

LE BRUSQ J.-Y., LOYER J.-Y., PEDOLOGUES ORSTOM - DAKAR

INTRODUCTION :

La création d'une retenue d'eau de quelque importance est susceptible de modifier fortement l'hydrologie et la qualité des eaux dans la région concernée. Parmi les perturbations apportées, on peut citer :

- la concentration par évaporation des eaux retenues
- l'élévation du niveau des nappes phréatiques par infiltration à partir de la retenue ou à partir des sols irrigués
- la contamination des nappes par les sels ou les engrais lessivés à partir des sols
- l'accumulation d'eaux de drainage plus ou moins salées après concentration par évapotranspiration.

Afin d'éviter que ces perturbations ne se traduisent par la pollution d'eaux de consommation ou par la salinisation et l'alcalisation des sols, une surveillance de la qualité des eaux doit être effectuée. Des données d'analyses nombreuses et d'origines diverses doivent être recueillies et stockées puis interprétées selon divers critères. L'utilisation de l'informatique peut alors apporter une aide précieuse.

I - Le stockage informatique des données : la banque 'Qualité des eaux'

Un échantillon d'eau est caractérisé par plusieurs variables, résultats de déterminations physiques, chimiques et biologiques. Son origine (lieu, date, environnement) doit également être indiquée avec précision. Toutes ces données peuvent être stockées grâce à l'informatique. Cette méthode présente de nombreux avantages :

- stockage d'un grand nombre de données sous une forme compacte ( $\approx$  150 000 analyses sur une bande magnétique) ;
- accès rapide à l'information désirée, sans risque d'erreur de reproduction ;
- présentation standardisée des résultats
- obtention rapide de données statistiques (moyennes, corrélations, analyses de tendance...).

Il existe cependant une contrainte : les résultats doivent être présentés sous une forme standardisée pour pouvoir être introduits dans la banque. La liste des variables stockées, avec les unités ou les codes correspondants doit être définie à l'avance. Le repérage des échantillons et leur codification doivent être particulièrement étudiés afin que chaque utilisateur puisse retrouver dans la masse des données stockées celles dont il a besoin. Une concertation entre tous les utilisateurs potentiels de la banque est donc nécessaire avant sa mise en place.

Ce travail étant effectué, chaque utilisateur peut utiliser une fiche d'analyse standardisée, adaptée à ses besoins, lui permettant d'introduire ses données dans la banque. Nous donnons en exemple un modèle de Fiche proposé par l'ORSTOM (Annexe 1). Les données que l'on veut stocker doivent ensuite être validées (contrôlées) par un programme spécial. Les erreurs grossières sont alors éliminées (pH supérieur à 14, concentration aberrante...).

Enfin, un programme d'édition permet d'imprimer des résultats sélectionnés selon les

\* Communication au Colloque "Barrages en Terre et Développement des zones rurales en Afrique" - Thiès (Sénégal) 10/16 Avril 1983.



besoins. Par exemple, on peut imprimer tous les résultats concernant une région donnée, ou une période définie.

Les programmes mentionnés ci-dessus sont communs à toutes les banques de données, quelle que soit l'application envisagée (agriculture, élevage, santé, industrie...).

## II - Utilisation de la banque à des fins agronomiques

Un programme informatique permettant l'appréciation de la qualité des eaux à des fins agronomiques (irrigation) a été élaboré à l'ORSTOM. Cette appréciation peut se faire à partir de paramètres mesurés ou calculés, qui sont pris en compte simultanément.

### 2.1. Paramètres principaux

#### - La conductivité électrique (mmhos/cm)

La conductivité électrique d'une eau augmente avec sa teneur en sel. Plus elle est forte, plus le risque de salinisation est élevé. Le U.S. Salinity Laboratory (1954) a proposé un classement des eaux en fonction de leur conductivité. Au-delà de 0,75 mmhos/cm, par exemple, des problèmes sérieux risquent d'apparaître.

La conductivité électrique est en général mesurée, mais peut aussi être calculée à partir des concentrations des sels dissous (MAC NEAL et al, 1970), ou estimée à partir de la charge totale dissoute.

