eu recours aux relevés mensuels des niveaux dynamiques de l'un de ces captages d'eau (figure 44 ). Les variations piézométriques données depuis Juin 1973 n'indiquent aucune baisse sensible du niveau de la nappe comme cela se voit parfois lors de pompages trop importants pour le type de nappe concerné. Au contraire, mises à part deux perturbations en août-septembre 1973 (augmentation de 25 % des prélèvements) et en hiver 1974 (particulièrement pluvieux), le niveau dynamique stagne aux alentours de 7,5 mètres sous le niveau du sol. On peut concevoir que cet équilibre représente le régime permanent.

Forage 30-6-108 "La Fenderie"

| Mois / Année | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1974 | 7,48<br>28 | 6,74<br>29 | 6,70<br>26 | 7,21<br>27 | 7,40<br>26 | 7,51<br>27 | 7,60<br>27 | 7,77<br>27 | 7,46<br>27 | 6,14<br>27 | 5,24<br>29 | NS=4,7 |
| 1975 | 5,64<br>44 | 5,35<br>30 | 4,45<br>29 | NS=4,52 | 6,66<br>28 | 7,00<br>28 | 7,06<br>28 | NS=7,65 | 7,20<br>27 | NS=5,62 | | 6,15<br>29 |
| 1976 | 7,62<br>30 | 6,81<br>29 | 7,21<br>29 | 7,26<br>28 | 7,52<br>27 | 7,65<br>27 | NS=5,95 | 7,75<br>28 | 8,11<br>27 | 8,00<br>27 | 8,35<br>27 | 8,19<br>27 |
| 1977 | 7,69<br>28 | 6,96<br>28 | 7,22<br>28 | 7,00<br>29 | 7,17<br>28 | 7,03<br>27 | 6,80<br>29 | 6,80<br>27 | 7,82<br>28 | 7,79<br>28 | 7,39<br>28 | 7,42<br>28 |

Forage 30-6-113 "Quewette"

| Mois-Année | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1974 | | | | | | 27,65<br>16 | 27,66<br>15 | 27,51<br>15 | 27,30<br>15 | 26<br>15 | 24,34<br>16 | 24,54<br>16 |
| 1975 | 27,48<br>19 | 25,60<br>16 | 25,69<br>15 | 24,78<br>16 | 26,00<br>16 | 27,08<br>15 | 27,00<br>15 | 27,02<br>15 | 28,28<br>15 | 28,12<br>15 | | 28,83<br>15 |
| 1976 | 29,75<br>16 | 28,00<br>14 | 28,57<br>12 | 28,29<br>14 | 30,00<br>15 | 29,85<br>14 | 29,10<br>13 | 30,73<br>14 | 29,50<br>14 | 29,15<br>14 | 28,91<br>13 | 29,14<br>14 |
| 1977 | 28,58<br>14 | 28,30<br>14 | 27,97<br>14 | 28,83<br>16 | 27,36<br>14 | 28,59<br>15 | 27,95<br>14 | 28,15<br>13 | 28,16<br>13 | 28,34<br>13 | 28,20<br>13 | 27,31<br>14 |

Dans une case, le nombre du haut représente le niveau dynamique en mètres, le chiffre du bas l'exhaure en m3/h.

Tableau 16 - Prélèvements et niveaux piézométriques (en mètres) des 2 forages à à Jeumont; période de 1974 à 1977.

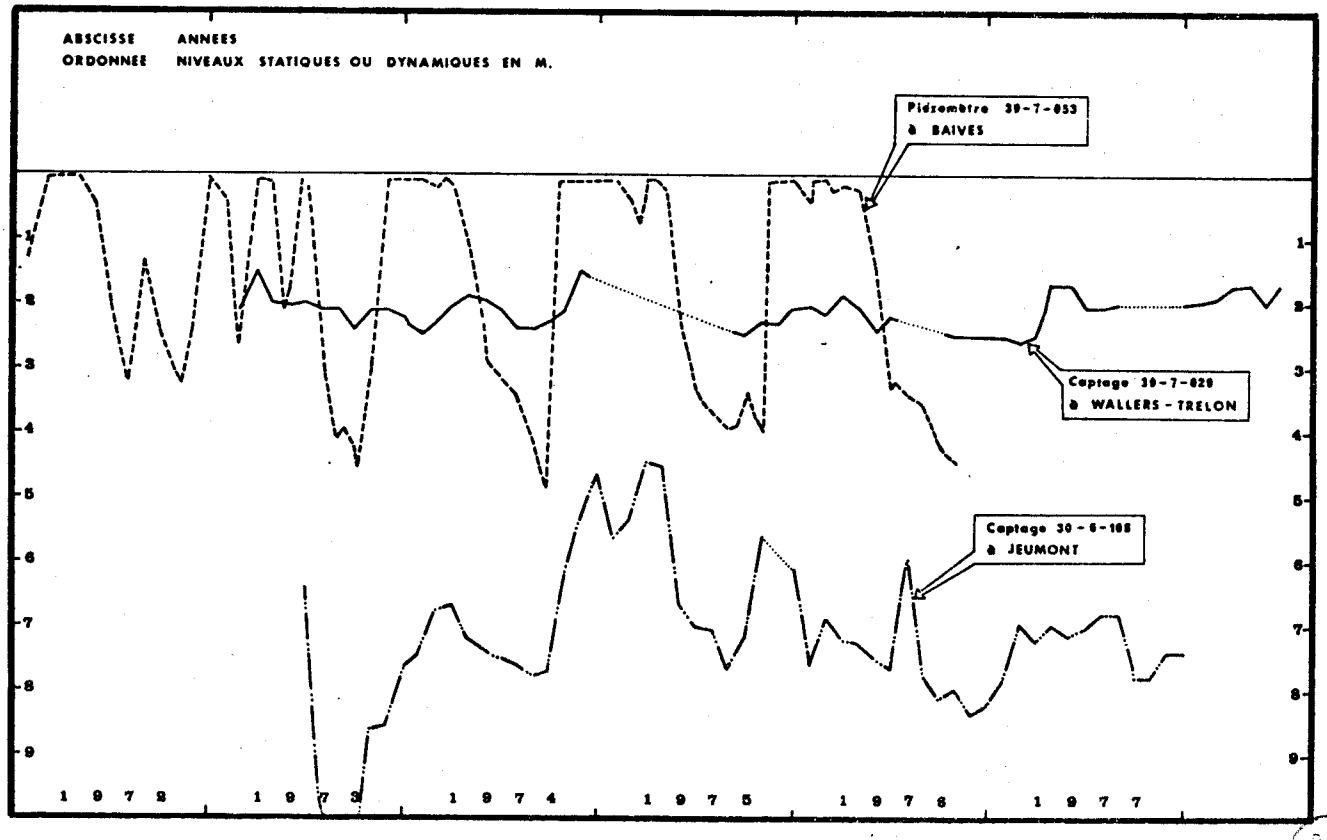



Figure 44 : Variations piézométriques de l'aquifère du Dévonien moyen.

Au Sud du bassin, au niveau de Trélon, on retrouve le Dévonien moyen sur une longue bande d'environ 25 km de long et 1 à 3 km de large. Cette bande constitue le flanc sud, penté de 25 à 70°, du monoclinal de Rocquigny-Wallers Trélon (Clément, 1970). La nappe correspondante est sollicitée par des captages (Féron, Glageon, Trélon et Wallers-Trélon) et des carrières (Glageon et Wallers-Trélon). Les prélèvements, par défaut (toutes les exhaures ne sont pas connues) étaient de 3 millions de mètres cubes en 1974 (Delporte et Talbot, 1978) soit approximativement 8 à 10 pour cent de l'eau prélevée dans l'Avesnois. Malgré cela, la nappe est toujours drainée par les cours d'eau qui la ceignent : Helpe Majeure et Mineure principalement. On peut donc penser que cette nappe possède encore bien des réserves.

Une étude ponctuelle , effectuée sur la carrière Bocahut à Glageon, a permis de préciser quelque peu les directions d'écoulement de la nappe par rapport à la stratification et aux fractures (Talbot et Leplat, 1978). Suivant les conclusions du rapport, les venues d'eau surviendraient non pas par les joints de stratification mais par les diaclases, que celles-ci soient issues d'une première famille de direction N145 à N150° et de pendage SW47 à SW68°, ou d'une seconde famille de direction N163 à N175° et de pendage E40 à E90°.

L'alimentation de la nappe s'effectue par les écoulements souterrains provenant du Sud (SW à SE) et par la pluie qui tombe directement sur les calcaires (figure 45). A Féron et à Glageon, les directions d'écoulement de la nappe sont principalement dirigées vers le Nord et le Nord-Ouest tandis que du côté de Wallers-Trélon, l'écoulement s'effectue vers le Nord ou le Nord-Est. Ces observations (Clément, 1970) sont très importantes pour l'implantation des captages d'eau par rapport aux établissements classés.

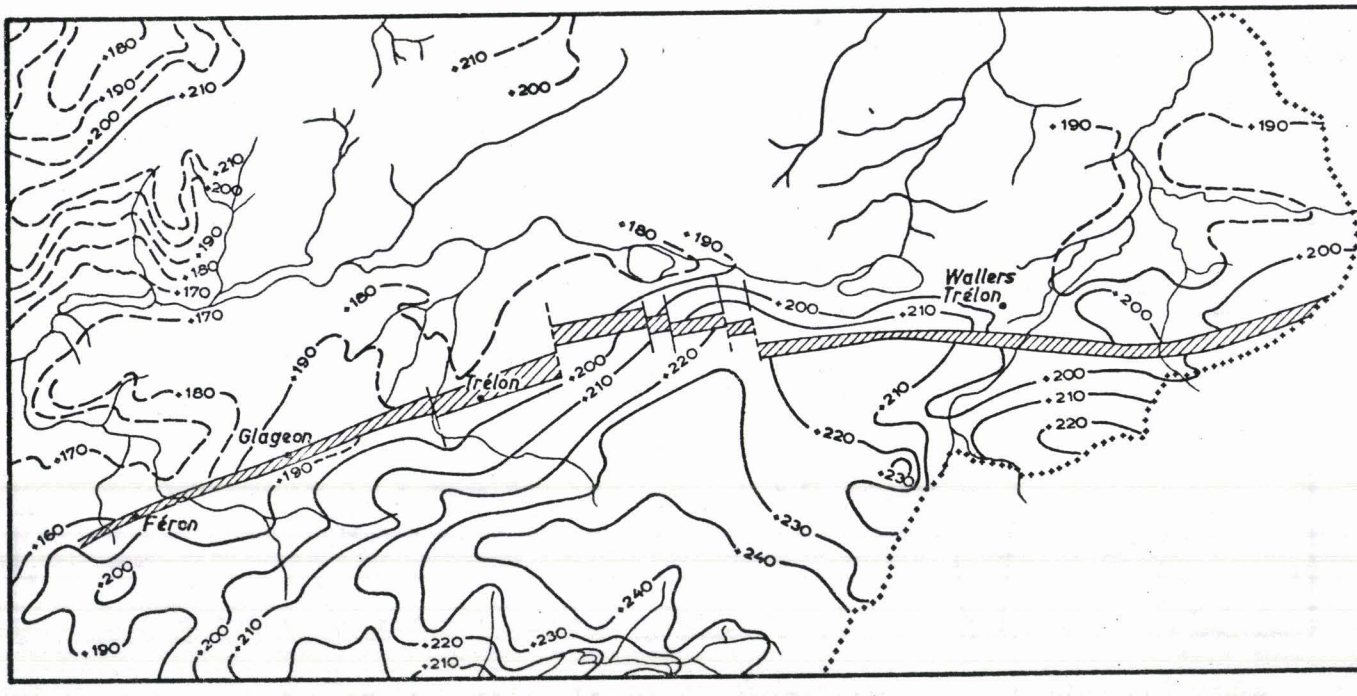



Figure 45 : Piézométrie de la nappe du Dévonien moyen, monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon. D'après Clément 1969.

Des études beaucoup plus précises destinées à mieux connaître les directions d'écoulement seront certainement à prévoir compte-tenu de deux facteurs :

- les réserves encore peu exploitées de cet aquifère ;
- la présence de nombreuses anciennes sablières ayant exploité les sables landéniens et yprésiens et utilisées comme sites de décharges.

Un seul piézomètre (39-7-053 à Baives) est implanté dans le monoclinal, encore est-il influencé par une source qui détermine un écrêtement (figure 44). Malgré cette perte d'information, nous ne constatons pas d'évolution significative depuis 1969. Nous pouvons simplement noter des fluctuations pluriannuelles en relation directe avec les précipitations des mois d'été. Le captage S.I.D.E.N. de Wallers-Trélon (39-7-029) confirme cet équilibre dans le temps des niveaux piézométriques (figure 44).

### 3312 - Aquifère du Famennien

Une zone importante située vers la partie Est du bassin versant de la Sambre fait affleurer les schistes, grès et pasmmites du Famennien. Jusqu'à ce jour, ces formations étaient considérées comme imperméables. Pourtant le dépouillement des hydrogrammes des cours d'eau (paragraphe 32) a montré nettement le contraire. Faute de données supplémentaires, nous avons conclu à une fissuration suivie d'une altération intense des schistes lorsqu'ils étaient à affleurement. Une nappe y est donc présente mais se trouve sans doute très limitée en profondeur. L'absence de captages ou même de carrières ne permet pas d'avoir de précisions sur ses caractéristiques.

### 3313 - Aquifères et nappes du Dinantien

Au terme du Carbonifère, la phase Asturienne vient plisser toutes les structures antérieures et, en particulier, le Dinantien pour en faire un ensemble de synclinaux et synclinoriums de direction générale Est-Ouest (Waterlot et al. ; 1969 ; figure 18) :

- synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite,
- synclinorium de Dourlers,
- synclinorium d'Avesnes-sur-Helpe,
- double synclinal de Warpont-Etroeungt.

Chacune de ces formations composées de calcaires et de dolomies comporte une nappe dont la plus exploitée est celle du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite (59% de l'exhaure totale). Viennent ensuite le synclinorium de Dourlers (10%) et celui d'Avesnes-sur-Helpe (3 à 4%) soit, au total, plus de 70% de l'eau souterraine régionale exploitée.

Comme pour les calcaires du Dévonien moyen , les porosités et perméabilités initiales ont fortement été réduites par la compaction et l'induration de la roch (Davis et De Wiest,1967).Ce sont les fractures et la dissolution de ces calcaires qui permettent principalement à l'eau de circuler.

Les fractures et diaclases , dirigées parallèlement à l'axe des structures, c'est-à-dire Est-Ouest (Munk, 1957), confèrent ainsi une anisotropie d'écoulement pouvant conduire à une sectorisation des synclinaux dans un même synclinorium (Thellier et al., 1961). En effet, les pompages d'essais de longue durée exécutés sur les forages de la centrale thermique de Pont-sur-Sambre ont révélé l'indépendance de certains synclinaux du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite (Thellier et al.,1961). Des prélèvements de 850 m3/h effectués dans le synclinal de Bachant (figure 46) n'ont que peu ou pas perturbé les niveaux statiques et dynamiqu des forages situés dans les synclinaux voisins ( de Berlaimont et d'Eclaibes).

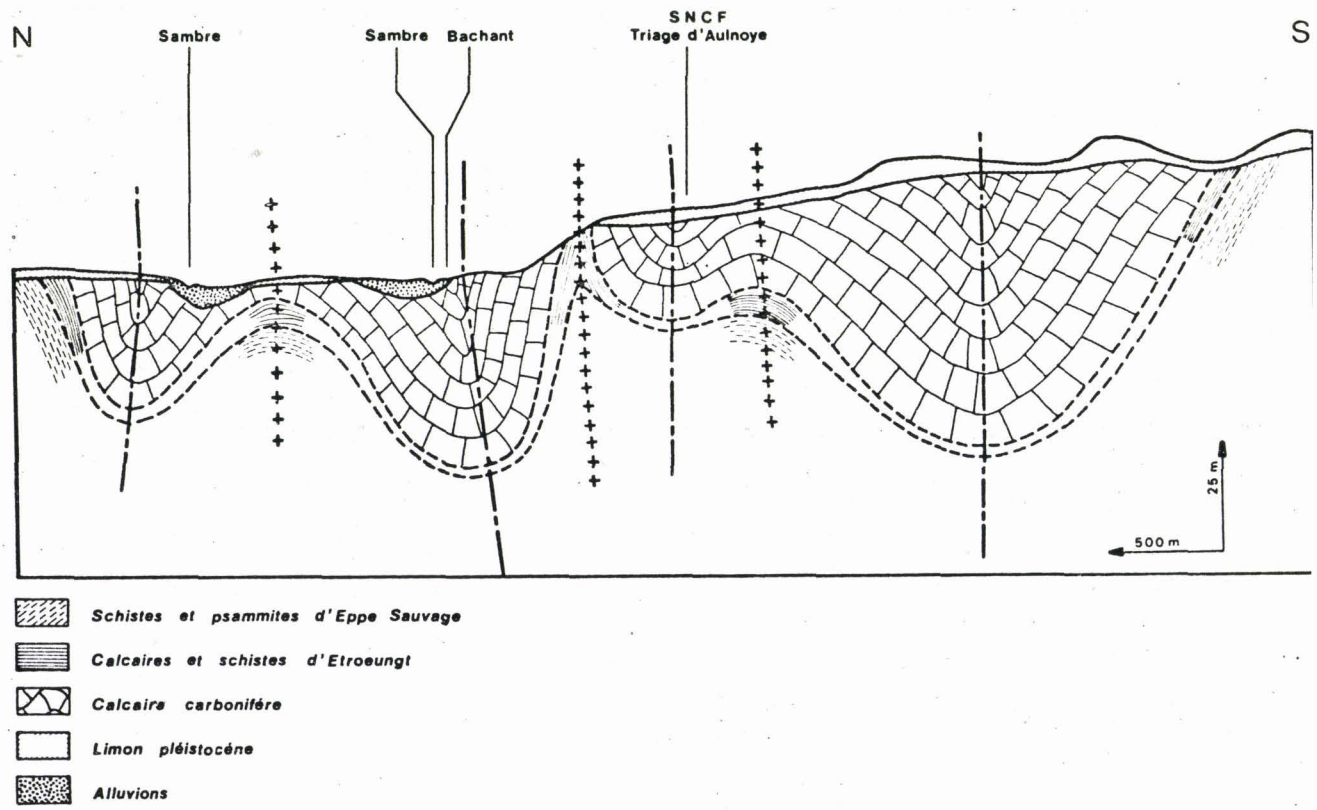



Figure 46 : Coupe schématique NS du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite.

La fissuration décelée par des venues d'eau importantes dans les forages est plus forte dans certains niveaux comme ceux du Viséen supérieur (calcaire de Sain Hilaire) et du Viséen moyen.

La géométrie des quatre synclinorium est très variable. Au Sud, le double syn clinal de Warpont-Etroeungt, dont la charnière est occupée par le Viséen inférieur , est limité en extension. Au droit de la commune d'Etroeungt , l'aquifère

contient une nappe libre de très faible importance, passant progressivement vers l'Ouest à une nappe captive dont les caractéristiques sont inconnues. Un sondage effectué dans cet aquifère sous recouvrement crétacique n'a toutefois pas décelé de circulation dans la zone de captivité (Bonte et Ricour, 1974 ; Ricour, 1975).

Au Nord, le synclinorium d'Avesnes-sur-Helpe est un ensemble très complexe, fortement déformé par des décrochements NS. L'aquifère, exploité à Taisnières-en-Thiérache et à Dompierre-sur-Helpe, est en étroite relation avec l'Helpe majeure (cf. paragraphe 335) qui a creusé ces roches plus tendres pour y former son lit. Deux exemples de relevés piézométriques (figure 47) sont donnés par les piézomètres 38-7-183 à Marbaix et 38-8-28 à Avesnes-sur-Helpe. Aucune tendance à la baisse n'est perceptible sur les 9 années d'enregistrement ; seules les fluctuations saisonnières et/ou annuelles sont observables.

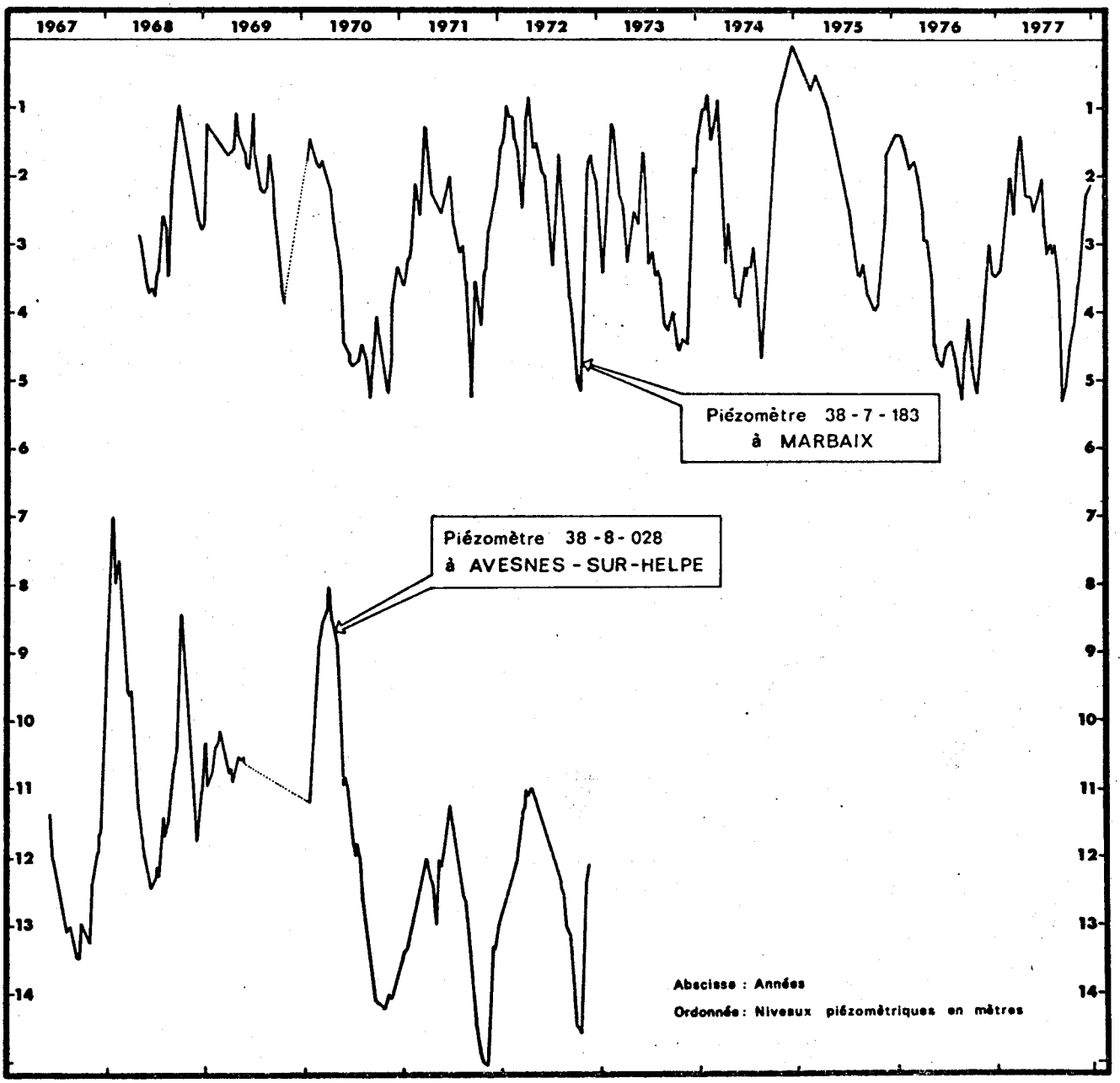



Figure 47 : Variations piézométriques dans le synclinorium d'Avesnes-sur-Helpe.

Un peu plus au Nord, se trouve le synclinorium de Dourlers s'étendant de Leval (à l'Ouest) à Solre-le-Château (à l'Est). L'aquifère s'y est avéré très productif a niveau de St-Aubin, mais non à Sars-Poteries. Comme pour les autres aquifères dinan tiens, ses capacités, peut-être intéressantes, ne sont pas connues avec précision. Cependant, l'études des relations entre les cours d'eau et les nappes (§ 333) montr des venues d'eau importante à l'aplomb d'une faille, à la limite des communes de St-Rémy-Chaussée et de St-Aubin.

Enfin, presque à la limite nord du bassin de la Sambre se trouve l'aquifère le plus sollicité de l'Avesnois dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite. Le Dinantien y est plus épais qu'ailleurs. L'écoulement de la nappe s'effectue suiv deux sens (Talbot et Leplat, 1978), d'une part vers la Solre et le Quiévelon ainsi que vers le champ captant de Ferrière-la-Grande, d'autre part vers la Sambre et, accessoirement vers la zone captive ouest (Philippart, 1974). Des problèmes graves de réserves d'eau et d'interdépendance entre captages d'eau et carrières ont récemm conduit le Service des Mines à demander des études sur cet aquifère (Leplat et Talb 1977 ; Talbot et Leplat, 1978).

Cette étude permet de confirmer l'indépendance assez marquée entre les différe synclinaux (Thellier et al., 1961). En effet, l'arrêt des pompages de la carrière C.B.S. (29-8-078) située sur le flan sud du synclinal de Bachant à Limont-Fontaine n'a pas affecté le niveau statique enregistré au piézomètre 38-4-225 situé à la cha nière du synclinal d'Eclaibes.

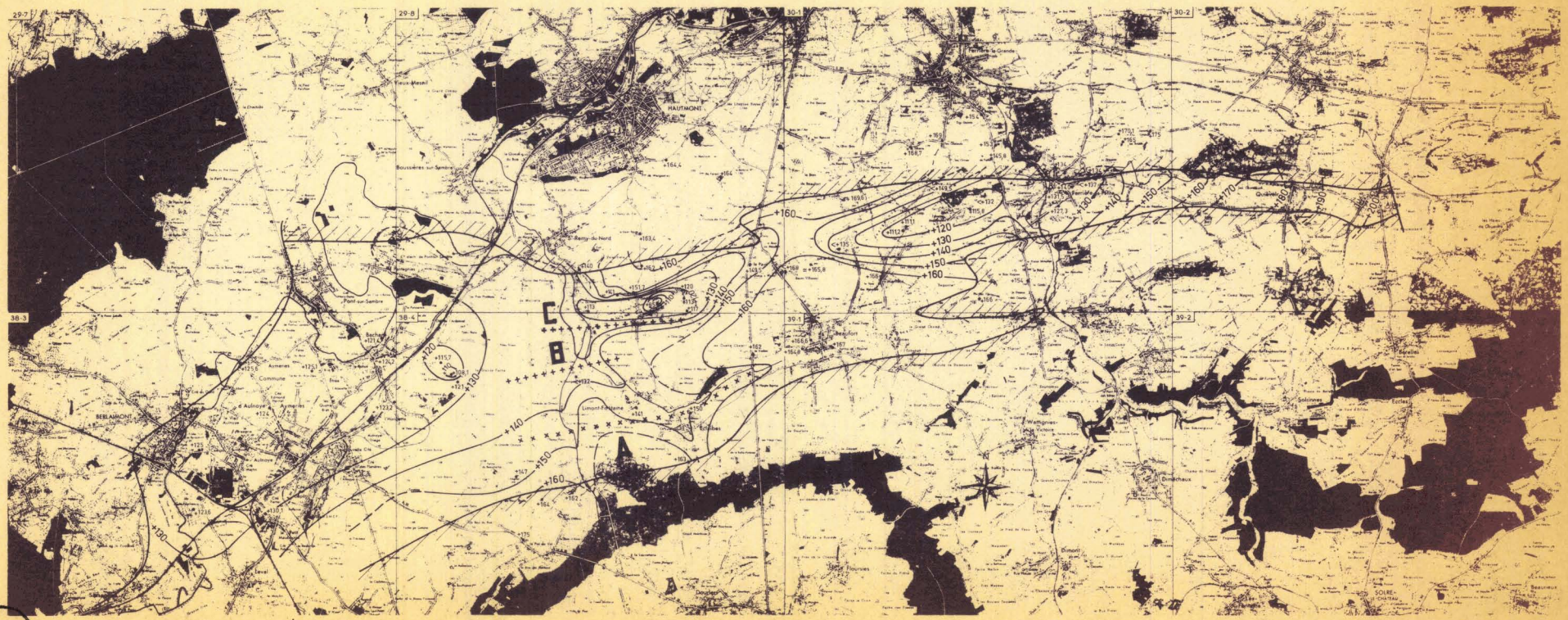
L'évolution des débits maximaux prélevés dans le synclinorium de Bachant-Ferri la-Petite semble liée à une variation latérale de la transmissivité : Pont-sur-Sambre, 250 m3/h (forages E.D.F.) ; Bachant, 200 m3/h ; Limont-Fontaine et Ferrière la-Grande, 180 à 170 m3/h.

Afin de mieux connaître le comportement de l'aquifère, une tournée piézométri a été effectuée en octobre 1977 pour établir une carte de l'état de la nappe en pé- riode d'étiage (figure 48). La lecture de cette carte conduit aux remarques suivan

- l'aquifère se compose donc de deux ensembles : l'un drainé par la Sambre à l'Ouest, l'autre drainé par la Solre à l'Est ;
- les captages d'eau déforment fortement la configuration de la nappe : c'est principalement le cas des forages de Limont-Fontaine et de Ferrière ;
- par contre, à l'Ouest, les captages de Bachant et d'Aulnoye-Aymeries ne déterminent qu'une très faible dépression de la nappe (pour les forages de Bachant) et aucune dépression supérieure à 10 mètres pour les captages d'Aulnoye-Aymeries ;
- les "cônes" de rabattement sont très étirés et allongés dans la direction d structures, c'est-à-dire ENE-WSW. Ceci est particulièrement bien visible au droit communes de Ferrière-la-Petite et Ferrière-la-Grande : tous les puits domestiques sec sont pratiquement situés sur une même direction : celle des pompages ;

# _ CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DU SYNCLINORIUM DE BACHANT FERRIÈRE LA PETITE _

Figure 48




BDS LILLE

- les gradients d'écoulement sont relativement faibles, particulièrement à l'Ouest du synclinorium. Ils sont évidemment accentués à proximité des pompages, principalement au niveau du forage 29-8-010 à Limont-Fontaine où sur quelques 200 m la cote piézométrique passe de la valeur 150 m à 85 m. Des pertes de charges importantes en sont certainement la cause.

Pour comprendre l'évolution de la piézométrie au cours du temps, il est possible de comparer cette carte avec celle dressée en octobre 1977 (Dassonville et Plat, 1968). Auparavant, il nous faut replacer ces deux étiages (1967 et 1977) dans leur contexte hydrologique. Les variations piézométriques peuvent être examinées au puits 38-3-001 à Bachant (figure 49). En effet, bien qu'à l'aval de la nappe, et au voisinage de la Sambre et des forages de la Centrale thermique de Pont-sur-Sambre, c'est le seul point de surveillance suffisamment ancien. Depuis 1974, une baisse de l'ordre du mètre s'est produite, malgré la forte remontée dues aux précipitations, pourtant sensiblement identiques à celles des années 1965 à 1970. Les prélèvements dans l'aquifère ne semblent pas non plus être en cause car ils n'ont pratiquement pas augmenté après 1973 (figure 76). Les pompages de la Centrale thermique peuvent par contre être incriminés car leur arrêt total en 1977 a permis de relever le niveau piézométrique de la nappe. Si l'on compare cette évolution piézométrique avec celle de l'amont grâce au puits 30-5-152 à Ferrière-la-Petite (Figure 49), on remarque que l'étiage 1976 a été beaucoup plus faible dans la partie est du synclinorium et que les niveaux de 1977 ont remonté anormalement pour atteindre un étiage très modéré, de l'ordre du mètre au-dessus de ceux des années précédentes. L'influence d'un pompage (30-5-10) est la cause de ce phénomène.

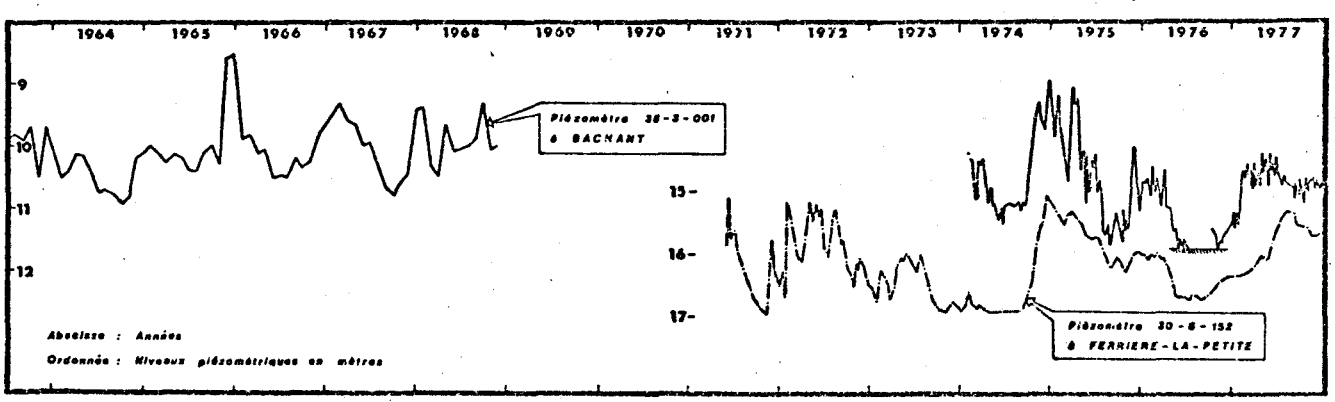



Figure 49 : Variations piézométriques dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite.

Pa rapport à la carte de Dassonville et Plat, celle de 1977 diffère sur les points suivants :

- baisse très nette de la piézométrie au niveau des champs captants de Limont-Fontaine (20 mètres en général et 30 mètres sur le 29-8-10) et de Ferrière-la-Grand (5 à 10 mètres en moyenne). Entre 1967 et 1977 ; les prélèvements dans ces deux cha captants ont augmenté de 8,8% pour Limont-Fontaine en demeurant constants dans celu de Ferrière-la-Grande ;
- baisse légère au niveau des captages de Bachant (2 à 3 mètres) ;
- stagnation de la nappe à sa limite de captivité à Pont-sur-Sambre et Aulnoye Aymeries (réalimentation par la Sambre ?);
- stagnation également à l'Est de la Solre là où il n'existe plus de pompages (Ferrière-la-Petite, Quiévelon, Aibes).

On peut donc penser que les baisses importantes de niveaux, enregistrées à Limont-Fontaine et Ferrière-la-Grande, sont dues à une surexploitation de la nappe correspondant à deux champs de petite taille ; les effets de cette surexploitation ne se font sentir que petit à petit. A Limont-Fontaine, une compartimentation par l jeu de failles (Waterlot et Marlière, 1971) semble également intervenir dans ce sen en limitant l'aquifère. Au-delà d'un certain débit pompé, ce seuil se fait sentir e proportionnellement, les niveaux baissent plus rapidement que l'augmentation des débits.

### 3314 - Aquifère du Turonien

Au Sud de la limite Englefontaine-Etroeungt se rencontrent les terrains crétaciques transgressifs sur le socle primaire. Leur épaisseur croît d'Est en Ouest pou atteindre 30 à 40 mètres à l'extrême ouest du Bassin de la Sambre. Seules les assis du Turonien moyen et inférieur renferment des bancs calcaires séparés par d'épaisse couches de marnes. La puissance de la nappe s'y trouve réduite, et les débits possi bles sont de l'ordre de 40 à 50 mètres cubes/heure. Des essais de débits réalisés à Catillon-sur-Sambre ont donné des transmissivités faibles de l'ordre de $10^{-4}$ à $10^{-5}$ m2/s.

### 3315 - Aquifère des sables tertiaires

Les sables landéniens et yprésiens sont répartis inégalement sur le bassin de Sambre. Logés dans les creux et poches de dissolution de la surface karstifiée du Primaire, ils sont eux-mêmes fréquemment recouverts par les limons pléistocènes. Da les régions de Trélon et de Sars-Poteries, ils sont pourtant à l'affleurement. Rela tivement argileux, ils possèdent des perméabilités très faibles, d'où leur utilisat comme substratum de décharge (Talbot, 1978 ; Talbot et Delporte, 1978). La nappe de ces sables est assez connue et présente un pouvoir épurateur important. Elle permet l'alimentation indirecte des aquifères sous-jacents comme dans le secteur de Sars-Poteries.

### 3316 - Aquifère des limons

L'extension des limons des plateaux est importante sur tout le bassin. Ils jouent un rôle analogue à celui des sables tertiaires.

### 3317 - Aquifère des alluvions

Seules les alluvions de la Sambre sont réellement aquifères ; celles des autres rivières, secondaires, comme les deux Helpe n'ont pas une puissance et une granulométrie permettant de forts prélèvements.

La nappe des alluvions de la Sambre est exploitée en trois points :

- à Maubeuge (forage 30-5-045 dit du Pont-Rouge).
  . Les renseignements concernant la nappe et le forage sont peu précis mais le chimisme de l'eau (chapitre IV) ressemble très fortement à celui de la nappe sous-jacente, du Dévonien moyen ;
- à Landrecies ;
- à Catillon-sur-Sambre. A cet endroit, les alluvions sont épaisses de 7 mètres dont seulement 2 à 5 mètres sont productifs (Caulier, 1976). Cependant, l'aquifère ne donne au maximum que quelques dizaines de m3/h, d'une eau de très bonne qualité.

## 332 - Caractéristiques hydro-dynamiques des aquifères

### 3321 - Calcul des coefficients de diffusivité - Méthodologie

Les connaissances restreintes sur les aquifères nous ont conduit à travailler sur les données facilement acquises telles que les relevés piézométriques de chacun des puits ou piézomètres où le B.R.G.M. effectue des mesures régulières. Or, une des caractéristiques d'un aquifère, le coefficient de diffusivité T/S, peut être connu grâce à la courbe de tarissement d'une nappe d'eau souterraine (Degallier 1969, 1977).
La méthode de détermination de T/S que nous avons utilisée a l'avantage d'être très simple d'utilisation. Par ailleurs, appliquée aux données acquises dans l'Avesnois, elle procure des résultats homogènes et d'excellentes qualités.

a) - Aspects théoriques, hypothèses de départ

La baisse du niveau d'eau d'une nappe, en absence de recharge, dépend des facteurs suivants :

1) - la transmissivité (T),
2) - le coefficient d'emmagasinement (S),
3) - la position du piézomètre par rapport à la crête piézométrique et à l'exutoire.

La relation de Jacob (1944) associe ces différents paramètres :

$$h = h_o \, e^{-At} + c \qquad (1)$$

où: h est la hauteur piézométrique à l'instant t,

$h_o$ est la hauteur piézométrique initiale ( t = o),

c est une constante équivalente à l'altitude relative de l'exutoire,

A est le coefficient de tarissement.

$$A = \frac{\pi^2 \, T}{4 \, X^2 \, S} \qquad (2)$$

avec : T/S coefficient de diffusivité

et : X la longueur de la ligne de courant entre le sommet de la nappe et son exutoire.

Bien entendu, la relation (1) n'est qu'une approximation du phénomène naturel ; son emploi implique quelques hypothèses de départ :

1) - tarissement exponentiel,
2) - stabilité du niveau de l'exutoire,
3) - homogénéité des paramètres hydrodynamiques le long du profil,
4) - constance dans le temps de ces paramètres (phénomène stationnaire).

b) - Programme de calcul

Un programme de calcul a été établi sur une calculatrice électronique (HP 9815A) en vue de déterminer la valeur de T/S. En premier lieu, le coefficient de tarissement A de l'expression (1) est calculé en ajustant aux valeurs h une courbe exponentielle par la méthode des moindres carrés. La constante c est d'abo initialisée à une valeur inférieure à sa valeur supposée puis incrémentée à chaque phase de calcul. Se rapprochant de sa valeur réelle, elle augmente le coefficient de corrélation r. Lorsque celui-ci atteint sa valeur optimale, on calcule les constantes A et $h_o$ de l'équation (1).

Le programme vérifie ensuite la validité du coefficient de corrélation calculé par le test de Fischer (Laffite, 1972). La méthode suppose que les coefficients de corrélation (r) forment une distribution fortement dissymétrique que l'on peut ramener à une loi normale par transformation. Les bornes maximale et minimale de r sont ensuite calculées pour un seuil de confiance de 95 % ; le coefficient de corrélation est refusé au cas où il se trouve hors de l'intervalle r max, r min .

L'organigramme et les explications plus détaillées du programme sont rassemb en annexe V

c) - Applications aux données de l'Avesnois

Sept piézomètres ou puits étaient susceptibles de fournir les données nécessaires pour appliquer la méthode. En effet, les séries chronologiques des hauteurs piézométriques doivent comporter au moins une phase de tarissement perturbée le moins possible par l'adjonction d'eau météorique. Dans certains cas, les apports supposés autres que ceux du réservoir ont été déduits de la courbe de tarissement afin d'éliminer ces effets perturbateurs. Un exemple d'ajustement est donné par la figure 50.

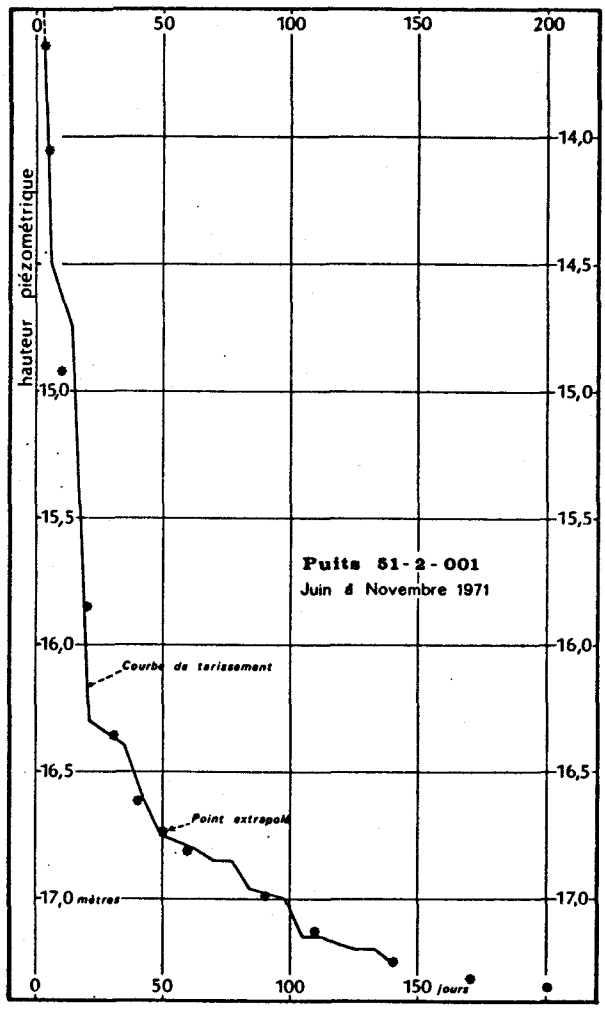



Figure 50 : Exemple d'ajustement d'une fonction exponentielle sur le tarissement d'un puits.

On remarque que, dans l'ensemble, la première hypothèse formulée est bien vérifiée car l'ajustement d'une fonction exponentielle à la courbe de décrue s'accompagne de coefficients de corrélation oscillant entre 0,95 et 0,99 avec une moyenne de 0,975, preuve d'un très bon ajustement. La seconde hypothèse (stabilité du niveau de l'exutoire) est également vérifiée pour les mêmes raisons et, également, par les graphiques de tarissement et la bonne corrélation entre les données et la fonction ajustée. Ceci peut facilement se concevoir puisque la rivière ne fluctue que de 0,5 m au maximum (la valeur est même inférieure en étiage) tandis que la plupart des niveaux piézométriques oscillent entre 3 et 4 mètres.

Le tableau 17 récapitule les résultats obtenus pour chacun des piézomètres et pour l'ensemble de l'Avesnois.

| Localisation du puits | Indice B.R.G.M. | Année de tarissement envisagée | Longueur de la ligne de courant (X) | Distance du puits à l'exutoire (X) | Coefficient de tarissement (a) | | | Diffusivité T/S | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | J-1 | H-1 | S-1 | m2/j | m2/h | m2/s | |
| Ferrière-la-Petite | 30-5-152 | 1971 | 2 000 m | 550 | 0,0149 | 0.3576 | 1284.4 | 24 136 | 1005.6 | .2794 | |
| Bachant | 38-3-1 | 1966 | 1 400 m | 275 | 0.0129 | .3096 | 1114.6 | 10 221 | 425.9 | .1183 | |
| Limont Fontaine | 38-4-225 | | | | | | | | | | |
| Marbaix | 38-7-183 | 1973 | 525 m | 325 | .0170 | .4080 | 1468.8 | 1 895 | 78.9 | .0219 | |
| Avesnes | 38-8-28 | 1970 | 1 825 m | 425 | .0036 | .0864 | 311.0 | 4 858 | 202.4 | .0562 | |
| Baives | 39-7-53 | 1970/1 | 1 250 m | 500 | .0112 | .2688 | 967.7 | 7 090 | 295.4 | .0821 | valeur pour courbe de tarissement 1970 |
| | | | | | .0185 | .4440 | 1596.4 | 11 700 | 487.5 | .1354 | valeur pour 1971 |
| Anor | 51-2-1 | 1971 | 1 425 m | 175 | .0678 | 1.6272 | 5857.9 | 55 822 | 2325.9 | .6461 | valeur pour partie supérieure de l'aquifère |
| | | | | | .0214 | .5136 | 1849.0 | 17 630 | 734.6 | .2021 | valeur pour partie inférieure |
| Glageon | 51-2-6 | 1970 | 675 m | 550 | .0158 | .3792 | 1365.1 | 2 911 | 121.3 | .0337 | |

$h = h_0 e^{-at} + c$ $\qquad a = \frac{\pi^2 T}{4 X^2 S}$

Tableau 17 - Paramètres hydrauliques calculés pour l'ensemble des piézomètres de l'Avesnois

Le puits d'observation de Baives nous a permis de calculer la diffusité pour deux étiages successifs, en 1970 et 1971. Ce paramètre calculé (0,0821 m2/s 0,1354 m2/s) n'est pas constant dans le temps, infirmant la quatrième hypothèse (Cf. page ). Cependant le modèle proposé paraît raisonnable car sa corrélation avec les phénomènes naturels est excellente (0,97 et 0,98). Chacun de ces deux étiages correspond à la même tranche de terrain ; on ne peut donc y voir une hétérogénéité verticale.

Par contre, le tarissement observé au puits d'Anor a dû être scindé en deux. Les diffusivités diffèrent fortement suivant que l'on considère la partie haute de l'aquifère (T/S = 0,6461 m2/s) ou la zone inférieure (T/S = 0,2021 m2/s). Elles sont en relation avec la fissuration de la roche au voisinage du sol (libération des contraintes et dissolution plus importante).

Ces diffusivités calculées (figure 51) ne peuvent être attachées à un aquifère donné, en effet si l'on met en parallèle ces valeurs avec les autres caractéristiques des aquifères dont elles dérivent, on ne relève pas de relations nettes. Cependant, pour le Dinantien la diffusivité est plus importante dans la structure de Bachant-Ferrière que dans les autres.

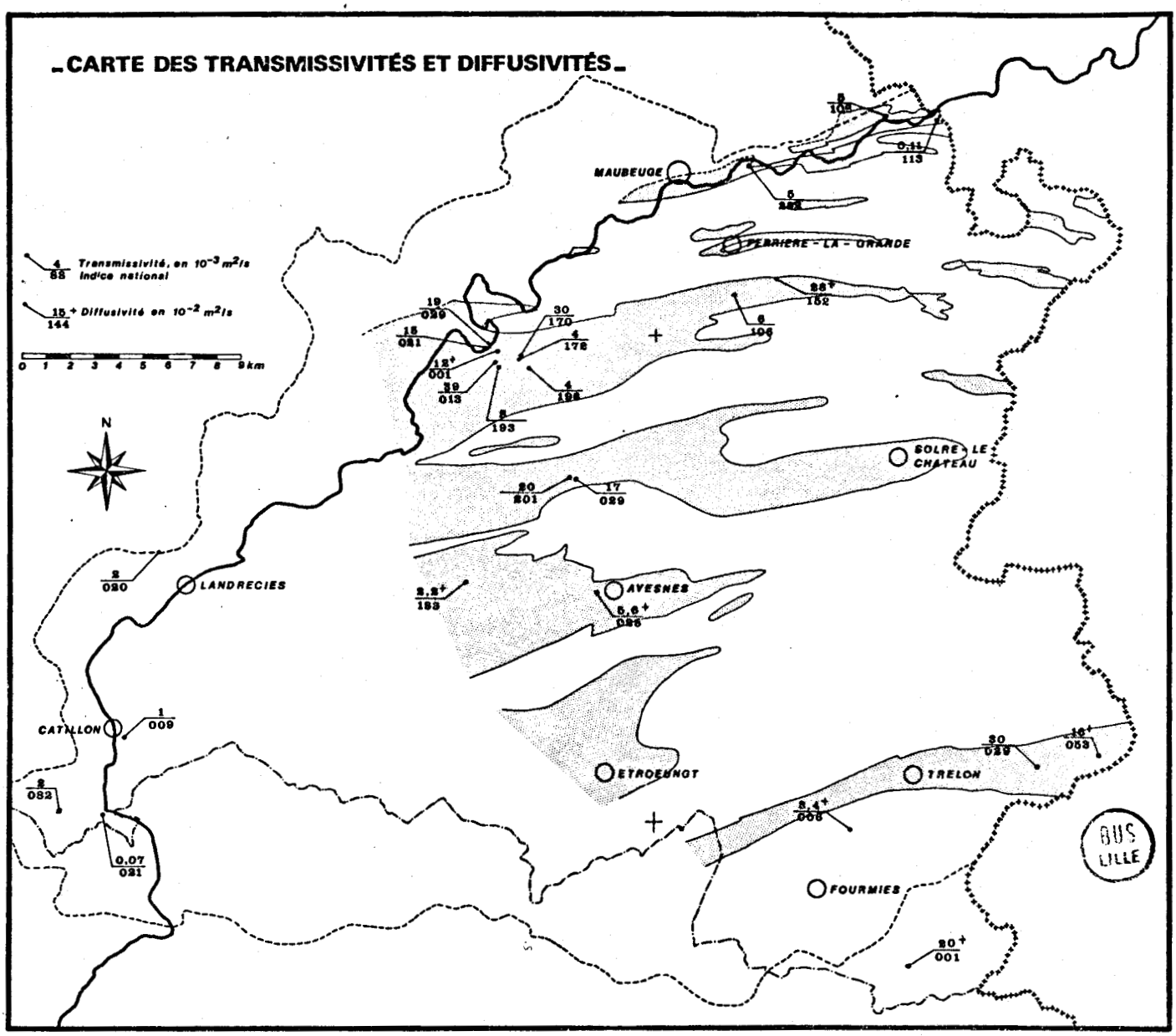



Figure 51 : Carte des transmissivités et diffusivités.

### 3322 - Calcul des transmissivités

Le plus sûr moyen de déterminer les caractéristiques hydrauliques d'un aquifère est le pompage d'essai. Malheureusement, il n'est pas toujours conduit avec précision ou avec le dessein de connaître le débit spécifique.

La majorité des pompages d'essais effectués sur la région a été dépouillée (Dassonville, 1967 ; Ramon et Clément, 1969). Les essais non utilisés ne possédaient pas suffisamment de données (palier lors du pompage). C'est donc avec les données de la remontée que la transmissivité a été calculée par la méthode de Theiss (Kruseman et De Ridder, 1974) :

$$S'' = \frac{2{,}30\ Q}{4\ \pi\ T} \cdot \log \frac{t}{t'}$$

où : S" = rabattement résiduel en mètres
Q = moyenne des débits de pompage
T = transmissivité
t = temps depuis le début du pompage
t" = temps depuis l'arrêt du pompage.

Pour cela, on suppose que les conditions imposées par la méthode de Jacob sont respectées.

Les transmissivités ainsi calculées sont représentées, avec les coefficients de diffusité, sur la figure 51 . Un exemple de calcul est donné sur la figure 52.

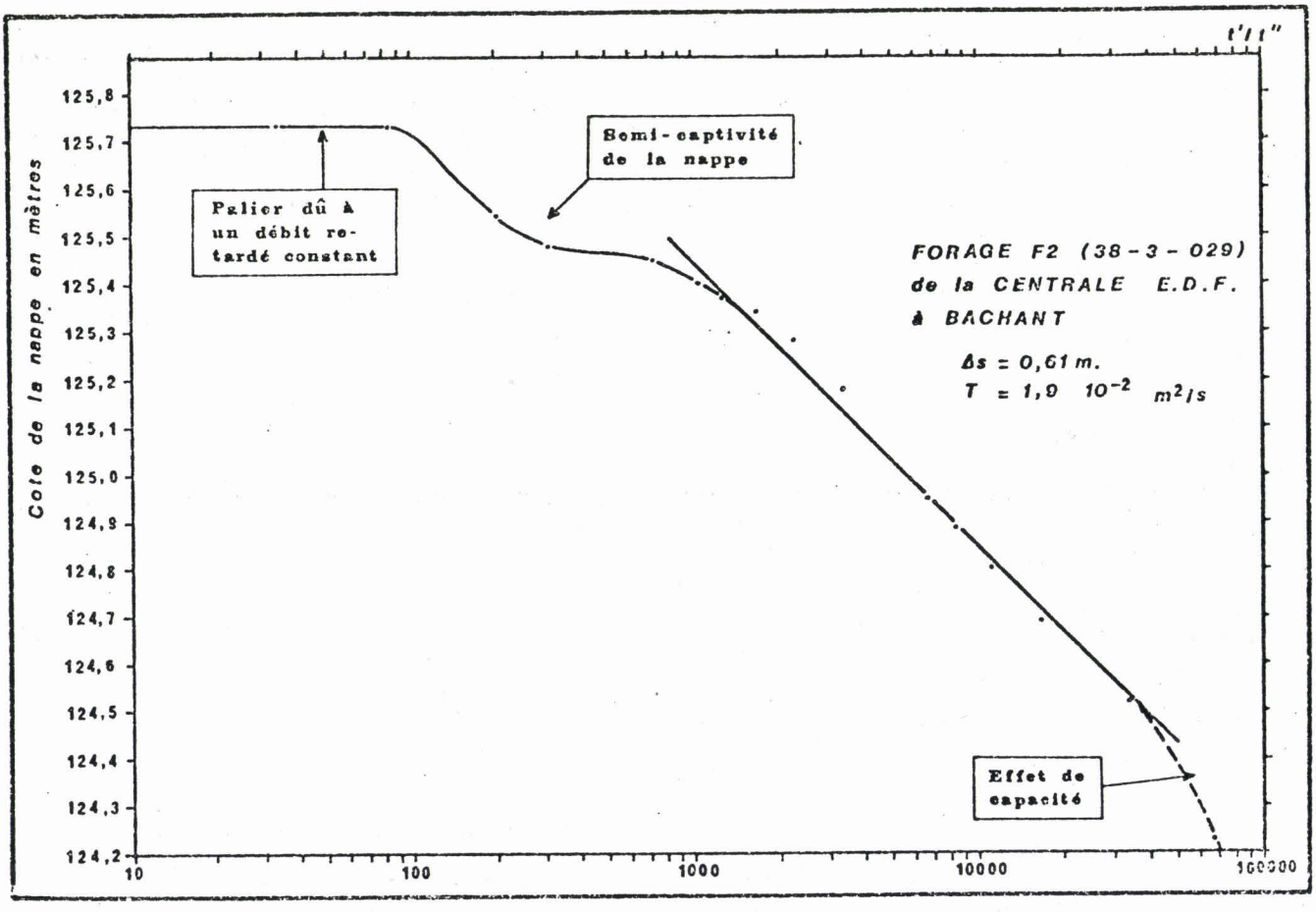



Figure 52 : Exemple de courbe de remontée d'un pompage d'essai.
Calcul de la transmissivité.

## 333 - Relations des aquifères et des cours d'eau

Lors de précédentes études (Caudron et Clément, 1972 ; Ricour, 1975) des pertes d'eau de rivière avaient été observées sur la Solre et le ruisseau de Quiévelon, près de Ferrière-la-Petite et sur l'Helpe mineure, à l'aval d'Etroeungt. Afin de savoir si cette alimentation des nappes se généralisait à l'ensemble du bassin, une campagne de jaugeages fut entreprise entre les mois de juillet et novembre 1975. Cette période a été choisie en fonction de l'étiage annuel se produisant entre juillet et octobre. Les faibles débits des cours d'eau ainsi que la position basse des nappes aquifères permettaient de déceler plus aisément les différentes pertes durant cette période. La surveillance débitmétrique a été étendue au mois de novembre afin de connaître l'évolution du phénomène en période pluvieuse.

La localisation des différentes stations de jaugeage a été définie par rapport aux synclinaux et synclinoriums dévono-carbonifères composés essentiellement de roches carbonatées et fissurées. Dans la mesure où la section du cours d'eau s'y prêtait et dans le cas où les affluents n'étaient pas trop nombreux, deux stations de jaugeage ont été établies : l'une à l'entrée du synclinal, l'autre à la sortie. Au total 60 profils de jaugeage ont été traités en 5 mois.

Plusieurs zones de pertes ont été localisées sur les cours d'eau suivants :

- La Tarsy,
- Ruisseaux d'Eclaibes et d'Ecuelin,
- La Solre et le Quiévelon,
- Helpe majeure,
- Helpe mineure.

### 3331 - Pertes localisées sur la Tarsy

La Tarsy, située approximativement entre Dourlers et Berlaimont, peut être décomposée en deux zones : amont et aval, sensiblement égales. Sur cette dernière partie, des pertes sont mises en évidence, mais sont moins fréquentes qu'à l'amont Elles représentent toutefois 5 à 10% de l'écoulement superficiel total. On ne considére donc que la partie amont plus représentative afin de discerner les causes et les localisations de ces pertes ainsi que les relations rivière-nappe.

Sur la figure 53, les débits spécifiques calculés ont été portés mois par mois en fonction des distances de chaque station de jaugeage par rapport à la source. Les échanges entre le ruisseau et la nappe sont identiques d'un mois à l'autre (les courbes sont sensiblement parallèles entre elles). Les fluctuations de ces courbes nous indiquent les rapports existant entre la nappe et la rivière : lorsque la pente est négative, la rivière alimente la nappe souterraine, dans le cas contraire, c'est la nappe (ou, à défaut, un affluent dont les débits spécifiques sont supérieurs) qui se déverse dans le ruisseau.

Dans leur ensemble, les débits spécifiques relevés à l'aval de Dourlers (station de jaugeage 690, figure 53) restent homogènes avec toutefois une légère augmentation. Dans le détail, ce phénomène est perturbé par les pompages du S.I.D.E.N. (38-4-029 et 38-4-201) faisant chuter légèrement les valeurs, ou par l'apport du ruisseau de la Père-Queue dont les débits spécifiques, plus élevés, augmentent l'écoulement. Mais cet apport (4,54 1/s/km2 en moyenne) est insuffisant pour expliquer le débit spécifique relevé à la station 710 (5,85 1/s/km2 en moyenne). La faille de direction N110°, affectant les terrains carbonifères entre ces stations, faciliterait le drainage de la nappe vers le ruisseau.

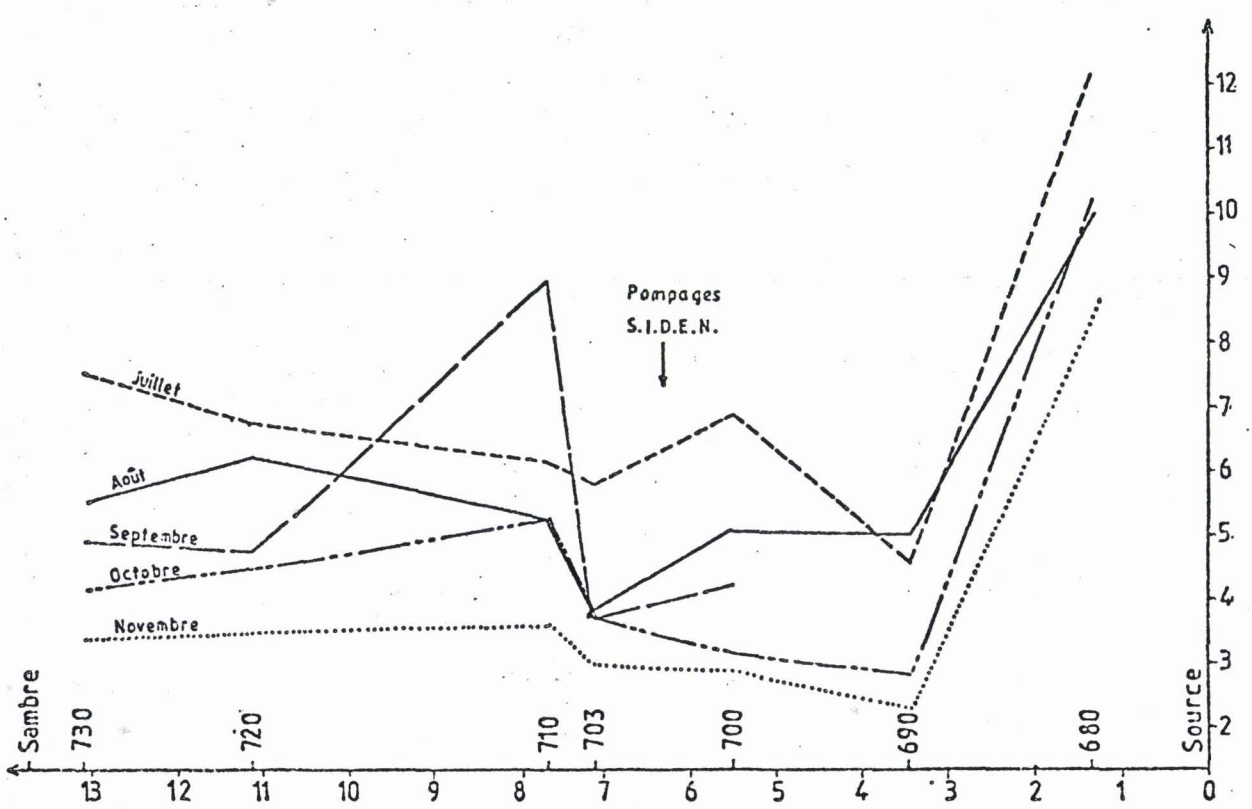



Figure 53: Evolution du débit spécifique le long du Ruisseau La Tarsy
Abscisses : distances de la source en km et numéro des stations de jaugeages
Ordonnées : débits spécifiques en l/s/km2

A l'amont de Dourlers, dans la partie haute du cours d'eau, le graphe accuse pour chaque mois une décroissance importante. Les pertes se localisent à deux endroits : entre les stations 680 et 690 et entre les stations 700 et 703 (pompages du S.I.D.E.N.).

Le schéma de transfert nappe-rivière est le suivant (figure 54) : sitôt après la source, la Tarsy coule sur des sables landéniens et perd ainsi partie ou totalité de ses eaux. Après la station 680, les isopièzes marquent une convexité tournée vers l'aval, ce qui confirme l'alimentation de l'aquifère par le cours d'eau. Ce phénomène cesse environ à la cote topographique + 175 m où la surface piézométrique se trouve vers deux mètres de profondeur. En aval, les pompages du S.I.D.E.N., favorisent le transfert de l'eau dans le sol. Toutefois, ces forages influencent très peu la nappe : celle-ci alimentant encore le ruisseau tant en amont qu'en aval.

