

ORSTOM - DEC - UR22

---

---

*(janvier 1996)*

**SYSEAU :**

**un logiciel d'aide à l'interprétation  
des données hydrochimiques et  
de calculs des flux de matières**

*- note de présentation -*

A.Laraque et L.Chabert

ORSTOM - Montpellier

**Logiciel d'exploitation et d'aide à l'interprétation des données hydrochimiques : SYSEAU**

A.Laraque, L.Chabert

Centre ORSTOM - Laboratoire d'Hydrologie - BP 5045 - 34032 Montpellier Cedex 1 - France.

**RESUME**

SYSEAU (SYStématique des EAUx) est un **logiciel de banque de données hydrochimiques**, convivial, facile et rapide d'utilisation. Il est essentiellement orienté vers l'étude des éléments majeurs communément rencontrés dans les eaux naturelles.

Bien qu'il n'explore pas de manière exhaustive tout le champ de traitement des chroniques de données hydrochimiques, SYSEAU apporte une aide substantielle à tous ceux (aménagement, gestionnaires,...) qui sont confrontés à leur dépouillement et à leur exploitation.

Il permet d'amorcer très rapidement sur de grandes collections d'analyses toute une série d'études exploratoires grâce à ses diagrammes spécifiques (PIPER, SCHOELLER, STABLER, USSLS, ...), de les sélectionner en fonction de différents degrés de précision et de les classer suivant leurs faciès géochimiques. Ces outils facilitent l'interprétation des variations tant spatiales que temporelles de leurs paramètres descriptifs et permettent par exemple de juger de l'aptitude des eaux à l'irrigation.

SYSEAU peut traiter les données des eaux souterraines comme celles des eaux superficielles (milieux lacustres, cours d'eau). Pour les cours d'eau, il est possible de coupler leurs concentrations de matières avec les débits correspondant provenant d'HYDROM3<sup>2</sup>, ce qui permet aux utilisateurs de ce dernier logiciel fort répandu dans les services hydrologiques, notamment d'Afrique francophone, de calculer automatiquement des flux de matière. Ces calculs restent néanmoins possibles avec d'autres débits que ceux disponibles dans HYDROM3, et peuvent servir notamment de point de départ pour l'évaluation des temps de comblement des barrages.

Ces deux approches qualitatives et quantitatives, enfin couplées, permettent une meilleure connaissance et compréhension du fonctionnement des milieux aquatiques.

mots clés : hydrochimie, banque de données, concentrations, débits, flux de matières

**ABSTRACT**

The SYSEAU hydrochemical data base software is user-friendly and straight forward to use. It mainly aims at the study of major ions common in natural waters.

SYSEAU provides for basic processing of hydrochemical series and gives an efficient help to water developers who have to peruse and exploit hydrochemical data.

It allows the selection of samples according to different levels of accuracy, chosen by the user, and their classification based on the geochemical facies.

Preliminary analyses of physical and chemical properties are available (PIPER, SCHOELLER, STABLER, USSLS ... diagrams). Interpretation of the variability in time and space is easy. Assessing suitability for irrigation is an example of use.

SYSEAU manages data from either groundwater or surface water. Concentrations in rivers can be related with discharges values from HYDROM3, a hydrological software widely used in french-speaking Africa.

In this case, calculation of dissolved and suspended matter flow is automatic (such a result can then be used to estimate the time for a dam filling up). Calculation is also possible with any other discharge series.

Combining both quantitative and qualitative data permits a better understanding of the aquatic environment.

key-words : hydrochemistry, data base, concentration, discharge, dissolved and suspended matter flow

---

<sup>2</sup> HYDROM3 : logiciel de traitement des données hydrométriques, développé au Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM de Montpellier

## INTRODUCTION

Si en terme de logiciel de banque de données, l'approche quantitative des ressources en eau est déjà bien développée, il n'en est pas de même de l'approche qualitative alors que cet aspect est de plus en plus d'actualité. SYSEAU tente de combler cette lacune et permet de coupler ces deux approches.

De nombreuses méthodes d'interprétation des analyses physico-chimiques des eaux existent et permettent de comparer assez aisément les analyses entre elles, grâce à des représentations graphiques. Ces comparaisons sont grandement facilitées en convertissant les masses pondérales de chaque élément en milliéquivalents puis en réduisant ces derniers en pourcentages. Cela permet de voir immédiatement si les proportions des éléments sont les mêmes pour différentes analyses.

Avec SYSEAU, il est possible d'interpréter ces données par l'utilisation de différents diagrammes, en fonction des objectifs à atteindre (*typologie géochimique d'une eau, évolution en phase évaporatoire, aptitude à l'irrigation, variations spatiales, etc.*).

Aux habituelles fonctions de gestion des logiciels de banque de données (classement, tri, ...) ont été ajoutés des tests de pertinence et de sélection des analyses d'eau ainsi qu'une bibliothèque sur les éléments naturels permettant d'obtenir à tout moment leurs caractéristiques physico-chimiques et de calculer des masses moléculaires.

Enfin, des calculs automatiques de flux de matières tant dissoutes qu'en suspension, sont désormais possibles pour les cours d'eau, tout comme ceux de bilans de masses salines pour les réservoirs superficiels (lacs, retenues, ...) ou souterrains (aquifères, ...).

Pour cela, SYSEAU constitue une aide précieuse à l'aménageur au gestionnaire et à l'utilisateur des ressources hydriques, confrontés à l'étude et à l'interprétation de leurs données qualitatives.

Après une présentation sommaire de son architecture, et de ses fonctionnalités, nous illustrerons succinctement l'éventail de ces dernières à partir du traitement de trois exemples de chroniques physico-chimiques provenant l'une d'un cours d'eau et les deux autres de retenues collinaires.

## PRESENTATION DU LOGICIEL

Le logiciel SYSEAU et ses différents fichiers sont contenus sur une disquette 3<sup>1/4</sup> Haute Densité. Il fonctionne sur micro-ordinateur compatible PC AT à partir du disque dur ou du lecteur de disquette.

Ce programme réalisé en Turbo-Pascal 6.0 fonctionne à partir de deux fichiers de données ASCII, dont le format est présenté dans le tableau 1. Il s'agit des fichiers :

- **STATION.DAT** qui contient les données relatives aux stations de mesures : code d'identification, nom, système hydrographique (bassin versant, région, pays, ...), code du milieu étudié (rivière, lac, nappe), coordonnées Lambert (X, Y) puis les années de début et de fin des observations;
- et **ANALYSE.DAT** qui contient les données physico-chimiques de chaque analyse référencée par station.