#### - Le Sodium Adsorption Ratio (S.A.R.)

Le S.A.R. exprime le rapport entre la concentration du sodium et celle des alcalino-terreux

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}} \quad (\text{en mé/l})$$

C'est une mesure de la nocivité du sodium vis-à-vis du sol et de la plante :

- vis-à-vis du sol : le taux de fixation du sodium sur les argiles (E.S.P.) est une fonction croissante du S.A.R. Lorsque ce taux est trop élevé (15 % environ), les argiles se dispersent, le sol devient imperméable à l'eau et à l'air. C'est l'alcalisation, qui peut être suivie de l'alcalinisation (augmentation du pH) après lessivage des sels
- vis-à-vis de la plante : le sodium est toxique pour les végétaux à des concentrations inférieures à celles qui dégradent le sol. En outre, l'alcalisation inhibe le développement racinaire

Le S.A.R peut être calculé à partir des concentrations, ou, mieux, à partir des activités des ions. Les activités ioniques sont des grandeurs thermodynamiques, appelées parfois concentrations efficaces, qui prennent en compte les interactions entre tous les ions. Leur calcul, en général très complexe, requiert un ordinateur. Mais le S.A.R. calculé à partir des activités (S.A.R.\*) reflète mieux le danger d'alcalisation dans les eaux sulfatées ou carbonatées (BABCOCK et SCHULZ, 1963, NAKAYAMA, 1975). Diverses formules permettent ensuite de calculer le taux de sodium adsorbé à partir du S.A.R.\* (LE BRUSQ, 1982).

## 2.2. Paramètres secondaires

- L'alcalinité résiduelle :  $(\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$

C'est la somme carbonates + bicarbonates qui resterait en solution après précipitation totale des carbonates alcalino-terreux. Si cette valeur est positive, la concentration de cette eau s'accompagnera d'une élévation du pH. Le S.A.R. s'élèvera également. On peut aussi estimer cette augmentation du S.A.R. due à la précipitation des carbonates de Ca et Mg en sols calcaires par une méthode proposée par BOWER et al. (1968). Des modèles plus complexes permettent de prévoir l'évolution de la composition chimique de l'eau qui se concentre dans le sol par évapotranspiration (OSTER et MAC NEAL, 1971, DROUBI et al. 1976). Les risques de salinisation et d'alcalisation sont ainsi plus finement estimés.

- La saturation vis-à-vis de minéraux (calcaire, gypse) est estimée à partir des activités ioniques. En cas de sursaturation, on peut assister à la précipitation du minéral considéré, ce qui risque de perturber l'irrigation en colmatant de petits orifices (goutte à goutte). Un problème similaire est posé par le fer ferreux, qui, après oxydation à l'air, précipite sous forme d'hydroxyde ferrique.

- Le pH peut être considéré comme satisfaisant entre 5 et 8,5. Mais nous avons vu qu'il est susceptible de varier par précipitation de minéraux. L'oxydation de fer ferreux ou de sulfures peut de même entraîner une forte acidification (jusqu'à  $\text{pH} \approx 2$ ), qui peut être prédite par le calcul.

- La toxicité pour les végétaux : Certains éléments (Sodium, Chlore, Bore, Fluor, Aluminium) peuvent être toxiques pour les cultures à partir d'une certaine teneur dans la solution du sol. L'estimation de cette toxicité est rendue délicate par les variations de sensibilité en fonction de l'espèce, de la variété, des stades de croissance, de la sélection de nouveaux cultivars, par les différences de teneur entre l'eau d'irrigation et le sol. Des seuils approximatifs de toxicité peuvent cependant être donnés.

## 2.3. Estimation globale de la qualité d'une eau.

A partir des données d'analyse stockées dans la banque, et des divers paramètres calculés avec ces données, une estimation globale peut être faite sur un échantillon. Elle tient compte en premier lieu du couple conductivité - S.A.R., qui permet de classer l'eau dans un tableau Risque de salinisation - Risque d'alcalisation. La texture du sol à irriguer est considérée également, car le risque de salinisation par une eau donnée est d'autant plus fort que le sol est plus argileux. Les paramètres secondaires permettent ensuite d'affiner le jugement. On trouvera en annexe trois exemples de sorties obtenues avec un programme écrit pour un IBM 5120.