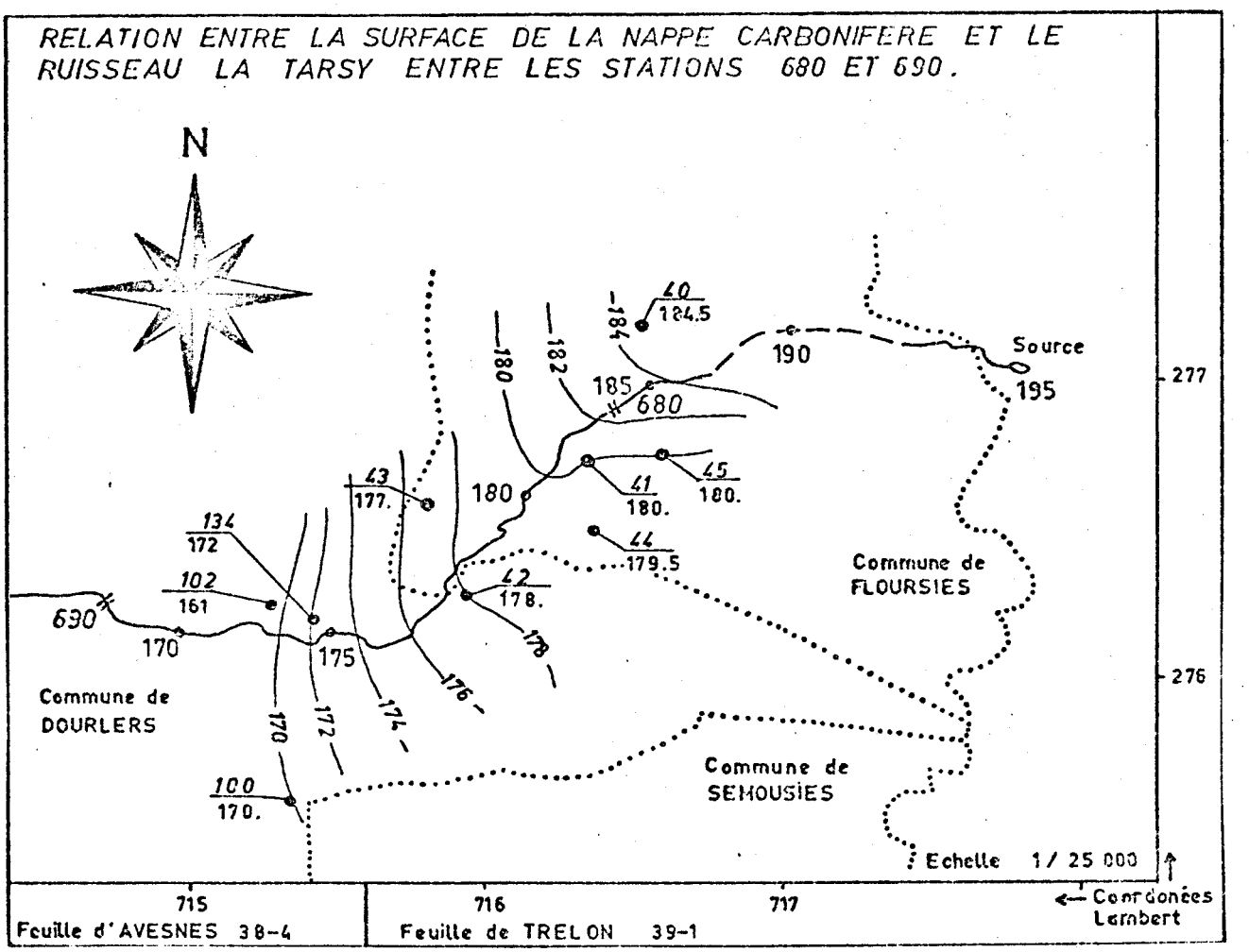



Figure 54 : Relation entre la surface de la nappe carbonifère et le ruisseau La Tarsy.

### 3332 - Pertes localisées sur les ruisseaux d'Eclaibes et d'Ecueli

Situés sur les territoires des communes de Limont-Fontaine et d'Eclaibes, les ruisseaux d'Eclaibes et d'Ecuelin drainent une partie des eaux d'un bassin principalement composé de roches fini-dévoniennes et carbonifères. Le Famennien supérieur, formé de schistes vertes et de psammites est peu perméable mais ne se rencontre qu'à l'amont des deux ruisseaux. Le reste des cours d'eau repose sur le calcaires et dolomies dinantiennes du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite. Des placages de limons se rencontrent également dans les interfluves mais sont totalement absents dans les thalwegs là où ils ont été érodés par les cours d'eau

Le phénomène des pertes d'eaux de rivières est assez bien généralisé pour l'ensemble du secteur : seule la partie du ruisseau d'Eclaibes située entre les stations de jaugeage 752 et 753 et celle à l'aval de cette dernière n'ont pas montré de déficit. Partout ailleurs, on peut observer une alimentation directe de la nappe par les cours d'eau. Mises à part les pertes du ruisseau des Prés-à-Forêt provoquées par les exhaures des forages de la Société Eau et Force (voir figure 34),le phénomène est naturel et régulier (pertes de 5 à 10 l/s/km2) Le tableau 18 résume les résultats obtenus pour ce secteur :

| N° des stations \ Mois | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre |
|---|---|---|---|---|---|
| 760 - 755 | 0,9 | - 0,9 | 10,0 | - 6,4 | 0,5 |
| 752 - 750 | | -10,4 | -6,3 | - 8,1 | 4,8 |
| 753 - 752 | | 78,0 | 2,0 | 15,0 | 12,0 |
| 749 - 748 | | 7,7 | 0,0 | 1,3 | -2,6 |
| 770 - (760 + 753) | | 3,4 | 2,4 | 4,8 | |

Tableau 18 : Quantification des pertes en l/s/km2 (ruisseaux d'Eclaibe et d'Ecuelin)

Plus à l'aval, après la jonction des ruisseaux d'Eclaibes et d'Ecuelin, les rejets des carrières masquent tout échange entre la nappe et le ruisseau.

## 3333 - Pertes localisées sur la Solre et le Quiévelon

Les jaugeages effectués sur la Solre et le Quiévelon ont été utilisés pour étudier la fonction transfert entre ces deux cours d'eau et la nappe des dolomies et des calcaires dinantiens. L'intérêt de ces jaugeages réside dans le fait que le Quiévelon s'écoule parallèlement à la charnière. Ainsi, la comparaison des pertes (ou gains) de ces rivières peut permettre une approche des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère et, surtout, de l'anisotropie (fracturation) de la nappe. En fait, le problème est sensiblement plus complexe compte-tenu des pompages intensifs réalisés à l'Ouest par le S.I.D.E.N. (forage 30-5-106) et par la Société Eau et Force (forages 30-5-140, 30-5-017 et 30-5-047) ; le cône de rabattement de la nappe favorise certainement les infiltrations de la Solre plus proche des forages que le Quiévelon.

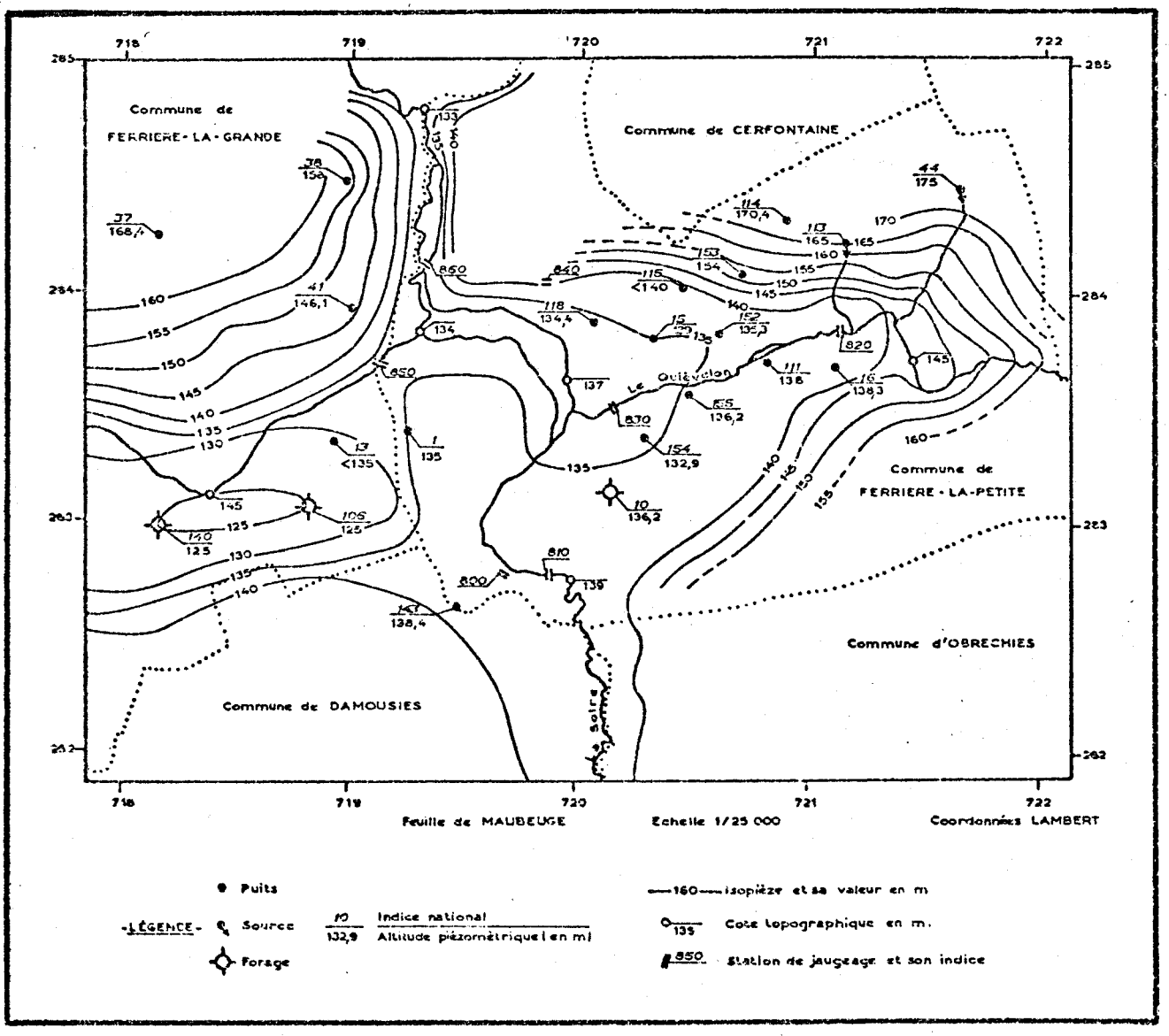



Figure 55 : Relation entre la nappe, la Solre et le Quiévelon.

La figure 55 montre l'état de la surface piézométrique dans les communes de Ferrière-la-Petite et de Ferrière-la-Grande. Les gradients hydrauliques rencontrés sur les plateaux sont importants alors qu'ils sont très faibles dans les vallées. Ce fait est en partie dû à la présence des forages précités, rabattant la nappe à 20 mètres de profondeur. On retrouve les conditions rencontrées au ruisseau des Prés-à-Forêt où le vide créé par les pompages offre les conditions favorables à l'infiltration à partir du lit du cours d'eau. Les pertes (naturelles et artificielles) localisées sur le Quiévelon sont de l'ordre de 5 à 7 % alors que celles de la Solre atteignent 2 %, soit 4 l/s/km2. D'une manière générale, les mesures montrent que les pertes provoquées lors de la traversée d'un synclinal sont plus faibles que celles d'un cours d'eau s'écoulant longitudinalement à celui-ci. Ces résultats sont à mettre en parallèle avec la fracturation observée dans la même direction que les structures.

### 3334 - Pertes localisées sur l'Helpe mineure

Au sortir de Wighehies (Est de Fourmies), l'Helpe mineure traverse un banc de calcaires compacts du Givétien. Un peu en aval,à Rocquigny, l'Helpe repose directement sur les alluvions récentes composées principalement de limons fins provenant du bassin versant. Au dessous de ces alluvions se retrouve le calcaire givétien. Les jaugeages effectués à l'entrée et à la sortie de ce banc ont montré que ces pertes naturelles (aucun pompage n'ayant lieu dans le secteur) se produisent continuellement. Elles sont de l'ordre de 4 %, correspondant à un débit spécifique déficitaire de 6 à 10 l/s/km2.

### 3335 - Pertes localisées sur l'Helpe majeure

Le dépouillement des jaugeages effectués le long de ce cours d'eau a permis de déceler des pertes à l'amont et à l'aval. Entre Avesnes-sur-Helpe et le confluent de l'Helpe majeure et de la Sambre, les jaugeages ont montré des pertes différentielles localisées principalement entre Saint-Hilaire et Dompierre d'une part, entre Marbai et la Sambre d'autre part. Dans leur ensemble ces pertes sont réduites (0 à 7 %) mais correspondent à des volumes infiltrés importants compte-tenu du débit de la rivière. Ces pertes naturelles se localisent principalement sur le Viséen constituant une grande partie du synclinal en aval de Saint-Hilaire. Deux captages (38-7-014 à Taisnières et 38-3-049 à Dompierre) sont éloignés du cours d'eau et ne perturbent que peu ou pas son débit.

### 3336 - Observations synthétiques

Les pertes réelles (débit amont-débit aval) s'élèvent à 25 % des débits des cours d'eau jaugés sur l'ensemble du bassin de la Sambre. Leurs valeurs oscillent

pour la plupart, entre 0 et 10 1/s/km2, soit environ 18 m3/h/km2. Cependant la variabilité des mesures est très importante et résulte d'un effet de crue (la composante de l'écoulement superficiel est supérieure à celle de l'écoulement de base).

Les localisations des pertes sont mal définies. En général, les pertes sont plus plausibles à l'aval, là où la surface piézométrique est plus basse. Mais de nombreuses exceptions surviennent. Tel est le cas de la Tarsy où le phénomène est généralisé le long du cours d'eau.

Les causes sont multiples mais se divisent nettement en deux classes : pertes artificielles et pertes naturelles. Les pertes artificielles sont causées par les pompages importants, tels ceux des A.E.P. Parfois, le cône de dépression est très rapidement résorbé (exemple des pompages du S.I.D.E.N. le long de la Tarsy). D'autres fois,l'amortissement est très lent (Ferrière-la-Grande) et peut indiquer une transmissivité plus faible dans le secteur. Les pertes naturelles sont d'origine plus complexes car elles correspondent à la juxtaposition de multiples paramètres géologiques, principalement :

- l'accroissement de perméabilité fonction de la direction, de la taille et du remplissage des diaclases ;
- la présence d'une structure géologique adéquate ;
- l'incidence du cours de la rivière par rapport à la structure. Ainsi, l'écoulement longitudinal semble être plus propice aux pertes d'eau que l'écoulement transverse ;
- les accidents : la présence d'une faille peut provoquer des remontées d'eau (la Tarsy). Le phénomène inverse n'a pas été observé mais semble très probable.

## 34 - Conclusions du chapitre

La recherche des quantités d'eau disponible dans l'Avesnois nous a conduit à définir les relations entre les facteur naturels, géologique et climatologiques et les ressources en eau. La carte des isobathes du toit du Primaire permet d'avoir une connaissance plus précise des principaux aquifères dévono-carbonifères sous recouvrement crétacique, à l'Ouest du bassin.

La moyenne annuelle des précipitations pour la région est de 825 mm d'eau. Sur ce total, 60 % de l'eau sont évaporés par le sol ou les végétaux. Sur les 320 mm qui restent au sol, les études de comportement hydraulique des rivières indiquant que 30 à 40 %, soit 95 à 130 mm s'infiltrent tandis que le reste s'écoule.

Quantitativement, l'eau transitant par les rivières offre donc un important potentiel exploitable. En effet, les débits d'étiages mesurés et les débits annuels moyens indiquent que des débits supérieurs à 100 m3/h peuvent être pompés en permanence sur des cours d'eau de 2ème degré, sans prévoir un réservoir tampon. Dans le cas où un tel ouvrage est envisagé, des débits de 300 m3/h et plus peuvent être obtenus.

Les ressources en eau souterraine sont moins importantes et commencent actuellement à causer des problèmes de quantité. Les principaux aquifères (Dévonien moyen et Dinantien) sont constitués par les calcaires et calcaires dolomitiques du synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite et du monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon. Ces formations donnent des débits d'exhaure intéressant respectivement de l'ordre de 250 m3/h et de 100 à 150 m3/h.

Cependant, le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite est sur- exploité. Une carte piézométrique de ce secteur montre un abaissement sensible de la nappe au niveau des captages de Ferrière-la-Grande et de Limont-Fontaine par rapport à 1967. Une campagne de jaugeages différentiels indique que 25 % des mesures imputent aux rivières une alimentation partielle des nappes. Ces pertes sont principalement présentes à l'aval du bassin et sont en moyenne de 0 à 10 1/s/km2. Cette étude révèle également les quantités d'eau encore importantes du monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon.

## Chapitre IV

# Aspects et contraintes qualitatives

## 41 - Introduction

A plusieurs reprises, des échanges constants ou temporaires s'effectuant entre les aquifères et les cours d'eau sus-jacents ont été mis en évidence. Ces relations ont été analysées jusqu'ici du point de vue quantitatif. L'aspect qualitatif, qui fait l'objet de ce chapitre viendra compléter l'étude sur trois points :

- le chimisme des eaux souterraines,
- le chimisme des eaux superficielles,
- la pollution, sa prévention et son traitement.

## 42 - Chimisme des eaux souterraines

La Direction Départementale de l'Action Sanitaire et Sociale (D.D.A.S.S.) effectue sur l'ensemble de l'Avesnois un contrôle de la qualité chimique et bactériologique des eaux provenant des captages d'eau. Les analyses qui en résultent ont servi de base aux observations et conclusions sur les eaux souterraines.

### 421 - Analyse spatiale du chimisme des eaux souterraines

Le fait que la région étudiée soit constituée de plusieurs aquifères de tailles variables et séparés par des aquicludes où les analyses chimiques sont absentes constitue une difficulté pour la cartographie de la qualité des eaux souterraines. De plus, les deux aquifères principaux, Viséen et Givétien sont constitués de calcaires et calcaires dolomitiques fissurés en grand. L'hétérogénéité entre les aquifères et à l'intérieur de ceux-ci nous a donc amené à établir un programme (programme ROSE, chapitre 2, annexe 3). Le type de représentation, en rosette, qu'il utilise permet de bien visualiser :

- le faciès chimique,
- la pollution éventuelle et le type de pollution,
- la composition générale de l'eau,
- le comportement du calcium vis-à-vis du magnésium,
- le déséquilibre ionique éventuel.

Une sortie sur table traçante est représentée en figure 56. Une orientation bicarbonatée-calcique générale est très nette et caractérise le faciès de l'eau. L'eau exploitée dans les alluvions à Catillon-sur-Sambre (forage 38-5-009) montre à l'encontre de ces observations générales une composition plus équilibrée et moins minéralisée. C'est l'eau de meilleure qualité que l'on puisse rencontrer dans l'Avesnois.

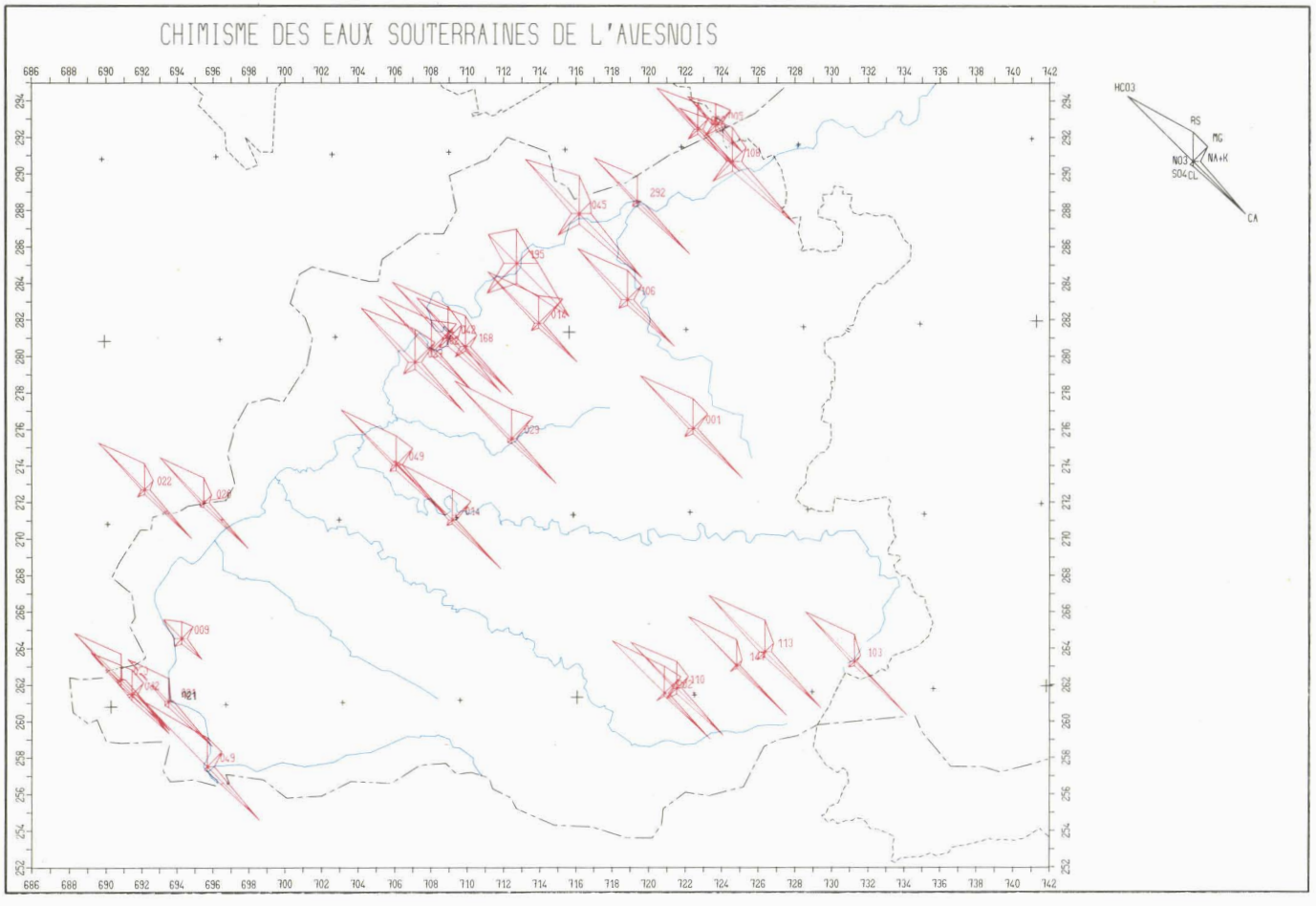



Figure 56 : Chimisme des eaux de l'Avesnois.

La pollution, sensible uniquement à l'aval de la Sambre, est presque uniquement sulfatée et provient de la forte densité des activités métallurgiques. A Maubeuge et Jeumont, les forages 30-5-045 et 30-6-108, destinés à l'alimentation des collectivités locales, présentent des concentrations en sulfates de plus de 100 mg/l. La pollution la plus importante est relevée dans le puits des Etablissements VALLOUREC à Hautmont (29-8-195) : l'eau accuse des teneurs importantes en potassium et sodium, nitrates, sulfates et chlorures. Le faciès habituel (cf. paragraphe 422) est d'ailleurs modifié. Dans les autres forages du bassin la pollution est absente, notamment pour les eaux des forages à St-Aubin (38-4-029 et 38-4-201) captant le Viséen dans le synclinal de Dourlers, ou pour les captages à Rejet-de-Beaulieu (38-5-050 et 38-5-082) captant l'aquifère marno-crayeux du Turonien.

Le comportement du magnésium par rapport au calcium est aussi souligné par la représentantion en rosette des analyses chimiques. Les eaux du champ captant de Limont-Fontaine (29-8-010/011/012/013/014) sont marquées par un rapport $R = \frac{r\ Mg}{r\ Ca}$ important (0,51). Cette valeur est intermédiaire entre celles d'autres aquifères calcaires (R = 0,23) et dolomitiques (R = 1,04, in Schoeller, 1962). Les concentrations en calcium restant sensiblement identiques sur l'ensemble de la région, ce sont principalement les variations du magnésium qui influent sur R.

A ce sujet, on peut observer deux caractères principaux : l'un à l'échelle régionale, l'autre à un échelon plus localisé.

Le premier caractère permet de différencier les aquifères régionaux : les concentrations en magnésium des eaux du Viséen sont deux à trois fois plus fortes que celles des eaux provenant du Givétien et une fois et demi à deux fois supérieures à celles des eaux de l'aquifère turonien. La présence de niveau dolomitique dans les formations viséennes expliquent clairement ces observations ; le rapport Mg/Ca de l'eau peut ainsi faciliter la prospection de roches carbonatées ou magnésiennes.

Le second caractère est mis en évidence à une échelle plus grande, au niveau du monoclinal givétien de Rocquigny-Wallers-Trélon : son extrêmité occidentale est caractérisée par une teneur supérieure en magnésium (captages de Féron, 39-5-002 et 39-5-110) par rapport aux eaux provenant du reste du monoclinal. Il faut également y voir un changement de la composition chimique et minéralogique de la roche.

### 422 - Traitement statistique des données hydrochimiques

Nous avons utilisé pour le traitement statistique des données hydrochimiques, les méthodes développées par Laffite (1972) et Davis (1973).

La matrice des coefficients de corrélation linéaire (tableau19) a été effectuée en partant des analyses d'échantillons (sélectionnés automatiquement dans le programme ANACHIM) et de leurs 18 variables (résistivité, pH, TH, TAC, oxydabilité, nitrates, chlorures, sulfates, fer, résidu sec, silice, calcium, magnésium, sodium, potassium, aluminium, bicarbonates et fluorures).

| ρ | pH | TH | TAC | OX | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Fe | RS | $SiO_2$ | Ca | Mg | Na | K | Al | $PO_4$ | $HCO_3$ | $F^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,00 | -0,27 | -0,94 | -0,87 | -0,32 | -0,19 | -0,38 | -0,44 | -0,07 | -0,77 | 0,38 | -0,81 | -0,37 | -0,36 | -0,32 | -0,21 | 0,21 | -0,87 | -0,21 |
| | 1,00 | 0,16 | 0,39 | 0,09 | -0,27 | -0,28 | -0,37 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,18 | 0,02 | -0,46 | -0,05 | 0,11 | -0,38 | 0,39 | -0,07 |
| | | 1,00 | 0,88 | 0,42 | 0,15 | 0,42 | 0,52 | 0,15 | 0,94 | -0,49 | 0,78 | 0,51 | 0,42 | 0,34 | 0,37 | -0,20 | 0,88 | 0,33 |
| | | | 1,00 | 0,44 | -0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,37 | 0,78 | -0,46 | 0,73 | 0,41 | 0,09 | 0,42 | 0,15 | -0,28 | 1,00 | 0,35 |
| | | | | 1,00 | -0,21 | 0,31 | 0,12 | 0,64 | 0,37 | -0,01 | 0,45 | 0,06 | 0,21 | 0,36 | 0,09 | -0,22 | 0,43 | 0,43 |
| | | | | | 1,00 | 0,68 | 0,50 | -0,43 | 0,35 | -0,04 | 0,14 | 0,03 | 0,58 | 0,05 | 0,02 | -0,10 | -0,13 | -0,30 |
| | | | | | | 1,00 | 0,69 | -0,08 | 0,54 | -0,04 | 0,50 | -0,01 | 0,84 | 0,29 | 0,13 | -0,06 | 0,10 | 0,11 |
| | | | | | | | 1,00 | -0,19 | 0,61 | -0,27 | 0,40 | 0,26 | 0,74 | 0,05 | 0,42 | 0,07 | 0,09 | 0,08 |
| | | | | | | | | 1,00 | 0,09 | -0,09 | 0,14 | 0,10 | 0,02 | 0,46 | -0,18 | -0,05 | 0,36 | 0,54 |
| | | | | | | | | | 1,00 | -0,40 | 0,82 | 0,36 | 0,55 | 0,38 | 0,22 | -0,19 | 0,52 | 0,25 |
| | | | | | | | | | | 1,00 | -0,07 | -0,70 | 0,09 | -0,29 | -0,42 | 0,00 | -0,47 | -0,17 |
| | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,13 | 0,52 | 0,26 | 0,06 | -0,36 | 0,72 | 0,13 |
| | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,07 | 0,17 | 0,52 | 0,17 | 0,41 | 0,33 |
| | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,29 | 0,05 | -0,04 | 0,09 | 0,24 |
| | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,29 | -0,03 | 0,42 | 0,68 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,04 | 0,15 | 0,04 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,28 | 0,07 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,35 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 |

TABLEAU 19

Matrice de corrélation des variables principales des analyses d'eau souterraine

La corrélation entre le sodium et les chlorures (r = 0,84) définit une provenance unique de ces composants, principalement associés en NaCl. Le sodium est également bien corrélé aux sulfates (r = 0,74) mais cette association n'est probablement pas issue du milieu naturel puisque, dans cet environnement, le calcium s'unit d'abord aux sulfates. Ainsi, la plupart des ions chlorures, sodium, sulfates et nitrates (dont nous montrerons plus tard l'appartenance à un seul groupe) proviendrait d'une pollution.

Une corrélation surprenante est celle entre la silice et le magnésium (r = - 0,70) ; Bernard (1979) observant le même phénomène dans la région de Cambrai, émet l'hypothèse d'échanges ioniques au niveau des argiles lorsque l'eau traverse des limons avant son passage dans l'aquifère. Le comportement antagoniste des ions silicium et magnésium peut aussi expliquer une dédolomitisation de la roche ; ce processus est encore très mal connu.

Afin de compléter les informations obtenues grâce à la matrice des coefficients de corrélation, une analyse hiérarchique (programme CLUSTR, Davis, 1973) a été utilisée sur les mêmes données. Ce type d'analyse a la particularité de grouper les éléments entre eux : les fortes relations étant considérées en premier ; les groupes sont alors repris et comparés aux éléments restants pour former de nouveaux groupes. Ce procédé est reconduit jusqu'à l'obtention d'un groupe unique. Ce type d'analyse statistique ne permet pas la représentation des fortes corrélations négatives.

La figure 57 donne le dendrogramme de 28 analyses chimiques de l'Avesnois. Le fait le plus caractéristique est la distinction de deux groupes importants : d'une part, TH - RS - TAC - $HCO_3^-$ et $Ca^{++}$ et d'autre part, $SO_4^{--}$ - $Na^+$ - $Cl^-$ et $NO_3^-$. On retrouvera dans l'observation des résultats de l'analyse des correspondances (A.C.O.), ces deux entités marquant les 2 premiers facteurs. Ces deux groupes s'opposent fortement par leur signification et leur origine. Le premier souligne l'influence de la roche-mère sur le chimisme de l'eau. Le second groupe est lié aux pollutions de surface dans la mesure où les nitrates, sulfates et chlorures, sont des variables pouvant évoluer très rapidement en fonction de l'activité humaine.

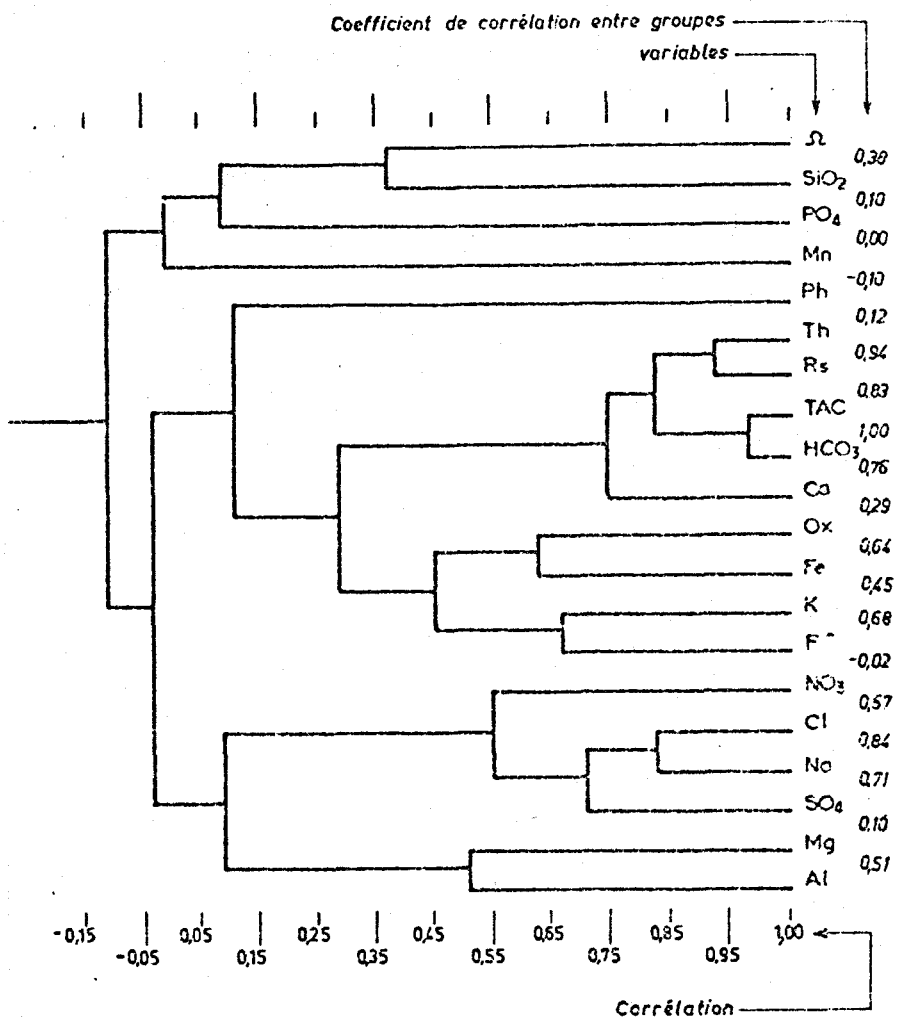



Figure 57 :

Dendrogramme des variables principales des analyses d'eau souterraines.

Enfin, avec le programme TABET (Benzecri, 1970), nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances. L'A.C.O. est basée sur la comparaison simultanée des profils entre échantillons (i) et entre variables (j).

Reprenant Cazès et al. (1970) : le but de l'ACO est de :

- "dégager l'existence de corrélations (ou liaisons entre éléments dosés),
- dégager, s'ils existent, certains sous-ensembles constituant l'ensemble des échantillons étudiés,
- caractériser ces sous-ensembles par un ou plusieurs éléments dosés".

Dans un premier temps, l'utilité de l'ACO est testée sur les données brutes. Une très bonne représentation de l'information par les quatre premiers facteurs (95 % de l'inertie totale) apparait, mais le premier facteur (67 % à lui seul) est expliqué, pour les huit dixièmes, par la résistivité, le résidu sec et les bicarbonates. L'ensemble des variables est donc comprimé par ces fortes valeurs (disparité des échelles).

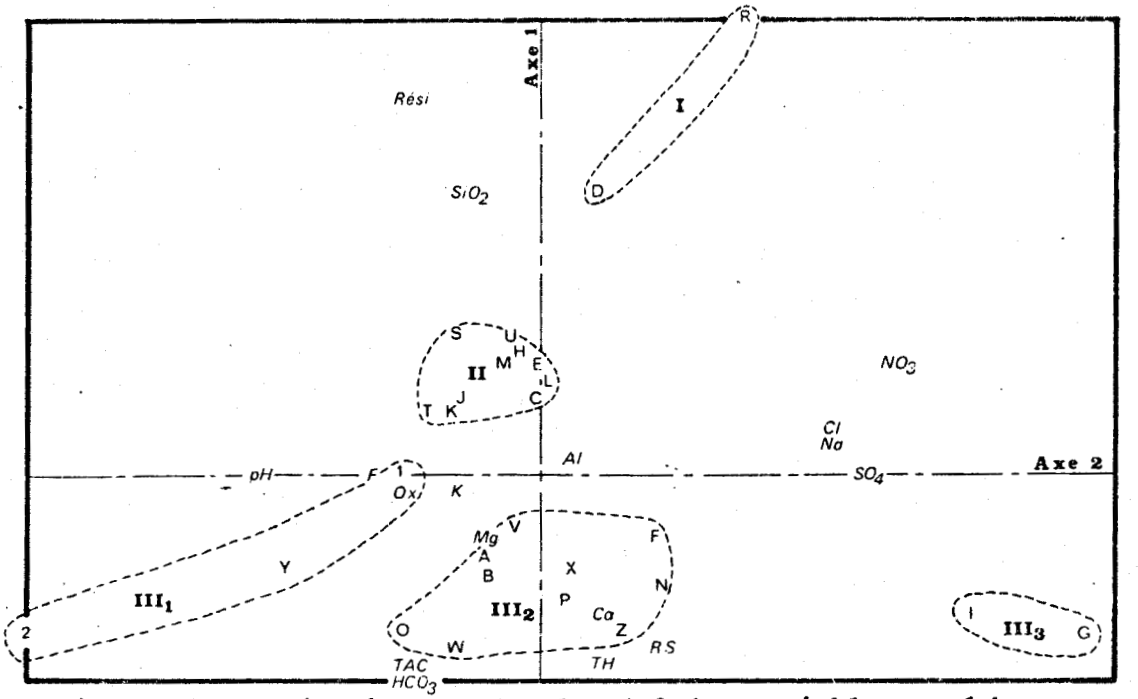
Un deuxième passage est donc opéré en standardisant les analyses de manière à ce qu'elles aient toutes la même moyenne (variables centrées réduites). Dans ce cas, le premier facteur n'explique plus que 30 % de la variance et les quatre premiers 79 % : la transition entre ces facteurs étant faible et régulière (30 % pour le 1er facteur, 22 pour le second, 14 pour le troisième et 13 pour le quatrième). Les figures 58 et 59 représentent les graphiques des échantillons et variables projetés sur le plan des 1er et 2ème facteurs (figure 58) et des 1er et 3ème facteurs (figure59).

Le premier facteur est caractérisé principalement par la résistivité (CTR* = 36,5 %), la silice (CTR = 19,8 %), les carbonates (CTR = 9,5 %) et le titre alcalimétrique complet (CTR = 9,5 %). Ces quatre paramètres, constituant deux couples antagonistes ($\rho$, $SiO_2$), (TAC, $HCO_3^-$), expliquent 75 % du facteur. L'opposition apparemment anormale du couple ($\rho$, $SiO_2$) est imputable aux eaux alluviales jeunes (résistivité faible), circulant dans des graves essentiellement siliceuses ($SiO_2$ important). Les éléments ou variables, oxydabilité, pH, potassium, aluminium et fluor, n'apportent aucune contribution (CTR = 0). L'aluminium et probablement le fluor ne provenant pas de la phase carbonatée des aquifères en présence, il est donc normal que ces deux éléments (toujours inférieurs à 0,13 mg/l et 0,31 mg/l) n'interviennent pas dans ce facteur.

L'analyse en mode Q, c'est à dire l'analyse des échantillons, montre que ce premier facteur est expliqué par les échantillons 38-5-009 (CTR = 32,8 %), 30-2-005 (CTR = 12,5 %) et 38-7-014 (CTR = 4,5 %).

---

* CTR = Contribution relative de l'élément à l'axe factoriel. CTR indique dans quelle mesure l'élément considéré contribue à la construction globale de l'axe.




LEGENDE

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | 29 | 8 | 010 |
| B | 29 | 8 | 014 |
| C | 30 | 2 | 002 |
| D | 30 | 2 | 005 |
| E | 30 | 5 | 021 |
| F | 30 | 5 | 106 |
| G | 30 | 5 | 045 |
| H | 30 | 5 | 292 |
| I | 30 | 6 | 108 |
| J | 38 | 1 | 020 |
| K | 38 | 1 | 022 |
| L | 38 | 1 | 030 |
| M | 38 | 1 | 031 |
| N | 38 | 3 | 027 |
| O | 38 | 3 | 042 |
| P | 38 | 3 | 049 |
| Q | 38 | 4 | 201 |
| R | 38 | 5 | 009 |
| S | 38 | 5 | 021 |
| T | 38 | 5 | 050 |
| U | 38 | 5 | 082 |
| V | 39 | 5 | 110 |
| W | 38 | 7 | 014 |
| X | 39 | 2 | 001 |
| Y | 39 | 5 | 002 |
| Z | 39 | 6 | 113 |
| 1 | 39 | 6 | 147 |
| 2 | 50 | 1 | 049 |

Figure 58 : Projection sur le plan 1-2 des variables et échantillons caractéristiques des analyses d'eau souterraine analysés par l'A.C.O.

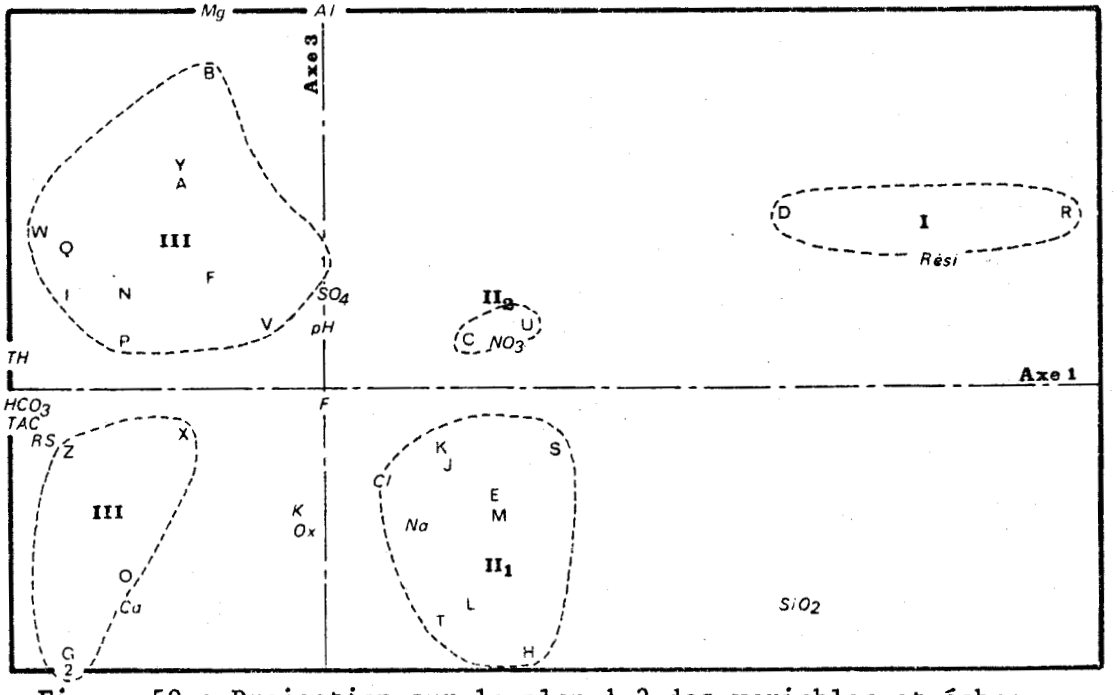



Figure 59 : Projection sur le plan 1-3 des variables et échantillons caractéristiques des analyses d'eau souterraine analysés par l'A.C.O.

BUS LILLE

Trois groupes d'échantillons se distinguent sur cet axe factoriel (figure 58) un premier comprend les échantillons les moins minéralisés, placés positivement sur l'axe. Un second comporte un indice de minéralisation également positif mais moins i portant. Ce groupe est très bien défini et les résistivités de ces échantillons se tiennent toutes entre 1850 et 2080Ωm. Ces deux groupes ont en outre un taux de silic supérieur à 15 mg/l. Le troisième groupe est constitué d'échantillons ayant une contribution négative, des résistivités faibles et des concentrations en silice inférie res à 15 mg/l (figure 60).

Le second facteur (21,8% de l'inertie totale) est formé par un groupe d'éléme ayant tous une contribution avec l'axe factoriel sensiblement identique. Ce sont les nitrates (CTR = 16%), les sulfates (CTR = 14%), les chlorures (CTR = 12,7%), le sodi (CTR = 12,5%) ainsi que le fer (CTR = 11,8%) et le pH (CTR = 11,6%). La "pollution" plutôt l'influence d'éléments étrangers à l'aquifère semble donc être expliquée par facteur. En tant que pollution, on inclut l'activité humaine polluante (urbaine, industrielle et agricole) mais aussi l'activité végétale au niveau du sol. Suivant type de végétation les cycles de l'azote et du soufre seront particulièrement modif les eaux percolant à travers ces sols transportant donc des quantités variables de composés azotés et sulfurés.

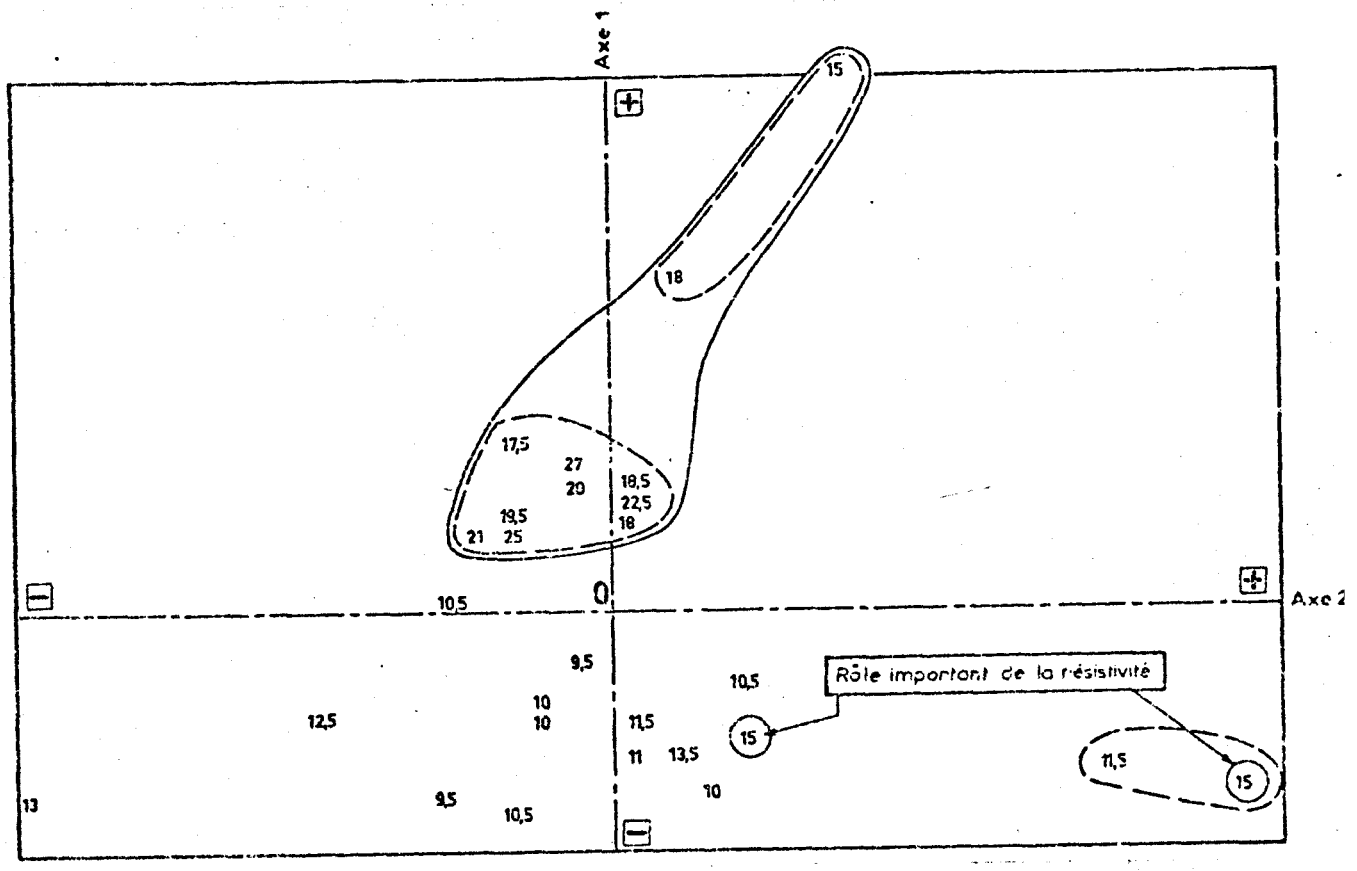



Figure 60 : Comportement et contribution de la silice dans l'axe factoriel 1. A deux exceptions près, les concentrations en silice supérieures à 15 mg/l se retrouvent dans la zone positive de l'axe 1.

Le facteur 2 peut être interprété plus directement comme une venue des eaux de surface transportant les éléments de la pollution superficielle (figure 58). La comparaison des deux graphiques montre que le second facteur n'est déterminé pour sa grande majorité que par les alcalins $NO_3^-$ et $SO_4^=$. A quelques exceptions près, un échantillon a une contribution à l'axe factoriel 2 d'autant plus grande que la somme des éléments $NO_3^-$, $SO_4^=$, $Cl^-$ et Na est grande.

Ces regroupements de variables par les facteurs 1 et 2 ont été observés précédemment lors de la mise en oeuvre de l'analyse hiérarchique. L'analogie entre cette méthode et l'ACO est donc certaine mais le pouvoir de résolution de cette dernière est plus important.

En résumé, sur la base de ces deux premiers facteurs, trois groupes d'échantillons (figure 58) peuvent être différenciés :

- Groupe I : échantillons ayant une faible minéralisation et un "indice de pollution (IP*)" légèrement positif.

Les eaux de ce groupe appartiennent à des aquifères limités tels que les alluvions de la Sambre à Catillon-sur-Sambre (forages 30-5-009 et 30-5-010 à Catillon-sur-Sambre) ou les grès d'Anor (forage 51-2-001). Leurs eaux sont agressives (pH fréquemment inférieur à 7,0) et douces. On y remarque également le forage 30-2-005 captant les eaux de l'aquifère Turonien à Vieux-Reng, au Nord du bassin de la Sambre. Les eaux de cet ouvrage font transition avec celles du groupe II. Leur qualité chimique (figure 61) est donc la meilleure que l'on connaisse dans l'Avesnois. Malheureusement, ces aquifères sont peu productifs et donnent parfois des teneurs en fer très importantes (4,8 mg/l lors d'une analyse en avril 1961 pour le forage 51-2-001 à Anor). Ces fortes concentrations en fer, bien que passagères, imposent une surveillance continuelle et à l'utilisation d'un traitement de déferrisation.

- Groupe II : les eaux de ce groupe sont caractérisées par une minéralisation supérieure à celle du groupe I mais encore inférieure à la moyenne de l'ensemble de l'Avesnois. IP est légèrement négatif.

---

*IP = Projection sur l'axe 2 du segment de droite reliant le centre du nuage au point défini par l'analyse. Il représente sensiblement la somme des ions $Na^{++}$, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $NO_3^-$.

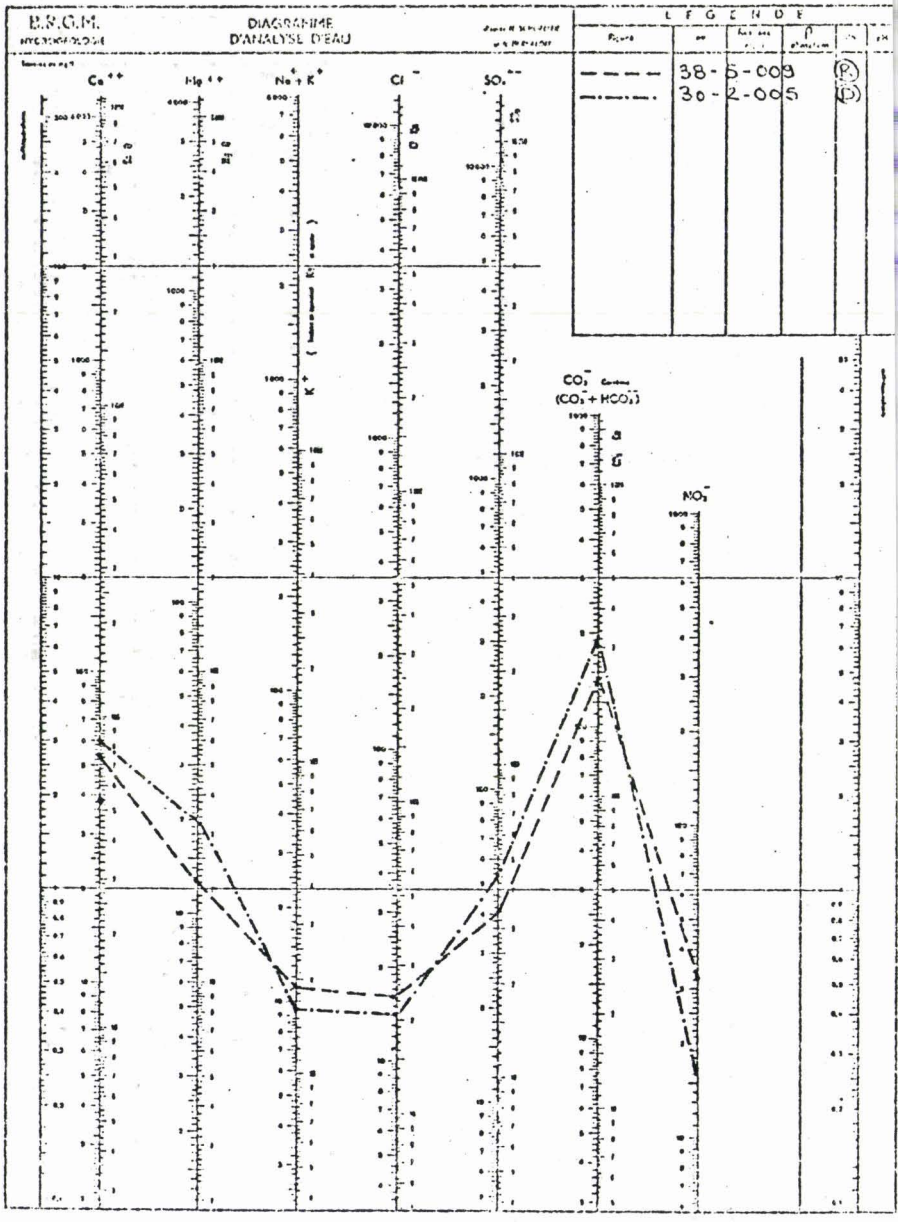



Figure 61 :

Diagramme de Schoeller-Berkaloff du groupe I.

Ce second groupe représente un nombre important d'échantillons ayant les caractéristiques suivantes :

. résistivité : comprise entre 1850 et 2050 ohm-mètres,
. TH : compris entre 32 et 26,2 °F,
. RS : compris entre 360 et 405 mg/1,
. IP (représenté par la somme de $SO_4$, $NO_3$, Cl, Na) : compris entre 60 et 78 mg/1,
.($SiO_2$) : inférieure à 15 mg/1.

Ce groupe (figures 58 et 62) est homogène : chimiquement, car les échantillons ne diffèrent que très légèrement les uns des autres, et géologiquement, car les analyses chimiques proviennent toutes de forages captant l'aquifère turonien (excepté le forage de la Société Eau et Force à Rousies qui capte le Dévonien moyen).

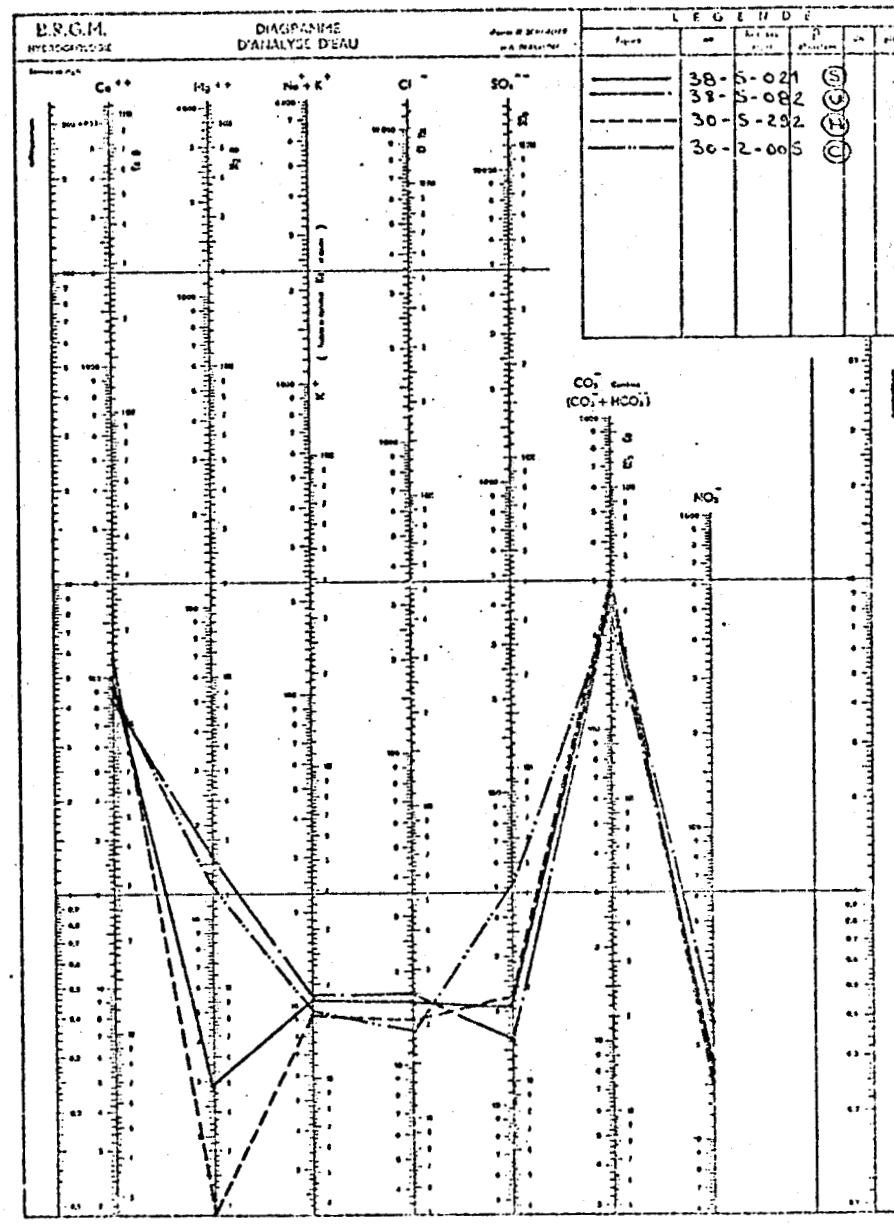



Figure 62 :

Diagramme de Schoeller-Berkaloff du groupe 2.

Il faut rappeler que le Turonien est composé d'un ensemble de craie et marnes bleues intercalées, surmonté par de la craie seule. Les échantillons suivants appartiennent au groupe II :

| | | |
|---|---|---|
| . 38-5-021 | Turonien supérieur et moyen | / Rejet-de-Beaulieu, |
| . 38-5-082 | Turonien supérieur et moyen | /Rejet-de-Beaulieu, |
| . 30-5-292 | Dévonien | /Rousies, |
| . 38-1-031 | Turonien | /Landrecies, |
| . 30-5-021 | Turonien | /Landrecies, |
| . 38-1-030 | Turonien | /Landrecies, |
| . 30-2-002 | Turonien | /Vieux-Reng, |
| . 38-1-020 | Turonien moyen et Cénomanien | /Landrecies, |
| . 38-1-022 | Turonien | /Rousies, |
| . 38-5-050 | Turonien supérieur | /Mazinghien. |

BUS LILLE

- Groupe III : sa minéralisation est plus forte que celle des groupes I et II. Il rassemble les forages des principaux aquifères de l'Avesnois (Viséen et Givétien).

Deux exceptions se dégagent toutefois de cet ensemble : les forages 50-1-049 à Oisy et 30-5-045 à Maubeuge qui captent tous deux les alluvions de la Sambre. Le premier de ces deux forages doit son admission dans ce groupe à sa forte concentration en bicarbonates (440 mg/l, soit 7,21 me/l). Le second forage (30-5-045) est situé en aval de la ville de Maubeuge ; il reçoit un fort apport d'$H_2SO_4$ (2,39 me/l en sulfates en septembre 1976), environ trois fois supérieur à la moyenne générale. Ces acides attaquent les galets de carbonates de calcium, calcaire ou craie, contenus dans les alluvions, et libèrent les ions calcium.

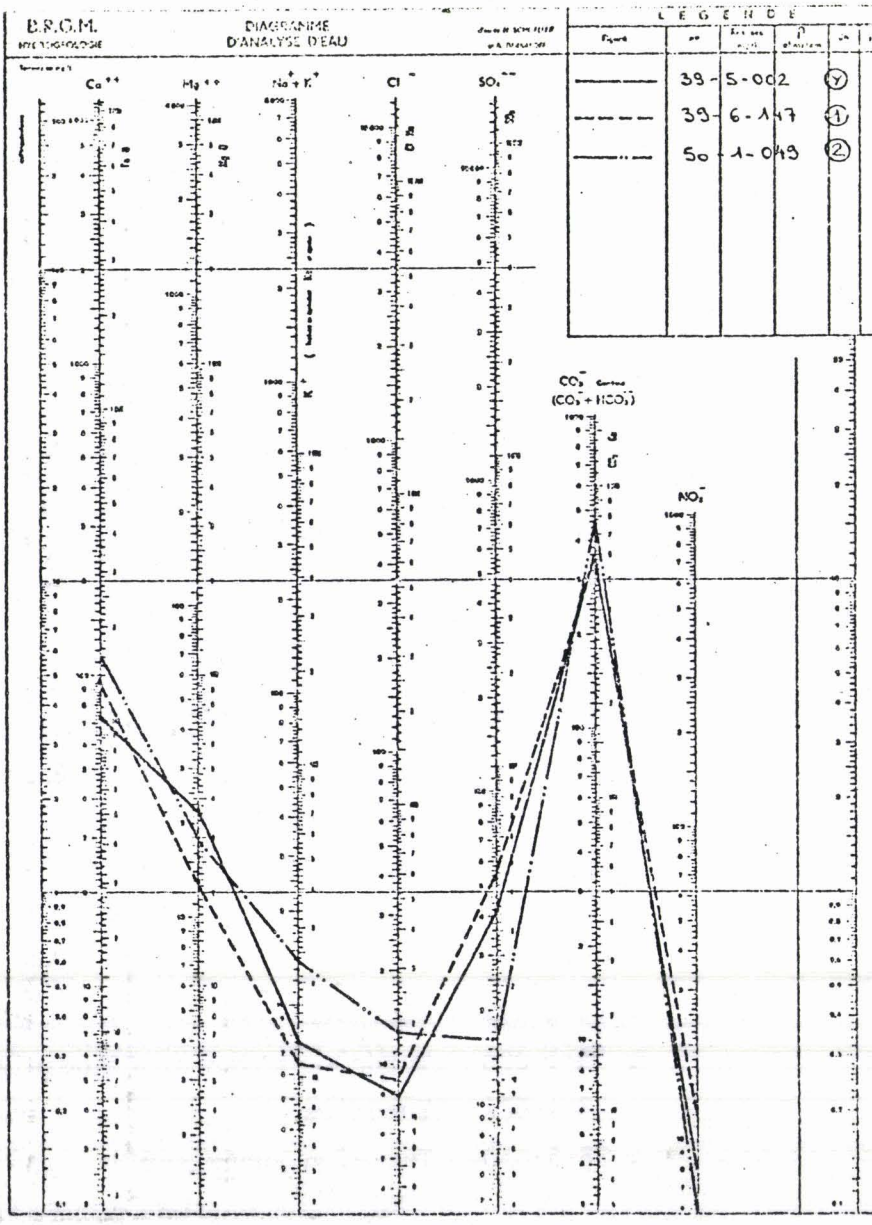



Figure 63 :
Diagramme de Schoeller-Berkaloff du groupe III$_1$

Les principales caractéristiques de ce groupe sont les suivantes :

. résistivité : comprise entre 1450 et 2000 ohms-mètre,
. TH : compris entre 29,8 et 42,6 °F,
. ($SiO_2$) : inférieure à 15 mg/1,
. RS : compris entre 375 et 531 mg/1.

Ce groupe III se décompose en trois sous-groupes suivant la valeur de IP :

Le sous-groupe $III_1$ (IP négatif) est mal défini car les échantillons qui le composent sont assez différents les uns des autres (figure 63). Les forages 39-6-147 de Glageon, 39-5-002 de Féron et 50-1-049 d'Oisy le caractérisent tous en gardant les propriétés du groupe principal. La contamination par les sulfates, chlorures, nitrates et sodium ne les affecte pas.