ANALYSE.DAT

Code station	Jour	Mois	An	Code Unité 1 : 1: meq/l 2: mmol/l 3: mg/l	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl-	SO4--	HCO3-	CO3--	NO3-	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Température	pH	Conduktivité électrique	Résidu Sec	Sables	Mètres en Suspension	Débit ou Volume	
Entier Long	Entier JJ	Entier MM	Entier AA	Entier	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel	Réel m3/s m3

STATION.DAT

Code Station	Nom Station	Type de Système Hydrographique 1: Cours d'Eau 2: Lac 3: Nappe	Système Hydrographique	X en Coordonnées Lambert	Y en Coordonnées Lambert	Année de début de fonctionnement	Année de fin de fonctionnement
Entier Long	Alphanumérique	Entier	Alphanumérique	Réel	Réel	Entier AAAA	Entier AAAA

Tab.1 - Format des fichiers de données

Les données d'analyses peuvent être mélangées dans un seul et même fichier, tout comme être organisées par sous répertoires regroupant des ensembles d'analyses définis par l'utilisateur.

SYSEAU possède différents modules de traitement des données fonctionnant à l'aide d'unités (bibliothèques de procédures) comme l'indique l'organigramme de la figure 1.

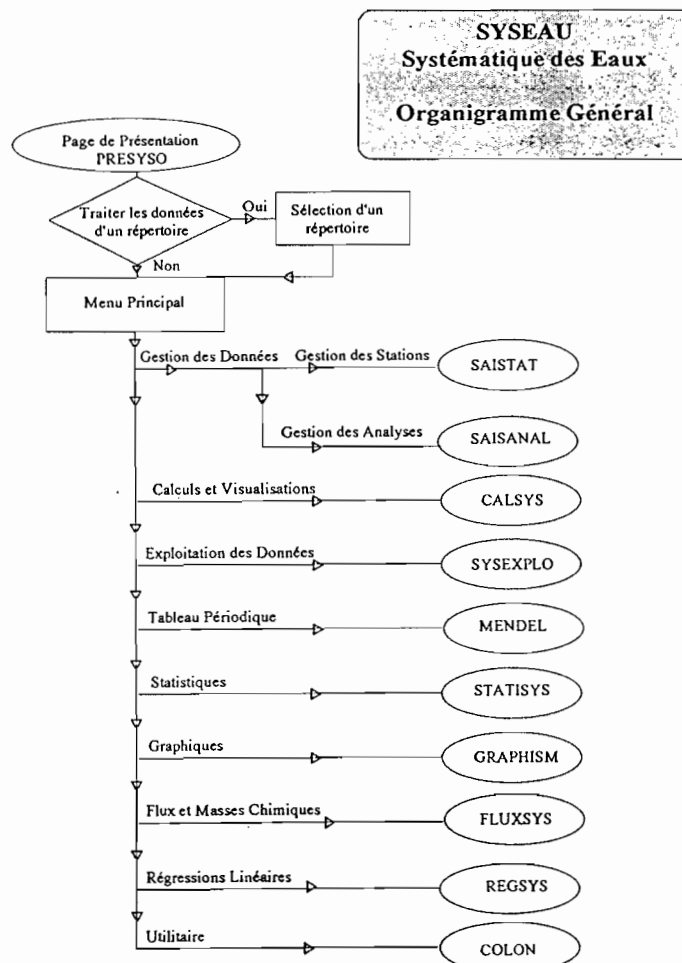


Fig. 1 - Organigramme général de SYSEAU

## PRINCIPALES FONCTIONNALITES

Les principales opérations de traitement et d'exploitation des données sont effectuées par les dix modules suivants (Cf. fig. 1) :

⇒ SAISTAT et SAISANAL de gestion des données.

Il s'agit des opérations courantes des banques de données, à savoir « Consultation ; Saisie ; Correction ; Suppression ; sélection et tri des données » des fichiers de stations ou d'analyses.

Pour ce dernier fichier, il est possible de :

✕ **stocker et gérer** les 19 paramètres suivants :

- les matières en suspension grossières > 50  $\mu\text{m}$  (MESg), souvent assimilées aux sables,
- les matières en suspension fines (MESf), fraction comprise généralement entre 0,2 et 50  $\mu\text{m}$ ,
- les éléments majeurs présents dans les eaux naturelles :  
 $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,
- les paramètres physico-chimiques : Température, pH, Conductivité Electrique, Résidu Sec;
- les quantités d'eau en jeu : débits (pour les rivières) ou volumes (pour les lacs ou les aquifères);

- ⊗< **trier et sélectionner les analyses** en fonction de différents critères : stations étudiées, dates de prélèvement, précision des analyses calculée sur leur bilan ionique, etc. ....
- ⊗< **comparer des analyses entre elles** provenant ou non des même stations de mesures, de différents laboratoires ou d'époques de prélèvement variées ;

⇒ CALSYS de Calculs pour :

- ⊗< **convertir et homogénéiser les analyses** dans le système d'unité de son choix ( $\text{mg.l}^{-1}$ ,  $\text{meq.l}^{-1}$ ,  $\text{mmol.l}^{-1}$ ), quelque soient les unités d'origine des analyses, qui peuvent cohabiter dans le fichier ANALYSE.DAT (elles sont repérées par une codification spéciale);
- ⊗< **déterminer les faciès géochimiques** des eaux et éditer des rapports et des pourcentages ioniques ainsi que des paramètres géochimiques.

⇒ SYSEXPLO d'Exploitation des données pour :

- ⊗< **faciliter l'étude et l'interprétation** d'une série d'analyses, toutes stations confondues grâce aux diagrammes spécifiques suivants :

\* PIPER : permet une classification des analyses suivant douze familles géochimiques et une visualisation des évolutions physico-chimiques d'une eau dans une chronique de données. Il est également possible de différencier des eaux d'origine variées.

\* SCHÖLLER : facilite la comparaison quantitative des concentrations ioniques de différentes analyses à partir des données brutes de laboratoire. Il est complémentaire de PIPER, plus qualitatif.

\* USSLS : pour évaluer **l'aptitude d'une eau pour l'irrigation** à partir de vingt classes d'eau pour lesquelles existent des spécifications d'usage bien précises quant aux types de cultures possibles et aux types de sols irrigués ;

\* STABLER ET SECTORIELS : pour visualiser les proportions relatives d'ions et les proportions des différentes catégories de transports en suspension (sables, MES) et dissous (matière minérale, matière organique).