### Conclusion :

L'utilisation conjointe d'une banque de donnée 'Qualité des eaux' et d'un programme d'application à finalité agronomique permet donc de mettre à la disposition de tous les responsables de la gestion des périmètres irrigués des données nombreuses et fiables, accompagnées de commentaires objectifs. Il est en outre possible d'actualiser le programme d'application en fonction des connaissances récemment acquises, et notamment en fonction de l'expérience locale. L'informatique apparaît ainsi comme un moyen très efficace de vulgarisation et de diffusion des connaissances scientifiques et techniques.

## B I B L I O G R A P H I E

BABCOCK K.L. - SCHULZ R.K. - (1963) - Effect of anions on the sodium-calcium exchange in soils. Soil. Sc. Soc. of Am. P. 6 p. 630-632.

BOWER, C.A. - OGATA G. - TUCKER M. - 1968 - Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching Fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. Soil Science 106, p. 29-34.

DROUBI, A. - FRITZ, B. - TARDY Y. - 1976 - Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calcul appliqués à la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation. Cahiers ORSTOM- Pédologie, XIV n° 1 p. 1335-1347.

LE BRUSQ J.Y. - 1982 - Le concept d'activité ionique en solution aqueuse et ses applications à l'étude des sols salés.

I. Méthodes de calcul et de mesure des activités ioniques

II. Application au calcul du taux de sodium échangeable sur le complexe adsorbant.

Centre ORSTOM/DAKAR.

MAC NEAL B.L. - OSTER J.D. - HATCHER J.T. - (1970) - Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity - Soil Science, 110, p. 405-415.

NAKAYAMA F.S. - (1975) - Evaluation of the sodium-calcium exchange constants in chloride and sulfate soil systems by the associated and non associated models. Soil Science. 119, p. 405-410.

OSTER J.D. - MAC NEAL B.L. - 1971 - Computation of soil solution composition variation with water content for desaturated soils. Soil Sc. Soc. of Am. P. 35, p.436-445.

---

A N N E X E 1

Projet de Fiche d'Analyse standardisée pour l'entrée des données dans la banque.

Fiche d'analyse

ORGANISME :	
Laboratoire d'analyse :	

Code de l'échantillon :		Date du Prélèvement :		
CARTE 1/200 000 :		Localité :		
Latitude :		Longitude :		
Origine :		Profondeur :		
OBSERVATION :				
Composition :				
Unité de concentration : <input type="checkbox"/> mé/l <input type="checkbox"/> millimole/litre <input type="checkbox"/> mole/l				
Densité <input type="checkbox"/> mg/l <input type="checkbox"/> gramme/litre <input type="checkbox"/> mole/kg d'eau				
Sodium	Potassium	Calcium	Magnésium	Aluminium
Fer Ferreux	Fer Ferrique			
Chlore	Fluor	Sulfate	Phosphate	Bicarbonate
Carbonate	Nitrate	Alcalinité totale ( mé/l )	Bore (mg/l)	Silice (mg/l)
pH in situ	pH Labo	Conductivité (mmhos/cm 25°)	Charge dissoute (mg/l)	Charge solide (mg/l)
Résidu sec (mg/l)	Température			

- Exemples de fiches de données

Exemple 1 :

CODE DE L'ECHANTILLON : LAMPSAR 2 , DATE DU PRELEVEMENT : 20/8/80

NOM DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE A 1/200.000 : ST-LOUIS

LOCALITE : ROSS-BETHIO

ORIGINE : COURS D'EAU PROFONDEUR : 0

LAT : 16°10 N LONG : 16°16 W

OBSERVATION : UTILISEE EN IRRIGATION

\*\*\*\*\*  
COMPOSITION : (EN ME/L)

NA+	K+	CA++	MG++	CL <sup>-</sup>	SO4 <sup>--</sup>	CO3H <sup>-</sup>
0.69	0.12	0.38	0.34	0.8	0.34	0.59
PH LABO		SILICE		CONDUCTIVITE		CHARGE DISSOUE
7.7		3.1 MG/L		0.179 MMHOS/CM		0.113 G/L

S.A.R. = 1.15      ESP = 0,43

SAR\* = 1,21      ESP\* = 0,13

ALCALINITE RESIDUELLE = - 0.13 ME/L

SATURATION VIS-A-VIS DE MINERAUX : AUCUN

\*\*\*\*\*  
CONCLUSIONS :

EAU CHLORURO-SULFATEE, SODIQUE ET CALCO-MAGNESIENNE

EAU DE BONNE QUALITE UTILISABLE EN IRRIGATION

PREVOIR UN MINIMUM DE LESSIVAGE EN SOL PEU PERMEABLE (ARGILEUX)

C1/S1 SELON LA CLASSIFICATION U.S.S. LAB. MODIFIEE PAR DURAND.

