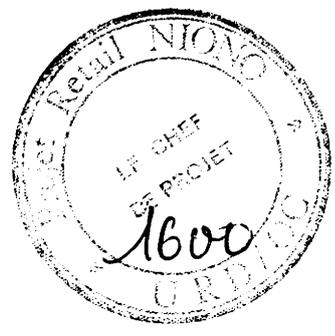
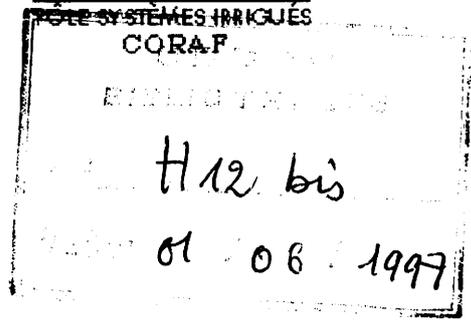




IER

INSTITUT D'ECONOMIE RURALE



**RAPPORT D'ACTIVITES 96-97**  
Evolution des sols sous irrigation à l'Office du Niger  
La gestion de l'eau sur les périmètres irrigués de l'Office du Niger

Jean-Pierre Barral

000  
0055

PSI/ MALI

Juin 97

TRAVAUX ET ETUDES N° 3

000

# Table des Matières

**Résumé et Conclusion ..... 1**

**Bilans en eau et en sels à différents niveaux d'échelle ..... 3**

1. Bilan à l'échelle du périmètre ..... 5

    1.1 Estimation du volume drainé. .... 5

    1.2. Estimation du volume apportée par l'irrigation. .... 9

    1.3. Bilan en eau ..... 10

    1.4. Bilan en sel ..... 12

2. Bilan à l'échelle de l'arroseur ..... 13

    2.1 Méthodologie ..... 13

    2.2 Eléments du bilan pour l'hivernage 96 ..... 13

3. Bilan à l'échelle du bassin. .... 15

    3.1. Méthodologie : ..... 15

    3.2. Evaluation de la variation de stock. .... 16

    3.3 Conduite des irrigations ..... 16

    3.4. Interprétation des résultats ..... 17

    3.5. Conclusion. .... 21

    3.6. Bilan en sel ..... 23

    3.7. Conclusion ..... 25

**Dynamique et chimie de la nappe phréatique. .... 26**

1. Dynamique de la nappe ..... 27

    1.1 Influence de la riziculture ..... 27

    1. 2 Influence du maraîchage ..... 29

2. Variation temporelle de la concentration des nappes ..... 30

    2.1 La conductivité électrique. .... 30

    2.2 Le pH ..... 31

    2.3 L'alcalinité ..... 31

3. Variation spatiale de la concentration des nappes. .... 32

    3.1 Liée à la perméabilité du milieu ..... 32

    3.2 Liée à la présence de sels dans les sols et à l'influence du réseau hydraulique ..... 34

4. Chimisme des eaux de nappe. .... 36

5. Dynamique des sels sous l'influence de l'irrigation. ....	37
5.1. KL3-P13 .....	38
5.2 N4-P8 .....	38
5.3 N9-P16 .....	40
5.4 N9-P9 .....	40
5.5 Conclusion .....	41
<b>Evolution des sols cultivés en maraîchage. ....</b>	<b>42</b>
1. Distribution spatiale de la salinité en maraîchage. ....	43
2. Influence de la dégradation des sols sur le rendement des échalottes. ....	47
Annexe 1: Bilan décadaire des différents sites. ....	52
Annexe 2 : Protocole d'expérimentation du bilan en eaux et en sels .....	55
<b>La gestion de l'eau sur les périmètres irrigués de l'Office du Niger</b>	<b>58</b>
Introduction .....	58
1. Présentation de l'Office du Niger. ....	58
2. Le réseau hydraulique. ....	59
3. Principes de gestion de l'eau dans les différents périmètres. ....	61
4. Gestion technique et sociale de l'eau dans la zone de Niono. ....	64
5. Les consommations en eau. ....	69
Conclusion .....	72
Annexe 1 : Débit mensuel moyen (m <sup>3</sup> /mois) au niveau des grands ouvrages.	74
Annexe 2 : Résultats des consommations en eau sur les 20 arroseurs suivis du secteur Grüber. ....	75
Annexe 3 : Carte de l'office du Niger : données de l'hivernage 94 .....	76

## Avant Propos

Ce rapport se compose de résultats obtenus lors de la campagne d'hivernage 1996 et de contre-saison 96-97. Il suit les rapports déjà publiés ('La dégradation des sols à l'Office du Niger' et 'Fonctionnement des nappes en relation avec la dégradation des sols à l'O.N.')

Il ne s'agit pas de tous les résultats du projet PSI obtenus au cours de cette période, mais des activités que j'ai pu mener avec les autres membres de l'équipe. Ces activités concernent la composante 'Lutte contre la dégradation des sols' et la composante 'Gestion technique, organisation sociale et foncière de l'irrigation'.

Le chapitre traitant de la gestion de l'eau à l'Office du Niger a été présentée à l'Atelier de Niamey (Gestion technique, Organisation Sociale et Foncière de l'Irrigation) et doit paraître par ailleurs dans les Actes de cet Atelier. Les autres chapitres débutent par un résumé succinct des principales conclusions.

La liste des personnes ayant participé à l'exécution du programme est donnée ci-dessous:

Mamadou Kabirou N'Diaye	Coordinateur National PSI-Mali
Serge Marlet	Ingénieur agro-pédologue CIRAD
Mohamed Koulam Dicko	Ingénieur agro-pédologue
Bréhima Tangara	Ingénieur du génie rural
Bréhima Traoré	Technicien du génie rural
Ada Gadgiogo	Technicienne de laboratoire
Abdulaye Samaké	Technicien du génie rural
Souleymane Coulibaly	Technicien d'agriculture
Oumar Goïta	Stagiaire
Daouda Konaté	Stagiaire
Yacouba Traoré	Chauffeur
Sankoun Diakité	Chauffeur
Rokia Konta	Secrétaire
Boubacar Guindo	Planton
Sidi Coulibaly	Manoeuvre

Qu'ils en soient remerciés, ainsi que tout le personnel de la station qui m'a facilité la tâche.

# Résumé et Conclusion

La riziculture permet une percolation importante sur les levées sableuses (150 à 200 mm). Cette fraction de lessivage limite la concentration de l'eau du sol.

La percolation n'est pas mesurable par les expérimentations mises en oeuvre sur les cuvettes argileuses. Ceci s'explique par la faible perméabilité du milieu et la remontée rapide de la nappe phréatique. Le bilan des sels dépendra de l'importance des fuites au cours du cycle de l'irrigation.

Le système de drainage permet l'évacuation de près de 900 mm d'eau. Il devient progressivement engorgé, notamment à cause de la mise en place d'un pont sur le drain. Un débit de pointe de 1 l/s/ha est enregistré au moment d'épisodes pluvieux.

Pendant l'hivernage, les sels apportés par l'irrigation sont évacués par le réseau de drainage de surface. Le drainage naturel du milieu permet l'évacuation de 5% des sels apportés par l'irrigation.

La nappe affleure sous l'effet de la riziculture d'hivernage. Pendant la contre-saison rizicole, la nappe reste entre 20 et 40 cm de la surface. La pratique du maraîchage de contre-saison entraîne aussi la remontée de la nappe phréatique: elle est à une profondeur moyenne de 30 à 70 cm du sol, en fonction des capacités de drainage naturel du milieu.

Le tarissement de la nappe phréatique sous l'effet de l'ETP dépend du type de sol. Très rapide dans les sols vertiques, il est lent dans les sols sablo-limoneux.

Le niveau minimal atteint par la nappe est compris entre 0,7 m et 1,3 m de la surface du sol. Il dépend de la durée de l'assec, du type de sol et de la proximité des canaux en eau.

La concentration de la nappe peut s'expliquer par trois facteurs :

- la perméabilité du milieu,
- la présence de sels d'origine fossile,
- la dilution de la nappe par la percolation au droit des canaux.

Les parcelles cultivées en maraîchage sont plus affectées par les phénomènes de dégradation que les parcelles rizicoles. Un échantillon de parcelles maraîchères de la zone de Niono a été comparé à une prospection effectuée sur les parcelles rizicoles (Keita, 1996). Le pH labo (1/2,5) moyen est de 7,32 en maraîchage contre 6,54 en riziculture. La CE moyenne est de 0,36 en maraîchage contre 0,15 en riziculture.

Ceci s'explique par :

- La proximité de la nappe phréatique favorisant les remontées capillaires;
- La faiblesse et l'hétérogénéité spatiale du lessivage induit par l'arrosage à la calebasse;
- Le maintien en eau de rigoles espacées de 5 à 10 mètres, alimentant la nappe.

L'alcalinisation des sols a une influence négative sur le rendement des échalottes. En revanche, la salinisation reste trop limitée pour influencer le rendement de cette culture.

La gestion du réseau amène des gaspillages importants au niveau de la zone de Niono. Les consommations moyennes s'élèvent à 2000 mm sur le secteur Retail et à 1700 mm sur le secteur Grüber, pour un besoin de 1200 mm. En conséquence, des volumes importants sont évacués par le réseau de drainage, entraînant l'engorgement du système à partir de mi-septembre.

Une amélioration de la gestion de l'eau, qui devrait entraîner une amélioration du drainage, est indispensable devant l'extension des superficies cultivées.

On peut déduire de ces résultats des hypothèses quand à l'évolution du milieu et des axes de recherche.

**1. L'évolution des sols de l'Office du Niger** sous l'influence de l'irrigation va dépendre de quatre facteurs déterminants :

- Le type de sol
- Le système de culture (maraîchage ou rizicole)
- La position topographique
- la présence de sels fossiles (en général dans les sols de cuvette)

**En riziculture** l'évolution **des sols limoneux à argileux** est lente car l'eau d'irrigation est peu concentrée et le complexe d'échange tamponne les variations du chimisme du sol. Néanmoins, le lessivage permis par ces sols étant très faible (les expérimentations mises en oeuvre n'ont pas permis de l'estimer), l'accumulation de sels à long terme dans ces sols peut aboutir à une alcalinisation-sodisation. La vitesse de cette évolution dépendra principalement de la fraction de lessivage permise par la pratique de la riziculture.

La présence d'une **salinité neutre d'origine fossile** sur ces sols, pourra amener les paysans à laver l'horizon de surface par irrigation-drainage successifs.

Des recherches complémentaires, basées notamment sur la modélisation et sur la mise en place d'un observatoire des sols sont nécessaires.

Sur les **sols sableux à limono-sableux**, la perméabilité du milieu permet le lessivage des sels. La pratique de la riziculture sur ce type de sol n'amène pas un risque d'alcalinisation. En revanche, **les sols situés en position haute**, difficilement irrigable, évoluent rapidement vers une alcalinisation-sodisation, le sol tamponnant faiblement les sels provenant de l'eau d'irrigation et des remontées capillaires.

La dynamique des sels induite par **le maraîchage** est une dynamique de remontées capillaires. Le maraîchage entraîne donc une dégradation rapide des sols par salinisation (présence de sels neutres) ou alcalinisation (levée sableuse ou limoneuses).

**La rotation riz - maraîchage** (par l'installation de cultures maraîchères sur les casiers rizicoles) pourrait permettre de limiter les effets négatifs du maraîchage, la culture rizicole d'hivernage permettant le lessivage des sels accumulés au cours de la contre-saison maraîchère. Des recherches sont à effectuer dans ce sens.

# Bilans en eau et en sels à différents niveaux d'échelle

## *Echelle de la parcelle*

*L'ETP moyenne est de 7 mm / jour. Elle varie de 6 mm en début de cycle à 8 mm en fin de cycle. La percolation est importante sur les levées sableuses (150 à 200 mm). La percolation n'est pas mesurable par les expérimentations mises en oeuvre sur les cuvettes argileuses. Les expérimentations sont à reconduire sur les petites levées limoneuses, les résultats étant peu fiables.*

*Sur les levées sableuses cultivées en riziculture où la maîtrise de l'eau est bonne, la fraction de lessivage est suffisante pour éviter les risques de salinisation.*

*Sur les sols peu perméables (cuvettes argileuses), l'apport moyen de sels pour 800 mm d'eau d'irrigation est de 0,24 T/ha. Si on suppose que tous les sels apportés par l'irrigation restent dans les 50 premiers centimètres de sol, le sodium apporté dans 800 mm d'eau d'irrigation (0,2 meq/l) équivaut à 0,1% de la CEC d'un sol argileux (densité 1,5 ; CEC 20 meq/100g). Les évolutions sont donc très lentes sur les sols argileux et tamponnées par le complexe d'échange.*

*L'évacuation des sels dépendra de l'importance des fuites et des pratiques paysannes. En effet sur certains sols argileux où existe une salinité importante d'origine fossile, les paysans lavent l'horizon de surface par irrigation - drainage successifs.*

## *Echelle de l'arroseur*

*Les écoulements souterrains induits par le pendage de la nappe phréatique sont négligeables, sauf localement influencés par le réseau de drainage.*

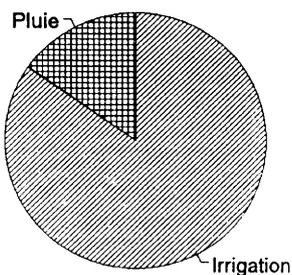
*Les bilans menés à cette échelle se sont révélés peu fiables. Des expérimentations plus précises (suivi de la salinité dans les drains, influence du réseau de drainage) sont à mener au cours de l'hivernage 97.*

## *Echelle de l'aménagement*

*Le système de drainage permet l'évacuation de près de 900 mm d'eau. Il devient progressivement engorgé, notamment à cause de la mise en place d'un pont sur le drain. Un débit de pointe de 1 l/s/ha est enregistré au moment d'épisodes pluvieux.*

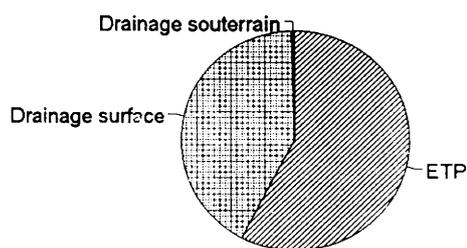
### Bilan entrée

Total : 2360 mm



### Bilan : sortie

Total : 2080 mm



*Variation de stock : +150 mm*

*Pendant l'hivernage, les sels apportés par l'irrigation sont évacués par le réseau de drainage de surface. Le drainage naturel du milieu permet l'évacuation de 5% des sels apportés par l'irrigation.*

*Ce bilan est à compléter par un bilan en contre-saison. En effet, pendant cette période, plusieurs facteurs vont favoriser l'accumulation de sels dans l'horizon de surface :*

- Sur les surfaces non cultivées, la proximité de la nappe phréatique, influencée localement par le maintien en eau des canaux.*
- La pratique du maraîchage, qui induit une dynamique de sels ascendante.*

# 1. Bilan à l'échelle du périmètre

A l'intérieur de la zone de Niono, le choix d'un périmètre où effectuer un bilan en eau et en sel est tributaire de la possibilité d'estimer les volumes drainés. Sur le drain principal Niono Grüber, deux ponts situés aux P.K. 2.1 et 9.8, permettent un jaugeage précis. Nous avons retenu le pont du PK 9.8, car il draine une superficie plus importante.

La superficie drainée se répartit comme suit :

**Grüber:** 2627 ha.

**Retail:**

- Retail 1: 1280 ha

- S P N6 6G et N6 4G: 175 ha

- Total 1455 ha

**N'Débugou:** Superficie drainée par le drain B1 : 110 ha

**Total irrigué :** 4192 ha

**Superficie totale (irrigué +5%):** 4400 ha

## 1.1 Estimation du volume drainé.

### 1.1.1 Jaugeage.

Des jaugeages réguliers ont été faits à l'aide d'un micro-moulinet afin d'établir une courbe hauteur-débit.

La figure 1.1 représente les différents jaugeages effectués au cours de l'hivernage 1996.

Cette courbe appelle plusieurs commentaires.

- Entre le 20 mai et le 30 mai, un curage du drain a eu lieu; les débits mesurés le 18 avril et le 20 mai sont plus faibles que ceux mesurés après le 30 mai, à hauteur égale.
- Les jaugeages effectués entre le 30 mai et le 1<sup>o</sup> août forment un ensemble de points cohérents, permettant d'interpoler une courbe de tarage, avec un bon coefficient de corrélation ( $R^2=0,99$ ).
- Le jaugeage du 16 septembre n'est pas cohérent avec la courbe de tarage précédente. Pour un débit de 3,75 m<sup>3</sup>/s, le niveau d'eau a monté de 43 cm par rapport au 30 juillet. Cela s'explique notamment par la mise en place d'un pont sur le drain à l'aval, ayant un effet de seuil.
- Les jaugeage du 15 octobre et du 21 février confirment la diminution de la débitance du canal.

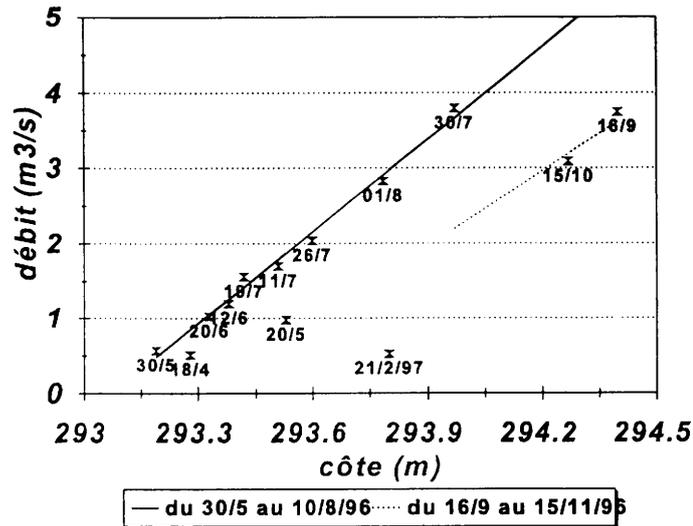


Figure 1.1 : Jaugeage du drain Niono-Grüber au P.K. 9,8

### 1.1.2. Hauteur d'eau

Un limnigraphe était installé sur le drain, enregistrant la hauteur d'eau au cours du temps. Ce limnigraphe n'a pu être installé que début août, et a dû être surélevé en septembre, le niveau du drain étant supérieur aux estimations. Néanmoins, les données ont été complétées à partir du 26 juillet grâce aux mesures fournies par le contrôle des travaux (AHT) de N'Débougou. Au cours des mois de juin et juillet, on a des mesures hebdomadaires de la hauteur d'eau dans le drain, lors des jaugeages effectués. La période des mois de juin et juillet est donc à prendre avec précaution. Ces mesures de hauteur sont représentées sur la figure 1.2

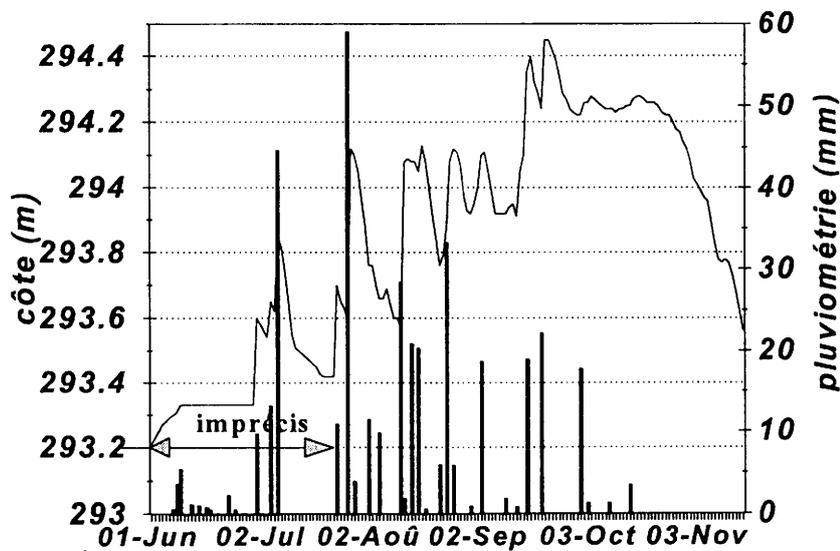


Figure 1.2 : hauteur d'eau et pluviométrie pendant l'hivernage 96 sur le drain Niono-Grüber

On observe une hausse régulière des niveaux d'eau dans le drain de juillet à septembre, doublée d'une réponse rapide à la pluviométrie. Le niveau du drain provoqué par l'écoulement de base passe de 293,42 m. à 293,92 m. entre le 20 juillet et le 10 septembre, soit une élévation de 50 cm. La pluviométrie provoque des pics jusqu'à 294,1m. A partir du 15 septembre, on observe une élévation rapide du niveau dans le drain jusqu'à la côte 294,4, puis stabilisation du niveau à 294,25 m. Cette brusque élévation s'expliquerait par la mise en place d'un pont limitant les écoulements au P.K. 15,5 dans le cadre de travaux de réhabilitation. Les jaugeages du 16 septembre (côte 294,4) et du 30 juillet (293.97) donne des débits similaires, ce qui confirme l'influence du pont sur la ligne d'eau amont. L'augmentation de l'enherbement au cours des mois d'août et de septembre peut aussi avoir diminué la débitance du drain. Du 15 septembre au 25 octobre, le niveau très élevé du drain provoque l'inondation des parcelles les plus basses et empêchent la vidange des parcelles basses. Le système de drainage est alors engorgé.

### 1.1.3. Débit

Les hauteurs d'eau enregistrées et les jaugeages effectués permettent d'en déduire le débit transitant dans le drain au cours du temps (figure 1.3).

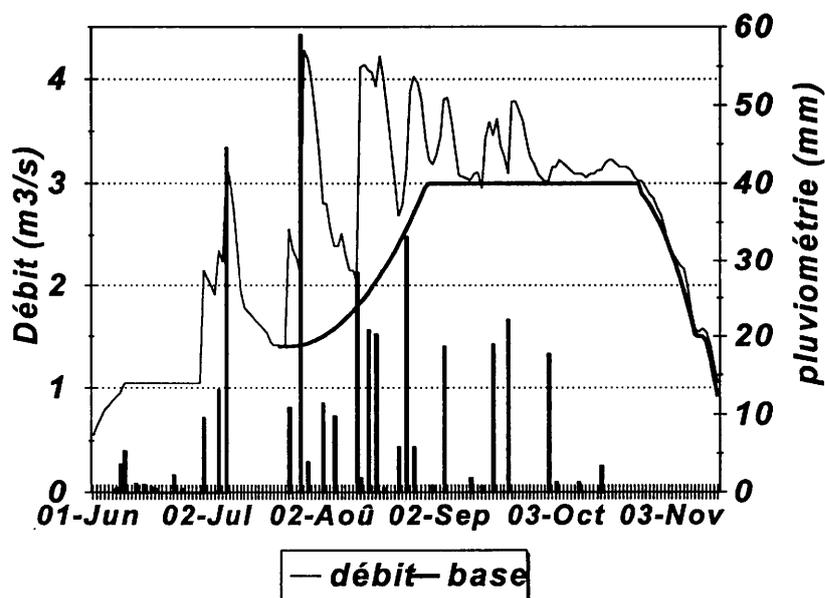


Figure 1.3 : Débit et pluviométrie pendant l'hivernage 96 sur le drain Niono-Grüber.

Ce graphique appelle quelques réserves :

- Les données du 1<sup>er</sup> juin au 20 juillet sont partielles.
- Aucun jaugeage n'a eu lieu entre le 1<sup>er</sup> août et le 15 septembre; à partir du 10 août, on a diminué progressivement les débits transitant à hauteur égale pour tenir compte de l'augmentation de l'enherbement.