⇒ MENDEL ou Tableau périodique des éléments de MENDELEIEV (Cf. An.1) pour :

⊗< **s'informer sur les caractéristiques de chaque élément** naturel (valences, masses volumiques, numéro et masse atomique, degré d'oxydation, points d'ébullition et de fusion, structure électronique, ...), tout comme calculer les masses moléculaires de telle ou telle molécule à la demande de l'opérateur à l'aide d'un pavé numérique affiché à l'écran, ou identifier une famille chimique du tableau.

⇒ STATISYS pour :

- ⊗< calculer la moyenne, l'écart-type et les valeurs extrêmes des paramètres physico-chimiques sur les analyses sélectionnées par l'utilisateur.

⇒ GRAPHISM pour :

- ⊗< représenter en fonction du temps, sous forme de courbes ou d'histogrammes, l'évolution de plusieurs paramètres physico-chimiques sélectionnés ou de rapports ioniques, grâce à l'utilisation de l'interface graphique PIZZAZ PLUS qui offre plusieurs possibilités d'impression dont la récupération possible des graphiques, après exportation, par des traitements de texte comme WORD ;

⇒ FLUXSYS pour :

- ⊗< **calculer des flux** ou des **bilans** de matières dissoutes ou en suspension et les représenter graphiquement en fonction du temps avec les concentrations et débits ou volumes ;

⇒ REGSYS pour :

- ⊗< calculer des **corrélations** linéaires au sens des moindres carrés pouvant exister entre les paramètres physico-chimiques de séries d'analyses constituées par l'utilisateur ;

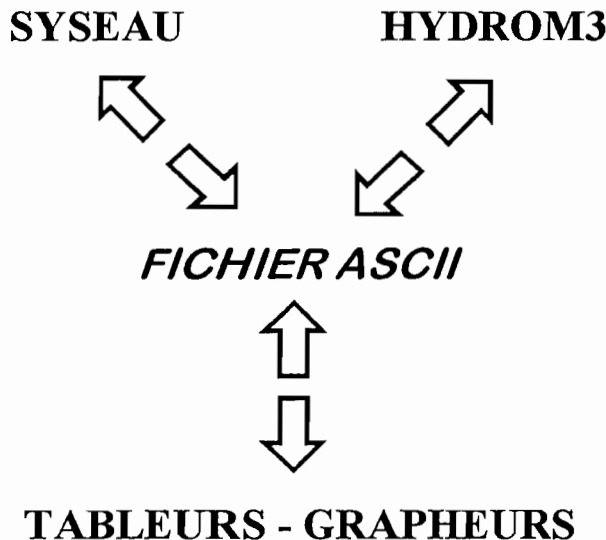
L'observation à l'écran du nuage de points permet de se faire rapidement une idée (approche exploratoire) du type de régression le plus approprié. Si la régression linéaire ne convient pas, il suffit d'exporter ces données en ASCII pour une exploitation ultérieure avec des logiciels plus adaptés ;

Pour tous ces modules, il existe des procédures de gestion des lacunes. Elles sont codées 999 et cette valeur-code sera reportée dans tous les calculs prenant en compte des paramètres présentant des lacunes.

Des écrans d'aide orientent l'opérateur dans chaque procédure et un rappel des principales notions d'hydrochimie utilisées par ce logiciel, se trouve dans son manuel d'utilisation ainsi que des exemples de traitement.

- Fonctions d'import-export :

Le schéma suivant présente les possibilités d'échanges de données d'un logiciel à l'autre à l'aide des fichiers ASCII pour lesquels, le séparateur reconnu entre chaque variable est composé d'au moins un espace.



De cette façon, les données gérées par SYSEAU peuvent être utilisées par d'autres logiciels (tableur, grapheur, ...) et vice-versa, ainsi que d'être couplées avec les débits d'HYDROM3 pour les calculs de flux de matière.

### APPLICATIONS

Les exemples traités pour illustrer ces fonctionnalités sont la Mambili, rivière Congolaise (de code station 1070504903) et deux retenues collinaires du Nordeste brésilien, le lac Manoel (code station 2), et le lac Velho (code station 87).

Le fichier ASCII *ANALYSE.DAT* (tab.3) possède les chroniques mensuelles d'analyses physico-chimiques pour ces trois stations.

L'unité des concentrations chimiques est le  $\text{mg.l}^{-1}$  (indiqué par le code 3 dans la cinquième colonne).

Les valeurs 999 indiquent les lacunes de données.

La dernière colonne contient des volumes d'eau en  $\text{m}^3$  pour les deux premières stations, puisqu'il s'agit de lacs (code station = 2 dans *STATION.DAT*) et des débits en  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  pour la dernière station (code = 1 pour cours d'eau dans *STATION.DAT* - (tab 1 et 2)).

Ces derniers ont été importés directement à partir d'un fichier ASCII de débits journaliers moyens extraits d'HYDROM3 .

\* Sur les triangles de PIPER de la figure 2, nous comparons les analyses du lac Velho et de la Mambili. Cela permet d'identifier et de caractériser ces deux familles d'eau d'origines géographiques différentes. Celles du lac Velho, mixtes chlorurées avec peu de sulfates se distinguent de celles de la Mambili, bicarbonatées mixtes mais bien moins alcalines et très pauvres en sulfates. Les premières présentent des nuages étalés, car leur composition chimique varie au cours des saisons, alors que ceux plus compacts de la Mambili indiquent une certaine stabilité temporelle.

## I - EXEMPLE DE TRAITEMENT DES ANALYSES DE LA STATION 87

\* La figure 3 permet de visualiser afin de mieux la comprendre et l'interpréter, l'évolution géochimique des eaux de cette station, du 02/08/1988 (point a) au 01/03/1989 (point b), dates de début et de fin de saison sèche.

Le losange de PIPER indique un déplacement horizontal de gauche à droite (sens de la voie saline neutre). Il peut s'expliquer soit par :

- un apport en  $\text{Cl} + \text{NO}_3 + \text{SO}_4$  et en  $\text{Na} + \text{K}$  ;
- une consommation des ions dont les teneurs relatives baissent (cas de  $\text{Ca} + \text{Mg}$  et  $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ), par des phénomènes de précipitations salines. Dans ce cas il s'agirait de bicarbonates simples ou mixtes de calcium ou magnésium ;
- les deux possibilités précédentes de manière concomitante.