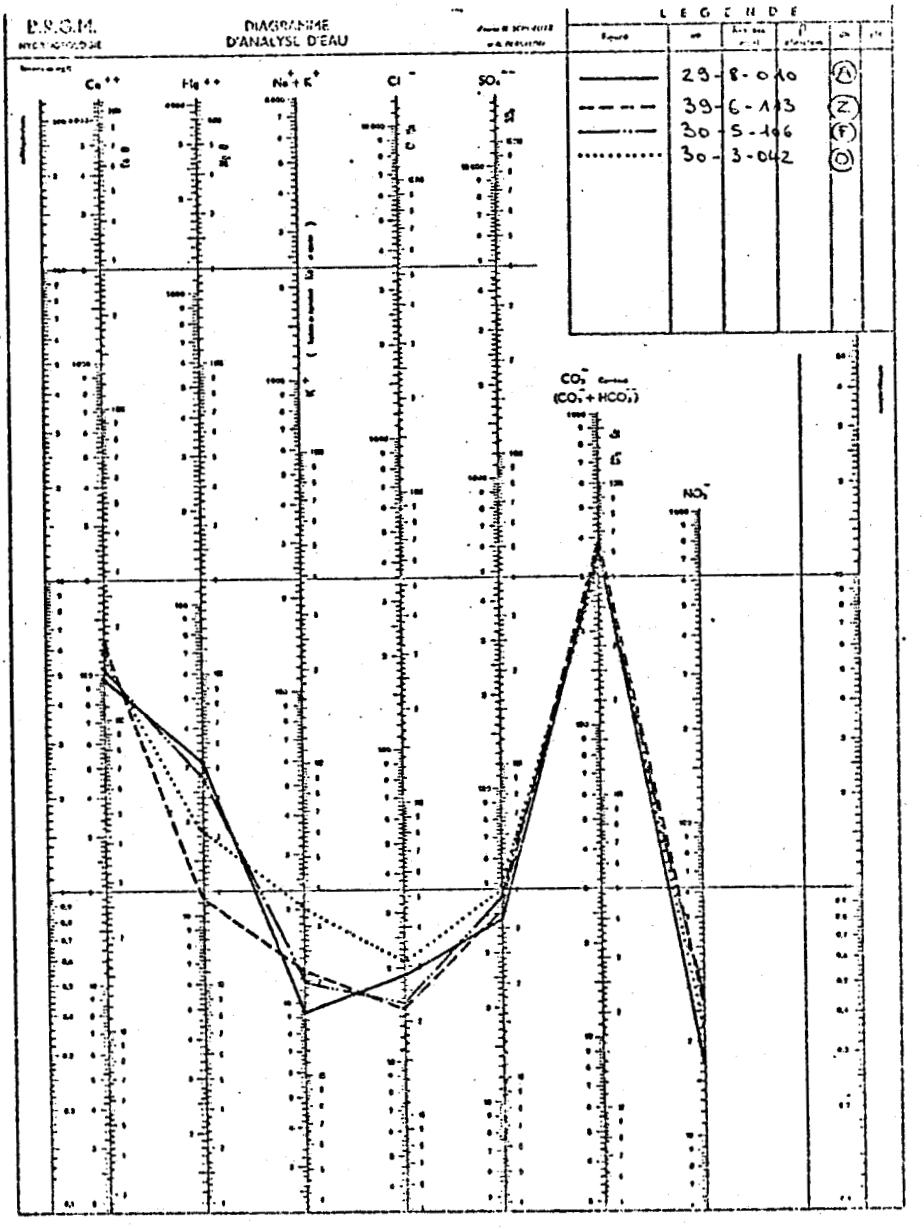



Figure 64 :

Diagramme de Schoeller-Berkaloff du groupe $III_2$

Le sous-groupe $III_2$ correspond le plus fréquemment aux eaux de l'aquifère Giséen : c'est le cas des nombreux captages de Ferrière-la-Grande, Limont-Fontaine, Bachant et Aulnoye-Aymeries, ainsi que les forages de St-Aubin, Lez-Fontaine et Dompierre-sur-Helpe. Certaines eaux du Givétien entrent également dans ce sous-groupe : ce sont par exemple celles de Trélon et de Féron (forage des Razières). Les ions sodium, nitrates, chlorures et sulfates dont les concentrations varient entre 75 et 125 mg/l composent une part importante (sensiblement le quart) de la minéralisation totale.

Le sous-groupe $III_3$ (IP très important) caractérise les forages ayant des concentrations élevées en nitrates et sulfates. C'est notamment le cas des captages 30-6-108 à Jeumont (concentration en sulfates supérieure à 108 mg/l soit 12 % de la teneur ionique) et 30-5-045 à Maubeuge ($[SO_4^{--}]$ de 115 mg/l).

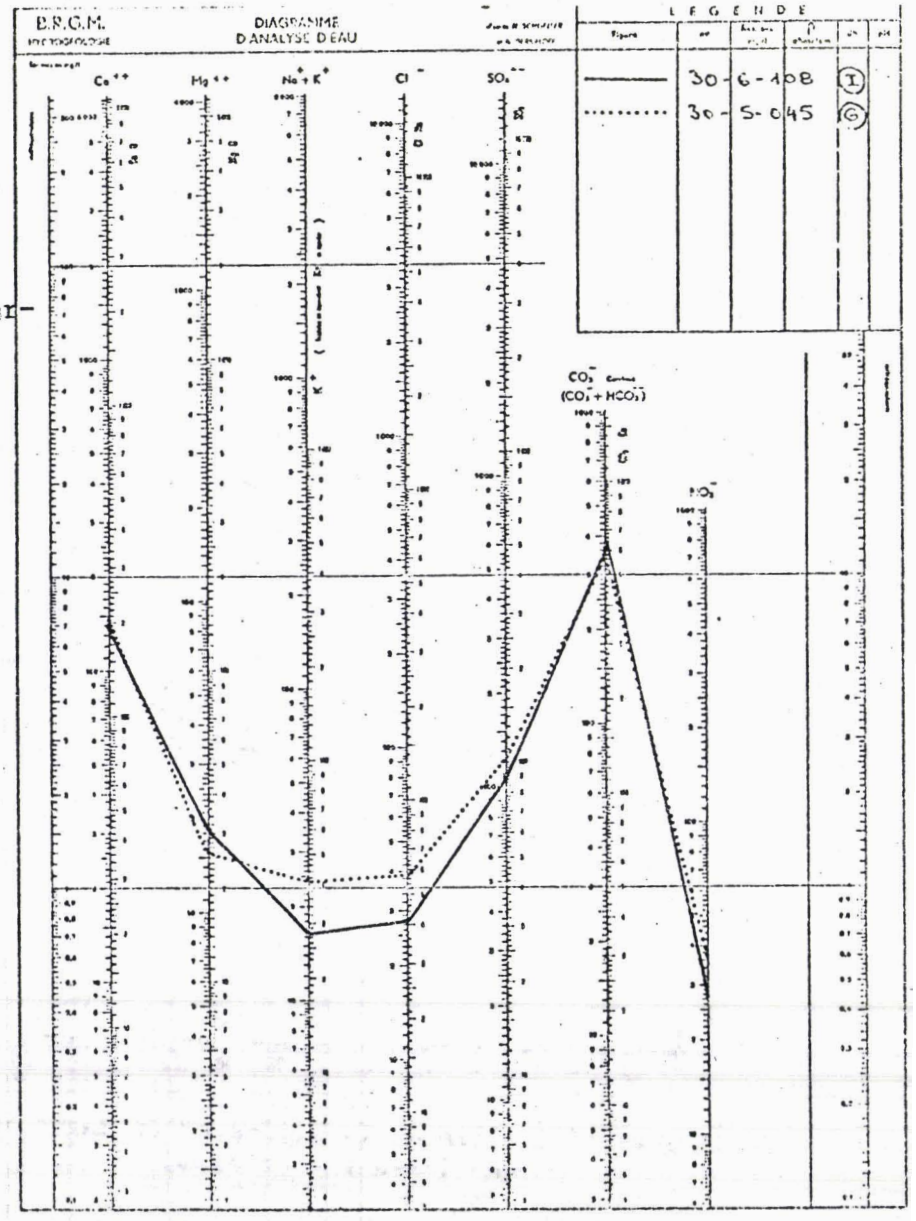



Figure 65 :

Diagramme de Scheoller-Berkaloff du groupe $III_3$

Le troisième facteur (14,4% de la variance globale) est construit par le magnésium (CTR = 30,4%) et l'aluminium (CTR = 28,9%) antagonistes de la silice (CTR = 9,2%) et du calcium (9,2%). Si l'on étudie les corrélations de chaque élément avec ce troisième axe factoriel, on remarque que la silice n'offre qu'une corrélation de 0,36 avec l'axe alors que les trois autres ont des valeurs de 0,58 ($Ca^{++}$), 0,81 ($Al^{+++}$) et 0,85 ($Mg^{++}$). La très faible ingérence de la silice, dans l'élaboration du facteur, est relatée par la figure 66. La distorsion subie par l'axe factoriel 3 montre combien le couple ($SiO_2$-$Mg^{++}$), donc la silice, est peu influent. La figure 67, où l'axe factoriel 3 n'est nullement déformé, montre par contre une excellente représentation du plan factoriel 1-3. Les 3 constituants, calcium, aluminium et magnésium, définissent donc l'axe factoriel 3, témoin de phénomènes d'acquisition d'ions calcium et magnésium dans des proportions variées au niveau de la roche réservoir (Schoeller, 1962). L'importance de l'aluminium (bien corrélé avec la silice) associé au magnésium et au calcium, permet de penser que des argiles de la famille des smectites influent sur le chimisme de l'eau.

Le quatrième facteur représente 12,6% de la variance totale. Il est dominé par le pH (CTR = 28,0%), le fluor (CTR = 19,2%), le potassium (CTR = 14,8%) et la silice (CTR = 11,2%). Ces quatre paramètres constituent deux couples antagonistes : ($F^-$, $K^+$) et (pH, $SiO_2$). Ce type de relation semble provenir de phénomènes d'échanges de bases au niveau des argiles et, principalement, des illites (Koritnig, 1972).

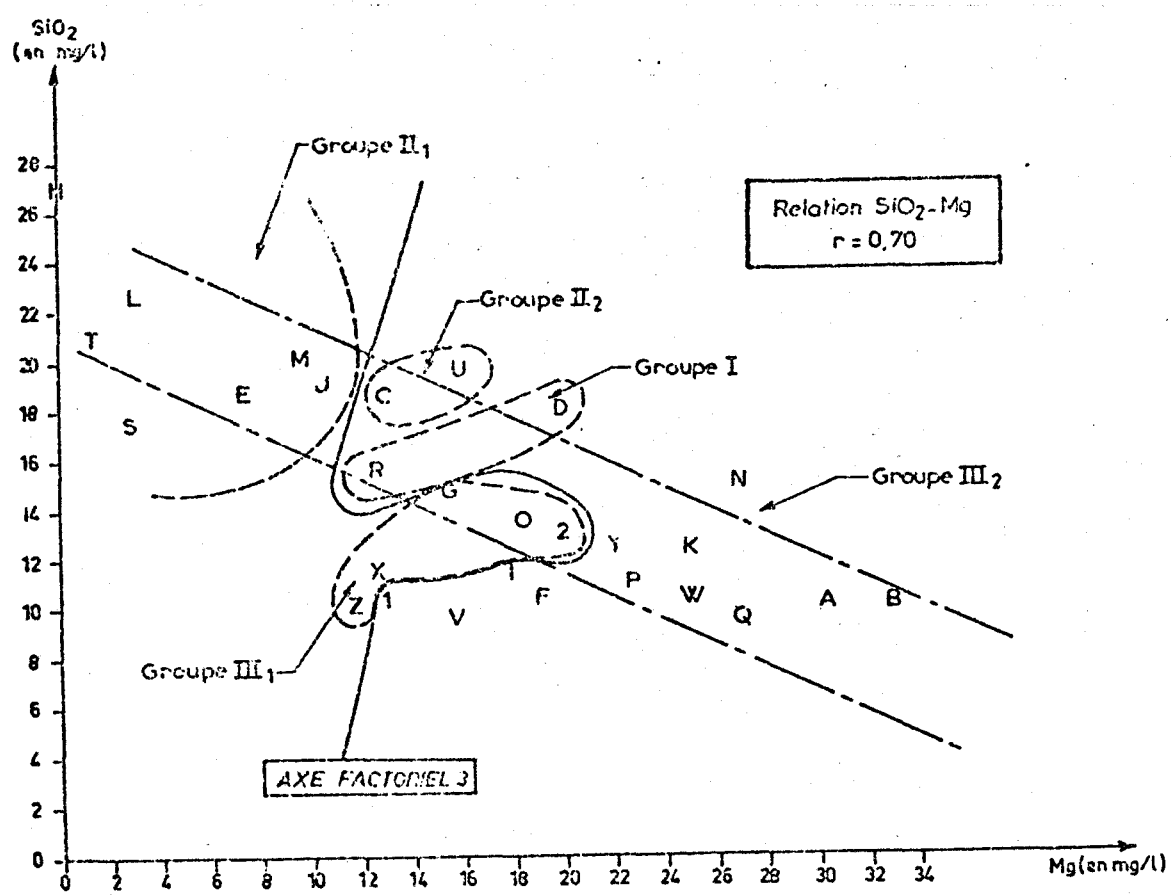



Figure 66 : Rôle de la silice et du magnésium dans la contribution de l'axe factoriel 3.

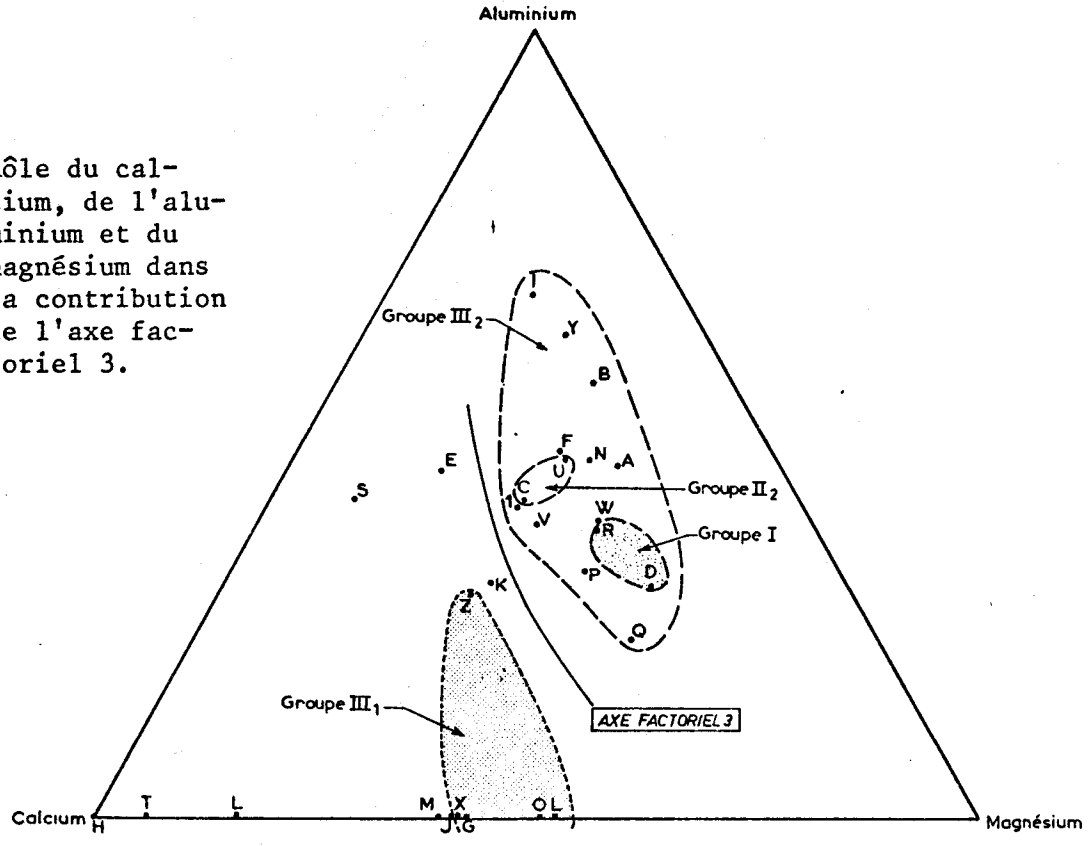



Figure 67 : Rôle du calcium, de l'aluminium et du magnésium dans la contribution de l'axe factoriel 3.

423 - Analyse temporelle

Nous ne possédons malheureusement que peu d'analyses chimiques nous permettant d'avoir une bonne idée générale de l'évolution de la qualité des eaux souterraines. Néanmoins, celles que nous possédons datant de plus de dix ans ne semblent pas indiquer de dégradation de cette qualité (figure 68). Les variations saisonnières ou annuelles sont ici supérieures à l'évolution entre une analyse de 1957 (forage 30-5-045) et une autre de 1976 ou 1977.

43 - Chimisme des eaux superficielles

L'Agence de Bassin Artois-Picardie gère un réseau de contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface. Ce réseau étendu à tous le cours d'eau d'Artois et de Picardie, comprend dans le bassin de la Sambre neuf stations permanentes de prélèvement. Les localisations de ces prélèvements de même que les indices ABAP et BRGM sont répertoriés dans le tableau 20.

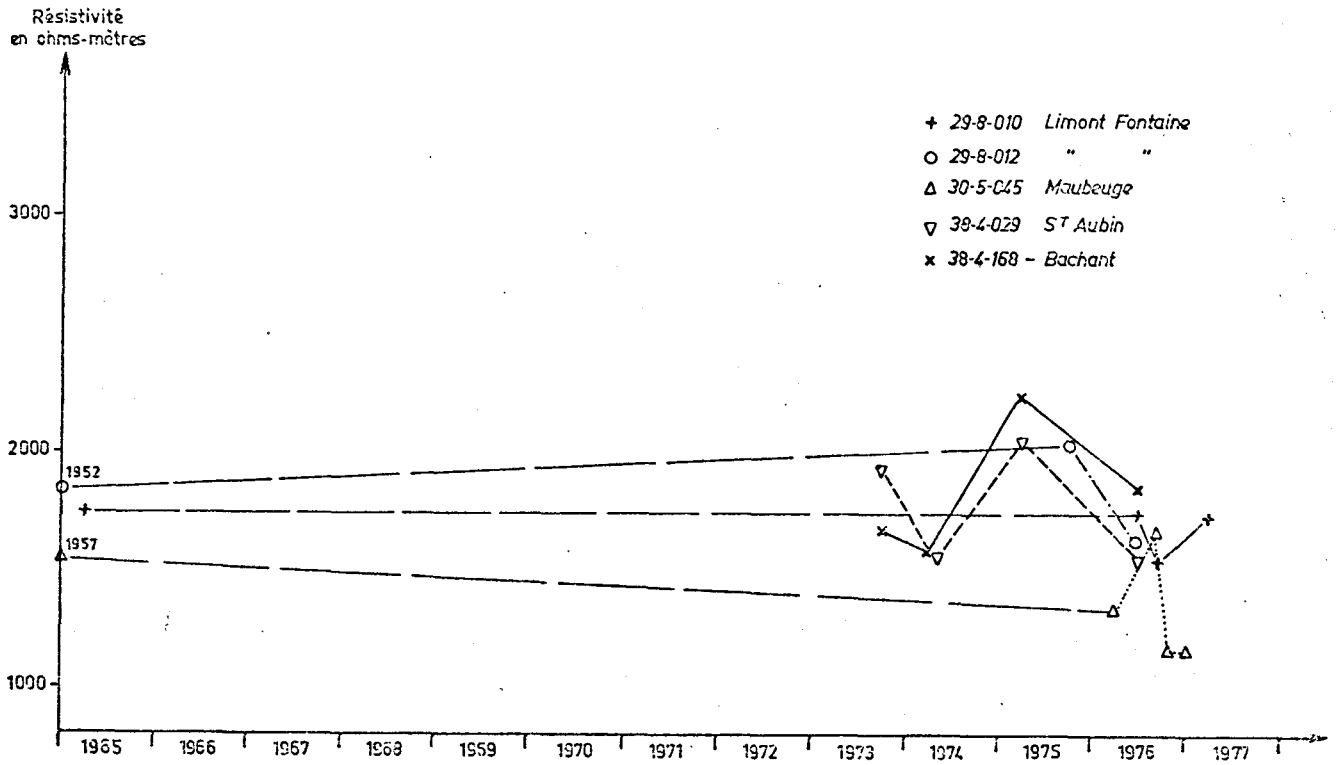



Figure 68 : Evolution de la résistivité des eaux souterraines.

| Cours d'eau | Numéro ABAP | Indice B.R.G.M. | Commune |
|---|---|---|---|
| Sambre | 1000 | 38-2-004 | Locquignol |
| Sambre | 2000 | 29-7-052 | Pont-sur-Sambre |
| Sambre | 3000 | 30-5-294 | Assevent |
| Sambre | 4000 | 30-6-115 | Jeumont |
| Helpe-Mineure | 5000 | 51-1-310 | Fourmies |
| Helpe Mineure | 6000 | 38-2-003 | Maroilles |
| Helpe Majeure | 7000 | 38-8-221 | Avesnes |
| Helpe Majeure | 8000 | 38-3-214 | Taisnières |
| Solre | 9000 | 30-5-293 | Ferrière-la-Petite |

Tableau 20 : Localisation des échantillonnages d'eau superficielle.

BUS LILLE

La position géographique ainsi que les analyses d'eau les plus récentes sont reportées sur la figure 69.

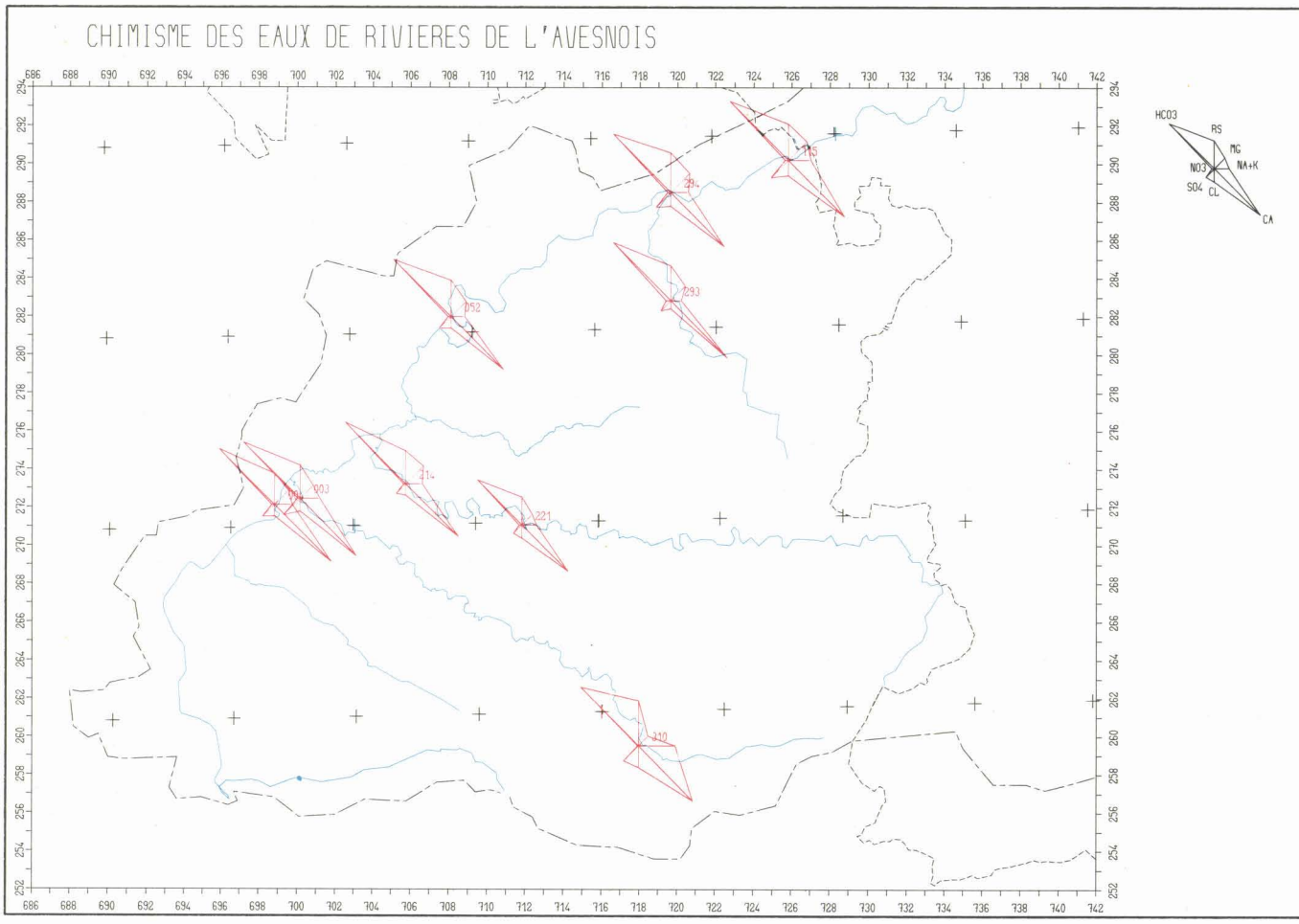



Figure 69 : Carte du chimisme des eaux de surface.

431 - Analyse spatiale

Afin d'homogénéiser les types de représentation spatiale des analyses physico-chimiques des eaux souterraines (figure 56) et superficielles (figure 69), nous avo utilisé à nouveau le programme ROSE. Cette homogénéisation nous permet de la même manière de comparer les deux cartes et discerner, le cas échéant les similitudes pouvant indiquer les relations étroites entre nappes et rivières. Malgré le nombre très restreint d'analyses régulières, nous pouvons noter les remarques suivantes :

- pour tous les points de contrôle, les nitrates sont en très faible quantité (0 à 0,3 me/l);
- le magnésium ne change pratiquement pas de concentration d'un point à un aut
- par contre, les concentrations en sodium et potassium diffèrent largement, notamment pour le point de contrôle 51-1-310 à l'aval de Fourmies;
- les teneurs en sulfates sont importantes et fréquemment comparables aux plus fortes concentrations relevées pour les eaux souterraines. Ces sulfates sont surtout prédominants après le passage d'une agglomération.

Ce type de représentation avec, sur la rosette, les mêmes variables utilisées pour les eaux souterraines ne semble toutefois pas convenir aux eaux superficielles. Les paragraphes suivants nous indiqueront que l'incorporation des nitrites, de l'ammonium, du fer et du manganèse seraient plus informateurs sur la qualité de l'eau.

### 432 - Potabilité des eaux

Le programme ANACHIM (cf. chapitre 2) permet d'analyser rapidement la qualité et la potabilité de l'eau. Ce dernier facteur est, pour les eaux superficielles, beaucoup plus important que les eaux souterraines, moins sujettes aux contaminations. Nous n'aborderons dans ce paragraphe que quelques points de prélèvement caractéristiques en examinant particulièrement les éléments influençant la classe de potabilité.***

#### 4321 - Prélèvements sur la Sambre entre Berlaimont et Jeumont

A Pont-sur-Sambre (point de contrôle 29-7-052), la Sambre a traversé le premier centre industriel de l'Avesnois (Berlaimont et Aulnoye-Aymeries). Elle s'écoule alors vers Maubeuge où, à sa sortie, se trouve un second point de contrôle de la qualité de l'eau (30-5-294 à Assevent). Elle se dirige ensuite vers Jeumont où un dernier échantillonnage (30-6-115) est effectué avant l'entrée de la rivière en territoire belge. Le prélèvement 30-6-115, à Jeumont, détermine théoriquement la qualité chimique la moins bonne du bassin car toutes les eaux transitent par ce point, et ce, quelle que soit leur origine. La qualité de l'eau est ici très influencée par les rejets des agglomérations et centres industriels de Jeumont, Haumont, Maubeuge, etc... La potabilité* de l'eau y est souvent médiocre et aucune industrie ne peut l'utiliser sans traitement préalable. Dans 95% des analyses effectuées, cette eau possède une classe de potabilité zéro (cf tableau 22).

En fait, si nous observons les indices de potabilité** (IP) dans le détail (tableau 21) on remarque que le degré hydrotimétrique (TH) offre toujours un indice de potabilité inférieur à 1,00 (la moyenne est 0,73) caractérisant ainsi une très bonne eau.

---

* La potabilité est caractérisée par un ensemble d'indices de potabilité.

** L'indice de potabilité d'une eau par rapport à un élément (ou corps dissout) est égal au quotient de la valeur (ou de la concentration) de cet élément divisé par la norme légale maximale de celui-ci.

*** La classe de potabilité d'une eau est définie conformément au tableau 22.

Il en est exactement de même des ions chlorures, sulfates, magnésium et nitrates. Les moyennes et extrêmes des IP ainsi que la classe de potabilité définie par ces seuls paramètres sont reportés dans le tableau 21 .

| IP / Eléments | Moyenne | Maximum | Minimum | Classe |
|---|---|---|---|---|
| TH | 0.73 | 0.96 | 0.47 | 5.2 |
| $Cl^-$ | 0.10 | 0.22 | 0.05 | 4.2 |
| $SO_4^{--}$ | 0.22 | 0.36 | 0.09 | 5.1 |
| $Mg^{++}$ | 0.12 | 0.19 | 0.03 | 5.1 |
| $NO_3^-$ | 0.19 | 0.45 | 0.00 | 6.0 |

Tableau 21 : Potabilité de certains éléments non polluants (eau de la Sambre à Jeumont)

Les classes de qualité chimique de l'eau étant définies par le Comité Français d'Hygiène de l'Eau de la manière suivante (tableau 22) :

| | R.S. | TH | CL | $SO_4$ | Mg | $NO_3$ | $NO_2$ | Fe | Mn | $NH_4$ | UTILISATION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Classe 6.0 | 100 | 5 | 20 | 20 | 5 | 10 | 0,00 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | viscose-rayonne |
| Classe 5.2 | 850 | 25 | 20 | 20 | 10 | 15 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,50 | conserverie |
| Classe 5.1 | 2000 | 30 | 20 | 250 | 125 | 44 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,50 | sucrerie |
| Classe 4.2 | 500 | 32 | 100 | 200 | 125 | 44 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,50 | irrigation |
| Classe 4.1 | 500 | 32 | 250 | 250 | 125 | 44 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,50 | eau potable |
| Classe 3.0 | 850 | 25 | 250 | 250 | 125 | 44 | 0,10 | 0,30 | 0,20 | 0,50 | laiterie |
| Classe 2.0 | 2000 | 18 | 250 | 250 | 125 | 44 | 0,10 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | papeterie-textile |
| Classe 1.0 | 2000 | 50 | 250 | 250 | 125 | 44 | 0,10 | 2,00 | 1,00 | 0,50 | brasserie-tannerie |
| Classe 0.0 | classe de mauvaise qualité chimique | | | | | | | | | | |

Tableau 22 : Valeurs limites des différentes classes d'utilisation d'eau (valeurs en degrés F et mg/l).

Malgré cela, les ions $NO_2^-$, $Fe^{2+}$, $Mn^{++}$ ou $NH_4^+$ donnent à l'eau une qualité médiocre, ramenant la classe de potabilité à zéro (eau non utilisable sans traitement approprié), (tableau 23).

Ces éléments sont indicateurs d'une source de pollution proche et récente. Ils s'opposent ainsi aux autres (TH, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Mg^{++}$, $NO_3^-$).

| IP éléments | Moyenne | Maximum | Minimum | Classe |
|---|---|---|---|---|
| $NO_2^-$ | 4.55 | 12.00 | 0.90 | 0 |
| $Fe^{++}$ | 4.88 | 15.00 | 1.00 | 2 |
| $Mn^{++}$ | 0.80 | 6.40 | 0.00 | 5.2 |
| $NH_4^+$ | 3.34 | 10.60 | 0.00 | 0 |

Tableau 23 : Indice de potabilité de certains éléments polluants (eau de la Sambre à Jeumont)

Les matières en suspension (MES) sont importantes dans cette section du cours d'eau (moyenne de 75,82 mg/l contre 48,5 mg/l pour l'ensemble des échantillons prélevés dans tout le bassin de la Sambre). Par contre la $DBO_5$ et la DCO sont relativement peu élevées. Les "éléments indésirables" sont rarement présents sauf de faibles concentrations en plomb à certaines époques (0,2 mg/l en Juillet 1971). Il faut admettre que malgré la situation très défavorable de la Sambre à cet endroit, l'eau n'est affectée que par une pollution assez facilement réductible. En effet, les nitrites et l'ammoniaque peuvent être éliminés par oxygénation de l'eau suivant les réactions chimiques :

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H_2O$$

$$NO_2^- + \frac{1}{2}\,O_2 \rightarrow NO_3^- \text{ (non toxiques à faible dose)}$$

Les sels ferreux ne sont pas nocifs dans l'eau mais ils se transforment, au contract de l'oxygène de l'air, en sels ferriques qui précipitent en donnant des dépôts de couleur rouille pouvant obstruer les canalisations. L'ion manganèse a le même comportement que $Fe^{++}$. Ces corps en excès sont dus principalement à une eutrophisation de l'eau (Ranchet, 1971). Une oxygénation (par insufflation d'$O_2$, brassage ou chute de l'eau) détruirait $NO_2^-$, $NH_4^+$ et précipiterait $Fe^{++}$ et $Mn^{++}$.

Un traitement primaire (décantation) éliminerait une partie des MES (50 à 70 %) et des oxydes de fer et de manganèse. Une filtration rapide pourrait

accessoirement accompagner ces deux traitements. Pendant la sédimentation une chloration permettrait l'élimination des germes ainsi que tout ou partie du $NH_4^+$ suivant la réaction (Gometta et Guerrée, 1978) :

$$NH_4^+ + HCLO \rightarrow NH_2CL + H_2O + H^+$$

Le prix d'un tel traitement, assez simple, resterait économique dans la mesure où d'importantes quantités d'eau seraient utilisées. Les frais (déplacements du personnel, surveillance, amenées électriques, conduites, etc...) en seraient réduits.

Les indices de potabilité sont sensiblement identiques à ceux déterminés aux stations d'Assevent et de Pont-sur-Sambre (tableau 24) :

| | TH | $Cl^-$ | $SO_4^=$ | $Mg^{++}$ | $NO_3^-$ | $NO_2^-$ | $Fe^{++}$ | $Mn^{++}$ | $NH_4^-$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29-7-054 Pont-s-Sambre | 0,72 | 0,08 | 0,15 | 0,10 | 0,18 | 1,90 | 1,5 | 5,0 | 0,70 | $\bar{x}$ |
| | 0,15 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,09 | 0,91 | 0,0 | 7,0 | 0,75 | $\sigma$ |
| | 0,94 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,39 | 4,0 | 1,5 | 10,0 | 2,20 | MAX |
| | 0,44 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 0,05 | 0,90 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | MIN |
| | 5.2 | 6.0 | 5.1 | 5.2 | 6.0 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 0.0 | CLASSE |
| 30-5-294 Assevent | 0,75 | 0,09 | 0,18 | 0,12 | 0,20 | 9,99 | 6,1 | 1,3 | 5,64 | $\bar{x}$ |
| | 0,14 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,20 | 18,52 | 5,4 | 2,3 | 11,96 | $\sigma$ |
| | 0,94 | 0,15 | 0,27 | 0,18 | 0,91 | 79,00 | 15,5 | 4,0 | 56,00 | MAX |
| | 0,51 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,01 | 0,30 | 2,6 | 0,0 | 0,00 | MIN |
| | 5.2 | 4.2 | 5.1 | 5.1 | 6.0 | 0.0 | 1.0 | 3.0 | 0.0 | CLASSE |

Tableau 24 - Indices de potabilité des eaux de la Sambre à Assevent et Pont-sur-Sambre.

La pollution à ces deux stations est déterminée par les mêmes variables : $NO_2^-$, $Fe^{++}$, $Mn^{++}$ et $NH_4^+$ et MES. Par contre, TH, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Mg^{++}$, $NO_3^-$ déterminent, comme à Jeumont, une qualité fréquemment supérieure à celle d'une eau potable.

Entre les trois stations de Pont-sur-Sambre (amont), Assevent (intermédiaire) et Jeumont (aval), on remarque une évolution sensible : c'est le cas pour les chlorures (indices de potabilité respectifs = 0,08 ; 0,09 ; 0,10), les sulfates (0,15 ; 0,18 ; 0,22), et le magnésium. Mais ces différences sont très faibles et ne doivent pas faire oublier que l'eau possède une certaine configuration de base, (très lentement modifiée par la pollution) et un faciès très évolutif, (caractérisé

par les éléments indicateurs d'une pollution toute proche). Evidemment, les traitements préconisés pour l'eau à Jeumont sont identiques pour toute la partie de la Sambre située entre Berlaimont et Jeumont.

### 4322 - Autres échantillonnages dans le bassin

A l'exception de ceux de Ferrière-la-Petite (30-5-293) et de Locquignol (38-2-004) les autres points de contrôle de la qualité des eaux superficielles sont placés immédiatement à l'aval d'une ville (Maroilles, Avesnes, Taisnières ou Fourmies). On peut y ajouter les points de contrôle que nous venons de voir : Pont-sur-Sambre, Assevent, Jeumont. Tous ont les mêmes caractéristiques. Nous n'étudierons donc que les échantillonnages effectués à Locquignol sur la Sambre, où l'autoéruption de l'eau a pu s'effectuer depuis au moins 5 kilomètres et à Ferrière-la-Petite. A cet endroit, la Solre n'a traversé aucune agglomération industrielle. Les seules sources polluantes à l'amont pourraient être les petites communes d'Obrechies et de Damousies qui y rejettent une partie de leurs effluents. Les indices et classes de potabilité relevés entre 1967 et 1976 sont résumés dans le tableau 25 (programme ANACHIM) :

| | | Indice de potabilité | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Date | Classe de potab. | Général | TH | Cl | $SO_4$ | Mg | $NO_3$ | $NO_2$ | Fe | Mn | $NH_4$ |
| 27-2-1967 | 5.1 | 1,00 | 0,61 | 0,04 | 0,10 | 0,08 | 0,17 | 1,00 | - | - | - |
| 6-11-1967 | 0 | 3,25 | 0,79 | 0,06 | 0,16 | 0,18 | 0,32 | 2,00 | 3,25 | 0,00 | 1,00 |
| 5-4-1968 | 5.1 | 0,90 | 0,75 | 0,05 | 0,12 | 0,11 | 0,39 | 0,90 | - | - | 0,00 |
| 18-10-1968 | 5.1 | 1,00 | 0,75 | 0,05 | 0,12 | 0,18 | 0,32 | 1,00 | - | - | 0,00 |
| 2-3-1970 | 5.1 | 1,00 | 0,50 | 0,04 | 0,12 | 0,08 | 0,34 | 1,00 | 0,00 | - | 1,00 |
| 1-10-1970 | 3 | 1,50 | 0,86 | 0,06 | 0,13 | 0,07 | 0,34 | 0,90 | 1,50 | 0,00 | 0,20 |
| 5-7-1971 | 0 | 1,80 | 0,66 | 0,04 | 0,12 | 0,02 | 0,36 | 1,80 | - | - | 0,00 |
| 7-9-1972 | 0 | 2,30 | 0,80 | 0,06 | 0,12 | 0,10 | 0,32 | 2,30 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13-9-1973 | 5.1 | 0,77 | 0,77 | 0,06 | 0,12 | 0,05 | 0,31 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 18-9-1975 | 0 | 1,80 | 0,87 | 0,08 | 0,18 | 0,09 | 0,32 | 1,80 | - | - | 0,80 |
| 14-10-1976 | 5.1 | 0,90 | - | 0,06 | 0,14 | 0,09 | 0,28 | 0,90 | 0,80 | 0,50 | 0,20 |
| Moyenne | - | 1,47 | 0,74 | 0,05 | 0,13 | 0,10 | 0,32 | 1,24 | 1,13 | 0,10 | 0,36 |
| CV %* | - | 52 | 16 | 20 | 15 | 50 | 19 | 53 | 104 | 220 | 122 |
| Maxi | - | 3,25 | 0,87 | 0,08 | 0,18 | 0,18 | 0,39 | 2,30 | 3,25 | 0,50 | 1,00 |
| Mini | - | 0,90 | 0,50 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tableau 25 : Indices de potabilités et statistiques primaires d'eaux de surface à Ferrière-la-Petite.

CV% = coefficient de variation = (écart-type/moyenne)·100

Contrairement aux contrôles effectués dans la Sambre, l'indice de potabilité de l'ammoniaque n'est ici jamais supérieur à 1.00. Il répond ainsi aux normes exigées pour une eau potable ; malgré le faible nombre de mesures, il semble en être de même pour le manganèse. Par contre, les nitrites et le fer ferreux sont toujours en quantité supérieure aux normes de potabilité ($NO_2^{--}$ = 1,24 et $Fe^{++}$ = 1,13). Leurs quantités sont pourtant nettement réduites par rapport à celles de la Sambre au niveau des agglomérations.

Nous pouvons considérer qu'en ce point de la Solre, l'eau est typique des rivières du Bassin de la Sambre à l'amont d'une commune. C'est à partir d'un tel faciès chimique qu'il faudra définir les traitements nécessaires à l'utilisation de cette eau à des fins alimentaires. Compte-tenu des proportions moindres de $NH_4^+$ et de $NO_2^-$ , la quantité d'oxygène à apporter lors du traitement de l'eau sera beaucoup plus faible (d'où une économie de temps et de capitaux).

A Locquignol (indice 38-2-004), le chimisme de l'eau correspond à une transition entre celui de l'aval des agglomérations et celui, peu perturbé, de Ferrière-la-Petite. L'eau a en effet le temps de s'autoépurer en partie après le passage de Catillon-sur-Sambre. Cette autoépuration diminue principalement le taux des nitrites, ammoniaque, manganèse mais nullement celui du fer qui montre des valeurs anormalement élevées (0,71 mg/l en moyenne).

### 433 - Etude sommaire des constituants

L'eau superficielle contient un certain nombre d'ions évoluant faiblement autour d'une moyenne (dans des conditions géographiques et géologiques identiques) auxquels s'ajoutent d'autres ions polluants. Les eaux souterraines étant relativement plus stables chimiquement, il est intéressant de les comparer aux eaux de surface (tableau26) :

Plusieurs remarques peuvent être faites à la lecture de ce tableau :

. la variabilité des composantes des analyses d'eaux souterraines est toujours nettement plus faible que celle des eaux superficielles (effet tampon des couches géologiques traversées),

. les variables dont le coefficient de variation est supérieur à 50 %, correspondent toutes à une pollution humaine (agglomération ou industries),

. l'ammoniaque réagit différemment, son coefficient de variation n'étant que de 34 %. Cet ion se dégrade très rapidement en nitrite lors de l'auto-épuration (Feuillade, 1972).

| | | Résist. | pH | TH | TAC | Ox | $NH_4$ | $NO_2$ | $NO_3$ | Cl | $SO_4$ | Fe | RS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau de | Moy. | 2256,1 | 7,58 | 23,3 | 19,27 | 3,76 | 1,37 | 0,41 | 8,69 | 21,4 | 44,3 | 0,64 | - |
| Surface | C.V. | 20,4 | 4,5 | 19,9 | 21,3 | 64,9 | 33,5 | 200,0 | 69,6 | 40,2 | 40,0 | 104,0 | - |
| Eau | Moy. | 1963,0 | 7,26 | 31,7 | 26,3 | 0,84 | 0,00 | 0,01 | 17,8 | 19,6 | 34,8 | 0,23 | 392,0 |
| Souter. | C.V. | 3,3 | 0,5 | 2,6 | 3,0 | 8,3 | 0 | 0 | 5,6 | 9,2 | 6,5 | 43,5 | 3,6 |

| | | $SiO_2$ | Ca | Mg | Na | K | Mn | Al | $PO_4$ | $HCO_3$ | Pb | As | Cr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau de | Moy. | 15,0 | 73,6 | 13,2 | 16,3 | 5,55 | 0,7 | - | 0,79 | 233,4 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| Surface | C.V. | - | 19,6 | 39,9 | 52,6 | 46,8 | 242 | - | 127 | 23,0 | 166 | 0,00 | 0,0 |
| Eau | Moy. | 14,6 | 101 | 17,3 | 8,6 | 1,9 | 0,0 | 0,2 | 0,12 | 320,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Souter. | C.V. | 4,1 | 3,1 | 7,5 | 4,6 | 10,5 | 0,0 | 0,0 | 50,0 | 2,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

| | | Cn | $F^-$ | Cu | Zn | Phen. | MES | $DBO_5$ | DCO | NTot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau de | Moy. | 0,0 | 0,25 | 0,07 | 0,09 | 0,01 | 53,0 | 5,54 | 26,17 | 7,88 |
| Surface | C.V. | 0,0 | 134,0 | 120,0 | 260 | 30,0 | 150 | 46,9 | 47,7 | 47,7 |
| Eau | Moy. | 0,0 | 0,25 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | - |
| Sout. | C.V. | 0,0 | 64,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - | - | - | - |

Tableau 26 : Comparaison entre les moyennes et coefficients de variation des eaux souterraines et superficielles.

## 434 - Analyse statistique et réactions chimiques spécifiques

### 4341 - Matrice des corrélations

Le tableau 27 rassemble les coefficients de variations calculés par le programme ANACHIM pour les eaux superficielles.

| | RESI | PH | T.EAU | TH | TAC | OX | NH4 | NO2 | NO3 | CL | SO4 | FE | CA | MG | NA | K | MN | PO4 | CO3 | HCO3 | $F^-$ | MES | DBO5 | DCO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RESI | 1.00 | .10 | -.27 | -.49 | -.68 | .18 | -.01 | -.16 | .25 | -.69 | -.36 | .15 | -.69 | -.20 | -.61 | -.21 | -.29 | -.37 | .00 | -.67 | .43 | .06 | -.17 | -.12 |
| PH | | 1.00 | .15 | .11 | .10 | -.07 | -.10 | -.01 | -.07 | -.06 | -.12 | .12 | .05 | .05 | -.12 | .00 | .08 | .02 | .08 | .69 | -.06 | -.08 | -.08 | -.20 |
| T.EA | | | 1.00 | .31 | .43 | .03 | -.11 | .20 | -.56 | .24 | .04 | -.14 | .33 | .06 | .27 | .26 | -.28 | .02 | .03 | .43 | .28 | -.09 | .35 | .04 |
| TH | | | | 1.00 | .80 | -.07 | -.01 | .13 | -.07 | .47 | .36 | -.07 | .71 | .53 | .48 | .16 | -.19 | .09 | .04 | .74 | -.20 | -.14 | .26 | .07 |
| TAC | | | | | 1.00 | -.14 | -.03 | .24 | -.21 | .55 | .16 | -.34 | .81 | .34 | .52 | .26 | -.34 | .19 | .03 | .95 | -.10 | -.08 | .26 | .04 |
| OX | | | | | | 1.00 | -.07 | -.07 | -.18 | -.01 | .06 | .08 | -.21 | .01 | -.02 | .15 | -.03 | -.07 | .01 | -.13 | -.26 | .13 | .33 | .41 |
| NH4 | | | | | | | 1.00 | .26 | .17 | .05 | .14 | .19 | .01 | .01 | .08 | .07 | .05 | .04 | .02 | .01 | .85 | -.09 | -.03 | .19 |
| NO2 | | | | | | | | 1.00 | .26 | .11 | .15 | .03 | .10 | .18 | .15 | .07 | .04 | .00 | .03 | .16 | .94 | -.06 | -.02 | -.03 |
| NO3 | | | | | | | | | 1.00 | -.39 | -.15 | -.01 | -.01 | .03 | -.40 | -.32 | .08 | -.13 | .01 | -.18 | .62 | .03 | -.28 | -.21 |
| CL | | | | | | | | | | 1.00 | .54 | .06 | .54 | .21 | .87 | .49 | .08 | .35 | .05 | .53 | -.20 | -.08 | .33 | .30 |
| SO4 | | | | | | | | | | | 1.00 | .38 | .33 | .30 | .60 | .44 | .18 | .20 | -.02 | .18 | .07 | -.00 | .24 | .30 |
| FE | | | | | | | | | | | | 1.00 | .34 | .34 | .03 | .30 | .66 | .20 | | -.34 | .09 | -.03 | .26 | .23 |
| CA | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .03 | .49 | .21 | -.30 | .11 | -.01 | .79 | -.02 | -.08 | .11 | -.03 |
| MG | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .17 | .07 | .18 | .25 | .10 | .39 | .16 | .04 | .19 | .11 |
| NA | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .56 | -.22 | .36 | -.02 | .50 | -.11 | -.06 | .26 | .28 |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -.22 | .00 | -.00 | .27 | .04 | -.07 | .25 | .28 |
| MN | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .41 | | -.33 | -.30 | .03 | -.01 | .16 |
| PO4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -.07 | .19 | -.28 | .03 | .22 | .18 |
| CO3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .03 | | .06 | .05 | -.06 |
| HCO3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .02 | -.09 | .23 | .03 |
| $F^-$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -.11 | -.33 | -.28 |
| MES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .02 | .13 |
| DBO5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .41 |
| DCO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

Tableau 27 : Matrice des coefficients de corrélation sur les variables des analyses d'eau.

A l'exception des liaisons ($HCO_3^-$, TH) et ($NO_2^-$, $F^-$), aucun coefficient de corrélation ne dépasse 0,90. Si l'on rapproche ces résultats de ceux obtenus pour les eaux souterraines (cf. paragraphe 422), le chimisme de l'eau superficielle se comporte très différemment : sa triple origine pourrait en être la cause. En effet, l'eau de rivière est un mélange d'eaux pluviales, faiblement minéralisées, d'eaux souterraines et d'eaux usées. Les quotas et proportions d'ions sont très variables et diminuent ainsi l'intensité des relations.

Les principales relations entre variables sont schématisées sur la figure 70.

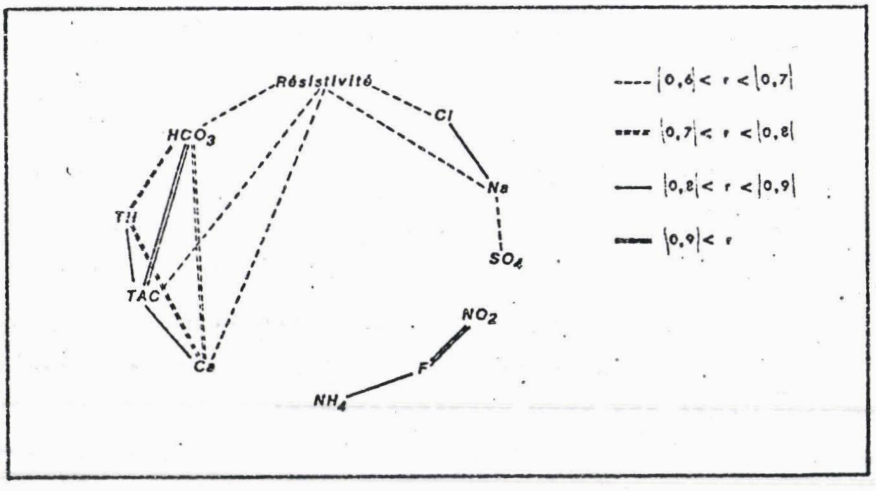



Figure 70 : Relation entre les principales variables corrélées des analyses d'eau de surface.

Les fluorures, fortement corrélés aux nitrites et à l'ammoniaque, sont en quantité supérieure par rapport à ceux des eaux souterraines (0,25 mg/l contre 0,09 mg/l en moyenne). Ils proviennent donc, pour plus de la moitié, d'eaux usées où $NO_2^-$ et $NH_4^+$ sont présents.

### 4342 - Analyse des correspondances

L'A.C.O. a été essayée sur une population standardisée de 32 analyses physico-chimiques. Seules les variables principales, telles que Résistivité, TH, Oxydabilité, $NH_4^+$, $NO_2^-$, $NO_3^-$, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Ca^{++}$, $Mg^{++}$, $Na^+$, $K^+$, $HCO_3^-$, MES, $DBO_5$ et DCO ont été conservées. Malgré l'intérêt de ce mode d'analyse dans l'étude statistique des eaux souterraines, l'A.C.O. n'a donné que des résultats difficilement interprétables pour les eaux superficielles. Le mélange dont elles sont issues semble être la cause de cette difficulté.

Les quatres premiers axes factoriels qui n'expliquent que 74 % de l'inertie totale sont répartis de la manière suivante :

- 1er axe : 29,3 %,
- 2ème axe : 19,8 %,
- 3ème axe : 15,4 %,
- 4ème axe : 9,4 %.

Le premier axe factoriel est déterminé principalement par la résistivité (26,7 %), le MES (10 %) et les nitrates (9,5 %). La comparaison de ce facteur avec le premier facteur caractéristique des eaux souterraines s'avère difficile. En effet, la silice et le résidu sec ne sont jamais analysés dans les eaux superficielles, par contre, ces eaux possèdent des variables supplémentaires telles que MES, $DBO_5$, DCO et Azote total.

Néanmoins, plusieurs observations peuvent être faites. Les nitrates, bien qu'étant en plus faible quantité que dans les eaux souterraines (8,7 mg/l contre 17,8 mg/l) ont plus d'influence sur le chimisme de l'eau puisqu'ils interviennent dès le facteur principal. De plus, ils ont un comportement indépendant des autres ions ($Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Na^+$). Ce groupe, très homogène pour les eaux souterraines, est donc éclaté.

Une autre remarque sur ce premier facteur est le comportement inhabituel de ses composants les uns par rapports aux autres. Une augmentation de la résistivité entraîne automatiquement une augmentation du MES, des nitrates et une baisse des bicarbonates.

Le second facteur est déterminé par le calcium (15,2 % de l'inertie), le degré hydrotimétrique (13,6 %) et le pH (10 %), tous trois évoluant dans le même sens. Ce facteur représente l'accroissement de basicité de l'eau avec la dissolution du carbonate de calcium.

435 - Analyse temporelle

L'évolution générale du chimisme des eaux de surface est difficile à établir compte-tenu du manque de régularité des paramètres essentiels pris en compte et de l'importante variabilité des mesures.

Nous avons vu précédemment que la résistivité caractérisait assez bien une eau. Aussi, pour avoir un aperçu rapide de l'évolution de l'eau dans le temps, avons-nous établi un graphe $\rho = f(t)$ entre les années 1965 et 1976 (figure 71). Malgré leur espacement dans le temps, les trois groupes de mesures dénotent assez bien la tendance générale à la dégradation de la qualité des eaux. Entre 1965 et 1972, cette tendance est faible : la résistivité reste toujours en moyenne au-dessus de 2000 Ωm.

Après 1972, elle s'accentue suffisamment pour que la résistivité moyenne tombe en 1976 à 1800 - 1900 Ωm. Pour certaines variables, comme les matières en suspension, aucune tendance n'est perceptible : les très fortes variations masquent alors le phénomène.

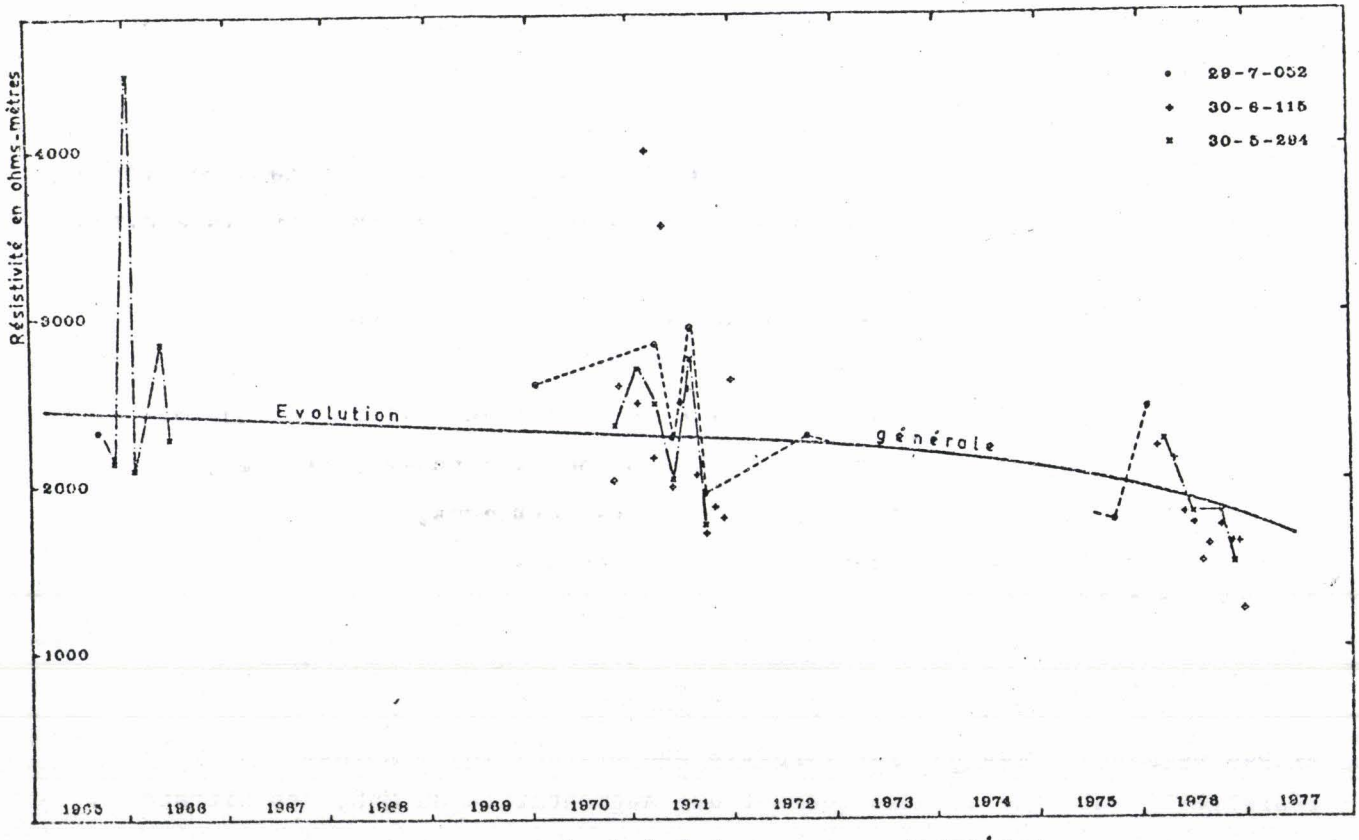



Figure 71 : Evolution de la résistivité des eaux souterraines.

## 44 - Pollution : prévention et traitement

### 441 - Prévention

Prévention et traitement ont en fait des significations proches. Nous pouvons imaginer que la prévention d'une éventuelle pollution est le traitement de celle-ci, puisque dans les deux cas, on agit de manière à ce que la pollution n'existe pas ou plus. On définira la prévention de la pollution principalement au niveau des captages d'eau souterraine utilisée pour l'alimentation publique.

La figure 72 donne une réduction d'une carte IGN au 1/50 000 effectuée pour l'ensemble de l'Avesnois : la carte générale étant trop importante pour figurer dans ce mémoire. On y distingue en particulier les limites des périmètres de protection rapprochés et éloignés. La carte générale ayant pour but de faciliter la tâche du géologue agréé dans l'expertise de sites de décharges, les carrières actuellement répertoriées (Bruneel, 1978) ainsi que les décharges en exploitation y ont été localisées.

A ce jour, tous les captages d'eau du Bassin de la Sambre ne possèdent pas de périmètre de protection. Les forages 39-5-002 et 39-5-110 à Féron, 39-6-113 et 39-6-205 à Trélon, en sont des exemples. Ils sont donc susceptibles d'être pollués à tout moment. Dans les autres cas, on peut s'interroger sur le "degré" de prévention qu'apportent les périmètres de protection. Pour cela, il est bon de revenir sur les définitions des différents périmètres dont est entouré le forage ou le champ captant.

a) - *Périmètre de protection immédiate* : à l'intérieur de celui-ci toutes les activités autres que celles résultant du Service des eaux sont interdites

b) *Périmètre de protection rapprochée* où sont interdits :

- les rejets et entrepôts de résidus ou détritus à l'état solide ou liquide, en particulier à l'intérieur des anciennes carrières,
- les épandages d'engrais et de produits chimiques,
- les édifications de nouvelles constructions,

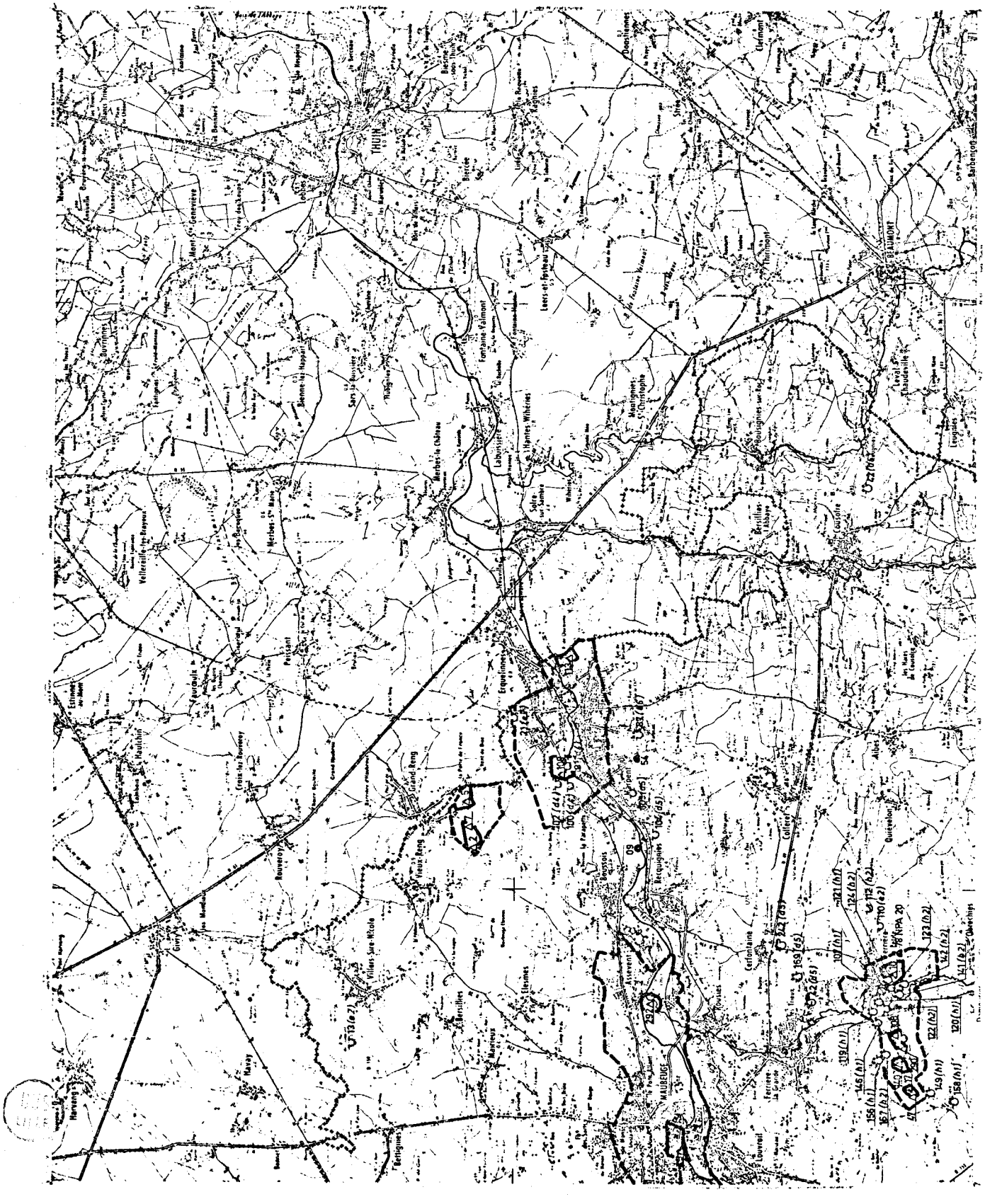


Figure 72 : Carte des pollutions et des préventions de pollutions - Secteur de Maubeuge.

- Les excavations,
- le pacage des animaux ou l'édification de parcs de stabulation,
- les entrepôts de fumiers.

C) - *Périmètre de protection éloignée* où sont réglementés :

- les épandages d'engrais et de produits chimiques,
- les nouvelles excavations,
- les entrepôts et stockage de produits chimiques, radioactifs et d'hydrocarbures.

Ces consignes sont fréquemment oubliées compte-tenu du non-suivi des dossiers. Les périmètres ne sont pas toujours une garantie suffisante pour les eaux souterraines. La pollution décelée au forage du Pont-Rouge (30-5-045), dans la Sambre à Maubeuge ou au forage 30-5-292 en est un exemple. La contamination des eaux souterraines décelée jusqu'à la frontière franco-belge est causée principalement par les sulfates. Ceux-ci proviennent des industries métallurgiques de Hautmont, Louvroil et Maubeuge. L'épuration de leurs rejets semble donc incomplète et insuffisante.

## 442 - Le traitement des eaux usées : les stations d'épuration

### 4421 - Aperçu des méthodes actuelles de traitement

Différents traitements primaire, secondaire et tertiaire peuvent être appliqués à l'eau, suivant son origine (eau résiduaire, de rivière ou lacustre), son degré de pollution et, principalement, son utilisation ultérieure.

Les traitements primaires comportent les opérations de dégrossissage et de désablage . Celles-ci éliminent les sables et les éléments grossiers. Un lagunage est ensuite effectué, avec ou sans insufflation d'air ou d'oxygène. Cette phase, très importante, stimule la dégradation des polluants par les micro-organismes et favorise leur coagulation (Rivière, 1976). La sédimentation permet alors de décanter les particules et floculats en suspension. Des adjuvants (sulfates ferriques et aluminiques) sont fréquemment utilisés pour accélérer le processus.

Les traitements secondaires consistent soit en une filtration rapide (l'eau est acheminée au travers de filtres constitués de pierraille) soit en une purification par boues activées (utilisées principalement pour les eaux fortement polluées comme les eaux d'égout).

Dans le cas où l'eau est destinée à être consommée, certains traitements tertiaires sont alors nécessaires. Ce sont : la neutralisation, l'ozonisation ou la chloration, la filtration rapide sur sable ou granules de charbon actif, et enfin la filtration lente. La figure 78 résume les différentes étapes correspondant à l'épuration d'eaux lacustres en vue de l'alimentation publique en eau potable (Schalekamp, 1977). L'annexe 7 décrit plus amplement ces trois traitements.