Le débit maximum transitant dans le drain est de  $4\text{m}^3/\text{s}$  en réponse aux fortes pluies de l'hivernage. On peut distinguer un écoulement de base sur lequel se superpose l'écoulement causé par pluviométrie. Le tracé de cet écoulement de base a été fait à partir de la courbe des débits, en gommant les pics causés par la pluviométrie.

Du 20 juillet au 1<sup>er</sup> septembre, on observe une augmentation régulière du débit de base, de 1,5 à  $3\text{m}^3/\text{s}$ , qui se stabilise autour de  $3\text{m}^3/\text{s}$  du 1<sup>er</sup> septembre au 25 octobre, pour ensuite décroître rapidement jusqu'au 15 novembre.

Pour une surface irriguée de 4200 ha, le débit maximum transitant dans le drain est de 1 l/s/ha, ce qui est bien supérieur aux spécifications du projet Retail de 0,45 l/s/ha (SOGREAH, 1982) ou du projet ARPON de 0,25 l/s/ha (BEAU, 1980). Les calculs du projet Retail ont été effectués pour l'évacuation d'une pluie (de durée 5 jours) de 85 mm en 5 jours.

Le principal problème provient d'une saturation progressive du système de drainage, effective du 15 septembre au 25 octobre, en partie causée par l'enherbement progressif et surtout par la mise en place d'un pont au P.K. 15,5 ayant un effet de seuil. Le niveau du drain empêche la vidange des parcelles basses au moment de la récolte, et beaucoup de paysans ont été obligés de récolter dans l'eau.

#### **1.1.4. Volumes drainés.**

L'intégration de cette courbe de débit permet d'évaluer les quantités d'eau évacuées par le collecteur Niono-Grüber au cours de l'hivernage 96 (tableau 1.1).

**Tableau 1.1:** Estimation des volumes évacués par le drain au cours de l'hivernage (mm).

<b>mm d'eau</b>	<b>Pluie (calc. sur 4 400 ha)</b>	<b>Ecoul. de base (calc. sur 4 200 ha)</b>	<b>Total (calc. sur 4 200 ha)</b>
du 20/7 au 15/11	115	605	730
du 1/6 au 20/7 (estimation)	20	115	140
du 1/6 au 15/11	135	720	870

On peut comparer le volume évacué au moment des épisodes pluvieux (135 mm) à la pluviométrie totale (350 mm). Au moment des épisodes pluvieux du 26 juillet au 4 août, il est tombé 80 mm de pluie et on peut estimer que le drain a évacué 25 mm d'eau supplémentaire. Néanmoins, il est difficile de savoir si l'eau évacuée est l'eau de pluie ou l'eau d'irrigation excédentaire suite à la pluie. En effet, il ressort des études effectuées par un expert néerlandais de la gestion de l'eau que la pluie est mal prise en compte dans la gestion des grands ouvrages. L'ouvrage de prise du périmètre Retail est géré en commande par l'aval manuelle. On a pu constater lors d'épisodes pluvieux l'élévation rapide du niveau du canal, amenant des débordements et l'évacuation du trop plein. En effet, un épisode pluvieux violent nécessite une réaction rapide pour le réglage des vannes, ce qui n'est pas toujours le cas.

## 1.2. Estimation du volume apportée par l'irrigation.

### 1.2.1 Données existantes.

Les volumes d'eau apportés pour l'irrigation ont déjà fait l'objet d'estimations selon différentes méthodologies (tableau 1.2) :

- Au niveau arroseur, les suivis du Retail (Bengaly, 1995; Konaté, 1990) permettent d'estimer la consommation en eau au cours de l'hivernage.
- Le secteur Grüber a fait l'objet de suivi de consommation au niveau arroseur et au niveau partiteur au cours de l'hivernage 96 (Barral et al., 1997).
- Au niveau périmètre, les volumes transitant par le point B et le point A permettent d'évaluer la consommation globale du Kala inférieur et du Kouroumari (Barral et al., 1997).

Tableau 1.2 :Données de consommation, calculées sur la période du 1<sup>o</sup> juin au 15 novembre.

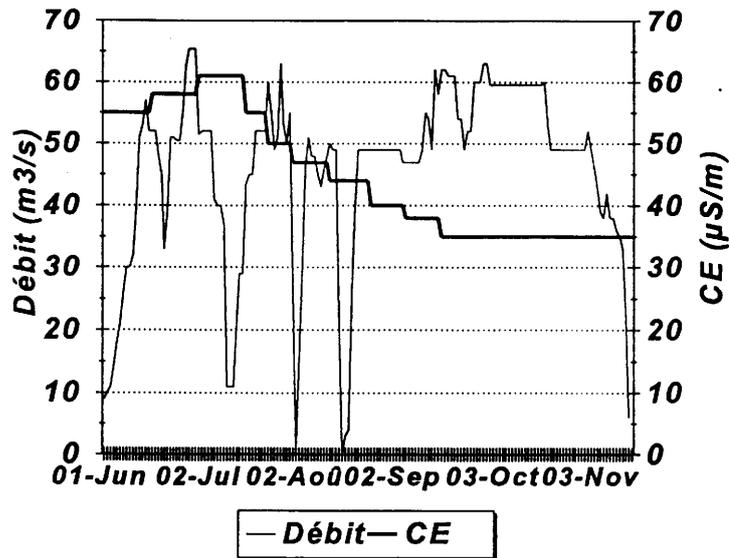
Zone ou Secteur	Echelle du calcul	Référence	Année	Pluviométrie (mm)	Consommation (mm)
Secteur Retail	arroseur	Bengaly, 1995	1995	330	2000
Secteur Grüber	arroseur partiteur	Barral, 1996	1996	380	1700
Kala inférieur	Pt A - Pt B	Barral, 1996	1993	290	2130~2670

Dans le calcul de la consommation du Kala inférieur, on tient compte du volume qui pénètre effectivement dans le système du Kala; il faut donc oter les pertes entre le point A et le point B. L'estimation haute de la consommation moyenne calculée pour le Kala inférieur tient compte d'une évaporation moyenne de 2 m<sup>3</sup>/s entre le point A et le point B (SOGREAH, 1982), l'estimation basse tient compte de pertes de 12 m<sup>3</sup>/s (SOGREAH, 1987).

### 1.2.2 Calcul pour l'hivernage 96

La surface de 4200 ha considérée est irriguée à partir des distributeurs Retail et Grüber. Les débits au niveau des ouvrages de prise de ces distributeurs n'étant pas relevé (ils fonctionnent en commande par l'aval), on a utilisé les données de volumes entrant dans le Kala Inférieur ramené à la superficie considérée pour avoir une estimation du débit au cours du temps.

Le service de gestion de l'eau de Markala nous a fourni les débits au Point A et au Point B. Après concertation avec l'assistant technique néerlandais chargé de la gestion de l'eau, on a considéré un niveau moyen de pertes dans le Fala entre le point A et le point B de 8 m<sup>3</sup>/s. Sur la figure 1.4 est représenté le débit journalier entrant dans le Kala Inférieur, irrigant environ 26 000 ha, sans tenir compte des superficies hors casiers, branchées sur le Fala ou sur les drains.



**Figure 1.4 :** Débit journalier à l'entrée du Kala Inférieur et CE de l'eau d'irrigation.

Sur le même graphique est représenté la conductivité moyenne de l'eau d'irrigation, descendant de 0,06 dS/m au début de la crue à 0,035 dS/m au pic de crue.

**Cela représente une dose de 2540 mm**

### 1.3. Bilan en eau

#### 1.3.1. ETP

Pour le calcul de l'ETP, on utilise les données mensuelles du projet BEAU (1980). En première approximation, on considère l'évaporation à l'ETP pendant le mois de juin et de juillet (préirrigation et installation de la culture). Pendant les trois mois et demi restant (août-novembre), on multiplie par un coefficient cultural de 1,2 pour avoir l'ETR. Bien que la période considérée soit plus longue que la culture de riz, le rabattement de la nappe dû à l'évapotranspiration est pris en compte dans les quinze premiers jours de novembre.

En résumé :

Juin : 7,8 mm

Juillet : 7 mm

Août-Septembre-Octobre- 15 Novembre : 7 mm

**Total ETP :** 1200 mm

#### 1.3.2. Percolation et pertes

L'étude régionale menée sur la dynamique de la nappe phréatique dans le Kala Inférieur (Barral et al., 1996) a montré que le drainage naturel du milieu est faible. On a estimé la fraction de lessivage permise par le pendage de la nappe à 1/230. Pour un volume entrant de 2500 mm, la fraction de lessivage est donc comprise entre 10 et 15 mm.

On peut supposer que sur une année hydrologique, le bilan de la nappe phréatique régionale est nul, la nappe étant en position subaffleurante au droit des périmètres depuis une trentaine d'années.

Donc le volume percolant vers la nappe au cours d'une année est égal au volume évacué par le pendage de la nappe. On estimera que la majeure partie de cette percolation a lieu pendant la saison hivernale.

**Au vu du bilan effectué sur la nappe phréatique à un niveau régional, on en déduit une percolation moyenne de 10 mm au cours de la saison hivernale.**

### 1.3.3. Variation de stock

Avant les préirrigations, la nappe phréatique est à une profondeur comprise entre 1 et 1,5 m de la surface du sol. A partir du 15 novembre, ayant déjà amorcé la baisse sous l'effet de l'évapotranspiration, on peut considérer qu'elle est à un niveau moyen de 0,3 m. En se basant sur les données du projet BEAU, on considère une variation de stock de **100 mm**. On peut ajouter à cela la variation de stock des différentes mares (bancotières, zones d'emprunt) pour **50 mm**.

### 1.3.4. Bilan global

<b>Apport:</b>		<b>Pertes :</b>	
Irrigation	2540 mm	ETP totale	1200 mm
pluie	360 mm	Drainage	870 mm
		Percolation et pertes :	10 mm
<b>Total</b>	<b>2900 mm</b>	<b>Total</b>	<b>2080 mm</b>

**Variation de stock : 150 mm**

**Différence entrée - sortie : +670 mm**

Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence :

1. Les hors casiers sur le Fala ne sont pas compté dans le calcul des besoins en eau. Hors ils requièrent des débits importants, de l'ordre de 2 à 3 l/s/ha en septembre-octobre.

Hors casiers : 3 l/s/ha pendant 2 mois sur 2000 ha : 120 mm en moins

2. Le niveau de pertes dans le Fala est peut-être sous estimé

Pertes 12 m<sup>3</sup>/s au lieu de 8 m<sup>3</sup>/s : 225 mm en moins

3. La zone considérée est très peu sableuse, contrairement à la zone de Molodo ou d'autre partiteurs (KL et KO de la zone de Niono)

4. La zone considérée est enclavée au coeur des aménagements. En bordure de périmètres, les pertes doivent être plus importantes.

**Un niveau de 2000 mm d'apport d'eau par l'irrigation est plus tangible pour ce calcul; l'ordre de grandeur des mesures effectuées sur ce secteur au niveau partiteur (Grüber) et arroseur (Retail) est respectivement de 1700 mm et 2000 mm.**

## 1.4. Bilan en sel

Le calcul d'un bilan en sel nécessite la mesure régulière de la conductivité des eaux d'irrigation et de drainage. Les deux conductimètres de terrain du projet ont été l'objet d'un dysfonctionnement, probablement sous l'effet de la chaleur : pour de faibles conductivités (entre 30 et 100 microsiemens), ils mesurent une conductivité de 0, ou bien très faible (inférieure à 20). La salinité des eaux d'irrigation au cours de l'hivernage a pu être déduite des mesures effectuées les précédentes années dans différents points des distributeurs, pour permettre d'estimer la quantité de sels entrant dans le système. Sur la figure 1.4 sont représentés le débit et la conductivité des eaux d'irrigation.

Les données de conductivité du drain, relevées à un pas de temps hebdomadaire, sont donc peu fiables et partielles. De plus, afin de bien comprendre l'influence de la pluviométrie sur la conductivité des eaux de drainage, il faudra faire des mesures à un pas de temps journalier (ou inférieur) lors d'épisodes pluvieux. Néanmoins, on a déduit des mesures jugées fiables une conductivité moyenne des eaux de drainage.

On estime la conductivité moyenne de la nappe phréatique profonde et superficielle à 0,5 dS/m, moyenne des valeurs mesurées dans les piézomètres superficiels et dans les puits autour de la zone.

On a envisagé deux hypothèses pour l'apport de l'eau d'irrigation. Dans le premier cas, on considère une dose de 2540 mm, dose moyenne apportée sur le Kala Inférieur. Dans le deuxième cas, on considère une dose de 2000 mm, induite par le bilan en eau.

Les données de débit et de CE journalier permettent de déduire la quantité de sel apporté par l'irrigation et évacuée par le drainage. On a considéré  $1\text{dS/m} = 640\text{ m g/l}$  (Van Hoorn, 1995). Le détail du calcul est présenté dans le tableau 1.3.

**Tableau 1.3:** Bilan en sel sur 4200 ha pour l'hivernage 96.

	Volume (mm)	Volume ( $10^6\text{ m}^3/\text{s}$ )	CE moyen ( $\mu\text{S/m}$ )	T / ha
Drainage	870	36,5	96	0,53
Percolation	10	0,63	500	0,03
1. Irrigation	2540	107	44	0,73
2. Irrigation	2000	84	44	0,56
1. Bilan				0,15
2. Bilan				0

**On constate que le bilan des sels est proche de l'équilibre au cours de l'hivernage.**

Dans le cas 1 (hypothèse haute), on apporte 0,15 tonnes de sel par hectare, soit 15 g par m<sup>2</sup>.

Dans l'hypothèse basse, le bilan est pratiquement équilibré.

**La nappe phréatique permet l'évacuation d'environ 5 % des sels apportés par l'irrigation au cours de l'hivernage.**

## 2. Bilan à l'échelle de l'arroiseur

L'arroiseur est une maille hydraulique élémentaire, d'une superficie comprise entre 10 et 40 hectares. C'est une échelle intermédiaire entre la parcelle et le périmètre, dont la gestion est assurée par les paysans, quelquefois en concertation avec l'aiguadier (secteur Retail)

### 2.1 Méthodologie

Le bilan des eaux à l'échelle de l'arroiseur se décompose de la façon suivante :

**Entrée :** - Pluviométrie  
- Irrigation

**Sortie :** - ETP  
- Drainage (drain d'arroiseur) : - Eau de surface  
- Nappe phréatique  
- Ecoulement souterrain

Le drain d'arroiseur permet d'évacuer les eaux de surfaces excédentaires, et peut aussi drainer la nappe phréatique quand elle est affleurante.

Un écoulement souterrain, induit par la pente du terrain ou par l'influence du drain de partiteur peut exister.

La détermination d'un bilan à cette échelle nécessite donc :

- la mesure de la pluviométrie
- la mesure régulière des débits entrants (prise d'arroiseur)
- la mesure régulière des débits sortants (drain d'arroiseur)
- le suivi de la nappe phréatique et du niveau du drain d'arroiseur sur un transect arroiseur - drain d'arroiseur
- le suivi de la nappe phréatique et du niveau du drain de partiteur sur un transect partiteur - drain de partiteur
- l'ETP peut être déduite de la durée du cycle du riz et des données climatiques moyennes.

### 2.2 Eléments du bilan pour l'hivernage 96

La mise en place d'un bilan des eaux et des sels sur les arroiseurs pilotes s'est heurtée à de nombreux problèmes.

KL3 : - Prise d'arroiseur modifiée par les paysans (trou) pour permettre de délivrer un débit plus important.

- Drain d'arroiseur non fonctionnel, ne permet pas la mise en place d'un seuil jaugeur.

N4: - Seuil jaugeur installé sur le drain d'arroiseur est surdimensionné; de plus, il est sous l'eau pendant trois mois d'hivernage (avec l'élévation du niveau du drain).

- N9 : - Prise d'arroseur mal calée : elle est submergée (jusqu'à 10 cm) pendant une partie de la saison. Le module à masque ne peut pas fonctionner correctement.  
- Drain d'arroseur non fonctionnel.

### **2.2.1. Les écoulements souterrains liés à la topographie.**

A l'étiage, dans les périmètres irrigués, la nappe phréatique s'abaisse à une profondeur comprise entre 1 et 1,5 m. Lié à la topographie du terrain, un pendage de la nappe phréatique existe à l'intérieur des périmètres.

**Dans la situation de l'Office du Niger, où les pentes sont très faibles, l'écoulement souterrain lié à cette pente est négligeable à l'échelle d'un arroseur.**

Dans le cas de l'arroseur N4, où la pente est relativement importante (1 pour 1000), le débit évacué par pendage de la nappe, de transmissivité  $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  sur une largeur de 100 m est de  $15 \text{ m}^3/\text{an}$ . Pendant l'hivernage, le volume total apporté par l'irrigation est de  $300\,000 \text{ m}^3$ .

### **2.2.2. Les écoulements souterrains influencés par le réseau de drainage.**

Le réseau de drainage peut induire des gradients importants localement, dans les horizons de surface qui sont en général plus sableux que les horizons sous-jacents. Ces écoulements existeraient notamment au moment des préirrigations, et à la mise en eau, quand le réseau de drainage est encore vide et que la nappe phréatique affleure. Un pic de salinité dans le drain d'arroseur en début d'hivernage corroborerait ces hypothèses.

La détermination de l'influence du réseau de drainage sur le lessivage des horizons superficiels nécessite la mise en place de suivis plus complet que ceux de l'hivernage 96 (voir en annexe les protocoles).

### 3. Bilan à l'échelle du bassin.

Afin d'estimer les termes du bilan hydrique pour différentes situations morpho-pédologiques, trois arroseurs ont fait l'objet d'une instrumentation. La mise en place des différents appareils de mesure a toujours été faite à proximité d'un piézomètre, permettant de suivre l'évolution de la nappe conjointement aux termes du bilan.

La description des différents sites instrumentés est présentée dans le tableau 1.4. Chaque site est repéré par la référence d'un arroseur et le numéro d'un piézomètre.

Tableau 1.4: Sites instrumentés dans le cadre du bilan eau et sel.

Arroseur	Piézo.	Type de sol	Anneau	Surface (m <sup>2</sup> )	Fiabilité des données
KL3-7d	P1	sablo-limoneux	Oui	2500	Bonne
	P10	sablo-limoneux	Non	2000	Mauvaise (étanchéité)
	P13	sablo-limoneux	Oui	6600	Bonne
N4-1g	P8	limono-argileux	Oui	1500	Moyenne (submersion de la cuve)
	P10	sablo-limoneux	Non	400	Mauvaise (étanchéité)
N9 8D-1g	P9	argileux	Oui	1000	Bonne
	P10	argileux	Non	1000	Bonne
	P13	argileux	Non	1000	Moyenne (submersion de la cuve)

#### 3.1. Méthodologie :

La méthode retenue pour établir un bilan en eau et en sel est adaptée à des parcelles submergées. Sur chaque parcelle ont été installés une cuve fermée à sa base, un anneau infiltromètre, et une échelle parcellaire.

A la fin d'une irrigation, on équilibre le niveau d'eau entre la cuve, l'anneau et la parcelle. Puis la cuve et l'anneau sont isolés de la parcelle à l'aide de bouchons étanches; le suivi quotidien de la hauteur de la lame d'eau dans est effectué à l'intérieur de la cuve, de l'anneau, et sur l'échelle parcellaire. La décroissance du niveau d'eau dans la cuve permet d'estimer l'ETR, l'anneau d'infiltration donnant la somme de l'ETR et de la percolation. Le suivi de l'échelle parcellaire permet de déduire les fuites, positives ou négatives, causées par des brèches dans les diguettes. La comparaison entre le niveau sur l'échelle avant et après l'irrigation permet d'estimer la quantité d'eau apportée par les irrigations.

Toutes les échelles sont inclinées de 30° par rapport à l'horizontale. Ainsi une variation de 2 cm sur l'échelle correspond à une variation de 1 cm de lame d'eau, la précision des mesures étant améliorée.

Les mesures ont commencé après le repiquage, avec l'apport d'une lame d'eau sur la parcelle. Les trois appareils (cuve, anneau, échelle) sont regroupés autour d'un piézomètre, ce qui permet de mettre en relation les fluctuations de la nappe avec l'apport d'eau. L'anneau n'a pas été installé sur toutes les parcelles.

### **3.2. Evaluation de la variation de stock.**

Des prélèvements ont été effectués sur les sites afin d'évaluer la variation de stock provoquée par la remontée de la nappe phréatique. Ces prélèvements ont été effectués à la tarière, lorsque la nappe était basse, puis séchés et pesés afin d'évaluer le stock initial par gravimétrie.

Les données recueillies se sont avérées peu fiables, car on ne disposait pas de mesures de densité in-situ. Une autre solution est de faire la même campagne de prélèvement lorsque la nappe affleure.

Les données de variation de stock sont issues de la bibliographie (BEAU,1980).

**On a soustrait de la percolation la variation de stock, pour en déduire une percolation réelle.**

### **3.3 Conduite des irrigations**

Les irrigations durent en général 24 heures, voire plus, et ceci sur les trois arroseurs étudiés. Il est donc difficile d'installer un instrument de mesure (seuil déversoir) pour estimer le volume apporté par les irrigations. La longueur de ces irrigations est contradictoire avec les normes techniques des aménagements, la main d'eau étant de 20 l/s, soit 72 m<sup>3</sup>/h. L'apport d'une dose de 100 mm sur une surface de 1000 m<sup>2</sup> nécessitant une heure et demie.

Cette contradiction s'explique par deux raisons :

- Les irrigations ne sont pas concertées entre les paysans. Beaucoup de paysans peuvent irriguer au même moment, diminuant ainsi la main d'eau disponible (Barral, 1997 ; Bengaly, 1995). Alors que théoriquement, pas plus de deux, voire trois paysans sont censés irriguer en même temps.
- Les parcelles suivies sont souvent difficilement irrigables. Situées en bout d'arroseur pour le KL3, sur un point haut pour le N4 et pour le N9.

La différence de niveau avant et après l'irrigation permet d'évaluer la lame d'eau apportée. Si l'irrigation dure 24 heures, on ajoute alors un terme (ETP + percolation) pour tenir compte des pertes au cours de l'irrigation.

Cette méthode de mesure est peu précise, et donne plutôt la variation de lame d'eau à proximité des appareils de mesure (cuve et anneau).

### 3.4. Interprétation des résultats

#### 3.4.1. Haute levée sableuse : arroseur KL3.

Les figures 1.5 et 1.6 représentent les résultats obtenus sur l'arroseur KL3, pour les deux sites (piézos 1 et 13) où les données sont cohérentes.

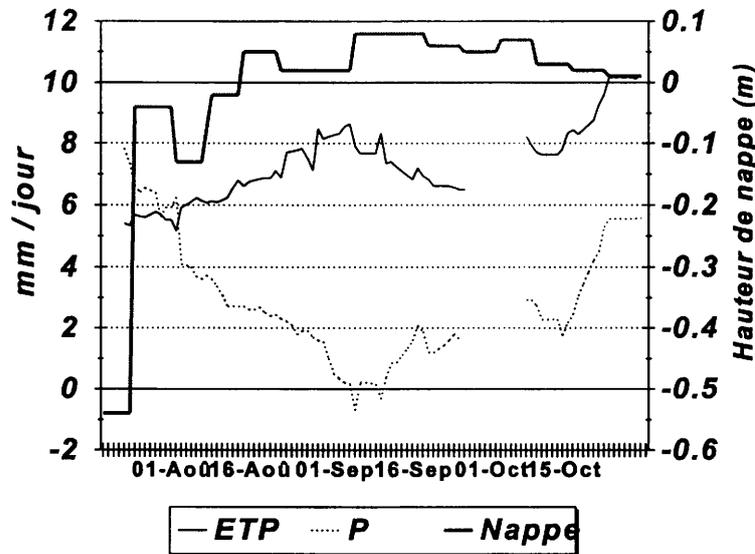


Figure 1.5 : Bilan de la parcelle KL3-P1

Le repiquage du riz dans la parcelle KL3-P1 est effectué au 21 juillet, la parcelle étant vide au 1<sup>er</sup> novembre (cycle d'irrigation de 101 jours). A la mise en eau de la parcelle correspond une remontée rapide de la nappe phréatique de 50 cm en une semaine. Bien que la nappe affleure, la percolation ne s'annule pas, mais diminue progressivement jusqu'à fin août pour reprendre ensuite. L'ETP augmente progressivement, essentiellement sous l'effet de l'augmentation du coefficient cultural du riz ( $K_c$  passe de 1,1 à 1,25; BEAU, 1980). Durant la dernière quinzaine d'octobre, l'ETP atteint les 10 mm ce qui est peu vraisemblable.