Le losange de PIPER sert ainsi à la compréhension des processus de «concentration-précipitation» en phase évaporatoire ou de «dissolution-dilution» dans le cas contraire. Dans le premier cas, il aide à différencier deux grands types d'évolutions bien connues des géochimistes, la voie saline neutre et la voie bicarbonatée alcaline.

\* Le diagramme de SCHOELLER de la figure 4, présente ces deux analyses extrêmes. On peut ainsi observer pour chaque espèce ionique les variations de concentrations dues à l'évaporation du plan d'eau.

L'intérêt de ce diagramme est de pouvoir comparer des eaux de même composition chimique mais avec des concentrations différentes. En effet, dans ce cas leurs proportions ioniques sont identiques et elles se placeront parallèlement les unes au-dessus des autres au lieu de se recouvrir, comme c'est le cas avec l'utilisation de graphiques arithmétiques à réduction en pourcentage.

SCHOELLER fournit des descriptions quantitatives sur les analyses d'eau, complémentaires de celles plus qualitatives de PIPER. Ces deux diagrammes très pratiques, riches dans les informations qu'ils procurent, font partie des plus couramment utilisés dans la discipline.

\* Enfin, la figure 5, présente dans le tableau de l'USSLS (Agriculture Handbook, 1954), l'évolution de ces eaux durant la saison sèche, en fonction de leur conductivité électrique et de leur risque d'alcalinisation (ou  $\text{SAR} = \text{Na} / \sqrt{((\text{Ca} + \text{Mg})/2)}$ ). Effectivement, les eaux utilisées en irrigation peuvent engendrer une baisse de perméabilité des sols, par fixation de sodium sur le complexe adsorbant des sols. Ce pouvoir alcalinisant est évalué par le «Sodium Adsorption Ratio» ou SAR, calculé à partir des concentrations exprimées en  $\text{meq.l}^{-1}$ .

Nous constatons que l'eau de cet exemple passe des classes C2S1 à C3S1, ce qui indique une élévation du risque de salinisation. Les gestionnaires des périmètres d'irrigation devront tenir compte de cette tendance dans la programmation de leurs doses de lessivage. Mais, il faut toutefois rester extrêmement prudent quant à l'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation, notion très relative qui doit toujours être rapportée au type de sol et de plantes concernés et au type d'irrigation et de drainage en place.

## II - EXEMPLE DE TRAITEMENT DES ANALYSES DE LA STATION 1070504903

\* La figure 6 montre que l'eau moyenne de cette station est bicarbonatée mixte, information mentionnée dans le tableau 4 qui précise également les variations des deux indices géochimiques RE (TARDY, 1968) et ITB (SCHOELLER, 1962) qui donnent une indication sur la nature et l'origine de la minéralisation de l'eau étudiée.

Le premier calculé à partir des concentrations exprimées en  $\text{moles.l}^{-1}$  indique l'altération géochimique dominante. Pour notre exemple, ses valeurs entre 0 et 2 montrent qu'il y a passage entre allitisation (formation de gibbsite et lessivage complet de la silice et des cations basiques dans des proportions relatives identiques à celles des roches mères, seule subsiste l'alumine) et monosiallisation (néoformation d'un seul type d'argile du genre kaolinite) ;

Le second indice calculé à partir des concentrations en  $\text{meq.l}^{-1}$  est dit indice d'échange des bases ou de déséquilibre chloro-alcalin, qui peut provenir à la fois de l'échange de bases comme de l'altération des roches. Cependant, les eaux des terrains cristallins peuvent présenter des ITB négatifs si la dissolution des silicates libère plus d'ions alcalins que d'ions chlorures, cas de l'exemple traité.





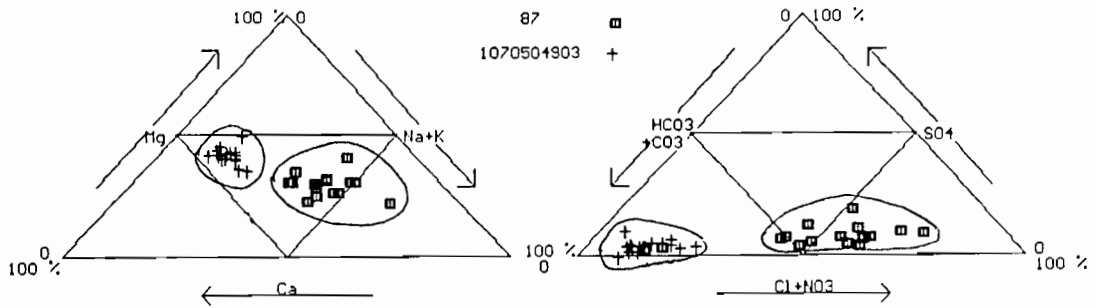


Fig.2 : Triangles de PIPER représentant les analyses des stations 87 et 1070504903

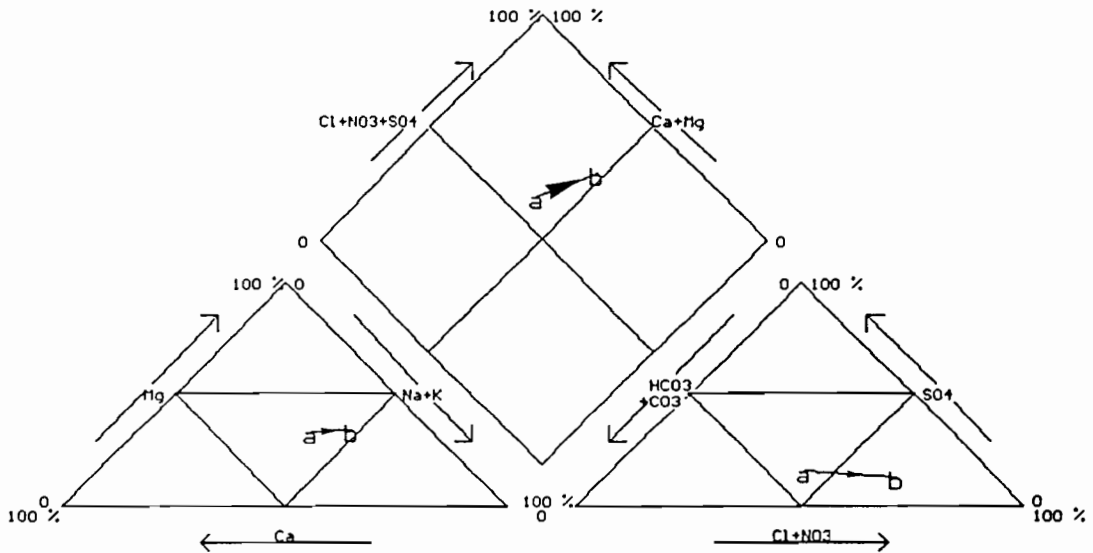


Fig.3 : Evolution hydrochimique de l'eau de la station 87 en début (a) et fin (b) de phase évaporatoire dans les diagrammes de PIPER