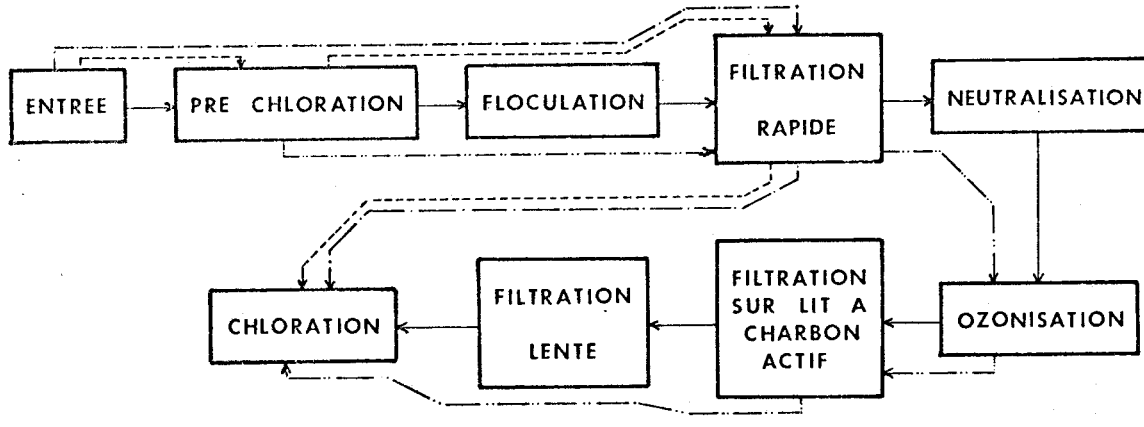



Figure 73 : Exemple de chaines de traitement de l'eau (lacs suisses).

### 4422 - Capacité de traitement dans le département du Nord

Il existait en 1977, soixante sept stations d'épuration appartenant à des collectivités locales représentant une capacité de traitement de l'ordre de 2 millions d'équivalents-habitants (rapport de synthèse de la SATESE , 1977). Dans l'ensemble, 43 % des stations d'épuration possèdent une capacité inférieure à 5 000 équivalents habitants (EH), et ne constituent que 4 % du traitement total. L'épuration biologique est presque partout adoptée avec une nette prépondérance pour le système des boues activées en concurrence avec le procédé de filtration rapide. Les stations de Marquette, 500 000 et 250 000 EH, épurant en partie les eaux usées de la Communauté Urbaine de Lille, représentent à elles seules 37,5 % de l'épuration dans le Nord.

Les coefficients de charge des stations sont en général médiocres : ainsi plus de la moitié des stations n'atteignent pas 50% du débit moyen calculé lors de leur conception. Les chiffres sont encore moins bons si l'on regarde la charge polluante en $DBO_5$ et MES. Selon les conclusions de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, ces chiffres sont dus principalement au réseau d'assainissement : trop d'habitations ne sont pas encore raccordées au tout-à-l'égout. C'est d'ailleurs la politique qui a primé pour l'établissement du budget de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie pour l'année 1978

### 4423 - Epuration des eaux dans l'Avesnois

Différents groupes d'activités économiques nécessitent l'épuration de leurs effluents, ce sont :

- les collectivités locales,
- les industries alimentaires (spécialement les laiteries et fromageries),
- les industries lourdes (métallurgie, sidérurgie, etc...), pour lesquelles nous n'avons pas de données.

#### a) - Stations d'épuration des collectivités locales

A la fin de 1977, il existait dans l'Avesnois 13 stations d'épuration de collectivités locales, ayant une capacité globale de 128 000 EH. En fait, les coefficients de charge (pollution reçue par rapport à celle calculée pour la conception de la station) n'atteignent jamais 100% pour les débits, 27% pour la $DBO_5$ et 18% pour la DCO. Le coefficient de charge, satisfaisant pour les débits, est dû à des venues d'eau claire : stations de Trélon et de Fourmies où les réseaux d'évacuation des eaux usées draînent la nappe.

Le nombre d'EH réellement assainis, calculé par la formule :

$$\text{nombre d'EH} = \frac{DBO_5}{54} \text{ (SATESE, 1977)}$$

n'est que de 64 000, pratiquement la moitié du potentiel de traitement. Cette situation, qui rejoint celle mentionnée pour le département, est due à un réseau d'assainissement insuffisant. Par contre, si l'on considère l'épuration effective, les pourcentages d'épuration entre une eau brute et l'effluent, oscillent entre 85 et 98% sauf pour les stations d'Aulnoye-Leval. Les stations ne reçoivent pas assez de charge polluante au vu de leur capacité mais leur efficacité est certaine dans la purification des eaux. Les eaux épurées, rejetées pour la plupart dans les rivières contiennent en moyenne :

- 13 mg/l de $DBO_5$,
- 33 mg/l de MES,
- 55 mg/l de DCO.

Au point de vue coût, l'investissement initial d'une station s'échelonne entre 81 F/EH pour la station de Maubeuge (60 000 EH) et 304 F/EH pour la station de Trélo (3 500 EH). La moyenne est de 175 F/EH.

Ces chiffres sont très faibles, comparés au revenu moyen par habitant et par an en France. Les chiffres concernant les frais d'exploitation sont plus difficilement accessibles. Pour la station de Trélon, il faut compter approximativement :

- . main d'oeuvre : 7 200 F/an, soit 2,06 F/an/EH,
- . fournitures d'entretien : 600 F/an, soit 17 F/an/EH,
- . énergie électrique : 29,252 Kwh/an/EH, soit 5,85 F/an/EH donnant un total de 24,91 F/an/EH.

Le tableau 28 résume les principales caractéristiques des stations d'épuration des collectivités locales.

| | Dossier Agence | Dossier SATESE | Capacité EH | Investissement par EH en F | Investissement initial TTC | Mise en service | Coût annuel | Coefficient de charge en* % | | | Epuration+ % effective | | | Eau épurée mg/l | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Débit | DBO | MES | DBO | MES | DCO | DBO | MES | DCO |
| Avesnes | X | X | 2 000 | | | | | ? | ? | ? | 94.5 | 98.3 | 91.6 | 22. | 22. | 88. |
| Avesnes-sur-Avenelles | X | | 12 000 | 124 | 1 493 402 | 1976 | | 16.7 | 10.1 | 8.9 | 94.9 | 92.6 | 92.8 | 19.3 | 26.3 | 76. |
| Aulnoye-Aymeries | X | X | 15 000 | 140 | 2 100 000 | 1976 | | 59.3 | 24.0 | 17.7 | 93.6 | 91.3 | 87.1 | 12.7 | 13. | 64.0 |
| Aulnoye-Leval I | X | X | 2 000 | | | 1949 | | | | | 41.3 | <0 | 24.3 | 107 | 112 | 376. |
| Aulnoye-Leval II | X | | 2 000 | | | | | ? | ? | ? | <0 | <0 | <0 | 425. | 1380. | 1581. |
| Eppe-Sauvage | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fourmies | X | X | 15 000 | 120 | 1 794 467 | 1976 | | 50. | 8. | 12. | 90.7 | 93.9 | 91.3 | 8. | 10. | 27. |
| Jeumont | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Landrecies | | X | 5 000 | 279 | 1 394 500 | | | | | | | | | | | |
| Maubeuge I | X | X | 10 000 | | | | | 87. | 84. | 30. | 94.0 | 91.3 | 88.1 | 15 | 14 | 65 |
| Maubeuge II | X | X | 60 000 | 81 | 4 866 949 | | | 60. | 25. | 35. | 95.5 | 93.4 | 98.4 | 10. | 19. | 46. |
| Preux-au-Bois | | X | 1 500 | | | | | | | | | | | | | |
| Trélon | X | X | 3 500 | 304 | 1 063 944 | 1977 | 88 000 | 160 | 9.6 | 5.9 | 80.3 | 63.6 | 72.8 | 4.6 | 10.0 | 18.5 |
| | | | 128 000 | 175 | 2 118 877 | | | 72 | 27 | 18 | 86 | 78 | 81 | | | |

* moyennes pour l'année 1977

+ calculé en prenant $\frac{\text{eau brute - eau épurée}}{\text{eau brute}} \times 100$

Tableau 28 : Caractéristiques des stations d'épuration des collectivités locale

b)-Stations d'épuration des industries alimentaires

Les renseignements concernant ce type de stations ne sont malheureusement pas complets : nous manquons de données sur le nombre et sur certaines des caractéristiques des stations répertoriées.

Au plan financier, l'aide apportée par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie pour la construction d'une station d'épuration est de l'ordre de 30 à 50 % ; ces chiffres pouvant aller jusqu'à 60 %. Par contre, l'aide donnée pour les stations d'épuration de collectivités n'est que de 20 à 30 % seulement. Il faut pourtant signaler que, pour ces dernières, une aide de l'Etat et du Département permet au Maître d'ouvrage de ne payer que 10 à 30% du prix d'ensemble.

Dans les industries alimentaires de l'Avesnois, les laiteries sont les principales sources de pollution. Leurs rejets contiennent de très importantes quantités de matières organiques produisant une $DBO_5$ très supérieure aux normes admises (tableau 29). On peut remarquer que la $DBO_5$ libérée est en moyenne égale à 1750 kg/j, ce qui, avec une épuration de 80 %, donne environ 350 kg/j de $DBO_5$ libérée dans le milieu naturel. Même épuré, l'effluent est encore très polluant et provoque sur la rivière où il est envoyé une dégradation de la qualité chimique des eaux.

Les coûts d'épuration augmentant exponentiellement avec le taux de l'épuration, on conçoit facilement que l'épuration poussée entraine un accroissement de charge première difficilement supportable par le maître d'ouvrage.

| Localité Raison sociale | Capacité en EH | Investissement par EH actualisé 1977 | Investissement initial TTC AFF actualisé 1977 | Année de mise en service | Frais d'exploitation | $DBO_5$ en kg/j | MES en kg/j | Rendement en % | Observations |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Laiterie de l'Abbaye Dompierre-sur-Helpe | 40 000 | 81 | 3 252 587 | 1969 et 1974 | 270 000 | 2 200 | 1 100 | 80 | |
| Laiterie de l'Abbaye Petit-Fayt | 30 000 | 75 | 2 246 661 | 1973 | 215 000 | 1 600 | 500 | 95 à 98 | |
| ? Catillon-sur-Sambre | | | | | | | | | en construction |
| ? Le Nouvion | 28 000 | | | | 146 000 | 1 500 | | 80 | épandage sur prairie |
| ? Etrœungt | | | | | | | | | station de décantation |
| S.O.P.A.D. Boué | | | | | 592 000 | | | | le transport des boues grève fortement le budjet |

Tableau 29 : Caractéristiques des stations d'épuration des industries alimentaires.

Le problème est d'autant plus aigu que des solutions économiques ne sont pas toujours disponibles. Si l'on regarde les frais d'exploitation annuels de ces stations (variant entre 146 000 et 592 000 F en 1977), on conçoit qu'une épuration plus poussée - les coûts augmentent exponentiellement avec l'épuration - amènerait les diverses entreprises à payer des sommes prohibitives, difficilement supportables dans les conditions conjoncturelles actuelles.

## 45 - Conclusions

Mises à part quelques concentrations importantes en sulfates, localisées à l'aval des principaux centres industriels du Bassin de la Sambre, les eaux souterraines montrent un chimisme naturel acquis lors de leurs transferts dans le sol et les aquifères. Aucune modification de ce chimisme n'a d'ailleurs été décelée entre 1965 et 1977, ce qui prouve également l'absence de pollution. Une étude détaillée par l'A.C.O. a permis de discerner les phénomènes essentiels d'acquisition du chimisme. Ce sont par ordre d'importance :

- la minéralisation, guidée par la résistivité et la concentration en silice;
- la pollution sensu lato, c'est-à-dire l'influence d'éléments étrangers à l'aquifère : la pollution est absente dans 95 % des eaux souterraines;
- les phénomènes d'échanges d'ions $Ca^{++}$ et $Mg^{++}$ au niveau des roches dolomitiques ou carbonatées ainsi que d'ions $Mg^{++}$ et $Al^{+++}$ au niveau des smectites.

Les contrôles du chimisme des eaux de surface ont permis de montrer que leur pollution n'est pas critique, mise à part la section de la Sambre située entre Berlaimont et Jeumont. Cette pollution doit toutefois être combattue à son origine si l'on veut exploiter ces énormes quantités d'eau superficielle (60 à 70 % de l'eau transitant dans le bassin). L'étude sur la potabilité montre que les traitements nécessaires ne concernent que les ions $NO_2^-$, $NH_4^+$, $Fe^{++}$ et $Mn^{++}$ ainsi que les matières en suspension dépassant fréquemment les limites également définies pour une eau potable. La variabilité de ces éléments contraste fortement avec celle des autres (TH, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Mg^{++}$ ou $NO_3^-$ par exemple).

Les traitements appliquables aux eaux de surface pour les rendre potables sont peu nombreux et peu coûteux (oxygénation, chloration et décantation, filtration rapide).

Luttes et traitements de la pollution en général ne correspondent pas dans l'Avesnois à des actions systématiques. Etant donné la faible importance de l'industrie et de l'agriculture (la région est principalement une région d'élevage), les problèmes de pollution ne sont pas encore réellement pris au sérieux. Des inventaires beaucoup plus précis que celui réalisé dans ce mémoire devraient par exemple être effectués sur les décharges publiques ou industrielles, leur rôle sur l'environnement, mais aussi sur leur implantation.

*Chapitre V*

# *Aspects et contraintes socio-économiques*

Le but de ce chapitre est de connaître les structures actuelles de la demande en eau pour pouvoir en faire une prospective précise.

Quelques études concernant la dynamique de la demande en eau ont déjà permis de dégrossir le problème et le rendre plus accessible. Ce sont en particulier les travaux de l'Agence de Bassin Adour-Garonne sur la planification et la gestion de l'eau et de l'environnement (Emsellem, 1977). Cependant, les données utilisées sont rares et éparses et leur pourcentage d'erreur inconnu.

Selon E. Dubus (1976), la demande en eau peut être définie comme le volume d'eau nécessaire à un agent économique quelconque pour satisfaire certains de ses besoins. Le concept de "demande en eau" comprendra les notions de besoin, de consommation et de prélèvement. Les utilisateurs peuvent être généralement classés en quatre groupes (Dubus, 1976) :

a) - LES COLLECTIVITES LOCALES : l'eau est essentiellement consacrée à des besoins domestiques. Elle peut toutefois être utilisée pour le lavage de la voirie ou pour l'industrie si les établissements industriels sont raccordés au réseau collectif. Cette eau a la particularité d'être potable quel que soit l'usage auquel elle est destinée.

b) - LES INDUSTRIES ont besoin d'eau pour satisfaire quatre fonctions élémentaires :

- l'alimentation des chaudières,
- la fabrication,
- le refroidissement,
- le lavage.

c) - L'IRRIGATION : elle peut être ignorée dans l'Avesnois.

d) - l'E.D.F. utilise l'eau pour le refroidissement des centrales thermiques. Il en existe une à Pont-sur-Sambre qui prélève, suivant les années, des eaux de rivière et/ou souterraines.

## 51 - Structure actuelle de la demande et des prélèvements d'eau

### 511 - Répartition entre les différents groupes

Un essai de comparaison a été tenté entre les prélèvements d'eau annuels des collectivités locales, des industries et de l'E.D.F. Pour ce faire, nous avons utilisé les données fournies par ces préleveurs respectifs. Compte-tenu de l'aspect important de l'activité minière dans l'Avesnois, les pompages effectués dans les carrières ont été individualisés.

Les prélèvements globaux (22,6 millions de mètres cubes) et les prélèvements de chaque groupe (en pourcentage) sont schématisés par la figure 74. Celle-ci souffre d'une imprécision provenant à la fois du manque des données et de la valeur des exhaures des collectivités locales. Ces prélèvements sont en fait la somme des pertes dans les canalisations, et des consommations destinées aux usages domestique, agricole (fermes reliées au réseau de distribution) et industriel (industries reliées au réseau).

Les pertes d'eau durant le transport ont été calculées pour l'année 1977 sur le réseau de distribution de la Société Eau et Force (S.E.F.). Le coefficient de perte, appelé rendement par les distributeurs d'eau, est défini par le quotient des volumes d'eau facturés aux consommateurs sur les volumes pompés. Généralement, il oscille entre 0,5 et 0,85 : la première valeur correspondant à un très mauvais réseau où il faut pomper deux fois plus d'eau qu'on en distribue. La seconde valeur (0,85) est considérée comme étant le coefficient optimale pour l'efficacité d'un réseau de distribution d'eau. Au-delà de cette valeur, il n'est plus rentable de rechercher les fuites. Dans le réseau de la S.E.F., ce "rendement" est de 0,64 correspondant, si ce coefficient est identique sur le reste de l'Avesnois, à des pertes de l'ordre de 4 millions de mètres cubes par an (figure 75). On remarquera qu'elles constituent 25 pour cent de la totalité des prélèvements.

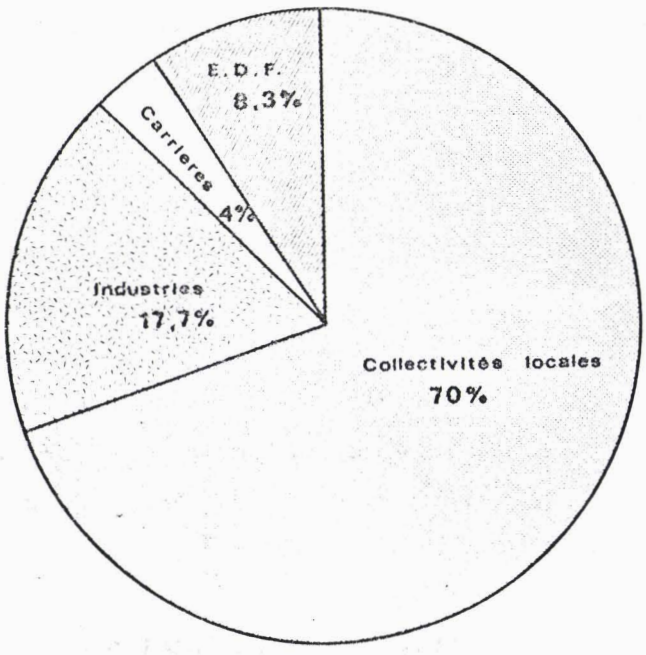



Figure 74 : Prélèvements des différents secteurs d'activité.

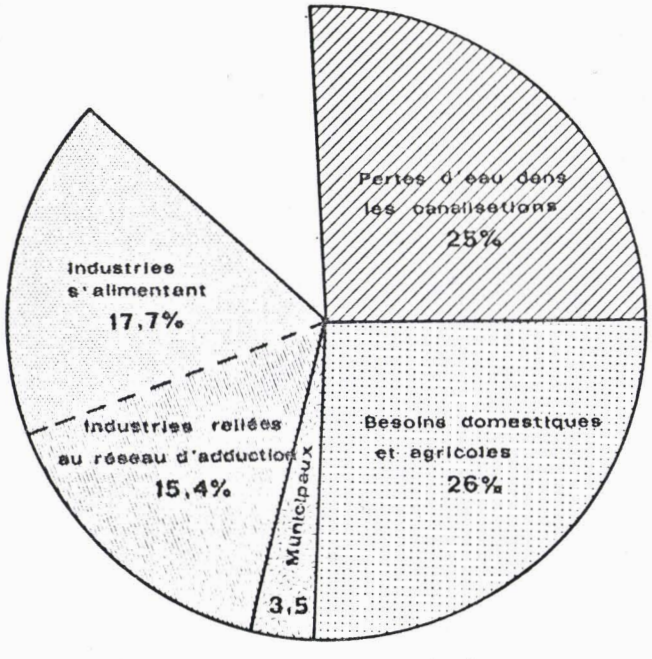



Figure 75 : Consommation d'eau des industries et collectivités locales.

La comparaison des figures 74 et 75 montre que dans les 70% de prélèvement des collectivités locales, il y a 25% de pertes (eau retournant directement à son lieu d'origine), 3,5% pour les utilisations municipales (arrosage de jardins publics, nettoyage de la voirie, eau délivrée aux immeubles publics, etc...) et 26% pour les besoins domestiques et agricoles. Il reste 15,4% distribués à des industries reliées au réseau d'adduction ; cette quantité ajoutée à celle des pompages industriels propres fait de l'industrie le principal consommateur d'eau dans l'Avesnois (33,1 pour cent).

Nous ne pouvons pas, à ce stade de l'étude discerner les besoins domestiques des besoins agricoles.

Selon les données de l'Agence de Bassin Artois-Picardie, les besoins domestiques se répartissent comme suit :

- machines à laver le linge..... 13%,
- machines à laver la vaisselle..... 13%,
- toilettes..... 26%,
- bains..... 44%,
- lavage de voitures et arrosage des jardins.... 4%.

### 512 - Répartition géographique des prélèvements

Dans l'Avesnois les prélèvements d'eau s'effectuent presque exclusivement dans les aquifères. Seulement 5% de l'eau destinée à l'industrie sont prélevés dans les rivières.

La figure 76 montre la répartition des prélèvements pour 1974, correspondant à un inventaire annuel complet des exhaures. Les communes importantes, telles Maubeuge et Louvroil, n'ont pas la possibilité de s'alimenter sur place (excepté avec le forage 30-5-045). L'alimentation de ces villes s'opère principalement par les forages de Limont-Fontaine et de Ferrière-la-Grande éloignés de 5 à 7 kms. Les communes situées dans le secteur de Sains-du-Nord, Liessies et Eppe-Sauvage ont également une position géologique défavorable : l'absence d'aquifère dans cette région oblige le SIDEN à chercher l'eau dans le synclinal de Dourlers, à Sars-Poteries et Lez-Fontaine ainsi que dans le monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon.

Du point de vue géologique, les exhaures sont irrégulièrement localisées (figure 77). Plus de la moitié de l'eau est prélevée dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite alors que 3% seulement sont prélevés dans le synclinorium d'Avesnes. Le tableau 30 donne en détail l'évolution en pourcentage des exhaures dans les unités géologiques jouant le rôle d'aquifères.

| Aquifère / Année | Synclinorium de Bachant | Synclinorium de Dourlers | Synclinorium de Avesnes | Monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon | Monoclinal de Maubeuge-Jeumont | Alluvions | Turonien | Total en m3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1970 | 58 | 8 | 3 | 8 | 13 | 10 | ? | 17 228 407 |
| 1971 | 56 | 12 | 4 | 8 | 13 | 9 | ? | 18 288 209 |
| 1972 | 56 | 12 | 4 | 8 | 12 | 10 | ? | 18 969 114 |
| 1973 | 57 | 13 | 4 | 8 | 11 | 8 | ? | 20 907 295 |
| 1974 | 59 | 9 | 3 | 8 | 11 | 8 | | 20 257 294 |
| 1975 | 59 | 11 | 3 | 7 | 12 | 8 | ? | 21 283 346 |
| 1976 | données incomplètes | | | | | | | |

Tableau 30 : Evolution des pourcentages des exhaures dans les principaux aquifères.

Les schémas de ces prélèvements n'ont guère évolué entre 1970 et 1975 : on peut notamment y remarquer que les proportions d'eau pompée dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite n'ont pas changé par rapport aux autres aquifères.

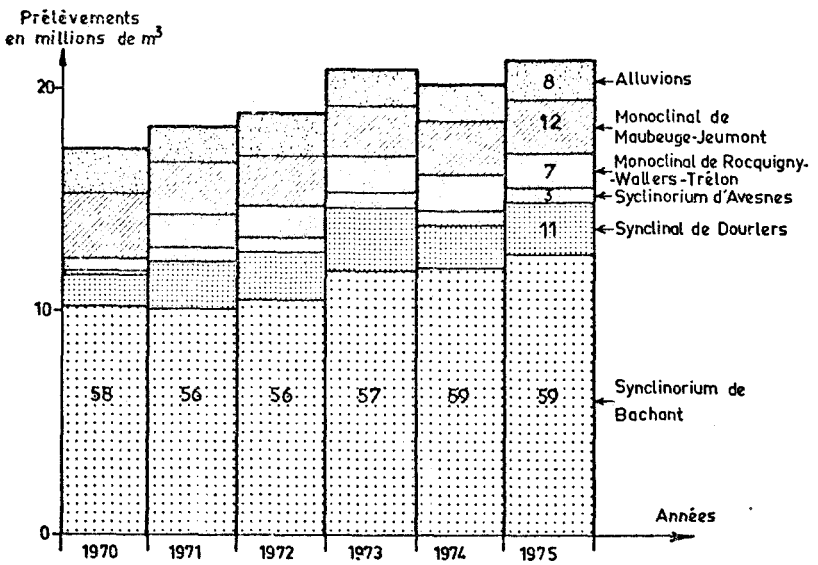



Figure 76 : Evolution des prélèvements dans les 6 principaux aquifères

BUS LILLE

Le tableau 31 récapitule les préleveurs suivant leur localisation géographique sur les différentes feuilles IGN au 1/50 000. Dans chaque feuille, les indices nationaux sont classés par ordre de croissance, et, pour chacun d'entre eux, correspondent les caractéristiques suivantes :

- commune,
- nature du prélèvement (puits, forage ou captage de source ou de rivière),
- coordonnées Lambert,
- débit moyen,
- % de fonctionnement,
- nappe captée,
- cubage prélevé,
- utilisateur,
- identification Agence de Bassin Artois-Picardie.

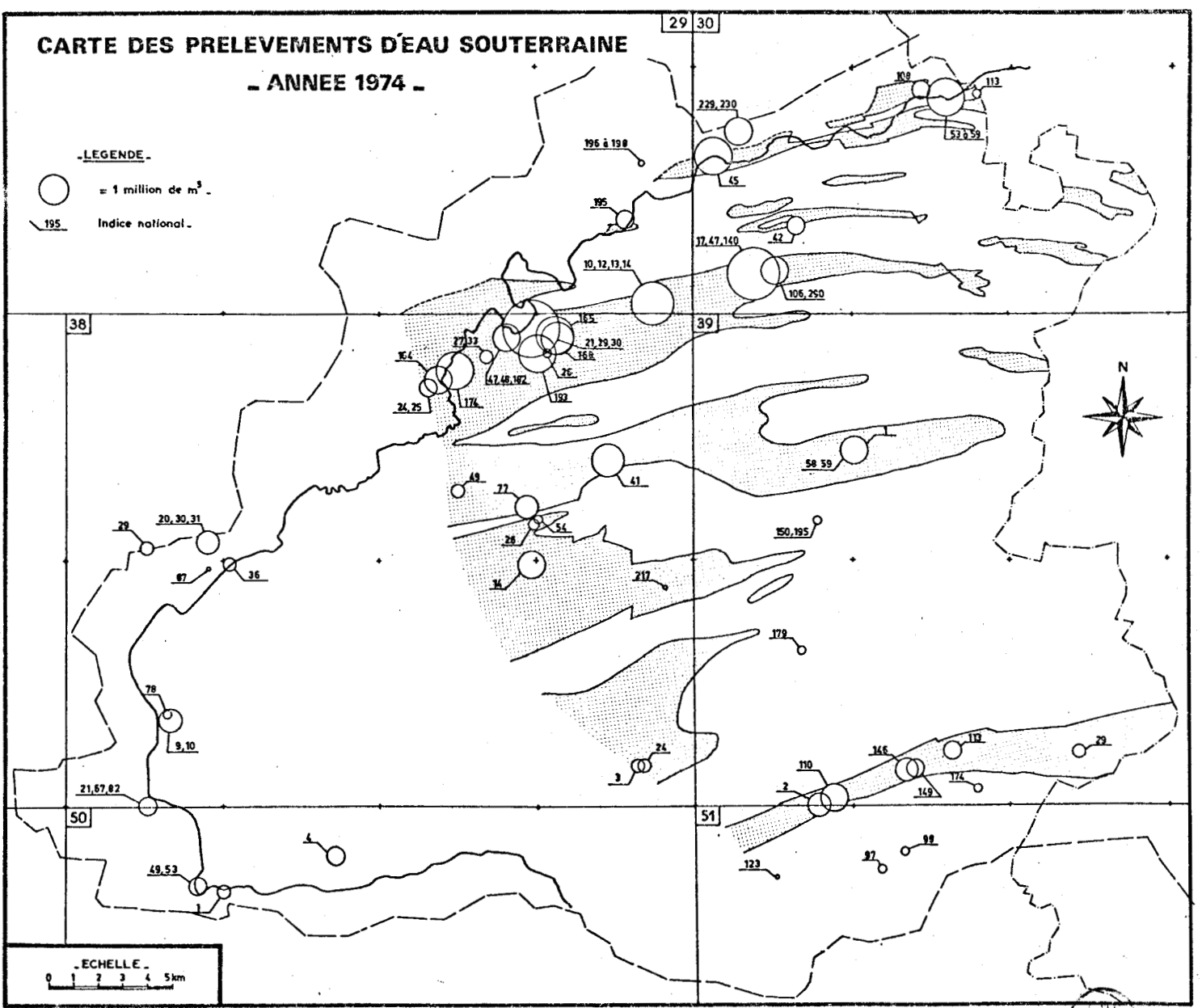



Figure 77 : Carte des prélèvements d'eau souterraine.

| N° B.R.G.M. | COMMUNE | NATURE | COORDONNEES LAMBERT x | COORDONNEES LAMBERT y | DEBIT en m3/h | PRODUCTIVITE (m2/j) | NAPPE CAPTEE | PRELEVEMENT ACTUEL en m3 | UTILISATEUR | N° D'ARTICLE DU BANSS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FEUILLE DU QUESNOY | | | | | | | | | | |
| 29-8-12 | | F02 | 713,89 | 283,46 | | | | | | |
| 29-8-13 | LIMONT-FONTAINE | F04 | 714,07 | 281,33 | | | Primaire | 1 408 530 | Eau et Force Maubeuge | 63 730 033 |
| 29-8-10 | | F05 | 713,55 | 281,40 | | | | | | |
| 29-8-14 | | F04 | 713,95 | 281,70 | | | | | | |
| 29-8-195 | HAUTMONT | P01 | 712,73 | 284,98 | 50 m3/h | | | 266 560 | Vallourec | 05 780 528 |
| 29-8-196 | | F01 | 713,52 | 282,17 | | | | 5 640 | Carrelages | 07 240 724 |
| 29-8-197 | MAUBEUGE | F02 | 713,35 | 282,22 | | | | 1 409 | Douzies | |
| 29-8-198 | | F03 | 713,42 | 282,17 | | | | 682 | | |
| 29-8-209 | LOUVROIL | R | 714,70 | 286,40 | | | | 700 000 | Vallourec | |
| FEUILLE DE MAUBEUGE | | | | | | | | | | |
| 30-5-17 | | F01 | 717,55 | 282,80 | 90 m3/h | | | 926 070 | Eau et Force Maubeuge | 63 730 032 |
| 30-5-47 | FERRIERE-LA-GRANDE | F02 | 717,51 | 282,75 | 127 m3/h | | h2 | 41 940 | | |
| 30-5-140 | | F03 | 718,14 | 282,88 | | | | 1 594 240 | | |
| 30-5-42 | FERRIERE-LA-GRANDE | C01 | 719,55 | 285,00 | 20 environ | | Frasnien | 163 000 | Carrière de la Sté des engrais Magnésiens | 3 955 |
| 30-5-45 | MAUBEUGE | Captage | 716,18 | 287,70 | 82 m3/h | | Alluvions | 1 093 659 | Eau et Force Maubeuge - captage du pont rouge | 63 730 034 |
| 30-5-106 | FERRIERE-LA- | F01 | 718,83 | 283,11 | 104 m3/h | 13 h/j | | ) | SIDEN Avesnelles | 63 740 037 |
| 30-5-290 | GRANDE | F02 | 718,65 | 282,85 | 199 m3/h | | | ) 416 300 | | |
| 30-5-229 | | P01 | 717,16 | 288,73 | 60 m3/h | | Sables | 194 280 | Union des brasseries reunies | 07 250 725 |
| 30-5-230 | MAUBEUGE | P02 | 717,21 | 288,53 | 36 m3/h | | landéniens | 273 490 | | |
| 30-5-231 | | P03 | 717,12 | 288,86 | <15 m3/h | | et Sénonien | 47 460 | | |
| | | F02 | 725,94 | 290,36 | | | | | | |
| | | F01 | 725,96 | 290,33 | | | | | | |
| | | F06 | 725,26 | 290,05 | | | | | | |
| 30-6-53 à 59 | JEUMONT | F03 | 726,02 | 290,35 | | | | 1 033 989 | Jeumont Schneider | 05 620 562 |
| | | F04 | 726,18 | 290,41 | | | | | | |
| | | F05 | 726,22 | 290,49 | 20 à 40m3/h | | | | | |
| | | F06 | 725,15 | 290,05 | | | | | | |
| 30-6-108 | JEUMONT | F01 La Fenderie | 724,605 | 290,57 | | | Calcaires Civétien | 230 990 | Eau et Force Maubeuge | |
| 30-6-113 | JEUMONT | F01 Queuette | 727,00 | 290,44 | | | | 66 530 | Eau et Force Maubeuge | 63 733 000 |
| 30-6-164 | JEUMONT | F3 | 725,50 | 290,50 | | | | 570 000 | Sté Bocamat | |
| FEUILLE D'AVESNES | | | | | | | | | | |
| 38-1-22 | BOUSIES | F01 | 692,17 | 272,70 | | | Turonien | 109 475 | Captage communal | 89 782 507 |
| 38-1-27 | PREUX-AU-BOIS | F01 | 695,24 | 274,83 | | | Landénien + Turonien | 40 000 | Captage communal | |
| 38-1-28 | | F02 | 695,24 | 274,83 | | | | | | |
| 38-1-29 | FONTAINE-AU-BOIS | F01 | 693,25 | 271,35 | 33 m3/h | | Landénien et Turonien | 120 000 | Captage communal | |
| 38-1-30 | | F01 | 695,96 | 271,55 | | 10 h/j | | 188 760 | | |
| 38-1-31 | LANDRECIES | F02 | 695,96 | 271,54 | | 19 h/j | | 57 000 | SIDEN Avesnelles | 63 742 062 |
| 38-1-20 | | F03 | 695,47 | 271,93 | | 4 h/j | | 48 850 | | |
| 38-3-21 | | F01 | 708,82 | 280,60 | | | | | | |
| 38-3-29 | PONT/SAMBRE | F02 | 708,58 | 280,49 | | | Primaire | 2 048 680 | E.D.F. | 54 610 761 |
| 38-3-30 | | F05 | 708,88 | 280,70 | | | | | | |
| | | F06 | 708,72 | 280,59 | | | | | | |
| 38-3-24 | BERLAIMONT | F01 | 704,90 | 278,60 | | | | 65 544 | Maréchal Kétin Cylindres | 03 270 327 |
| 38-4-25 | | F02 | 705,10 | 278,43 | | | Viséen | 8 640 | | |
| 38-4-164 | | F03 | 705,10 | 278,68 | 20 m3/h | | | 594 150 | | |
| 38 3-26 | DOMPIERRE/HELPE | F01 | 709,61 | 272,65 | | | Strunien | 94 233 | Laiterie Abbaye | 06 180 618 |
| 38-3-33 | AULNOYES-AYMERIES | F01 | 701,12 | 272,62 | | | | 89 340 | Eau et Force Maubeuge | 63 730 029 |
| 38-3-27 | | F02 | 701,13 | 279,62 | ensablement | | Viséen | | | |
| 38-3-174 | | F03 | 705,93 | 278,87 | | | | 1 032 680 | | |
| 38-3-46 | | F01 | 707,66 | 280,29 | | 18 h/j | | 423 310 | | |
| 38-3-47 | AULNOYES-AYMERIES | F02 | 707,81 | 280,22 | | | Viséen | 122 480 | SIDEN | 63 740 076 |
| 38-3-182 | | F03 | 708,10 | 280,00 | | | | 0 | Le Quesnoy | |
| 38-3-49 | TAISNIERES-EN-THIERACHE | F01 | 708,12 | 273,98 | 60 m3/h | 7 h | Primaire | 159 920 | SIDEN Avesnelles | 63 740 041 |
| 38-3-77 | DOMPIERRE | F01 | 708,93 | 273,31 | | 19 h/j | Viséen inf. | 392 049 | Carrière de la Dolomie Française | 04 170 417 |
| 38-4-26 | BACHANT | C01 | 709,35 | 279,82 | | | Primaire | 35 981 | Carrières | 03 140 314 |
| | | C02 | 709,65 | 279,60 | | | | | | |
| 38-4-29 | ST AUBIN | F01 | 712,49 | 275,41 | | 19 h | Dinantien | 519 900 | SIDEN Avesnelles | 63 740 039 |
| 38-4-201 | | F02 | 712,78 | 275,38 | | | | 183 730 | | |
| 38-4-54 | DOMPIERRE/HELPE | F01 | 709,45 | 272,82 | | | Primaire | 38 836 | Laiterie Fauquet | 04 180 418 |
| 38-4-168 | BACHANT | F01 C.F | 709,91 | 280,40 | | | | 1 021 180 | Eau et Force Maubeuge | 63 730 030 |
| | | F02 | 710,08 | 280,24 | | | | | | |
| 38-4-193 | | F03 NOR | 709,26 | 279,70 | | | | 1 084 080 | | |
| 38-4-169 | | F03 C.F. | 710,10 | 280,21 | | | | 752 880 | | |
| 38-4-196 | | F05 C.F. | 710,46 | 279,82 | | | | 10 615 | | |
| 38-5-9 | CATILLON | P1 | 694,44 | 264,44 | | 17 h | Alluvions | 64 180 | SIDEN Beauvais | 47 |
| 38-5-10 | | P2 | 694,27 | 264,42 | | 17 h | | 303 810 | | |
| 38-5-21 | REJET DE BAULIEU | F source | 693,56 | 260,97 | 15 m3/h | 15 h | | | | |
| 38-5-67 | | F02 | 693,56 | 260,97 | | 15 h | Turonien | 188 352 | SIDEN Avesnelles | 1 555 |
| 38-5-82 | | | 691,47 | 261,36 | | 7 h | | | | |
| 38-5-50 | MACHIGHIEN | F01 | 690,85 | 262,16 | | | Craie | 40 870 | SIDEN | |
| 38-5-78 | CATILLON/SAMBRE | Puits | 694,23 | 264,72 | | | Alluvions | 73 000 | Laiterie Catillonaise | 03 660 366 |
| 38-5-87 | LANDRECIES | B01 | 695,78 | 270,40 | | | | 14 055 | Penson et Cie machines agricoles | 05 740 574 |
| 38-6-35 | LANDRECIES | Captage de source | 696,65 | 270,80 | | | Alluvions | 104 996 | Cie Françaises mosaïques - céramiques | 05 750 575 |
| 38-7-14 | DOMPIERRE/HELPE | F+F | 705,18 | 270,96 | | 19 h/j | Viséen supérieur | 614 340 | SIDEN Avesnelles | 63 740 036 |
| 38-8-3 | ETROEUNGT | F01 | 713,85 | 262,95 | | | Primaire | 137 454 | Fromagerie S.A.F. d'Etroeungt | 804 550 455 |
| 38-8-24 | ETROEUNGT | F01 | 714,00 | 262,95 | | | Primaire | 99 086 | Laiterie Abbaye | 04 540 454 |
| 38-8-139 | HAUT-LIEU | Carrière | | | | | Primaire | | Carrière Bocahut | |
| 38-8-217 | AVESNELLES | F01 | 714,82 | 270,17 | | | | 4 823 | Filature rue Léo Lagrange | 1 692 |
| FEUILLE DE TRELON | | | | | | | | | | |
| 39-1-58 | | F01 | 722,03 | 275,96 | 55 et 31 m3/h | 19 h/j | Dinantien | 134 060 | SIDEN Avesnelles | 63 740 040 |
| 39-1-59 | BARS-POTTERIES | F02 | 721,92 | 275,70 | | | Viséen | 201 090 | | |
| 39-2-1 | LES FONTAINES | F03 | 722,44 | 275,95 | | | | 330 140 | | |
| 39-1-179 | FELLERIES | F01 | 720,77 | 272,93 | | | | 18 792 | Brasseries des 3 cantons | 04 640 464 |
| | | F02 | 720,79 | 272,92 | | | | 14 524 | | |
| 39-5-2 | FERON | F01 | 720,89 | 261,45 | 81 m3/h | | d4 | 256 780 | Eau et Force Maubeuge | 63 730 031 |
| 39-5-110 | | S01 | 721,56 | 261,72 | 70 m3/h | | d4 | 648 640 | | |
| 39-5-195 | BAINS DU NORD | F01 | 720,17 | 267,77 | | | | 21 968 | Les files de Fourmies | 1 096 |
| 39-5-150 | | F02 | 720,16 | 267,71 | | | | | | |
| 39-6-113 | TRELON | F01 | 726,37 | 263,72 | 63 m3/h | 24 h/j | d5a | ) 329 700 | SIDEN Avesnelles | 63 740 042 |
| 39-6-205 | | F02 | 720,86 | 263,17 | | | | ) | | |
| 39-6-146 | GLAGEON | F01 | 724,72 | 263,34 | | | d5b2 | 19 949 | Les files de Fourmies | 492 |
| 39-6-147 | GLAGEON | F01 | 724,82 | 263,00 | 65 m3/h | 12 h/j | d5a | 249 600 | SIDEN Avesnelles | 63 740 038 |
| 39-6-148 | GLAGEON | C01 | 724,70 | 262,93 | 20 m3/h | | d6 | 420 480 | Ets Bocahut carrières | 490 |
| 39-6-174 | GRAIN | F01 | 727,50 | 261,22 | 5 m3/h | | d3 | 19 500 | Fromagerie Moreau | 748 |
| 39-7-29 | WALLERS-TRELON | F01 | 731,60 | 263,82 | 55 m3/h | 6 h/j | d5a | 126 580 | SIDEN Avesnelles | 63 740 044 |
| FEUILLE DE GUISE | | | | | | | | | | |
| 50-1-1 | ETREUX | F01 | 696,73 | 257,45 | | | ab+P | 142 936 | | |
| 50-1-49 | | F02 | 695,71 | 257,40 | | | S+T | | | |
| 50-1-50 | | F03 | 695,65 | 257,43 | | | S+T | | S.O.P.A.D. | 0 212 |
| 50-1-51 | OIST | F04 | 695,64 | 257,48 | | | S+T | | | |
| 50-1-52 | | F05 | 695,60 | 257,94 | | | S+T | | | |
| 50-1-53 | | F06 | 695,55 | 257,63 | | | S+T | 260 576 | | |
| 50-1-47 | OIST | F01 | 696 | 258 | | | | 15 996 | A.E.P. Le Planty | |
| 50-2-4 | LE NOUVION | P01 | | | | | | | Abattoir Industriel | |
| 50-3-73 | LE NOUVION | S01 | | | | | | 171 831 | Captage communal | 6 377 |
| FEUILLE D'HIRSON | | | | | | | | | | |
| 51-1-44 | WIGNEHIES | F01 | 719,34 | 258,56 | 10 m3/h | | d7d | 6 222 | Filature de Laine | 1 066 |
| 51-1-72 | FOURMIES | F01 | 721,92 | 259,25 | | | pas de comptage | 6 692 | Emaillerie Lucet | 476 |
| 51-2-44 | CHAIN | F01 | 727,95 | 261,30 | | | | 5 000 | Filature Dogousée et Cie | 1 909 |
| 51-2-97 | FOURMIES | F01 | 723,60 | 258,84 | 17 m3/h | | d3 | 17 268 | Manufacture Ets Bendix | 2 019 |
| 51-2-98 | FOURMIES | F01 | 724,57 | 259,34 | 37 m3/h | | d2a | 27 500 | Ets Bernier Filature et craquage | 482 |
| 51-2-123 | FOURMIES | F01 | 722,95 | 259,03 | | | | 8 692 | CATDF Marché Levasseur | 481 |
| 51-2-124 | FOURMIES | R | 723,22 | 258,70 | | | | 105 000 | | |

Tableau 31 : Les prélèvements et leurs caractéristiques.

## 513 - Répartition géographique des consommations

La consommation d'eau des communes ainsi que les statistiques I.N.S.E.E. des recensements de la population, nous ont permis de dresser la carte des consommations moyennes d'eau par habitant, par jour et par commune, pour l'année 1977 (figure 78). La répartition de la consommation est hétérogène ; les plus fortes valeurs (consommation d'eau par habitant par jour) se rencontrent dans de petites communes à caractère rural. Pour certaines d'entre elles, (comme Dompierre-sur-Helpe et Petit-Fayt) ces chiffres sont expliqués par la présence de laiteries qui demandent des volumes d'eau importants pour leur fonctionnement. D'autres communes (Willies, Ecclès, Choisies ou Prisches), montrent, des valeurs également très importantes (supérieures à 200 1/j/hab.) dues, peut être, à une demande importante de l'élevage.

Les communes industrielles telles que Berlaimont, Aulnoye-Aymeries, Pont-sur-Sambre, Hautmont, Louvroil et Jeumont, consomment, entre 150 et 200 1/j/hab. Mais c'est aussi le cas de communes sans caractère industriel ou commercial propre (Clairfayts, Les-Fontaine, Rainsarts, etc...). Les communes dont les rapports sont les plus faibles (70 à 95 1/j/hab.) sont toutes rurales et se situent principalement à l'Est, secteur économiquement le plus pauvre du bassin.

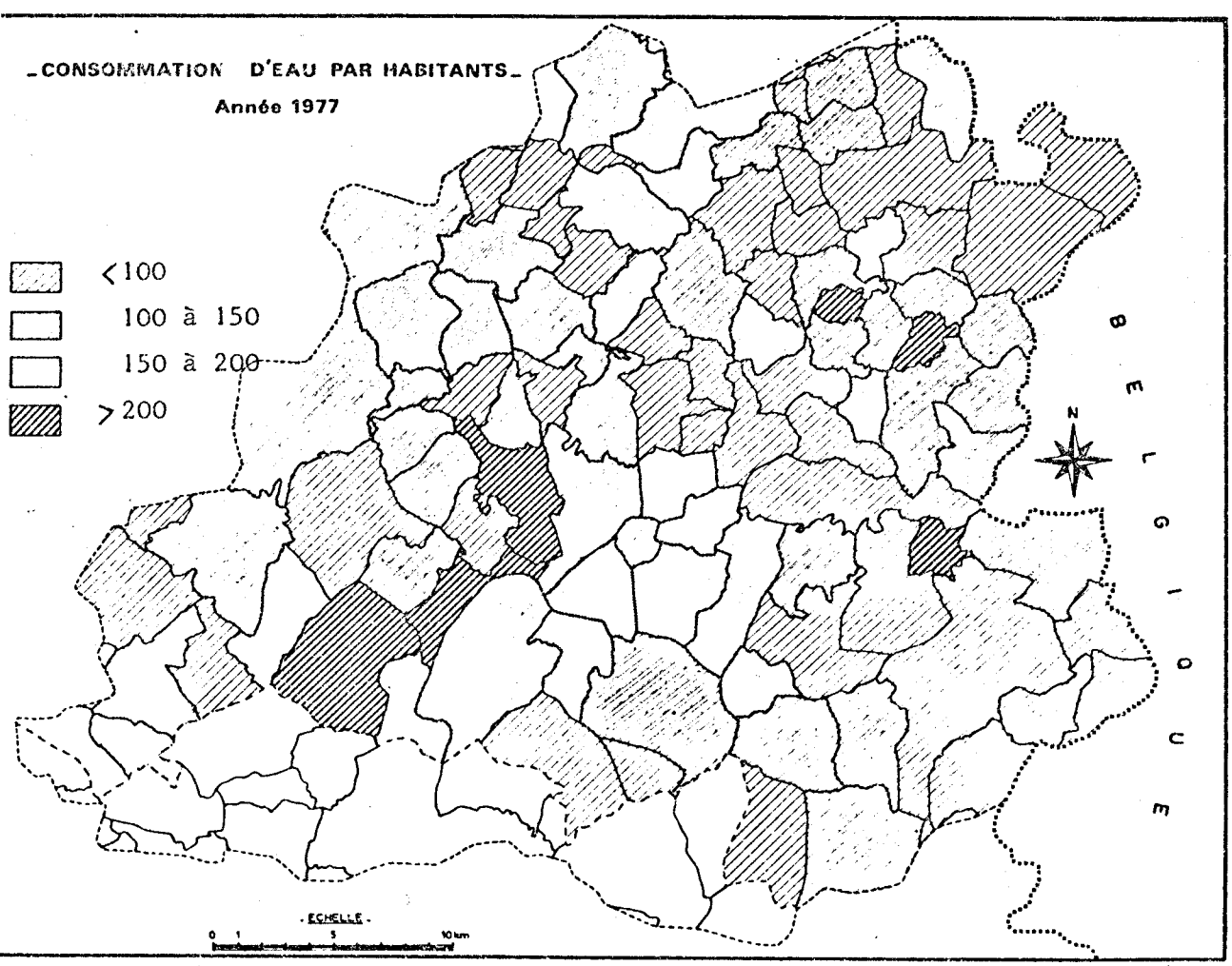



Figure 78 : Valeurs en l/hab/jour.

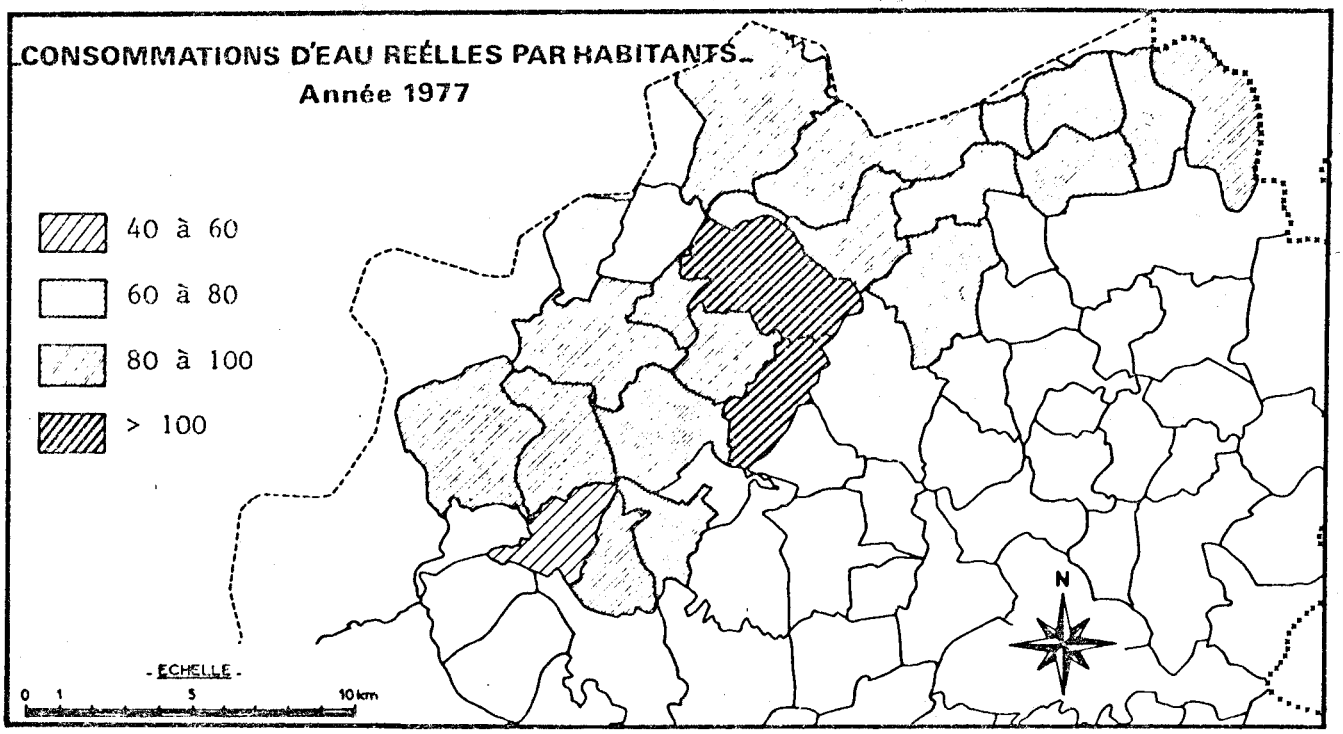
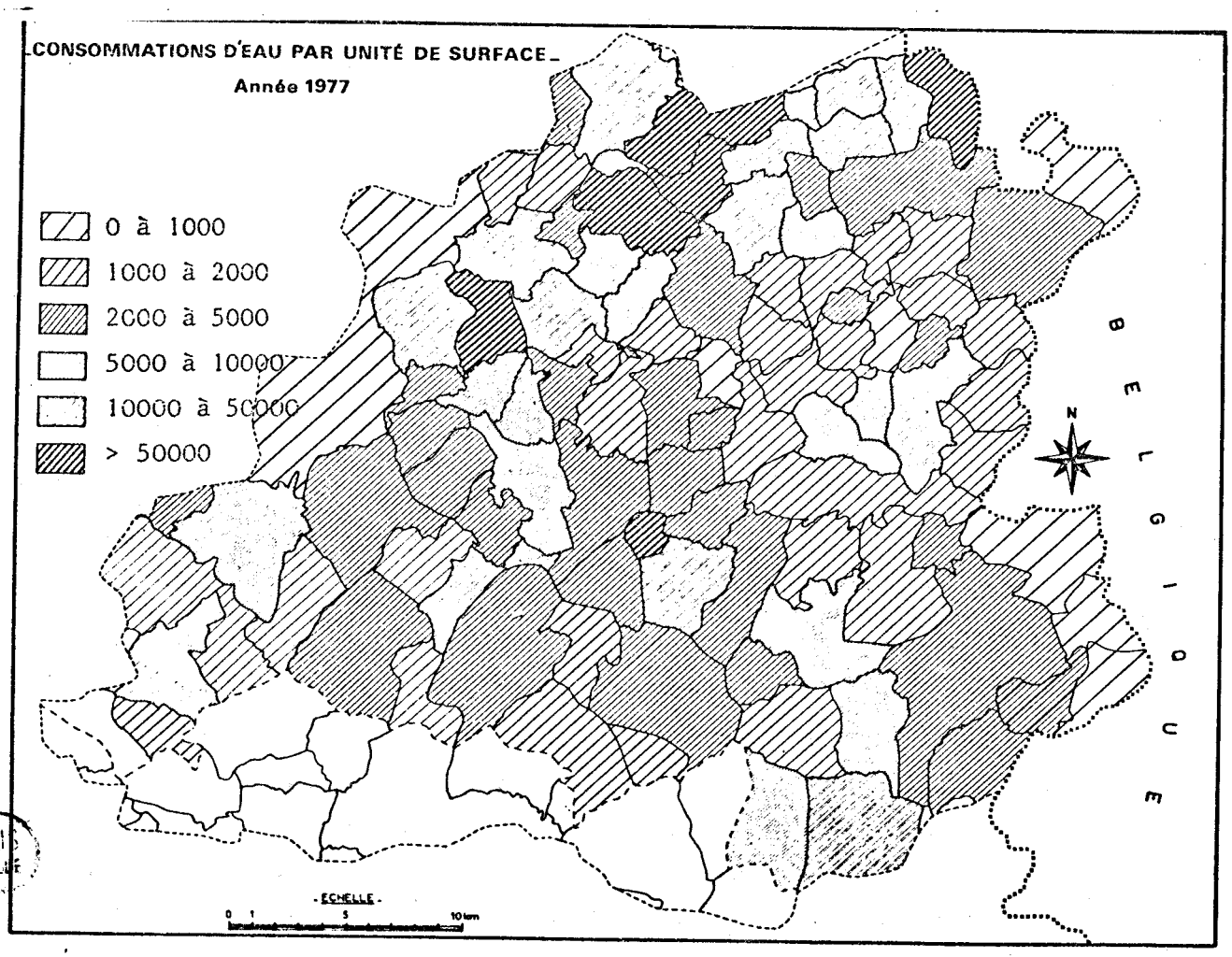



Figure 79 : Consommations d'eau réelles par habitant. Valeurs en litres/hab/jour.




BU LILLE

Figure 80 : Consommations d'eau par unité de surface. Valeurs en m3/an/km2.

Si l'on compare ces derniers chiffres avec ceux de la figure 79, on s'aperçoit que les différences sont très faibles. Dans cette figure on a reporté la consommation d'eau par habitant et par jour exclusivement liées aux collectivités locales (à l'exclusion des consommations industrielles, municipales ou autres).

La consommation réelle des particuliers, pour le secteur desservi par la S.E.F., oscillent autour de 80 l/hab/jour, soit sensiblement ce que nous observions pour bon nombre des communes orientales du bassin (figure 78). On peut donc penser que ces communes n'utilisent l'eau qu'aux seules fins alimentaires, avec peut-être une légère utilisation agricole.

En dernier lieu, nous avons recherché et localisé les zones de forte consommation. Pour cela, une carte de la consommation d'eau par unité de surface pour l'année 1977 a été dressée (figure 80). Selon les prévisions, ce sont les communes industrielles et commerciales (Maubeuge et Avesnes en particulier) qui montrent des valeurs très élevées (supérieures à 120 000 m3/km2/an) par rapport au reste du bassin dont la moyenne n'est que de 2 000 à 5 000 m3/km2/an). Bien entendu, ces valeurs fortes sont liées à de hautes concentrations urbaines.

Des communes comme Aulnoye-Aymeries, Hautmont, Louvroil, Jeumont et Fourmies se classent ensuite avec des densités de consommations de 14 000 à 30 000 m3/an/km2. Cette configuration semble donc calquer fidèlement la structure du schéma économique de la région.

## 52 - Evolution de la consommation

### 521 - Evolution mensuelle

La figure 81 représente l'évolution intermensuelle des prélèvements d'eau pour un échantillon de onze captages de la S.E.F. Les différentes moyennes ainsi que leurs écarts-types, sont reportés suivant les mois de l'année. Il faut se rappeler que cet échantillon n'est pas nécessairement représentatif de l'ensemble de l'Avesnois. Il correspond plus précisément à l'évolution des prélèvements effectués par les collectivités locales (cf. paragraphe 511).

On remarquera la très faible variabilité des prélèvements d'un mois à l'autre. Ainsi, entre août, où les prélèvements sont les moins importants, et avril ou juin où ils sont les plus élevés, il n'y a que 11% d'écart. Il existe donc, dans le temps, une homogénéisation des prélèvements. Ce phénomène, existant sur l'ensemble des onze captages, est également vrai pour chaque forage pris individuellement : les écarts-types associés aux moyennes inter-mensuelles oscillent dans un champ de 19%, dans le même sens que ces moyennes (figure 81).

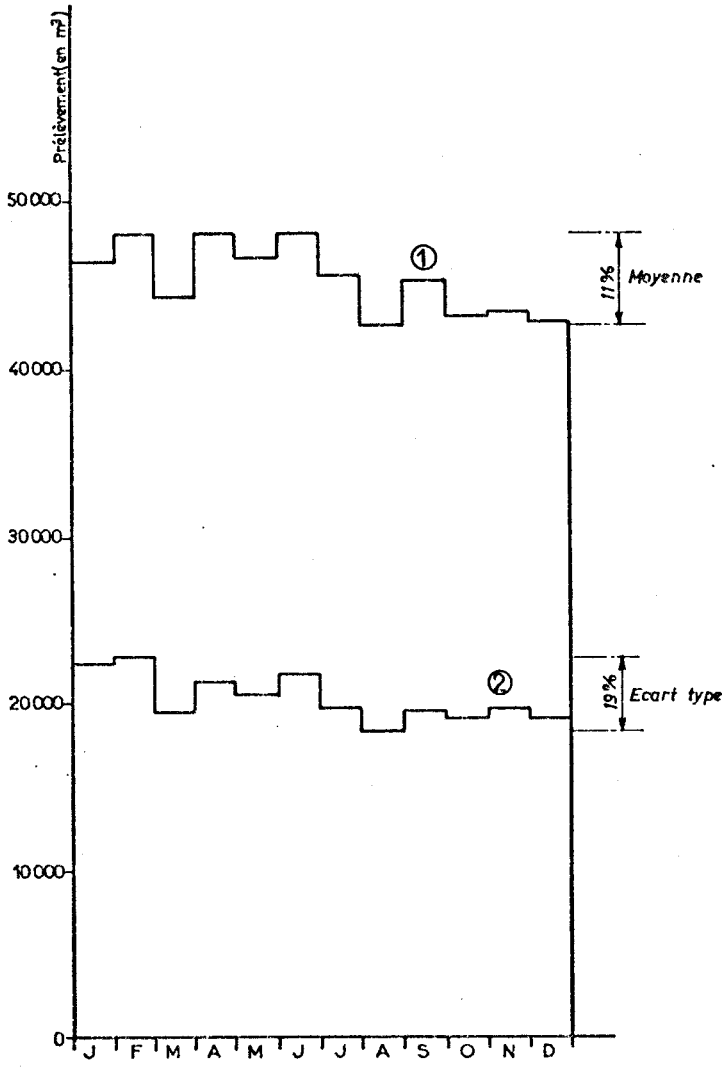



Figure 81 : Evolution intermensuelle des prélèvements d'eau.

522 - Evolution annuelle

Les données prises en compte dans ce paragraphe proviennent des sociétés distributrices d'eau : S.E.F. et S.I.D.E.N. ; elles permettent d'examiner l'évolution des demandes depuis 1962. En règle générale, une augmentation de 35% s'est produite entre 1962 et 1977 (soit une évolution annuelle moyenne de 2,35%). Cette évolution n'est cependant pas constante : elle s'est ralentie entre 1973 et 1977.

Entre 1962 et 1973, l'augmentation de la consommation est de l'ordre de 33,7% (3,06% par an). Les travaux de Deveaux et Giry (1977) montrent que pour la même période, dans la Vienne, ce coefficient a été plus fort (4,27% par an). La seconde période (1973-1977) ne connaît par contre qu'un accroissement global de 2,4%, soit seulement 0,59% d'augmentation annuelle. A ces chiffres, on peut associer la récession économique, très nette dans l'Avesnois, qui a fortement réduit le taux de croissance des consommations d'eau depuis 1973.

La figure 82 montre les évolutions de la demande en eau pour quelques communes du bassin de la Sambre. Pour permettre une représentation des différents volumes, très dissemblables les uns des autres, les valeurs ont été exprimées en pourcentage de la consommation de l'année 1977, prise à 100%. La demande en eau de la commune d'Assevent est caractérisée par un accroissement très important de 1962 à 1977, sans réelle discontinuité, sauf en 1977. La cause semble être due à une décentralisation de la population des secteurs de Maubeuge et de Jeumont.

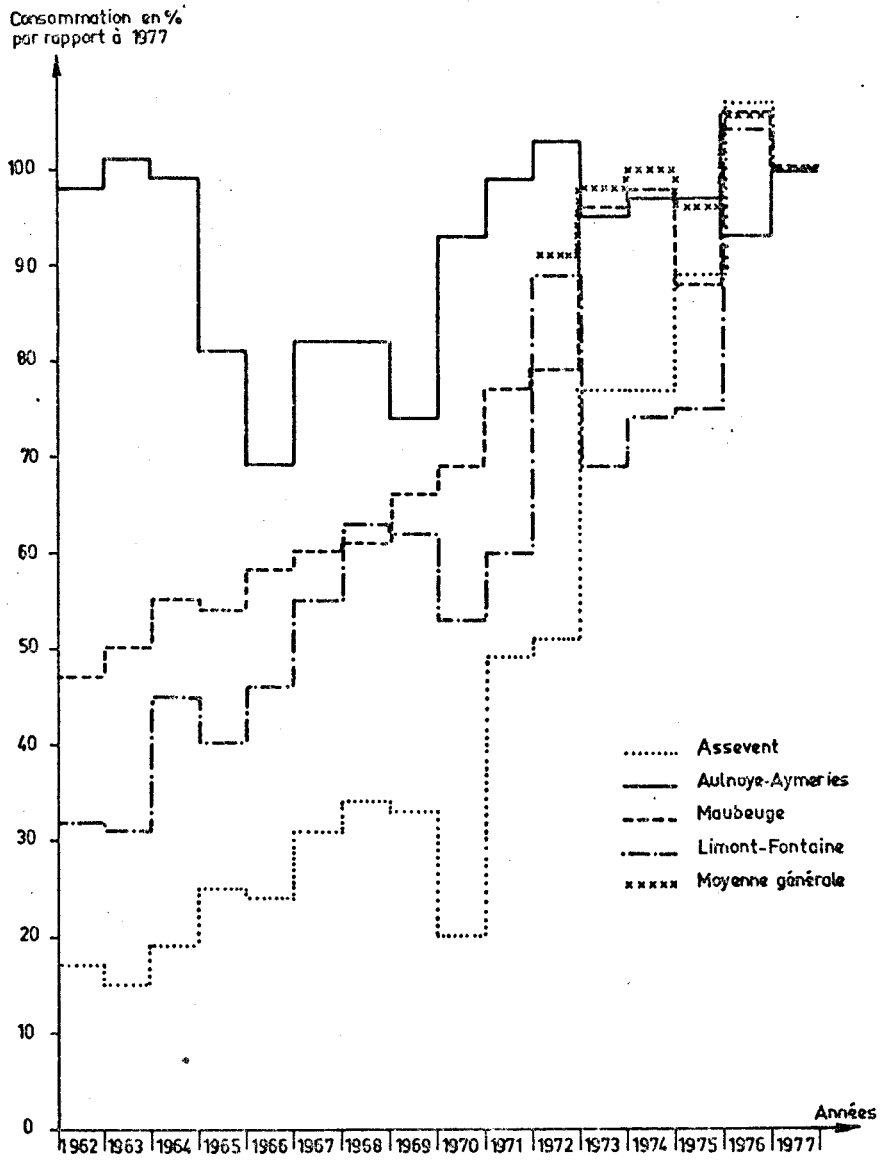



Figure 82 : Evolution annuell
de la consommatio
d'eau. Exemple de
quelques communes

## 523 - Analyse des correspondances

Pour les seules villes alimentées par la S.E.F., nous avons appliqué l'analy. des correspondances à une matrice de données intéressant les années 1962, 1972 à 1977 et comportant :

- les consommations annuelles par habitant et par commune,
- les consommations annuelles par logement et par commune.

