

Rizières de la plaine du Gharb (Maroc) : qualité des eaux superficielles et profondes

Souad EL BLIDI¹, Mohamed FEKHAOU¹, Amal SERGHINI¹ & Abdellah EL ABIDI²

1. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Zoologie et Ecologie animale, B.P. 703 Agdal, Rabat. e-mail : elblidisouad@yahoo.fr ; elblidi@israbat.ac.ma

2. Institut National d'Hygiène, Laboratoire d'Hydrologie, d'hygiène industrielle et environnementales, Av. Ibn Batouta, Agdal, Rabat.

Résumé. La qualité hydrochimique des eaux superficielles et interstitielles des rizières de la plaine du Gharb (Maroc) a été étudiée à travers le suivi spatio-temporel d'un certain nombre de traceurs physiques et chimiques (température, pH, conductivité électrique, dureté totale, dureté calcique, magnésium, alcalinité, salinité et sulfates) au cours des campagnes rizicoles 1997 et 1998. Le fonctionnement hydrochimique de ces rizières montre une succession de phases différentes (de fortes alcalinité et concentration en sulfate ou de faibles alcalinité et minéralisation) en fonction des eaux d'irrigation tributaires de la dynamique de l'Oued Sebou (marée haute et marée basse), des traitements phytosanitaires, de la croissance de la plante de riz, des processus biologiques et des échanges à l'interface eau-sédiment.

Mots clés : hydrochimie, rizières, Maroc, Oued Sebou, irrigation, traitements phytosanitaires.

Rice fields of the Gharb plain (Morocco): quality of surface and deep waters.

Abstract. A survey of the hydrochemical quality of the surface and interstitial waters of the rice fields of the Gharb plain (Morocco), was carried out through the spatial-temporal follow-up of several physical and chemical parameters (temperature, pH, electric conductivity, total toughness, calcic toughness, magnesium, alkalinity, saltiness and sulphates) during the rice cycles of 1997 and 1998. Functioning of rice fields showed a succession of different phases (rich in alkalinity and in sulphate or low in alkalinity and in mineralization) related to the irrigation waters, which are tributary of the dynamics of the oued Sebou (high tide and low tide), the phytosanitary treatments, the growth of rice plantation, the biological processes and exchanges at the water-sediment interface.

Key words: hydrochemistry, rice fields, Morocco, Oued Sebou, irrigation waters, phytosanitary treatments.

INTRODUCTION

Au Maroc, les premières expérimentations sur le riz remontent à 1934 et ont été réalisées dans le Gharb (ORMVAG 1974). Actuellement, la superficie rizicole est d'environ 13 000 ha, répartie principalement dans le bassin inférieur du Sebou (Fig. 1 A). L'irrigation est assurée par pompage dans l'oued Sebou.

Du point de vue hydro-agro-environnemental, les rizières sont des agro-écosystèmes qui restent inondés quasiment en permanence durant la période culturale (fin avril à mi-septembre), et sont asséchés le restant de l'année.

Si la culture du riz représente une source potentielle de nuisances envers l'environnement (traitements phytosanitaires, gestion de l'eau, etc.), les rizières constituent aussi une composante de la mosaïque des habitats locaux en tant que zones humides. Elles sont généralement d'un grand intérêt, permettant à de nombreuses espèces animales de réaliser une partie ou la totalité de leur cycle de vie et procurant à d'autres une nourriture abondante.

De ce fait, il existe des interactions entre l'hydro-agro-système de rizières et son environnement. C'est pourquoi une connaissance du fonctionnement hydro-agricole de ces zones est nécessaire à la compréhension des processus biologiques régissant les relations agriculture – milieu naturel et agriculture – populations animales.

L'objectif de la présente étude est la description des principales caractéristiques physiques et chimiques de la phase aquatique de l'écosystème rizière, le suivi de leur évolution saisonnière et la compréhension des mécanismes fondamentaux les régissant. Pour ce faire, nous avons effectué un suivi des paramètres physiques (température, pH et conductivité électrique) et des paramètres

représentatifs de la composition minérale de l'eau (dureté totale, dureté calcique, magnésium, alcalinité, salinité et sulfates) durant les campagnes.