La percolation est importante, et ne correspond pas seulement à une phase de remplissage du réservoir sol. Même quand la nappe est proche de la surface, la percolation se poursuit (2 à 4 mm/jour) tout en diminuant. Cela peut s'expliquer par la très grande perméabilité du sol (supérieure à  $10^{-5}$  m/s) et par la proximité du drain de partiteur.

Sur la parcelle du piézo 13 (figure 1.6), le repiquage est effectué le 30 juillet, la parcelle étant vide le 1<sup>er</sup> novembre (cycle de 92 jours). La première décade est caractérisée par une phase de remplissage du réservoir sol, qui intervient aussi dans la cuve, influençant les valeurs d'ETR calculées. On a déduit la variation de stock du sol à partir des valeurs d'ETR calculées, auxquelles on a soustrait une ETR moyen de 6,5. La percolation est importante jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre, puis se stabilise entre 0 et 1 mm/jour. La nappe est alors à son maximum, à 10 cm de la surface du sol. En effet, contrairement au P1, le P13 est sur un point haut, que la lame d'eau submerge rarement. Le lysimètre est situé à 20 mètres de ce piézo dans un point bas pour éviter qu'il ne soit dénoyé. Pendant 15 jours en octobre le lysimètre est noyé, d'où l'absence de valeurs.

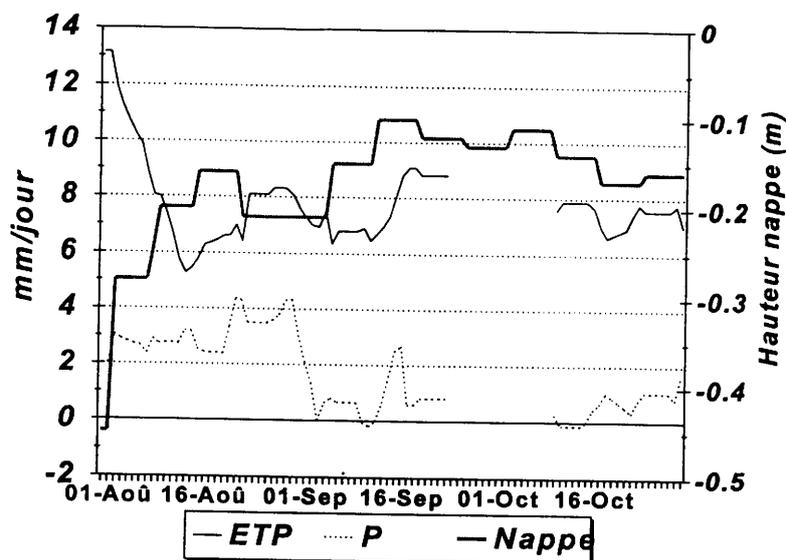


Figure 1.6 : Bilan de la parcelle KL3-P13

Les termes du bilan global sont résumés dans le tableau 1.5. Les données décadaires sont fournies en annexe. On a interpolé la valeur de l'ETR et de la percolation quand les données sont manquantes pour établir un bilan global. ▲ S représente la variation de stock entre le début et la fin des irrigations. ▲ Total représente la différence entre les entrées et les sorties; c'est un indicateur de la précision du bilan.

Tableau 1.5 : Bilan en eau sur des parcelles situées sur l'arroiseur KL3

Site	ETR	Perco.	Fuites	▲ S	Pluies	Irrigation	▲ Total
KL3-P1	695	220	190	40	235	990	80
KL3-P13	670	135	-15	40	190	620	-20

Les bilans effectués sur le KL3 sont relativement imprécis. Le protocole est à améliorer pour pouvoir disposer de données chaque jour, et les cuves sont à déplacer pour éviter leur submersion en fin de cycle.

Néanmoins, les résultats montrent une percolation importante, notamment dans le cas du P1. Malgré la remontée rapide de la nappe phréatique, la perméabilité importante des sols permet la percolation d'une fraction de lessivage. Ceci explique la faible concentration de la nappe phréatique au droit de ce type de sol.

### 3.4.2. Petite levée limono-argileuse : arroiseur N4

Le seul site où les mesures sont cohérentes est le P8. Néanmoins, le lysimètre a été submergé pendant toute la saison, étant placé dans un point bas. Les données mesurées sur l'échelle et l'anneau permettent d'avoir une estimation de la somme (ETR, percolation; E+P) et (ETR, percolation, fuites; E+P+F).

La figure 1.7 représente les variations au cours du temps de ces données entre le repiquage (29 juillet) et la vidange (1<sup>er</sup> novembre).

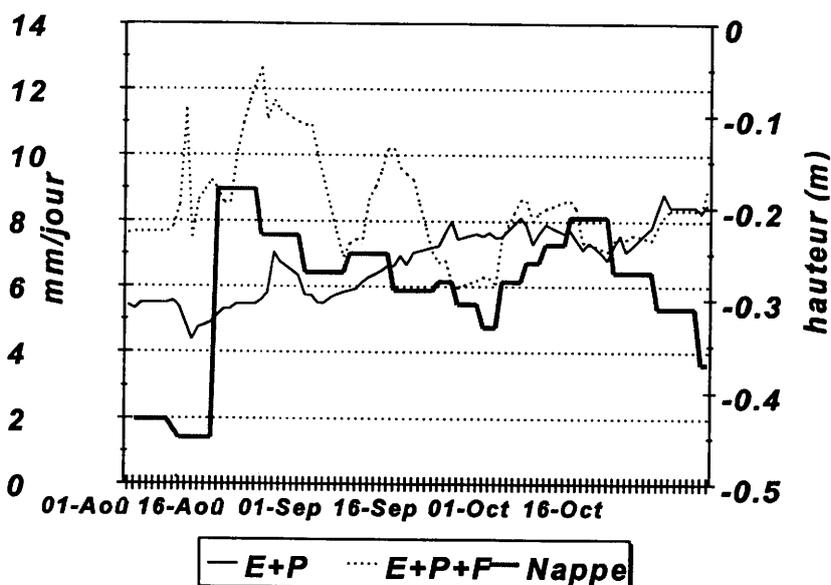


Figure 1.7 : Bilan de la parcelle N4-P8

Les données de niveaux dans l'anneau sont conformes aux données d'ETR trouvées au KL3, augmentant de 5,5 à 8 mm début octobre pour ensuite se stabiliser autour de 8 mm. Des fuites importantes ont lieu au courant du mois d'août, les trois pics de la courbe (E+P+F) succédant à une irrigation excédentaire. A partir de la mi-septembre, les fuites sont pratiquement nulles. La nappe phréatique met une quinzaine de jours avant de réagir à la submersion de la parcelle. Les termes du bilan sont présentés dans le tableau 1.6.

Tableau 1.6 : Bilan en eau de la parcelle N4P8

Site	ETR +Perco.	▲ S	Fuites	Pluies	Irrigation	▲ Total
N4-P8	605	25	160	235	570	-10

Le bassin choisi est sur un point haut, à l'amont de l'arroseur N41g. L'analyse des échantillons d'eau prélevés au niveau du piézomètre P8 montre que l'eau de la nappe est très concentrée, dérivant de l'eau d'irrigation. De plus, le sol est fortement sodisé à ce niveau, ralentissant l'infiltration. Les courbes obtenues ne permettent pas de mettre en évidence un terme de percolation, ce qui s'explique par la faible perméabilité du sol à ce niveau ( $10^{-8}$  m/s pour le slug test) provoqué par la sodisation.

### 3.4.3 . Cuvette argileuse : arroseur N9

Cet arroseur a été cultivé en contre-saison. Deux des trois sites instrumentés ont fourni des résultats cohérents.

Sur la parcelle P9 (figure 1.8) le repiquage a eu lieu le 12 juillet; pendant les quinze jours qui ont suivi, il y a eu une succession d'assecs sur la parcelle en raison des fuites, les parcelles avoisinantes n'étant pas encore en eau. La nappe reste à son niveau initial pendant cette période. Le terme de percolation ne peut donc pas être calculé, car la lame d'eau présente dans l'anneau va diffuser dans la parcelle à sec. Pendant cette période, la cuve lysimétrique se sature progressivement (ETP entre 8 et 9 mm/jour). A partir du 1<sup>er</sup> août, la mise en eau définitive de la parcelle provoque l'élévation de la nappe; la percolation s'arrête quand la nappe atteint la surface. L'ETR reste proche de 7 mm au cours de la fin du cycle. La submersion de la cuve en fin de cycle pendant un mois ne permet pas d'avoir des données du 15 septembre au 15 octobre. Le cycle d'irrigation s'arrête le 20 octobre, correspondant à une durée totale de 100 jours.

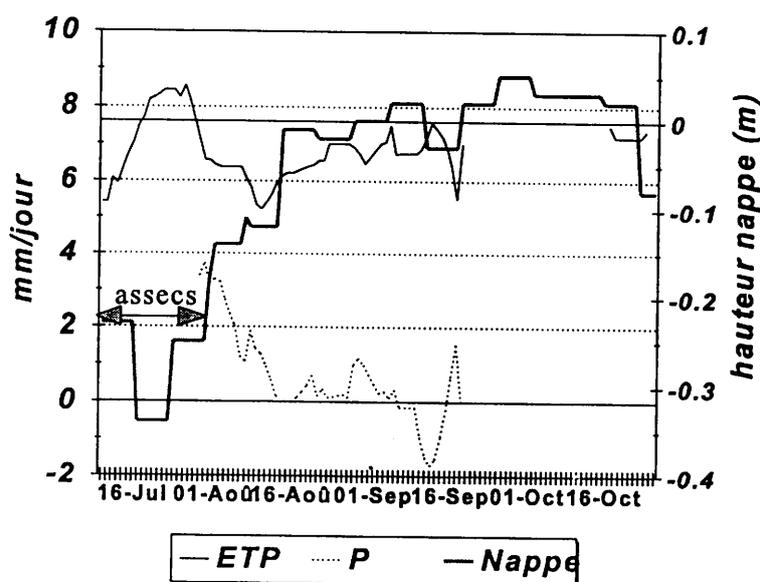


Figure 1.8 : Bilan de la parcelle N9-P9

Sur la parcelle P10 (figure 1.9), le riz a été repiqué le 1<sup>er</sup> août. La variation initiale de l'ETP rend compte du remplissage de la cuve lysimétrique, et correspond à la variation de stock pour amener la nappe à la surface. L'ETP reste proche de 6 mm par jour au cours du cycle d'irrigation de 90 jours. Là encore, la submersion de la cuve pendant une quinzaine conduit à un trou dans les données.

La percolation n'est pas sensible, les pertes par ETR étant proches des pertes totales enregistrées sur les échelles parcellaires.

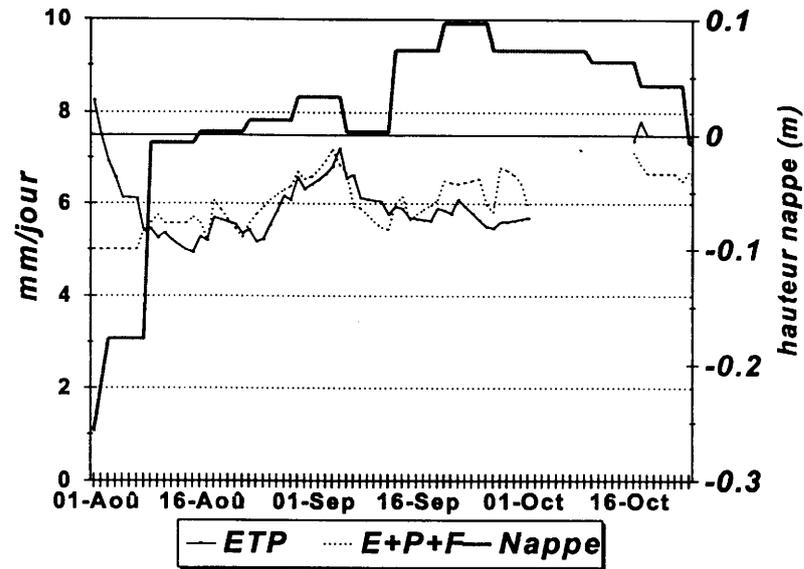


Figure 1.9 : Bilan de la parcelle N9-P10

Les termes du bilan pour ces deux parcelles sont résumés dans le tableau 1.7. L'évaporation a été extrapolée à une valeur de 7 mm/jour pour les données manquantes.

Tableau 1.7 : Bilan en eau des parcelles situées sur l'arroseur N9

Site	ETR	Perco.	Fuites ou Vidange	▲ Stock	Pluies	Irrigation	▲ Total
N9-P9	700	0	130	30	330	600	70
N9-P10	555	0	40	15	280	390	60

### 3.5. Conclusion.

La méthodologie mise en oeuvre pour l'établissement du bilan hydrique présente des limites intrinsèques, comme la difficulté d'estimer les volumes apportés par l'irrigation, mais peut aussi être améliorée pour l'hivernage 97.

Elle ne permet pas d'estimer les volumes apportés au cours des préirrigations et à la mise en eau précédant le repiquage.

- Les suivis de l'hivernage 96 ont permis de mettre en évidence les points suivants :
- La durée de l'irrigation de la culture de riz après le repiquage est comprise entre 90 et 100 jours; la demande évaporatoire pendant la durée de ce cycle varie de 550 à 700 mm.
- Les quantités d'eau apportés par l'irrigation après le repiquage varient suivant les types de sol: de 400 à 600 mm pour les sols peu perméables, et de 750 à 1000 mm pour les sols sablo-limoneux perméables.

- Sur les sols très perméables, la percolation est importante malgré la remontée rapide de la nappe phréatique; elle limite la concentration de la nappe. De 1/6° à 1/7° de l'eau apportée pour la culture (pluie et irrigation) percole;
- Dans les sols peu perméables, la précision bilan mis en oeuvre n'a pas pu mettre en évidence un terme de percolation. Après la saturation du profil et l'affleurement de la nappe phréatique, le terme de percolation n'est pas mesurable.
- On constate que pratiquement toute la pluie est efficace, ce qui limite beaucoup les volumes d'eau apportés par l'irrigation

Dans la bibliographie, on dispose d'une évaluation des besoins en eau des cultures faite par Barraud (1989), basée sur le système de culture dominant en hivernage. Ces calculs utilisent les données de SOGREA (1982) et de BEAU (1980). Ils sont condensés dans le tableau 1.8.

**Tableau 1.8 : Besoins en eau théoriques**

	Pré-irrigation	mise en eau	Pépinière	Entretien	Total
Irrigation	180	60	50	710	1000
Contribution de la pluie				240	240

Les résultats du projet BEAU ont mis en évidence une percolation (déduite de l'équilibre du bilan) proche de zéro. En effet, les sols sur lesquels ces mesures ont été effectués sont limoneux à argileux. Dans le cas d'une levée sableuse, on a vu que le terme de percolation est loin d'être négligeable, malgré la remontée rapide de la nappe phréatique.

Les besoins en eau théoriques pour l'entretien de la culture de riz sont en moyenne supérieurs aux besoins mesurés sur le terrain. Les calculs théoriques ont été faits pour une durée d'irrigation de 120 jours, alors que la durée d'irrigation du riz sur le terrain était de 100 jours en moyenne, le stade pépinière étant prolongé.

### 3.6. Bilan en sel

A partir des résultats présentés ci-dessus, on peut procéder à un bilan en sel pour l'hivernage 96. Au volume apporté par l'irrigation après le repiquage, il faut ajouter le volume apporté pour les préirrigations et la mise en eau. Ce volume est estimé à 250 mm pour tous les types de sol. Ce bilan est partiel car il ne tient pas compte de la contre-saison, où les remontées capillaires peuvent être importantes, la nappe restant proche de la surface du sol.

#### 3.6.1. Sol sableux (arroiseur KL3)

On a synthétisé dans le tableau 2 les résultats précédents. Les mesures de CE de l'eau des bassin a montré une CE comprise entre 0,04 et 0,1 dS/m. On considère donc que les fuites ont la même concentration que l'eau d'irrigation.

Les résultats obtenus permettent de calculer une concentration à long terme de l'eau du sol (Van Hoorn, 1995).

$$Ec_e = 1/2LF \times I/(I+P) \times Ec_i$$

où  $Ec_e$  est la CE de la pâte saturée, LF la fraction de lessivage, I la hauteur d'eau d'irrigation, P la hauteur de pluie, et  $Ec_i$  la CE de l'eau d'irrigation.

La fraction de lessivage est calculée en supposant que toute l'eau percolant se mélange avec la solution du sol, ce qui est proche de la réalité dans les sols légers. Les résultats sont donnés dans le tableau 1.9.

**Tableau 1.9** : Calcul de la CE de pâte saturée à l'équilibre sur l'arroiseur KL3

Site	Irrigation	Fuites	Pluie	Percol.	CE calculée (à saturation) dS/m	CE nappe dS/m
KL3-P1	1240	190	250	220	0,12	0,11
KL3-P13	870	-15	250	135	0,18	0,35

Les calculs donnent un ordre de grandeur similaire à la concentration de la nappe phréatique.

L'influence des remontées capillaires de contre-saison reste à quantifier. Elles peuvent être importantes (on a vu par ailleurs que la nappe reste à un niveau élevé pendant la contre-saison à cause de la mise en eau de l'arroiseur).

On peut néanmoins supposer que, dans ce type de sol très perméable, les sels accumulés par les remontées capillaires sont lessivés rapidement avec la mise en eau. Les pH mesurés in-situ pendant l'hivernage varient entre 5 et 6 sur ce site. Sur ce type de sol, des pH dépassant 7 n'ont été mesurés que sur les points hauts, où le lessivage est déficient.

### **3.6.2 . Petite levée limono-argileuse : arroseur N4.**

Les méthodes de mesure mises en oeuvre sur le site expérimenté n'ont pas permis de mettre en évidence un terme de percolation. Des mesures effectuées par ailleurs sur des bougies poreuses montrent que la percolation est très faible sur ce site.

La CE de l'eau de la parcelle est élevée (0,4 dS/m en moyenne). Les fuites exportent donc une quantité importante de sel.

Le bilan de sel effectué sur ce site est détaillé dans le tableau 1.10.

**Tableau 1.10: bilan de sels au N4-1g**

N4-1g	Fuites	Irrigation	Bilan des sels
CE	0,4	0,045	
mm	160	820	
T/ha de sel	0,42	0,24	-0,18

Le bilan des sels sur cette parcelle est négatif, les fuites d'eau chargée en sel permettant d'équilibrer un faible apport de sel par l'irrigation. Ce bilan est une moyenne sur les 1500 m<sup>2</sup> de la parcelle. En effet, des irrégularités dans le planage peuvent entraîner une dégradation locale du sol.

### **3.6.3. Cuvette argileuse : arroseur N9**

**Tableau 1.11 : Bilan de sels au N9 (2 parcelles).**

P 9	Fuites	Irrigation	Bilan	P 10	Fuites	Irrigation	Bilan
CE (dS/m)	1	0,045		CE (dS/m)	0,2	0,045	
mm	130	850		mm	40	640	
T/ ha de sel	0,8	0,25	-0,6	T/ ha de sel	0,05	0,29	0,24

Sur la parcelle P9 (tableau 1.11), on a vu que les irrigations ont commencé tôt pour une parcelle cultivée en contre-saison (le 15 juillet). Pendant le début du cycle, une part importante de l'eau apportée est évacuée, en raison de fuites vers les parcelles contiguës sèches. Les mesures de CE de l'eau des parcelles au début de l'hivernage étaient de l'ordre de 1 dS/m. En effet, sur ce site existe une salinité importante d'origine fossile, qui est difficilement lessivable du fait de la faible percolation de ces sols argileux. Ces fuites ont permis de diminuer la salinité de la parcelle, au détriment des parcelles contiguës.

Le bilan de la parcelle P9 est donc l'évacuation de 0,6 tonne de sel par hectare. Ce bilan est très approximatif pour plusieurs raisons : il existe une grande incertitude sur les volumes d'eau évacués, et les mesures de CE de l'eau de la parcelle, effectué à un pas de temps hebdomadaire, présentent une grande variabilité.

Sur la parcelle P10, les fuites sont faibles, et ont lieu en fin de saison au moment où la CE de l'eau de la parcelle est faible. Peu de sels sont exportés, le bilan des sels est positif.

En termes de cation échangeable, le sodium apporté dans 800 mm d'eau d'irrigation (0,2 meq/l) équivaut à 0,1% de la CEC des 50 premiers centimètres d'un sol argileux (densité 1,5 ; CEC 20 meq/100g). Les évolutions sont donc très lentes sur les sols argileux et tamponnés par le complexe d'échange.

Des entretiens avec les paysans ont montré que ceux-ci utilisaient régulièrement la technique du lavage des sols (flushing) pour éliminer des sels. Avant le démarrage de la campagne, cela consiste en une succession d'irrigation-drainage. Le drainage permet d'évacuer les sels de surface dissous par l'eau d'irrigation. Cette pratique a lieu notamment sur les parcelles qui n'ont pas été cultivées en contre-saison, alors que la majorité de l'arroseur l'est. Les remontées capillaires provoquées par la proximité de la nappe entraînent une croûte saline en surface qu'il faut éliminer avant le repiquage.

### 3.7. Conclusion

Sur les sols perméables, la riziculture permet le lessivage des sels. Ces sols ne présentent pas des problèmes d'alcalinisation/salinisation, sauf si le lessivage est déficient (position haute ou faibles apports d'eau).

Sur les sols peu perméables, la percolation n'a pas pu être mesurée par les moyens expérimentaux mis en oeuvre. Dans l'hypothèse d'un lessivage nul, l'accumulation de sels dans le profil est lente: 0,24 T/ha/hivernage, soit une quantité de sodium équivalente à 0,1 % de la CEC des 50 premiers centimètres d'un sol argileux.

Les exportations de sel qui ont pu être mesurées sont uniquement dues à l'écoulement de surface (fuites ou lavage superficiels des sols). Quand des sels se sont accumulés dans l'horizon de surface, une irrigation - drainage avant l'implantation de la culture permet l'évacuation de ces sels, pratique utilisée dans le delta du fleuve Sénégal (Raes et al., 1994).