Les 3 premiers facteurs définissent 75% de la covariance des données (figure 83). Le premier d'entre eux (47,3% de l'information totale) est défini par l'opposition des consommations par habitant des années 1962 (CTR = 57,8%) et 1976 (CTR = 16,5%). Dans le détail, les positions respectives par rapport à l'axe reflètent le classement des consommations annuelles totales : 1962 étant l'année où la consommation a été la plus faible, 1976 celle où elle a été la plus forte. Cet axe est défini par l'accroissement de la demande due à l'augmentation général du niveau de vie, et par l'effet des saisons sèches.

Ainsi, nous constatons que la progression est la suivante :

1962 - 1973 - 1972 - 1974 - 1977 - 1975 - 1976 ce que nous avions observé précédemment.

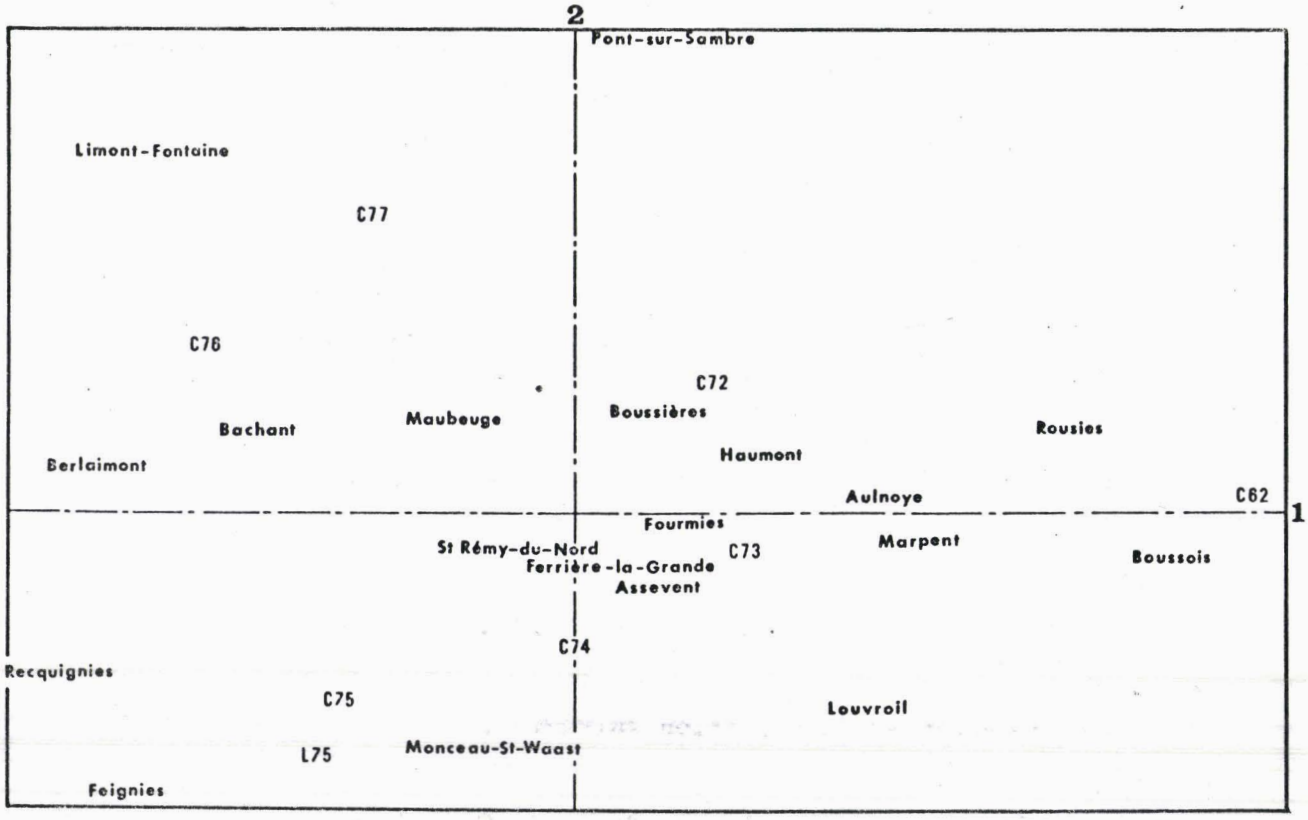



Figure 83 : Analyse des consommations d'eau par l'A.C.O.

Les communes se différencient, sur ce plan factoriel 1-2, par leur taux de croissance ou de régression. Boussois et Roussies, près du pôle "1962" se remarquent par la chute de leurs consommations entre 1962 et 1977. A l'opposé, Recquignies, Berlaimont, Limont-Fontaine et Feignies accusent une énorme accentuation de leur quantité d'eau consommée pendant ce laps de temps.

### 524 - Evolution de l'utilisation de l'eau

Nous avons essayé de quantifier les proportions d'utilisation de l'eau sur l'ensemble du bassin afin d'avoir une notion des réserves non encore utilisées. Le laps de temps où nous avons pu effectuer cette opération est déterminé par le chevauchement des périodes pour lesquelles existaient des données de températures, de précipitations et de prélèvements.

A partir des précipitations et des températures, nous avons déterminé les excédents (eau qui s'infiltre ou ruisselle) soit :

| | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P (mm) | 772 | 707 | 833 | 627 | 1032 | 736 |
| EXC (mm) | 280 | 161 | 235 | 94 | 442 | 212 |

Suivant l'hypothèse proposée au chapitre II, le rapport du débit souterrain sur le débit total est égal à 0,87. Les débits souterrains sont donc :

| | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Q.sout. | 105 | 60 | 98 | 35 | 164 | 78 |

La superficie du bassin (non compris la partie belge) étant de 112 km2 nous obtenons les cubages utilisables en millions de mètres cubes :

| 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1180 | 678 | 1100 | 390 | 1840 | 870 |

alors que les cubages utilisés sont de :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 17.2 | 18.2 | 19.0 | 20.9 | 20.3 | 21.2 |

soit les pourcentages d'utilisation suivants :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.46 | 2.72 | 1.73 | 5.36 | 1.10 | 2.44 |

On pourrait donc penser qu'il n'existe pas de problème d'eau dans l'Avesnois car nous n'utilisons que 1 à 6 % des réserves suivant les années ; en fait, les conditions de gisement permettent difficilement de capter cette eau économiquement.

53 - Prévisions

A l'exception de certaines progressions exponentielles (exemple d'Assevent), dues probablement à de récents raccordements au réseau d'adduction, l'évolution générale de la demande en eau suit un accroissement linéaire. Ce phénomène, assez rare, a pourtant été observé par Deveaux et Giry (1977).

Deux scénarios (Cf. paragraphe 522) peuvent être envisagés suivant l'évolution de l'économie générale. Dans l'hypothèse où l'on table sur une évolution similaire à celle des années 1974-1977, nous pouvons prévoir que pour les années 1985, 1990, 1995 et 2000, l'augmentation de la consommation d'eau par rapport à l'année 1977, sera respectivement de 5, 8, 11 et 14%.

Si l'on se réfère maintenant à une progression observée entre 1962 et 1974, nous pouvons penser que pour les mêmes horizons, nous aurons respectivement 24, 40, 55 et 70 % d'augmentation de la consommation d'eau par rapport à l'année 1977.

En résumé, dans une hypothèse économique pessimiste (situation actuelle), l'évolution est très lente et conduit pour l'an 2000 à la nécessité de prélever 25 millions de mètres cubes d'eau. Un autre hypothèse correspondant à une phase de développement économique, similaire à celle des années 1960, exigerait pour l'an 2000 un prélèvement total de 37 millions de mètres cubes, soit 15 millions de plus qu'en 1977 , ce que pourra fournir la région sans difficultés majeures.

54 - Conclusions du chapitre

La répartition des consommations et des prélèvements d'eau est caractérisée par l'importance de la part qu'utilisent les industries (33,1%). Viennent ensuite, et par ordre d'importance, les prélèvements destinés aux usages domestique et agricole (26 %), les pertes dans les canalisations (25 %), les eaux prélevées par l'E.D.F. (8,3 %), par les carrières (4 %),puis les prélèvements destinés à l'usage municipal (3,5 %).

Très peu d'eau superficielle est utilisée : 5 % de la consommation totale pour les usages industriels. L'eau souterraine est prélevée pour 59 % dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-La-Petite alors que les autres aquifères (synclinal de Dourlers, synclinorium d'Avesnes, monoclinal de Rocquigny-Trélon, monoclinal de Maubeuge-Jeumont, alluvions de la Sambre et Turonien) sont très peu exploités.

L'eau effectivement utilisée par la population (consommation totale de la commune moins l'eau destinée à des usages industriels) montre des valeurs faibles (80 l/hab/jour) que l'on peut rapprocher de la consommation totale de nombreuses communes de l'Est de la région étudiée dont l'économie est basée sur l'élevage. Les consommations communales ramenées à l'unité de surface reflètent le mieux la structure économique de la région.

Les variations mensuelles et saisonnières des prélèvements sont faibles ou nulles. Par contre, les consommations annuelles ont augmenté de 2,35 % par an depuis 1962, Cette hausse n'est pourtant pas homogène car la conjoncture économique réduit le taux d'accroissement de 3,06 %, entre 1962 et 1973, à un taux de 0,59 % entre 1973 et 1977.

Deux scénarios sont formulés permettant la prévision des consommations d'eau pour les années 1985, 1990, 1995 et 2000. Tous deux sont basés sur une extrapolation linéaire observée sur la variable "demande en eau" jusqu'à maintenant. Le premier scénario repose sur l'hypothèse d'une évolution économique similaire à celle des années 1960. Dans un tel cas, la demande en eau en l'an 2000 (37 $Mm^3$) serait de 70 % supérieure à celle de 1977. Le second scénario projette dans l'avenir une évolution, dite de crise, du même type que celle de ces dernières années. L'extrapolation à l'an 2000 nous donne dans ce cas une augmentation de 14 % seulement. Tout ceci nous montre combien les concepts de demande en eau et d'activité économique sont étroitement liés.

## Chapitre VI

# Aspects et contraintes économiques

## 61 - Introduction

Les principaux travaux concernant les aspects économiques de l'hydrogéologie en France sont dus à Dreyfus et al. (1971), Ungemach et Reboucas (1973), Vandenbeuch (1976) et Bonin (1978). La littérature anglo-saxone fait mention de nombreuses études consacrées principalement à des modèles économiques, mais très fréquemment, les données de bases cadrent difficilement avec la réalité.

## 62 - Structure économique de la distribution publique

Dans le département du Nord, deux organismes, le Syndicat Intercommunal de Distribution des Eaux du Nord (SIDEN) et la Société Eau et Force (SEF), se partagent la distribution publique d'eau dans l'Avesnois. Dans l'Aisne, la plupart des communes sont groupées dans le Syndicat des eaux du Nord de l'Aisne. Quelques unes, comme La Capelle, Mazinghien ou Poix-du-Nord, par exemple, ont toutefois une alimentation autonome. Pour faciliter sa gestion, le S.I.D.E.N. est décomposé en centres puis en groupements dont 9 sont représentés dans l'Avesnois. Le groupement est constitué d'un certain nombre de communes alimentées par un nombre restreint de forages, parfois un seul, d'où partent les réseaux d'adduction. Figure 84 et tableau 32 montrent la configuration de la distribution de l'eau.

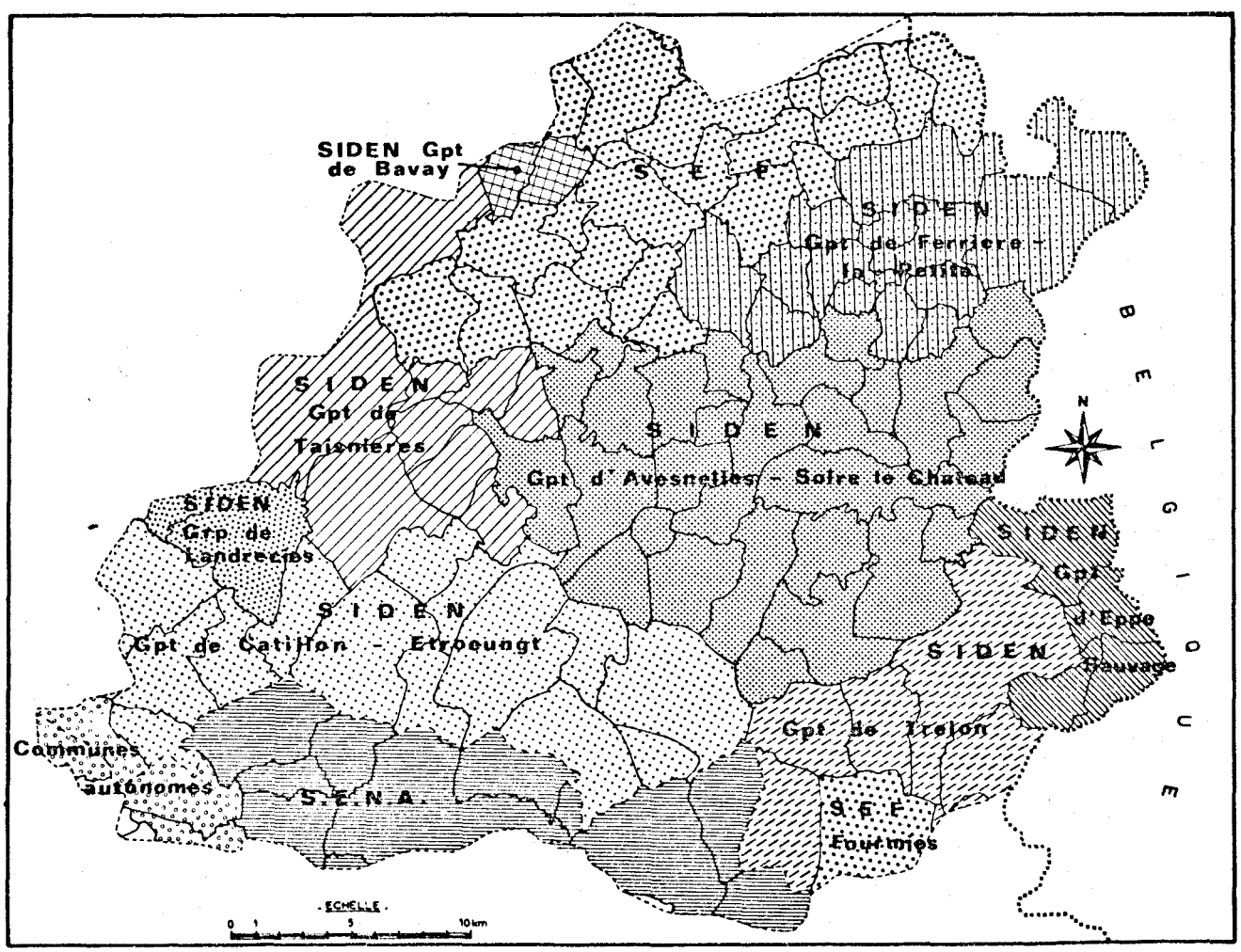



Figure 84 : Carte de distribution de l'eau dans l'Avesnois.

| Organisme | Groupement | Communes | | | Population déservie |
|---|---|---|---|---|---|
| S.I.D.E.N. | FERRIERE-LA-PETITE | Aibes<br>Boussignies-sur-Roc<br>Colleret<br>Eccles<br>Quiévelon | Beaufort<br>Cerfontaine<br>Cousolre<br>Ferrière-la-Petite<br>Solrinne | Berelles<br>Choisies<br>Damousies<br>Obrechies<br>Wattignies-la-Victoire | 10 000 |
| | AVESNES<br><br>SOLRE-LE-CHATEAU | Avesnelles<br>Beaurieux<br>Dimechaux<br>Dourlers<br>Wambrechies<br>Haut-Lieu<br>Liessies<br>St-Aubin<br>Semeries<br>St-Rémy-Chaussée | Avesnes<br>Beugnies<br>Dimont<br>Felleries<br>Floursies<br>Hestrud<br>Ramousies<br>St-Hilaire<br>Semousies<br>Willies | Bas-lieu<br>Clairfayts<br>Dompierre<br>Flaumont<br>Ecuelin<br>Lez-Fontaine<br>Sains-du-Nord<br>Sars-Poteries<br>Solre-le-Chateau<br>Rainsars | 30 000 |
| | LANDRECIES | Landrecies | Fontaine-au-Bois | Robersart | 6 000 |
| | TAISNIERES-EN-THIERACHE | Maroilles<br>Noyelles-sur-Sambre<br>Marbaix | Taisnières-en-Thiérache<br>Leval<br>Sassegnies | Locquignol | 6 000 |
| | EPPE-SAUVAGE | Baives<br>Moustier-en-Fagne | Eppe-Sauvage<br>Wallers-Trélon | | 1 000 |
| | VIEUX-RENG | Bersillies<br>Gognies-Chaussée<br>Villers-Sire-Nicole | Bettignies<br>Mairieux | Elesmes<br>Vieux-Reng | 4 500 |
| | TRELON | Féron<br>Ohain | Glageon<br>Wighenies | Anor<br>Trélon | 15 000 |
| | CATILLON-ETROEUNGT | Prisches<br>Cartignies<br>Le Favril<br>Larouillies<br>Ors | Petit-Fayt<br>Boulogne-sur-Helpe<br>Etroeungt<br>Catillon<br>Rejet-de-Beaulieu | Beaurepaire<br>Grand-Fayt<br>Floyon<br>La Groise | 10 000 |
| | BAVAY-GOMMERIES | 24 communes dont Hargnies et Vieux-Ménil | | | 15 000 |
| S.E.F. | SECTEUR DE MAUBEUGE | Berlaimont<br>Limont-Fontaine<br>Louvroil<br>Recquignies<br>Jeumont<br>Hautmont<br>St-Rémy-du-Nord<br>Leval<br>Gognies-Chaussée | Monceau-sur-Waast<br>Neuf-Mesnil<br>Rousies<br>Maubeuge<br>Marpent<br>Pont-sur-Sambre<br>Bavay<br>St-Rémy-Chaussée | Boussières<br>Eclaibes<br>Ferrière-la-Grande<br>Feignies<br>Boussois<br>Aulnoye s-Aymeries<br>La Longueville<br>Assevent | |
| | FOURMIES | Fourmies | | | |
| | SYNDICAT DES EAUX DU NORD DE L'AISNE | Bergues-sur-Sambre<br>Fontenelle | Boué<br>Le Nouvion-en-Thiérache | La Flamengrie<br>Papleux | |
| | COMMUNES AUTONOMES | Oisy (Aisne)<br>Mazinghien<br>Poix-du-Nord | Etreux<br>Bousies | La Capelle<br>Preux-au-Bois | |

Tableau 32 : Les communes et leurs distributeurs d'eau dans l'Avesnois.

Sur la figure 85 est représenté le réseau intercommunal d'adduction d'eau. On remarquera que, pour le S.I.D.E.N. qui couvre la majorité du Bassin de la Sambre, les différents groupements forment des entités bien définies comprenant leur(s) captage(s) d'eau, leur(s) réservoir(s) et les conduites d'amenée d'eau aux communes desservies. Récemment, des liaisons entre les groupements ont pourtant été effectuées pour faciliter le transfert d'eau.
Cette politique a l'avantage de permettre de courts arrêts d'un pompage sans que ceux-ci ne se répercutent à la distribution : le groupement voisin couvrant alors le déficit.

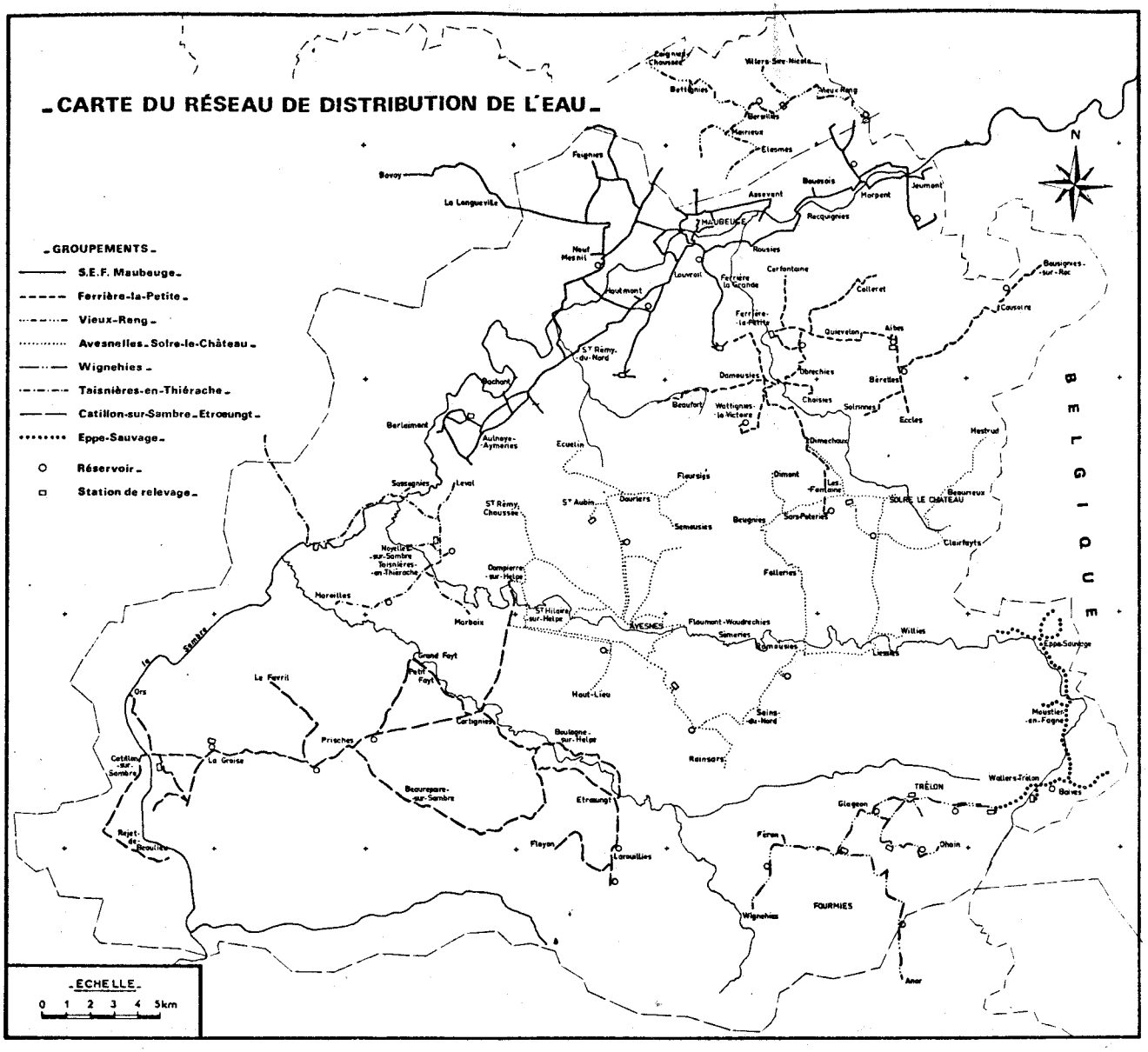



Figure 85 : Carte du réseau de distribution d'eau

63 - Coûts et facteurs du coût de l'eau

Le coût global d'un système d'adduction est donné par la somme des coûts :

* de la production d'eau brute,
* de traitement,
* de transports.

Chacune de ces variables se décompose en plusieurs unités correspondant aux eaux :

* souterraines,
* de rivière (prise directe),
* de carrières,
* de retenues collinaires ou barrages.

BUS LILLE

Par ailleurs, la réalisation d'un captage est sujette à de nombreux facteurs qui ne se soumettent pas tous à des règles rationnelles. Rappelons à ce propos, ce qu'en écrivent Dreyfus et al. (1971) : "il n'existe pas en France actuellement une véritable règle de l'art en ce qui concerne l'exploitation des eaux souterraines ; forages, puits, galeries, puits à drains rayonnants, restent utilisés concurremment et plus souvent en fonction de la technicité des entreprises locales que sur la base de critères rationnels. En outre les entreprises font appel pour l'exécution de forages et de puits à des techniques très différentes : battage, rotary, benoto". Il en est de même dans le domaine du matériel d'équipement des points d'eau, où de nombreux constructeurs de pompes (à axe vertical ou immergées surtout), de tubes, de crépines, de matériel électriques, etc... proposent, pour des usages voisins, des matériels souvent fort différents.

Par conséquent, dans tout ce qui suivra, nous essaierons de concevoir nos modèles prospectifs à partir de coûts moyens proposés sur des ouvrages réalisés dans la région.

### 631 - Coût de prélèvement de l'eau brute

#### 6311 - Cas de l'eau souterraine

Le coût annuel de prélèvement d'eau souterraine (CAPES) dépend des variables suivantes :

* coût des forages (CF),
* coût des pompes et moteurs (CPM),
* coût du matériel annexe (CMA),
* coût de la maintenance des forages (CMF),
* coût de l'électricité de pompage (CEP).

Le CAPES est donc égal à :

$$CAPES = CF\ (FRI)_{20} + CPM\ (FRI)_{12,5} + CMA\ (FRI)_{30} + CMF + CEP$$

où : FRI est le facteur de recouvrement des investissements.

$$FRI = \frac{0,01i\ (1 + 0,01i)^n}{(1 + 0,01i)^n - 1}$$

avec : i = taux d'intérêt annuel (8%, soit 0,08)
n = durée de remboursement en années.

Les indices 30,20 et 12,5 de l'équation ci-dessus se réfèrent respectivement aux durées de vie utile (en années) des matériels annexes, des forages et des pompes et moteurs.

a) Coût des forages

Les investissements relatifs aux forages sont constitués de frais fixes, variables ou occasionnels (Bonin, 1978). Les frais fixes comprennent :

* le coût des études préliminaires,
* le coût d'amenée et de repli du matériel de forage,
* le coût des installations de surface (génie civil et branchement électrique).

Les frais variables :

* le coût de la colonne d'exploitation,
* le coût de la colonne de captage,
* le coût des pompages d'essais.

Les frais occasionnels :

* achat du terrain,
* amenée électrique.

Vandenbeuch (1976) formule les investissements des captages d'eau sous une forme linéaire :

$$CF = I\delta + cQ$$

où : I est un investissement fixe (que nous pouvons comparer aux frais fixes mentionnés au préalable),
Q débit de l'ouvrage,
c investissement proportionnel au débit (cf. frais variables),
$\delta$ variable binaire :

$\delta = 1$ si $Q > 0$
$\delta = 0$ si $Q = 0$

D'une manière toute différente, Singh et al. (1974) considèrent l'investissement relatif aux captages comme une fonction puissance dépendant non plus du seul débit mais du débit et de la hauteur du niveau dynamique par rapport au sol :

$$CF = a\, H^{b}\, Q$$

où : Q = débit de l'ouvrage en m3/h,
H = hauteur du niveau dynamique par rapport au sol en m,
a et b sont des constantes.

Les tarifs pratiqués dans le Sud-Est de la France (Bonin, 1978) et ceux en vigueur dans le Nord conduisent à une relation également non linéaire du type :

$$CF = a\ P\ \phi^{b}$$

où : P est la hauteur totale du forage,
$\phi$ est le diamètre du forage,
a et b sont des constantes.

Cette formulation qui se rapproche de celle donnée par Singh et al. est donc très différente de celle de Vandenbeuch.

Les courbes d'évolution du prix du mètre linéaire foré ou tout équipé en terrai dur sont représentées sur la figure 86. Ces valeurs correspondent aux prix relevés da le midi de la France (en tiretés) et dans le Nord (traits pleins) en 1978. Bien que la configuration générale des courbes soit la même (fonction puissance), les écarts sont très importants, d'autant plus importants que le diamètre du forage est grand. Ainsi pour un diamètre de 250 mm la différence est de 100 F (20%) au mètre linéaire foré mais, pour un diamètre de 500 mm, la différence est de 1 400 F,soit 178% !! Les équations de ces courbes sont les suivantes :

$$PMLF = 1{,}77\ \phi^{1{,}01}$$ pour le midi de la France,

où : PHLF = prix du mètre linéaire foré en FF,
$\phi$ = le diamètre du forage en mm,

$$PMLF = 0{,}039\ \phi^{1{,}743}$$ pour le Nord.

En ce qui concerne le prix du mètre linéaire tout équipé (PMLTE), l'équation de la courbe est la suivante :

$$PMLTE = 0{,}323\ \phi^{1{,}483}$$

avec : PMLTE = prix en francs 1978.

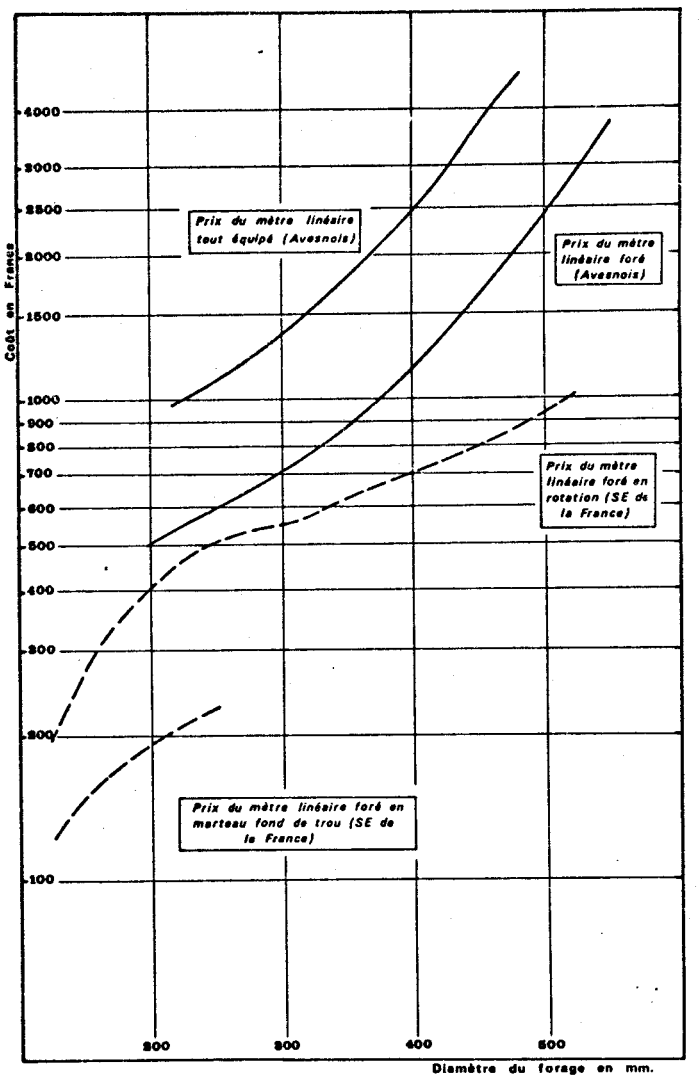



Figure 86 : Coût du mètre linéaire foré et tout équipé.

Les relations entre débit pompé dans un captage d'eau et le diamètre et la profondeur de celui-ci sont pratiquement inexistantes. Couramment, les forages sont exécutés à des diamètres de 350 à 400 mm et à une profondeur, variant avec la localisation, de 60 à 100 mètres (moyenne de 80 mètres). Il n'est donc pas possible de ramener l'équation du prix du forage dans le Nord de la France et, plus particulièrement dans l'Avesnois, à celle de Singh et al. (1974), malgré leur ressemblance. Dreyfus et al. (1971) notent toutefois une relation assez grossière basée sur l'observation entre les débits d'exhaure et le diamètre du forage. Cette relation est donnée dans le tableau ci-dessous :

| Débit (en m3/h) | Diamètre du forage (en mm) |
|---|---|
| 10 - [illegible] | 220 |
| 30 - 60 | 310 |
| 60 - 250 | 440 |
| 250 - 500 | 700 |

Finalement, le coût d'un forage est donné par la relation :

$$CF = 0{,}323\ \phi^{1{,}483}\ P$$

soit en moyenne ($\phi$ = 375 mm et P = 80 m)

$$CF = 170\ 000\ FF$$

b) Coût des pompes et moteurs (CPM)

Le coût des pompes et moteurs est fonction de deux paramètres : la hauteur manométrique totale (HMT) et le débit Q du captage. Singh et al. (1974) estiment que ces frais sont de la forme :

$$CPM = a * Q^{b} * HMT^{c}$$

où : a, b et c sont des constantes.

Cette formulation est en concordance avec les résultats de Bonin (1978) acquis lors d'une enquête auprès des concessionnaires. La figure 87 donne les variations de l'investissement total, en francs 1978, en fonction de la hauteur HMT et du débit soutiré Q. Un double ajustement de la fonction puissance a donné la relation suivant

$$CPM = 281{,}7\ HMT^{0{,}4427}\ Q^{0{,}4612}$$

La corrélation HMT et Q avec CPM est supérieure à 0,95 ce qui dénote une très bonne liaison.

c) Coût du matériel annexe (CMA)

Ce matériel est composé principalement des vannes, compteurs, conduites de refoulement, armoire de commande, transformateur, amenée électrique (ligne moyenne tension et branchement basse tension), achat du terrain, voirie et génie civil. Les coûts de ces éléments sont très variables suivant l'environnement du forage (dessertes électrique et routière), certains de ces frais dépendent en partie de la taille de la station.

Des indications fournies par la D.[illegible]A. et par la SAGETOM (1976) indiquent que ces frais sont de l'ordre de 400 000 à 500 000 FF.

d) Coût de la maintenance (CMF)

Les frais relatifs à la maintenance des forages comprennent le [illegible]placement des matériels usagés ou détériorés et les visites de contrôle effectuées par un ou plusieurs techniciens. Ces dépenses sont estimées à 5 000 F/an.

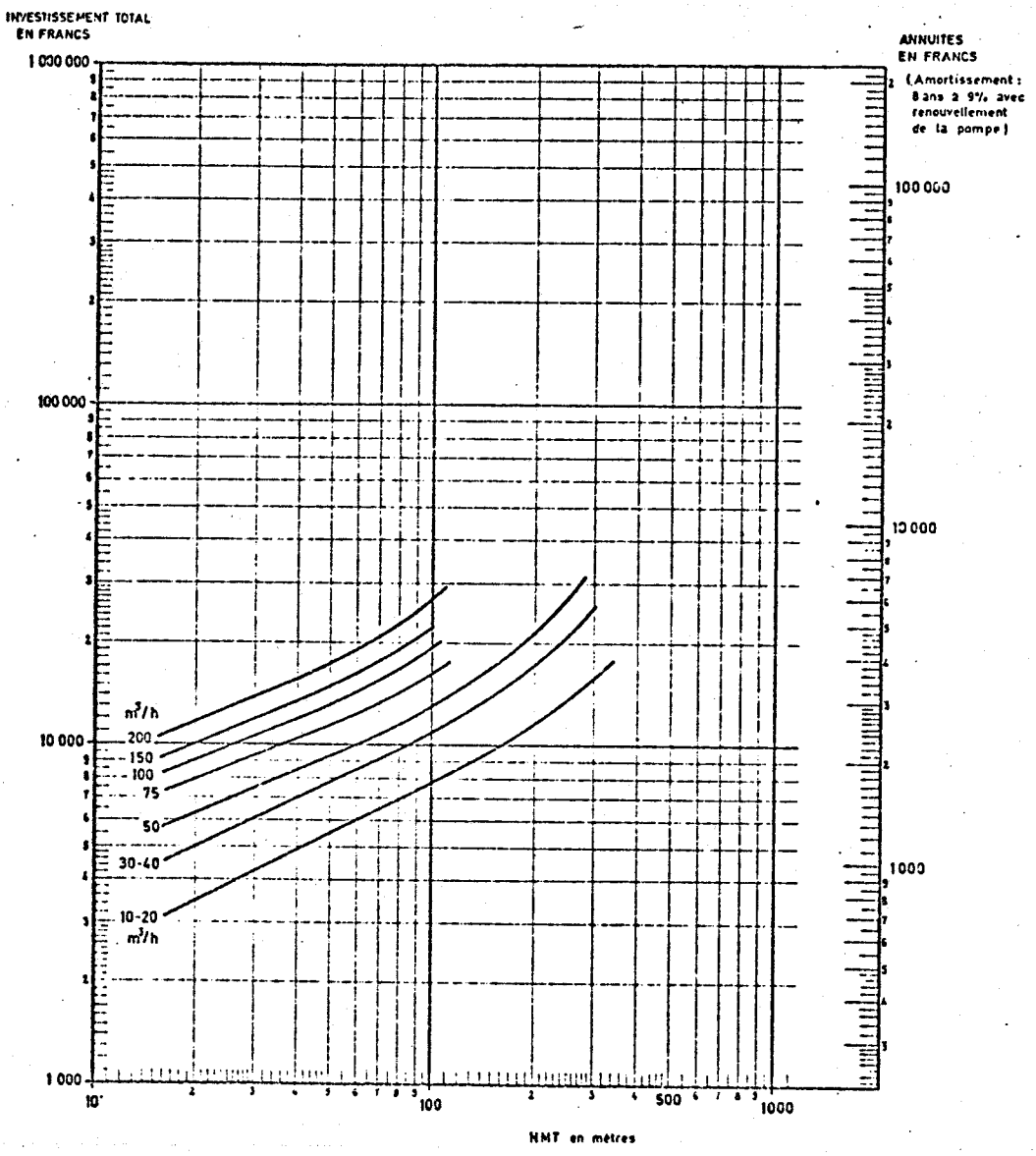



Figure 87 : Coûts des pompes et moteurs (d'après Bouin, 1978).

e) Coût de l'électricité de pompage (CEP)

Le coût de l'énergie électrique est assez facile à déterminer (du moins son équation) ; il dépend directement de trois facteurs :

- le volume prélevé, en m3,
- la hauteur manométrique totale, HMT, en m,
- le coefficient de rendement des pompes (RP).

L'équation est donc de la forme :

$$CEP = a \cdot Q_a \cdot HMT/RP$$

Actuellement, compte tenu du prix du kilowatt/heure (0,15 à 0,20 F) et du rendement (0,6) des pompes (Buchanan et al., 1977) cette relation peut s'écrire :

$$CEP = 0{,}0009 \cdot Q_a \cdot HMT$$

En résumé, le coût annuel de production d'eau souterraine brute sera donné par la formule :

$$\begin{aligned} CAPES = {} & 0{,}323 \cdot \Phi^{1{,}483} \cdot P \cdot (FR1)_{20} \\ & + 281{,}7 \cdot HMT^{0{,}4427} \cdot Q^{0{,}4612} \cdot (FR1)_{12{,}5} \\ & + 400\,000 \cdot (FR1)_{30} \\ & + 5\,000 \\ & + 0{,}0009 \cdot Q_a \cdot HMT \end{aligned}$$

qui devient :

$$\begin{aligned} CAPES = {} & 0{,}03290 \cdot \Phi^{1{,}483} \cdot P \\ & + 36{,}47452 \cdot HMT^{0{,}4427} \cdot Q^{0{,}4612} \\ & + 40532 \\ & + 0{,}0009 \cdot Q_a \cdot HMT \end{aligned}$$

### 6312 - Cas de l'eau de rivière (prise directe)

Le coût annuel de prélèvement d'eau de rivière (CAPER) a sensiblement la même structure que le CAPES. En effet, la plupart des frais sont identiques dans les deux cas. Seule la prise d'eau diffère. Le coût annuel de prélèvement d'eau de rivière dépendra donc des coûts suivants :

- prise d'eau (CPE),
- pompes et moteurs (CPM),
- matériels annexes (CMA),
- maintenance de la station (CMS),
- l'électricité de pompage (CEP).

Ce type de prélèvement d'eau est assimilable à ceux des carrières (Delbrassine, 1977). Ces solutions offrent fréquemment des débits plus importants que ceux des forages. En contre partie, l'eau est impropre à la consommation directe et les frais d'épuration grèvent le coût total faisant souvent rejeter cette solution lorsque les ressources en eau souterraine de la région sont suffisamment importantes.

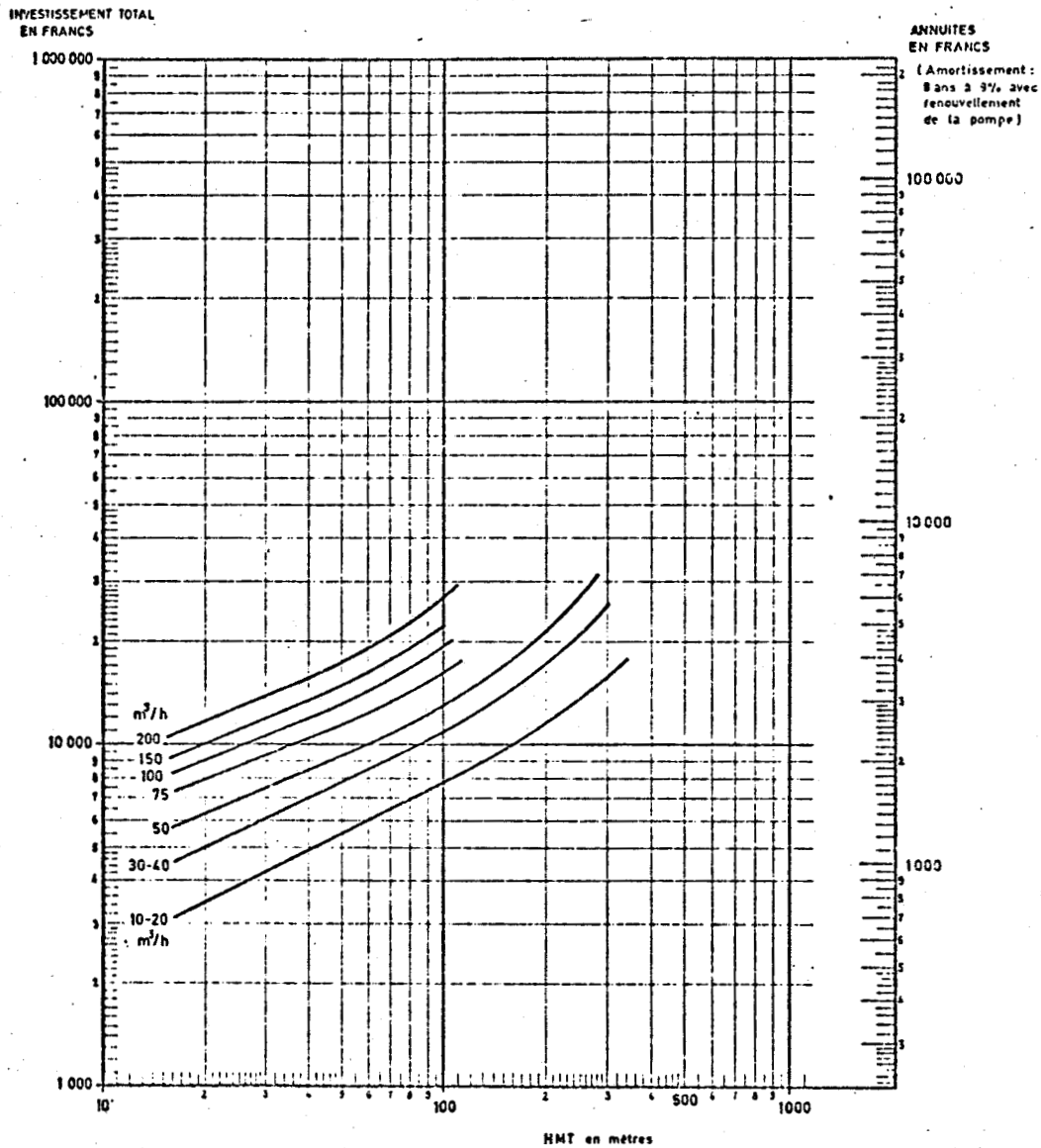



Figure 87 : Coûts des pompes et moteurs (d'après Bouin, 1978).

e) Coût de l'électricité de pompage (CEP)

Le coût de l'énergie électrique est assez facile à déterminer (du moins son équation) ; il dépend directement de trois facteurs :

- le volume prélevé, en m3,
- la hauteur manométrique totale, HMT, en m,
- le coefficient de rendement des pompes (RP).

L'équation est donc de la forme :

$$CEP = a \cdot Q_a \cdot HMT/RP$$

Actuellement, compte tenu du prix du kilowatt/heure (0,15 à 0,20 F) et du rendement (0,6) des pompes (Buchanan et al., 1977) cette relation peut s'écrire :

$$CEP = 0{,}0009 \cdot Q_a \cdot HMT$$

En résumé, le coût annuel de production d'eau souterraine brute sera donné par la formule :

$$\begin{aligned} CAPES = {} & 0,323 \cdot \Phi^{1,483} \cdot P \cdot (FR1)_{20} \\ & + 281,7 \cdot HMT^{0,4427} \cdot Q^{0,4612} \cdot (FR1)_{12,5} \\ & + 400\,000 \cdot (FR1)_{30} \\ & + 5\,000 \\ & + 0,0009 \cdot Q_a \cdot HMT \end{aligned}$$

qui devient :

$$\begin{aligned} CAPES = {} & 0,03290 \cdot \Phi^{1,483} \cdot P \\ & + 36,47452 \cdot HMT^{0,4427} \cdot Q^{0,4612} \\ & + 40532 \\ & + 0,0009 \cdot Q_a \cdot HMT \end{aligned}$$

### 6312 - Cas de l'eau de rivière (prise directe)

Le coût annuel de prélèvement d'eau de rivière (CAPER) a sensiblement la même structure que le CAPES. En effet, la plupart des frais sont identiques dans les deux cas. Seule la prise d'eau diffère. Le coût annuel de prélèvement d'eau de rivière dépendra donc des coûts suivants :

- prise d'eau (CPE),
- pompes et moteurs (CPM),
- matériels annexes (CMA),
- maintenance de la station (CMS),
- l'électricité de pompage (CEP).

Ce type de prélèvement d'eau est assimilable à ceux des carrières (Delbrassine, 1977). Ces solutions offrent fréquemment des débits plus importants que ceux des forages. En contre partie, l'eau est impropre à la consommation directe et les frais d'épuration grèvent le coût total faisant souvent rejeter cette solution lorsque les ressources en eau souterraine de la région sont suffisamment importantes.

a) Coût de la prise d'eau (CPE)

Les prises d'eau en rivières sont "fréquemment constituées par un canal en béton armé, normal au lit, formant un désableur, prolongé par une bâche d'aspiration dans laquelle sont immergées les pompes d'exhaure. Une superstructure abrite moteurs d'entrainement, appareillage électrique et divers", (SAGETOM, 1976).

Le coût de la prise d'eau est évaluée par Singh et al. (1974) par la formule suivante :

$$CPE = a + 10\ a\ Q$$

où : Q est le débit de prélèvement (en m3/h par exemple),
a une constante.

En France, les renseignements auprès d'entrepreneurs donnent pour le coût de la prise d'eau :

$$CPE = 33{,}65 + 336{,}5\ Q$$

b) Coût des pompes et moteurs (CPM)

Malgré le manque de renseignements précis relatifs à ce matériel utilisé pour l'exhaure d'eau de rivière, nous pouvons penser que le coût est de même nature que celui des forages, soit :

$$CPM = 281{,}7\ HMT^{0,4427}\ Q^{0,4612}$$

avec une diminution très nette compte-tenu de la valeur plus faible de HMT (qui, ici, est de l'ordre de 5 mètres).

c) Coûts de CMA, CMS et CEP

La formulation des frais du matériel annexe (CMA), de la maintenance de la station (CMS) et de l'électricité de pompage (CEP) est similaire à celle donnée pour les forages. Il faut toutefois signaler que le coût CEP sera nettement diminué compte-tenu de la faible valeur de HMT. Notons également qu'à des débits élevés correspondront des coûts de main-d'oeuvre proportionnellement plus faibles.

En résumé, le coût total de prélèvement d'eau de rivière (CAPER) sera le suivant :

$$\begin{aligned} CAPER = {} & (33,65 + 336,S * Q) \; . (FRI)_{30} \\ & + 281,7 \; . \; HMT^{0,4427} \; . \; Q^{0,4612} \; . (FRI)_{12,5} \\ & + 400\,000 \; . \; (FRI)_{30} \\ & + 5\,000 \\ & + 0,0009 \; . \; Q_a * HMT \end{aligned}$$

soit :

$$\begin{aligned} CAPER = {} & 29,8904 \; . \; Q + 36,4745 \; . \; HMT^{0,4427} \; . \; Q^{0,4612} \\ & + 40\,534,99 + 0,0009 \; . \; Q_a \; . \; HMT \end{aligned}$$

### 6313 - Cas de l'eau de carrière

Plusieurs types de captages peuvent s'effectuer dans d'anciennes carrières. On trouve ainsi (Delbrassine, 1977) :

* puits ou forage(s) exécuté(s) à proximité ou dans la carrière,
* pompage dans une réserve d'eau
* pompage au fond de l'excavation, à l'origine même des venues d'eau,
* pompage mixte.

Le premier type de captage se rapporte aux conditions définies pour les prélèvements d'eau souterraine par puits ou forage (paragraphe 6311). Quelques variantes pourront toutefois exister dans le cas où la carrière est encore en activité : un aménagement sera alors nécessaire pour augmenter la protection de la qualité de l'eau. Les frais en résultant seront toutefois compensés par un ou des forages moins profonds que pour les forages normaux. A ce type de captage se rapporte le projet de la carrière des Etablissements BOCAHUT à Glageon.

Le second type de captage ne nécessite aucune foration ; il correspond aux conditions décrites pour l'exhaure d'eau de rivière. Contrairement au cas précéden un traitement plus complet de l'eau est exigé.

Le troisième type de captage est plus rare.

### 6314 - Cas de l'eau de retenues collinaires

L'exhaure d'eau dans des retenues collinaires où des barrages se ramène sensiblement au cas du captage d'eau en rivière. Il s'y ajoute principalement le prix du barrage et de l'achat du terrain où sera situé le plan d'eau. Nous avons analysé au chapitre III les possibilités quantitatives d'une telle solution dans l'Avesnois. Autant dire que cette solution n'est pas envisagée actuellement, ni même pour un proche avenir. Toutefois, nous avons insisté sur ce point afin de montrer les avantages multiples d'un tel choix :

- prélèvements importants pouvant être compris entre 200 et 500 m3/h,
- diminution du nombre des ouvrages
- minimisation des coûts de main-d'oeuvre,
- régulation du cours d'eau et lutte contre les inondations,
- développpement du tourisme,
- etc....

La construction d'un lac collinaire nécessite un investissement très important qui n'est souvent pas proportionnel ou même pas en relation avec les gains espérés de son installation. Toutefois, de nombreuses expériences faites en Gascogne (Lalanne, 1972 ; Agence de Bassin Adour-Garonne, 1977) ont montré que cette solution offrait une eau d'irrigation à très bon marché (prix de vente de 9 centimes/m3 à quoi vient s'ajouter une redevance de débit ou abonnement au réseau (Compagnie Générale des Côteaux de Gascogne, 1977) ).

Le type de digue (béton ou terre) influencera fortement le prix de revient de l'eau distribuée.

Dans l'Avesnois, sans avoir à construire la retenue, il est possible d'envisager l'utilisation du plan d'eau d'Eppe-Sauvage. La station d'épuration de 2000 équivalents habitants située directement à proximité pourrait ainsi accroître son rendement. Une telle solution économise donc les investissements d'achat du terrain, de construction de la digue et de la station d'épuration.

## 632 - Coût du traitement de l'eau

### 6321 - Cas de l'eau souterraine

Dans la majorité des cas, un seul traitement (chloration) est opéré sur les eaux souterraines. Les études effectuées par Bonin (1978) montrent que pour des teneurs optimales de 0,3 g/m3, le coût de la chloration varie entre 0,5 et 3 centimes du mètre cube (investissement et entretien compris).

Par contre, si elle est nécessaire, la déferrisation de l'eau est beaucoup plus onéreuse puisque l'élimination de teneurs en fer de l'ordre de 0,4 mg/l coûte entre 12 et 15 centimes par mètre cube. Ce prix semble excessif s'il est comparé au coût de déferrisation à Sars-Poteries. La station a en effet coûté 73 000 F (1977) soit environ 80 300 F (prix 1978). Si l'on compte un amortissement sur 25 ans à 8 % et des frais de maintenance de 0,06 fois l'investissement ( Illinois State Water, 1968), les annuités s'établissent à 12 400 F, soit environ 2 à 6,5 centimes par mètre cube traité. A ces chiffres, il faut ajouter la consommation d'énergie que nous avons définie précédemment :

$$CEP = 0{,}0009\ Qa.HMT$$

Compte-tenu des pertes de charge dans le système, HMT est de l'ordre de 2 à 3 mètres, soit donc :

$$CEP = 0{,}027\ .Qa$$

Le coût annuel de traitement de l'eau souterraine (CATES) peut donc être établi de la manière suivante :

$$CATES = Qa\ (0{,}05 + 0{,}097\ \lambda)$$

où : $Q_a$ est le débit prélevé annuellement, en m3.

$\lambda$ = constante prenant la valeur 1 si l'eau est à déferriser et 0 dans le cas contraire.

### 6322 - Cas de l'eau de surface

Nous avons vu au chapitre IV que le traitement des eaux de surface nécessitait une aération (ou oxygénation), une décantation doublée d'une chloration,puis d'une filtration rapide.

Il existe peu d'exemples de stations d'épuration d'eau superficielle de faible ou moyenne importance. Les chiffres que nous possédons proviennent soit de stations d'épuration d'eaux usées ou d'eaux superficielles mais de très grosse importance comme celles alimentant les villes de Paris ou de Londres. Un exemple nous est fourni dans l'Avesnois par la Société Laitière S.O.P.A.D. à Boué. Cette société utilise les eaux de la Sambre après épuration. Les eaux destinées à la laiterie nécessitent sensiblement la même qualité que l'eau potable avec un assouplissement pour le résidu sec (850 mg/l au lieu de 500 mg/l, cf. chapitre 4). L'investissement réalisé entre 1972 et 1973 a été de 650 000 F. Les frais d'exploitation en 1977 étaient de 80 000 F pour un débit unitaire de 150 m3/h. Si l'on ramène ces chiffres en francs 1978 et en supposant que le pompage se fait 8 h par jour pendant 200 jours par an on trouve un prix de revient de 0,68 F/m3 (pompage et traitement compris). Cette valeur est naturellement encore trop importante pour qu'une telle solution puisse être, à l'heure actuelle, utilisée par les distributeurs d'eau. En effet, le mètre cube d'eau est vendu sensiblement 1,72 F au consommateur. La marge restante (1,04 F) est trop faible pour pouvoir absorber les coûts du transport en campagne et surtout en ville où les installations et la maintenance sont très coûteuses.

Singh et al. (1974) admettent un coefficient de 2,33 entre les investissements pour le traitement des eaux souterraines (chloration, déferrisation et adoucissement) et les eaux superficielles (coagulation avec adjuvents, sédimentation rapide et chloration). Ils supposent également des coefficients de maintenance et de réparation respectivement égaux à 0,06 et 0,08 fois l'investissement pour l'exploitation des eaux souterraines et superficielles. Ramenées à son coût annuel, ces valeurs montrent que le traitement de l'eau superficielle est de 2,633 fois plus cher que celui de l'eau souterraine. Si l'on reprend le prix du m3 d'eau souterraine calculé au paragraphe 6321, on trouve qu'au minimum (puisque l'adoucissement n'est pas nécessaire dans l'Avesnois) le prix du m3 d'eau superficielle traité est de 40 centimes. On approche donc quelque peu du prix global (exhaure de l'eau + traitement) de 68 centimes donnés par les chiffres de la S.O.P.A.D.

Nous considérerons donc que ces chiffres se rapprochent suffisamment de la réalité pour en prendre la moyenne (0,54 F). La formation du coût annuel de traitement de l'eau de rivière (CATER) sera donc :

$$CATER = 0{,}54 \quad Q_a$$

Cette formule n'est en fait vraie que pour un certain volume d'eau traité. Plus la station de traitement sera importante, moins le coût unitaire sera élevé. Bridgwater (1977), préconise ainsi un coût de la forme :

$$CATER = a\ Q_a^{-b}$$

où b est inférieur à 1.

### 6323 - Cas de l'eau de carrière

Dans la mesure où un aménagement (gabion ou forage annexe) a été opéré afin de préserver l'eau de toute contamination extérieure, le prix du traitement se raménera à celui de l'eau de surface. Dans le cas contraire, deux possibilités se présenteront :

- une partie de la carrière est en activité : l'eau sera chargée de matières en suspension (jusqu'à 2 g/l). Une coagulation et une sédimentatic seront alors impératifs,
- la carrière est abandonnée : la qualité de l'eau se rapproche de celle rencontrée dans les rivières de l'Avesnois. Un risque de pollution par les algues est toutefois à craindre. Suivant le taux de composés azotés et phosphorés dans l'eau, des algues comme Oscillatoria rubescens ou des chlorelles peuvent se développer (Delbrassine, 1977).

### 6324 - Cas de l'eau de retenues collinaires

Le traitement de l'eau provenant de retenues collinaires se rapporte au cas précédent : une coagulation suivie d'une sédimentation est ici absolument nécessai pour lutter contre le phénomène de prolifération d'algues.

633 - Coût du transport de l'eau

Dans un réseau de distribution d'eau souterraine désservant une ville, l'eau est acheminée du captage au réservoir de stockage,puis de là à la ville par simple gravité. Dans la réalité, le schéma est plus complexe puisque un château d'eau permet le stockage de l'eau desservant plusieurs communes. Des réservoirs, stations de pompage ou de décompression intermédiaires sont nécessaires. Le coût des conduites,facile à définir dans les sections intercommunales,devient plus complexe à préciser dans les réseaux communaux.

Nous n'étudierons pas ces coûts ni leur formulation. Notons seulement quelques ordres de grandeur : le coût et la pose de conduites en zone rurale est le suivant :

| | | |
|---|---|---|
| en 100 mm | → | 90 F/m |
| en 150 mm | → | 130 F/m |
| en 200 mm | → | 180 F/m |
| en 250 mm | → | 250 F/m |
| en 300 mm | → | 350 F/m |
| en 500 mm | → | 600 F/m |

Pour les réservoirs :

| Capacité m3 | Hauteur m | Forme | Prix (TTC) FF |
|---|---|---|---|
| 300 | 15 | E | 680 000 |
| | | C | 540 000 |
| 400 | 15 | E | 760 000 |
| | | C | 600 000 |
| 500 | 15 | E | 900 000 |
| | | C | 700 000 |

E = Elliptique

C = Classique (forme en V)

64 - Cartographie du coût de l'eau

Avec les informations recueillies au paragraphe précédent, il est possible de connaître le prix de revient de l'eau au point d'exploitation, en considérant ce que nous avons appelé le coût de prélèvement de l'eau brute et de son traitement. Les frais de transport qui augmentent sensiblement le coût total n'entreront donc pa dans nos considérations, qui défavorise donc toute eau pouvant provenir de rivières ou retenues collinaires. Néanmoins, il correspond à l'optique définie par la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale Dreyfus et al., 1971). De la même manière, cette cartographie ne concernera que les eaux souterraines puisque qu'aucune valeur (sauf celle de la S.O.P.A.D. à Boué (Aisne)) n'est disponible sur les eaux superficielles.

La formule générale utilisée pour calculer le prix unitaire du mètre cube d'ea (PMC) prélevé et traité sera donc le suivant (cf. paragraphes précédents) :

$$PMC = \left[CAPES + CATES\right] \cdot \frac{1}{Q_a}$$

$$PMC = \left[0{,}03290 \cdot \phi^{1{,}483} \cdot P + 36{,}47452 \cdot HMT^{0{,}4427} \cdot Q^{0{,}4612} + 40\,532 + 0{,}0009 \cdot Q_a \cdot HMT + 0{,}05 \cdot Q_a + \lambda \cdot 0{,}097 \cdot Q_a\right] \frac{1}{Q}$$

A titre d'exemple, si un forage possède les caractéristiques suivantes :

$\phi$ = 375 mm,
P = 80 m,
HMT = 20 m,
$\lambda$ = 0,
Q = 80 m3/h,
$Q_a$ = 292 192 m3 → pompage de 80 m3/h, 10 h/j et 365 jours.