MATERIEL ET METHODES

Nous avons choisi deux rizières pour notre étude, localisées dans la région de Sidi Allal Tazi à 57 km au nord-est de Kénitra (Fig. 1 B). Ces rizières sont installées sur des *Tirs* gris, sols d'origine alluvionnaire, argileux, pauvres en humus, en acide phosphorique, très souvent en azote.

Deux points de prélèvement (entrée et sortie des eaux) par rizière (Fig. 1 C) ont été fixés pour l'étude des caractéristiques hydrochimiques. Ces points ont été choisis dans le but de connaître les caractères des eaux rentrantes à la rizière et de suivre leur évolution au niveau de cet écosystème artificiel.

Les échantillons d'eau ont été prélevés durant huit campagnes au cours des deux cycles rizicoles 1997 et 1998.

Les prélèvements d'eau superficielle et interstitielle ont été effectués approximativement à la même heure dans les 4 stations. La technique appliquée pour extraire l'eau interstitielle sur le terrain est celle de Schubauer-Berigan & Ankley (1991) mais adaptée à nos conditions.

Les échantillons d'eau sont mis dans des flacons en polyéthylène préalablement lavés à l'eau distillée puis rincés 3 fois avec l'eau des rizières à analyser.

Les mesures ayant permis de caractériser la qualité physico-chimique de l'eau des rizières ont porté sur 9 variables :