# Dynamique et chimie de la nappe phréatique.

*La nappe affleure sous l'effet de la riziculture d'hivernage. Pendant la contre-saison rizicole, la nappe reste entre 20 et 40 cm de la surface. La pratique du maraîchage de contre-saison entraîne aussi la remontée de la nappe phréatique: elle est à une profondeur moyenne de 30 à 70 cm du sol, en fonction des capacités de drainage naturel du milieu.*

*Le tarissement de la nappe phréatique sous l'effet de l'ETP dépend du type de sol. Très rapide dans les sols vertiques, il est lent dans les sols sablo-limoneux.*

*Le niveau minimal atteint par la nappe est compris entre 0,7 m et 1,3 m de la surface du sol. Il dépend de la durée de l'assec, du type de sol et de la proximité des canaux en eau.*

*En règle générale, les variations de la concentration de la nappe sont faibles au cours d'une année. L'hivernage entraîne la remontée rapide de la nappe phréatique, mais modifie peu sa concentration. Deux cas font exception, dans le sens d'une augmentation de la CE avec la submersion :*

- sur des sols sableux très perméables;*
- sur des sols argileux où la concentration de la nappe est élevée.*

*Pour des suivis à long terme (notamment dans le cadre de l'observatoire), le chimisme de la nappe phréatique sera estimée à partir des paramètres chimiques mesurés au cours de l'étiage de la nappe.*

*La concentration de la nappe peut s'expliquer par trois facteurs :*

- la perméabilité du milieu,*
- la présence de sels d'origine fossile,*
- la dilution de la nappe par la percolation au droit des canaux.*

*Sur les échantillons les plus concentrés, la mesure de l'alcalinité et de la CE est un moyen simple et peu coûteux de connaître l'origine des sels. Ils sont issus de la concentration des eaux d'irrigation si l'alcalinité est proportionnelle à la CE ( $\text{alc [meq/l]} = 10 \text{ CE [mS/cm]}$ ), ou d'origine fossile si l'alcalinité reste faible.*

*Le suivi de la solution du sol (bougies poreuses à 20, 40 et 60 cm) sur des sites dégradés amène aux conclusions suivantes:*

- La submersion pendant 11 semaines entraîne une diminution des valeurs de pH d'une unité à toutes les profondeurs. Cette diminution est probablement liée à la dilution (Guillobez, 1989) et à l'augmentation de la pCO<sub>2</sub> (Marlet, 1996).*
- La diminution du pH de l'eau de la parcelle traduit une dilution progressive de l'alcalinité stockée dans le sol.*
- Sur une levée alcalisée, la submersion provoque l'augmentation de la CE de l'eau du sol.*
- Dans les sols argileux à salure neutre, aucun lessivage n'a été mis en évidence sous l'effet de la riziculture.*

### Protocole de mesure.

Une année complète de mesures est disponible pour les mesures piézométriques et de CE. Ces mesures ont été faites à un pas de temps hebdomadaire de mars 96 à novembre 96, puis tous les quinze jours du mois de novembre 96 au mois de mars 97.

Le protocole de mesure comprend

- Profondeur,
- CE,
- pH,
- Eh,
- pO<sub>2</sub>,
- Prélèvements pour mesures d'alcalinité

La très grande variabilité des valeurs de EH et de pO<sub>2</sub> ne permet pas d'en déduire des valeurs moyennes ou des tendances. Cette variabilité est imputable à des problèmes de mesure (temps d'équilibrage, fragilité de la membrane de la sonde à oxygène). On écartera donc ces valeurs de l'analyse.

L'analyse a porté donc sur les mesures de profondeurs, pH, CE et alcalinité.

## 1. Dynamique de la nappe

### 1.1 Influence de la riziculture

Un exemple de variation de piézométrie est représenté sur la figure 2.1, pour l'année 96 (pratique de la contre-saison), et pour l'année 91 (culture d'hivernage seulement).

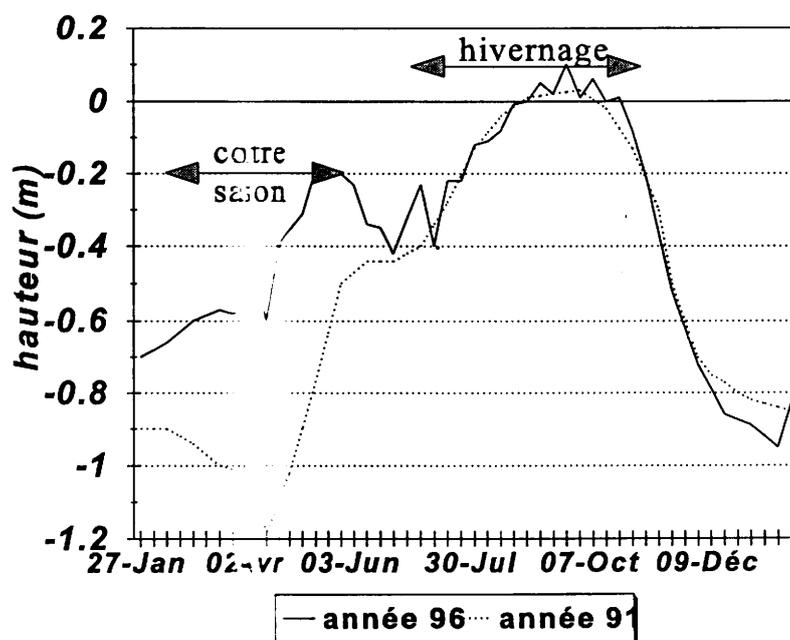


Figure 2.1 : variation de piézométrie pour les années 91 et 96 sur la parcelle N4, piézo 3B

La dynamique annuelle de la nappe est influencée principalement par les irrigations. Avant la mise en eau définitive (repiquage), la nappe remonte sous l'influence de la mise en eau des canaux et des préirrigations.

Durant la contre-saison rizicole, la nappe est comprise entre 20 et 40 centimètres de la surface. Pendant la culture d'hivernage, la nappe est subaffleurante, dépassant le niveau du sol en septembre-octobre.

Après une première phase de décroissance rapide du niveau de la nappe sous l'effet de l'ETP, on assiste à une phase de tarissement progressif. Le niveau minimal atteint dépendra de la durée de l'assec, du type de sol, et de la proximité de canaux en eau.

La figure 2.2 montre la phase de tarissement de la nappe pour trois sites:

- G5 : argile verticale à fente de retrait
- N4 : sols argileux à limoneux
- KL3 : sol sableux.

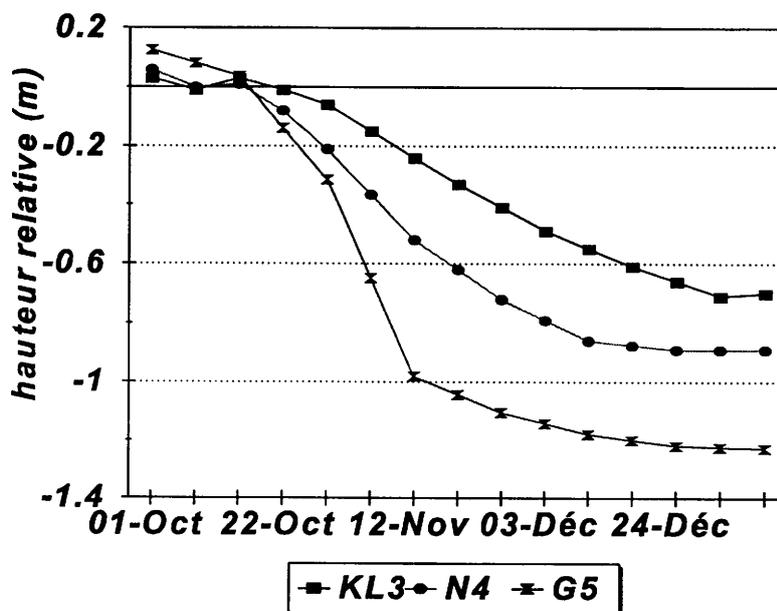


Figure 2.2 : Tarissement de la nappe phréatique dans différentes situations pédologiques.

Dans l'argile verticale, l'évaporation entraîne un tarissement très rapide de la nappe, ce qui traduit une faible porosité de drainage. Puis la profondeur de la nappe diminue lentement, probablement à cause de la faible perméabilité du milieu. Le niveau minimal est à 1,2 m de la surface du sol.

Dans les sols argileux à recouvrement limoneux et dans les sols limoneux, le tarissement est moins rapide, la nappe se stabilise à une profondeur proche de 1 mètre.

Dans les sols sableux, le tarissement est très progressif. Le maintien en eau des canaux explique le niveau élevé (0,7 m) de la nappe à l'été.

## 1. 2 Influence du maraîchage

Lors de la contre-saison 1996-1997, 9 sites maraîchers ont été instrumentés à l'aide de tensiomètres à 4 profondeurs (20, 40, 60, 80) et d'un piézomètre. On présente ici uniquement les résultats piézométriques. Les sites ont été choisis sur 4 villages du Retail, sur des parcelles rizicoles cultivées en maraîchage (7) ou des parcelles maraîchères (2).

Les résultats sont présentés dans le tableau 2.1

**Tableau 2.1 : Piézométrie moyenne sur neuf sites maraîchers.**

Village	type de sol	spéculation	variation de la piézométrie (en cm du sol)
N6	sableux	oignon	72 - 78
N7	sableux	oignon	42 - 47
N8	limono-sableux	oignon	60 - 65
N6	limono-sableux	oignon	40 - 50
N10	limono-argileux	oignon	40 - 50
N10	limono-argileux	oignon	37 - 47
N10	argilo-limoneux	oignon	25 - 35
N10	argilo-limoneux	tomate	30 - 40
N10	argilo-limoneux	tomate	20 - 30

Les sites maraîchers cultivés en tomate ont été irrigués gravitairement à partir des rigoles d'arroseur. En revanche, toute les parcelles d'oignon ont été irrigués à la calebasse.

La nappe phréatique est très proche de la surface au cours de la contre-saison de maraîchage. Cela s'explique notamment par le réseau dense de rigoles toujours en eau pour irriguer les planches (entre 5 et 10 mètres entre chaque rigole). La fréquence d'irrigation (tous les jours ou tous les deux jours pour l'oignon arrosé à la calebasse) explique aussi la proximité de la nappe. Les paysans tests qui faisaient de l'irrigation à la raie sur la tomate ont en général apporté trop d'eau. La tomate en a beaucoup souffert (faible rendement, nécrose apicale). Un billonnage régulier des tomates permet d'éviter une totale asphyxie des plants. Les observations de terrain ont montré que sur ces sols argileux, l'excès d'eau entraînant la nécrose apicale est très fréquent.

La proximité de la nappe dépendra **du type de sol**. Dans les sols argileux très peu drainants, les fossés d'arrosage sont pleins, la nappe reste proche de la surface (30 cm en moyenne). Dans des sols limoneux à sableux, on trouvera en général la nappe entre 40 et 70 cm, dépendant du niveau de l'eau dans les fossés, influencé par la position topographique et des capacités de drainage naturel du milieu.

La proximité de la nappe favorise les remontées capillaires. La **fréquence des arrosages** (entraînant l'hydromorphie du milieu) pourrait s'expliquer par la nécessité de **lessiver les sels** régulièrement.

## 2. Variation temporelle de la concentration des nappes

### 2.1 La conductivité électrique.

Ces variations peuvent être erratiques, liées aux imprécisions de la mesure ou aux défaillances de l'appareillage, ou elles peuvent être corrélées aux variations de niveau de la nappe phréatique, et donc à la mise en eau des parcelles.

En traçant sur un même graphique les variations de la CE et les variations du niveau de la nappe, on peut distinguer les groupes suivants :

#### Groupe 1:

Diminution de la CE avec la submersion de la parcelle.

Quatre piézos sont concernés, localisés sur les parcelles N9 (5 et 14) et KL3 (3B et 13B).

Ces variations de la CE sont très rapides, et la CE revient à son niveau initial dès que la lame d'eau disparaît. On attribue cette diminution de la CE à l'existence d'écoulements préférentiels le long du piézomètre.

#### Groupe 2 :

Augmentation de la CE avec la submersion. On distingue deux types de situation :

- La nappe est très concentrée, dans des sites argileux (fig 2.3, exemple de N9-P4).  
N9 : 1, 2, 3 et 4, dont la CE moyenne est supérieure à 5 mS/cm.  
N4 : P8B et le P5B, qui sont les plus concentrés

L'augmentation de la CE est faible en valeur relative, sauf dans le cas du N4-P8B.

On peut expliquer cette évolution par la dissolution des sels présents en surface lors de la remontée de la nappe phréatique.

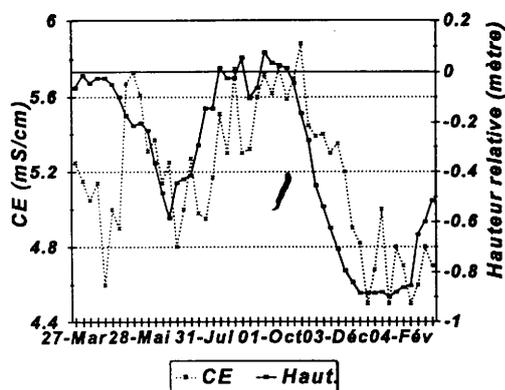


Figure 2.3 : CE et hauteur au N9-P4

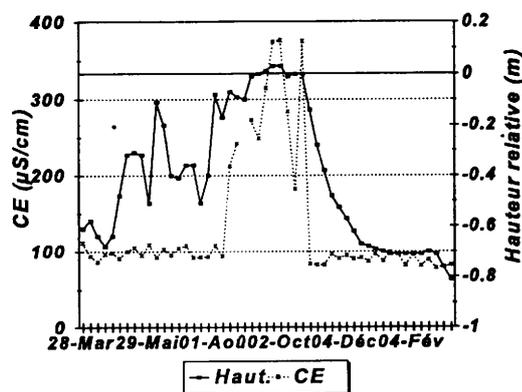


Fig. 2.4: CE et hauteur au KL3-P10

- La nappe est peu concentrée, dans des sols sableux (fig 2.4, exemple du KL3-P10).  
KL3 : 5B, 9B, 10B et 11B

Au cours de la saison sèche, la CE est comprise entre 0,1 et 0,15 dS/m. Les irrigations entraînent une élévation de la CE jusqu'à 0,3 dS/m;

Lors de la saison sèche, la faible concentration de la nappe s'explique par la proximité de l'arroseur, alimentant la nappe phréatique. Un lessivage des horizons superficiels ou des sels se sont accumulés sous l'effet des remontées capillaires pourrait expliquer cette élévation de CE pendant la submersion des parcelles.

### **Groupe 3 :**

Les variations de la CE sont faibles au cours du temps. On ne peut pas les corrélérer aux variations du niveau de la nappe phréatique.

Cela concerne la grande majorité des piézomètres suivis (45 sur 60), qu'ils soient dans des sols argileux, limono-argileux ou sableux.

La distribution des valeurs de CE suit en général une loi normale de CV comprise entre 8 % et 15 %

## **2.2 Le pH**

On retrouve les mêmes tendances que pour les valeurs de CE; cependant, la variabilité des mesures étant plus importante pour le pH que pour la CE, ces tendances sont moins nettes.

## **2.3 L'alcalinité**

Les mesures d'alcalinité faites au laboratoire de terrain de Niono se sont avérées peu fiables, à cause de l'incertitude existante sur le pH de la solution titrante. L'alcalinité est corrélée elle aussi à la CE, et donc varie en général peu au cours du temps. On a considéré pour chaque piézomètre une valeur moyenne d'alcalinité, moyenne des valeurs considérées fiables. La comparaison avec des analyses complètes montrent des écarts de moins de 10%.

**En règle générale, les variations de la concentration de la nappe sont faibles au cours d'une année. L'hivernage entraîne la remontée rapide de la nappe phréatique, mais modifie peu sa concentration.**

**On peut conclure que la concentration de la nappe est le reflet du fonctionnement hydrologique moyen du milieu sur des temps supérieurs à l'année.**

**La concentration de la nappe phréatique sera estimée à partir des paramètres chimiques mesurés au cours de l'étiage de la nappe, la submersion pouvant modifier la concentration de la nappe (25 % des piézos suivis).**

### 3. Variation spatiale de la concentration des nappes.

#### 3.1 Liée à la perméabilité du milieu

Un des facteurs explicatifs des variations de la concentration de la nappe phréatique est la perméabilité du milieu, elle-même liée au type de sol.

On a pu mettre en évidence sur deux arroseurs cultivés en riziculture où les sols de levée sont dominants une relation entre la perméabilité de la nappe superficielle et sa concentration (Barral et al., 1996). Dans les sols sableux très perméables, la concentration de la nappe est faible; dans des sols plus argileux et moins perméables, la concentration augmente.

Une parcelle cultivée uniquement en maraîchage durant la contre-saison donne une autre illustration de ces relations.

Deux transects piézométriques orthogonaux à deux profondeurs (1,5 m et 2,5 m) ont été installés sur cette parcelle. Des prélèvements de sol ont été effectués lors de l'installation des piézomètres. La figure 2.5<sup>1</sup> donne un aperçu de la variabilité pédologique du milieu. Le centre du dispositif (piézo 3, 4 et 8) est une cuvette argileuse, alors que les bords (piézo 1, 5 et 6) sont sableux. La variabilité spatiale est très importante, notamment sur le transect P1-P6 dont la longueur totale est de 230 mètres.

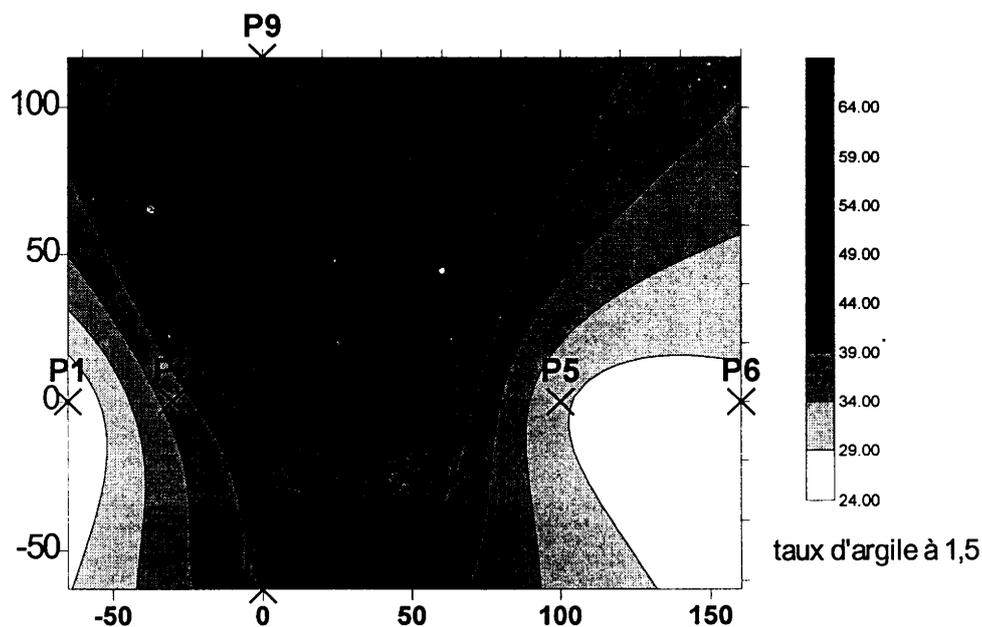


Figure 2.5 : réseau piézométrique de la parcelle G1 et taux d'argile à 1,5 m.

<sup>1</sup>Cette représentation spatiale vise juste à donner une idée du dispositif et de la variabilité spatiale du milieu. Le nombre de points dont on dispose ne permet pas d'avoir une extrapolation fiable.

Sur ces piézomètres, des mesures de perméabilité ont été menées suivant la méthode du slug test. La conductivité électrique des eaux de nappe a été mesurée. Ces résultats sont présentés sur les figures 2.6 et 2.7.

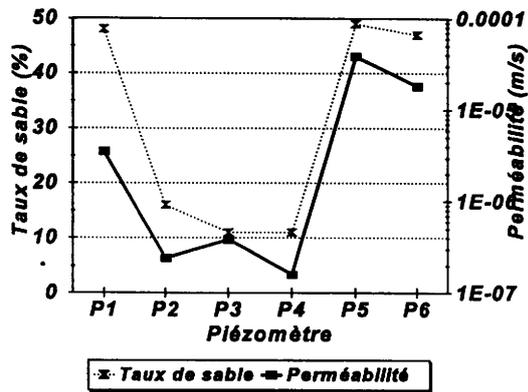


Figure 2.6 : Taux de sable et perméabilité sur le transect P1-P6 (parcelle G1)

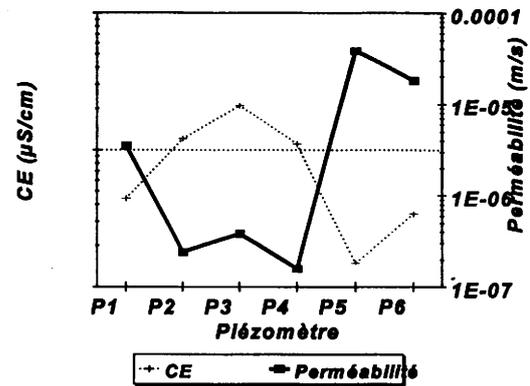


Figure 2.7 : Perméabilité et CE sur le transect P1-P6 (parcelle G1)

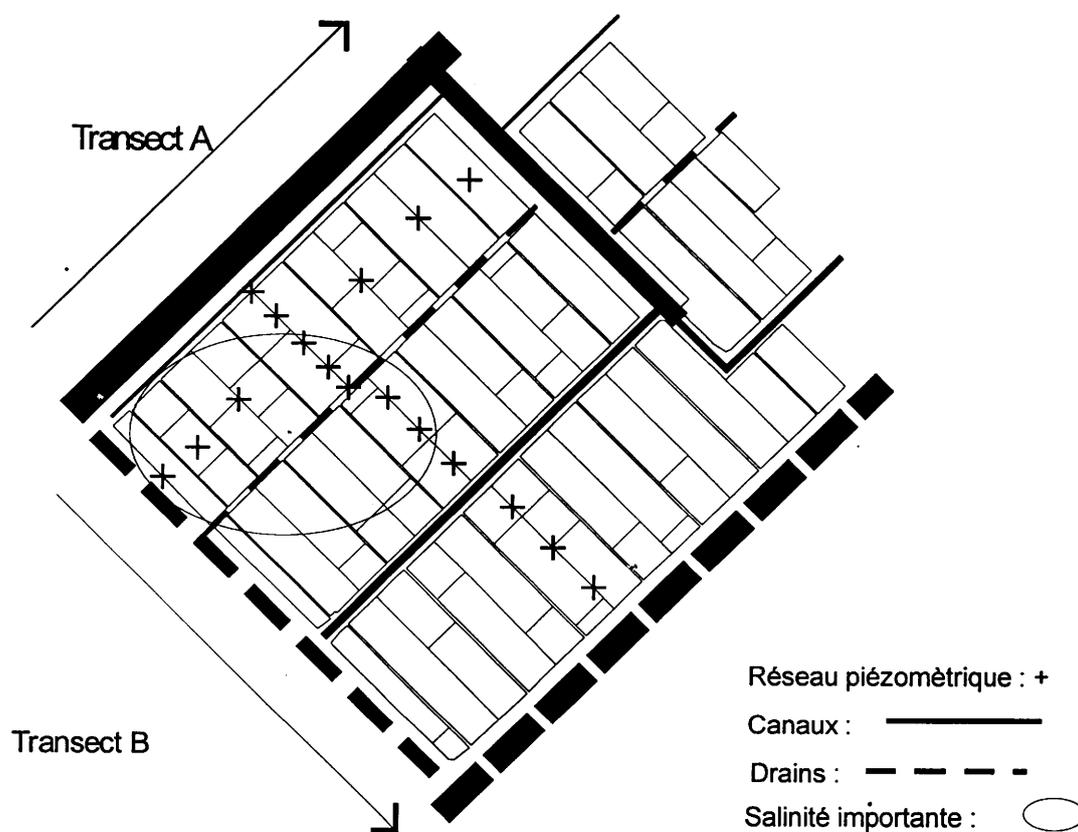
Il apparaît clairement que :

1. Les cuvettes argileuses (piézo P2, P3, P4) sont beaucoup moins perméables que les levées sableuses (P1, P5, P6). La perméabilité moyenne des sols argileux est de  $2 \cdot 10^{-7}$  m/s. Pour les levées sableuses, elle varie de  $4 \cdot 10^{-6}$  à  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s.
2. La concentration de la nappe est plus élevée (de 1200 à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dans les cuvettes argileuses que dans les levées sableuses (de 150 à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

La proximité de canaux peut expliquer les faibles conductivités observées dans les piézomètres les plus perméables. En revanche, dans les sols argileux, les sels sont piégés et le milieu est plus concentré.