Le prix du mètre cube d'eau prélevée et traitée (chloration seule) sera de :

PMC = 26,9 centimes.

| | | | | ϕ mm | P m | HMT m | Q m3/h | $Q_a$ m3 | Annuités CF | Annuités CPM | Annuités CEP | Annuités CHLOR. | Prix du m3 en F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 8 010 | Limont-Fontaine | F5 | SEF | 375 | 100 | 69.98 | 41.8 | 334730 | 21602 | 1341 | 21088 | 16736 | 0,303 |
| 29 8 011 | Limont-Fontaine | F1 | SEF | 350 | 82 | | | | | | | | |
| 29 8 012 | Limont-Fontaine | F2 | SEF | 300 | 51 | 40.65 | 102 | 775620 | 7913 | 1593 | 28620 | 38781 | 0,151 |
| 29 8 013 | Limont-Fontaine | F3 | SEF | 400 | 50 | 44.95 | 53.2 | 399050 | 11886 | 1228 | 16162 | 19953 | 0,225 |
| 29 8 014 | Limont-Fontaine | F4 | SEF | 450 | 75 | 34.37 | 15.4 | 118680 | 21231 | 632 | 3738 | 5934 | 0,607 |
| 30 5 010 | Ferrière-la-Petite | Pu+Ga | SIDEN | Galler. | 25 | | | | | | | | |
| 30 5 017 | Ferrière-la-Grande | F1 | SEF | 325 | 81 | 47.85 | 95.0 | 762900 | 14152 | 1653 | 32957 | 38145 | 0,167 |
| 30 5 045 | Maubeuge | PU | SEF | 2000+ | 6.7 | 5.30 | 186.1 | 1333580 | 17326 | 898 | 7200 | 66668 | 0,099 |
| 30 5 047 | Ferrière-la-Grande | F2 | SEF | 300 | 79 | 49.47 | 69.2 | 574840 | 12257 | 1453 | 25868 | 28742 | 0,189 |
| 30 5 106 | Ferrière-la-Grande | F3 | SIDEN | 400 | 80 | 36.97 | 85* | 368940 | 19017 | 1399 | 12276 | 18447 | 0,248 |
| 30 5 140 | Ferrière-la-Grande | F3 | SEF | 350 | 29 | 15.63 | 118.8 | 1027400 | 5655 | 1128 | 14795 | 51370 | 0,110 |
| 30 5 290 | Ferrière-la-Grande | F2 | SIDEN | 400 | 40 | | | | | | | | |
| 30 5 292 | Rousies | F | SEF | 400 | 48 | 4.56 | 112. | 356530 | 11410 | 655 | 1604 | 17827 | 0,202 |
| 30 5 108 | Jeumont | Fend. | SEF | 400 | 60 | 7.26 | 28 | 229030 | 14263 | 426 | 1649 | 11452 | 0,298 |
| 30 6 113 | Jeumont | Quew | SEF | 350 | 65 | 28.15 | 13.9 | 110090 | 12675 | 545 | 2873 | 5505 | 0,564 |
| 38 1 020 | Landrecies | FØ | SIDEN | 450 | 79 | 16.80 | 23* | 96780* | 22363 | 543 | 1481 | 4839 | 0,721 |
| 38 3 013 | Bachant | Horip. | SEF | 1650 | 16 | | | | | | | | |
| 38 3 021 | Bachant | F1 | SEF | | | | | | | | | | |
| 38 3 027 | Aulnoyes-Aymeries | F1 | SEF | 380 | 41 | 19.32 | 50.25 | 189650 | 9032 | 835 | 3414 | 9483 | 0,334 |
| 38 3 042 | Bachant | F4 | EDF/SEF | | | 5.45 | 44 | 377980 | | | | | |
| 38 9 046 | Aulnoyes-Aymeries | F1 | SIDEN | 400 | 80 | 13.00 | 91.18* | 399370* | 19017 | 914 | 4673 | 19969 | 0,213 |
| 38 3 047 | Aulnoyes-Aymeries | F2 | SIDEN | 400 | 80 | 10.50 | 27.97* | 122490* | 19017 | 490 | 1213 | 6125 | 0,550 |
| 38 3 049 | Taisnières | P1 | SIDEN | 1075 | 17.6 | 11.35 | 31.9* | 139960 | 17507 | 528 | 1430 | 6998 | 0,479 |
| 38 3 140 | Aulnoyes-Aymeries | F1 | SEF | | | | | | | | | | |
| 38 3 174 | Aulnoyes-Aymeries | F1Camp. | SEF | 375+ | 40 | 3.91 | 176.3 | 1319280 | 8641 | 731 | 4749 | 65964 | 0,091 |
| 38 3 182 | Bachant | F'3 | SIDEN | 400 | 72 | 10.00 | 172.* | 753590 | 17115 | 1086 | 6782 | 37680 | 0,137 |
| 38 4 029 | St-Aubin | F1 | SIDEN | 400 | 60 | 16.30 | 138.4* | 606370 | 14263 | 1241 | 9277 | 30319 | 0,158 |
| 38 4 168 | Bachant | F1GF | SEF | 400 | 52 | 34.12 | 131.8 | 305400 | 12361 | 1673 | 9620 | 15270 | 0,260 |
| 38 4 169 | Bachant | F3GF | SEF | 400 | 68 | 45.04 | 93.7 | 753740 | 16164 | 1591 | 30526 | 37687 | 0,168 |
| 38 4 196 | Bachant | F5GF | SEF | 350 | 53 | 26.79 | 121.10 | 571540 | 10335 | 1433 | 13888 | 28577 | 0,166 |
| 38 4 201 | St Aubin | F2 | SIDEN | 350 | 60 | 20.80 | 20.4* | 89190 | 11700 | 572 | 1686 | 4460 | 0,661 |
| 38 5 009 | Catillon | P2 | SIDEN | 2000 | 12.25 | 7.85 | 19* | 83120 | 32325 | 353 | 587 | 4156 | 0,938 |
| 38 5 010 | Catillon | P1 | SIDEN | 4200+ | 10.9 | 10. | 65* | 284780 | 84703 | 693 | 2563 | 14239 | 0,501 |
| 38 5 050 | Mazinghien | | SIDEN | | 24.35 | | 17* | 74960 | | | | | |
| 38 7 014 | Dompierre | Pu+FØ | SIDEN | 350 | 50 | 21.45 | 128* | 559090 | 9750 | 1328 | 10793 | 27955 | 0,162 |
| 39 1 058 | Lez-Fontaine | F1 | SIDEN | 350 | 60 | 26.50 | 35* | 151080 | 11700 | 802 | 3603 | 7554 | 0,425 |
| 39 1 059 | Lez-Fontaine | F2 | SIDEN | 250 | 56 | | 48* | 206620 | 6630 | 928 | 4928 | 10331 | 0,307 |
| 39 2 001 | Sars-Poteries | F1 | SIDEN | 750 | 36 | 14. | 49* | 214240 | 21738 | 706 | 2699 | 10712 | 0,357 |
| 39 5 002 | Féron | Alluit | SEF | 440 | 74 | 30.42 | 85.86 | 380760 | 20261 | 1301 | 10623 | 19038 | 0,241 |
| 39 5 110 | Féron | Rasié | SEF | 350 | 46 | 4.49 | 64.31 | 566080 | 8970 | 510 | 2547 | 28304 | 0,143 |
| 39 6 110 | Glageon | | | | | | | | | | | | |
| 39 6 113 | Trélon | F1 | SIDEN | 2000 | 4 | 1.00* | 53* | 231090 | 10344 | 228 | 208 | 11555 | 0,272 |
| 39 6 147 | Glageon | FØ | SIDEN | 1750 | 45 | 19.80 | 46* | 201440 | 95463 | 803 | 3626 | 10072 | 0,747 |
| 39 7 029 | Wallers-Trélon | FØ | SIDEN | 1500/380 | 26 | 2.05 | 42* | 183920 | 6181 | 284 | 348 | 9196 | 0,307 |

* extrapolé d'après $Q_a$ avec Q 12h/j et 365j/an

* valeur d'une année différente que 1977

+ valeur supposée

BUS LILLE

Tableau 33 : Détails des coûts de l'eau des forages de l'Avesnois.

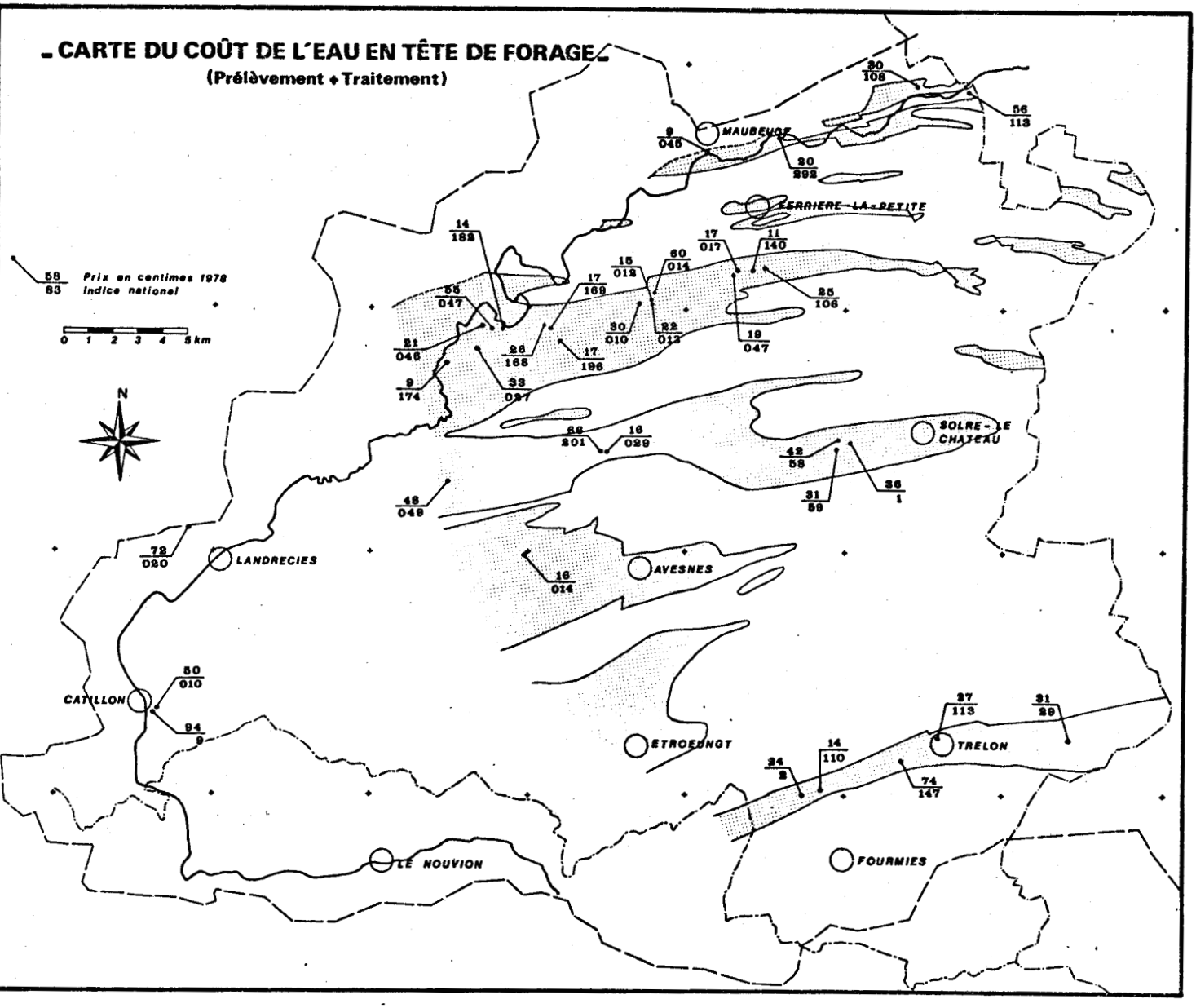



Figure 88 : Carte du coût de l'eau en tête de forage.

## 65 - Conclusions

Deux organismes importants se partagent la distribution de l'eau potable dans l'Avesnois. Ce sont le S.I.D.E.N. et la S.E.F. Cette dernière société est en contrat avec les communes les plus importantes et nécessitant les volumes d'eau les plus forts (Maubeuge, Berlaimont, Aulnoyes-Aymeries, Louvroil, Haumont, Jeumont et Fourmies). On retrouve la S.E.F. au Nord et au Sud du bassin, avec entre deux, les communes desservies par le S.I.D.E.N.

BUS LILLE

Le coût et les facteurs du coût de l'eau ont été analysés de manière précise pour différents types de captages tels que les forages ou les captages d'eau de carrière, de rivière ou de retenues collinaires. Une formulation générale, basée sur la synthèse des coûts des différentes unités de production et de traitement de l'eau, a ainsi été donnée. Cette formulation a la particularité de s'appuyer sur un nombre restreint de paramètres qui sont pour les forages : le diamètre et la profondeur du forage, le niveau dynamique et le débit horaire moyens et, enfin, le débit total annuel soutiré. Connaissant ces paramètres, il est possible à l'hydrogéologue de donner une approximation du prix du mètre cube d'eau prélevé et traité (chloration). Cette formule peut donc être un outil sérieux, permettant à l'hydrogéologue, au stade final d'une étude, d'avoir un aperçu de la qualité économique du site qu'il propose.

Appliquée à l'Avesnois, la formule a donné un prix moyen du mètre cube d'eau de 32 centimes. Elle nous a permis de constater les différences très importantes existant d'un forage à un autre. L'hétérogènéité des valeurs obtenues est évidemme la conséquence du type d'aquifères (fissuré en grand) rencontré dans l'Avesnois.

## Chapitre VII

# Conclusions

## VII - CONCLUSIONS

La base des données HYDRE, pour laquelle nous avons défini les principales structures d'état et de fonctionnement, devrait être un appui très efficace pour l'hydrogéologue lorsque celui-ci entreprend l'étude des ressources en eau d'un secteur ou d'une région. Nous n'avons volontairement stocké que les principales informations hydrogéologiques demandées fréquemment par les utilisateurs. Ceci permet d'alléger considérablement le volume de la base utilisé et, de ce fait, d'avoir des algorithmes de recherche des informations plus simples et plus courts. HYDRE peut être utilisée avec le plus d'efficacité en accès conversationnel. Pour cela, ne nécessitant pas l'emploi d'un gros ordinateur, elle s'accomode très bien des petits systèmes peu coûteux basés autour d'un microprocesseur. Pour permettre la rapidité de recherche des informations, les fichiers ont été créés en accès directs et séquentiels indexés, nécessitant l'emploi de disquettes (ou de disques lorsque la configuration devient plus importante).En aval de la base de données, les programmes, développés, ont été organisés en chaînes de traitement permettant d'éviter à l'utilisateur un maximum de manipulation. Ces chaînes de traitement diminuent les temps d'analyse des problèmes dans les branches suivantes :

- présentation des données,
- hydroclimatologie,
- hydrodynamique,
- hydrométrie,
- hydrochimie,
- hydroéconomie,
- hydrosocio-économie.

Ne pouvant aborder l'intégralité de ces branches, seules la présentation des dobnées, l'hydroclimatologie, l'hydrochimie et l'hydrosocio-économie ont été traités. Les programmes, écrits en fortran IV et exécutés originellement sur IRIS 80 et IBM 270 peuvent être exécutés sur micro-ordinateur soit dans leur état actuel, soit traduits en Basic. Leur taille parfois importante peut être réduite en appliquant la technique de l'overlay.

Conformément à cette optique, l'étude hydrogéologique du bassin de la Sambre a été menée en scindant la recherche en parties distinctes :

- aspect quantitatif,
- aspect qualitatif,
- aspect socio-économique,
- aspect économique.

Les terrains rencontrés dans le bassin proviennent en majeure partie du Dévonie et du Carbonifère et déterminent plusieurs synclinoriums s'enfonçant lentement, à l'Ouest, sous la couverture crétacique. Ces réservoirs constituent les principaux aquifères.

Sur un total de 825 mm d'eau tombés en moyenne annuellement, 60% sont évaporés des 320 mm restant, seuls 30 à 40% s'infiltrent dans le sol pour alimenter les aquifères. Ainsi, la majorité des ressources en eau se retrouve dans les rivières formant, de cette manière, un important potentiel. Les débits d'étiage des rivières principales (Sambre, Helpe mineure et majeure, sont de l'ordre de 700 m3/h en année moyenne. Ceux des rivières de troisième degré ont par contre des valeurs comprises entre 7 et 35 m3/h. Les débits moyens répartis sur toute l'année montrent également des possibilités de captage très intéressantes. En effet, pour des ruisseaux comme La Tarsy, une simulation des débits moyens a fait apparaître des débits supérieurs à 200 m3/h pour un bassin n'ayant que 7 km2 de superficie. L'association de ces réserves avec la construction de barrages réservoirs (cf. figure 72), pourra dans un avenir assez proche, suppléer au déficit de certains aquifères surexploités

L'Avesnois doit principalement son approvisionnement aux nappes contenues dans les deux principaux aquifères primaires : Givétien/Frasnien et Dinantien. Moins de 10% de l'eau provient des alluvions de la Sambre et seulement 3 à 5% de l'aquifère du Turonien moyen et inférieur. La nappe du Dévonien moyen est surtout exploitée dans le monoclinal de Rocquigny-Wallers-Trélon où se rencontrent des calcaires durs compacts et fracturés en grands dont les transmissivités oscillent autour de $10^{-2}$ à $10^{-3}$ $m^2/s$. Quelques 3 millions de mètres cubes d'eau y sont prélevés sans pour cela abaisser sensiblement le niveau de la nappe. Des études de pertes dans les cours d'eau sus-jacents ont d'ailleurs démontré leur alimentation par la nappe. L'étude des aquifères dinantiens a permis de mettre en évidence les points suivants :

- transmissivités sensiblement égales à celles de l'aquifère dévonien mais emmagasinement supérieur pour les synclinoriums au Nord du bassin;
- possibilités d'exploitation accrues dans le synclinorium de Dourlers, en aval de cette commune;
- faibles possibilités (dues à une fracturation rare) du double synclinal de Warpont-Etroeungt;
- dans le synclinorium de Bachant-Ferrière-la-Petite, la surface piézométrique de la nappe ne subit des déformations fortes qu'au niveau des captages de Limont-Fontaine et Ferrière-la-Grande. Le reste de la nappe a sensiblement la même configuration qu'en 1967.

Les relations nappes-rivières, étudiées lors d'une campagne de jaugeage, font ressortir des pertes de l'ordre de 0 à 10 l/s/km2, observées plus fréquemment à l'aval des bassins. Leurs causes sont, dans la plupart des cas, dues par l'exploitation d'eau souterraine.

Dans son ensemble, la qualité des eaux souterraines du bassin de la Sambre s'est avérée uniforme dans le temps avec, toutefois, des traces de pollution sulfatée au niveau des principaux centres industriels. La représentation spatiale du chimisme (programme ROSE) met en évidence les hétérogénéités de la roche réservoir en ce qui concerne la distribution des calcaires dolomitiques. D'un autre côté, les phénomènes d'acquisition du chimisme ont pu être révélés grâce à l'utilisation de méthodes statistiques. Nous avons constaté que les eaux superficielles étaient caractérisées par deux groupes d'ions évoluant ($NO_2^-$, $Fe^{++}$, $Mn^{++}$ et $NH_4^+$) ou non (TH, $Cl^-$, $SO_4^{--}$, $Mg^{++}$, $NO_3^-$) avec une augmentation de pollution dans l'eau. En fait, la qualité de ces eaux n'est jamais réellement mauvaise : les métaux lourds sont très rares et l'épuration de l'eau ne nécessite pas de traitements coûteux.

Les établissements industriels sont les principaux consommateurs d'eau (33,1%) mais, sur ce total, ils ne prélèvent directement qu'un peu plus de la moitié et ont recours, pour le reste, aux sociétés distributrices d'eau. Des consommations d'eau faibles (80 l/hab/j) se rencontrent aussi bien dans les communes industrialisées ou urbaines que dans les communes rurales. D'une manière différente, les consommations d'eau ramenées à l'unité de surface représentent assez fidèlement le schéma économique de la région : des communes comme Maubeuge et Avesnes possèdent les valeurs les plus élevées ( 120 000 m3/km2/an). Deux scénarios ont été développés suivant deux hypothèses. La première d'entre-elles repose sur une augmentation de la consommation identique à celle des années 1960 et conduit, pour l'an 2000, à un accroissement de 70%. Par contre, ce chiffre n'est que de 14% si l'on table sur une évolution du même ordre que celle de ces dernières années (1974 et suivantes).

Finalement, nous avons analysé les variables principales influençant le coût de l'eau englobant le prélèvement, le traitement et le transport. Chaque cas (eaux souterraine, de rivière (prise directe), de carrière, de retenues collinaires) a été pris en compte plus ou moins intégralement suivant la quantité de données qui leur était associée. Cette étude a permis de fournir une équation réunissant toutes les variables influençant le coût de l'eau et son traitement en tête de forage. L'application à l'ensemble du bassin donne un prix moyen de 0,32 F par mètre cube en 1978.

# Bibliographie

Anonyme (1971).- The lock Lomond water scheme of the central Scotland water development board. *Water and water engineering, novembre 1971,* p. 411-421.

Anonyme (1973).- The river Itchen scheme of the Portsmouth water company. *Water and water engineering, december 1973,* p. 481-485.

AGENCE DE BASSIN ADOUR-GARONNE (1977).- L'aménagement de la vallée du Lot : le fruit d'une longue concertation. *Adour Garonne, 14,* p. 5-9.

ALTMAN L. and COHEN C.L. (1977).- The gathering wave of japanese technology. *Electronics, june 1977,* p. 99-122.

BERNARD D. (1979).- Contribution à l'étude géochimique de la nappe de la craie dans le Nord de la France. Etat et acquisition du chimisme de l'eau. *Thèse, Université Sc. et Tech. Lille,* 179 p., ronéo.

BEZES C. (1976).- Contribution à la modélisation des systèmes aquifères karstiques ; établissement du modèle BEMER son application à quatre systèmes karstiques du midi de la France. *Thèse, Université Sc. et Tech. Languedoc, Montpellier,* 135 p., ronéo.

BLANK D. and DELLEUR J.W. (1968).- Linear System Analysis in Surface Water Hydrology. *Technical report n° 4, Purdue University, Lafayette, Ind.*

BNIST (1974).- Les banques de données dans le domaine scientifique et technique. *La documentation française, Ed., Paris,* 338 p., 0 tabl., 0 fig., 54 réf.

BOLLO R., LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. (1957).- Programme d'un essai de prospection hydrogéologique par méthodes géophysiques du synclinal carbonifère de Bachant-Ferrière-la-Petite (Nord). *Rapport B.R.G.M., A 1085.,* 14 p., 6 fig., ronéo.

BONIN H. (1978).- Coût d'exploitation de l'eau souterraine dans la région "Languedoc-Roussillon". Critères d'évaluation - essai de cartographie. *Rapport B.R.G.M., 78 SGN 183 LRO,* 11 p., 0 fig., 5 ann., 31 réf.

BONNET M. et al. (1970).- Calcul automatique des bilans mensuels et annuels par les méthodes de Thornthwaite et de Turc. *Rapport B.R.G.M., 70 SGN 107 HYD.* 18 p., ronéo.

BOUCETTA M. (1975).- Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe des calcaires de Beauce. *Thèse, Univ. Claude Bernard, Lyon,* 102 p., ronéo.

BOURGUET L. (1971).- Etude et cartographie du coût de l'eau souterraine en France. *Rapport B.R.G.M., 71 SGN 226 H* 20 p., 7 pl., ronéo.

BRIDGWATER A.V. (1977).- Technological economics applied to waste recovery and treatment processes. *Effluent Water Treat. Journ.,* 17,5, 7, 9 and 11, p. 223-229, p. 337-347, p. 467-473, p. 589-597.

CAO T.T. (1978).- G[illegible] example of a geographic information management and mapping system. *Proceeding of the American Congress on surveying and mapping.* p. 57-59.

CASTANY G. (1963).- Traité Pratique des eaux souterraines. *Dunod, Ed., Paris.* 696 p.

CASTANY G. (1968).- Prospection et exploitation des eaux souterraines. *Dunod, Ed., Paris.* 740 p.

CAUCHETIER B. et RAMON S. (1972).- Calcul de la formule de Thornthwaite et de l'écart cumulé à la moyenne ; programme BILHY. *Rapport B.R.G.M., 72 SGN 347 NPA,* 13 p., ronéo.

CAUDRON M. et CLEMENT J.P. (1972).- Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31 décembre 1972 sur le territoire des feuilles topographiques au 1/25.000 de Maubeuge 1-2-5-6-7 et Trélon 1-2-3. *Rapport B.R.G.M., 72 SGN 428 NPA,* 52 p., 7 fig., 10 tabl., 4 ann., 11 réf., ronéo.

CAULIER P. (1975).- Proposition de détermination des périmètres de protection des forages du S.I.D.E.N. n°s 1 e 2 à Sars-Poteries et n° 1 à Lez-Fontaine. *Rapport B.R.G.M., 75 NPA 57,* 9 p., 1 pl., ronéo.

CAULIER P. ( 1976).- Nappe des alluvions de la Sambre entre Catillon et Rejet-de-Beaulieu. Etude préliminaire à l'implantation d'un puits à drains rayonnants. *Note B.R.G.M., 76 NPA 65.*, 20 p., 5 fig., 4 ann., ronéo.

CAULIER P. et DELPORTE B. (1976).- Inventaire des prélèvements en eau dans le bassin de la Sambre. *Note B.R.G.M. 76 NPA 24*, 7 p., 10 ann., ronéo.

CEBEDEAU (1957).- Livre de l'eau, *vol. 4, éditions du CEBEDEAU, Liège*, 333 p.

C.F.P., C.O.P.E.S.E.P., R.A.P., S.N.P.A. (1965).- Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord, 85*, p. 91-105, 5 fig.

CLEMENT J. (1963).- Résultats préliminaires des campagnes géophysiques de reconnaissance dans les permis de recher "Arras et Avesnes" de l'Association Shell Française. P.C.R.B. SAFREP. Objectifs du forage profond de Jeumont-Marpent n° 1. *Ann. Soc. Géol. Nord, 83*, p. 237-242, 1 fig., 1 pl.

CLEMENT J.P. (1970).- Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31 décembre 1969 sur le territoire des feuilles topographiques au 1/25 000 de Trélon 5-6-7-8 et Hirson 1-2-3 (Nord). *D.E.A. Fac. des Sciences de Lille*, 82 p., 14 fig., 11 tabl., 6 ann., 20 réf., ronéo.

CLUSEAU R. (1959).- Essai de la méthode électromagnétique (TURAM) pour la localisation de fracturations des calcaires carbonifères du synclinorium Bachant-Ferrière-la-Petite (Nord). *Rapport B.R.G.M., A.1459.*, 7 p., 3 ann., ronéo.

COMPAGNIE D'AMANAGEMENT DES COTEAUX DE GASCOGNE (1977).- Nouvelle tarification de l'eau et budget 1978. *Coteaux de Gascogne, 43*, p. 3-14.

CORSAT G. (1978).- Quelques équipements publics du canton de Genève. *Le Moniteur, mars 1978*, p. 25-30, 5 fig., 0 tabl., 0 réf.

CRAIN J.K. (1970).- Computer interpolation and contouring of two-dimensional data : a review. *Geoexploration, 8*, p. 71-86.

CRAWFORD N.H. and LINSLEY R.K. (1966).- Digital simulation in hydrology : Standford Watershed Model IV. *Technical Report n° 39, Standford University.*

CREMILLE L. et PHILIPPART A. (1971).- Forage de la fenderie à Jeumont. Compte-rendu et interprétation des pompages d'essai effectués en mai 1971. *Rapport B.R.G.M., 71 SGN 394 NPA*, 15 p., 9 ann., ronéo.

DARCHIS F. et TALBOT A. (1978).- Forages F1 et F2 à Ferrière-la-Petite. Interprétation des pompages d'essais, indices nationaux 30-5-106 et 30-5-290. *Note B.R.G.M., 78 NPA 30.*, 12 p., 3 fig., 4 ann., ronéo.

DASSONVILLE G. (1967).- Résultats des essais de débit effectués sur le forage du S.I.D.E.N. à rejet [illegible]ulieu. *Rapport B.R.G.M., DSGR 67 B 16*, 4 p., 4 tabl., 3 ann., ronéo.

DASSONVILLE G. (1968).- Compte rendu des essais de débit effectués sur le forage n° 5 de la Grande Fache à Bachant [illegible] la Société Eau et Force. *Rapport B.R.G.M., 68 SGL 116 NPA*, 6 p., 1 pl., ronéo.

DASSONVILLE G. et PLAT R. (1968).- Données géologiques et hydrogéologiques sur le synclinorium carbonifère de Bachant-Ferrière-la-Petite. *Rapport B.R.G.M., 68 SGL 059 NPA*, 38 p., 7 fig., [illegible] ann., ronéo.

DAVIS S.N. and DEWIEST R.J.M. (1967).- Hydrogeology. *John Wiley and Sons, New-York.*, 463 p.

DE BOOR C. (1962).- Bicubic spline interpolation. *Jour. Math. Physics, vol. 41, 3*, p. 212-218.

DELAROZIERE-BOUILLIN O. et LABOREUX L. (1972).- Utilisation du modèle MERO pour la recherche de la pluie efficace. Programme MERO. Application au bassin versant de l'Hallue (Somme). *Rapport B.R.G.M. 72 SGN 231 AME*, 21 p 4 fig., 1 tabl., ronéo.

DELATTRE C., MERIAUX E. et WATERLOT M. (1973).- Guide géologique régional. Région du Nord. Bassin de Mons. *Masson et Cie, Ed., Paris*, 176 p., 107 fig., 9 pl., 0 réf.

DELBRASSINE J.J. (1977).- Les captages en carrière de la Société nationale des distributions d'eau. *Hydrographica*, 1, p. 39-54, 0 fig., 8 tabl., 0 réf.

DEGALLIER R. (1969).- Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes souterraines. *Rapport* B.R.G.M.; *69 SGL 131 HYD*, 63 p., ronéo.

DEGALLIER R. (1972).- Un modèle de simulation des écoulements superficiels et souterrains : le modèle SIMERO. *Bull. du B.R.G.M., III*, 3, p. 23-46, 6 tabl., 0 réf.

DEGALLIER R. (1977).- Détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe souterraines du bassin versant de Korhogo, d'après les variations de son niveau piézométrique. *Bull.* B.R.G.M., *Section* 3, N° 3/4, p.57-106.

DELATTRE Ch., WATERLOT G., BEUGNIES A., BONTE A. et HATRIVAL J.N. (1969).- Carte géologique 1/50 000 de la feuille d'Hirson. B.R.G.M. *Orléans*.

DELATTRE Ch., WATERLOT G., HATRIVAL J.N., LERICHE M. et POLVECHE J. (1970).- Carte géologique 1/50 000 de la feuille de Trélon. B.R.G.M. *Orléans*.

DELHOMME J.P. (1976).- Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. *Thèse Doct. Ing., Univ. Paris 6*, 130 p., ronéo.

DEHORGNE M., LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. (1957).- Forages exécutés en 1956-1957 par l'E.D.F. à Bachant (Nord) pour l'alimentation en eau de la future centrale thermique de la Sambre. Situation de la nappe au printemps 1957. *Rapport* B.R.G.M. *A 1250.*, 2 p., 4 fig., 2 pl., 1 ann., ronéo.

DELPORTE B. (1978).- Calcul automatique des excédents d'eau par la méthode de Thornthwaite. Programme BILAN. *Rapport* B.R.G.M., *78 SGN 470 NPA*, 18 p., ronéo.

DELPORTE B. (1978).- Etude hydrogéologique du bassin de la Sambre (Partie française). *Note* B.R.G.M., *78 NPA 52*, 32 p., 28 fig., ronéo.

DELPORTE B. et TALBOT A. (1978).- Carrière Bocahut à Glageon (Nord). Etude de l'exhaure, impact sur l'aquifère dévonien. *Note* B.R.G.M., *78 NPA 89*, 9 p., 2 fig., ronéo.

DEREC F. (1973).- Catalogue des programmes disponibles au département géologie de l'aménagement au 30 décembre 1972. *Rapport* B.R.G.M., *73 SGN 012 AME*, 68 p., ronéo.

DEZWARTE J.M., GALLE-CAVALLONI, LEROUX E., RICOUR J., WATERLOT G. (1958).- Résultats de l'essai de débit effectué sur les forages de l'E.D.F. à Bachant du 5/11 au 4/12/1957. *Rapport* B.R.G.M., *A. 1281*, 13 p., 10 fig.

DISKIN M.H. (1970).- On the computer evaluation of Thiessen weights. *Jour. Hydrol.*, 11, p. 69-78.

DREYFUS A., BOURGUET L., DELAROZIERE-BOUILLIN O. (1971).- Etude et cartographie du coût de l'eau souterraine en France. *Rapport* B.R.G.M., *71 SGN 226 HYD et BUR.GE.AP. 71 R 60*, 20 p., 4 fig., 6 abaques, 0 réf., ronéo.

ELEKTOR (1979).- Passé, présent et avenir des microprocesseurs 16 bits : l'approche MC6800. *ELEKTOR, février 1979*, 8 p. 10-12.

EMSELLEM Y. et DE MARSILLY G. (1969).- Le problème inverse et la déconvolution. *La houille blanche, n° 8*, p.861-867

EMSELLEM Y., DE MARSILLY G., POITRINAL D. et RATSMIMIEBO (1971).- Déconvolution et identification automatique de paramètres en hydrologie. Symposium international sur les modèles mathématiques en hydrologie. *A.I.H.S., Varsovie.*

ERNART H. (1967) .- La genèse des sols en tant que phénomène géologique. *Masson et Cie, Ed., Paris, 2ème édit.*, 175 p.

FEUILLADE J. (1972).- Etude de la physico-chimie d'un réseau de rivières du Morvan. *Ann. Hydrobiol.*, 3, (2), p. 117-140, 16 fig., 5 tabl., 11 réf.

GOMELLA C. et GUERREE H. (1978).- Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. Tome 2 : le traitemen *Eyrolles Ed., Paris*, 284 p., 81 fig., 65 tabl., 0 réf.

BUS LILLE

CROSSE-SPINELLI P. et PROMPSY J.J. (1974).- L'évolution des techniques d'épuration des eaux potables, conséquence de la pollution croissante des eaux superficielles. T.S.M. L'eau, 12, p. 273-285

GROUPE DE TRAVAIL BSS (1972).-

GROUPE HYDROLOGIE (1970).- Méthodes d'étude régionale des ressources en eau. Applications au bassin de l'Allier. *Faculté des Sciences de Montpellier*, 133 p.

ILLINOIS STATE WATER (1968).- Cost of water treatment in Illinois. *Tech. letter 11, Ill. State Water Survey.*

JAMES L.D. et al. (1970).- An evaluation of relationships between streamlow patterns and watershed characteristics through the use of OPSET. A self calibrating version of the standford watershed model. *Recherch Report n° University of Kentucky.*, ronéo.

JONES P.H. (1978).- Wastewater treatment technology. *Nato advanced study institute, Univ. de Louvain, Louvain-la-Neuve.* 1, p. 83-120., ronéo.

JOUFFROY C. et LETANG C. (1977).- Les fichiers. Pratique et choix de l'organisation des données informatiques. *Dunod Ed., Paris*, 198 p.

KORITNIG S. (1972).- Fluorine - Beheavior during wheathering and alteration of rocks. *In Handbook of Geochemistry. Springer-Verlag, Ed.*,p. G1-2.

KRUSEMAN G.P. et DE RIDDER N.A. (1974).- Interprétation et discussion des pompages d'essais. *International Institut for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands*, 213 p., 61 fig., 19 tabl., 11 ann.

LAFFITE (1972).- Traité d'informatique hydrogéologique. *Masson et Cie, Ed., Paris.* 624 p.

LALANNE M. (1972).- Les lacs collinaires. *Journées d'information et de perfectionnement, A.F.E.E., Toulouse, mars 1972*, 14 p.

LEMOINE B. (1974).- Essai de classification et de cartographie de la qualité chimique des eaux souterraines. *Rapport B.R.G.M., 74 SGN 404 AME*, 37 p., ronéo.

LEPLAT J. et TALBOT A. (1977).- Carrière C.B.S. à Limont-Fontaine (Nord). Problème des eaux d'exhaure. Constat de la situation actuelle. *Note B.R.G.M., 77 NPA 26*, 7 p., 4 fig.

LEPRETRE et DEREC F. (1978).- Possibilités offertes pour le traitement des données de chimie des nappes aquifères à partir d'extractions de fichiers de la banque de données. *Rapport B.R.G.M.*, 12 p., ronéo.

LEPROUST J. (1974).- Les stations de sport d'hiver et les problèmes de distribution d'eau. *Liaison Cortembert, 42*, p. 7-16.

MANIA J. (1978).- Gestion des systèmes aquifères. Application au Nord de la France. *Thèse de doctorat d'Etat ès sciences, Université de Lille.* 214 p., 140 fig., 57 tabl., 2 ann., 244 réf., ronéo.

MARGAT J. (1963).- Notice explicative du diagramme d'analyse d'eau. *Rapport B.R.G.M., DS 63 A 31*, 13 p., ronéo.

MARGAT J. et MONITION L. (1967).- Les cartes hydrogéochimiques. *Rapport B.R.G.M., DS 67 A 146*, 28 p., ronéo.

MARTIN D. (1977).- Bases de données : méthodes pratiques. *Dunod Ed., 1979.*

MATHERON G. (1969).- Le krigeage universel. *Les Cahiers du C.M.M.*, fasc. 1.

MONITION L. (1966).- Les graphiques à base trilinéaire représentatifs de la composition chimique des eaux souterraines. *Rapport B.R.G.M., DS 66 A 61*, 22 p., ronéo.

MONITION L. (1969).- Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique. *Rapport B.R.G.M., 69 SGL 121 HYD*, 20 p., ronéo.

MONITION L. (1969).- Exploitation des données hydrochimiques par ordinateur. *Rapport B.R.G.M., 69 SGL 122 HYD*, 14 ronéo.

DELBRASSINE J.J. (1977).- Les captages en carrière de la Société nationale des distributions d'eau. *Hydrographica*, *1*, p. 39-54, 0 fig., 8 tabl., 0 réf.

DEGALLIER R. (1969).- Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes souterraines. *Rapport* B.R.G.M.; *69 SGL 131 HYD*, 63 p., ronéo.

DEGALLIER R. (1972).- Un modèle de simulation des écoulements superficiels et souterrains : le modèle SIMERO. *Bull. du B.R.G.M., III*, 3, p. 23-46, 6 tabl., 0 réf.

DEGALLIER R. (1977).- Détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe souterraines du bassin versant de Korhogo, d'après les variations de son niveau piézométrique. *Bull.* B.R.G.M., *Section 3, N° 3/4*, p.57-106.

DELATTRE Ch., WATERLOT G., BEUGNIES A., BONTE A. et HATRIVAL J.N. (1969).- Carte géologique 1/50 000 de la feuille d'Hirson. B.R.G.M. *Orléans*.

DELATTRE Ch., WATERLOT G., HATRIVAL J.N., LERICHE M. et POLVECHE J. (1970).- Carte géologique 1/50 000 de la feuille de Trélon. B.R.G.M. *Orléans*.

DELHOMME J.P. (1976).- Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. *Thèse Doct. Ing., Univ. Paris 6*, 130 p., ronéo.

DEHORGNE M., LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. (1957).- Forages exécutés en 1956-1957 par l'E.D.F. à Bachant (Nord) pour l'alimentation en eau de la future centrale thermique de la Sambre. Situation de la nappe au printemps 1957. *Rapport* B.R.G.M. A *1250*., 2 p., 4 fig., 2 pl., 1 ann., ronéo.

DELPORTE B. (1978).- Calcul automatique des excédents d'eau par la méthode de Thornthwaite. Programme BILAN. *Rapport* B.R.G.M., *78 SGN 470 NPA*, 18 p., ronéo.

DELPORTE B. (1978).- Etude hydrogéologique du bassin de la Sambre (Partie française). *Note* B.R.G.M., *78 NPA 52*, 32 p., 28 fig., ronéo.

DELPORTE B. et TALBOT A. (1978).- Carrière Bocahut à Glageon (Nord). Etude de l'exhaure, impact sur l'aquifère dévonien. *Note* B.R.G.M., *78 NPA 89*, 9 p., 2 fig., ronéo.

BUS LILLE

DEREC F. (1973).- Catalogue des programmes disponibles au département géologie de l'aménagement au 30 décembre 1972. *Rapport* B.R.G.M., *73 SGN 012 AME*, 68 p., ronéo.

DEZWARTE J.M., GALLE-CAVALLONI, LEROUX E., RICOUR J., WATERLOT G. (1958).- Résultats de l'essai de débit effectué sur les forages de l'E.D.F. à Bachant du 5/11 au 4/12/1957. *Rapport* B.R.G.M., A. *1281*, 13 p., 10 fig.

DISKIN M.H. (1970).- On the computer evaluation of Thiessen weights. *Jour. Hydrol.*, 11, p. 69-78.

DREYFUS A., BOURGUET L., DELAROZIERE-BOUILLIN O. (1971).- Etude et cartographie du coût de l'eau souterraine en France. *Rapport* B.R.G.M., *71 SGN 226 HYD et BUR.GE.AP. 71 R 60*, 20 p., 4 fig., 6 abaques, 0 réf., ronéo.

ELEKTOR (1979).- Passé, présent et avenir des microprocesseurs 16 bits : l'approche MC6800. *ELEKTOR, février 1979*, 8, p. 10-12.

EMSELLEM Y. et DE MARSILLY G. (1969).- Le problème inverse et la déconvolution. *La houille blanche, n° 8*, p.861-867.

EMSELLEM Y., DE MARSILLY G., POITRINAL D. et RATSMIMIEBO (1971).- Déconvolution et identification automatique de paramètres en hydrologie. Symposium international sur les modèles mathématiques en hydrologie. *A.I.H.S., Varsovie*.

ERNART H. (1967) .- La genèse des sols en tant que phénomène géologique. *Masson et Cie, Ed., Paris, 2ème édit.*, 175 p.

FEUILLADE J. (1972).- Etude de la physico-chimie d'un réseau de rivières du Morvan. *Ann. Hydrobiol.*, 3, (2), p. 117-140, 16 fig., 5 tabl., 11 réf.

GOMELLA C. et GUERREE H. (1978).- Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. Tome 2 : le traitement. *Eyrolles Ed., Paris*, 284 p., 81 fig., 65 tabl., 0 réf.

CROSSE-SPINELLI P. et PROMPSY J.J. (1974).- L'évolution des techniques d'épuration des eaux potables, conséquence de la pollution croissante des eaux superficielles. T.S.M. L'eau, 12, p. 273-285

GROUPE DE TRAVAIL BSS (1972).-

GROUPE HYDROLOGIE (1970).- Méthodes d'étude régionale des ressources en eau. Applications au bassin de l'Allier. *Faculté des Sciences de Montpellier*, 133 p.

ILLINOIS STATE WATER (1968).- Cost of water treatment in Illinois. *Tech. letter 11, Ill. State Water Survey.*

JAMES L.D. et al. (1970).- An evaluation of relationships between streamlow patterns and watershed characteristics through the use of OPSET. A self calibrating version of the standford watershed model. *Recherch Report n° University of Kentucky.*, ronéo.

JONES P.H. (1978).- Wastewater treatment technology. *Nato advanced study institute, Univ. de Louvain, Louvain-la-Neuve.* 1, p. 83-120., ronéo.

JOUFFROY C. et LETANG C. (1977).- Les fichiers. Pratique et choix de l'organisation des données informatiques. *Dunod Ed., Paris*, 198 p.

KORITNIG S. (1972).- Fluorine - Beheavior during wheathering and alteration of rocks. *In Handbook of Geochemistry. Springer-Verlag, Ed.*,p. G1-2.

KRUSEMAN G.P. et DE RIDDER N.A. (1974).- Interprétation et discussion des pompages d'essais. *International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands*, 213 p., 61 fig., 19 tabl., 11 ann.

LAFFITE (1972).- Traité d'informatique hydrogéologique. *Masson et Cie, Ed., Paris.* 624 p.

LALANNE M. (1972).- Les lacs collinaires. *Journées d'information et de perfectionnement, A.F.E.E., Toulouse, mars 1972*, 14 p.

LEMOINE B. (1974).- Essai de classification et de cartographie de la qualité chimique des eaux souterraines. *Rapport B.R.G.M., 74 SGN 404 AME*, 37 p., ronéo.

LEPLAT J. et TALBOT A. (1977).- Carrière C.B.S. à Limont-Fontaine (Nord). Problème des eaux d'exhaure. Constat de la situation actuelle. *Note B.R.G.M., 77 NPA 26*, 7 p., 4 fig.

LEPRETRE et DEREC F. (1978).- Possibilités offertes pour le traitement des données de chimie des nappes aquifères à partir d'extractions de fichiers de la banque de données. *Rapport B.R.G.M.*, 12 p., ronéo.

LEPROUST J. (1974).- Les stations de sport d'hiver et les problèmes de distribution d'eau. *Liaison Cortembert, 42*, p. 7-16.

MANIA J. (1978).- Gestion des systèmes aquifères. Application au Nord de la France. *Thèse de doctorat d'Etat ès sciences, Université de Lille.* 214 p., 140 fig., 57 tabl., 2 ann., 244 réf., ronéo.

MARGAT J. (1963).- Notice explicative du diagramme d'analyse d'eau. *Rapport B.R.G.M., DS 63 A 31*, 13 p., ronéo.

MARGAT J. et MONITION L. (1967).- Les cartes hydrogéochimiques. *Rapport B.R.G.M., DS 67 A 146*, 28 p., ronéo.

MARTIN D. (1977).- Bases de données : méthodes pratiques. *Dunod Ed., 1979.*

MATHERON G. (1969).- Le krigeage universel. *Les Cahiers du C.M.M.*, fasc. 1.

MONITION L. (1966).- Les graphiques à base trilinéaire représentatifs de la composition chimique des eaux souterraines. *Rapport B.R.G.M., DS 66 A 61*, 22 p., ronéo.

MONITION L. (1969).- Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique. *Rapport B.R.G.M., 69 SGL 121 HYD*, 20 p., ronéo.

MONITION L. (1969).- Exploitation des données hydrochimiques par ordinateur. *Rapport B.R.G.M., 69 SGL 122 HYD*, 14 ronéo.

MUNCK F. (1957).- Prospection hydrogéologique par méthodes électriques du synclinorium carbonifère de Bachant-Ferrière-la-Petite (Nord). *Rapport B.R.G.M., A.1180,* 13 fig., 2 pl., ronéo.

NORA S. et MINC A. (1978).- L'informatisation de la société. Rapport à Monsieur le Président de la République. *La documentation française, Ed. Paris,* 162 p., ronéo.

PEREZ A.I., HUBER W.C., HEANEY J.P. and PYATT E.E. (1974).- A water quality model for a conjunctive surface - groundwater system. *Report to the E.P.A., Washington D.C.,* 250 p.

PHILIPPART A. (1974).- Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31/12/1973 sur le territoire des feuilles topographiques au 1/25 000 d'Avesnes 1 à 8 et du Cateau 4 et 8. *Rapport B.R.G.M., 74 SGN 269 NPA,* 81 p., 15 fig., 18 tabl., 10 ann., 16 réf., ronéo.

POITRINAL D. et DE MARSILLY G. (1973).- Relation de type entrée-sortie en hydrogéologie : procédé d'identification de l'opérateur. *Bull. B.R.G.M., III, 2,* p. 119-135, 10 fig.

POMEROL Ch. et BABIN Cl. (1977).- Stratigraphie et paléogéographie. Précambrien, ère paléozoïque. *Douin Ed., Paris,* 429 p.

PRUDHOMME P. (1962 ).- Essai de définition du drainage et de l'alimentation de la nappe du synclinorium de Bachant. Premières idées de représentation analogique. *Rapport B.R.G.M., DSGR 62 B3.,* 26 p., 7 fig., 3 réf., ronéo.

RAMBERT B. (1971).- Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. Rapport préliminaire. *Rapport B.R.G.M., 71 SGN 389 HYD.,* ronéo.

RAMBERT B. (1972).- Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. Examen critique des divers procédés d'analyse utilisés sur les hydrogrammes de dix cours d'eau français. *Rapport B.R.G.M., 72 SGN 371 AME.,* ronéo.

RAMBERT B. (1973).- Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. *Rapport B.R.G.M., 73 SGN 371 AME.,* ronéo.

RAMBERT B. (1973).- Recherche sur la signification hydrogéologique de la densité de drainage. Application à la détermination et à la cartographie de l'écoulement souterrain. *Rapport B.R.G.M., 73 SGN 422 AME.,* ronéo.

RAMON S. (1969).- Compte rendu des essais de pompage du forage de la commune de Landrecies au lieudit "Rosembois". *Rapport B.R.G.M., 69 SGL 033 NPA,* 9 p., 6 fig., ronéo.

RAMON S. (1971).- Utilisation de la loi de Gauss en cartographie hydrochimique pour la mise en évidence des hétérogénéités. *Rapport B.R.G.M., 71 SGN 074 HYD,* 5 p., ronéo.

RAMON S. (1971).- Compte rendu d'interprétation du pompage d'essai réalisé du 25 au 27 mai 1971 sur le forage n°2 du S.I.D.E.N. à St-Aubin. *Rapport B.R.G.M., 71 SGN 360 NPA,* 16 p., 7 fig., ronéo.

RAMON S. et CLEMENT J.P. (1969).- Interprétation du pompage d'essai de Wallers-Trélon. *Rapport B.R.G.M., 71 SGN 360 NPA,* 13 p., 5 fig., ronéo.

RANCHET J. (1971).- La pollution des eaux superficielles. *Bull. liaison Labo. P.etC.,* 55, p. 67-75, 12 fig., 1 tabl., 12 réf.

REMENIERAS G. (1965).- L'hydrologie de l'ingénieur, 2ème édit. *Eyrolles, Ed., Paris.* 414 p.

RICHARD M. et TIRAT M. (1973).- Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31/12/1972 sur le territoire de la feuille topographique à 1/50.000 de Guise (50). *Rapport B.R.G.M., 73 SGN 413 PNO.,* ronéo.

RICOUR J. (1975).- Alimentation en eau potable du groupement de Catillon-Etroeungt. Compte rendu d'exécution de 2 forages. *Rapport B.R.G.M., 75 NPA 29,* 7 p., 4 ann., ronéo.

RICOUR J. et BONTE A. (1974).- Recherche de sites favorables à l'implantation de nouveaux captages pour l'alimentation en eau potable du groupement Catillon-Etroeungt. *Rapport B.R.G.M., RA 671.,* ronéo.

RIVIERE J. (1976).- Les méthodes générales d'épuration des eaux résiduaires. *In La pollution des eaux continentales* PESSON P, *Bordas éd.*, p. 23-35.

SCHALEKAMP M. (1977).- Développement de la préparation de l'eau de surface en Suisse. *T.S.M. L'eau, 12,* p.511-521

SCHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines. *Masson et Cie, Paris,* 642 p., 187 fig.

SINGH K.P., VISOCKY A.P. and LONNQUIST C.G. (1974).- Meeting regional water requirements - A case study. *JAWWA,* p. 589-600, 9 fig., 6 tabl., 13 réf.

TALBOT A. (1978).- Expertise géologique en vue de la création d'une décharge d'ordures ménagères à St-Hilaire-sur-Helpe. *Note B.R.G.M., 78 NPA 05.* 3 p., 2 ann., ronéo.

TALBOT A. (1978).- Expertise géologique et hydrogéologique en vue de la création d'une décharge d'ordures ménagère à Ferrière-la-Petite. *Note B.R.G.M., 78 NPA 20,* 3 p., 2 ann., ronéo.

TALBOT A. et DELPORTE B. (1978).- Expertise géologique et hydrogéologique de sites potentiels de décharge d'ordures ménagères de la commune de Glageon (Nord). *Note B.R.G.M., 78 NPA 22.,* 4 p., 1 ann., ronéo.

TALBOT A. et DELPORTE B. (1978).- Examen du site de décharge de la commune de Féron (Nord). *Note B.R.G.M., 78 NPA* 5 p., 2 ann., ronéo.

TALBOT A. et LEPLAT J. (1978).- Etablissements Bocahut - Haut-Lieu (Nord). Possibilités d'extension de la carrière du Calloit à Glageon. *Note B.R.G.M., 78 NPA 59.,* 13 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., ronéo.

THELLIER A. (1977).- Analyse et réalisation d'un fichier "Mesure de la qualité de l'eau", élaboration d'un langage d'interrogation spécifique. *Mém. CNAM, Lille,* 108 p., ronéo.

THEILLIER P., BALTHAZARD J., LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. (1959).- Résultats de l'essai de débit effectué sur les forages de l'E.D.F. à Bachant du 16/6 au 18/7/1959. *Rapport B.R.G.M., A 1523,* 19 p., ronéo.

THEILLIER P., LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. (1961).- Résultats des essais de débit simultanés effectués sur les forages n°s 1-2-5 et 6 de l'E.D.F. à Bachant du 29/3 au 26/4/1960. *Rapport B.R.G.M., A 1770,* 42 p., 8 fig., ronéo.

TILLIE B. (1977).- Contribution à l'étude hydrogéologique de la moyenne Lys. *D.E.A., Univ. des Sciences de Lille,* 68 p., ronéo.

UNGEMACH P. et REBOUCAS A. (1973).- Modèles pour la gestion des eaux souterraines. Application à la zone semi-aride du Brésil (Nordeste). *Rapport B.R.G.M., 73 SGN 408 AME.,* 60 p., 28 fig., 13 tabl., 15 réf., ronéo.

VANDENBEUCH M. (1976).- Gestion des ressources en eau souterraine. Définition des projets d'exploitation. Prise en compte des principaux facteurs hydrodynamiques et économiques. Présentation des programmes MAPPLI et PLIBI. *Rapport B.R.G.M. 76 SGN 528 AME,* 51 p., 1 fig., 0 tabl., 5 réf., ronéo.

WATERLOT B et MARLIERE R. (1971).- Carte géologique 1/50 000 de Le Quesnoy.B.R.G.M. *Orléans*

WATERLOT G. (1957).- Carte tectonique du synclinal carbonifère de Bachant-Ferrière-la-Petite (Nord).*Rapport* B.R.G.M., A. *1136,* 2 p., 1 fig., ronéo.

WATERLOT G. (1957).- Carte tectonique du synclinal carbonifère Bachant-Ferrière-la-Petite (Nord). Commentaires de J. Ricour. *Rapport B R.G.M., A 1136,* 2 p., 1 fig., 1 ann., 1 réf., ronéo.

WATERLOT G., BEUGNIES A. et GODFRIAUX Y. (1967).- Carte géologique 1/50 000 de Maubeuge. B.R.G.M. *Orléans.*

WATERLOT G. et WATERLOT B. (1969).- Carte géologique 1/50 000 d'Avesnes.

# Annexes

ANNEXE I : LISTING DU PROGRAMME BILAN.

```
      INTEGER AN ,ANNEE
      COMMON ETP(600),B(600),BB(600),RFUC(600),ETR(600),I2(600),
     1   I3(600),P(600),T(600),ITHERM(15),IPLUV(16)
      DIMENSION AI(600),AK(12),MENS(12)
      DIMENSION ITEXT(16),TEXT1(7),TEXT2(8),IBUF(200),A(2,600)
      DATA ITEXT /4HJANV,4HRIER,4HMARS,4HAVRI,4HMAI ,4HJUIN,4HJUIL,4HAOUT
     1   ,4HSEPT,4HOCTO,4HNOVE,4HDECE/
      DATA IST /2HST /
       DATA TEXT1 /4HECHE,4HELLE ,4HDES ,4HTEMP,4HS (E,4HN MO,4HIS) /
      DATA TEXT2 /4HPLUV,4HIOSI,4HTE E,4HT EX,4HCEDE,4HNT ( ,4HEN M,
     1   4HM.) /
      DATA MENS /4HJANV,4HFEV. ,4HMARS,4HAVRI,4HMAI ,4HJUIN,4HJUIL,4HAOUT
     1   ,4HSEPT,4HOCT. ,4HNOV. ,4HDEC. /
      DATA AK /0.74,0.78,1.02,1.15,1.33,1.36,1.37,1.25,1.06,0.92,0.76,0.
     1 70/
      LEC = 1
      IMP = 3
      NBLOC = 0
      NUMB = 1
  300 NUM = 1
C
C     LECTURE DES DONNEES THERMOPLUVIOMETRIQUES
C
      READ(LEC,1020) RFUMAX,ICODE
      READ (LEC,1000) (ITHERM(I),I=1,15)
      READ (LEC,1000) (IPLUV(I),I=2,16)
      IYEAR = 0
      DO 120 I=1,50
      NN = (I-1)*12+1
      NM = NN+11
      READ (LEC,1030) IYEAR1,(I3(J),J=NN,NM)
      IF(I.EQ.1) ANNEE =IYEAR1+1900
      IF(IYEAR1.LE.IYEAR) GO TO 130
      IYEAR = IYEAR1
      DO 140 J=NN,NM
  140 T(J) = I3(J)
  120 CONTINUE
C
  130 IFIN = ANNEE+I-2
      NMAX = (IFIN-ANNEE+1)*12
      DO 150 J=1,12
      JK = J+NMAX
  150 P(J) = I3(JK)
      IF(IYEAR1.EQ.IYEAR) GO TO 220
      IK = I-1
      DO 160 I=2,IK
      NN = (I-1)*12+1
      NM = NN+11
  160 READ (LEC,1030) IYEAR1,(P(J),J=NN,NM)
C
C     IMPRESSION DU TITRE ET DES DONNEES THERMOPLUVIOMETRIQUES
C
  220 WRITE(IMP,2000) (IPLUV(I),I=2,16), (ITHERM(I),I=1,15),ANNEE,IFIN,
     1   RFUMAX,(MENS(I),I=1,12)
      NBANS = NMAX/12
      DO 200 I=1,130
  200 I3(I) = 0.0
      TOT = 0.0
      ISC = 0
      DO 100 I=1,NMAX
      IF (P(I) .GT.230.) ISC=1
      IJ = I-12*((I-1)/12)
      IST = ANNEE+(I-IJ)/12
      I2(IJ) = T(I)
      I3(IJ) = I3(IJ)+I2(IJ)/NBANS
      TOT = TOT+I2(IJ)/12.0
      IF(IJ.NE.12) GOTO 100
      WRITE (IMP,2200) IST,(I2(J),J=1,12),TOT
      I3(13) = I3(13)+TOT/NBANS
      TOT = 0.0
  100 CONTINUE
      WRITE(IMP,2300) (I3(J),J=1,13)
      WRITE(IMP,2100) (MENS(I),I=1,12)
      DO 110 I=1,NMAX
      IJ = I-12*((I-1)/12)
      IST = ANNEE+(I-IJ)/12
      I2(IJ) = P(I)
      TOT = TOT+I2(IJ)
      I3(IJ+13) = I3(IJ+13)+I2(IJ)/FLOAT(NBANS)
      IF(IJ.NE.12) GOTO 110
      WRITE (IMP,2200) IST,(I2(J),J=1,12),TOT
      I3(26) = I3(26)+TOT/FLOAT(NBANS)
      TOT = 0.0
  110 CONTINUE
C
C     CALCUL DES INDICES THERMIQUES MENSUELS ET ANNUELS
C     PUIS DES EVAPOTRANSPIRATIONS POTENTIELLE ET REELLE
C
      N=1
      RFU = RFUMAX
      IF(T(1).LT.0.0) T(1)=0.0
      AII = (T(1)*0.2)**1.514
      AI(1)=AII
   25 N=N+1
      IF (T(N).LT.0.0) T(N) = 0.0
      AI(N) = (T(N)*0.2)**1.514
      IF (N-12) 28,30,36
   28 AII=AII+AI(N)
      GO TO 25
   30 AII=AII+AI(N)
      DO 34 N=1,12
      L = N-12*((N-1)/12)
      CALL JEF (AII,L,N,T(N),P(N),AK(L),RFU,RFUMAX)
   34 CONTINUE
      N = 12
      GO TO 25
   36 AII=AII+AI(N)-AI(N-12)
      L = N-12*((N-1)/12)
      CALL JEF (AII,L,N,T(N),P(N),AK(L),RFU,RFUMAX)
      IF(N.LT.NMAX) GOTO 25
C
      WRITE(IMP,2700) (I3(J),J=14,26)
      WRITE (IMP,2800) (MENS(J),J=1,12)
      DO 210 I=1,NMAX
      IJ = I-12*((I-1)/12)
      IST = ANNEE+(I-IJ)/12
      I2(IJ) = B(I)
      TOT = TOT+I2(IJ)
      I3(IJ+26) = I3(IJ+26)+I2(IJ)/FLOAT(NBANS)
      IF (IJ.NE.12) GOTO 210
      WRITE (IMP,2200) IST,(I2(J),J=1,12),TOT
      I3(39) = I3(39)+TOT/FLOAT(NBANS)
      TOT = 0.0
  210 CONTINUE
      WRITE(IMP,2700) (I3(J),J=27,39)
C
C     IMPRESSION DES RESULTATS COMPLETS MOIS PAR MOIS
C
      IF(ICODE.EQ.0.OR.ICODE.EQ.10.OR.ICODE.EQ.20) GOTO 190
      WRITE (IMP,2300)
      BBM=BB(NMAX)/NMAX
      WRITE (IMP,2500)
      AN=ANNEE
      DO 190 I=1,NMAX
      L = I-12*((I-1)/12)
      BBA = BB(I)-BBM
      WRITE(IMP,48)I,AN,MENS(L),P(I),T(I),ETP(I),ETR(I),RFUC(I),B(I),BBA
      IF (L.NE.12) GOTO 190
      IJ = I-11
      PLUVA = 0.0
      TEMPA = 0.0
      ETPA = 0.0
      ETRA = 0.0
      RFUA = 0.0
      ECEA = 0.0
      DO 180 J=IJ,I
      ETPA = ETPA + ETP(J)/12.0
      ETRA = ETRA + ETR(J)/12.0
      PLUVA = PLUVA + P(J)/12.0
      TEMPA = TEMPA + T(J)/12.0
      RFUA = RFUA + RFUC(J)/12.0
  180 ECEA = ECEA + B(J)/12.0
      WRITE (IMP,2600) AN,PLUVA,TEMPA,ETPA,ETRA,RFUA,ECEA
      AN = AN+1
  190 CONTINUE
C
C     CALCUL ET IMPRESSION DES RESULTATS GLOBAUX
C
      CALL SYNT (NMAX,ANNEE)
C
C     TRACAGE DES COURBES PLUVIOSITE - EXCEDENT D'EAU SUR TABLE TRACANTE
C
      IF(ICODE.LT.10) GOTO 230
      IF(ICODE.LT.20) GOTO240
      VAL = ANNEE
      CALL IBENA (IBUF,200,10)
      CALL ECHEL(0.3,0.1,5.,.5.)
      CALL TRAS(1.,P(1),0)
      DO 102 J=1,NMAX
      X = FLOAT(J)
  102 CALL TRAS (X,P(J),1)
      CALL TRAS (1.0,0.,0)
      DO 103 J=1,NMAX
      X = FLOAT(J)
  103 CALL BETIRS (X,B(J),1,0.15,0.15,0.15,1,1)
      XYEND = FLOAT(NMAX)
      CALL BSAXLL (1.0,0.,XYEND,12.,1.,XYEND,TEXT1,28,0.0,1)
      CALL BSAXLL (1.0,0.,300.,10.,0.,300.,TEXT2,32,0,1,1)
      X = 5.
      K = NMAX/12
      DO 111 J=1,K
      CALL NOMBS (X,-10.0,0,VAL,-1,0.2,0.3,1.,0.)
```