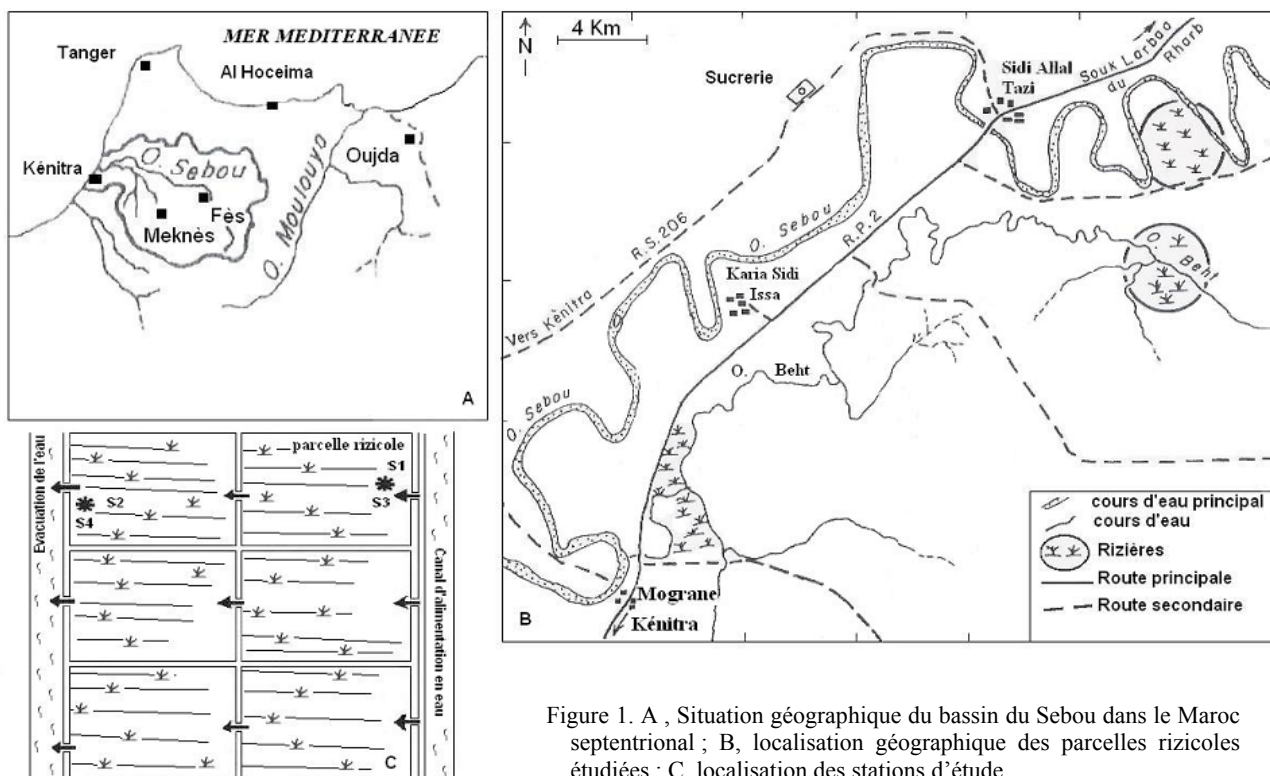


Figure 1. A , Situation géographique du bassin du Sebou dans le Maroc septentrional ; B, localisation géographique des parcelles rizicoles étudiées ; C, localisation des stations d'étude

température, pH, conductivité, salinité, sulfates, alcalinité, magnésium, dureté totale et dureté calcique.

La température, le pH, la salinité et la conductivité électrique ont été mesurés sur place. Le reste des paramètres a été analysé sur des échantillons d'eau transportés à basse température (4°C) au laboratoire d'hydrobiologie de l'Institut Scientifique.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques réalisées lors des différentes campagnes sont représentés dans les figures 2 et 3.

Température

La température est un facteur directement lié au développement du riz. Globalement, l'évolution de la température de l'eau superficielle et interstitielle varie en fonction de la température atmosphérique durant les premiers mois de culture, en relation avec la nature des rizières, entièrement ouvertes en cette période.

A partir du mois de juillet, a lieu une baisse progressive de la température de l'eau superficielle et interstitielle, qui ne suit plus celle de l'air, en raison de l'installation du couvert végétal qui forme un écran empêchant la hausse des températures, mais jouant aussi un rôle de serre modérant leur baisse pendant la nuit.

L'écart thermique entre l'entrée des eaux dans la rizière et leur sortie est appréciable (de l'ordre de 1 °C). Ceci laisse supposer un léger réchauffement des eaux à l'intérieur de la rizière. Toutefois, les températures estivales

montrent un phénomène inverse : les températures des eaux sortantes sont plus basses que celles des eaux entrantes ; ceci est à corréliser avec le développement du couvert végétal qui limite l'augmentation de la température.

pH

Ce paramètre a montré des valeurs relativement élevées lors de la campagne 1997, qui se situent pour l'eau superficielle entre 7,46 et 9,85 et pour l'eau interstitielle entre 7,10 et 9,67. Cette légère alcalinité pourrait être expliquée d'une part par l'activité biologique de la macro-végétation immergée au sein des parcelles, et d'autre part à la nature des sols des rizières installées sur les *Dehs* ou les *Tirs* connus pour leur pH alcalin et/ou à l'apport des eaux d'irrigation par l'oued Sebou lors de la marée haute (eaux salées chargées en alcalins libres).

Durant la campagne 1998, les valeurs ont été relativement basses ; elles se sont situées entre 4,83 et 7,16 pour l'eau surnageante et entre 5,03 et 6,98 pour l'eau interstitielle. Cette différence inter-annuelle pourrait s'expliquer par l'utilisation de fumure sous forme de mélange de réactions acides.

Conductivité électrique

Les données enregistrées au cours des deux campagnes rizicoles 1997/1998, montrent deux types de variation spatio-temporelle : l'une dominée par des valeurs inférieures à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et l'autre avec une augmentation importante de la conductivité électrique enregistrant des valeurs supérieures à 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