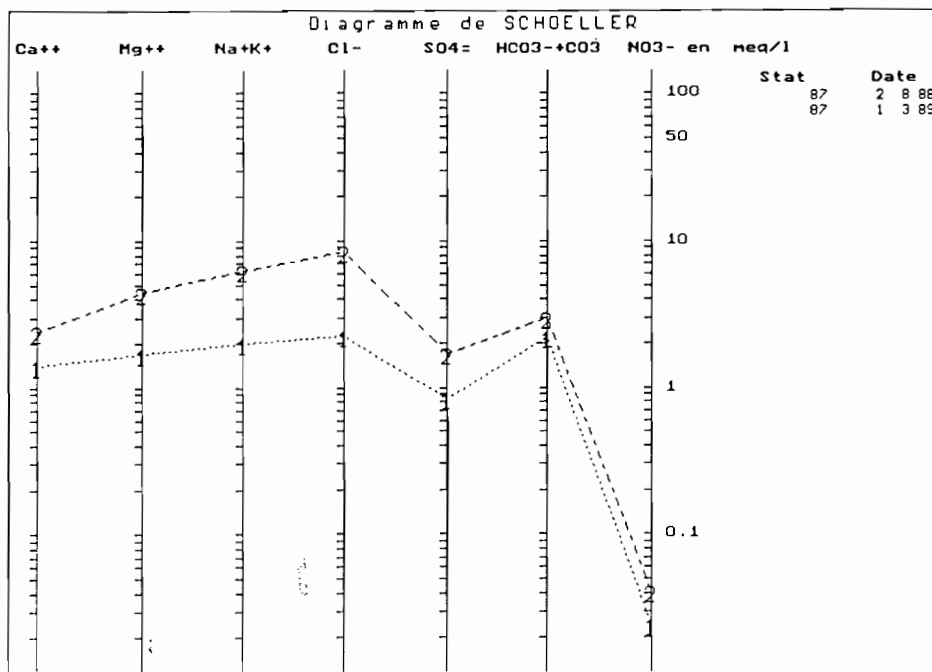


Fig.4 : Diagramme de SCHOELLER avec deux analyses (début et fin de saison sèche) de la station 87

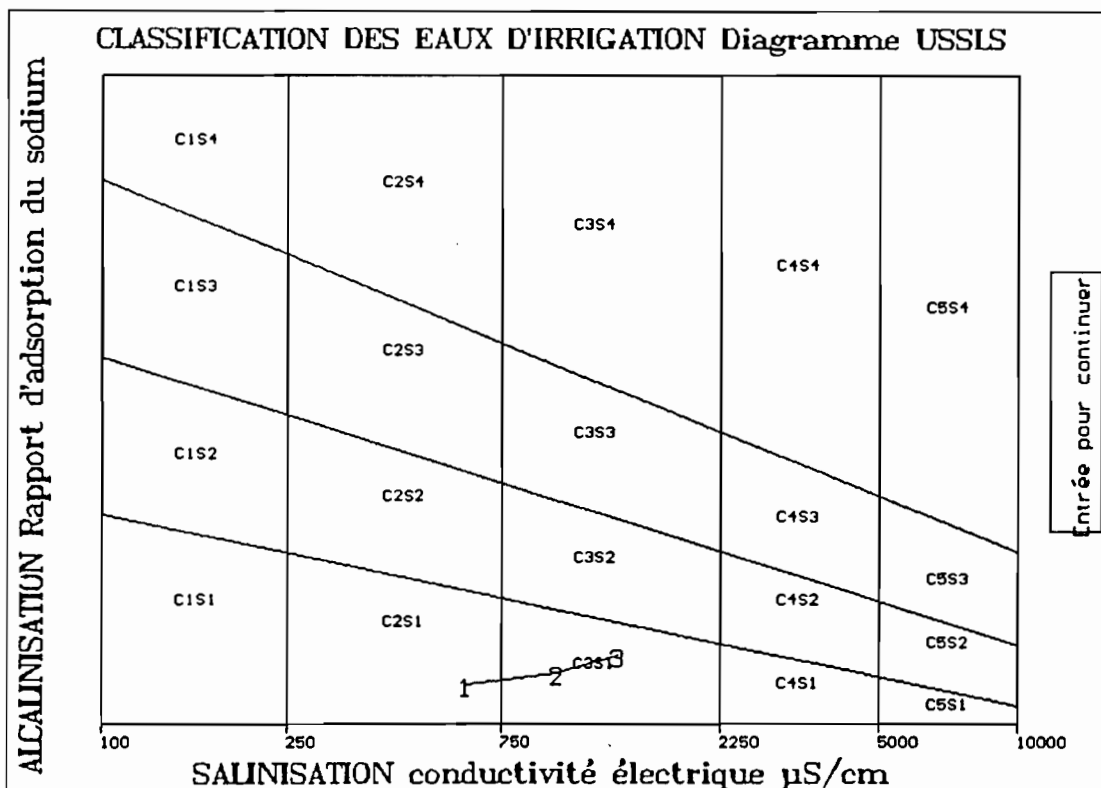


Fig.5 : Evolution sur le diagramme USSLS de l'eau de la station 87 en saison sèche