RISQUE DE SALINISATION FAIBLE

RISQUE D'ALCALISATION FAIBLE

TOXICITES : AUCUNE

APPORT DE SELS : 1,13 TONNES/10 000 M3 D'EAU/HA

Exemple 2 :

CODE DE L'ECHANTILLON : NDIERBA ND 82 DATE DU PRELEVEMENT : 21/4/80

CARTE TOPOGRAPHIQUE A 1/200.000 : PODOR

LOCALITE : NDIERBA

ORIGINE : NAPPE PHREATIQUE PEU PROFONDE PROFONDEUR : 1,8 M DE LA SURFACE DU SOL

LAT : - LONG : -

OBSERVATION : SOUS PARCELLE IRRIGUEE

\*\*\*\*\*  
COMPOSITION (EN ME/L)

NA <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CA <sup>++</sup>	MG <sup>++</sup>	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
154	1.2	7.5	15	134	19.3	9.6
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	PH	LABO	CONDUCTIVITE	CHARGE DISSOUE		
0.8	8.4		17 MMHOS/CM	10.2 G/L		

S.A.R. = 46 ESP = 40

SAR\* = 58 ESP\* = 41

ALCALINITE RESIDUELLE = - 12.1 ME/L

SATURATION VIS-A-VIS DE MINERAUX : CALCITE DOLOMITE

CONCLUSIONS :

EAU CHLORUREE SODIQUE

EAU DE TRES MAUVAISE QUALITE, ABSOLUMENT INUTILISABLE EN IRRIGATION.

C 5/S4 SELON LA CLASSIFICATION U.S.S. LAB. MODIFIEE PAR DURAND

RISQUE DE SALINISATION TRES FORT

RISQUE D'ALCALISATION TRES FORT

DRAINAGE INDISPENSABLE POUR EVITER LA REMONTEE DE CETTE NAPPE APRES IRRIGATION

TOXICITES : SODIUM (FORTE)

CHLORE (FORTE)

APPORT DE SELS : 102 TONNES/10.000 M3 D'EAU/HA

Exemple 3 :

CODE DE L'ECHANTILLON : D 36 DATE DU PRELEVEMENT : 04/79

CARTE TOPOGRAPHIQUE A 1/200 000 : THIES

LOCALITE : FIMELA

ORIGINE : NAPPE PHREATIQUE PERMANENTE PROFONDE

PROFONDEUR : 7M DE LA SURFACE DU SOL

LAT : 14°17 30 N LONG : 16°04 W

OBSERVATION : PUIT BOYAR

\*\*\*\*\*  
COMPOSITION : (EN ME/L)

NA+	K+	CA++	MG++	CL-	SO4 <sup>=</sup>	HCO3 <sup>-</sup>
7.8	3.9	10.6	4.4	11.6	3	12.1
ALCALINITE TOTALE		PH LABO	CONDUCTIVITE		RESIDU SEC	
12,1		8,2	2,57 MMHOS/CM		1,89 G/L	

S.A.R. = 2,85 ESP = 2,85

SAR\* = 3,39 ESP\* = 2,15

ALCALINITE RESIDUELLE = -2,9 ME/L

\*\*\*\*\*  
CONCLUSIONS :

EAU BICARBONATEE ET CHLORUREE, CALCIQUE ET SODIQUE

EAU DE TRES MAUVAISE QUALITE, PRAQUEMENT INUTILISABLE EN IRRIGATION, SAUF EN

SOLS TRES PERMEABLES (SABLEUX), EN ASSURANT UN BON LESSIVAGE

C 4/S 2 SELON LA CLASSIFICATION U.S.S. LAB MODIFIEE PAR DURAND

RISQUE DE SALINISATION TRES FORT

RISQUE D'ALCALISATION MOYEN

TOXICITES : CHLORE ( FORTE)

APPORT DE SELS : 18,9 TONNES/10.000 M3 D'EAU/4A