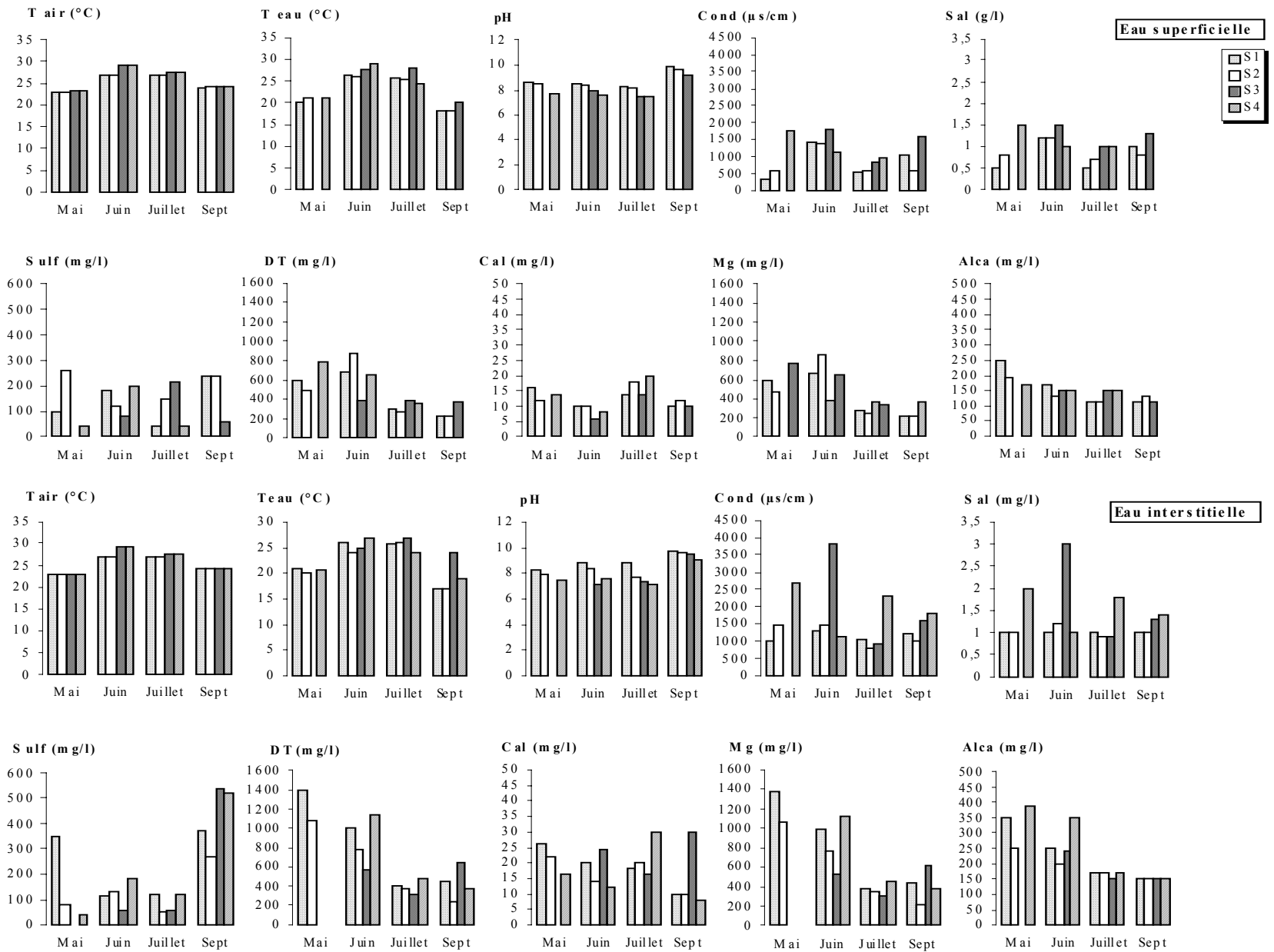


Figure 2. Variation de la température de l'air et de l'eau, du pH, de la salinité, de la conductivité électrique, des sulfates, de la dureté totale, du calcium, du magnésium et de l'alcalinité dans l'eau surnageante et interstitielle au cours de la campagne rizicole 1997

Cette forte minéralisation pourrait trouver son origine dans l'irrigation par les eaux du Sebou à marée haute, ce dernier étant connu pour sa forte charge en sels dissous. Une étude réalisée sur le bas Sebou montre que la chimie des eaux est conditionnée par la dynamique marégraphique, en plus de l'installation du barrage de garde Lalla Aïcha qui empêche la dilution des eaux aval (Fekhaoui *et al.* 1993, Fekhaoui & Bennasser 1994). Lors de la marée montante, a lieu une augmentation importante des sels et des minéraux dissous (chlorures, sulfates, calcium, etc.).