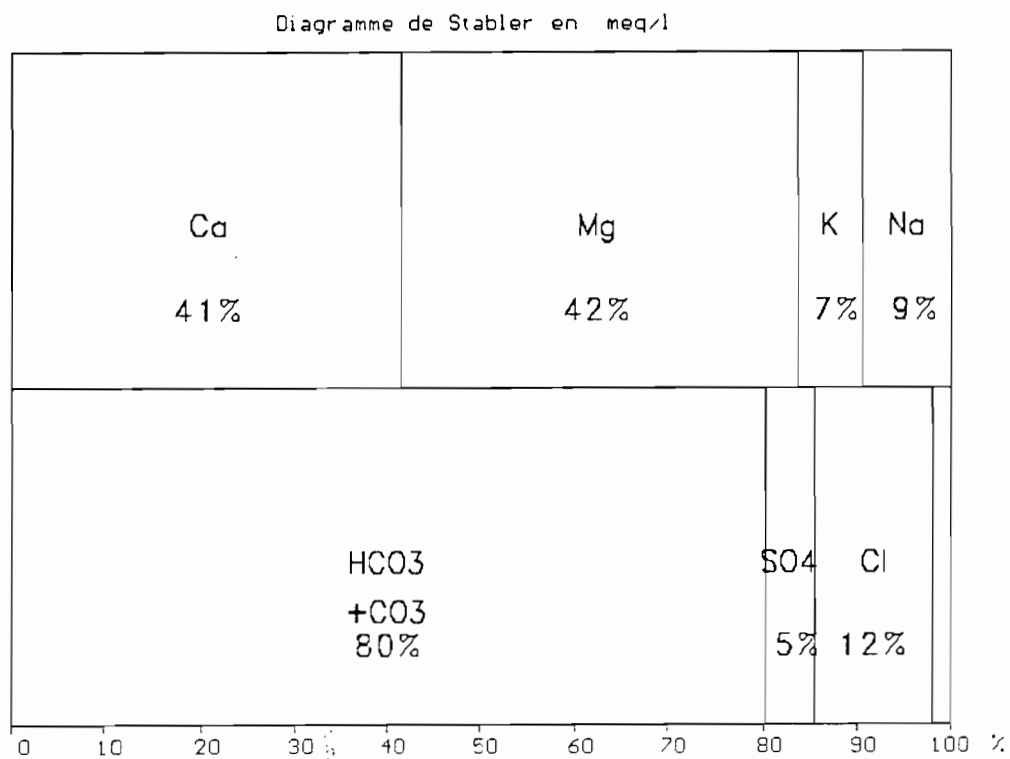


Fig.6 : Diagramme de STABLER représentant l'analyse moyenne de la station 1070504903

## LISTE DES ANALYSES

STATION	DATE	Facies	RE	ITB
1070504903	30/ 4/92	Magnésienne-Bicarbonatee	1.020	-0.110
1070504903	2/ 7/92	Mixte-Bicarbonatee	1.717	-0.070
1070504903	9/12/92	Mixte-Bicarbonatee	1.648	-0.133
1070504903	10/ 2/93	Mixte-Bicarbonatee	2.042	-0.125
1070504903	10/ 3/93	Mixte-Bicarbonatee	2.089	-0.079
1070504903	10/ 4/93	Mixte-Bicarbonatee	2.067	-0.058
1070504903	10/ 5/93	Mixte-Bicarbonatee	1.658	-0.065
1070504903	10/ 6/93	Mixte-Bicarbonatee	0.889	-0.075
1070504903	10/ 7/93	Mixte-Bicarbonatee	1.399	-0.029
1070504903	10/ 8/93	Mixte-Bicarbonatee	1.435	-0.011
1070504903	10/ 9/93	Mixte-Bicarbonatee	0.664	-0.016
1070504903	10/10/93	Mixte-Bicarbonatee	0.385	0.004
1070504903	10/11/93	Mixte-Bicarbonatee	0.982	0.093
1070504903	6/12/93	Mixte-Bicarbonatee	0.775	-0.000
1070504903	10/ 1/94	Mixte-Bicarbonatee	1.516	0.041
1070504903	15/ 5/94	Mixte-Bicarbonatee	0.672	-0.018