### 3.2 Liée à la présence de sels dans les sols et à l'influence du réseau hydraulique

Un réseau piézométrique a été mis en place sur la parcelle N9. Le plan de ce réseau, ainsi que les différents canaux et drains sur ce site, sont représentés sur la figure 2.8.



**Figure 2.8 : Plan de l'aménagement et du réseau piézométrique du sous-partiteur N9-8D**

Le site instrumenté est relativement homogène du point de vue type de sol .

Les piézomètres ont été implantés dans un niveau d'altérites situés à environ 3 mètres de profondeur. Un profil pédologique type est le suivant :

- 0-100 cm : horizon argileux, noir bariolé de gris.
- 100-120 : apparition de nodules calcaires
- 120-200 : horizon très sec et compact, à concrétions ferrugineuses.
- 200-280 : horizon argilo-sableux, beige gris, de plus en plus sableux.
- 280-300 : horizon caillouteux; niveau d'altérites.

On représente la conductivité électrique des eaux de nappe suivant deux transects<sup>2</sup>, A (fig. 2.9) et B (fig. 2.10). Sur le même graphique est représenté la topographie du terrain.

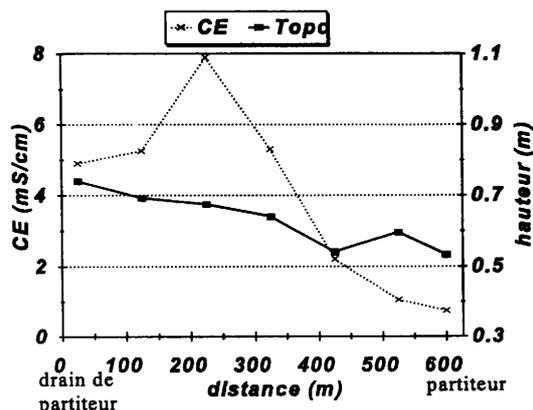


Figure 2.9 : CE de la nappe phréatique et topographie sur le transect A (N9)

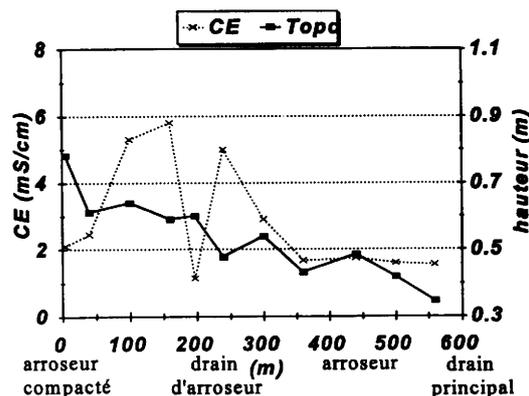


Figure 2.10 : CE de la nappe phréatique et topographie sur le transect B (N9)

Une salinité importante existe, elle est localisée : les points de prélèvements où la CE est supérieure à 3 mS/cm sont compris dans la zone tracée sur la figure 2.8. On remarque qu'à proximité des grands canaux (partiteur, arroseur), la concentration de la nappe baisse. Très localement (fig. 1.6), un piézomètre implanté à 2 mètres d'un drain est faiblement concentré.

La zone où la salinité est élevée correspond à une zone topographiquement haute, où les sels s'étaient concentrés avant le réaménagement, quand le niveau de maîtrise de l'eau ne permettait pas d'irriguer convenablement cette zone. La réhabilitation a permis de récupérer ces terres par un lessivage de l'horizon de surface. La concentration reste néanmoins importante dans les horizons sous-jacents (cf résultats des bougies poreuses).

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer la répartition spatiale de la salinité, qui ne s'explique pas par la perméabilité du milieu :

- la dilution des eaux de nappe par la percolation au droit des canaux principaux (le rayon d'influence de cette percolation sur la concentration de la nappe dépend de la taille des canaux).
- La concentration des sels localement sous l'influence du fonctionnement hydrologique du milieu, soit quand le delta était fonctionnel, soit sous l'influence de pratiques d'irrigation antérieures à la réhabilitation (culture du coton).

<sup>2</sup>Ces deux graphiques ont déjà été présentés dans 'Fonctionnement des nappes en relation avec la dégradation des sols', (Barral et al, 1996). Mais la topographie était inexacte.

## 4. Chimisme des eaux de nappe.

Les analyses complètes d'un certain nombre d'échantillons de nappe ont été interprétées par ailleurs (Barral et al, 1996). La présence d'eaux de nappe ayant une salure forte et une alcalinité résiduelle négative a fait envisager l'existence d'une source de sel neutre fossile, distincte des sels provenant de la concentration des eaux d'irrigation.

On a cherché à visualiser ces deux sources de sel à partir des données de CE, pH et alcalinité disponibles sur tous les piézomètres ayant fait l'objet d'un suivi. Pour ces différents paramètres, on a considéré la valeur moyenne hors période d'irrigation.

On a aussi inclus dans l'analyse les données disponibles sur 3 x 3 bougies poreuses installées sur trois sites dégradés (où existe un piézomètre) répartis sur les arroseurs N4 et N9, aux profondeurs de 20, 40 et 60 cm. La variabilité de ces valeurs est plus grande que pour les données relatives aux nappes phréatiques, on a néanmoins considéré les valeurs moyennes pour la période hivernale. L'analyse des variations de la qualité chimique de l'eau des bougies poreuses est présentée par ailleurs.

Sur la figure 2.11, les différents échantillons d'eau de nappe sont présentés, la CE étant en abscisse, l'alcalinité en ordonnée. Des libellés illustrent les eaux des bougies poreuses et de piézomètre (P) correspondant, incluses dans le graphique.

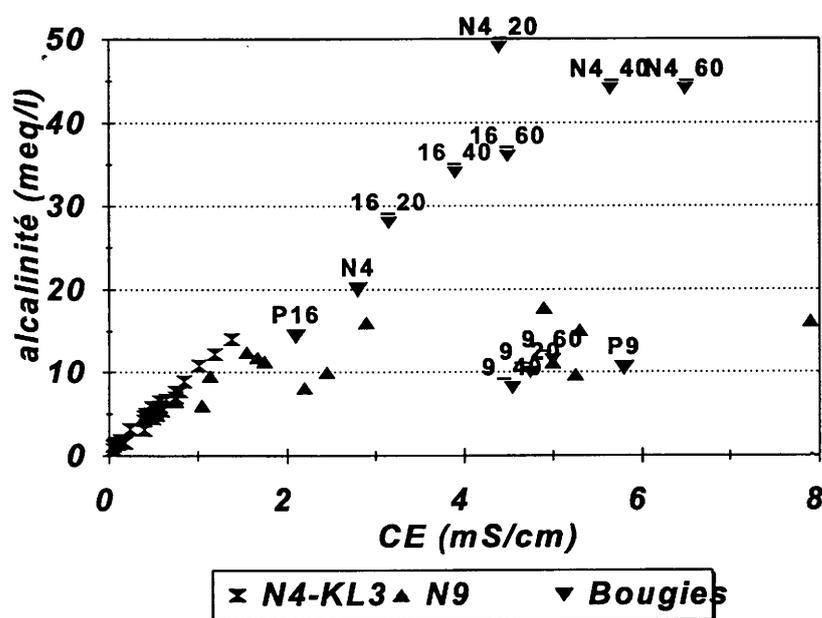


Figure 2.11: Qualité des eaux de nappe en fonction de la CE et de l'alcalinité

On voit apparaître deux tendances :

1. Un groupe de point où les valeurs d'alcalinité sont proportionnelles aux valeurs de CE, qui tend vers un pôle alcalin. L'alcalinité est l'anion dominant de cette solution. Les solutions les plus concentrées ont été prélevées dans des bougies poreuses, sur une levée sableuse dégradée de l'arroseur N4-1g (N4\_20...), et sur un point haut limoneux-sableux très proche de l'arroseur N9 (16\_20...).

2. Un groupe de points qui tend vers un pôle salin. L'alcalinité reste comprise entre 10 et 15 meq/l, en revanche la CE peut atteindre 7 dS/m. Tous ces points sont situés sur la parcelle N9, cuvette argileuse où on observe des salants blancs. Les bougies poreuses installés dans cette cuvette (9\_20...) présentent les mêmes caractéristiques.

Cette représentation est une manière simple de mettre en évidence les deux origines des sels. Elle permet notamment de distinguer deux groupes d'eaux issues des bougies poreuses. Sur l'arroseeur N9 cohabitent donc deux sources de sel : en bordure d'arroseeur (point 16), dans des sols limoneux sableux élevés existent des phénomènes d'alcalinisation-sodisation; ce type de salure affecte surtout le premier mètre du profil de sol, l'eau de nappe (P16, prélevée à 3,5 m) ayant une concentration plus faible. 150 mètres plus loin, sur des sols argileux (point 9), existe une salure importante (5 dS/m) d'origine fossile.

Les mécanismes géochimiques mis en jeu pour des niveaux de concentration élevés, que ce soit vers le pôle alcalin ou vers le pôle salin sont encore mal connus. Des analyses complètes sont nécessaires pour préciser les minéraux intervenant dans les réactions.

## 5. Dynamique des sels sous l'influence de l'irrigation.

Quatre sites ont été instrumentés avec des bougies poreuses au cours de l'hivernage 96. Les bougies ont été implantées à 20 cm, 40 cm et 60 cm. Des prélèvements hebdomadaires ont été faits, pour la mesure in-situ de la CE et du pH. Ces prélèvements ont pu être effectués tant que les parcelles étaient en eau, soit pendant 11 semaines. Trois mesures d'alcalinité ont été effectuées au cours de ces 11 semaines. Le manque de fiabilité des valeurs d'alcalinité ne permet pas de déduire une évolution au cours du temps.

Les sites instrumentés sont dégradés et situés à proximité d'un piézomètre.

- **KL3-P13 : levée sableuse alcaline**
- **N4-P8 : levée limono-sableuse alcaline sodisée**
- **N9-P16 : cuvette argileuse à recouvrement limono-sableux salée et alcaline**
- **N9-P9 : cuvette argileuse salée**

Sur la figure 2.11, on a représenté les eaux des bougies poreuses et de la nappe en fonction de la CE et de l'alcalinité. On a considéré les valeurs moyennes de CE et d'alcalinité pour les bougies poreuses<sup>3</sup>.

L'eau du sol prélevée dans les bougies poreuses est beaucoup plus concentrée que l'eau de nappe. Cela s'explique par le choix délibéré d'étude des sites dégradés.

Le site N9-P9 dans une cuvette argileuse est sur la voie saline neutre comme les eaux de nappe prélevées sur cette parcelle.

En revanche, le site N9-P16, situé sur un point haut, et dont l'horizon de surface (0-40 cm) est limoneux, est sur la voie alcaline sodique, comme le site N4-P8.

---

<sup>3</sup>Les bougies installées au KL3-P13 ne figurent pas, les valeurs d'alcalinité étant jugées peu fiables.

## 5.1. KL3-P13

Sur la figure 2.12 et 2.13 sont représentées les évolutions du pH et de la CE dans les bougies poreuses et dans la parcelle au cours de la saison de culture.

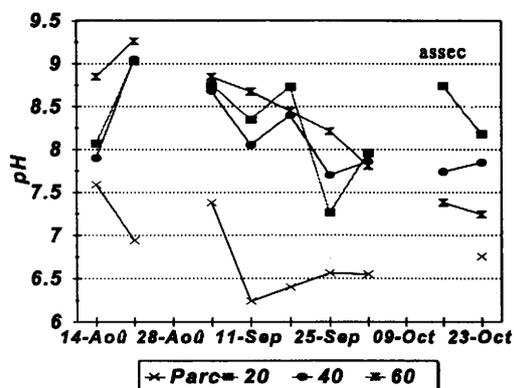


Figure 2.12 : Evolution du pH des bougies poreuses au KL3-P13.

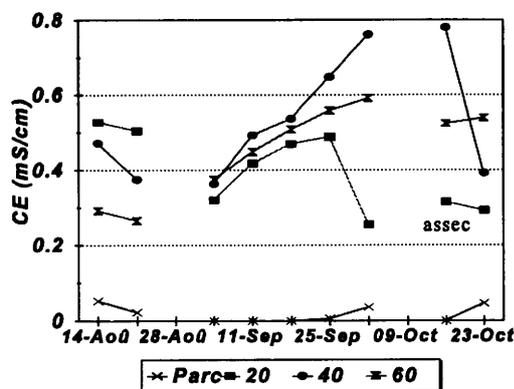


Figure 2.13 : Evolution de la CE des bougies poreuses au KL3-P13.

Après une forte augmentation, le pH diminue régulièrement, de 9 à 8 en 5 semaines dans les bougies poreuses. Les valeurs sont sensiblement égales aux trois profondeurs. Un assec en fin de culture fait rapidement remonter le pH à 8,5 dans l'horizon de surface.

Le profil salin initial est un profil de remontée capillaire, la CE étant plus élevée dans l'horizon de surface. La submersion va diminuer la CE des horizons de surface (20 et 40 cm). Puis, parallèlement à la diminution du pH, la CE augmente régulièrement.

Avant la remontée de la nappe phréatique, un lessivage est sensible, les valeurs de CE diminuant au cours des trois premières semaines. Avec la saturation du profil, la CE augmente et le pH diminue. Cela pourrait être dû à des mécanismes géochimiques liés à l'augmentation de la  $pCO_2$ , entraînant la baisse du pH, la dissolution de minéraux et l'augmentation de la CE.

## 5.2 N4-P8

La concentration des solutés sur le site N4-P8 est beaucoup plus élevée qu'au KL3 (fig 2.14 et 2.15). Le pH initial est de l'ordre de 9,5 en surface, et les conductivités approchent les 7 mS/cm en fin de culture. Les valeurs d'alcalinité sont comprises entre 40 et 50 meq/l (fig 2.11).

On remarque :

- Le pH, diminue les premières semaines, puis se stabilise à 8,5.
- Une augmentation de la CE, forte pendant la phase de saturation du profil.
- Après saturation du profil, une stabilisation (20 cm) ou une augmentation faible de la CE.
- Les valeurs de pH décroissent avec la profondeur, les valeurs de CE augmentent avec la profondeur.

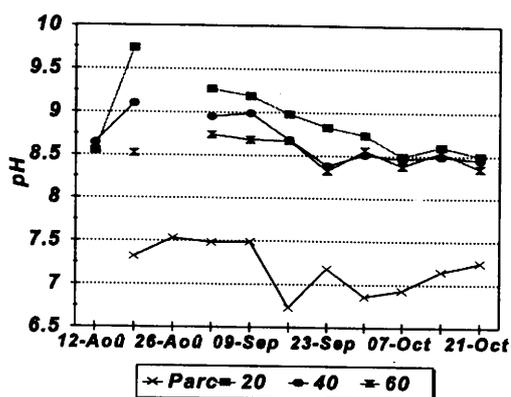


Figure 2.14 : Evolution du pH des bougies poreuses au N4-P8

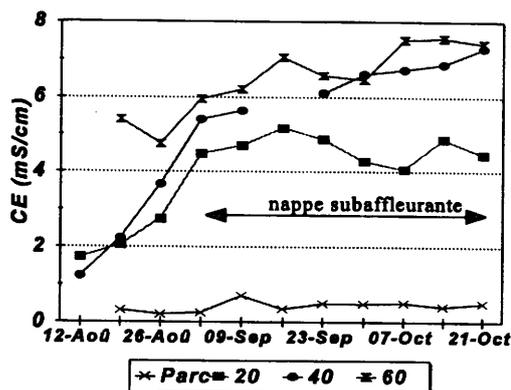


Figure 2.15 : Evolution de la CE des bougies poreuses au N4-P8

La submersion pourrait amener un lessivage des horizons, et donc la diminution de la CE. C'est tout le contraire, la CE augmente rapidement pendant la phase de saturation du profil (élévation progressive de la nappe phréatique), puis augmente plus lentement ou se stabilise.

La première phase pourrait s'expliquer par la dissolution de minéraux, la deuxième phase (profil saturé) par l'augmentation progressive de la  $pCO_2$ .

Les mécanismes géochimiques rentrant en jeu sont complexes et des analyses complètes sont nécessaires pour comprendre l'évolution de ces eaux.

La figure 4.6 montrent l'évolutions de la hauteur et de la concentration de la nappe phréatique sur ce site, à 3 mètres et à 1,5 mètres.

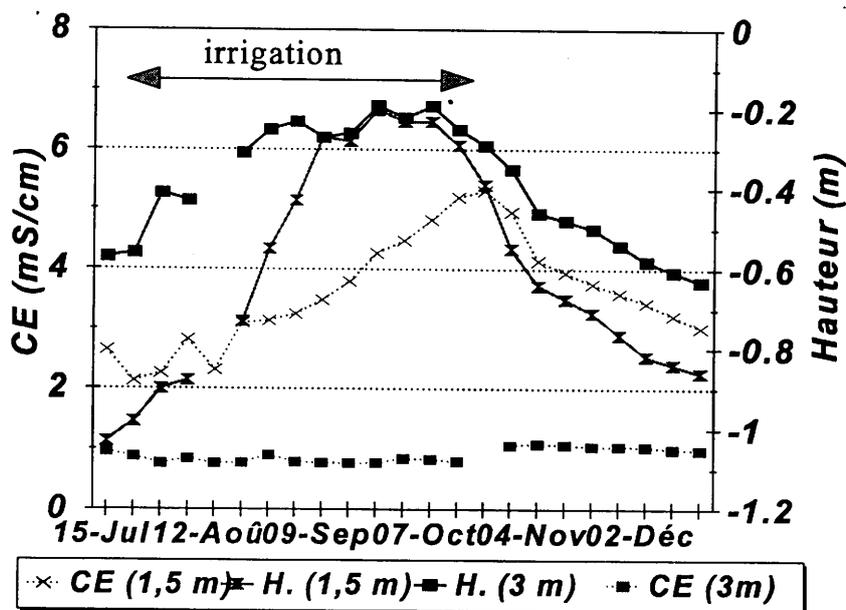


Figure 2.16 : Hauteur et CE de la nappe phréatique à 3 m et 1,5 m.

La CE est plus importante à 1,5 m qu'à 3 mètres. La CE (1,5 m) augmente régulièrement pendant la submersion de la parcelle, passant de 2,5 à 5 mS/cm. Cette augmentation pourrait être provoquée par une percolation des sels présents en surface.

La nappe phréatique profonde est plus haute que la nappe superficielle pendant toute la durée de l'hivernage. Cette dernière réagit très lentement à la submersion, atteignant son niveau maximal 4 semaines après la mise en eau définitive. La mesure de perméabilité à 1,5 mètre est de l'ordre de  $10^{-8}$  m/s.

Toutes ces données montrent l'importance de la sodisation du sol sur ce site, sensible jusqu'à 1,5 mètre de profondeur. La perméabilité est très faible, et ne permet qu'un très faible lessivage des horizons superficiels.

### 5.3 N9-P16

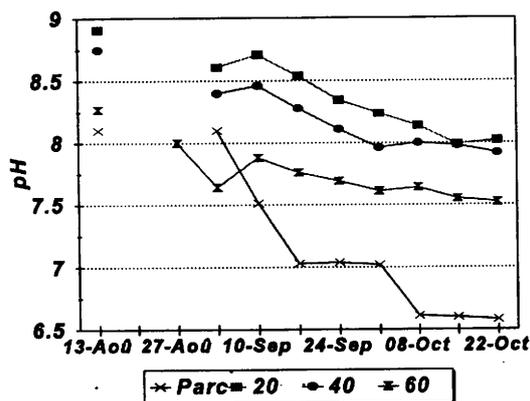


Figure 2.17 : Evolution du pH des bougies poreuses sur le site N9-P16

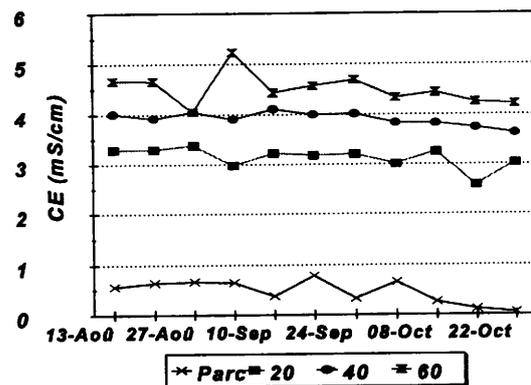


Figure 2.18 : Evolution de la CE des bougies poreuses sur le site N9-P16

Sur le site N9-P16 (figure 2.17 et 2.18), le pH diminue régulièrement sous l'influence des irrigations. L'eau de la parcelle passe d'un pH de 8 à 7 puis 6,5. La CE varie peu, et diminue légèrement en fin de culture. Elle est plus faible dans les horizons de surface, ce qui traduit un certain lessivage. En revanche le pH est plus élevé dans les horizons de surface, probablement sous l'influence de la  $pCO_2$ , qui augmente avec la profondeur.

L'influence de la submersion est surtout sensible sur les valeurs de pH. Un stock d'alcalinité présent en surface est dissout progressivement par l'eau d'irrigation.

### 5.4 N9-P9

Sur ce site (figure 2.19 et 2.20), le pH est moins élevé et diminue rapidement vers des valeurs proche de 7,5 en milieu de culture, et 7 en fin de culture. La CE en revanche est très forte, de l'ordre de 5mS/cm et varie peu. Elle est pratiquement la même à toutes les profondeurs. Ce site est salé, l'alcalinité est faible (de l'ordre de 10 meq/l).

Le lessivage est inexistant. La submersion va diminuer la salinité et le pH de l'horizon superficiel (baisse du pH et de la CE de l'eau de la parcelle). Elle va aussi entraîner la baisse du pH à différentes profondeurs par son effet sur la pCO<sub>2</sub>. Mais la concentration des différents horizons n'est pas modifiée par la submersion, ce qui traduit la faible perméabilité du milieu.

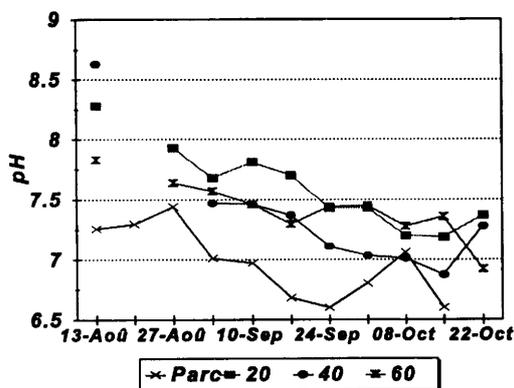


Figure 2.19 : Evolution du pH des bougies poreuses sur le site N9P9

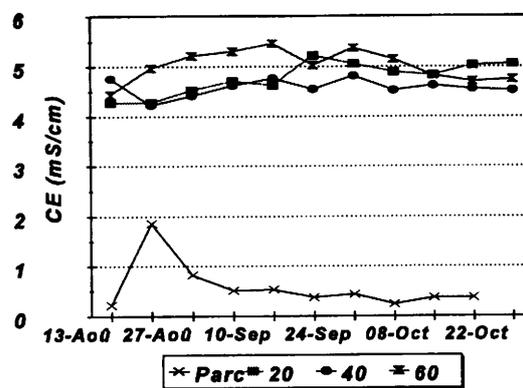


Figure 2.20 : Evolution de la CE des bougies poreuses sur le site N9P9

## 5.5 Conclusion

La submersion a un effet net sur les valeurs de pH, qui vont en moyenne diminuer d'une unité au cours des 11 semaines de mesure. La nature géochimique des sels varie avec les différents sites d'observation. Des résultats paradoxaux sont obtenus sur les sites alcalins : on assiste à une augmentation de la CE avec la submersion, difficilement explicable sans données géochimiques exhaustives. Dans tous les cas, la diminution du pH de l'eau de la parcelle traduit une dilution progressive de l'alcalinité stockée dans l'horizon superficiel.