Les valeurs obtenues sont très élevées comparativement aux valeurs de la conductivité enregistrée au niveau des rizières de la Camargue (392 et 449 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ; la plus forte valeur moyenne enregistrée (580 $\mu\text{S}/\text{cm}$) était due à des conditions climatiques exceptionnelles (Vaquer & Pont 1988) ; enfin, une conductivité électrique de l'eau supérieure à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ rend l'eau d'irrigation inutilisable pour les cultures (Rodier 1996).

La conductivité électrique de l'eau interstitielle est beaucoup plus élevée que celle de l'eau superficielle ; lors de la première campagne au niveau de la station 2, la conductivité électrique est passée de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau superficielle à 1440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau interstitielle. La forte minéralisation de l'eau interstitielle pourrait s'expliquer par la solubilisation d'une partie des sels précipités au niveau de l'horizon superficiel du sol (Pont 1983).

Salinité

La variation de la salinité totale suit celle de la conductivité. Durant les deux campagnes rizicoles les teneurs de NaCl a varié entre 0,2 g/l et 1,7 g/l dans l'eau superficielle et entre 0,25 g/l et 3 g/l dans l'eau interstitielle. Comme pour la conductivité électrique, ces variations pourraient s'expliquer par les épisodes d'irrigation avec l'eau du Sebou qui se font soit à marée montante (eaux riches en sels dissous) ou à marée descendante (eaux plus douces).

Par ailleurs, comme pour la conductivité, on note que les eaux interstitielles sont plus salines que les eaux superficielles, ce qui s'explique par la richesse de l'horizon superficiel du sol en sels solubles.

Sulfates

Les teneurs en sulfates dans l'eau superficielle varient entre 12,8 mg/l et 258,58 mg/l et dans l'eau interstitielle entre 12,4 mg/l et 519,15 mg/l. Ces fortes teneurs pourraient s'expliquer par les apports considérables en sulfates de cuivre ou de fer, utilisés comme agents fongiques, et du sulfate de potasse utilisé comme engrais lors de la fertilisation. Cet élément peut provenir également des eaux d'irrigation riches en sulfates prélevées dans le Sebou à marée haute (Fekhaoui *et al.* 1993, Fekhaoui & Bennasser 1994, Bennasser 1997).

Les teneurs plus basses enregistrées en été pourraient s'expliquer par le fait qu'elles décroissent rapidement après la submersion, probablement en raison de leur utilisation par les microorganismes qui les réduisent dans le sol (Yamane 1969).

Comme pour la température, les sulfates montrent une variation spatiale importante entre l'entrée des eaux dans la rizière et leur sortie. Les valeurs enregistrées au mois de mai 1997 et au mois de mai et de juin 1998 sont respectivement de 100,05 ; 64,55 et 68,44 mg/l, alors qu'au niveau de la sortie, ils passent à 258,58 ; 107,18 et 101,45 mg/l. Cet enrichissement à l'intérieur de la rizière durant cette période est lié à l'utilisation des engrais et des fertilisants riches en sulfates.

La teneur varie selon un cycle saisonnier, basse l'été, haute l'hiver (Meybeck 1970) ; or, les variations saisonnières de cet élément dans les eaux superficielles et interstitielles des rizières, ne montrent pas de grandes différences.

Pour l'irrigation, on admet que des teneurs inférieures à 200 mg/l, sont acceptables pour la plupart des cultures (Llewellyn 2005). Des teneurs excessives en sulfate peuvent cependant entraîner la précipitation du sulfate de calcium.