Tab.4 : Faciès et indices géochimiques des analyses de la station 1070504903

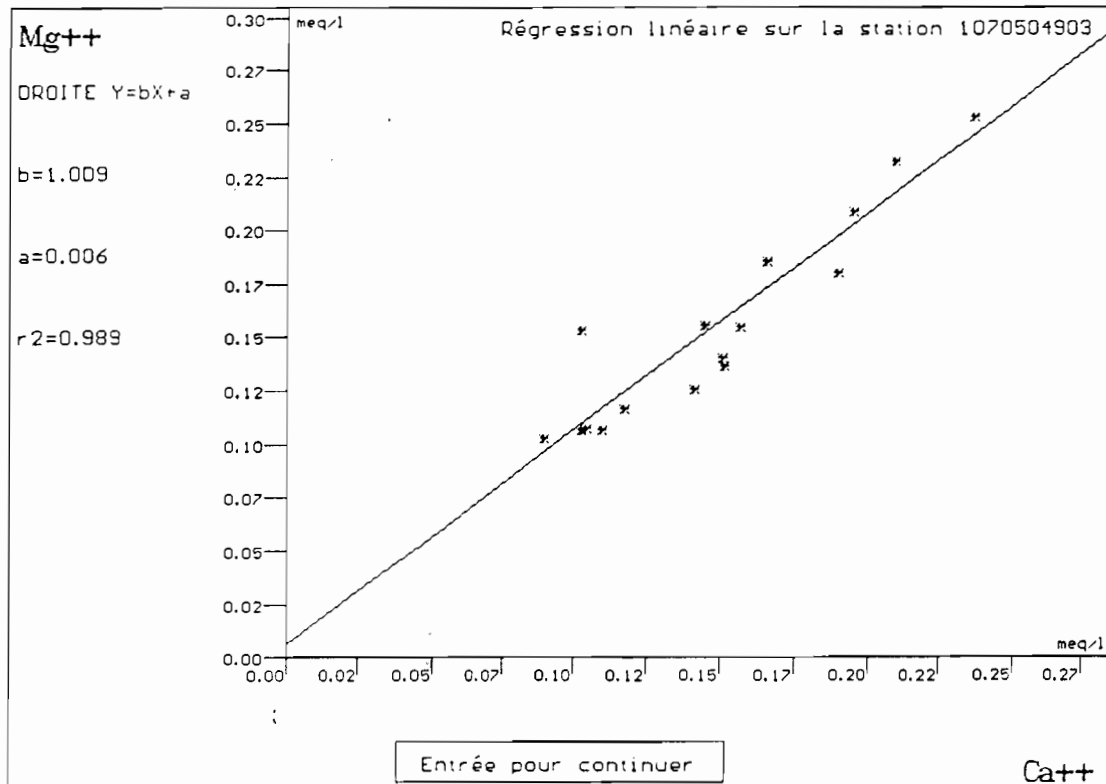


Fig.7 : Régression linéaire entre Mg et Ca pour la station 1070504903

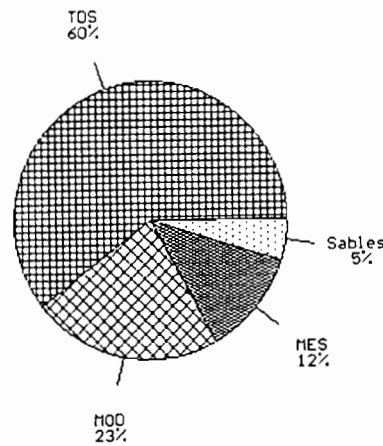


Fig.8 : Répartition moyenne des transports de la station 1070504903

Fichier de flux journaliers

Code	Jour	Mois	An	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Cdis	MESg	MESf	Q	
1070504903	30	4	92	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1070504903	2	7	92	0.44	0.30	0.19	0.00	0.17	0.13	2.78	0.00	0.14	1.25	0.00	0.00	5.50	0.49	1.38	104	
1070504903	9	12	92	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1070504903	10	2	93	0.33	0.18	0.15	0.11	0.16	0.14	2.09	0.00	0.08	1.09	0.00	0.00	3.98	1.20	0.71	107	
1070504903	10	3	93	0.43	0.28	0.15	0.11	0.20	0.13	2.71	0.00	0.04	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	111	
1070504903	10	4	93	0.53	0.35	0.15	0.12	0.22	0.16	3.21	0.00	0.13	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	112	
1070504903	10	5	93	0.57	0.37	0.14	0.19	0.25	0.17	3.65	0.00	0.01	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	196	
1070504903	10	6	93	0.45	0.32	0.13	0.16	0.20	0.16	3.06	0.00	0.01	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	251	
1070504903	10	7	93	0.36	0.25	0.08	0.08	0.15	0.10	2.38	0.00	0.01	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	108	
1070504903	10	8	93	0.41	0.24	0.09	0.12	0.23	0.15	2.24	0.00	0.06	1.31	0.00	0.00	4.79	0.02	0.77	107	
1070504903	10	9	93	0.43	0.26	0.04	0.19	0.21	0.19	2.38	0.00	0.19	1.94	0.00	0.00	8.62	0.11	2.07	181	
1070504903	10	10	93	0.51	0.32	0.04	0.21	0.26	0.09	3.16	0.00	0.01	2.44	0.00	0.0	0 10.47	0.39	2.02	246	
1070504903	10	11	93	0.48	0.30	0.06	0.31	0.54	0.15	2.78	0.00	0.01	2.34	0.00	0.0	0 9.67	0.09	0.09	228	
1070504903	6	12	93	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1070504903	10	1	94	0.54	0.33	0.11	0.30	0.51	0.13	3.15	0.00	0.01	2.04	0.00	0.00	12.03	0.28	0.38	172	
1070504903	15	5	94	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

Tab.5 : flux journaliers calculés pour les analyses de la station 1070504903

Fichier de Flux mensuels calculés par la méthode 2

Code	Mois	An	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Cdis	MESg	MESf
1070504903	4	1992	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1070504903	7	1992	0.39	0.27	0.17	0.00	0.15	0.12	2.52	999	0.12	1.13	0.00	0.00	4.97	0.44	1.25
1070504903	12	1992	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1070504903	2	1993	0.32	0.18	0.14	0.11	0.16	0.14	2.05	999	0.08	1.07	0.00	0.00	3.89	1.18	0.69
1070504903	3	1993	0.41	0.27	0.14	0.11	0.18	0.12	2.54	999	0.04	0.97	0.00	0.00	999	999	999
1070504903	4	1993	0.54	0.35	0.15	0.13	0.22	0.16	3.27	999	0.13	1.09	0.00	0.00	999	999	999
1070504903	5	1993	0.54	0.36	0.14	0.18	0.24	0.16	3.46	999	0.01	1.66	0.00	0.00	999	999	999
1070504903	6	1993	0.35	0.25	0.10	0.12	0.15	0.12	2.40	999	0.01	1.74	0.00	0.00	999	999	999
1070504903	7	1993	0.39	0.26	0.08	0.08	0.16	0.11	2.55	999	0.01	1.13	0.00	0.00	999	999	999
1070504903	8	1993	0.45	0.26	0.10	0.13	0.26	0.17	2.50	999	0.07	1.46	0.00	0.00	5.35	0.02	0.86
1070504903	9	1993	0.43	0.26	0.04	0.19	0.21	0.19	2.41	999	0.19	1.96	0.00	0.00	8.72	0.11	2.09
1070504903	10	1993	0.43	0.27	0.03	0.18	0.22	0.08	2.64	999	0.01	2.04	0.00	0.00	8.76	0.33	1.69
1070504903	11	1993	0.52	0.33	0.07	0.34	0.59	0.17	3.03	999	0.01	2.56	0.00	0.00	10.55	0.10	0.10
1070504903	12	1993	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1070504903	1	1994	0.52	0.31	0.10	0.29	0.49	0.13	3.04	999	0.01	1.96	0.00	0.00	11.61	0.27	0.36

Tab.6 : Flux mensuels calculés par la méthode 2 pour la station 1070504903

Pour les calculs de flux de matière sur un cours d'eau, on peut soit utiliser les débits du fichier ANALYSE.DAT, soit importer les débits journaliers correspondant issus d'HYDROM3. Cette opération de couplage des données n'est réalisable par SYSEAU que si les codes des stations de prélèvement sont identiques à ceux à dix chiffres utilisés pour les stations hydrométriques correspondantes d'HYDROM3

## CALCUL DES FLUX ET BILANS DE MATIERE

Ce module de SYSEAU est surtout adapté au traitement de chroniques de données dont le plus petit pas de temps est le jour. Il s'applique en particulier aux problématiques de transports des grands cours d'eau pour lesquels les variations journalières tant de débits que de concentrations de matière sont faibles. Ce n'est pas le cas des cours d'eau à crues brutales et sporadiques dont les variations de débits et de concentrations de matière sont importantes au cours d'une journée.

Ces calculs de flux ou de masses de matière en suspension ou dissoutes au pas de temps journalier ou mensuel pour les cours d'eau, et uniquement journalier pour les lacs et les nappes phréatiques, sont réalisés suivant les procédures suivantes :

### Calculs aux pas de temps journaliers

Les flux ou bilans calculés sont obtenus par le produit des concentrations instantanées avec le débit ou volume d'eau instantané au moment de la mesure, comme :

$$F_j = C_j * Q_j \quad \text{avec :}$$

- $C_j$  = concentrations journalières moyennes en  $\text{mg.l}^{-1}$  ou  $\text{meq.l}^{-1}$  ou  $\text{mmoles.l}^{-1}$  représentatives de la section ou du volume étudié dans le cas d'un cours d'eau ou d'un lac ou d'une nappe phréatique. Les conversions nécessaires sont effectuées pour obtenir des flux en  $\text{kg.s}^{-1}$  ;
- $Q_j$  = débits ou volumes journaliers moyens en  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  ou  $\text{m}^3$ , de la section ou de l'espace liquide étudié dans le cas d'un cours d'eau ou d'un lac ou d'une nappe phréatique.