BUS LILLE

ANNEXE I (suite)

```
      I = I+12.
  111 VAL = VAL+1
      CALL PCARS(15.,280.,0.,ITEXT,64,0.4,0.8,1.,0.)
      CALL PCARS (15.,260.,0.,IPLUV,60,0.3,0.5,1.,0.)
      CALL TRAS (-5.,-15.,0)
      X = FLOAT(NMAX)+5.
      CALL BETEPS (X,-15.,1,3)
      CALL BETEPS (X,315.,1,3)
      CALL BETEPS (-5.,315.,1,3)
      CALL BETEPS (-5.,-15.,1,3)
      NBLOC = 9999
      CALL PNUMA (0.,0.,NBLOC,0.,0.)

      GOTO 230
C
C     GRAPHE SUR IMPRIMANTE
C
  240 DO 5 I=1,NMAX
      IC = NMAX-I+1
      X2(I) = B(IC)
      X3(I) = P(IC)
    5 CONTINUE
      VAR = FLOAT(NMAX)
      XMIN = 0.0
      XMAX = 0.0
      WRITE (IMP,2400)
      CALL PLOTER (X3,NMAX,X2,NMAX,XMIN,XMAX,VAR,ANNEE)
  230 READ (LEC,1040) ICARD
      NUMB = NUMB+1
      IF(ICARD.NE.IST) GOTO 300
      STOP
   15 FORMAT (15X,I2,1X,I4,15X,I3,29X,I2,7X,I2)
   48 FORMAT (15X, 2H *,2X,I3,1X,'*',1X,I4,1X,'*',1X,A4,1X,'*',F6.1,1X
     1   1H*,F5.1,2H *,F5.0,2H *,F5.0,3H  *,F5.0,2H *,F6.0,3H  *,
     2   1X,F7.1,1X,'*')
 1000 FORMAT (15A4)
 1020 FORMAT(7X,F4.0,67X,I2)
 1030 FORMAT (5X,I2,2X,12F5.1)
 1040 FORMAT (A2)
 2000 FORMAT (40X,50(1H*),/  ,40X,1H*,48X,1H*,/  40X,'*  BILANS HYDROLO'
     1   'GIQUES MENSUEL ET INTERMENSUEL  *'/  40X,'*    CALCULES PAR '
     2   'LA METHODE DE THORNTHWAITE.    *',/  40X,1H*,48X,1H*,/  40X
     3,50(1H*)//////////10X,'LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES PROVIENNENT '
     4   'DE LA',1X , 15A4  /  10X,'LES DONNEES THERMOMETRIQUES PROVIEN'
     5   'NENT DE LA',1X, 15A4 ,      / 10X,'POUR LA PERIODE S ECHELONN'
     6   'ANT DE JANVIER ',I4,' A DECEMBRE ',I4,////10X,'LA RFU INITIAL'
     7   'E A ETE ETABLIE A 100 MILLIMETRES',// 10X,'TANDIS QUE LA RFU M'
     8   'AXIMALE A ',F5.1,//////  40X,'DONNEES THERMOMETRIQUES  (EN DE'
     9   'GRES)',///,21X,12(A4,4X),2X,'MOYENNE'/)
 2100 FORMAT (//////40X,'DONNEES PLUVIOMETRIQUES  (EN MILLIMETRES D
     1 EAU)', ///,21X,12(A4,4X),4X,'TOTAL',//    )
 2200 FORMAT ( 5X,'ANNEE ',I4,2X,12F8.1,F13.1)
 2300 FORMAT (1H1)
 2400 FORMAT (30X, 'GRAPHE DES VALEURS MENSUELLES DES PRECIPITATIONS',
     1   ' (SYMBOLE P)',/35X,              'ET DES EXCEDENTS D EAU ',
     2   ' (SYMBOLE E)',///41X,'L ABSCISSE EST DONNEE EN MILLIMETRES',//,
     3   //,/)
 2500 FORMAT (/16X,78('*'),/,16X,'*NUMERO* ANNEE* MOIS *PLUVIO.* TEMP.*
     1ETP *  ETR  * RFU  * EXED.  *ECART/MOY*'/16X,3(1H*,6X),'*',
     2'(MM)   *(DEG )* (MM) * (MM)  * (MM) * (MM)   *   (MM)  *',
     3 /  16X,78(1H*))/)
 2600 FORMAT (16X,78(1H*),/  16X,'* MOYENNE ANNEE ',I4,2H *,F6.1,2H *,
     12(F5.1,2H *),F6.1,2H *,F5.1,2H *,F6.1,3H  *,9X,1H*/16X,78(1H*),///)
 2700 FORMAT (/6X,'MOYENNE',4X,12F8.1,F13.1)
 2800 FORMAT (//////40X,'EXCEDENTS ( EN MILLIMETRES D EAU)',///   ,
     1   21X,12(A4,4X),4X,'TOTAL',/)
      END
      SUBROUTINE JEF (AII,L,N,TX,PX,AK,RFU,RFUMA)
C
      COMMON ETP(600),B(600),BB(600),RFUC(600),ETR(600),X2(600),
     1   X3(600),P(600),T(600),ITHERM(15),IPLUV(16)
      A=6.75E-07*AII**3-7.71E-05*AII*AII+1.79E-02*AII+0.49
      IF (TX.GT.0.0) GOTO 66
      ETP(N) = 0.0
      GO TO 68
   66 ETP(N) = 16.*AK*(10.*TX/AII)**A
   68 R = RFU+PX-ETP(N)
      IF(R.GT.0.0) GOTO 72
      ETR(N) = PX+RFU
      RFU=0.
      B(N)=0.
      GO TO 74
   72 IF(R.GT.RFUMA) GOTO 76
      ETR(N) = ETP(N)
      RFU=R
      B(N)=0.
      IF (N-1) 100,100,78
   76 RFU=RFUMA
      ETR(N) = ETP(N)
      B(N)=R-RFUMA
   74 IF (N-1) 100,100,78
  100 BB(N)=B(N)
      GO TO 79
   78 BB(N)=BB(N-1)+B(N)
   79 RFUC(N) = RFU
      RETURN
      END
      SUBROUTINE STAT (NMAX,IAN)
      COMMON ETP(600),B(600),BB(600),RFUC(600),ETR(600),X2(600),
     1   X3(600),P(600),T(600),ITHERM(15),IPLUV(16)
      DIMENSION PX(13),TX(13),ETPX(13),ETRX(13),BX(13),RFUX(13),MENS(14)
      DATA MENS /4HJANV,4HFEV.,4HMARS,4HAVRI,4HMAI ,4HJUIN,4HJUIL,4HAOUT
     1   ,4HSEPT,4HOCT.,4HNOV.,4HDEC.,4HMOYE,4HNNE /
        IMP = 3
C
C     INITIALISATION DES TABLEAUX A ZERO
C
      DO 100 I=1,13
      PX(I) = 0.0
      TX(I) = 0.0
      ETPX(I) = 0.0
      ETRX(I) = 0.0
      BX(I) = 0.0
  100 RFUX(I) = 0.0
C
C
C     CALCUL DES VALEURS INTERMENSUELLES
C
      R12 = 1.0/12.0
      XM = 12.0/FLOAT(NMAX)
      IFIN = IAN+NMAX/12-1
      DO 300 N=1,NMAX
      J = N-12*((N-1)/12)
      TX(J) = TX(J) + T(N)*XM
      PX(J) = PX(J) + P(N)*XM
      ETPX(J) = ETPX(J)+ETP(N)*XM
      ETRX(J) = ETRX(J)+ETR(N)*XM
      RFUX(J) = RFUX(J)+RFUC(N)*XM
      BX(J) = BX(J)+B(N)*XM
  300 CONTINUE
C
C     CALCUL DES MOYENNES INTERANNUELLES
C
      DO 200 I=1,12
      PX(13) = PX(13)+PX(I)*R12
      TX(13) =TX(13)+TX(I)*R12
      ETRX(13) =ETRX(13)+ETRX(I)*R12
      ETPX(13) = ETPX(13)+ETPX(I)*R12
      BX(13) = BX(13)+BX(I)*R12
  200 RFUX(13) = RFUX(13)+RFUX(I)*R12
C
      WRITE (IMP,2800)
      WRITE (IMP,2300) IAN,IFIN,(IPLUV(I),I=2,13)
      WRITE(IMP,2000) (MENS(I),I=1,14)
      WRITE(IMP,2100) (TX(I),I=1,13)
      WRITE(IMP,2200) (PX(I),I=1,13)
      WRITE(IMP,2300) (RFUX(I),I=1,12)
      WRITE(IMP,2400) (ETPX(I),I=1,13)
      WRITE(IMP,2500) (ETRX(I),I=1,13)
      WRITE(IMP,2600) (BX(I),I=1,13)
      WRITE (IMP,3000)
      WRITE(IMP,2800)
C
 2000 FORMAT(1X,130(1H*),/  2H *,10X,1H*,12(2X,A4,2X,1H*)
     1   /1X,2A4,1H*,/  1X,130(1H*),/   2H *,10X,1H*,12(8X,1H*),9X,1H*)
 2100 FORMAT (2H *,5X,1HT,4X,1H*,12(F7.2,2H *),F8.2,2H *)
 2200 FORMAT (2H *,5X,1HP,4X,1H*,12(F7.2,2H *),F8.2,2H *)
 2300 FORMAT (2H *,4X,3HRFU,3X,1H*,12(F7.2,2H *),9X,1H*)
 2400 FORMAT(2H *,4X,3HETP,3X,1H*,12(F7.2,2H *),F8.2,2H *)
 2500 FORMAT(2H *,4X,3HETR,3X,1H*,12(F7.2,2H *),F8.2,2H *)
 2600 FORMAT(2H *,2X,'EXEDENT',2H *,12(F7.2,2H *),F8.2,2H *)
 2800 FORMAT(1H1)
 2900 FORMAT(40X,55(1H*),/   40X,1H*,53X,1H*,/   40X,1H*,2X,
     1   'VALEURS INTERMENSUELLES ET INTERANNUELLES (EN MM.)',2H *,
     2   /   40X,'*  DU BILAN HYDROLOGIQUE DE L ANNEE MOYENNE ',
     3   I4,'-',I4,2H *,/,40X,1H*,2X,12A4,3X,1H*,/,40X,1H*,53X,1H*,/,
     4   40X,55(1H*),/,/,/,/,/,/,/,/)
 3000 FORMAT (2H *,10X,1H*,12(8X,1H*),9X,1H*,/     ,1X,130(1H*))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE PLOTER (A,N1,C,N2,XMIN,XMAX,VAR,IAN)
C
C
C
      DIMENSION A(N1),C(N1),IOUT(101),XX(11),MENS(12)
      DATA MENS /4HJANV,4HFEV.,4HMARS,4HAVRI,4HMAI ,4HJUIN,4HJUIL,4HAOUT
     1   ,4HSEPT,4HOCT.,4HNOV.,4HDEC. /
      DATA IBLNK,II,IPLUS,IXI,IMINUS,ISTAR,IO
     1   /1H ,1HI,1H+,1HE,1H-,1HP,1HO/
        IMP = 3
      IVAR3 = IFIX(VAR)
      IVAR4 = IFIX(VAR)+1
C
C     CALCUL DES MINIMA ET MAXIMA
C
      XMIN = A(1)
      XMAX = XMIN
      DO 100 I=1,N1
      IF(A(I).LT.XMIN) XMIN=A(I)
      IF(A(I).GT.XMAX) XMAX=A(I)
      IF(C(I).LT.XMIN) XMIN=C(I)
      IF(C(I).GT.XMAX) XMAX=C(I)
  100 CONTINUE
```

ANNEXE I (suite)

```
    1 DX = (XMAX-XMIN)/100.
C
C     IMPRESSION DES ABSCISSES
C
      XXX = XMIN
      DO 110 I=1,11
      XX(I) = XXX
      XXX = XXX + DX*10.
  110 CONTINUE
      WRITE(IMP,1003) (XX(I),I=1,11)
C
C     IMPRESSION DU CADRE DU GRAPHE
C
      DO 102 I=1,IVAR3
      JMOIS = I-12*((I-1)/12)
      JAN = IAN+(I-JMOIS)/12
       DO 103 J=1,101
      IOUT(J) = IBLNK
      IF(MOD(J-1,10).NE.0) GOTO 103
      IF(J.EQ.1.OR.J.EQ.101) IOUT(J)=II
  103 CONTINUE
      IF(MOD(I-1,12).EQ.0) GOTO 2
      IF(I.EQ.IVAR3) GOTO 2
      GOTO 3
    2 DO 104 J=1,101
      IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.IVAR3) GOTO 5
      IOUT(1) = IPLUS
      IOUT(101) = IPLUS
      GOTO 3
    5 IOUT(J) = IMINUS
      IF(MOD(J-1,10).EQ.0) IOUT(J)=IPLUS
  104 CONTINUE
C
C     IMPRESSION DU PREMIER JEU DE DONNEES
C
    3 DO 105 J=1,N1
      IF((IVAR4-I).NE.J) GOTO 105
      IX = IFIX((A(J)-XMIN)/DX+0.005)+1
      IOUT(IX) = ISTAR
  105 CONTINUE
C
C     IMPRESSION DU SECOND JEU DE DONNEES
C
      IF(N2.LE.0) GOTO 10
      DO 106 J=1,N2
      IF((IVAR4-I).NE.J) GOTO 106
      IX = IFIX((C(J)-XMIN)/DX+0.005)+1
      IF(IX.GT.100) IX=100
      IF(IOUT(IX).EQ.IO) GOTO 106
      IF(IOUT(IX).EQ.ISTAR) GOTO 4
      IOUT(IX) = IXI
      GOTO 106
    4 IOUT(IX) = IO
  106 CONTINUE
C
C     IMPRESSION DU GRAPHE LIGNE PAR LIGNE
C
   10 WRITE (IMP,1001) MENS(JMOIS),JAN,IOUT,I
  102 CONTINUE
C
C     IMPRESSION DES ABSCISSES
C
      WRITE(IMP,1003) (XX(I),I=1,11)
 1001 FORMAT (1X,A4,1X,I4,3X,101A1,I4)
 1003 FORMAT(9X,11(F6.1,4X))
      RETURN
      END
```

BUS LILLE

ANNEXE II$_1$ : LISTING DU PROGRAMME ANACHIM.

```
      DIMENSION COM(5,5),X(40)
      COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
      DOUBLE PRECISION XIDEN
      DOUBLE PRECISION FIN,ZI,BLANK
      DOUBLE PRECISION BUFFER(19),CONST(40)
      DIMENSION IE(40),IS(40),IFOR(20)
      DATA FIN /8HSTOP    /
      DATA Z,ZI,BLANK /999.99,'  999.99','        '/
      DATA CONST/'  RESI ','   PH ','   RH ','  CO2 ','  T.EAU','
     1' T.AIR','  O2 DIS','   TH ','  TAC ','   OI ','  NH4 ','
     2'  NO2 ','  NO3 ','   CL ','  SO4 ','   FE ','  R.S. ','
     3' SIO2 ','   CA ','   MG ','   NA ','    K ','   MN ','
     4'   AL ','  PO4 ','  CO3 ','  HCO3 ','   PB ','   AS ','
     5' CR6+ ','   CN ','    F ','   CU ','   ZN ',' PHENOL','
     6'  MES ','  DBO5 ','  DCO ','  N.TOT','  H2S ' /
      DATA (COM(1,J),J=1,5)/4H    ,4H  MO,4HYENN,4HE   ,4H    /
      DATA (COM(2,J),J=1,5)/4H    ,4H ECA,4HRT-T,4HYPE ,4H    /
      DATA (COM(3,J),J=1,5)/4H   V,4HALEU,4HR MA,4HXIMA,4HLE  /
      DATA (COM(4,J),J=1,5)/4H   V,4HALEU,4HR MI,4HNIMA,4HLE  /
      DATA (COM(5,J),J=1,5)/4HNOM,4HBRE ,4HDE V,4HALEU,4HRS  /
      DATA I /10*1.,.0554,.0217,.0161,.0282,.0208,.0358,2*1.,.0499,
     1   .0822,.04348,.0256,.0364,.111,.0316,.0333,.01639,.00965,1.,
     2   .05768,1.,.0526,.0364,.0315,.03059,4*1./


      LEC = 105
      IMP = 108

C     IFICH = NUMERO DU FICHIER DES DONNEES,(I5).
C     NV    = NOMBRE DE VARIABLES D'ENTREE,(I5).
C     NS    = NOMBRE DE VARIABLES DE SORTIE (NS<OU=NV),(I5).
C     IFOR  = FORMAT DES DONNEES,(20A4).

      READ (LEC,1000) IFICH,NV,NS
      NJ = 40
      WRITE (IMP,2000)
      WRITE (IMP,2001) IFICH,NV,NS
      READ (LEC,1001) IFOR
      WRITE (IMP,2002) IFOR

      L = 20
      IF (NV.LT.20) L=NV
      READ (LEC,1002) (IE(J),J=1,L)
      IF (NV.LE.20) GO TO 350
      L = 40
      IF (NV.LT.40) L=NV
      READ (LEC,1002) (IE(J),J=21,L)
      ICODE = 0
      DO 430 I=1,NV
      IF (IE(I).NE.0) GO TO 430
      ICODE = ICODE+1
      IE(I) = 2
  430 CONTINUE
      IF (ICODE.GT.0) WRITE (IMP,2003) ICODE
      WRITE (IMP,2004) (CONST(IE(J)),J=1,NV)

  350 IF (NS.NE.0) GO TO 320
      NS = NV
      DO 330 I=1,40
  330 IS(I) = IE(I)
      GO TO 340
  320 L = 20
      IF (NS.LT.20) L=NS
      READ (LEC,1002) (IS(J),J=1,L)
      IF (NS.LE.20) GO TO 340
      L = 40
      IF (NS.LT.40) L=NS
      READ (LEC,1002) (IS(J),J=21,L)
  340 CONTINUE
      ICODE = 0
      DO 440 I=1,NS
      IF (IS(I).NE.0) GO TO 440
      NS = NS-1
      DO 450 J=I,NS
  450 IS(J) = IS(J+1)
      ICODE = ICODE+1
  440 CONTINUE
      IF (ICODE.GT.0) WRITE(IMP,2005) ICODE,NS
      WRITE (IMP,2006) (CONST(IS(J)),J=1,NS)

      DO 140 I = 1,45
      DO 140 J = 1,45
  140 COR(I,J) = 9.99
      DO 100 I=1,300
      DO 110 J=1,55
  110 A(I,J) = 999.99
      READ (IFICH,IFOR) XIDEN(I),IDATE(I),(A(I,IE(J)),J=1,NV)
      IF (XIDEN(I).EQ.FIN) GO TO 110
  100 CONTINUE
  110 NMAX = I-1


C     CALCUL DE LA MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION

      CALL CORREL (40,NMAX)

C     IMPRESSION DE LA OU DES MATRICES DE DONNEES EN MG/L


      MCOD = 0
  400 K    = 1+MCOD*12
      L    = K+11
      IF (NS.LT.L) L=NS
      WRITE (IMP,3000) (CONST(IS(J)),J=K,L)
      WRITE (IMP,3003)
      WRITE (IMP,3001) (IS(J),J=K,L)
      WRITE (IMP,3002)
      DO 120 I=1,NMAX
      CALL DATE (IDATE(I),JO,MO,IA)
      IF ((I/5)*5+1.EQ.I) WRITE (IMP,2210)
      WRITE (100,2020) I,XIDEN(I),JO,MO,IA,(A(I,IS(J)),J=K,L)
      REWIND 100
      READ (100,2050) BUFFER
      REWIND 100
      DO 420 J=1,20
      IF (BUFFER(J).EQ.ZI) BUFFER(J)=BLANK
  420 CONTINUE
  120 WRITE (IMP,2050) BUFFER
      CALL STATIS (NMAX,NJ,1)
      WRITE (IMP,2100)
      DO 280 I=1,5
      NK = NMAX+1+I
  280 WRITE (IMP,2080)(COM(I,J),J=1,5),(A(NK,IS(J)),J=K,L)
      WRITE (IMP,2090)
      IF (L.EQ.NS) GO TO 410
      MCOD = MCOD+1
      GO TO 400
  410 CONTINUE


C     CALCUL DE LA POTABILITE ET DU FACIES CHIMIQUE DE L'EAU

      CALL CLASIF (NMAX,IMP)
      CALL STATIS (NMAX,55,44)
      WRITE (IMP,2100)
      DO 300 I=1,5
      L = NMAX+I+1
  300 WRITE (IMP,2190) (COM(I,J),J=1,5),(A(L,J),J=44,55)
      WRITE (IMP,2090)


C     CALCUL ET IMPRESSION DES ANALYSES EN MILLIEQUIVALLENTS/LITRE

      JM = 1
      DO 180 I=1,NMAX
      DO 180 J=1,NJ
      IF (A(I,J).EQ.999.99) GOTO 180
      A(I,J) = A(I,J)*X(J)
  180 CONTINUE
      JCODE = 1
      WRITE (IMP,2130)
  270 WRITE (IMP,2150)
      CALL BALANC (NMAX,NJ)
      DO 240 I=1,NMAX
      CALL DATE(IDATE(I),JOUR,MOIS,IAN)
      IF (A(I,NJ+1).EQ.999.99) GOTO 240
      IF ((JM/5)*5+1.EQ.JM) WRITE (IMP,2210)
      JM = JM+1
      WRITE (IMP,2120)XIDEN(I),JOUR,MOIS,IAN,A(I,19),A(I,20),
     1   A(I,22),A(I,21),A(I,11),A(I,14),A(I,26),A(I,27),A(I,15),
     2   A(I,13),A(I,12),A(I,NJ+2),A(I,NJ+1),A(I,NJ+3)
  240 CONTINUE
      CALL STATIS (NMAX,NJ+3,1)
      WRITE (IMP,2170)
      DO 290 I=1,5
      L = NMAX+I+1
  290 WRITE (IMP,2140) (COM(I,J),J=1,5),A(L,19),A(L,20),A(L,22),A(L,21),
     1   A(L,11),A(L,14),A(L,26),A(L,27),A(L,15),A(L,13),A(L,12),
     2   A(L,NJ+2),A(L,NJ+1),A(L,NJ+3)
      WRITE (IMP,2180)
C
C     CALCUL ET IMPRESSION DES PRINCIPAUX RAPPORTS IONIQUES
C
      IF (JCODE.EQ.2) GO TO 260
      CALL RAPPOR (IMP,NMAX)
      WRITE (IMP,2100)
      DO 310 I=1,5
      L = NMAX+I+1
  310 WRITE (IMP,2200) (COM(I,J),J=1,5),(A(L,J),J=44,52)
      WRITE (IMP,2030)
      WRITE (IMP,2160)
C
C     CALCUL DES POURCENTAGES DE MILLIEQUIVALENTS/LITRE
C
      DO 250 I=1,NMAX
      DO 250 J=1,NJ
```

BUS LILLE

## ANNEXE II$_1$ (suite)

```
      IF (A(I,J).EQ.999.99) GO TO 250
      A(I,J) = A(I,J)*100.0/A(I,NJ+3)
  250 CONTINUE
      JM = 1
      JCODE = 2
      GO TO 270
  260 CONTINUE
C
C     IMPRESSION DE LA MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION
      CALL SIMC (IMP,CONST)
C
C
 2020 FORMAT (1X,'*',I4,' * ',A8,2X,' * ',I2,'-',I2,'-',I4,' *',12F8.2,
     1   '*')
 2050 FORMAT (1A7,2A3,12A8,A1)
 2080 FORMAT (1X,5A4,12I,'*',12F8.2,'*')
 2090 FORMAT (1X,130(1H*))
 2100 FORMAT (/,1X,130(1H*))
 2120 FORMAT(' *',2X,A8,3X,'*',I3,'-',I2,'-',I4,' *',11F7.2,2X,3F7.2)
 2130 FORMAT (1H1,20X,'CONCENTRATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE DES'
     1   ' PRINCIPAUX IONS',/,/,/)
 2140 FORMAT (1X,5A4,8X,11F7.2,2X,3F7.2,' *')
 2150 FORMAT (1X,131(1H*),/,2H *,26X,1H*,11X,'C A T I O N S',13X,1H*,14X
     1,'A N I O N S',16X,1H*,22X,1H*,/,1X,131(1H*),/,' * IDENTIF.  * '
     2  ,'  DATE    *',5X,'CA     MG      K     ',
     3  ' NA    NH4  * CL    CO3   HCO3    SO4   NO3    NO2   ANIONS
     4 CATIONS SOMME *',/,1X,131(1H*),/,/)
 2160 FORMAT (1H1,20X,'QUANTITES EN REACTION POUR CENT (R*) DES',
     1   ' PRINCIPAUX IONS',/,/)
 2170 FORMAT (/,1X,130(1H*))
 2180 FORMAT (1X,130(1H*))
 2200 FORMAT (1X,5A4,6I,'*',9F7.2)
 2210 FORMAT (1X)
 1000 FORMAT (315)
 2000 FORMAT (1H0,39X,53(1H*),/,40X,1H*,51X,1H*,/,40X,
     1   '* PROGRAMME D INTERPRETATION DES ANALYSES CHIMIQUES *',/,
     2   40X,1H*,51X,1H*,/,40X,53(1H*),/,/,/,/)
 2001 FORMAT (10X,'IFICH = NUMERO DU FICHIER DES DONNEES =',I4,/,
     1   10X,'NV    = NOMBRE DE VARIABLES D ENTREE  =',I4,/,
     2   10X,'NS    = NOMBRE DE VARIABLES DE SORTIE =',I4)
 1001 FORMAT (20A4)
 2002 FORMAT (/,10X,'FORMAT DE DONNEES =  ',20A4)
 1002 FORMAT (20I4)
 2003 FORMAT (/,10X,'LE NOMBRE DE VARIABLES LUES EN ENTREE EST INFERI',
     1   'EUR A NV. LES',I2,' DERNIERES VARIABLES SONT ARBITRAIREMENT',
     2   ' LUES COMME DES PH (02)')
 2004 FORMAT (/,10X,'L ORDRE DES VARIABLES D ENTREE EST LE SUIVANT:',
     1   ' (VERIFIER!)',/,(10X,10A7))
 2005 FORMAT (/,/,10X,I2,' INDICE(S) DE VARIABLE DE SORTIE SONT EGAUX'
     1   ,' A ZERO. ILS NE SONT PAS PRIS EN COMPTE.',/,/,10X,
     2   'LE NOUVEAU NS =',I3)
 2006 FORMAT (/,/,10X,'L ORDRE DES VARIABLES DE SORTIE EST LE SUIVANT:',
     1   '(VERIFIER EGALEMENT!)',/,(10X,10A7))
 2190 FORMAT (1X,5A4,7I,12F7.2,18I,'*')
 3000 FORMAT (1H1,130('*'),/,' *',5X,'*',12I,'*',12I,'* ',12A8)
 3001 FORMAT (' *',5I,'*',12I,'*',12I,'* ',13(3I,I2,' *'))
 3002 FORMAT (1X,130('*'))
 3003 FORMAT (' *  NO *  IDENTIF.  *    DATE    * ',12(7I,'*'))
      END
      SUBROUTINE STATIS (NI,NJ,NSTART)
C
C     LA SUBROUTINE CALCULE LES SOMMES, MOYENNES, ECART-TYPES, MAXIMA
C     ET MINIMA DES VARIABLES ET LES STOCKE A LA FIN DE LA MATRICE A
C
      COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
      DOUBLE PRECISION XIDEN
      DO 100 J=NSTART,NJ
      X = 0.0
      X2 = 0.
      N = 0
      ZMIN = 9.E4
      ZMAX = -9.E4
      DO 200 I=1,NI
      Z = A(I,J)
      IF (Z.NE.999.99.AND.Z.LT.ZMIN) ZMIN = Z
      IF (Z.NE.999.99.AND.Z.GT.ZMAX) ZMAX = Z
      IF (Z.EQ.999.99) GO TO 200
      N = N+1
      X = X+Z
      X2 = X2+Z*Z
  200 CONTINUE
      IF (ZMAX.EQ.-9.E4 ) ZMAX = 0.
      IF (ZMIN.EQ.+9.E4) ZMIN = 0.
      A(NI+5,J) = ZMIN
      A(NI+4,J) = ZMAX
      A(NI+1,J) = X
      XMEAN = X/N
      A(NI+2,J) = XMEAN
      A(NI+6,J) = FLOAT(N)
      F = X2/N-XMEAN*XMEAN
      IF (F.LT.0.0) F=0.0
      A(NI+3,J) = SQRT(F)
  100 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE BALANC (NMAX,NV)
C
C     LA SUBROUTINE DETERMINE LA BALANCE IONIQUE EN CALCULANT LES SOMMES
C     DES CATIONS (A(I,NV+1)) ET DES ANIONS (A(I,NV+2). LEUR SOMME
C     EST PLACEE DANS A(I,NV+3)
      COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
      DOUBLE PRECISION XIDEN
      X = 999.99
      DO 100 I = 1,NMAX
      DO 100 J=1,NV
      IF (A(I,10).EQ.X.OR.A(I,20).EQ.X.OR.A(I,21).EQ.X.OR.A(I,22).EQ.X.
     1  OR.A(I,11).EQ.X.OR.A(I,14).EQ.X.OR.A(I,26).EQ.X.OR.A(I,27)
     2  .EQ.X.OR.A(I,15).EQ.X.OR.A(I,13).EQ.X.OR.A(I,12).EQ.X)
     3 GO TO 200
      A(I,NV+1) = A(I,19)+A(I,20)+A(I,22)+A(I,21)+A(I,11)
      A(I,NV+2) = A(I,14)+A(I,26)+A(I,27)+A(I,15)+A(I,13)+A(I,12)
      A(I,NV+3) = A(I,NV+1)+A(I,NV+2)
      GO TO 100
  200 A(I,NV+1) = X
  100 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE DATE  (L,J,M,I)
      J = INT(L*0.0001)
      M = INT(L*0.01)-100*J
      I = 1900+L-100*INT(L*0.01)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE RAPPOR (IMP,NI)
      COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
      DOUBLE PRECISION XIDEN,IBUF(13),IW,IBL,IW1,IGR
      DIMENSION R(9)
      DATA W,IW,IBL /999.99,' 999.99','      '/
      DATA W1,IW1,IGR /888.88,' 888.88','   >>>>' /
      WRITE (IMP,2030)
      WRITE (IMP,2070)
      JM = 1
      GO 140 I=1,NI
      DO 100 J=1,9
  100 R(J) = W
      V1 = A(I,15)
      V2 = A(I,14)
      V3 = A(I,13)
      V4 = A(I,19)
      V5 = A(I,20)
      V6 = A(I,21)
      V7 = A(I,22)
      V8 = A(I,26)
      V9 = A(I,27)
      IF (V1.NE.W.AND.V2.NE.W) R(1)=V1/V2
      IF (V2.LT.0.01) R(1) = W1
      IF (V3.NE.W.AND.V1.NE.W) R(2)=V3/V1
      IF (V1.LT.0.01) R(2) = W1
      IF (V3.NE.W.AND.V2.NE.W) R(3)=V3/V2
      IF (V2.LT.0.01) R(3) = W1
      IF(V4.NE.W.AND.V5.NE.W) R(4) =V4/V5
      IF (V5.LT.0.01) R(4) = W1
      IF(V4.NE.W.AND.V6.NE.W.AND.V7.NE.W) R(5)=V4/(V6+V7)
      IF (V6.LT.0.01.AND.V7.LT.0.01) R(5) = W1
      IF (V6.NE.W.AND.V7.NE.W) R(6)=V6/V7
      IF (V7.LT.0.01) R(6) = W1
      IF (V6.EQ.W.OR.V7.EQ.W.OR.V2.EQ.W) GO TO 110
      R(7) = (V6+V7)/V2
      IF (V2.LT.0.01) R(7) = W1
      IF(V1.NE.W) R(8)=(V6+V7)/(V2+V1)
      IF (V2.LT.0.01.AND.V1.LT.0.01) R(8) = W1
      IF (V8.NE.W.AND.V9.NE.W) R(9)=(V6+V7)/(V2+V1+V8+V9)
      IF (V2.LT.0.01.AND.V1.LT..01.AND.V8.LT..01.AND.V9.LT..01)R(9)=W1
  110 CALL DATE (IDATE(I),JOUR,MOIS,IAN)
      JN = 0
      DO 130 J=1,9
      L = J+43
      IF (R(J).EQ.W) JN=JN+1
  130 A(I,L) = R(J)
      IF (JN.EQ.9) GO TO 140
      IF ((JM/5)*5+1.EQ.JM) WRITE (IMP,2002)
      JM = JM+1
      WRITE(100,2000) XIDEN(I),JOUR,MOIS,IAN,(R(J),J=1,9)
      REWIND 100
      READ (100,1000) IBUF
      REWIND 100
      DO 120 J=1,13
      IF (IBUF(J).EQ.IW1) IBUF(J) = IGR
  120 IF (IBUF(J).EQ.IW) IBUF(J)=IBL
      WRITE(IMP,1000) IBUF
  140 CONTINUE
      CALL STATIS (NI,52,44)
      RETURN
 1000 FORMAT (4A7,9A7)
 2000 FORMAT (' *',2X,A8,3X,'*',I3,'-',I2,'-',I4,'*',9F7.2)
 2002 FORMAT (1X)
```

## ANNEXE $II_1$ (suite)

```
      2030 FORMAT (1H1)
      2040 FORMAT (1I,130(1H*),/,    1I,'*',13I,'*',11I,'*',3I,
     1'SO4    NO3    NO3    CA     CA      NA    NA+K   NA+K   NA+K',/,
     2  ' *  IDENTIF. *   DATE   * R---  R---  R---  R--',
     3'   R--     R--    R---   R---  R-----',/,2H *,13I,'*',11I,'*',3I
     4  ,'CL     SO4    CL     MG     NA+K    K      CL    CL+SO4',
     5  '  ANIONS',/,1X,130(1H*))
          END
          SUBROUTINE CLASIF (NMAX,IMP)
          DIMENSION IC(10),CLAS1(10),CLAS(10),POT(10),B(8,10)
          DIMENSION IB (8,5)
          COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
          DIMENSION RSEC(10),F(10)
          DOUBLE PRECISION Z5,Z6,Z7,Z8,Z9,Z10,Z11,Z12,IBL,IW,IBUF(19)
          DOUBLE PRECISION FACIE1 , FACIE2 ,XIDEN
          DATA IC/17,8,14,15,20,13,12,16,23,11/
          DATA RSEC /20,40,80,120,200,300,440,560,680,800/
          DATA F /2.08,2.12,2.16,2.20,2.25,2.32,2.37,2.41,2.45,2.48 /
          DATA CLAS /6. ,5.2 , 5.1 ,4.2 ,4.1 ,3. ,2. ,1. ,0. /
          DATA Z,Z12 /999.99,'       ' /
          DATA (B(1,I),I=1,10) /100.,.5,.20,.20,.5,.10,.0,.05,.03,.01 /
          DATA (B(2,I),I=1,10) /850.,.25,.20,.20,.10,.15,.0,.1,.1,.5 /
          DATA (B(3,I),I=1,10) /2000,.30,.20,.250,.125,.44,.1,.2,.1,.5 /
          DATA (B(4,I),I=1,10) /500,.32,.100,.200,.125,.44,.1,.2,.1,.5 /
          DATA (B(5,I),I=1,10) /500,.32,.250,.250,.125,.44,.1,.2,.1,.5 /
          DATA (B(6,I),I=1,10) /850,.25,.250,.250,.125,.44,.1,.3,.2,.5 /
          DATA (B(7,I),I=1,10) /2000,.18,.250,.250,.125,.44,.1,.1,.1,.5 /
          DATA (B(8,I),I=1,10) /2000,.50,.250,.250,.125,.44,.1,.2,.1,.5 /
          DATA (IB(1,J),J=1,5)/'VISC','OSE-','RATO','NNE ','    '/
          DATA (IB(2,J),J=1,5)/'CONS','EPVE','RIE ','    ','    '/
          DATA (IB(3,J),J=1,5)/'SUCR','ERIE','    ','    ','    '/
          DATA (IB(4,J),J=1,5)/'IRRI','GATI','ON  ','    ','    '/
          DATA (IB(5,J),J=1,5)/'EAU ','POTA','BLE ','    ','    '/
          DATA (IB(6,J),J=1,5)/'LAIT','ERIE','    ','    ','    '/
          DATA (IB(7,J),J=1,5)/'PAPE','TERI','E TE','IILE','    '/
          DATA (IB(8,J),J=1,5)/'BRAS','SERI','E, T','ANNE','RIE '/
          DATA Z5,Z6,Z7,Z8,Z9,Z10,Z11 / 8HBICARBO. ,8HSULFATEE ,8HCHLORURE ,
         1  8HCALCIQUE ,8HMAGNESIQ ,8HSODIQUE ,8HPOTASIQ.  /
          DATA ICLAS,IW,IBL / '10.0',' 999.99','       ' /
      C
          JM = 1
          WRITE (IMP,2030)
          DO 700 I=1,8
      700 WRITE (IMP,2020) CLAS(I),(B(I,J),J=1,10),(IB(I,J),J=1,5)
          WRITE (IMP,2040)
          WRITE (IMP,2050)
          DO 600 L=1,NMAX
          POTAB = 0.
          II = 6.
          DO 100 JJ=1,10
          J = IC(JJ)
          CLAS1(JJ) = 6.
          DO 200 I=1,8
          IF (A(L,J).GT.B(I,JJ)) CLAS1(JJ)=CLAS(I+1)
          IF ( A(L,J) .EQ.Z) CLAS1(JJ) = Z
          POT(JJ) = A(L,J)/B(5,JJ)
          IF (A(L,J).EQ.Z) POT(JJ) = Z
          IF (J.EQ.IC(2).AND.L.EQ.4) GO TO 300
      200 CONTINUE
          IF (JJ.GT.2) GO TO 400
      300 I = A(L,IC(1))
          Y = A(L,IC(2))
          IF (JJ.EQ.1.AND.I.LE.850..AND.Y.GT.500) CLAS1(JJ)=CLAS(6)
          IF (JJ.EQ.1.AND.I.LE.500..AND.I.GT.100.) CLAS1(JJ)=CLAS(4)
          IF(JJ.EQ.2.AND.Y.LE.25..AND.Y.GT.18.) CLAS1(JJ)=CLAS(2)
          IF(JJ.EQ.2.AND.Y.LE.50..AND.Y.GT.32.) CLAS1(JJ)=CLAS(8)
          IF(JJ.EQ.2.AND.Y.GT.50.) CLAS1(JJ)=CLAS(9)
          IF (A(L,J).NE.Z) GO TO 400
          CLAS1(JJ) = CLAS(1)
          POT (JJ) = Z
      400 IF (CLAS1(JJ).LT.II) II = CLAS1(JJ)
          IF(POT(JJ).NE.Z.AND.POTAB.LT.POT(JJ)) POTAB=POT(JJ)
      100 CONTINUE
          IF (POTAB.EQ.0.) II = Z
          IF (POTAB.EQ.0.) POTAB = Z
      C
      C     CALCUL DE L INDEX DE SATURATION DE LANGELIER (SAT)
      C
          SAT = Z
          IF (A(L,17).EQ.Z.OR.A(L,19).EQ.Z.OR.A(L,2).EQ.Z) GO TO 500
          IF (A(L,26).EQ.Z.AND.A(L,27).EQ.Z) GO TO 500
          DO 101 J=2,10
          F1 = 2.5
          IF (A(L,17).LE.RSEC(J).AND.A(L,17).GT.RSEC(J-1))F1=(F(J)+F(J-1))
         1  *.5
      101 CONTINUE
          SAT=A(L,2)- F1-ALOG(1./A(L,19))-ALOG(1./(A(L,26)+A(L,27)))
      500 CONTINUE
      C
      C     CALCUL DU FACIES CHIMIQUE DE L'EAU
      C
          Z1 = A(L,27)+A(L,26)
          Z2 = A(L,IC(4))
          Z3 = A(L,IC(3))
          IF (Z1.GT.Z2.AND.Z1.GT.Z3) FACIE1 = Z5
          IF (Z2.GT.Z1.AND.Z2.GT.Z3) FACIE1 = Z6
          IF (Z3.GT.Z1.AND.Z3.GT.Z2) FACIE1 = Z7
          IF(Z1.EQ.Z.OR.Z2.EQ.Z.OR.Z3.EQ.Z) FACIE1 = Z12
          Z1 = A(L,19)
          Z2 = A(L,IC(5))
          Z3 = A(L,21)
          Z4 = A(L,22)
          IF (Z1.GT.Z2.AND.Z1.GT.Z3.AND.Z1.GT.Z4) FACIE2 = Z8
          IF (Z2.GT.Z1.AND.Z2.GT.Z3.AND.Z2.GT.Z4) FACIE2 = Z9
          IF (Z3.GT.Z1.AND.Z3.GT.Z2.AND.Z3.GT.Z4) FACIE2 = Z10
          IF (Z4.GT.Z1.AND.Z4.GT.Z2.AND.Z4.GT.Z3) FACIE2 = Z11
          IF (Z1.EQ.Z.OR.Z2.EQ.Z.OR.Z3.EQ.Z.OR.Z4.EQ.Z) FACIE2 = Z12
          IF (FACIE1.EQ.Z12) FACIE2 = Z12
          IF (FACIE2.EQ.Z12) FACIE1 = Z12
          CALL DATE (IDATE(L),JO,MO,IA)
          WRITE(100,2000)L,JO,MO,IA,II,POTAB,(POT(J),J=1,10),SAT,FACIE1,
         1  FACIE2
          REWIND 100
          A(L,44) = POTAB
          A(L,55) = SAT
          I1 = 0
          JN = 0
          DO 103 I=45,54
          I1 = I1+1
          IF (POT(I1).EQ.Z) JN=JN+1
      103 A(L,I) = POT(I1)
          IF (SAT.EQ.Z) JN=JN+1
          IF (JN.EQ.11) GO TO 600
          READ (100,1000) IBUF
          REWIND 100
          DO 102 I=1,19
          IF (IBUF(I).EQ.IW) IBUF(I) = IBL
      102 CONTINUE
          IF ((JM/5)*5+1.EQ.JM) WRITE (IMP,2060)
          JM = JM+1
          WRITE (IMP,1000) IBUF
      600 CONTINUE
      C
      C
       1000 FORMAT (16A7,2A8,A3)
       2000 FORMAT (' *',I4,' *',I3,'-',I2,'-',I4,' *',13F7.2,2I,A8,1X,A8)
       2020 FORMAT (10X,'CLASSE ',F3.1,5F6.0,5F6.2,5I,5A4)
       2030 FORMAT (1H1    ,26X,'VALEURS LIMITES DES DIFFERENTES CLASSES DE PO
          1TABILITE',/,/,22X,'R.S.  TH    CL    SO4   MG    NO3   NO2',,
          2  '  FE    MN    NH4',/)
       2040 FORMAT (10X,'CLASSE 0.0    CLASSE DE MAUVAISE QUALITE CHIMIQUE',,
          1  /,/)
       2050 FORMAT (1I,131('*'),/,' *',5I,'*',12I,'* CLASSE*',16I,
          1  'I N D I C E S    D E    P O T A B I L I T E',15I,
          2  '* INDEX*',18I,'*',/,' * NO *   DATE   *  DE  ',
          3  78('*'),' DE  * FACIES CHIMIQUE  *',/,' *',5I,'*',12I,
          4  '* POTAB * GENER.* R.S. *  TH  * CL  * SO4 * MG  * NO3 *',
          5  '  NO2 *  FE  *  MN  * NH4 *SATUR.*',18I,'*',/,1I,131('*'),/,/)
       2060 FORMAT (1I)
          RETURN
          END
          SUBROUTINE CORREL (NV,NI)
          COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
          DOUBLE PRECISION XIDEN
          DIMENSION IDATA(300),YDATA(300),B(300),C(300)
          J=1
       50 K = J+1
       40 DO 200 I=1,NI
          B(I) = A(I,J)
      200 C(I) = A(I,K)
          CALL REPLIC (B,C,IDATA,YDATA,NJ,NI)
          R = 9.99
          IF (NJ.EQ.0) GO TO 100
          CALL STAT2 (IDATA,YDATA,NJ,R)
      100 COR (J,K) = R
          IF (K.EQ.NV) GOTO 30
          K = K+1
          GOTO 40
       30 J = J+1
          IF (J.NE.NV) GOTO 50
      C
          DO 300 I=1,NV
          COR(I,I) = 1.0
      300 CONTINUE
          RETURN
          END
          SUBROUTINE REPLIC (B,C,IDATA,YDATA,J,NI)
          DIMENSION B(NI),C(NI),IDATA(NI),YDATA(NI)
          J = 0
          DO 110 I=1,NI
          VALUE1 = B(I)
          VALUE2 = C(I)
          IF (VALUE1.EQ.999.99) GO TO 110
          IF (VALUE2.EQ.999.99) GO TO 110
          J = J+1
          IDATA(J) = VALUE1
```

BUS LILLE

ANNEXE $II_1$ (suite)

```
      YDATA(J) = VALUE2
  110 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE STAT2 (XDATA,YDATA,NS,R)
      DIMENSION XDATA(NS),YDATA(NS)
      R = 9.99
      IF (NS.LE.5) GOTO 101
      SUMX = 0.0
      SUMY = 0.0
      SUMXY = 0.0
      SUMXSQ = 0.0
      SUMYSQ = 0.0
      DO 100 I=1,NS
      X = XDATA(I)*100.0
      Y = YDATA(I)*100.0
      SUMX = SUMX + X
      SUMY = SUMY + Y
      SUMXY = X*Y+SUMXY
      SUMXSQ = SUMXSQ+X*X
  100 SUMYSQ = SUMYSQ+Y*Y
      IF (SUMX.LT.0.01.OR.SUMY.LT.0.01) GO TO 101
      XMEAN = SUMX/FLOAT(NS)
      YMEAN = SUMY/FLOAT(NS)
      XSTDEV = SQRT((FLOAT(NS)*SUMXSQ-SUMX*SUMX)/FLOAT(NS*(NS-1)))
      YSTDEV = SQRT((FLOAT(NS)*SUMYSQ-SUMY*SUMY)/FLOAT(NS*(NS-1)))
      COVAR = (FLOAT(NS)*SUMXY-SUMX*SUMY)/FLOAT(NS*(NS-1))
C
C     CALCUL DU COEFFICIENT DE CORRELATION R
      R = COVAR/(XSTDEV*YSTDEV)
  101 RETURN
        END
      SUBROUTINE SIMC (IMP,CONST)
      DIMENSION IBUF(40)
      COMMON XIDEN(300),IDATE(300),A(300,55),COR(45,45)
      DOUBLE PRECISION XIDEN
      DOUBLE PRECISION CONST(40),COMM(40)
      DATA IW,IBL /'9.99','    '/
      NVAR = 40
      ICOD1 = 0
      M = 0
      DO 102 J=2,NVAR
      IF (COR(1,J).EQ.9.99) ICOD1=ICOD1+1
  107 ICOD =0
      COMM (J) = CONST(J+M)
      DO 104 I=1,J-1
  104 IF (COR(I,J).EQ.9.99) ICOD=ICOD+1
      IF (ICOD.NE.J-1) GO TO 102
      M = M+1
      DO 103 K=J,NVAR-1
      DO 105 L=1,NVAR
      COR(K,L) = COR(K+1,L)
  105 COR(L,K) = COR(L,K+1)
  103 COR(K,K) = 1.00
      IF (J+M.GE.NVAR) GOTO 108
      GO TO 107
  102 CONTINUE
  108 CONTINUE

      WRITE (IMP,2003)
      M = NVAR-M
      COMM(1) = CONST(1)
      ND = 1
      IF (ICOD1.EQ.NVAR-1) ND = 2
      NF = 20
      IF (M.LT.20) NF = M
  106 WRITE (IMP,2001) (COMM(J),J=ND,NF)
      DO 100 I = 1,NF
      WRITE (100,2000) (COR(I,J),J=ND,NF)
      REWIND 100
      READ (100,1000) (IBUF(J),J=1,40)
      REWIND 100
      DO 200 J = 1,40
      IF (IBUF(J).EQ.IW) IBUF(J) = IBL
  200 CONTINUE
  100 WRITE (IMP,2004) COMM(I),(IBUF(J),J=1,40)
      IF (M.LT.20) GO TO 101
      IF (ND.GT.2) GO TO 101
      WRITE (IMP,2005)
      ND = 21
      NF = 40
      IF (M.GT.20.AND.M.LT.41) NF = M
      GO TO 106
  101 WRITE (IMP,2002)
      RETURN
 1000 FORMAT (1X,20(A2,A4))
 2000 FORMAT (1X,20(1X,F5.2))
 2001 FORMAT (8X,20A6)
 2002 FORMAT (1H1)
 2003 FORMAT (1H1,3X,          'MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRE',
     1   'LATION ',          ,,,,,)
 2004 FORMAT (1X,A6,1X,20(A2,A4))
 2005 FORMAT (,,,,,,)
      END
```

ANNEXE $II_2$ : SORTIE SUR IMPRIMANTE DU PROGRAMME ANACHIM.

```
**********************************************
*                                            *
* PROGRAMME D INTERPRETATION DES ANALYSES CHIMICUES *
*                                            *
**********************************************

IFICH = NUMERO DU FICHIER DES DONNEES = 105
NV    = NOMBRE DE VARIABLES D ENTREE  =  37
NS    = NOMBRE DE VARIABLES DE SORTIE =  36

FORMAT DE DONNEES =  (A8,1X,I6,13F5.2,/,15X,13F5.2,/,15X,13F5.2)

L ORDRE DES VARIABLES D ENTREE EST LE SUIVANT: (VERIFIER))
 RESI    PH     TH     TAC    OX     NH4    NO2    NO3    CL     SO4
 FE      R.S.   T.EAU  SIO2   CA     MG     NA     K      MN     AL
 PO4     CO3    HCO3   PB     AS     CR6+   CN     F      CU     ZN
 PHENOL  MES    DBO5   DCO    N.TOT  H2S    H2S

L ORDRE DES VARIABLES DE SORTIE EST LE SUIVANT:(VERIFIER EGALEMENT))
 RESI    PH     TH     TAC    OX     NH4    NO2    NO3    CL     SO4
 FE      R.S.   T.EAU  SIO2   CA     MG     NA     K      MN     AL
 PO4     CO3    HCO3   PB     AS     CR6+   CN     F      CU     ZN
 PHENOL  MES    DBO5   DCO    N.TOT  H2S
```

| NO | IDENTIF. | DATE | RESI | PH | TH | TAC | OX | NH4 | NO2 | NO3 | CL | SO4 | FE | R.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1 | 29 7 052 | 26- 1-1976 | | 7,60 | | | | | | | | | | |
| 2 | 38 2 004 | 2- 9-1976 | 1851,00 | 7,40 | | | 1,90 | ,20 | | | | | ,50 | |
| 3 | 29 7 052 | 5- 4-1968 | | 7,60 | 23,40 | 18,60 | 2,20 | ,00 | ,09 | 10,00 | 14,00 | 44,00 | | |
| 4 | 29 7 052 | 2- 3-1970 | | 6,90 | 14,20 | 10,80 | 3,00 | ,40 | ,10 | 10,00 | 10,00 | 30,00 | | |
| 5 | 29 7 052 | 26- 2-1976 | 2439,00 | 7,90 | | | 1,00 | ,65 | ,14 | 2,30 | 22,00 | 22,00 | | |
| 6 | 30 6 115 | 21-11-1966 | | 7,60 | 15,40 | 11,20 | 5,40 | ,40 | ,15 | 2,70 | 12,00 | 41,00 | ,20 | |
| 7 | 38 2 003 | 25- 5-1973 | 2298,00 | 7,90 | 22,20 | 18,20 | 2,80 | ,40 | ,26 | 6,20 | 18,00 | 43,00 | ,17 | |
| 8 | 38 2 003 | 14- 9-1973 | 1960,00 | 7,50 | 27,40 | 22,00 | 5,20 | ,70 | ,00 | ,00 | 26,00 | 41,00 | ,23 | |
| 9 | 38 2 003 | 1- 3-1974 | 2532,00 | 7,70 | 21,40 | 17,80 | 24,00 | ,70 | ,14 | 11,80 | 18,00 | 37,00 | ,23 | |
| 10 | 38 2 003 | 13- 9-1974 | 2272,00 | 7,70 | 20,90 | 18,00 | 4,40 | ,10 | ,00 | 4,30 | 22,00 | 38,00 | ,26 | |
| 11 | 38 2 003 | 19- 9-1975 | 2127,00 | 8,20 | 21,80 | 19,00 | 1,20 | ,40 | ,32 | 5,60 | 24,00 | 44,00 | | |
| 12 | 38 2 003 | 28- 5-1976 | 2222,00 | 7,10 | | 12,80 | 2,60 | ,36 | ,18 | 6,80 | 24,00 | 129,00 | ,35 | |
| 13 | 38 2 003 | 15-10-1976 | 1785,00 | 7,10 | | | 1,50 | ,50 | ,32 | 6,80 | 30,00 | 84,00 | ,12 | |
| 14 | 38 8 221 | 27- 2-1976 | 3030,00 | 8,70 | | 11,40 | 2,10 | ,47 | ,05 | 13,00 | 16,00 | 15,00 | | |
| 15 | 30 5 294 | 6- 1-1971 | 2703,00 | 7,20 | 27,50 | 20,40 | 2,80 | 1,60 | ,37 | 13,00 | 22,00 | 45,00 | | |
| 16 | 29 7 052 | 18- 9-1975 | 1785,00 | 8,00 | 25,80 | 23,80 | 3,30 | ,50 | ,23 | 6,80 | 26,00 | | | |
| MOYENNE | | | 2250,33 | 7,63 | 22,00 | 17,00 | 4,23 | ,49 | ,23 | 7,09 | 20,29 | 47,15 | ,26 | ,00 |
| ECART-TYPE | | | 367,80 | ,44 | 4,26 | 4,22 | 5,44 | ,35 | ,24 | 3,90 | 5,60 | 28,18 | ,11 | ,00 |
| VALEUR MAXIMALE | | | 3030,00 | 8,70 | 27,50 | 23,80 | 24,00 | 1,60 | ,90 | 13,00 | 30,00 | 129,00 | ,50 | ,00 |
| VALEUR MINIMALE | | | 1785,00 | 6,90 | 14,20 | 10,80 | 1,00 | ,00 | ,00 | ,00 | 10,00 | 15,00 | ,12 | ,00 |
| NOMBRE DE VALEURS | | | 12,00 | 16,00 | 10,00 | 12,00 | 15,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 14,00 | 13,00 | 8,00 | ,00 |

| NO | IDENTIF. | DATE | T.EAU | SIO2 | CA | MG | NA | K | MN | AL | PO4 | CO3 | HCO3 | PB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 1 | 29 7 052 | 26- 1-1976 | 4,00 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 38 2 004 | 2- 9-1976 | 13,50 | | 80,00 | 9,60 | 30,80 | 7,80 | ,07 | | | | | ,01 |
| 3 | 29 7 052 | 5- 4-1968 | 8,00 | | 70,00 | 14,00 | ,10 | ,00 | 1,00 | | 1,80 | ,00 | 226,00 | |
| 4 | 29 7 052 | 2- 3-1970 | 3,00 | | 44,00 | 7,00 | 6,00 | 3,00 | | | | ,00 | 171,00 | |
| 5 | 29 7 052 | 26- 2-1976 | 7,50 | | 44,00 | 7,40 | 10,60 | 3,90 | | | ,50 | ,00 | 183,00 | |
| 6 | 30 6 115 | 21-11-1966 | 7,00 | | 50,00 | 7,00 | | | | | | ,00 | 136,00 | ,00 |
| 7 | 38 2 003 | 25- 5-1973 | 15,90 | | 76,00 | 7,80 | 12,40 | 5,90 | ,00 | | ,00 | ,00 | 222,00 | |
| 8 | 38 2 003 | 14- 9-1973 | 17,40 | | 91,00 | 9,10 | 22,50 | 9,40 | ,00 | | ,00 | ,00 | 268,00 | |
| 9 | 38 2 003 | 1- 3-1974 | 9,50 | | 77,00 | 5,20 | 11,00 | 5,50 | ,00 | | ,00 | ,00 | 247,00 | |
| 10 | 38 2 003 | 13- 9-1974 | | | 66,00 | 10,70 | 17,00 | 7,00 | ,05 | | 3,40 | ,00 | 220,00 | |
| 11 | 38 2 003 | 19- 9-1975 | | | 72,00 | 9,20 | 14,00 | 7,00 | | | ,50 | ,00 | 234,00 | |
| 12 | 38 2 003 | 28- 5-1976 | 15,20 | | 90,00 | 10,00 | 24,20 | 6,30 | ,08 | | ,50 | ,00 | 256,00 | ,01 |
| 13 | 38 2 003 | 15-10-1976 | 9,80 | | 94,00 | 13,20 | 26,00 | 6,80 | ,15 | | ,50 | ,00 | 293,00 | ,01 |
| 14 | 38 8 221 | 27- 2-1976 | 4,20 | | 57,00 | 6,20 | 7,40 | 3,50 | | | ,50 | ,00 | 170,00 | |
| 15 | 30 5 294 | 6- 1-1971 | ,70 | | 74,00 | 22,00 | 15,00 | 6,20 | | | ,00 | ,00 | 260,00 | |
| 16 | 29 7 052 | 18- 9-1975 | | | 92,00 | 6,80 | 18,00 | 6,00 | | | | ,00 | 290,00 | |
| MOYENNE | | | 8,52 | ,00 | 72,47 | 9,68 | 15,50 | 5,59 | ,17 | ,00 | ,67 | ,00 | 241,57 | ,01 |
| ECART-TYPE | | | 5,27 | ,00 | 14,12 | 4,07 | 8,34 | 2,25 | ,32 | ,00 | ,91 | ,00 | 57,19 | ,00 |
| VALEUR MAXIMALE | | | 17,40 | ,00 | 94,00 | 22,00 | 30,80 | 9,40 | 1,00 | ,00 | 3,40 | ,00 | 293,00 | ,01 |
| VALEUR MINIMALE | | | ,70 | ,00 | 44,00 | 5,20 | ,10 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | 170,00 | ,00 |
| NOMBRE DE VALEURS | | | 13,00 | ,00 | 15,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 8,00 | ,00 | 11,00 | 14,00 | 14,00 | 4,00 |

BUS LILLE

ANNEXE $II_2$ (suite)

| NO | IDENTIF. | DATE | AS | CR6+ | CN | F | CU | ZN | PHENOL | MES | DBO5 | DCO | M.TOT | H2S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 1 | 29 7 052 | 26- 1-1976 | | | | | | | | 18.00 | 2.50 | 21.00 | 13.00 | .00 |
| 2 | 38 2 004 | 2- 9-1976 | | .01 | | .15 | .01 | .01 | .01 | 35.00 | 2.60 | 21.00 | | |
| 3 | 29 7 052 | 5- 4-1968 | | | | | | | .03 | 60.00 | 3.50 | 28.00 | | |
| 4 | 29 7 052 | 2- 3-1970 | | | | | | | .04 | 81.00 | 2.50 | 17.00 | | |
| 5 | 29 7 052 | 26- 2-1976 | | | | | | | | 20.00 | 2.60 | 20.00 | | |
| 6 | 30 6 115 | 21-11-1966 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | | .00 | 68.00 | 5.00 | 26.00 | | |
| 7 | 38 2 003 | 25- 5-1973 | | | | | .00 | | | 15.00 | 9.30 | 36.00 | | |
| 8 | 38 2 003 | 14- 9-1973 | | | | | .00 | | .00 | 15.00 | 4.90 | 37.00 | | |
| 9 | 38 2 003 | 1- 3-1974 | | | | | .00 | | .01 | 60.00 | 4.90 | 41.00 | | |
| 10 | 38 2 003 | 13- 9-1974 | | | | | .04 | | .01 | 15.00 | 6.50 | 31.00 | | |
| 11 | 38 2 003 | 19- 9-1975 | | | | | .50 | | .01 | 30.00 | 3.40 | 20.00 | | |
| 12 | 38 2 003 | 28- 5-1976 | .01 | .01 | .01 | .08 | .01 | .01 | .01 | 5.00 | 5.60 | 19.00 | | |
| 13 | 38 2 003 | 15-10-1976 | .01 | .01 | .01 | .72 | .01 | .01 | .01 | 25.00 | 3.40 | 19.00 | | |
| 14 | 38 8 221 | 27- 2-1976 | | | | | | | | 4.00 | 2.40 | 12.00 | | |
| 15 | 30 5 294 | 6- 1-1971 | | | | | | | .01 | 28.00 | 7.90 | 40.00 | 14.00 | |
| 16 | 29 7 052 | 18- 9-1975 | | | | | | | .00 | 39.00 | 6.70 | 29.00 | | |
| | MOYENNE | | .01 | .01 | .01 | .24 | .06 | .01 | .01 | 32.38 | 4.61 | 26.06 | 13.50 | .00 |
| | ECART-TYPE | | .00 | .00 | .00 | .28 | .15 | .00 | .01 | 22.51 | 2.06 | 8.58 | .50 | .00 |
| | VALEUR MAXIMALE | | .01 | .01 | .01 | .72 | .50 | .01 | .04 | 81.00 | 9.30 | 41.00 | 14.00 | .00 |
| | VALEUR MINIMALE | | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .01 | .00 | 4.00 | 2.40 | 12.00 | 13.00 | .00 |
| | NOMBRE DE VALEURS | | 3.00 | 4.00 | 3.00 | 4.00 | 9.00 | 3.00 | 12.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 2.00 | 1.00 |

VALEURS LIMITES DES DIFFERENTES CLASSES DE POTABILITE

| | R.S. | TH | CL | SO4 | MG | NO3 | NO2 | FE | MN | NH4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CLASSE 6.0 | 100. | 5. | 20. | 20. | 5. | 10.00 | .00 | .05 | .03 | .01 | VISCOSE-RAYONNE |
| CLASSE 5.2 | 850. | 25. | 20. | 20. | 10. | 15.00 | .00 | .10 | .10 | .50 | CONSERVERIE |
| CLASSE 5.1 | 2000. | 30. | 20. | 250. | 125. | 44.00 | .10 | .20 | .10 | .50 | SUCRERIE |
| CLASSE 4.2 | 500. | 32. | 100. | 200. | 125. | 44.00 | .10 | .20 | .10 | .50 | IRRIGATION |
| CLASSE 4.1 | 500. | 32. | 250. | 250. | 125. | 44.00 | .10 | .20 | .10 | .50 | EAU POTABLE |
| CLASSE 3.0 | 850. | 95. | 250. | 250. | 125. | 44.00 | .10 | .30 | .20 | .50 | LAITERIE |
| CLASSE 2.0 | 2000. | 18. | 250. | 250. | 125. | 44.00 | .10 | 1.00 | 1.00 | .50 | PAPETERIE TEXILE |
| CLASSE 1.0 | 2000. | 50. | 250. | 250. | 125. | 44.00 | .10 | 2.00 | 1.00 | .50 | BRASSERIE, TANNERIE |
| CLASSE 0.0 | CLASSE DE MAUVAISE QUALITE CHIMIQUE | | | | | | | | | | |

| NO | DATE | CLASSE DE POTAB. | INDICES DE POTARTLITE | | | | | | | | | | INDEX DE SATUR. | FACIES CHIMIQUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | GENER. | R.S. | TH | CL | SO4 | MG | NO3 | NO2 | FE | MN | NH4 | |
| 2 | 2- 9-1976 | 2,00 | 2.50 | | | | | .08 | | | 2.50 | .70 | .40 | | |
| 3 | 5- 4-1968 | 2.00 | 10.00 | | .73 | .06 | .18 | .11 | .23 | .90 | | 10.00 | .00 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 4 | 2- 3-1970 | 5.10 | 1.00 | | .44 | .04 | .12 | .06 | .23 | 1.00 | | | .80 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 5 | 26- 2-1976 | .00 | 1.40 | | | .09 | .09 | .06 | .05 | 1.40 | | | 1.30 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 6 | 21-11-1966 | .00 | 1.50 | | .48 | .05 | .16 | .06 | .06 | 1.50 | 1.00 | | .80 | | |
| 7 | 25- 5-1973 | .00 | 2.60 | | .69 | .07 | .17 | .06 | .14 | 2.60 | .85 | .00 | .80 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 8 | 14- 9-1973 | .00 | 1.40 | | .86 | .10 | .16 | .07 | .00 | .00 | 1.15 | .00 | 1.40 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 9 | 1- 3-1974 | .00 | 1.40 | | .67 | .07 | .15 | .04 | .27 | 1.40 | 1.15 | .00 | 1.40 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 10 | 13- 9-1974 | .00 | 9.00 | | .65 | .09 | .15 | .09 | .10 | 9.00 | 1.30 | .50 | .20 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 11 | 19- 9-1975 | .00 | 3.20 | | .68 | .10 | .18 | .07 | .13 | 3.20 | | | .80 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 12 | 28- 5-1976 | .00 | 1.80 | | | .10 | .52 | .08 | .15 | 1.80 | 1.75 | .80 | .72 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 13 | 15-10-1976 | .00 | 3.20 | | | .12 | .34 | .11 | .15 | 3.20 | .60 | 1.50 | 1.00 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 14 | 27- 2-1976 | 5.10 | .94 | | | .06 | .06 | .05 | .30 | .50 | | | .94 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 15 | 6- 1-1971 | .00 | 3.70 | | .86 | .09 | .18 | .18 | .30 | 3.70 | | | 3.20 | | BICARBO. CALCIQUE |
| 16 | 18- 9-1975 | .00 | 2.30 | | .81 | .10 | | .05 | .15 | 2.30 | | | 1.00 | | |
| | MOYENNE | | 3.06 | .00 | .69 | .08 | .19 | .08 | .16 | 2.32 | 1.29 | 1.62 | .98 | .00 | |
| | ECART-TYPE | | 2.66 | .00 | .13 | .02 | .11 | .03 | .09 | 2.13 | .56 | 3.18 | .71 | .00 | |
| | VALEUR MAXIMALE | | 10.00 | .00 | .86 | .12 | .52 | .18 | .30 | 9.00 | 2.50 | 10.00 | 3.20 | .00 | |
| | VALEUR MINIMALE | | .94 | .00 | .44 | .04 | .06 | .04 | .00 | .00 | .60 | .00 | .00 | .00 | |
| | NOMBRE DE VALEURS | | 15.00 | .00 | 10.00 | 14.00 | 13.00 | 15.00 | 14.00 | 14.00 | 8.00 | 8.00 | 15.00 | .00 | |

ANNEXE $II_2$ (suite)

CONCENTRATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE DES PRINCIPAUX IONS

| IDENTIF. | DATE | CATIONS CA | MG | K | NA | NH4 | ANIONS CL | CO3 | HCO3 | SO4 | NO3 | NO2 | ANIONS | CATIONS | SOMME |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 7 052 | 5- 4-1968 | 3,49 | 1,15 | ,00 | ,00 | ,00 | ,39 | ,00 | 3,70 | ,92 | ,16 | ,00 | 5,18 | 4,65 | 9,83 |
| 29 7 052 | 2- 3-1970 | 2,20 | ,58 | ,08 | ,26 | ,02 | ,28 | ,00 | 2,45 | ,62 | ,16 | ,00 | 3,22 | 3,13 | 6,35 |
| 29 7 052 | 26- 2-1976 | 3,19 | ,61 | ,10 | ,46 | ,04 | ,42 | ,00 | 3,00 | ,46 | ,04 | ,00 | 4,12 | 4,40 | 8,52 |
| 38 2 003 | 25- 5-1973 | 3,79 | ,44 | ,15 | ,54 | ,02 | ,51 | ,00 | 3,44 | ,89 | ,10 | ,01 | 5,45 | 5,15 | 10,59 |
| 38 2 003 | 14- 9-1973 | 4,04 | ,75 | ,24 | ,98 | ,04 | ,73 | ,00 | 4,39 | ,85 | ,00 | ,00 | 5,98 | 6,05 | 12,03 |
| 38 2 003 | 1- 3-1974 | 3,84 | ,43 | ,14 | ,48 | ,04 | ,51 | ,00 | 3,56 | ,77 | ,19 | ,00 | 5,03 | 4,93 | 9,95 |
| 38 2 003 | 13- 9-1974 | 3,29 | ,88 | ,18 | ,74 | ,01 | ,42 | ,00 | 3,61 | ,79 | ,07 | ,02 | 5,41 | 5,10 | 10,20 |
| 38 2 003 | 19- 9-1975 | 3,59 | ,76 | ,18 | ,61 | ,02 | ,48 | ,00 | 3,79 | ,92 | ,09 | ,01 | 5,48 | 5,16 | 10,63 |
| 38 2 003 | 28- 5-1976 | 4,49 | ,82 | ,16 | 1,14 | ,02 | ,48 | ,00 | 2,54 | 2,68 | ,11 | ,00 | 6,03 | 6,63 | 12,66 |
| 38 2 003 | 15-10-1976 | 4,69 | 1,09 | ,17 | 1,13 | ,03 | ,85 | ,00 | 4,80 | 1,75 | ,11 | ,01 | 7,51 | 7,11 | 14,62 |
| 38 8 221 | 27- 2-1976 | 2,84 | ,51 | ,09 | ,32 | ,03 | ,45 | ,00 | 2,28 | ,31 | ,21 | ,00 | 3,25 | 3,79 | 7,04 |
| 30 5 294 | 6- 1-1971 | 3,69 | 1,81 | ,46 | ,68 | ,09 | ,62 | ,00 | 4,10 | ,94 | ,21 | ,01 | 5,87 | 6,40 | 12,27 |
| MOYENNE | | 3,42 | ,80 | ,14 | ,67 | ,03 | ,57 | ,00 | 3,47 | ,98 | ,11 | ,01 | 5,46 | 5,21 | 10,37 |
| ECART-TYPE | | ,70 | ,33 | ,06 | ,36 | ,02 | ,16 | ,00 | ,87 | ,59 | ,06 | ,00 | 1,16 | 1,12 | 2,25 |
| VALEUR MAXIMALE | | 4,69 | 1,81 | ,24 | 1,14 | ,09 | ,85 | ,00 | 4,80 | 2,68 | ,21 | ,02 | 7,51 | 7,11 | 14,62 |
| VALEUR MINIMALE | | 2,20 | ,43 | ,00 | ,00 | ,00 | ,28 | ,00 | 2,15 | ,31 | ,00 | ,00 | 3,22 | 3,13 | 6,35 |
| NOMBRE DE VALEURS | | 15,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 14,00 | 13,00 | 14,00 | 14,00 | 12,00 | 12,00 | 12,00 |

| IDENTIF. | DATE | SO4/CL | NO3/SO4 | NO3/CL | CA/MG | CA/NA+K | NA/K | NA+K/CL | NA+K/CL+SO4 | NA+K/ANIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 2 004 | 2- 9-1976 | | | | 5,06 | 2,59 | 6,71 | | | |
| 29 7 052 | 5- 4-1968 | 2,32 | ,18 | ,41 | 3,04 | >>>> | >>>> | ,01 | ,00 | ,00 |
| 29 7 052 | 2- 3-1970 | 2,21 | ,26 | ,57 | 3,82 | 6,50 | 3,40 | 1,20 | ,37 | ,11 |
| 29 7 052 | 26- 2-1976 | ,74 | ,08 | ,06 | 5,25 | 5,70 | 4,69 | ,90 | ,52 | ,14 |
| 30 6 115 | 21-11-1966 | 2,52 | ,05 | ,13 | 4,34 | | | | | |
| 38 2 003 | 25- 5-1973 | 1,76 | ,11 | ,20 | 5,91 | 5,49 | 3,57 | 1,36 | ,49 | ,14 |
| 38 2 003 | 14- 9-1973 | 1,14 | ,00 | ,00 | 5,40 | 3,32 | 4,07 | 1,66 | ,77 | ,20 |
| 38 2 003 | 1- 3-1974 | 1,52 | ,25 | ,37 | 8,09 | 6,21 | 3,40 | 4,22 | ,48 | ,13 |
| 38 2 003 | 13- 9-1974 | 1,27 | ,09 | ,11 | 3,74 | 3,69 | 4,13 | 4,48 | ,65 | ,18 |
| 38 2 003 | 19- 9-1975 | 1,35 | ,10 | ,13 | 4,75 | 4,56 | 3,40 | 1,16 | ,49 | ,15 |
| 38 2 003 | 28- 5-1976 | 3,96 | ,04 | ,16 | 5,46 | 3,45 | 7,06 | 4,92 | ,39 | ,22 |
| 38 2 003 | 15-10-1976 | 2,07 | ,06 | ,13 | 4,32 | 3,60 | 6,40 | 4,54 | ,50 | ,18 |
| 38 8 221 | 27- 2-1976 | ,69 | ,67 | ,46 | 5,58 | 6,01 | 3,50 | ,91 | ,54 | ,14 |
| 30 5 294 | 6- 1-1971 | 1,54 | ,22 | ,34 | 2,04 | 4,55 | 4,11 | 1,31 | ,59 | ,14 |
| 29 7 052 | 18- 9-1975 | | | | ,15 | 8,21 | 4,00 | 5,40 | 4,28 | ,00 |
| MOYENNE | | 1,78 | ,16 | ,23 | 5,06 | 67,88 | 67,75 | 1,23 | ,48 | ,13 |
| ECART-TYPE | | ,84 | ,17 | ,16 | 1,72 | 227,71 | 227,74 | ,44 | ,18 | ,06 |
| VALEUR MAXIMALE | | 3,96 | ,67 | ,57 | 8,99 | 888,88 | 888,88 | 1,92 | ,77 | ,22 |
| VALEUR MINIMALE | | ,69 | ,00 | ,00 | 2,04 | 2,59 | 3,40 | ,01 | ,00 | ,00 |
| NOMBRE DE VALEURS | | 13,00 | 13,00 | 14,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 13,00 | 12,00 | 13,00 |

QUANTITES EN REACTION POUR CENT (RX) DES PRINCIPAUX IONS

| IDENTIF. | DATE | CATIONS CA | MG | K | NA | NH4 | ANIONS CL | CO3 | HCO3 | SO4 | NO3 | NO2 | ANIONS | CATIONS | SOMME |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 7 052 | 5- 4-1968 | 35,55 | 11,71 | ,00 | ,04 | ,00 | 4,02 | ,00 | 37,70 | 9,31 | 1,64 | ,02 | 52,69 | 47,31 | 100,00 |
| 29 7 052 | 2- 3-1970 | 34,59 | 9,07 | 1,21 | 4,11 | ,35 | 4,44 | ,00 | 37,93 | 9,83 | 2,54 | ,03 | 50,67 | 49,33 | 100,00 |
| 29 7 052 | 26- 2-1976 | 37,50 | 7,14 | 1,17 | 5,41 | ,42 | 7,29 | ,00 | 35,22 | 5,37 | ,43 | ,04 | 48,35 | 51,65 | 100,00 |
| 38 2 003 | 25- 5-1973 | 36,85 | 6,23 | 1,47 | 5,24 | ,22 | 4,93 | ,00 | 35,35 | 8,69 | ,97 | ,05 | 50,00 | 50,00 | 100,00 |
| 38 2 003 | 14- 9-1973 | 33,61 | 6,22 | 2,00 | 8,13 | ,32 | 6,10 | ,00 | 36,52 | 7,09 | ,00 | ,09 | 49,71 | 50,29 | 100,00 |
| 38 2 003 | 1- 3-1974 | 38,60 | 4,29 | 1,41 | 4,80 | ,39 | 5,10 | ,00 | 35,73 | 7,73 | 1,91 | ,03 | 50,50 | 49,50 | 100,00 |
| 38 2 003 | 13- 9-1974 | 32,28 | 8,62 | 1,76 | 7,25 | ,05 | 4,08 | ,00 | 35,34 | 7,75 | ,68 | ,19 | 50,07 | 49,94 | 100,00 |
| 38 2 003 | 19- 9-1975 | 33,78 | 7,11 | 1,69 | 6,72 | ,21 | 4,76 | ,00 | 35,60 | 8,41 | ,85 | ,07 | 51,49 | 48,51 | 100,00 |
| 38 2 003 | 28- 5-1976 | 35,46 | 6,49 | 1,27 | 9,00 | ,16 | 5,34 | ,00 | 20,19 | 21,19 | ,86 | ,03 | 47,62 | 52,38 | 100,00 |
| 38 2 003 | 15-10-1976 | 32,08 | 7,42 | 1,19 | 7,73 | ,19 | 5,79 | ,00 | 32,85 | 11,95 | ,75 | ,05 | 51,38 | 48,62 | 100,00 |
| 38 8 221 | 27- 2-1976 | 40,38 | 7,24 | 1,27 | 4,57 | ,37 | 6,41 | ,00 | 32,35 | 4,43 | 2,97 | ,02 | 46,17 | 53,83 | 100,00 |
| 30 5 294 | 6- 1-1971 | 30,09 | 14,74 | 1,29 | 5,31 | ,72 | 5,06 | ,00 | 33,39 | 7,63 | 1,71 | ,07 | 47,84 | 52,16 | 100,00 |
| MOYENNE | | 28,13 | 6,43 | 1,13 | 4,82 | ,23 | 4,79 | ,00 | 28,91 | 8,44 | 1,09 | ,04 | 49,71 | 50,29 | 100,00 |
| ECART-TYPE | | 14,11 | 3,98 | ,43 | 2,83 | ,20 | 2,10 | ,00 | 12,33 | 4,41 | ,90 | ,05 | 1,80 | 1,80 | ,00 |
| VALEUR MAXIMALE | | 40,38 | 14,74 | 2,00 | 9,00 | ,72 | 7,29 | ,00 | 37,70 | 21,19 | 2,97 | ,19 | 52,69 | 53,83 | 100,00 |
| VALEUR MINIMALE | | ,25 | ,06 | ,00 | ,04 | ,00 | ,03 | ,00 | ,22 | ,09 | ,00 | ,00 | 46,17 | 47,31 | 100,00 |
| NOMBRE DE VALEURS | | 15,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 15,00 | 14,00 | 14,00 | 14,00 | 13,00 | 14,00 | 14,00 | 12,00 | 12,00 | 12,00 |

BUS LILLE

ANNEXE $II_2$ (fin)

MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION

| | RESI | PH | T.EA | TH | TAC | OX | NH4 | NO2 | NO3 | CL | SO4 | FE | CA | MG | NA | K | MN | PO4 | HCO3 | CU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RESI | 1.00 | .43 | -.65 | -.16 | -.66 | .20 | .39 | -.11 | .64 | -.85 | -.50 | -.16 | -.76 | .06 | -.75 | -.69 | -.63 | -.08 | -.73 | -.01 |
| PH | | 1.00 | -.00 | .26 | .42 | .00 | -.15 | -.05 | .09 | -.09 | -.54 | -.29 | -.14 | -.42 | -.35 | -.12 | .02 | .03 | -.05 | .45 |
| T.EA | | | 1.00 | .29 | .22 | -.32 | -.44 | -.19 | -.66 | .44 | .44 | .26 | .52 | -.20 | .56 | .50 | -.32 | -.05 | .23 | .21 |
| TH | | | | 1.00 | .95 | -.07 | .46 | .02 | .09 | .80 | .43 | | .87 | .60 | .63 | .42 | | -.45 | .95 | .07 |
| TAC | | | | | 1.00 | .06 | .28 | .21 | -.20 | .71 | -.09 | -.29 | .70 | .33 | .58 | .43 | .05 | -.06 | 1.00 | .24 |
| OX | | | | | | 1.00 | .16 | -.09 | .24 | -.16 | -.13 | -.14 | .04 | -.31 | -.12 | .06 | -.25 | -.19 | .01 | -.24 |
| NH4 | | | | | | | 1.00 | -.05 | .27 | .24 | -.09 | -.47 | .10 | .49 | .04 | .24 | -.41 | -.61 | .23 | -.09 |
| NO2 | | | | | | | | 1.00 | -.00 | .28 | .07 | .04 | .00 | .21 | .25 | .32 | -.23 | .69 | .25 | .17 |
| NO3 | | | | | | | | | 1.00 | -.33 | -.09 | .01 | -.00 | .27 | -.46 | -.52 | .40 | -.12 | -.14 | .00 |
| CL | | | | | | | | | | 1.00 | .49 | -.05 | .84 | .26 | .86 | .75 | -.52 | -.17 | .74 | .19 |
| SO4 | | | | | | | | | | | 1.00 | .43 | .49 | .25 | .70 | .28 | -.10 | -.07 | .14 | -.14 |
| FE | | | | | | | | | | | | 1.00 | .10 | -.01 | .56 | .23 | .02 | .23 | -.54 | .12 |
| CA | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .24 | .70 | .53 | -.30 | -.32 | .76 | -.17 |
| MG | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .10 | .02 | .68 | .00 | .30 | .04 |
| NA | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .83 | -.45 | -.19 | .43 | -.33 |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -.89 | -.25 | .48 | .01 |
| MN | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .38 | .01 | .32 |
| PO4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -.06 | .01 |
| HCO3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | .11 |
| CU | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

| | PHENO | MES | DBO5 | DCO |
|---|---|---|---|---|
| RESI | .46 | -.22 | .02 | .02 |
| PH | -.44 | -.32 | -.04 | -.12 |
| T.EA | -.40 | -.47 | .23 | .00 |
| TH | -.44 | -.68 | .45 | .64 |
| TAC | -.49 | -.21 | .48 | .67 |
| OX | -.13 | .34 | .12 | .54 |
| NH4 | -.24 | -.11 | .33 | .43 |
| NO2 | -.14 | -.25 | .41 | .19 |
| NO3 | .54 | .20 | -.04 | -.02 |
| CL | -.59 | -.63 | .19 | .10 |
| SO4 | -.19 | -.26 | .20 | -.12 |
| FE | .31 | -.09 | -.40 | -.34 |
| CA | -.49 | -.45 | .31 | .25 |
| MG | .09 | -.13 | .28 | .28 |
| NA | -.67 | -.44 | .11 | -.03 |
| K | -.81 | -.47 | .31 | .28 |
| MN | .97 | .57 | -.38 | -.18 |
| PO4 | .44 | .06 | -.07 | -.13 |
| HCO3 | -.49 | -.21 | .35 | .49 |
| CU | .25 | -.03 | -.31 | -.35 |
| PHENO | 1.00 | .53 | -.54 | -.35 |
| MES | | 1.00 | -.18 | .11 |
| DBO5 | | | 1.00 | .73 |
| DCO | | | | 1.00 |

ANNEXE III : LISTING DU PROGRAMME ROSE.

```
      INTEGER F(20)
      COMMON IBUF(200),JF,NF(16),IM,TM,IN,TN,IMAI,TMAI,FS,JS,IBV,ILC,IL8
     1   ,IRP,IRS,ILD,NCURV
      DIMENSION DI(8),DT(8)
      DIMENSION ITEXT(8)
      DIMENSION D(10),C(8),DM(10)
      DATA ITEXT/4HRS  ,4HMG  ,4HNA+K,4HCA  ,4HCL  ,4HSO4 ,4HNO3 ,4HHCO3/
      DATA LEC,IMP /105,108/
      DATA DI / -.1,0.2,0.3,0.1,-.2,-.7,-.8,-.5 /
      DATA DT / 0.3,0.2,0.0,-.3,-.5,-.5,-.1,0.2 /
      NCURV = 1
      DEPI = 0.
C
C     1 CARTE : LECTURE DU TITRE
C
      READ (LEC,1000) (NF(J),J=1,15)
      WRITE(IMP,2000) (NF(J),J=1,15)
C
C     2 CARTE : LECTURE DE L'ABSCISSE MINIMALE              IM
C                       DE L'ORDONNEE MINIMALE              TM
C                       DE L'ABSCISSE MAXIMALE              IN
C                       DE L'ORDONNEE MAXIMALE              TN
C                       DU FACTEUR D'ECHELLE                FE
C                       DU NO DE FICHIER DES DONNEES        NF
C                       DU CODE IC  =1 SI DONNEES EN MG/L,=0 EN ME
C                       DU CODE JS: =1 SI TRACAGE D'UN FOND DE CARTE
C                       DU NO DE FICHIER DES DONNEES DU FOND DE CATE :JF
C     .                 DE L'ECHELLE DE LA CARTE            IS
C
      READ (LEC,1001) IM,TM,IN,TN,FE,NF,IC,JS,JF,IS
      WRITE (IMP,2001) IM,TM,IN,TN,FE,NF,IC,JS,JF,IS
C
C     3 CARTE: LECTURE DES OPTIONS CARTOGRAPHIQUES DANS LE CAS OU JS=1
C
      IF (JS.NE.1) GO TO 105
      READ(LEC,1006) IBV,ILC,IL8,IRP,IRS,ILD
 1006 FORMAT (6I2)
      WRITE (IMP,2006) IBV,ILC,IL8,IRP,IRS,ILD
 2006 FORMAT (/,/,5X,'FOND CARTOGRAPHIQUE: PARAMETRES DEMANDES',
     1   /,2X,'BASSINS VERSANTS PRINCIPAUX',I3,
     2   /,2X,'POINTS-LIMITES DE CARTES 1/50000',I3,
     3   /,2X,'POINTS-LIMITES DE 1/8 DE CARTES',I3,
     4   /,2X,'RIVIERES PRINCIPALES',I3,
     5   /,2X,'RIVIERES SECONDAIRES',I3,
     6   /,2X,'LIMITES DEPART.,COTIE.,FRONTAL.',I3,/,/)
  105 CONTINUE
C
C     4 CARTE : LECTURE DE LA POSITION DE RS,MG,NA,K,CA,CL,SO4,NO3,HCO3,
C     CO3
C
      READ (LEC,1002) N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
      WRITE (IMP,2002) N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10
C
C     5 CARTE : LECTURE DU FORMAT DES DONNEES
C
      READ (LEC,1003) F
      WRITE (IMP,2003) F
C
C     6 CARTE :LECTURE DES VALEURS CORRESPONDANT AU MANQUE D'INFORMATION
C
      READ (LEC,1004) DM
      WRITE(IMP,2004) DM
      FS = 100000./IS
C
  106 CALL IBENA (IBUF,200,777)
      IMAI = (IN-IM)*FS
      TMAI = (TN-TM)*FS
      CALL PNUMA (DEPI,0.,NCURV,-2.,-2.)
      CALL PLUMA (0)
      CALL BBB (0.,0.,IMAI,0.)
      CALL BBB (IMAI,0.,IMAI,TMAI)
      CALL BBB (IMAI,TMAI,0.,TMAI)
      CALL BBB (0.,TMAI,0.,0.)
      CALL CADRE (0.,-0.8,IMAI,-0.2,IM,FS,1.,0.)
      CALL CADRE (IMAI,TMAI+0.3,IMAI,TMAI+0.2,IM,FS,1.,0.)
      CALL CADRE (0.,-0.3,IMAI,-.2,TM,FS,0.,1.)
      CALL CADRE ( IMAI,IMAI+0.8,TMAI,TMAI+0.2,TM,FS,0.,1.)
      IF(JS.NE.0)CALL FOND
C
C     7 CARTE : LECTURE DES DONNEES
C
      CALL PLUMA (1)
      DO 100 I=1,200
      READ (NF,F) X,Y,I1,I2,I3,ID,(D(J),J=1,10)
      IF (X.EQ.888.88.AND.Y.EQ.888.88) GO TO 104
      IF (X.GT.IN.OR.X.LT.IM) GOTO 100
      IF (Y.GT.TN.OR.Y.LT.TM) GOTO 100
      DO 103 J=1,10
      IF (D(J).EQ.DM(J)) GO TO 100
  103 CONTINUE
      IF (IC.EQ.0) GOTO 101
      C(2) = D(N2)*.08224
      C(3) = D(N3)*.04348+D(N4)*.02558
      C(4) = D(N5)*.04990
      C(5) = D(N6)*.02820
      C(6) = D(N7)*.02082
      C(7) = D(N8)*.01613
      C(8) = D(N9)*.01639+D(N10)*.03333
      GO TO 102
  101 C(2) = D(N2)
      C(3) = D(N3)+D(N4)
      C(4) = D(N5)
      C(5) = D(N6)
      C(6) = D(N7)
      C(7) = D(N8)
      C(8) = D(N9)+D(N10)
  102 CONTINUE
      WRITE (IMP,2005) X,Y,I1,I2,I3,ID,D(N1),(C(J),J=2,8)
      C(1) = D(N1)*.00500
      X = (X-IM)*FS
      Y = (Y-TM)*FS
      CALL ROSE (X,Y,FE,I3,C)
  100 CONTINUE
  104 CALL PLUMA(0)
      X = IMAI+C(8)*FE+2.
      Y = TMAI-TMAI*0.1
      CALL ROSE (X,Y,FE,I3,C)
      ANGLE = 0.0
      DO 108 I=1,8
      X1 =(FE*C(I)*SIN(ANGLE)+X)+DX(I)
      Y1 =(FE*C(I)*COS(ANGLE)+Y)+DY(I)
      CALL PCARS (X1,Y1,0,ITEXT(I),4,0.2,0.3,1.,0.)
  108 ANGLE = ANGLE+0.7854
      CALL TRAS (-1.,-1.,0)
      X = IMAI+2.*(C(8)*FE)+3.
      Y = TMAI+3.
      CALL BETEPS (X,-1.,1,4)
      CALL BETEPS (X,Y,1,4)
      CALL BETEPS (-1.,Y,1,4)
      CALL BETEPS (-1.,-1.,1,4)
      READ (LEC,1005) IM,TM,IN,TN
      IF (IM.EQ.0.0.AND.TM.EQ.0.0) GO TO 107
      NCURV = NCURV+1
      REWIND NF
      REWIND JF
      DEPI = X+10.
      GO TO 106
  107 CONTINUE
      NBLOC = 9999
      CALL PNUMA(DEPI,0.,NBLOC,0.,0.)
C
 1000 FORMAT (15A4)
 1001 FORMAT (4F10.3,F5.2,4I5,I6)
 1002 FORMAT (10I3)
 1003 FORMAT (20A4)
 1004 FORMAT (10F8.2)
 1005 FORMAT (4F10.3)
C
 2000 FORMAT (1HO,20X,76('*'),/,21X,'* PROGRAMME   ROSE : '
     1   'REPRESENTATION SPACIALE DES FACIES CHIMIQUES DES EAUX *',/,
     2   21X,76('*'),/,/,/,/,/,/,10X,'TITRE = ',15A4,/,/,/)
 2001 FORMAT (1X,4F10.3,F5.2,4I5,I6)
 2002 FORMAT (/,' POSITION DE RS   MG   NA   K   CA   CL   SO4  NO3'
     1   '  HCO3 CO3',/,10I5/10I5)
 2003 FORMAT (/,' FORMAT DES DONNEES = ',20A4,/)
 2004 FORMAT (/,' VALEURS CORRESPONDANT AU MANQUE D INFORMATION :'
     1   ,'      RS      MG      NA      K      CA      CL      SO4'
     2   ,'     NO3     HCO3     CO3',/,/,48X,10F8.3,/)
 2005 FORMAT (1X,'ABSCISSE  ORDONNEE  IDENTIFICATION   DATE      RS'
     1   '      MG     NA+K     CA      NO3     SO4     CL   HCO3+CO3',
     2   /,1X,2(F8.3,2X),2X,3A4,2X,I6,8F8.2,/,/)
      END
      SUBROUTINE BBB (X1,Y1,X2,Y2)
      CALL TRAS (X1,Y1,0)
      CALL TRAS (X2,Y2,1)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE CADRE (R,S,T,U,V,FS,COSA,SINA)
      W = 0.0
      W1 = 0.0
      DO 110 I=1,1000
      IF (COSA) 130,130,140
  140 CALL BBB (W,R,W,U)
      X = W-0.3
      Y = S
      GO TO 150
  130 CALL BBB (R,W,U,W)
      X = S
      Y = W-0.3
  150 FNP = W/FS+V
      REP = W-W1
      IF (REP.LT.1..AND.I.NE.1) GO TO 100
      CALL NOMBS (X,Y,0,FNP,-1.0,2,0.3,COSA,SINA)
      W1 = W
```

BUS LILLE

## ANNEXE III (suite)

```
      100 W = W+FS
          IF (W.GT.T) GO TO 120
      110 CONTINUE
      120 RETURN
          END
          SUBROUTINE FOND
          COMMON IBUF(200),JF,MF(16),IM,TM,IN,TN,IMAI,TMAI,FS,JS,IBV,ILC,IL8
         1   ,IRP,IRS,ILD,NCURV
          DATA IFIN /'FI'/
C
          IF (IBV.NE.1) GO TO 101
          CALL CCC (2,0.8,0.15,0.2)
C
      101 IF (ILD.NE.1) GO TO 102
          CALL CCC (2,0.2,0.1,0.2)
C
      102 IF (IRP.NE.1) GO TO 103
          CALL PLUMA (2)
          CALL CCC (1,0.0,0.0,0.0)
C
      103 IF (IRS.NE.1) GOTO 104
          CALL CCC (1,0.0,0.0,0.0)
          CALL PLUMA (0)
C
      104 IF (ILC.NE.1) GO TO 112
          DO 116 I=1,1000
          READ (JF,1001) ICOD,X,Y
          IF (ICOD.EQ.IFIN) GO TO 112
          IF (X.GT.IN.OR.X.LT.IM) GO TO 116
          IF (Y.GT.TN.OR.Y.LT.TM) GO TO 116
          X = (X-IM)*FS
          Y = (Y-TM)*FS
          CALL BECENA (X,Y,0.9,.5,.5,1.,0.)
      116 CONTINUE
C
      112 IF (IL8.NE.1) GO TO 113
          DO 117 I=1,1000
          READ (JF,1001) ICOD,X,Y
          IF (ICOD.EQ.IFIN) GO TO 113
          IF (X.GT.IN.OR.X.LT.IM) G O TO 117
          IF (Y.GT.TN.OR.Y.LT.TM) GO TO 117
          X = (X-IM)*FS
          Y = (Y-TM)*FS
          CALL BECENA (X,Y,0.9,0.5,0.5,1.,0.)
      117 CONTINUE
      113 CONTINUE
          CALL PCARS (2.,IMAI+1.5,0,MF,60,0.5,0.8,1.,0.)
          RETURN
     1000 FORMAT (A2,2F6.2)
     1001 FORMAT (A2,2I,F6.2,4I,F6.2)
     1002 FORMAT (10I,I4,2F10.2)
          END
          SUBROUTINE CCC (ITRA2,D1,D2,D3)
          COMMON IBUF(200),JF,MF(16),IM,TM,IN,TN,IMAI,TMAI,FS,JS,IBV,ILC,IL8
         1   ,IRP,IRS,ILD,NCURV
          DIMENSION A(2,4000),II(2000),TT(2000)
          INTEGER ETAPAS,ETAPRE
          DATA ISTOP,IFIN /'ST','FI'/
      106 DO 104 I=1,4000
           READ (JF,1001) ICOD,A(1,I),A(2,I)
          IF (ICOD.EQ.ISTOP.OR.ICOD.EQ.IFIN) GO TO 105
      104 CONTINUE
      105 MAI = I-1
          ETAPAS = 1
          N = 1
      100 J =0
          DO 101 I=N,MAI
          J = J+1
          X = (A(1,I)-IM)*FS
          Y = (A(2,I)-TM)*FS
          ETAPRE = 0
          IF (X.LT.0..OR.X.GT.IMAI) ETAPRE = 2
          IF (Y.LT.0..OR.Y.GT.TMAI) ETAPRE = 1
          IF (N.EQ.1.AND.ETAPRE.EQ.0) ETAPAS=0
          IF (ETAPRE.GE.1.AND.ETAPAS.GT.0) GO TO 500
          IF (ETAPAS.EQ.0.AND.ETAPRE.EQ.0) GO TO 700
          CALL CALCUL ( X,Y,X1,Y1,ETAPRE,ETAPAS,X2,Y2,IMAI,TMAI)
          II(J) = X2
          TT(J) = Y2
          X1 = X
          Y1 = Y
          IF (ETAPAS.EQ.0) GO TO 102
          J = J + 1
      700 II(J) = X
          TT(J) = Y
      500 X1 = X
          Y1 = Y
          IF (ETAPRE.EQ.0) GO TO 101
          GO TO 102
      101 ETAPAS = 0
      102 IF(J.NE.1) CALL BSCURV(II,TT,J,2,0.,0.,.1,ITRA2,D1,D2,D3)
          IF (ETAPAS.EQ.0.AND.ETAPRE.GT.0) ETAPAS = ETAPRE
          N = N+J
          IF (N-MAI) 100,103,103
      103 IF (ICOD.EQ.ISTOP) GO TO 106
          RETURN
     1001 FORMAT (A2,2I,F6.2,4I,F6.2)
          END
          SUBROUTINE CALCUL (X,Y,X1,Y1,K,L,X2,Y2,IMAI,TMAI)
C
C     LA SUBROUTINE PERMET L'EXTRAPOLATION DE POINTS SITUES
C     SUR LE CADRE DU GRAPHE
C
          IF (K.EQ.1.OR.L.EQ.1) GOTO 100
          IF (X1.LT.0.0.OR.X.LT.0.0) X2 = 0.0
          IF (X1.GT.IMAI.OR.X.GT.IMAI) X2 = IMAI
          Y2 = Y1 - ((X1-X2)/(X1-X))*(Y1-Y)
          GO TO 101
      100 IF (Y1.LT.0.0.OR.Y.LT.0.0) Y2 = 0.0
          IF (Y1.GT.TMAI.OR.Y.GT.TMAI) Y2 = TMAI
          X2 = X1-((X1-X)/(Y1-Y))*(Y1-Y2)
      101 CONTINUE
          RETURN
          END
          SUBROUTINE ROSE (X,Y,ECHEL,I3,C)
C
C
C     LA SUBROUTINE ROSE PERMET DE TRACER (SUR TABLE TRACANTE) LE DIAGRAMME
C     EN ETOILE REPRESENTANT LES COMPOSANTS PRINCIPAUX DU CHIMISME D'UNE
C     EAU  EN UN POINT DE COORDONNEES X ET Y.
C     L'ETOILE POSSEDE 8 BRANCHES QUI SONT DE 0 HEURE ET DANS LE SENS
C     DES EGUILLES D'UNE MONTRE: RESIDU SEC, MAGNESIUM, SODIUM ET POTAS-
C     SIUM, CALCIUM, NITRATES, SULFATES, CLORURES ET CARBONATES
C     C = VECTEUR DE STOCKAGE DES VALEURS DE RS,MG,NA+K,CA,NO3,SO4,CL,HCO3
C     X = ABSCISSE DU POINT DE P-ELEVEMENT DE L'ANALYSE CHIMIQUE
C     Y = ORDONNEE DE CELUI CI
C     ECHEL = FACTEUR D'ECHELLE DE LA ROSETTE; EN ABSENCE D'UNE VALEUR,
C     IL EST PRIS EGAL A 1.
C
          DIMENSION C(8),XX(9),YY(9),X1(2),Y1(2),IT(1)
          IF (ECHEL.EQ.0.0) ECHEL = 1.0
          IT(1) = I3
          ANGLE = 0.0
          DO 100 I=1,8
          XX(I) = ECHEL*C(I)*SIN(ANGLE)+X
          YY(I) = ECHEL*C(I)*COS(ANGLE)+Y
      100 ANGLE = ANGLE + 0.7854
          XX(9) = XX(1)
          YY(9) = YY(1)
          DO 200 I = 1,4
          J = I+4
          CALL BSCURV(XX,YY,9,2,0.,0.,.1,1,10.,0.,10.)
      200 CALL BBB (XX(I),YY(I),XX(J),YY(J))
          CALL PCARS (X+0.5,Y+0.2,0,IT,3,0.2,0.3,1.,0.)
          RETURN
          END
```

ANNEXE IV : LISTING DU PROGRAMME SCHOELLER.

```
      C
      C     LA SUBROUTINE SCHOEL PERMET DE TRACER LE DIAGRAMME DE SCHOELLER-
      C     BERKALOFF SUR TABLE TRACANTE
      C
      C     1 ERE CARTE: LECTURE DE IFICH=NO DE FICHIER DE CONNEES
      C                  DE ICOD = 1 SI ECHELLES ET TITRE NE SONT PAS
      C                  SOUHAITES, DIFFERENT DANS LE CAS CONTRAIRE
      C                  FORMAT DE LA CARTE = 215
      C
      C     2 EME CARTE: LECTURE DE LA POSITION DE CA,MG,NA,K,CL,SO4,CO3,
      C                  HCO3 ET NO3 DANS LES ANALYSES CHIMIQUES(9I3)
      C
      C     3 EME CARTE: LECTURE DU FORMAT DES ANALYSES CHIMIQUES (20A4)
      C
      C     4 EME CARTE ET SUIVANTES: LECTURE DU STOK D'ANALYSES CHIMIQUES
      C                  SUR CARTES SI IFICH=LEC, SUR FICHIER SI
      C                  IFICH DIFFERENT DE LEC
      C
      C     5 EME CARTE ET SUIVANTES: LECTURE DES NO D'IDENTIFICATION ET DES
      C        DATES DES ANALYSES A TRACER SUR LE DIAGRAMME. UNE CARTE STOP
      C        PERMET DE CHANGER DE GRAPHE, UNE CARTE 'FIN' INDIQUE LA FIN DE
      C        TOUS LES TRACES
      C
            DIMENSION ITEXT5(2),ITEXT3(2),ITEXT7(2),ITEXT8(2),ITEXT9(2)
            DIMENSION ITEXT0(2)
            DIMENSION XX(7),YY(7)
            DIMENSION NCA(10)
            DIMENSION NUM(30),B(2,7),PO(10),ITEXT1(8)
            DIMENSION ITEXT2(2),ITEXT3(2),ITEXT4(2)
            DIMENSION A(40,100),JD1(100),JD2(200),IC(30,2)
            DIMENSION KF(20),ID1(100),ID2(30),IT(3),IBUF(200)
            INTEGER CA,CL,SO4,CO3,HCO3
            DATA IBL /'    '/
            DATA NCA /9,10,12,16,32,18,24,9,0,0/
            DATA ICA,XMG,XNA,XK,XCL,XSO4,XCO3,XHCO3,XNO3 /.0499, .08224,
           1~ .04348, .02558, .0282, .02082, .03333, .01639, .01613/
            DATA R,IT(1) /999.99,8/
            DATA PO / 10. ,0.7 ,0.5 ,0.3 ,0.2 ,0.1 ,0.05 ,1.0 ,1.5 ,2.0 /
            DATA ITEXT1/'DIAG','RAMM','E DE',' SCH','OELL','ER B','ERKA',
           1  'LOFF'/
            DATA ITEXT2 /4HLEGE,4HNDE /
            DATA ITEXT3 /4HMEQ/,4HL   /
            DATA ITEXT4 /4HCA++,4H    /
            DATA ITEXT5 /4HMG++,4H    /
            DATA ITEXT6 /4HNA +,4H K  /
            DATA ITEXT7 /4HCL- /
            DATA ITEXT8 /4HSO4-,4H-   /
            DATA ITEXT9 /4HCO3+,4HHCO3/
            DATA ITEXT0 /4HNO3- ,4H   /
            DATA ISTOP,IFIN /'STOP','FIN '/
            LEC = 1
            IMP = 3
      C
      C
            READ (LEC,1000) IFICH , ICOD
            IF(IFICH.EQ.0) IFICH = LEC
            READ (LEC,1030) CA,MG,NA,K,CL,SO4,CO3,HCO3,NO3
            READ (LEC,1040) KF
            DO 100 I=1,200
            READ (IFICH,KF) JD1(I),JD2(I),ID1(I),(A(J,I),J=1,37)
            IF (JD1(I).EQ.IBL) GO TO 320
            NMAX = NMAX+1
         100 CONTINUE
         320 NMAX = I-1
            NCURV = 1
            CALL IBENA (IBUF,200,10)
            NBLOC = 0
         130 DO 200 I=1,30
            READ (LEC,1020) IC(I,1),IC(I,2),ID2(I)
            IF (IC(I,1).EQ.ISTOP.OR.IC(I,1).EQ.IFIN) GO TO 110
         200 CONTINUE
         110 NE = I-1
            I2 = 0
            DO 310 I=1,NMAX
            DO 310 J=1,NE
            IF (IC(J,1).EQ.JD1(I).AND.IC(J,2).EQ.JD2(I).AND.ID2(J).EQ.ID1(I))
           1  NUM(J) = I
         310 CONTINUE
            WRITE (IMP,2000) NCURV
            DO 150 I=1,NE
            L = NUM(I)
         150 WRITE (IMP,2001) JD1(L),JD2(L),ID1(L),A(CA,L),A(MG,L),A(NA,L),
           1  A(K,L),A(CL,L),A(SO4,L),A(CO3,L),A(HCO3,L),A(NO3,L)
         300 I2 = I2+1
            ABS = 0.
            CALL PAUTA (0.,0.,NBLOC,0.,0.)
            CALL ECHEL (1.,1.,0.,0.)
            CALL TRAA (18.,0.,1)
            CALL TRAA (18.,25.,1)
            CALL TRAA (0.,25.,1)
            CALL TRAA(0.,0.,1)
            CALL TRAA (0.,24.,0)
            CALL TRAA (18.,24.,1)
            CALL PCARA (0.5,24.2,0,ITEXT1,32,0.3,0.5,1.,0.)
            CALL TRAA (11.6,24.0,0)
            CALL TRAA(11.6,18.4,1)
            CALL TRAA (18.0,18.4,1)
            CALL PCARA (14.,23.5,0,ITEXT2,8,0.2,0.3,1.,0.)
            CALL ECH (0.4,0.6,1.,1.,ITEXT3,23.,8)
            CALL ECH (17.1,-0.1,1.,17.,ITEXT3,17.4,8)
            CALL ECH (2.5,0.5,XCA,3.,ITEXT4,23.,4)
            CALL ECH (4.5,0.5,XMG,5.,ITEXT5,23.,4)
            CALL ECH(6.5,0.5,XNA,7.,ITEXT6,23.,8)
            CALL ECH (8.5,0.5,XCL,9.,ITEXT7,23.,4)
            CALL ECH (10.5,0.5,XSO4,11.,ITEXT8,23.,8)
            CALL ECH (12.5,0.5,XHCO3,13.,ITEXT9,17.4,8)
            CALL ECH (14.5,0.5,XNO3,15.,ITEXT0,17.4,4)
      C
      C
            NF = I2*10
            IF (NF.GT.NE) NF=NE
            NST = I2*10-9
            I1 = 0
            DO 120 I=NST,NF
            I1 =  I1+1
            L = NUM(I)
            IF (A(CA,L).EQ.R.OR.A(MG,L).EQ.R.OR.A(NA,L).EQ.R.OR.A(CL,L).EQ.
           1  R.OR.A(HCO3,L).EQ.R.OR.A(NO3,L).EQ.R.OR.A(K,L).EQ.R.OR.
           2  A(SO4,L).EQ.R.OR.A(CO3,L).EQ.R) GO TO 120
            JK = 1
            DO 121 J=3,15,2
            XX(JK) = FLOAT(J)
         121 JK = JK + 1
            YY(1)  = ALOG10(A(CA,L)*XCA*10.)*6.5
            YY(2)  = ALOG10(A(MG,L)*XMG*10.)*6.5
            C = A(NA,L)*XNA + A(K,L)*XK
            YY(3)  = ALOG10(C*10.)*6.5
            YY(4)  = ALOG10(A(CL,L)*XCL*10.)*6.5
            YY(5)  = ALOG10(A(SO4,L)*XSO4*10.)*6.5
            C = A(CO3,L)*XCO3 + A(HCO3,L)*XHCO3
            YY(6)  = ALOG10(C*10.)*6.5
            YY(7)  = ALOG10(A(NO3,L)*XNO3*10.)*6.5
            DO 300 J=1,7
            IF (YY(J).LT.0.) YY(J) = 0.
         300 CONTINUE
            CALL BSCURV (XX,YY,7,1,NCA(I),0.2,0.2,2,2,PO(I),0.3,PO(I))
            IT(1) = IC(I,1)
            IT(2) = IC(I,2)
            CALL PCARA (12.,22.5-ABS,0,IT,8,0.2,0.3,1.,0.)
            XX(1) = 15.
            XX(2) = 17.6
            YY(1) = 22.5-ABS
            YY(2) = YY(1)
            CALL BSCURV (XX,YY,2,1,NCA(I),0.2,0.2,2,2,PO(I),0.3,PO(I))
         120 ABS = ABS+0.5
            NCURV = NCURV+1
            IF (NE.GT.10) GO TO 700
            IF(IC(NE+1,1).NE.IFIN) GO TO 130
            WRITE (IMP,2002)
            NBLOC = 9999
            CALL PAUTA (0.,0.,NBLOC,0.,0.)
         1000 FORMAT (215)
         1020 FORMAT (2A4,1X,I5)
         1030 FORMAT (9I3)
         1040 FORMAT (20A4)
         2000 FORMAT (1H1,10X,'COURBE NUMERO',I3,/,/,/,20X,'LES VALEURS '
           1  ,'SUIVANTES SONT DONNEES EN MILLIGRAMMES PAR LITRES',/' NO '
           2  ,'ECH.   DATE',7X,'CA',8X,'MG',8X,'NA',9X,'K',8X,'CL',7X,
           3  'SO4',7X,'CO3',6X,'HCO3',7X,'NO3',/)
         2001 FORMAT (/,1X,2A4,2X,I6,10F10.2)
         2002 FORMAT (1H1)
            END
            SUBROUTINE ECH (XX, I2, FAC ,X , ITAB, HAUT,NC)

      C     LA SUBROUTINE ECH PERMET DE TRACER LES GRADUATIONS ET VALEURS EN
      C     MG/L OU EN MEQ/L DES ECHELLES VERTICALES DU DIAGRAMME DE SCHOELLER
            DIMENSION ITAB(5)
            M = 1
            N = 0
            DO 100 I=1,50
            IF (N.EQ.10.OR.N.EQ.100.OR.N.EQ.1000.OR.N.EQ.10000.OR.N.EQ.100000)
           1  M=M*10
            N = N+M
            Y = 6.5*ALOG10(FLOAT(N)*FAC)
            IF (Y.LT.0.) GO TO 100
            IF (Y.GE.HAUT) GO TO 100
            X1 = N/10.0
            IF (X1.GE.1) CALL NOMBA (XX,Y,0,X1,0,0.1,0.15,1.,0.)
            IF (X1.LT.1) CALL NOMBA (XX,Y,0,X1,1,0.1,0.15,1.,0.)
            CALL TRAA (XX+I2,Y,0)
            CALL TRAA (-0.15,0.3)
         100 CONTINUE
            CALL TRAA (X,0.,0)
            CALL TRAA (X,HAUT,1)
            CALL PCARA (X-0.4,HAUT+0.2,0,ITAB,NC,0.2,0.3,1.,0.)
            RETURN
            END
```

BUS LILLE

ANNEXE V : LISTING DU PROGRAMME PRELEV.

```
C                PROGRAMME DE DEPOUILLEMENT DES PRELEVEMENTS
      LEC = 105
      IMP = 108
      READ (LEC,1000) N,IFICH
 1000 FORMAT (2I5)
      CALL PRELEV (N,LEC,IMP,IFICH)
      END
      SUBROUTINE PRELEV (N,LEC,IMP,IFICH)



      DIMENSION KBAS(9),KFE(6,9),ID1(1000),ID2(1000),ID3(1000),IAN(1000)
      DIMENSION IX(1000,13),IIP(4),IO(3,1000),IPR(4),OR(2,1000),IC(1000)
      DIMENSION IB(1000),JIP(10,1000),JFILE(21),KAN(15)
      DIMENSION IZZ(17)
      DATA ISTOP,INFO,IPREL /'99','01','04'/
C
C
C
C     1) LECTURE DE LA CARTE DE SELECTION DU OU DES BASSINS
C
      READ (LEC,1000) IBAS,(KBAS(J),J=1,9)
 1000 FORMAT (I1,1X,9(A3,2X))
      IF (IBAS.EQ.0) WRITE (IMP,2000)
 2000 FORMAT (1H1,' LES PRELEVEMENTS DE TOUS LES BASSINS SONT SELEC'
     1   'TIONNES')
      IF (IBAS.GT.0) WRITE(IMP,2001) (KBAS(J),J=1,IBAS)
 2001 FORMAT (1H1,' BASSIN(S) A SELECTIONNER :',(5X,A3))
C
C
C     2) LECTURE DE LA CARTE DE SELECTION DES FEUILLES ET 1/8 DE FEUILLE IGN
C
      READ (LEC,1001) IFE,((KFE(I,J),J=1,9),I=1,6)
 1001 FORMAT (I1,I4,8I1.5(1X,I4,8I1))
      IF (IFE.EQ.0) WRITE (IMP,2002)
 2002 FORMAT (/,' AUCUNE SELECTION SUR FEUILLES OU 1/8 EME DE '
     1   'FEUILLE N EST EFFECTUEE')
      IF (IFE.GT.0) WRITE(IMP,2003) ((KFE(I,J),J=1,9),I=1,IFE)
 2003 FORMAT (/,' FEUILLES ET 1/8 EMES A SELECTIONNER:',(/,35X,I5,8(1X,
     1   ',',I1)))
C
C
C     3) LECTURE DES COORDONNEES MAXIMALES ET MINIMALES
C
      ICOD4 = 0
      READ (LEC,1002) XMIN,XMAX,YMIN,YMAX
 1002 FORMAT (4F10.3)
      IF (XMIN.EQ.0.0.AND.XMAX.EQ.0.0) ICOD4 = 1
      IF (ICOD4.EQ.1) WRITE (IMP,2004)
 2004 FORMAT (/,' PAS DE SELECTION DE COORDONNEES LAMBERT MAXIMALES',
     1   ' ET MINIMALES')
      IF (ICOD4.EQ.0) WRITE(IMP,2005) XMIN,XMAX,YMIN,YMAX
 2005 FORMAT (/,' LES COORDONNEES MINIMALES ET MAXIMALES SONT LES',
     1   ' SUIVANTES:',/,20X,'XMIN=',F10.3,/,20X,'XMAX=',F10.3,/,20X,
     2   'YMIN=',F10.3,/,20X,'YMAX=',F10.3)


C     4) LECTURE DE OU DES ANNEES A SELECTIONNER

      READ (LEC,1005) NANS,(KAN(I),I=1,15)
 1005 FORMAT (I1,4I,15I5)
      IF (NANS.EQ.0) WRITE (IMP,2006)
 2006 FORMAT (/,' LES PRELEVEMENTS DE TOUTES LES ANNEES DISPONIBLES ',
     1   'SONT SELECTIONNES')
      IF (NANS.NE.0) WRITE (IMP,2007) (KAN(I),I=1,NANS)
 2007 FORMAT (/,' LES PRELEVEMENTS DES ANNEES SUIVANTES SONT SELECT',
     1   'IONNES:',2X,15('-',I5,'-'))



C     5) LECTURE DES N CARTES-PRELEVEMENT (CARTES 04)

      DO 800 I=1,400
      READ (105,1006) JFILE
      WRITE (101,1006) JFILE
      IF (JFILE (1).EQ.ISTOP) GO TO 801
  800 CONTINUE
  801 CONTINUE
      REWIND 101
      KS = 99
      I = 0
      DO 100 IM = 1,N
      READ (IFICH,1006) JFILE
 1006 FORMAT (2A2,19A4)
      IF (JFILE (1).EQ.ISTOP) GO TO 101
      IF (JFILE(1).NE.IPREL) GO TO 100
      WRITE (100,1006) JFILE
      REWIND 100
      READ (100,1003) (IZZ(J),J=1,17)
 1003 FORMAT (4I,2I2,I4,I2,12I5,I6)
      REWIND 100
C
C     11) CHOIX DE LA OU DES ANNEES A CONSIDERER
C
      IF (NANS.EQ.0) GO TO 112
      DO 113 I1 = 1,NANS
  113 IF(IZZ(4)+1900.EQ.KAN(I1)) GO TO 112
      GO TO 100
  112 CONTINUE
      I = I+1
      IF (IZZ(4).LT.KS) KS = IZZ(4)
      ID1(I) = IZZ(1)
      ID2(I) = IZZ(2)
      ID3(I) = IZZ(3)
      IAN(I) = IZZ(4)
      DO 100 J=5,17
      IX(I,J-4) = IZZ(J)*10
  100 CONTINUE
  101 NP = I
      REWIND IFICH


C     6) LECTURE DES INFORMATIONS DES PRELEVEMENTS (CARTES 01)

      WRITE (IMP,2010)
 2010 FORMAT (1H1,1X,120(1H*),/,' *  INDICE * COORDONNEES LAMBERT *',
     *   ' COMMUNE * IDENT. *',
     1   ' DENOMINATION  * PROPRIETAIRE  * N/ AGENCE * PRELEVEMENT *',
     2   /,1X,120(1H*),/,/)
      ICOD6 = 0
      ICOD7 = ICOD6
      K = 0
      DO 102 I=1,N
      READ (IFICH,1006) JFILE
      IF (JFILE (1).EQ.ISTOP) GO TO 111
      IF (JFILE(1).NE.INFO) GO TO 102
      WRITE (100,1006) JFILE
      REWIND 100
      READ(100,1004)K1,K2,K3,X,Y,INS,ICO,IBA,(IIP(J),J=1,4),(IPR(J),
     1   J=1,4),IAG1,IAG2
 1004 FORMAT (4I,I2,1X,I1,I1,1X,I3,2F6.3,6X,I5,A2,A3,10A4)
      REWIND 100

C     7) CHOIX DU OU DES BASSINS DONT LES PREL. SONT A SELECTIONNER

      ICOD1 = 0
      IF (IBAS.EQ.0) GO TO 105
      DO 104 I1=1,IBAS
      IF (IBA.EQ.KBAS(I1)) ICOD1 = 1
  104 CONTINUE
      IF (ICOD1.EQ.0) GO TO 102
  105 CONTINUE
C
C     8) CHOIX DE LA OU DES FEUILLES ET 1/8 DE FEUILLES IGN DONT
C        LES PRELEVEMENTS SONT A SELECTIONNER
C
      ICOD2 = 0
      ICOD3 = 0
      IF (IFE.EQ.0) GO TO 108
      DO 106 I2 = 1,IFE
      IF (K1.NE.KFE(I2,1)) GOTO 106
      ICOD3 = 0
      DO 106 I3 =2,9
      IF (KFE(I2,I3).EQ.0) ICOD3 = ICOD3+1
      IF (K2.EQ.KFE(I2,I3)) ICOD2 = 1
  106 CONTINUE
      IF (ICOD2.EQ.0.AND.ICOD3.NE.8) GO TO 102
  108 CONTINUE
C
C     9) CHOIX DES PRELEVEMENTS CORRESPONDANT A UNE ZONE COMPRISE
C        ENTRE LES COORDONNEES LAMBERT MAXIMALES ET MINIMALES
C
      IF (ICOD4.EQ.1) GO TO 110
      IF (X.LT.XMIN.OR.X.GT.XMAX) GO TO 102
      IF (Y.LT.YMIN.OR.Y.GT.YMAX) GO TO 102
C
C     10) ELIMINATION DES OUVRAGES NE PRELEVANT PAS
C
  110 ICOD5 = 0
      DO 107 I1 = 1,NP
      IF (K1.EQ.ID1(I1).AND.K2.EQ.ID2(I1).AND.K3.EQ.ID3(I1)) ICOD5 = I1
  107 CONTINUE
      IF (ICOD5.EQ.0) GO TO 102
C
C     10) STOCKAGE DES INFORMATIONS CONCERNANT LES PRELEVEMENTS
C
      IF (ICOD6.EQ.K1) WRITE (IMP,2008)
      ICOD6 = K1
      IF (ICOD7.EQ.K2) WRITE (IMP,2009)
      ICOD7 = K2
 2008 FORMAT (/,/,/)
 2009 FORMAT (1X)
      K = K + 1
      ID(1,K) = K1
      ID(2,K) = K2
      ID(3,K) = K3
      OR(1,K) = X
      OR(2,K) = Y
      IC(K) = INS
      IB(K) = ICO
      DO 109 I1=1,4
      JIP(I1,K) = IIP(I1)
  109 JIP(I1+4,K) = IPR(I1)
      JIP(9,K) = IAG1
      JIP(10,K) = IAG2
      WRITE (IMP,3000) ID(1,K),ID(2,K),ID(3,K),OR(1,K),OR(2,K),IC(K),
     1   IB(K),(JIP(I1,K),I1=1,10),IX(ICOD5,13)
 3000 FORMAT (1X,I4,'-',I2,'-',I4,2F10.3,I7,A4,3X,4A4,3X,4A4,3X,2A4,I8)
  102 CONTINUE
  111 CONTINUE
C
C
C
      RETURN
      END
```

BUS LILLE

# PROGRAMME DIFFU

Objet : Calcul de la diffusivité T/S à partir d'une courbe de tarissement d'une nappe aquifère.

METHODE DE CALCUL :

Une courbe exponentielle est ajustée à la courbe de tarissement suivant l'équation

$$h_i = h_o\, e^{-Ati} + h_1$$

où : $h_i$ et $t_i$ sont connus.

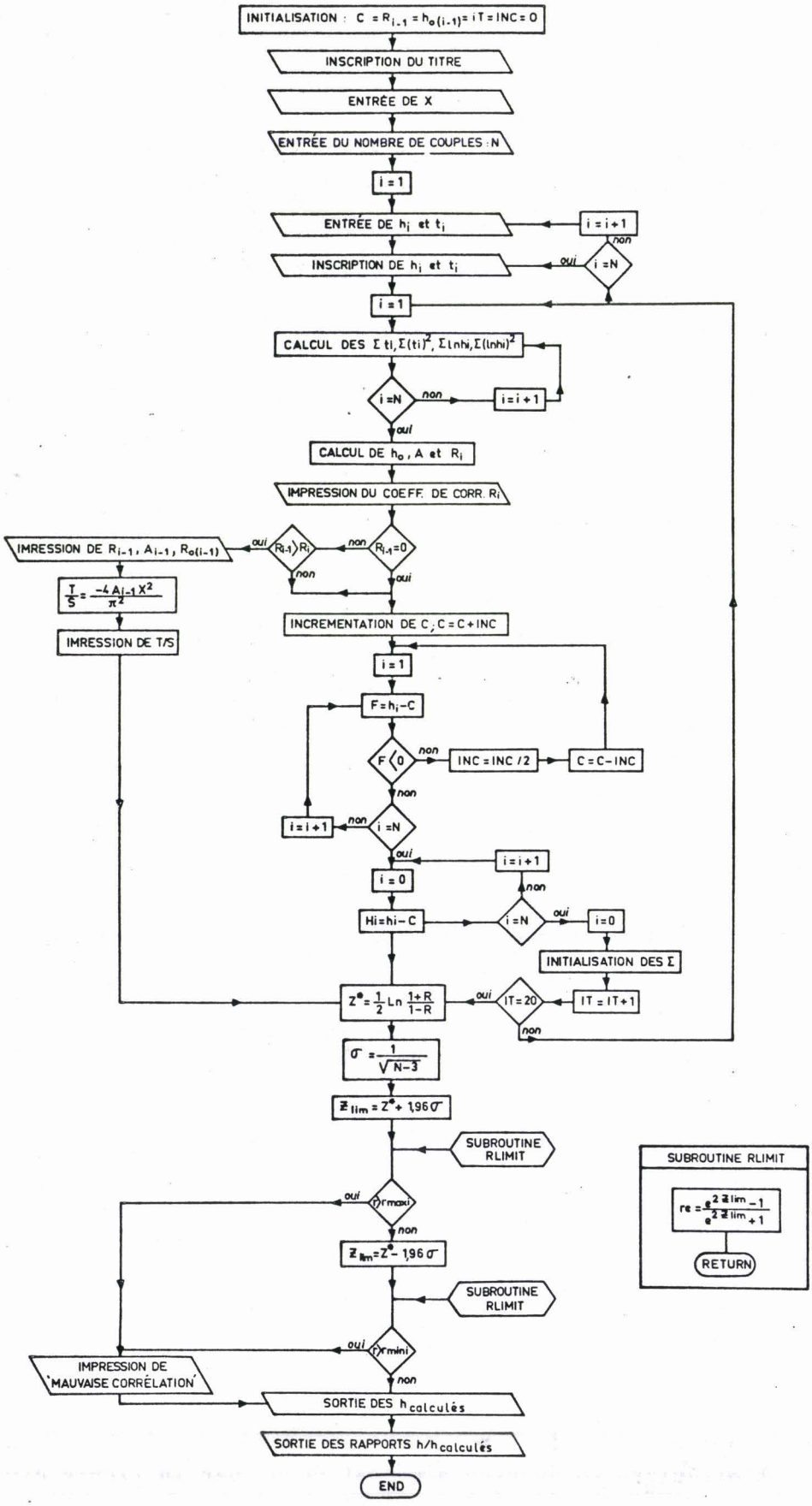
La recherche de la solution optimale s'effectue par incrémentation d'une constante c dont la valeur de départ est prise égale à 0. En fin de processus, cette constante tend vers la valeur de $h_1$. L'erreur entre la valeur réelle $h_1$ et la valeur calculée c est estimée être très faible.

A chaque itération, la constante c est incrémentée de la valeur INC ; la courbe expérimentale est ajustée à nouveau avec une exponentielle suivant la méthode des moindres carrés. Le coefficient de corrélation (r) qui résulte de cet ajustement est testé par rapport à celui de l'itération précédente. Dans le cas où ce dernier est supérieur, une sortie des paramètres : $h_o$, A et $h_1$ et r de la boucle précédente est effectuée. Dans le cas où r est inférieur, la constante c est incrémentée de INC et une nouvelle itération est calculée avec ces nouvelles valeurs.

Lorsque c dépasse la valeur nominale de $h_1$, INC est réduit de moitié et changé de signe. c se rapproche donc à nouveau de $h_1$. Ce processus est reproduit jusqu'au moment où la $i^{ème}$ ajustement est supérieur au $i-1^{ième}$ ou dans le cas où le nombre d'itérations est supérieur à 20.

En fin de programme, ce coefficient de corrélation est testé d'après le test de Ficher.

L'organigramme du programme est donné par la figure ci-après:


INITIALISATION : C = $R_{i-1}$ = $h_{o(i-1)}$ = iT = INC = 0
INSCRIPTION DU TITRE
ENTRÉE DE X
ENTRÉE DU NOMBRE DE COUPLES : N
i = 1
ENTRÉE DE $h_i$ et $t_i$
i = i + 1
non
INSCRIPTION DE $h_i$ et $t_i$
oui
i = N
i = 1
CALCUL DES $\Sigma t_i, \Sigma(t_i)^2, \Sigma \ln h_i, \Sigma(\ln h_i)^2$
i = N
non
i = i + 1
oui
CALCUL DE $h_o$, A et $R_i$
IMPRESSION DU COEFF. DE CORR. $R_i$
IMRESSION DE $R_{i-1}$, $A_{i-1}$, $R_{o(i-1)}$
oui
$R_{i-1} > R_i$
non
$R_{i-1}$ = 0
non
oui
$\frac{T}{S} = \frac{-4 A_{i-1} X^2}{\pi^2}$
IMRESSION DE T/S
INCREMENTATION DE C ; C = C + INC
i = 1
F = $h_i$ − C
F < 0
non
INC = INC / 2
C = C − INC
non
i = i + 1
non
i = N
oui
i = i + 1
non
i = 0
Hi = hi − C
i = N
oui
i = 0
INITIALISATION DES Σ
$Z^* = \frac{1}{2} \text{Ln} \frac{1+R}{1-R}$
oui
IT = 20
IT = IT + 1
non
$\sigma = \frac{1}{\sqrt{N-3}}$
$Z_{lim} = Z^* + 1{,}96\sigma$
SUBROUTINE RLIMIT
oui
r > rmaxi
non
$Z_{lim} = Z^* - 1{,}96\sigma$
SUBROUTINE RLIMIT
oui
r < rmini
IMPRESSION DE 'MAUVAISE CORRÉLATION'
non
SORTIE DES $h_{calculés}$
SORTIE DES RAPPORTS $h/h_{calculés}$
END
SUBROUTINE RLIMIT
$re = \frac{e^{2Z_{lim}} - 1}{e^{2Z_{lim}} + 1}$
RETURN

BUS LILLE

# METHODES DE TRAITEMENT DES EAUX

La présente annexe complète les indications présentées au paragraphe 4421 et relatives au traitement des eaux résiduaires ou de surface.

a) - Traitements primaires

Degrossissage et dessablage : l'eau brute est passée au travers de grilles et de chicanes pour éliminer les gros matériaux et retenir les éléments les plus lourds.

Lagunage : il peut être effectué avec ou sans aération. L'évolution des effluents est la suivante (Rivière, 1976) : en surface, des bactéries aérobies ou anaérobies facultatives, assimilent ou métabolisent les matières organiques dissoutes. Cette masse bactérienne devient alors la proie des protozaires prédateurs (flagellés et ciliés). Ces bactéries dégagent du $CO_2$ et libèrent de l'$O_2$ utilisé pour la croissance bactérienne. C'est une triple association qui est responsable de l'épuration des lagunes. Les particules en suspension et cellules microbiennes tombent au fond formant une couche de vase où se développe une microflore anaérobie ; elle produit du méthane et des sulfures qui, s'accumulant, risquent d'empoisonner le milieu ; c'est pourquoi, on essaie d'éviter ces processus anaérobies indésirables en décantant les effluents, en curant les bassins et en réalisant une oxygénation importante. Cette aération peut être superficielle : elle s'effectue alors naturellement sur l'interface eau-air. De même, elle peut être faite artificiellement par insufflation d'air (CEBEDEAU, 1957). L'effet de ce lagunage est un changement du potentiel oxydoréducteur (de négatif, il devient positif), ce qui stoppe la réduction ; la coagulation est stimulée par l'intermédiaire des microorganismes : les graisses sont déshydratées, flottent et peuvent ainsi être récupérées. Dans le cas où le pH de l'affluent est acide, le lagunage permet d'ôter l'hydrogène sulfuré ainsi que le $CO_2$ ce qui diminue l'agressivité de cette eau par rapport au béton.

Décantation : conjointement ou suite au lagunage est effectuée une décantation. Les types de bassins (appelés décanteurs) peuvent être de différents types :

. bassins à vidange complète;

. bassins à fonds pyramidaux;

. bassins avec mécanisme de raclage continu.

Parallèlement, des floculants peuvent être adjoints : ce sont principalement des sulfates ferriques et aluminiques ou bien des suspensions d'argile et de chaux. Dans ce dernier cas, l'eau est amenée à un pH très basique, optimum pour la floculation des colloïdes. Le traitement permet d'enlever 50 à 70% des MES et 25 à 30% de la DBO. Les phosphates sont très bien éliminés par cette adjonction de floculants.

b) - Traitements secondaires

Filtration rapide : elle est également appelée filtration biologique. Il existe deux méthodes principales utilisées :

. méthode des lits de contact : l'eau usée est mise en contact, par immersion, avec une masse de pierrailles disposées dans des bassins étanches et drainées soigneusement. Cette pierraille sert de support à la zooglée,

. méthode des lits percolateurs ou bactériens : ce sont des lits sur lesquels l'eau est dispersée en continu ; une aération est effectuée à contre-courant.

Les matériaux utilisés sont des scories de haut fourneau ou des pierres calcaires de la taille de galets (3 à 8 cm). 90 à 95% de DBO et des MES sont retirés par cette méthode.

Boues activées : lorsque l'on aère une eau d'égout pendant un certain temps, on voit se former un précipité floconneux, puis l'eau se clarifie rapidement sous l'action des bactéries aérobies et de l'Oxygène. Les matières organiques disparaissent, tandis que les bactéries de la nitrification transforment une partie de l'azote en nitrates. Si l'on recueille ce précipité, qui constitue une boue activée il est possible de purifier très rapidement de nouvelles quantités d'eau d'égout (Rivière, 1976). L'optimum est réalisé pour un mélange à 15% (CEBEDEAU, 1957). Il existe deux types principaux de bassins d'activation :

. bassins à insufflation d'air : l'air est injecté sous des plaques poreuses ou dans des conduits en matière perméable disposés de manière à créer des courants intenses au sein de la masse d'eau et de la boue;

. bassins à agitation mécanique où l'eau est agitée par des roues à palettes.

c) - Traitements tertiaires

Neutralisation : l'eau qui avait acquis une acidité avec la réaction :

$$NH_4^+ \rightarrow NH_3 + H^+$$

et avec l'action des floculants, est neutralisée (Schalekamp, 1977).
Ce traitement évite la corrosion lorsque cette eau est ensuite transportée.

Ozonation : cette opération n'est pas aussi souvent effectuée que les précédentes ; elle peut être utilisée en concurrence avec la chloration qui produit sensiblement les mêmes effets, à savoir :

- . destruction des colibaciles,
- . décoloration,
- . amélioration du goût,
- . réduction des substances organiques.

Filtration rapide : elle peut se faire sur lits de charbon actif (CA) qui possède certaines propriétés électrochimiques ainsi qu'un grand rapport surface/volume. Cette propriété lui permet d'avoir des propriétés absorbantes vis-à-vis des métaux lourds et autres substances (Jones, 1977). Le CA permet d'éliminer $O_3$ et $Cl_2$ en excès. Cette filtration rapide peut se faire sur sable, ce qui est moins efficace mais moins onéreux.

La meilleure solution est la filtration sur plusieurs étages :

- . sable grossier,
- . sable moyen,
- . CA.

La vitesse dans le filtre est de l'ordre de 10 à 20 m/h.

Filtration lente : c'est la dernière étape. La vitesse est sensiblement égale à 15 m/j. Un lavage du filtre est opéré tous les trois ans.

d) - Traitement des boues

Les boues contiennent de 95 à 99% d'eau qui doit être éliminée pour réduire leur poids. Le traitement de ces boues a différents buts :

- . faciliter la déshydratation,
- . réduire le volume de la boue,
- . rendre la boue imputréscible,
- . valoriser les produits résiduels, solides et gazeux, issus du traitement.

La première phase de traitement consiste en une fermentation acide : les ferments lactiques et butyriques se multiplient rapidement, s'attaquent aux graisses et hydrocarbures, libérant les acides pendant qu'un départ de gaz se produit. La seconde phase est une digestion méthanique : peu à peu, des substances alcalines sont libérées, la boue devient noire, plus liée. Les colloïdes hydrophiles ont été détruits. Un gaz inodore riche en méthane (pouvoir calorique de 600 à 650 BTU) se dégage.

Toutes ces étapes ne sont pas automatiquement suivies les unes après les autre lorsque l'affluent est faiblement chargé ou lorsque le rejet des effluents s'effect dans une rivière, certains traitements sont évités.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE
Section de SCIENCES
LILLE