Alcalinité

L'alcalinité enregistrée dans l'ensemble des stations et durant les deux cycles d'étude est importante mais irrégulière aussi bien au niveau de l'eau superficielle qu'interstitielle. Elle varie entre 70 mg/l et 250 mg/l dans l'eau superficielle et entre 80 mg/l et 390 mg/l dans l'eau interstitielle. Cette forte alcalinité est en relation avec l'augmentation de la minéralisation suite aux apports des eaux de l'oued Sebou riches en cations et en anions (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{++} , HCO_3^- , etc.). L'irrégularité de l'alcalinité est à corrélérer avec la croissance du couvert végétal immergé et par conséquent avec l'activité photosynthétique. En fin de saison, l'activité de la flore immergée est moins importante suite à la diminution de l'énergie lumineuse sous le couvert du riz : les niveaux de l'alcalinité sont relativement stables (150 mg/l au cours de la campagne du 12/9/97 dans S1, S2, S3, S4). Cependant, l'alcalinité est plus importante au niveau de l'eau interstitielle qu'au niveau de l'eau superficielle. Cette augmentation pourrait s'expliquer par des apports des formes du CO_2 qui sont sans doute augmentées par la mise en suspension dans l'eau interstitielle d'une grande quantité d'éléments fins du substrat, ce qui favorise les échanges et la dissolution des carbonates ou encore par la baisse de l'activité photosynthétique à cause de la diminution de l'énergie lumineuse incidente.

Dureté totale

La dureté de l'eau a enregistré des fluctuations spatio-temporelles importantes, avec des valeurs oscillant entre 232 mg/l et 1040 mg/l pour l'eau superficielle et entre 230 mg/l et 1400 mg/l pour l'eau interstitielle.

Comme pour les autres paramètres de minéralisation, la teneur dépend de la dynamique marégraphique (Fekhaoui *et al.* 1993, Fekhaoui & Bennasser 1994, Bennasser 1997) ; à marée basse les valeurs varient entre 200 et 600 mg/l mais deviennent supérieures à 600 mg/l à marée haute.

La mobilisation des sels solubles présents dans l'horizon superficiel du sol pourrait expliquer l'élévation de la dureté totale au niveau de l'eau interstitielle.