Sur le N4-P8, levée limoneuse, l'alcalinisation-sodisation est très poussée et les phénomènes géochimiques conduisent à une augmentation de la CE au cours du temps. La faible perméabilité du milieu rend toute récupération très difficile.

Au N9-P9, la salinisation est neutre; ces sols argileux très peu perméables empêchent le lessivage. La CE varie peu sous l'influence de la submersion. Un horizon superficiel déssalé permet la culture du riz.

Au N9-P16, un lessivage est perceptible; la CE diminue légèrement en fin de cycle. Ce lessivage pourrait être amélioré avec une meilleure maîtrise de l'eau (de nouvelles diguettes ont d'ailleurs été confectionnées par les paysans à cet effet).

Le site KL3-P13 est peu alcalin et peu concentré; la perméabilité importante permet un lessivage rapide du milieu, sensible au début des irrigations. Une amélioration du planage limiterait les problèmes.

# Evolution des sols cultivés en maraîchage.

*Le maraîchage joue un rôle croissant dans le fonctionnement des exploitations agricoles. Dans la zone Retail, avant dévaluation, le revenu net dégagé par le maraîchage représente 30% du revenu net total de l'exploitation (Molle, 1993). On assiste à une augmentation des superficies cultivées en maraîchage, avec une extension du maraîchage sur les casiers rizicoles. Il est donc important de comprendre l'influence de ce système de culture sur l'évolution des sols.*

*Les parcelles cultivées en maraîchage sont plus affectées par les phénomènes de dégradation que les parcelles rizicoles. Un échantillon de parcelles maraîchères de la zone de Niono a été comparé à une prospection effectuée sur les parcelles rizicoles (Keita, 1996). Le pH labo (1/2,5) moyen est de 7,32 en maraîchage contre 6,54 en riziculture. La CE moyenne est de 0,36 en maraîchage contre 0,15 en riziculture.*

*Ceci s'explique par :*

- 1. La proximité de la nappe phréatique favorisant les remontées capillaires;*
- 2. La faiblesse et l'hétérogénéité spatiale du lessivage induit par l'arrosage à la calebasse;*
- 3. Le maintien en eau de rigoles espacées de 5 à 10 mètres, alimentant la nappe.*

*On a vu (voir chapitre 2) que suivant le type de sol, la nappe phréatique est comprise entre 20 et 70 cm de la surface. Sur les sols limoneux, la présence d'un horizon argileux peu perméable à moins d'un mètre de la surface favorise l'engorgement et limite l'évacuation des sels, qui restent piégés dans l'horizon argileux*

*Les phénomènes de dégradation sont déterminés par le fonctionnement hydrique du système :*

- Sur les parcelles d'oignon, la dose d'irrigation apportée est plus grande à proximité des rigoles. Les phénomènes d'alcalinisation-salinisation seront plus prononcés au centre de la parcelle où le lessivage est moins important.*
- L'irrigation par poquet des planches cultivées en tomate induit une grande variabilité spatiale des propriétés chimiques des sols.*

*L'alcalinisation des sols a une influence négative sur le rendement des échalottes. En revanche, la salinisation reste trop limitée pour influencer le rendement de cette culture.*

# 1. Distribution spatiale de la salinité en maraîchage.

L'arroseeur N1 1d est réservé au maraîchage. Il est situé sur une haute levée sableuse à limono-sableuse à proximité du village N1. Cet arroseeur est très affecté par des problèmes de salinité, environ 50% des parcelles ne sont pas cultivées. Le drainage n'est pas efficace sur cette parcelle, le drain est obstrué et se perd dans une bancotière qui reçoit les eaux de drainage en hivernage.

## Objectif

Estimer la distribution spatiale de la salinité pour différents systèmes de culture en maraîchage.

## Matériel et méthode

Trois parcelles ont été choisies, présentant toutes les trois des problèmes de salinité.

P1 : parcelle cultivée en riz lors de l'hivernage précédent pour assurer le lessivage des sels. Des tomates y sont cultivées lors de la contre-saison 95-96.

P2 : parcelle cultivée en oignon en général.

P6 : parcelle cultivée en tomate en général.

Les prélèvements sont effectués selon un maillage de 1.5 m x 1.5 m. Les parcelles retenues font 5 m. de large (distance d'une rigole d'irrigation à une autre) sur 18 m de long.

On prélève des échantillons de sol sur trois niveaux : 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une tarière de diamètre 70 mm. Ces prélèvements sont séchés, broyés et tamisés. On mesure pH et CE sur la pâte sol-eau 1/2.5 (40g de sol et 100g d'eau) après deux heures d'agitation.

Un premier prélèvement a eu lieu en préalable au travail du sol (15 novembre 1995). Un deuxième prélèvement a été effectué deux mois après le repiquage (31 janvier 1996).

Après analyse des résultats de la première campagne de prélèvements, on a diminué le nombre d'analyse sur la deuxième campagne. Seuls les niveaux 0-5 cm et 10-20 cm ont été analysés, et ceci pour un maillage de 1.5 m sur la largeur (entre les deux rigoles) et 3 m sur la longueur.

Lors de la première campagne de prélèvement, deux profils de sol ont été échantillonnés, respectivement jusqu'à 2 et 3 mètres de profondeur. Les mêmes analyses ont été effectuées.

## Résultats

Les résultats obtenus sont présentés de deux manières:

1. Moyenne et Ecart Type des valeurs de pH et de CE pour les différents horizons (Tableau 3.1)
2. Représentation spatiale de la CE et du pH pour chaque horizon au 15 novembre 95.

On observe en général une augmentation du pH entre l'horizon 1 (0-5 cm) et l'horizon 3 (10-20 cm), et une décroissance de la CE de l'horizon 1 vers l'horizon 3. Cette tendance est plus ou moins nette suivant les sites : Sur P2, le pH est pratiquement identique dans les trois horizons, et la CE diminue fortement. Sur P1, la CE diminue faiblement avec la profondeur alors que le pH augmente d'une unité. L'écart type de la conductivité électrique est très important dans l'horizon 1, plus faible dans les horizons sous-jacents.

**Tableau 3.1 : Moyenne et écart type des valeurs de pH et de CE aux trois horizons.**

P1	moy pH	moy CE	ET pH	ET CE	P1	moy pH	moy CE	ET pH	ET CE
le 15/11					le 30/01				
0-5 cm	7.35	381	0.56	161		7.76	433	0.39	118
5-10 cm	7.91	308	0.6	92					
10-20 cm	8.22	305	0.52	86		8.26	329	0.35	83
P2	moy pH	moy CE	ET pH	ET CE	P2	moy pH	moy CE	ET pH	ET CE
le 15/11					le 30/01				
0-5 cm	8.02	894	0.43	511		7.75	752	0.35	305
5-10 cm	8.1	420	0.36	146					
10-20 cm	8.06	318	0.35	134		7.68	323	0.38	116
P6	moy pH	moy CE	ET pH	ET CE	P6	moy pH	moy CE	ET pH	ET CE
le 15/11					le 30/01				
0-5 cm	7.4	577	0.19	298		7.37	673	0.14	278
5-10 cm	7.6	540	0.26	239					
10-20 cm	7.82	345	0.28	161		7.68	277	0.3	81

Deux mois d'irrigation ont pour effet de regrouper les valeurs de CE et de pH, sans toutefois modifier sensiblement les moyennes.

La spatialisation des résultats à l'aide du logiciel Surfer confirme les résultats précédents.

Sur le site P1 (fig 3.1), on observe une augmentation du pH avec la profondeur. La CE en revanche est légèrement plus élevée dans l'horizon de surface. Le pH et la CE sont plus élevés dans la moitié supérieure de la parcelle.

Sur le site cultivé en oignon P2 (fig 3.2), les points situés en milieu de parcelle (à 2,5 m. des rigoles) sont nettement plus salés que ceux situés en bordure de rigole. Ceci n'est sensible que pour l'horizon de surface. La CE baisse rapidement dans les horizons sous-jacents.

P1 : précédent Riz, culture de Tomates

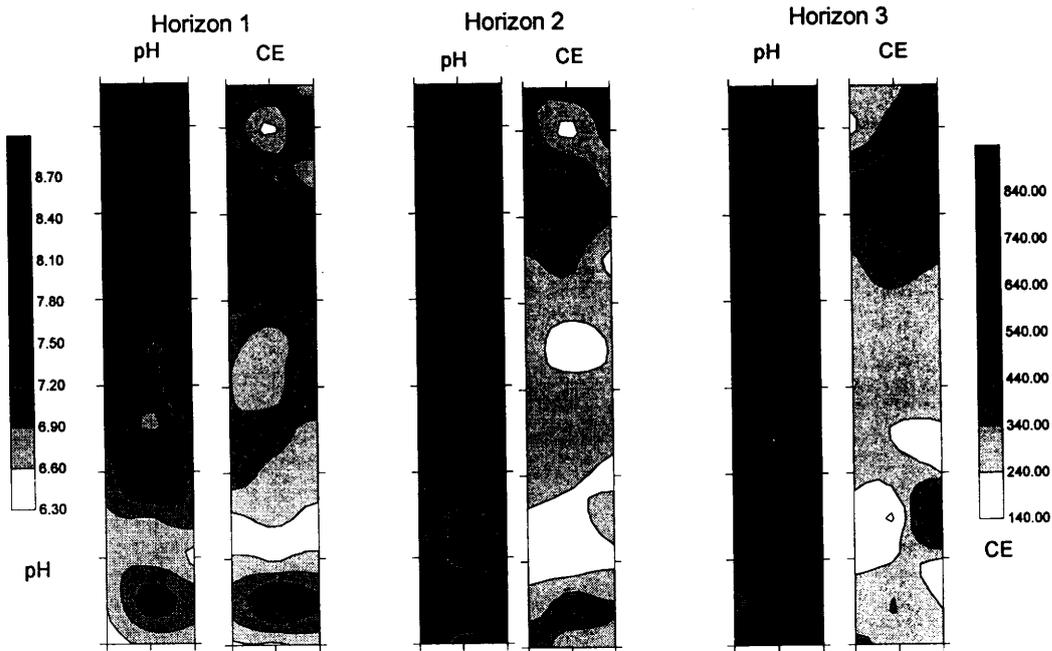


Figure 3.1: Spatialisation des données de pH et de CE pour les 3 horizons sur la parcelle P1(logiciel Surfer)

P2 : Oignons

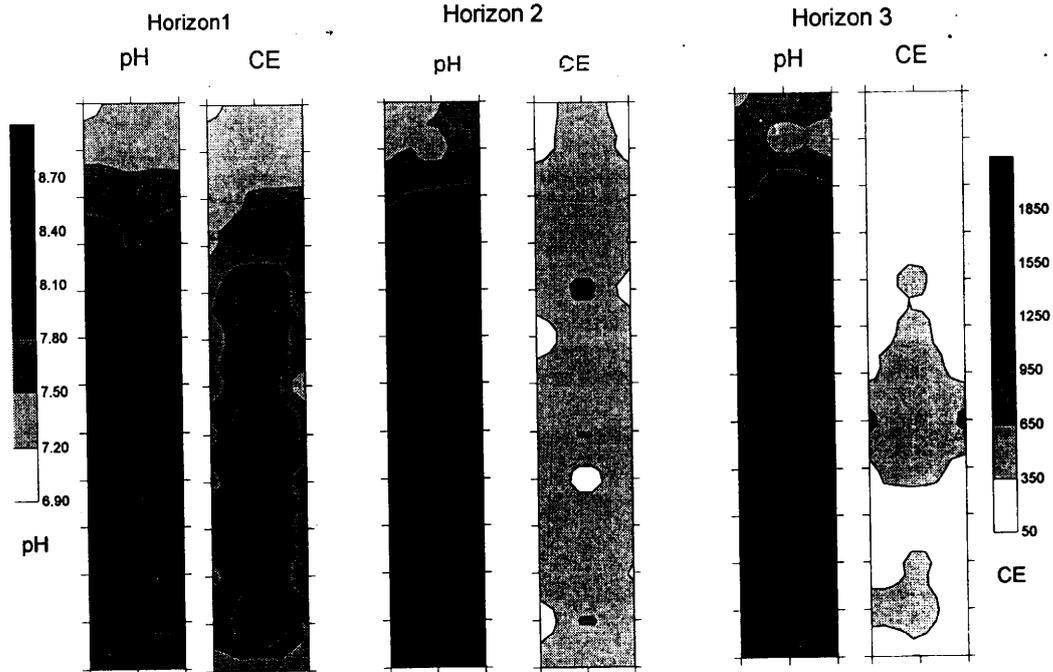


Figure 3.2 : Spatialisation des données de pH et de CE pour les trois horizons sur la parcelle P2 (logiciel Surfer)

Les deux profils salins effectués (fig 3.3 et 3.4) montrent que la salinité est 'piégée' dans l'horizon argileux. La succession de couches sablo-limoneux/argile/sable est classique sur les levées. C'est dans le premier mètre sablo-limoneux qu'existe le phénomène de remontées capillaires. Dans l'horizon argileux (1-2 m) sous-jacent très peu perméable, la concentration de l'eau augmente. En revanche, dans l'horizon sableux (2-3 m) visible sur le profil 2, la concentration de l'eau est faible.

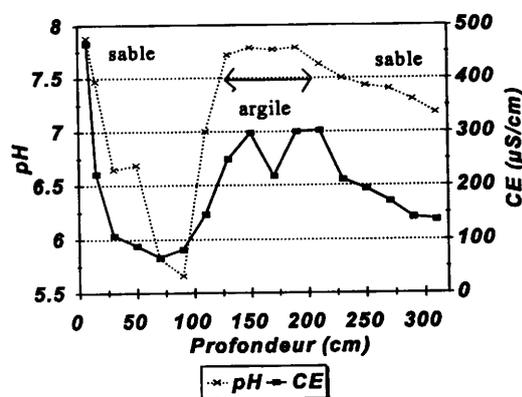
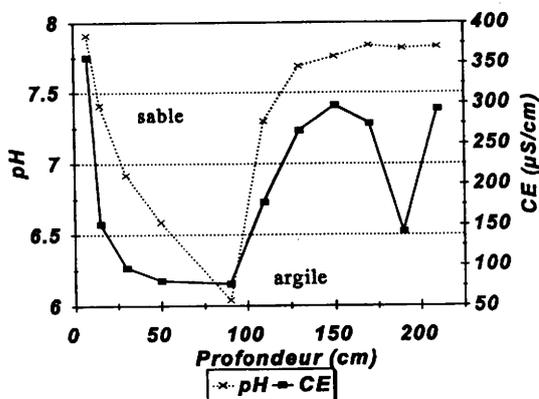


Figure 3.3 : Profil salin en maraichage

Figure 3.4 : Profil salin en maraichage

### Discussion

Dans les sites de maraichage, une différenciation nette apparaît dans le profil salin des premiers centimètres de sol. L'horizon 0-5 cm est plus salin et moins alcalin que l'horizon 10-20cm. Néanmoins, ces mesures sont effectuées au laboratoire, et ne tiennent pas compte de l'influence de la  $p\text{CO}_2$  sur les équilibres chimiques. Dans les horizons 5-10 et 10-20, une augmentation de la  $p\text{CO}_2$  in situ provoque une diminution du pH in situ.

L'hétérogénéité est très grande, dépendant notamment du système de culture qui influence la dynamique locale de l'eau et des sels. Cette hétérogénéité se fait sentir surtout dans les horizons superficiels (0-5cm et 5-10 cm).

La parcelle P1 cultivée en riz en préalable à l'installation de tomates est relativement homogène. La dynamique de l'eau a été sensiblement la même sur toute la parcelle. Le changement de dynamique avec la culture de tomate fait augmenter le pH de l'horizon superficiel, qui pouvait avoir des valeurs acides sous l'influence du lessivage imposée par la riziculture.

La partie centrale de la parcelle d'oignon est la plus saline. Cette parcelle étant arrosée à la calebasse à partir des rigoles, la partie centrale est moins arrosée : dans cette partie domine le phénomène de remontée capillaire. Cette différence s'estompe au cours de la culture, mais reste sensible.

La parcelle cultivée en tomate (irrigation en poquets puis grâce à des petites rigoles transversales) présente une très grande hétérogénéité de l'horizon de surface, encore sensible dans l'horizon 10-20 cm. De multiples dynamiques de l'eau coexistent avec une irrigation localisée, et les prélèvements d'échantillons n'ont pas tenu compte de l'emplacement des raies et des poquets.

## Conclusion

Ces parcelles dégradées présentent un profil de remontée capillaire. La présence d'un horizon argileux peu perméable à moins d'un mètre de profondeur favorise la proximité de la nappe et limite l'évacuation des sels.

L'arrosage à la calebasse des planches d'oignons ou d'échalottes induit un déficit hydrique au centre des planches. Cela se traduit par une salinisation-alcalinisation plus grande. Cela corrobore les observations de terrain: sur certaines planches, les oignons au centre sont moins beaux que le long des rigoles.

La salinité-alcalinité de l'horizon superficiel rendra difficile la mise en place de la culture (germination ou reprise après le repiquage). Les paysans doivent parfois repiquer trois ou quatre fois avant que les plants de tomates reprennent.

La dynamique hydrique locale engendre de grandes hétérogénéités de la salinité, très sensibles dans l'horizon de surface. C'est particulièrement vrai pour les planches de tomate cultivées en poquet.

Il est important de compléter les mesures de pH labo par des mesures in-situ, la pCO<sub>2</sub> modifiant le pH in-situ.

## **2. Influence de la dégradation des sols sur le rendement des échalottes.**

Au cours de la saison de maraîchage 96-97, une étude a été menée en collaboration avec le suivi-évaluation de la zone de Niono (Office du Niger) et le projet Retail.

Le protocole comprenait :

- Des suivis par village des superficies repiquées en échalotte du mois de novembre au mois de février
- la sélection, tous les 20 jours, de 5 parcelles repiquées par village pour l'installation de carrés de rendement.

Ceci afin d'estimer les superficies cultivées en échalotte et la production de cette spéculation au cours du temps.

On a adjoint à ce suivi le prélèvement et l'analyse de sol sur les parcelles sélectionnées pour l'installation de carrés de rendement.

### **Objectif :**

Déterminer l'état physique et chimique du sol des parcelles cultivées en maraîchage, et ses conséquences en terme d'impact sur le rendement de l'échalotte.

### **Matériel et méthode :**

- Dans les 20 jours suivant le repiquage, sur un maillage régulier de 3x3 points sur la planche d'échalotte (dont la superficie est limitée à 100 m<sup>2</sup>), des mesures de pH in-situ sont effectuées à l'aide d'une électrode à pointe.
- On détermine le point où la valeur médiane de ces neuf mesures est atteinte

- Un prélèvement est effectué sur ce point, pour la mesure au laboratoire du pH (1/2,5) de la CE (1/2,5) et du taux de sable.
- Trois carrés de rendement de 1 m<sup>2</sup> sont mis en place sur la planche d'échalotte environ un mois avant la récolte. Leur position est choisie pour tenir compte des variations de rendement sur la planche : les carrés sont installés respectivement à un endroit où l'apparence des plants est bonne, moyenne et médiocre.

### **Résultats :**

93 échantillons de sol ont été prélevés.  
47 rendements ont été mesurés en relation avec ces prélèvements.

### **Caractérisation des sols :**

Le pH in-situ et le pH labo ont une distribution normale.  
La moyenne du pH in-situ est de 6.72 (CV :11%), la moyenne du pH labo est de 7.22 (CV : 11%).  
La CE a une distribution log-normale, de moyenne 0.34 mS/cm.  
Le taux de sable a une distribution bi-modale, avec un pôle argileux (35 % de sable) et un pôle sableux  
En général, ce sont les parcelles maraîchères des villages qui ont été échantillonnées. Neuf échantillons ont été prélevés sur des parcelles rizicoles, cultivées en maraîchage; ces sols sont acides et peu salés (en moyenne: pH in situ: 5.8; pH labo: 6.3 ; CE: 0.16 mS/cm).

**Tableau 3.2 : Matrice de corrélation des analyses de sol.**

	pH labo	pH in-situ	CE	sable
pH labo	1			
pH in-situ	0.65	1		
CE	0.42	0.36	1	
sable	-0.15	-0.11	-0.18	1

Le tableau 3.2 montre que les données de pH labo, pH in-situ et CE sont corrélés. Les sols plus alcalins sont en général plus salés.  
Une salinité et un pH élevé se rencontrent sur tous les types de sol. On n'observe pas de relation nette entre alcalinité-salinité et taux de sable.

### **Rendement de la culture d'échalotte**

On obtient un rendement moyen de 34 t/ha  
Une faible corrélation existe entre le rendement et le pH (labo ou in-situ) : R = -0.2.  
Le rendement est aussi faiblement corrélé au taux de sable (R=0.2). En revanche, on n'observe pas de corrélation rendement - CE.

Sur les figures 3.5 et 3.6 sont respectivement représentés le rendement en fonction du pH in-situ et du taux de sable. Les données sont très dispersées et la tendance à la baisse de rendement pour des valeurs élevées de pH n'est pas claire. L'augmentation de rendement dans les sols plus sableux contredit les résultats du projet Retail pour l'année 95-96. En effet, sur un essai multilocal concernant 11 exploitations et 99 observations, il ressort que les rendements sont moins élevés dans les sols Seno (sableux) que dans les sols argileux (Pasquier, 1996). La différence de rendement est importante, la moyenne dans les sols sableux (36 observations sur 4 exploitations) étant de 11,5 T/ha, alors que dans les sols argileux (54 observations sur 6 exploitations) on a 29,2 T/ha.

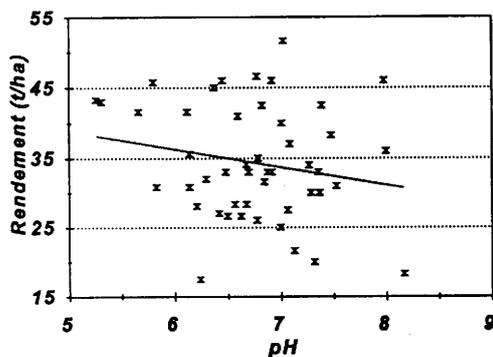


Figure 3.5 : Rendement en fonction du pH in-situ (mesuré dans les 20 jours après le repiquage).

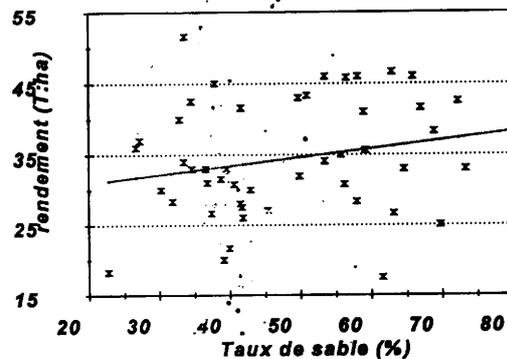


Figure 3.6: Rendement en fonction du taux de sable.

Un regroupement des résultats par village montre que les données de sol sont en général relativement homogènes pour chaque village. En effet, la parcelle où est effectué le maraîchage ne couvre pas une grande superficie (20 à 30 ha en moyenne)..

Sur le tableau 3.3 sont présentés ces résultats; tous les villages ne sont pas présents, le nombre d'échantillons étant trop faible pour établir des caractéristiques moyennes du sol.