Ces données sont considérées par SYSEAU comme des moyennes journalières dans les traitements ultérieurs. Ou alors, c'est à l'utilisateur de fournir des débits et des concentrations représentatives de la section de mesure et d'un pas de temps journalier.

### Calculs aux pas de temps mensuels

SYSEAU propose deux méthodes stochastiques pour le calcul des flux mensuels ( $F_m$ ), par moyenne arithmétique (❶) ou par moyenne pondérée par les débits (❷).

$$\text{❶ moyenne arithmétique des flux : } F_m = \left[ \sum_1^n (C_j * Q_j) \right] / n ;$$

- cette méthode calcule pour chaque mois la moyenne arithmétique des flux journaliers. Bien sûr, pour des prélèvements aux pas de temps mensuels, flux journaliers et mensuels seront identiques.

$$\text{❷ moyenne des flux pondérée par les débits : } F_m = \left[ \sum_1^n (C_j * Q_j) / \sum_1^n Q_j \right] * Q_m$$

avec :

- $n$  : nombre d'analyses dans le mois ;
- $C_j$  et  $Q_j$  : concentration et débit journalier au jour  $j$ , provenant d'HYDROM3 ;
- $Q_m = \sum_1^p Q_i / p$  : débit mensuel moyen (SYSEAU prend la valeur  $Q_m$  calculée par HYDROM3);
- $p$  : nombre de débits journaliers dans le mois ;
- $Q_i$  : débits journaliers au jour  $i$  ;

en général  $1 \leq n \leq p \leq 31$ .

- ce calcul n'est possible qu'à partir des débits importés d'HYDROM3. Si pour le mois considéré, il n'existe que le débit du jour de prélèvement, le flux mensuel sera ici aussi équivalent au flux journalier.

Evidemment ces deux expressions (❶ et ❷) sont équivalentes lorsque à chaque  $Q_j$  correspond un  $C_j$ .

Mais l'équation ❷ calculant un flux moyen par pondération des débits, trouve tout son intérêt lorsque la série des  $C_j$  est inférieure à celle des  $Q_i$ . Cette situation est la plus fréquemment rencontrée dans la pratique : l'opérateur ne disposant par exemple que de quelques prélèvements journaliers d'eau par mois (indicés  $j$ ) et de séries plus complètes de débits journaliers (indicés  $i$ ).

Mais c'est toujours à l'opérateur d'analyser la validité de ces calculs en fonction du type de milieu qu'il étudie et des variations spatio-temporelles des paramètres concernés.

Ainsi lorsque l'on dispose que d'un prélèvement par mois, le flux mensuel sera égal au flux journalier dans le calcul ❶ et au produit de la concentration journalière et du débit moyen mensuel calculé à partir d'une chronique plus ou moins complète de débits journaliers issus d'HYDROM3, pour la formule ❷.

De même, si le mois considéré ne possède qu'un débit journalier, celui du jour de prélèvement, le flux mensuel sera alors égal à celui de ce jour pour les deux formules ❶ et ❷.

## CONCLUSION

Par l'éclairage qu'il apporte sur l'analyse des données hydrochimiques, SYSEAU est un complément fort apprécié de l'hydrologue et du gestionnaire des ressources hydriques, superficielles ou souterraines.

Cet outil sert tout aussi bien à la description des écosystèmes aquatiques comme à des travaux de recherche sur la compréhension de leur fonctionnement (évolutions spatio-temporelles, origine de la minéralisation des eaux, etc. ...), ou comme d'aide à la décision.

SYSEAU n'a pas pour prétention de répondre à toute les problématiques traitant de qualité des eaux, comme celles par exemple concernant l'hydrobiologie, les éléments traces ou l'étude fine des saumures.

Mais il peut servir d'intermédiaire avant une orientation future vers des modèles de simulation géochimiques, plus complexes d'utilisation et difficilement accessibles.

Il reste un outil simple et convivial grâce à ses nombreux menus déroulant interactifs, ses fenêtres imbriquées, ses écrans de saisie actionnés par la souris ou le clavier, ainsi que par ses pages d'aide contextuelle, amplement complétées par un petit manuel d'utilisation, illustré d'exemples et rappelant les principales bases d'hydrochimie utilisées.

## BIBLIOGRAPHIE

Agriculture Handbook n°60, 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Salinity Laboratory Staff, L.A.Richards (ed.), Washington, 159 p.

Boyer J.F, Cochonneau G., Dieulin-Picard C., 1994. *HYDROM 3.1 - Gestion et traitement des données hydrométriques*. ORSTOM, Laboratoire d'hydrologie, Montpellier, 248 p. + annexes.

Schœller H., 1962. *Les eaux souterraines*. Ed. Masson, Paris, 642 p.

Tardy, 1968. *Une méthode de détermination des types d'altération actuels par l'étude des eaux en pays granitiques et gneissiques*. C.R. Ac. Sc, Paris, série D, 278 : 1999-2002

## ANNEXES

1 H	<table border="1"> <tr> <td>Rad. Naturelle</td> <td>Halogènes</td> <td>Métaux</td> </tr> <tr> <td>Rad. Artificielle</td> <td>Gaz rares</td> <td>Lanthanides</td> </tr> <tr> <td>Alcalins</td> <td>Chalcoïdés</td> <td>Actinides</td> </tr> <tr> <td>Alcalino-terreux</td> <td>pycnogènes</td> <td>Sortie</td> </tr> </table>																Rad. Naturelle	Halogènes	Métaux	Rad. Artificielle	Gaz rares	Lanthanides	Alcalins	Chalcoïdés	Actinides	Alcalino-terreux	pycnogènes	Sortie	2 He
Rad. Naturelle	Halogènes	Métaux																											
Rad. Artificielle	Gaz rares	Lanthanides																											
Alcalins	Chalcoïdés	Actinides																											
Alcalino-terreux	pycnogènes	Sortie																											
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne												
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar												
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 U	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr												
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe												
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn												
87 Fr	88 Ra	89 Ac																											
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu													
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lu													
<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">?</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">ESC</div> </div>																													

A.1 - Tableau de classification périodique des éléments de MENDELEIEV