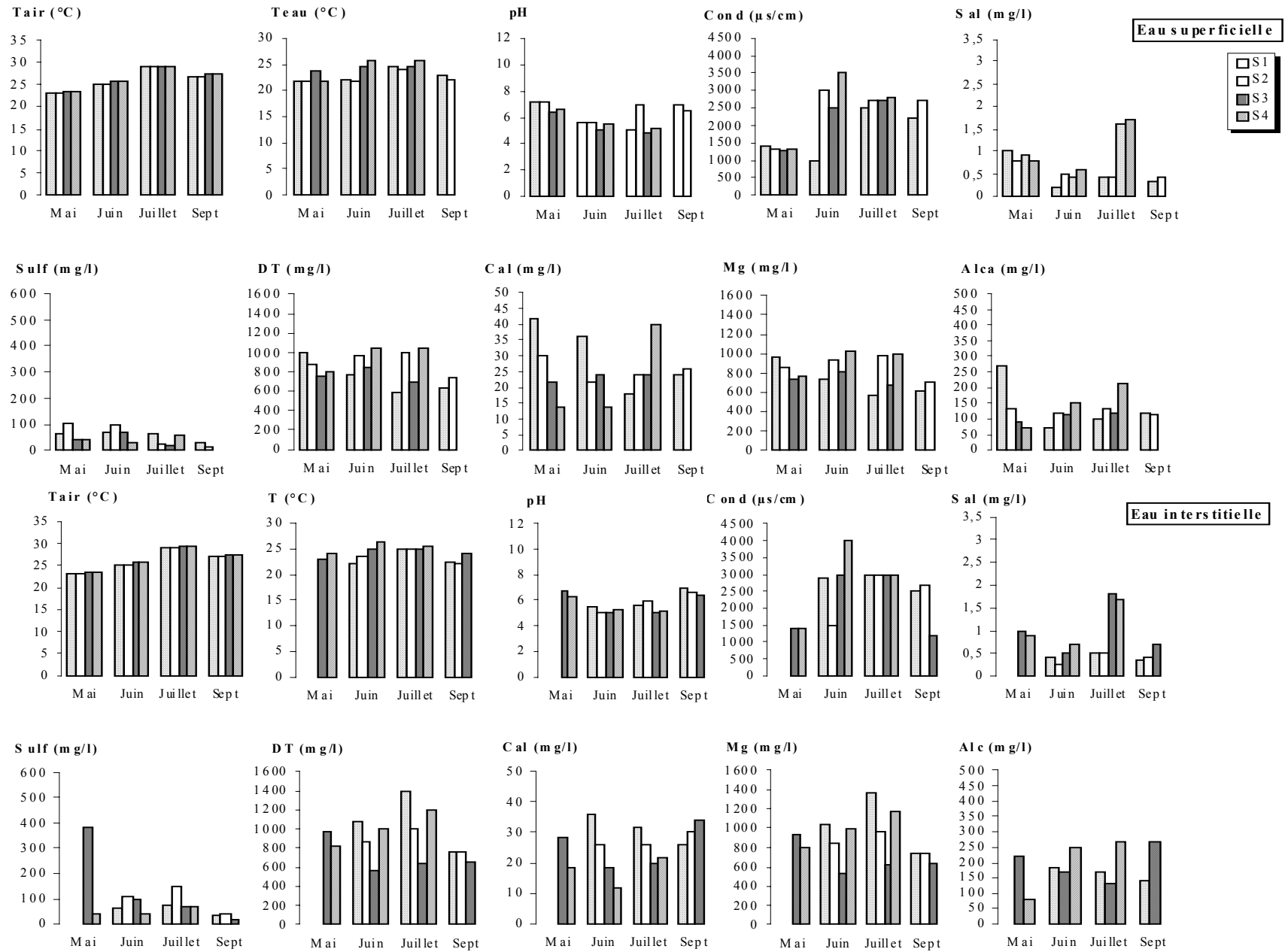


Figure 3. Variation de la température de l'air et de l'eau, du pH, de la salinité, de la conductivité électrique, des sulfates, de la dureté totale, du calcium, du magnésium et de l'alcalinité dans l'eau surnageante et interstitielle au cours de la campagne rizicole 1998

Dureté calcique et magnésienne

Lors des deux campagnes rizicoles 1997 et 1998, la dureté calcique faible, a varié entre 6 mg/l et 40 mg/l pour l'eau superficielle et 8 mg/l et 34 mg/l pour l'eau interstitielle. Cette variation ne suit pas celle de la dureté totale. Les concentrations en magnésium sont très importantes, entre 220 mg/l et 1026 mg/l pour l'eau superficielle et 220 mg/l et 1368 mg/l pour l'eau interstitielle. Ceci confirme l'utilisation à marée haute des eaux marines mélangées aux eaux de l'oued Sebou pour l'irrigation des rizières. En effet, la concentration de l'eau de mer en magnésium est de 1294 mg/l pour seulement 3,35 mg/l dans l'eau de rivière (Schlesinger 1991), celle du calcium n'est que de 400 mg/l (Albarède 2000).

La faible concentration en calcium pourrait s'expliquer par son utilisation selon les processus biologiques et/ou par sa précipitation par le biais de réactions d'oxydo-réduction au sein de cet écosystème fermé (formation de calcite, gypse, etc.).

Contrairement aux rizières du Gharb, dans celles de la Camargue les concentrations en calcium enregistrées sont de l'ordre de 168 mg/l. Ces fortes concentrations coïncident avec la croissance des characées, connues pour fixer sur leur surface d'importantes quantités de carbonate de calcium (Vaquer & Pont 1988).

Comme pour la dureté totale, les concentrations en calcium au niveau de l'eau interstitielle sont généralement plus élevées, dues probablement à la mobilisation des sels solubles présents dans l'horizon superficiel du sol.

CONCLUSIONS

La dynamique des processus hydrochimiques dans les rizières, qui occupent une part importante des terres agricoles de la plaine du Gharb, sont fonction des pratiques culturales, des conditions régnantes dans ces écosystèmes artificiels et de la dynamique des eaux d'irrigation.