Des données de rendement sont manquantes, le nombre de carrés de rendement dans ces villages étant inférieur à 2.

L'intérêt de ce tableau est de donner un aperçu des caractéristiques physico-chimiques des soles de maraîchage par village. Il permet d'effectuer un échantillonnage précis, en choisissant des villages ou les types de sol sont nettement différenciés, pour préciser l'impact de l'alcalinité sur le rendement.

Les villages de Moussa Wéré et Kolodougou Coura, qui sont cultivés depuis peu de temps (respectivement 5 et 7 ans) en maraîchage, présentent des sols acides.

Le site maraîcher de Kouian N'Golobala est alcalin et salé, sur des sols limoneux.

Au N6 bis, les sols sont sableux et alcalins et peu salés.

Au Km 36, les sols sont argileux, alcalins et relativement salés.

**Tableau 3.3:** Résultats des analyses de sol résumés par village.

Village	pH in situ	pH labo	CE	Taux de sable (%)	Variabilité	rendt. (T/ha)
Fabougou	6.9	7.4	0.25	35	faible	31.7
Km 23	6.8	7.7	0.28	46	moyenne	31.4
Km 26	7	7.6	0.43	45	moyenne	30
Km 30	6.4	7.8	0.48	51	moyenne	32.9
Km 36	7.3	8.1	0.54	35	faible	35.6
Km 39	6.5	7.6	0.6	40	faible	32
Kolodougou coura	6.1	7.1	0.3	50	élevée	
Kolodougou koro	6.9	6.9	0.34	60	faible	
Kouian N'Golobala	8.1	8	0.8	45	faible	
Kouya Coura	6.7	6.8	0.23	63	faible	44
Kouyé	7.4	7.2	0.25	65	faible	
Moussa Wéré	5.8	6	0.14	55	faible	
N6 (casier riz)	5.6	6.2	0.1	67	faible	30
N6 bis	7.2	8.2	0.32	63	faible	33
N9	6.6	6.9	0.33	51	élevée	32.5

### **Conclusion**

Les sites maraîchers subissent une salinisation-alcalinisation progressive du sol. C'est particulièrement net en comparant des villages cultivés depuis peu (Moussa Wéré et Kolodougou Coura) aux autres villages de la zone. Cette évolution est plus rapide que sur les parcelles cultivées en riziculture. En effet, la comparaison de ces résultats avec la prospection pédologique effectuée en 1991 sur le Kala Inférieur (Keita, 1996) montre que :

- le pH labo moyen mesuré sur les parcelles maraîchères est de 7,32 contre 6,54 en riziculture.
- la conductivité électrique en maraîchage est de 0,36 contre 0,15 en riziculture.

Néanmoins les pH in situ, en moyenne inférieur d'un demi point au pH labo, restent peu élevés, supérieurs à 7 dans 42 % des sites, et à 7,5 dans 11 % des sites.

Malgré un faible coefficient de corrélation, on a pu mettre en évidence l'influence négative de l'augmentation du pH sur le rendement. On n'a pas détecté d'effet de seuil. En revanche, la CE n'est pas corrélée au rendement. Contrairement aux études précédentes, de meilleurs rendements sont obtenus sur les sols légers. Les données sont toutefois faiblement corrélés.

Il apparaît nécessaire de confirmer ces résultats en se concentrant sur quelques villages où les sols ont des caractéristiques très distinctes. Le suivi des composantes du rendement (nombre de bulbes, poids des bulbes) permettrait de préciser l'influence du pH sur l'élaboration du rendement.

Barral, J.P., S. Marlet, M.K. N'Diaye, A. Valenza, M.K. Dicko, B. Tangara et J.C. Grillot, 1996. Fonctionnement des nappes en relation avec la dégradation des sols à l'Office du Niger. Doc IER/PSI, 40 p. Bamako.

Barral, J.P. et B. Tangara; 1997. La gestion de l'eau sur les périmètres irrigués de l'Office du Niger. Actes de l'Atelier de Niamey : 'Gestion Technique, Organisation sociale et Foncière de l'Irrigation' du 29 septembre au 2 octobre 1996. 20p.

Barraud, V., 1989. La gestion de l'eau au projet Retail. CNEARC, Montpellier.

B.EAU, 1980. Besoins en eau au niveau arroseur. Riz - Canne à Sucre. Rapport d'études. Université Agricole Wageningen.

Bengaly, K., 1995. Contribution à l'étude de la gestion de l'eau dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger. Cas du casier Retail. Mémoire de fin de cycle. IPR de Katibougou. 78 p.

Guillobez, S., 1989. Variation du pH et bilan des ions majeurs. Conduite de la riziculture aquatique dans les sols à fort déséquilibre ionique. *L'agronomie tropicale*, 44 (1) : 3-12.

Keita, B., 1996. Détermination des facteurs d'identification de la dégradation des sols par sodisation et alcalinisation à l'office du Niger, Mali. *DEA science du sol*, Nancy.

Konaté, 1990. Gestion de l'eau et suivi des activités de l'entretien du secteur Sahel de l'Office du Niger. Mémoire de fin de cycle. IPR de Katibougou, 60 p.

Marlet, S., 1996. Alcalinisation des sols dans la vallée du fleuve Niger, Niger. Modélisation des processus physico-chimiques et évolution des sols sous irrigation. *Thèse de doctorat, ENSA Montpellier*, 196 p.

Molle, F., 1993. Rapport de synthèse de fin de projet Retail 2. Annexe 2, Recherche et Développement. Caisse Française de Développement, 300 p.

Pasquier, L., 1996. Le développement des cultures maraîchères à l'Office du Niger : atouts et contraintes dans le contexte post-dévaluation. URDOC, 70p.

Raes, D., J. Deckers et A.M. Diallo, 1995. Water requirements for salt control in rice schemes in the Senegal river delta. *Irrigation and Drainage Systems*, 9: 129-141.

SOGREAH, 1982. Aménagement hydro-agricole dépendant du canal du Sahel. Partie 1: Les sols, 20p.

SOGREAH, 1987. Assistance technique à la gestion de l'eau. Rapport FAC, 45p.

Van Hoorn, J.W. et J.G. van Alphen, 1994. Salinity Control. In 'Drainage Principles and Application', H.P. Ritzema (Editor in chief), ILRI Publication 16.

## Annexe 1: Bilan décadaire des différents sites.

Les pertes (ETR, percolation et fuite) sont présentées en mm/jour moyennées sur une décade. Les apports sont représentés en mm/décade.

Le total tient compte de valeurs extrapolées pour l'ETR; en revanche, pendant la période où les données sont manquantes, la percolation et les fuites sont considérées nulles. Il s'agit en effet d'une période où tout le système est engorgé.

### KL3 : P1

Mois	déc.	ETR mm/j	Percol. mm/j	Fuite mm/j	Pluie mm/déc	Irrig. mm/déc
Juillet	3	5,6	6,5	-0,7	37	125
Août	1	6,1	3,9	0,1	27	185
	2	6,7	2,6	9,7	44	35
	3	8,2	1,8	3,9	28	179
Septembre	1	7,9	0,1	-1	32	95
	2	7	1,25	-1,1	34	88
	3	6	1,6	6,2	26	116
Octobre	1	7,4	2,9	0,5	3,5	82
	2	7,8	2,6	-2	3	0
	3	10,1	5,3	3,5	0	85
Moyenne		7,28	2,85	1,91		
Total		695	260	190	235	990

### KL3 : P13

Mois	déc.	ETR mm/j	Percol. mm/j	Fuite mm/j	Pluie mm/déc	Irrig. mm/déc
Août	1	6,5	6		27	122
	2	5,8	2,9	-1,3	44	52
	3	8,9	3,6	-3	28	52
Septembre	1	6,3	0,5	-2,3	32	82
	2	8,6	1,1	2,1	34	96
	3	??	??	??	26	66
Octobre	1	??	??	??	3,5	0
	2	7,25	0,4	2,6	3	0
	3	7,5	1	-3,3	0	44
Moyenne		7,28	1,82	-0,2		
Total		710	135	-15	190	620

## N4-P8

Mois	déc.	ETR +Percol. mm/j	Fuite mm/j	Pluie mm/déc	Irrig. mm/déc
Août	1	5,2	3,2	46	150
	2	5,4	5	41	0
	3	6,1	4,2	54	52
Septembre	1	6,3	2,3	20,5	140
	2	7,3	0,1	47,5	72
	3	7,7	-0,5	17	0
Octobre	1	7,6	0,6	3,5	80
	2	7,3	0,1	2	0
	3	8,5	-0,2	0	76
Moyenne		6,7	8,3		
Total		630	790	235	570

## N9 - P9

Mois	déc.	ETR mm/j	Percol. mm/j	Fuite mm/j	Pluie mm/déc	Irrig. mm/déc	
Juillet	2	7,5	0,7	9,2	0	168	
	3	8,1	1	2,3	46	92	
	1	5,8	1	3,9	60	106	
Août	2	6,2	0	0,4	32	0	
	3	7,1	-0,1	-2,7	50	0	
	1	6,7	0,3	-2,2	17	95	
Septembre	2	??	??	??	95	90	
	3	??	??	??	26	??	
	1	??	??	??	0	??	
Octobre	2	7,5	0,1	3	0	47	
	Moyenne		6,8	0,3	1,4		
	Total		700	30	140	330	600

## N9 - P10

Mois	déc.	ETR mm/j	Percol. + Fuite mm/j	Pluie mm/déc	Irrig. mm/déc
Août	1	8,25	??	60	0
	2	5	0,7	32	87
	3	5,6	-0,6	50	0
Septembre	1	6,7	0,4	17	113
	2	5,2	0,1	95	77
	3	??	??	26	0
Octobre	1	??	??	0	42
	2	??	??	0	70
	3	7,5	0,8	0	0
Moyenne		6,5	0,2		
Total		570	40	280	390

# Annexe 2 : Protocole d'expérimentation du bilan en eaux et en sels

L'élaboration des protocoles expérimentaux qui seront mis en place au cours de la saison pluvieuse 1997 s'appuie sur les objectifs proposés dans le PETF97, mais aussi sur les enseignements tirés des expérimentations réalisées en 1996 et de la mission de Daniel Zimmer (février 97).

Le **choix des sites expérimentaux** sera modifié de façon à permettre la réalisation effective des bilans des eaux et des sels à différentes échelles en tenant compte d'une typologie des principales situations. En effet, d'importantes difficultés ont été rencontrées sur les précédents sites d'étude; le bilan des eaux et des sels est impossible sur les arroseurs KL3-7d et N9-8D-1g, et l'hétérogénéité des sols est importante sur l'arroseur N4-1g. De plus, deux arroseurs sur trois sont cultivés en double-culture, ce qui n'est pas représentatif des systèmes de culture de l'O.N.

Ces différents niveaux d'échelles seront emboîtés de la manière suivante :

- **A l'échelle du périmètre**, le bilan des eaux et des sels sera poursuivi sur la zone de 4200 ha drainée par le drain principal Gruber jusqu'au PK 9.8.
- Dans cette zone, **5 arroseurs** seront sélectionnés en fonction des principaux types de sol (représentativité et homogénéité) et des systèmes de culture (simple riziculture, double riziculture rotation riz-maraîchage et maraîchage simple).
  1. Levée limoneuse en simple riziculture : N1-1D-3g
  2. Cuvette argileuse en simple riziculture : N1-8d
  3. Cuvette en double culture : G5-2d,
  4. Cuvette en rotation riz-maraîchage : N9
  5. Petite levée en maraîchage : N1-2d.
- Sur chacun de ces arroseurs, un transect arroseur-drain d'arroseur sera instrumenté pour permettre l'établissement de bilan à l'échelle de la parcelle.

Une estimation des flux (percolation, remontées capillaires, fuite, drainage ou alimentation par les drains et arroseurs) sera réalisée.

Au sein de chaque transect, un site sera instrumenté pour l'étude détaillée des mécanismes de la dégradation. Ces sites seront intégrés au travail de thèse de Nicolas CONDOM.

La caractérisation des sites sera menée sur une zone de 3 à 4 hectares entourant les transects d'étude. Elle sera aussi réalisée sur les précédents sites d'étude (N4, KL3, N9). Elle sera complétée à l'issue de la saison pluvieuse par la caractérisation de l'ensemble des arroseurs au conductimètre électromagnétique (interrompue en raison d'une panne du conductimètre) et par la caractérisation des propriétés physiques des

sols (matériel pas encore disponible). Ces résultats seront exploités pour l'étude de la variabilité spatiale des caractéristiques chimiques (puis physiques) des sols (volet observatoire).

Le choix des sites pour l'étude de l'impact de la dégradation des sols sur le rendement sera réalisé en fonction des résultats de la caractérisation des sites.

#### **Bilan en eau et en sels:**

**A l'échelle de l'aménagement**, le suivi des débits dans le drain principal sera poursuivi. Le limnigraphe mis en place au PK 9.8 est conservé.

L'estimation des débits nécessitera :

- Une courbe hauteur-débit (grâce à des jaugeages judicieux) en début d'hivernage, une fois que le drain est nettoyé et curé.
- Un jaugeage régulier (tous les quinze jours, au renouvellement des feuilles de suivi) pour détecter d'éventuelles modifications de l'écoulement dans le drain au cours de la saison.

L'évaluation du bilan des sels conduira à :

- La mesure hebdomadaire de la conductivité électrique de l'eau de drainage ( PK 9.8) et de l'eau d'irrigation (canal Retail) pendant toute l'année.
- Lors de certains épisodes pluviométriques, la fréquence de mesure de la CE de l'eau de drainage sera journalière.
- Un échantillon d'eau d'irrigation et de drainage sera prélevé toutes les deux semaines pour analyse complète.

#### **A l'échelle des arroseurs :**

- les débits dans l'arroseur et dans le drain d'arroseur, ainsi que la conductivité électrique de l'eau du drain seront mesurés quotidiennement. Le débit de l'arroseur sera estimé, soit en fonction de l'ouverture du module à masque (distributeur Retail) soit en fonction de la cote amont et de l'ouverture de la vanette (distributeur Gruber).
- Le débit du drain sera estimé en fonction de la section du drain et de la vitesse du courant (vitesse d'avancement d'un flotteur). Un échantillon d'eau de drainage sera prélevé toutes les 2 semaines.

**A l'échelle des parcelles** (transects "arroseur-drain d'arroseur"), le dispositif comprend **trois sites** disposés régulièrement entre l'arroseur et le drain d'arroseur, où on évaluera les différents termes du bilan. Cela devrait permettre de mettre en évidence l'influence de la proximité du drain ou de l'arroseur sur les mouvements d'eau et de sels.

Le dispositif comprendra :

- un cylindre, (percolation);
- une échelle parcellaire (fuites, positives ou négatives, à travers les diguettes);
- un piézomètre (dynamique de la nappe);

L'estimation de l'ETP sera effectué grâce à l'installation d'une seule cuve sur le transect.

Pour évaluer les flux souterrains entre l'arroseur, le drain d'arroseur et la nappe, deux piézomètres seront installés en bordure respectivement de l'arroseur et du drain d'arroseur.

Sur la parcelle maraîchère, les cylindres seront remplacés par des profils tensiométriques.

Les termes du bilan hydrique seront mesurés tous les jours ; la conductivité électrique, le pH et le potentiel redox des eaux de nappe, de la lame d'eau superficielle et du drain seront mesurés 2 fois par semaine. Des échantillons d'eau de nappe ; de la lame d'eau superficielle et du drain seront prélevés toutes les 2 semaines, associé à une mesure du pH et du potentiel redox in situ.

# La gestion de l'eau sur les périmètres irrigués de l'Office du Niger

Jean-Pierre Barral et Bréhima Tangara

Janvier 97

## Introduction

La Composante principale du PSI au Mali est 'la lutte contre la dégradation des sols sous irrigation'. Dans le cadre de cette composante, trois niveaux d'échelle ont été retenus pour l'étude d'un bilan en eaux et en sels (Barral et Dicko, 1996).

1. La région (25 000 ha), en l'occurrence le Kala Inférieur
2. La superficie desservie par un arroseur (15-50 ha), canal tertiaire du réseau d'irrigation
3. La parcelle (1000 à 5000 m<sup>2</sup>), ceinturée par des diguettes

L'arroseur est le niveau d'échelle intermédiaire pertinent pour l'étude des phénomènes d'alcalinisation/sodisation. Il constitue une maille hydraulique drainée par le drain d'arroseur où les paysans vont s'organiser pour gérer l'eau.

La généralisation des résultats obtenus sur trois arroseurs tests passe par une meilleure compréhension du fonctionnement des arroseurs. C'est pourquoi, dans la zone de Niono, au cours de l'hivernage 96, des arroseurs ont fait l'objet d'enquêtes et de suivis.

**Ce document se présente en deux parties. Après une description générale du fonctionnement du réseau hydraulique de l'Office du Niger, des résultats de la campagne d'hivernage 96 seront présentés, complétés par une analyse de la bibliographie existante.**

## 1. Présentation de l'Office du Niger.

L'Office du Niger se situe dans les plaines asséchées du delta intérieur du Niger (delta mort). Il est soumis à un climat de type sahélien compris entre les isohyètes 400 et 600 mm. L'irrigation du delta mort a été rendue possible grâce à la remise en eau des anciens défluent du fleuve Niger que sont le Fala de Molodo dans le Kala et le Fala de Boki-Were dans le Macina. Sur les 960 000 ha irrigables du projet initial, 55 000 ha sont aujourd'hui aménagés.

L'Office du Niger a été créé en 1932 afin de satisfaire le maximum des besoins en coton de l'industrie textile française et d'assurer la sécurité alimentaire en riz des régions sahéliennes de l'Empire Français d'Afrique de l'Ouest. En 1971 la culture du riz se généralisa avec l'abandon du coton pour des raisons agro-économiques.

Devant les faibles rendements et la dégradation du réseau, des plans de redressement de l'Office du Niger ont été élaborés à partir de 1978. Ces plans donnaient la priorité à la réhabilitation en vue de l'intensification de la riziculture sur les casiers existants. La réhabilitation fut accompagnée de mesures techniques (diffusion d'un modèle de type 'Révolution verte') et socio-économiques (suppression de la police économique, création d'associations villageoises) qui ont permis une amélioration nette des rendements.

Après un test dans la zone de Niono, un service 'gestion de l'eau' est créé dans chaque zone en 1992 dans le cadre de la restructuration de l'Office du Niger, afin d'améliorer la maîtrise de l'eau et l'entretien des canaux. Le riz est cultivée en monoculture au cours de l'hivernage. En contre saison, de faibles superficies sont cultivées en maraîchage (1500 ha) et en riziculture (1000 ha).

En lisière des terres aménagées, les 'hors casiers' sont des zones mises en culture bénéficiant d'une faible maîtrise technique. Ils peuvent être irrigués à partir d'une prise sur les grands adducteurs ou grâce aux eaux de drainage le long des drains principaux. Dans ce dernier cas, cela entrave la bonne évacuation des eaux de drainage. Les superficies cultivées en hors-casier sont estimées à 5000 ha (Office du Niger, 1996).

## **2. Le réseau hydraulique.**

### **2.1 Le réseau hydraulique primaire.**

Le barrage de Markala, qui élève le niveau du fleuve de 5,5 mètres, permet l'irrigation gravitaire. A partir d'une dérivation en amont du barrage, un canal d'amenée long de 9 km conduit l'eau jusqu'au Point A. C'est à partir de ce point que l'eau est répartie par des ouvrages de régulation entre 3 canaux principaux.

- Le canal du Sahel relié au Fala de Molodo (débit d'équipement 110 m<sup>3</sup>/s) irrigue le Kala inférieur (26 000 ha) et le Kouroumari (11000 ha).
- Le canal du Macina relié au Fala de Boki-Wéré (débit d'équipement 45 m<sup>3</sup>/s) dessert la zone de Macina (15 000 ha).
- Le canal Costes-Ongoiba (débit d'équipement 10 m<sup>3</sup>/s) dessert les périmètres sucriers du Kala supérieur (4000 ha).

### **2.2 Organisation du réseau d'irrigation secondaire.**

- Les canaux primaires (distributeur) ont une longueur variant entre 10 et 20 ha, subdivisés en biefs.
- Les partiteurs (en général un par village) traversent la plaine perpendiculairement au distributeur et ont une longueur de 2000 à 3000 m.
- Les arroseurs irriguent des superficies de 10 à 40 ha. La pente de ces canaux est pratiquement nulle, leur section est très importante, les vitesses d'écoulement sont faibles.
- Les rigoles d'arroseur, qui permettent l'irrigation de 2 à 3 ha.

**Tableau 1:** Normes d'irrigation. Extrait du rapport 'Mission d'harmonisation des options techniques de réaménagement et de gestion de l'eau' (cité Office du Niger, 1995a).

Critère étudié (débit théorique par ha)	RETAIL	ARPON	N'Débougou	Recommandation mission d'harmonisation
Besoin de pointe	1,28 (hivernage) 1,5 (C.S.)	1,44	1,13	
Arroseurs - efficacité - débit (l/s/ha)	0,8 2 (C.S.)	0,8 1,8	0,7 1,61	0,8 2
Partiteurs - efficacité - débit (l/s/ha)	0,83 1,8 (hivernage)	0,85 2,1	0,8 2	0,83 2
Distributeurs - efficacité - débit (l/s/ha)	0,8 2,25 (hivernage)	0,85 2,6	0,8 2,24	0,8 2,4
Efficacité totale	0,53	0,54	0,5	0,53

### 2.3. Le réseau de drainage

Il n'y a pas de réseau de drainage à proprement parler, mais seulement un réseau d'évacuation des eaux superficielles excédentaires. Cette évacuation doit se faire à partir d'un réseau de drains d'arroseur, de drains de partiteur et de collecteurs, établis parallèlement aux arroseurs, partiteurs et distributeurs.

Le réseau d'évacuation fonctionne mal, ce qui a comme conséquences :

- Des superficies importantes (jusqu'à 1500 ha dans le Macina) sont inondées et donc impropres à la culture.
- La vidange des parcelles n'est pas possible en zone non réhabilitée, et peut être délicate en zone réhabilitée.

Néanmoins, dans les périmètres non réaménagés, l'engorgement des drains permet la mise en culture des parcelles situées à proximité (défaut de daguet, système hydraulique dégradé). De plus l'eau des drains permet la mise en culture de parcelle hors casiers, qui assurent un revenu non négligeable. En zone réaménagée, le recalibrage des drains a permis une amélioration du fonctionnement qui reste limitée par la faible capacité du grand drain collecteur de la zone de Niono - N'Débougou. Cette amélioration du fonctionnement du drainage s'accompagne par une diminution des superficies hors-casiers.

### 3. Principes de gestion de l'eau dans les différents périmètres.

#### 3.1. La gestion de l'eau au niveau des grands aménagements.

##### Fonctionnement

Elle est assurée par le service de la gestion de l'eau basée à Markala. Elle suit les principes suivants :

- Le plan d'eau en amont du barrage de Markala est maintenu à une cote de consigne.
- Sur le canal du Macina et le deuxième bief du Fala de Molodo, la régulation est assurée par un déversoir (Point C dans le cas du Fala de Molodo) situé immédiatement en amont des aménagements, qui évacue les débits excédentaires.
- Pour le premier bief du Fala de Molodo, les hauteurs d'eau aux ouvrages de régulation (Point A, B et C) sont communiqués quotidiennement à la gestion de l'eau. Les débits au Point A et au Point B sont ajustés en fonction de ces hauteurs, des besoins en eau et de la pluviométrie. Le plan d'eau en amont du Point B est maintenu à une cote de consigne. La régulation du premier bief (Point A - Point B) est faite selon le principe BIVAL, qui permet notamment de limiter les temps de transfert entre ces deux ouvrages.