Ainsi, le climat régional méditerranéen impose son régime thermique aux clos rizicoles. Les variations des températures sont accentuées par la faible profondeur de la lame d'eau. Les variations de la salinité, de la conductivité électrique, de la dureté totale, calcique et magnésienne des eaux des rizières ont permis de confirmer l'impact de la dynamique de l'oued Sebou et des périodes d'irrigation :

- à marée basse, la dureté totale au niveau de l'eau superficielle et interstitielle varie respectivement entre 200 et 600 mg/l et la conductivité électrique est inférieure à 2500 μ S/cm ;

- à marée haute, la conductivité électrique est supérieure à 2500 μ S/cm et la dureté totale est supérieure à 600 mg/l.

L'influence des eaux marines est marquée par des concentrations très importantes en magnésium, alors que le calcium n'y est présent qu'en quantité très faible.

L'utilisation de certains éléments tels que le calcium ou les sulfates dans les processus biologiques et leur précipitation dans cet écosystème fermé, pourrait expliquer les taux très faibles enregistrés. Cependant, les fortes disponibilités en sels nutritifs associés à un ensoleillement important permettent une intense production primaire. Cette

dernière joue un rôle prépondérant dans le conditionnement de certains paramètres physico-chimiques, tels que le pH et l'alcalinité.

D'une manière globale, les rizières montrent une certaine similitude avec les lacs et les étangs de faible profondeur. Les éléments diffusant à partir des sédiments sont immédiatement inclus dans les cycles biologiques (photosynthèse, etc.) et la faible profondeur permet des phénomènes d'échanges au niveau de l'interface eau – sédiment – plant.

Remerciements.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Scientifique et l'Institut d'Hygiène (Rabat). Les auteurs remercient le lecteur anonyme pour les remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

Références

- Albarède F. 2000. *La géochimie*. Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je, 126 p.
- Bennasser L. 1997. *Diagnose de l'état de l'environnement dans la plaine du Gharb : suivi de la macro pollution et ses incidences sur la qualité hydrochimique et biologique du bas Sebou*. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Ibn Tofail, Fac. Sci., Kénitra. 174 p.
- Fekhaoui M. & Bennasser L. 1994. Qualité physico-chimique des eaux superficielles et dynamique marégraphique. *Actes rencontres sur l'hydrodynamique marine*, Univ. Hassan II, Fac. Sci. Ben M'Sik Casablanca, 9-10 nov. 1994.
- Fekhaoui M., Bennasser L., Seigle-Murandi F. & Benoit-Guyod J.L. 1993. Water pollution in the Sebou river basin (Morocco). Preliminary result. *First Setac World Congress: Ecotoxicology and Environmental chemistry. A global perspective*, Lisbon, Portugal, march, pp. 28-31.
- Llewellyn J. 2005. Qualité de l'eau d'irrigation pour la pépinière et l'aménagement paysager. Rapport Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales. Gouvernement de l'Ontario, Canada.
- Meybeck M. 1970. *Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman*. Thèse Doct. Spec., Paris, 245 p.
- ORMVAG 1974. Le riz. Rapport de l'office régional de mise en valeur agricole Gharb. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, 5-19.
- Pont D. 1983. *Recherches quantitatives sur le peuplement de copépodes, cladocères et ostracodes des rizières de Camargue*. Thèse ès Sciences, U353 p.
- Rodier J. 1996. *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*. 7^{ème} édition, Dunod, 1365 p.
- Schlesinger W.H. 1991. *Biogeochemistry. An analysis of global change*. Academic press., California, 443 p.
- Schubauer-Berigan M.K. & Ankley G.T. 1991. The contribution of ammonia, metals and non-polar organic compounds to the toxicity of sediment interstitial water from an Illinois river tributary. *Env. Toxicol. & Chem.*, 10; 925-939.
- Vaquer A. & Pont D. 1988. Influence des producteurs primaires sur la régulation ionique de l'eau de submersion des rizières de Camargue. *Ecologia Mediterranea*, 14, 1/2, 5-16.
- Yamane I. 1969. Reduction of nitrate and sulfate in submerged soils with special reference to redox potential and water soluble sugar content of soils. *J. Plant Nutrition and Soil Sci.*, 15, 4, 139-148.

*Manuscrit reçu le 14 juillet 2005
Version modifiée acceptée le 10 avril 2006*