##### Consommation

Les débits moyens mensuels disponibles au niveau du service gestion de l'eau à Markala (Annexe 2) et le détail des superficies mises en culture par zone (Office du Niger, 1995b) permettent de calculer les Consommations en eau par hectare au cours de l'hivernage 93 et 94, et de la contre-saison 93 et 94 (Tableau 2). Ces données ne tiennent pas compte des pertes sur les canaux adducteurs (percolation et évapotranspiration). Elles sont probablement importantes, du fait de la longueur moyenne (50 km) et de la largeur de ces canaux. Les besoins théoriques de la culture d'hivernage sont compris entre 1100 mm (calculée pour le système de culture du Retail par Barraud (89)) et 1200 mm (BEAU, 1980).

En hivernage, le système du Macina utilise un volume très élevé à l'hectare (5000 mm). La forte pluviosité de l'année 94 a limité la superficie cultivée (terres inondées), mais a eu peu d'influence sur la consommation. Cela s'explique par le système de régulation : par le biais du déversoir, les débits excédentaires en tête du système retournent au Niger.

Le système du Sahel est moins gourmand, particulièrement après le régulateur du point B. La comparaison année sèche - année pluvieuse montre que l'excès d'eau en cas de forte pluviométrie est évacué par le Point B, et probablement vers le Fala au niveau du Point C.

En contre-saison, les niveaux très élevés des consommations rapportés à l'hectare mis en culture montrent que la plupart de l'eau d'irrigation fournie au niveau des grands aménagements est perdue par percolation ou par évaporation.

On a calculé pour la contre saison une efficacité totale, en supposant une consommation moyenne au niveau arroseur pour les surfaces cultivés en double culture de 2500 mm et en maraîchage de 1500 mm. Pour le canal du Sahel et le canal du Macina respectivement, 90 % à 97 % du volume total est perdu avant la prise d'arroseur. Les résultats obtenus pour le Macina sont à nuancer. D'une part l'ouvrage de prise au Point A (en cours de réhabilitation) ne peut pas délivrer moins de 26 m<sup>3</sup>/s, et d'autre part, comme pendant l'hivernage, une part importante des débits retourne au Niger au niveau du déversoir. Pour le canal du Sahel, la mise en culture de faibles superficies au cours de la contre-saison nécessite la mise en eau du réseau et entraîne des pertes importantes.

**Tableau 2:** Consommation en eau calculée grâce au débit des grands ouvrages (données gestion de l'eau, Markala, Annexe 1)

	<b>Kala Inférieur Q(Pt A)- Q(Pt B)</b>	<b>Kouroumari Q(Pt B)</b>	<b>Macina</b>
<b>Hivernage 93(mai-nov)</b>			
Consommation (mm)	3480	2330	4950
Pluviométrie (mm)	290	260	390
Surface cultivée (ha)	26500	10650	12100
<b>Hivernage 94(mai-nov)</b>			
Consommation (mm)	2740	2650	5170
Pluviométrie (mm)	655	605	731
Surface cultivée (ha)	26000	10300	10500
<b>Contre-saison 93(dec-avr)</b>			
Cons. estimée(mm)	15500	33640	82800
Surface cultivée (ha)	784 DC; 879 mar	235 mar	163 DC; 264 mar
Cons. nécessaire (mm)	1970	1500	1880
Efficacité	12%	4,5%	2,3%
<b>Contre-saison 94(dec-avr)</b>			
Cons. estimée(mm)	20570	16600	67070
Surface cultivée (ha)	784 DC; 879 mar	235 mar	163 DC; 264 mar
Cons. nécessaire (mm)	1970	1500	1880
Efficacité	9,5%	9%	3%

### 3.2. Le service de gestion de l'eau.

Au niveau de chaque zone de l'Office du Niger existe un service de gestion de l'eau (Office du Niger, 1995c). Il a en charge :

- L'entretien du réseau secondaire.
- Le recouvrement de la redevance.
- La gestion de l'eau.

⇒ L'entretien du réseau principal (grands ouvrages, canaux adducteurs et drains primaires) est à la charge de l'Etat. L'Office du Niger à travers le service de gestion de l'eau assure l'entretien des canaux et drains secondaires (distributeurs en aval de la prise, partiteurs et drains de partiteurs). Cet entretien est financé par la redevance; un comité paritaire de gestion de l'eau associe Office du Niger et paysans pour la gestion de ces fonds.

Le réseau tertiaire (arroiseur, drain d'arroiseur) est à la charge des paysans.

⇒ La redevance eau est proportionnelle à la surface allouée à l'exploitant. Elle couvre les frais d'entretien du réseau secondaire (55 % du budget redevance), et les frais de fonctionnement des zones et du siège.

Pour la culture d'hivernage, elle est de 47 000 FCFA pour les zones réhabilités, de 35 000 FCFA pour les zones non réhabilités et de 26 000 FCFA pour les hors casiers.

⇒ Une zone est divisée en plusieurs secteurs. Sous la direction d'un chef de secteur, la gestion de l'eau est assurée par :

- Les aiguadiers, responsables du réglage des partiteurs afin de répondre à la demande des arroseurs.
- Les éclusiers, responsables d'ouvrages de prise ou de régulation sur le distributeur.

### **3.3. Principes de régulation dans les zones.**

#### **3.3.1. Périmètres réhabilités**

Dans les périmètres réhabilités, les grands principes de gestion de l'eau sont les mêmes, et sont les suivants :

Distributeur : Commande par l'aval.

Partiteur : Commande par l'amont. Le débit en tête est ajusté à la somme des débits requis par les arroseurs, sans que soit établi un tour d'eau entre les partiteurs. Ils sont équipés à leur extrémité d'un déversoir de sécurité.

Arroseur : Commande par l'amont.

Rigoles d'arroseur : Un chef d'arroseur, choisi parmi les paysans de l'arroseur, doit faire respecter un tour d'eau entre les rigoles quaternaires.

Les différences entre les projets de réhabilitation tiennent au choix des ouvrages de prise et de régulation, du distributeur jusqu'aux rigoles de prise quaternaire.

#### **3.3.2. Périmètres non réhabilités**

Le réseau est régulé en commande par l'amont à tous les niveaux. En effet, les ouvrages de régulation sur le distributeur sont des batardeaux, ce qui ne permet pas une commande par l'aval. Les prises d'arroseur sont des buses, ce qui présente deux inconvénients majeurs : le débit délivré dépend du niveau amont et aval, et le partiteur peut être vidé par l'arroseur.

Les arroseurs et les biefs du partiteur sont en général très dégradés. Le personnel de l'Office (aiguadier, éclusier) est très peu nombreux, un chef de bief est désigné pour chaque bief de partiteur. Il centralise les demandes des chefs d'arroseurs, et vient voir l'aiguadier en cas de crise d'eau.

### **3.4. Les aménagements et la régulation dans la zone de Niono.**

Elle couvre environ 10 000 ha, divisé en trois secteurs :

- Le secteur Retail (3 400 ha), au deux tiers réaménagé (1<sup>o</sup> tranche en 85; 2<sup>o</sup> en 89; la dernière tranche débute en 1996).
- Le secteur Kouïa-Kolodougou (3 080 ha), réaménagé par le projet ARPON entre 1980 et 1984.
- Le secteur Grüber (2 650 ha), réaménagé par le projet ARPON en 90-91.

#### **3.4.1. Le secteur Retail (SOGREAH, 1987).**

Le programme de réhabilitation du Retail, financé par la CFD, comportait les spécificités suivantes :

- Le partiteur est équipé d'une vanne plate, et régulé automatiquement par des déversoirs en bec de canard. Il est équipé d'un déversoir de sécurité à l'aval.
- Installation de modules à masque en tête d'arroseur.
- Rigole d'arroseur équipée de seuil déversoir à vanette, servant aussi de rigole de drainage.
- Planage des parcelles à plus ou moins 5 cm.

L'aiguadier ajuste le débit en tête de partiteur au débit total requis par les arroseurs ouverts sur le partiteur. Les côtes d'eau sur le partiteur sont régulées automatiquement, et l'éventuel excès d'eau est évacué par un déversoir à la fin du dernier bief.

### 3.4.2. Le secteur Kouïa-Kolodougou (KO-KL) (GEAU, 1984).

La réhabilitation ARPON s'est faite initialement suivant les critères suivants :

- Le partiteur est équipé d'une vanne plate, et régulé par des déversoirs à seuil réglable. Il n'est pas muni d'un déversoir de sécurité, l'excès d'eau étant évacué par les arroseurs du dernier bief
- Prise semi-modules (seuil déversoir) en tête d'arroseur.
- Bouches à eau en tête des rigoles d'arroseurs.
- L'aménagement des diguettes, le planage, les rigoles d'arroseur sont laissés à la charge des paysans.

L'aiguadier ajuste le débit en tête de partiteur au débit total requis par les arroseurs ouverts sur le partiteur. Le plan d'eau en aval de la vanne est alors proche du niveau de consigne, qui assure une cote de 20 cm au niveau des prises d'arroseurs.

La réhabilitation ayant eu lieu il y a 15 ans, le partiteur est très dégradé (forte végétation, cavaliers abimés). Les arroseurs sont aussi très dégradés: les régulateurs ne sont plus fonctionnels et les fuites fréquentes.

### 3.4.3. Le secteur Grüber.

Il a été réhabilité par ARPON, suivant les mêmes principes que le KO-KL. Lors de la réhabilitation du périmètre de Siengo, situé à l'aval et alimenté par le canal Grüber, les ouvrages suivants ont été ajoutés, afin d'assurer une distribution équitable de l'eau sur ce canal long de 40 km. Le distributeur est régulé par une vanne automatique à niveau aval constant et les ouvrages de prise de partiteur sont des modules à masque (de 500 à 900 l/s). En effet, les vannes plates qui équipaient précédemment les partiteurs permettaient de dériver un débit bien plus important que le débit de consigne. La disponibilité en eau à la fin du canal Grüber était ainsi compromise.

## **4. Gestion technique et sociale de l'eau dans la zone de Niono.**

### **4.1. Méthodologie développée.**

#### 4.1.1 Description du système

Théoriquement, à l'amont de la prise d'arroseur (distributeur et partiteur), la gestion de l'eau dépend de critères techniques, qui peuvent être de différents ordres, comme décrit ci-dessous:

- Spécificités de l'aménagement initial: Par exemple, les vannes à niveau aval automatique permettent une meilleure maîtrise du niveau aval.
- Mode de régulation : Commande par l'amont ou par l'aval.
- Qualité de l'entretien : la végétation ou l'envasement limitera le débit pouvant transiter dans le canal.
- Compétence, assiduité du personnel.

Dans les faits, les paysans peuvent influencer cette gestion par leurs contacts avec les aiguadiers ou par la modification des ouvrages hydrauliques (sacs de sable pour élever le niveau d'un régulateur).

A l'aval de la prise d'arroseur (sur le réseau tertiaire), la gestion de l'eau dépendra de

- L'organisation des paysans (concertation, tour d'eau ...)
- L'état du réseau (brèches, percolation ...)

#### 4.1.2. Critères étudiés.

L'objectif technique en amont de la prise d'arroseur est de permettre à l'utilisateur de disposer d'un débit constant à cette prise, égal au débit d'équipement. On jugera de l'efficacité de cette gestion grâce à deux critères :

- Valeur moyenne du débit disponible (appelée  $Q_m$ ), à comparer au débit d'équipement théorique.
- Variabilité temporelle de ce débit.

L'estimation de ces deux critères nécessite le choix d'un pas de temps.

A l'aval, différents critères peuvent être considérés. On peut citer quelques exemples :

- La satisfaction du besoin en eau des plantes.
- L'équité (pertinent en situation de ressource limitante)
- L'absence de gaspillage (pertinent en situation de ressource excédentaire)

A l'Office du Niger, le principal problème est l'excès d'eau. L'engorgement du réseau de drainage est dû à la surconsommation du réseau à différents niveaux. On s'intéressera donc aux consommations en eau des arroseurs comme principal critère.

#### 4.1.3 Protocole de suivi

Les résultats exposés sont basés sur les suivis de la saison d'hivernage 96 et sur la bibliographie existante (notamment dans le cas du Retail).

Les travaux ont porté sur les trois secteurs de la zone de Niono présentés plus haut. Dans les trois cas, une cote de consigne est fixée sur chaque bief du partiteur. Cette cote permet aux prises d'arroseur de délivrer le débit d'équipement. **On a effectué un relevé à un pas de temps journalier des côtes sur chaque bief pour un partiteur de chaque secteur. (G6 : Grüber; KL3 : KO-KL; N1: Retail).**

**Parallèlement des arroseurs représentatifs sur le secteur Grüber et KO-KL sont suivis à un pas de temps journalier (ouverture, hauteur d'eau) pour évaluer les consommations en eau au cours de la saison d'hivernage.** Sur ces arroseurs, des enquêtes sont menées pour connaître l'organisation des paysans. Etant donné qu'une étude similaire a été faite sur le Retail au cours de l'hivernage 95 (Bengaly, 1995) ces suivis n'ont pas été effectués sur le secteur Retail.

## **4.2. Résultats et discussion**

On analyse dans un premier temps les résultats concernant la gestion technique et sociale de l'eau. Les résultats concernant les consommations en eau seront présentés dans la cinquième partie.

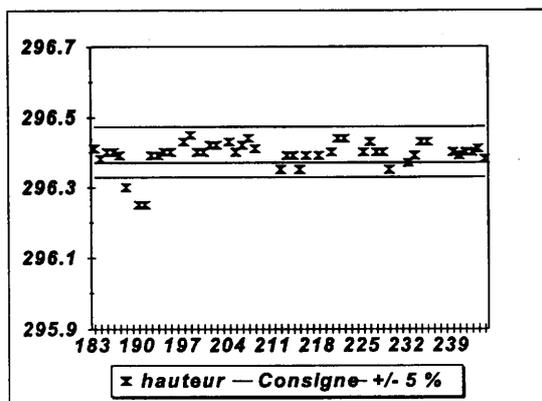
### 4.2.1 La variabilité temporelle du débit disponible.

Les résultats pour les mois de juillet-août (ils sont représentatifs du déroulement de l'hivernage) sont présentés sur les figures 1 à 6. Chaque croix est une mesure de hauteur d'eau. En ordonnée, la cote de consigne est tracée en gras. Quand on s'écarte de cette cote de consigne, cela a une influence sur la valeur du débit disponible. On a représenté les limites +/- 5% pour le Retail et +/- 50% sur le Grüber.

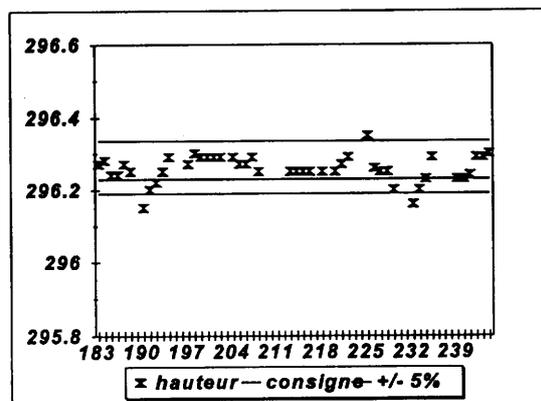
Sur le Retail 1, les spécificités du module à masque XX2 sont les suivantes :

- Débit de consigne Q0: côte de consigne h0 = 17,5 cm.
- Q0 + 5% : h = 28 cm
- Q0 - 5% : h = 13,5 cm.

Dans une large gamme de hauteur dans le partiteur, le débit délivré est proche du débit de consigne. Le débit délivré ne dépend pas (dans une certaine limite) de la hauteur d'eau dans le partiteur. On voit sur les figures 1 et 2 que pour seulement 3 jours sur 2 mois (5% du temps), le débit délivré s'écartera du débit de consigne à +/- 5%. La conception de l'aménagement Retail (partiteur N1) permet donc d'avoir une bonne gestion technique à la prise d'arroseur. Cela est dû en particulier aux régulateurs en bec de canard qui maintiennent une côte relativement constante dans le partiteur et aux modules à masque, peu sensibles aux variations de hauteur d'eau.



**Figure 1:** Variations de hauteur d'eau sur le partiteur N1 (1° bief)



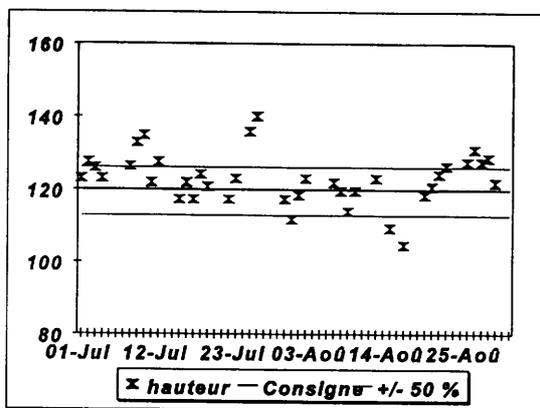
**Figure 2:** Variations de hauteur d'eau sur le sous-partiteur N1.

- Les aménagements Arpon sont équipés de prise semi-module, dont les spécificités sont les suivantes :  $Q = a L h^{3/2}$  où h est la hauteur amont, L la largeur du seuil et a une constante. Le débit ne dépend pas de la hauteur d'eau à l'aval de la prise, il dépend de la hauteur d'eau à l'amont (h).

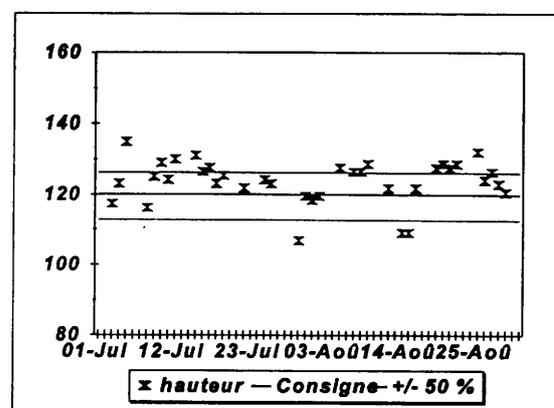
- Débit de consigne Q0 : côte de consigne h0 = 20 cm
- Q0 + 5% : h = 20,7 cm
- Q0 - 5% : h = 19,3 cm
- Prise à sec : h = 0 cm
- Q0 + 50% : h = 26,2 cm
- Q0 - 50% : h = 12,7 cm
- Prise inondée : h = 50 cm

Le débit disponible va varier de façon importante avec la hauteur d'eau sur le partiteur. Sur le Grüber, pour le bief 1 du G6 (figure 3), le débit disponible vaut le débit de consigne à +/- 50% pour la moitié des mesures effectuées; sur le bief 3 (figure 4) cette proportion passe à 60%.

La différence de maîtrise par rapport au N1 s'explique par deux raisons : d'une part les variations de hauteur d'eau sont plus importantes dans le partiteur (les régulateurs à largeur réglable sont moins efficaces que les régulateurs en bec de canard), et d'autre part les prises d'arroseurs sont plus sensibles aux variations de hauteur d'eau dans le partiteur.



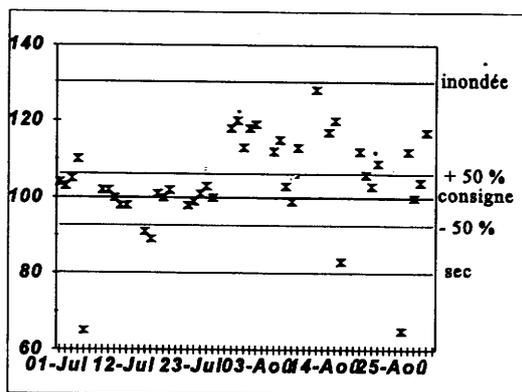
**Figure 3:** Variations de hauteur d'eau sur le G6 (1° bief)



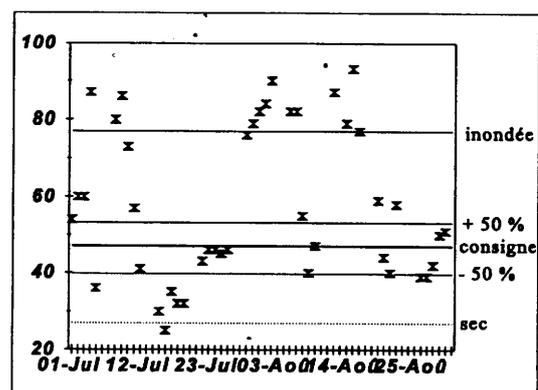
**Figure 4:** Variations de hauteur d'eau sur le G6 (3° bief)

Sur le KL3, les variations de hauteur d'eau sont très importantes, et elles s'accroissent de l'amont vers l'aval (figure 5 et 6). Sur le premier bief, elles sont supérieures de plus de 10 cm au niveau de consigne pendant la plus grande partie du mois d'août. Sur le dernier bief, la prise est inondée 32 % du temps. Plusieurs raisons à cela :

- Ce partiteur n'est pas équipé d'un déversoir de sécurité. Les arroseurs du dernier bief évacuent les débits excédentaires.
- Afin de permettre l'irrigation de terres hors casiers (une prise hors casier est présente sur le dernier bief), les débits en tête ont été augmentés et le niveau dans le dernier bief a été élevé (en bouchant les arroseurs). Ceci pour deux périodes : début juillet (préirrigation des hors casiers) et courant août (repiquage et mise en eau).
- Malgré la végétation et la dégradation du partiteur, il peut faire transiter des débits suffisants, et même excédentaires afin de permettre l'irrigation des hors casiers.
- Toutes les prises d'arroseurs observées présentent un trou plus ou moins grand au dessous du seuil du semi-module, que les paysans ouvrent ou ferment fréquemment suivant leur besoin.



**Figure 5:** Variations de hauteur d'eau au KL3 (1° bief).



**Figure 6:** Variations de hauteur d'eau au KL3 (3° bief).

#### 4.2.2 Valeur moyenne du débit disponible.

Sur le Retail, il est égal au débit d'équipement.

Les modules à masque installés correspondent à des débits d'équipements de 60l/s, 90l/s et 120l/s. Le débit d'équipement minimum est de 21l/s/ha (pour permettre la contre-saison). Il est souvent supérieur, et les spécificités et peut atteindre 41l/s/ha pour les petits arroseurs de 15 ha.

Sur le Grüber, on a établi la valeur de la constante a (formule du semi-module) par jaugeage de six arroseurs tests. Les arroseurs choisis sont représentatifs de la gamme de largeur (L) des semi-modules, et chacun a été jaugé deux fois. Les résultats sont bons, on trouve  $a = 0,6$  ( $R^2 = 0,91$ ). La largeur des semi-modules étant en moyenne proportionnelle à la surface disponible (sauf pour les petits arroseurs de moins de 10 ha), on en déduit :

- Débit d'équipement = 1,8 l/s/ha
- Débit moyen disponible (bief 1 et 3) = 2,4 l/s/ha.

Sur le KL3, l'état des prises rend impossible l'évaluation du débit. L'ouverture des trous (d'un diamètre en général supérieur à 10 cm) permet d'assurer un débit bien supérieur au débit d'équipement.

#### 4.2.3. L'organisation paysanne sur les arroseurs.

Des enquêtes ont été effectuées sur le secteur Grüber et le secteur KO-KL pour appréhender l'organisation des paysans pour gérer l'irrigation. Sur le secteur Retail on a utilisé la bibliographie existante (SOGREAH, 1987; Bengaly, 1995; Konate, 1990).

##### **Grüber**

- Le semi-module fonctionne en tout ou rien: soit il est fermé, soit il laisse passer le débit permis par la côte du partiteur; rarement (5 % des observations) la vannette sera entrouverte.
- Ouverture du semi-module: n'importe quel paysan de l'arroseur peut ouvrir la vannette.
- Fermeture du semi-module: à l'issue de l'irrigation, et si personne d'autre n'irrigue, le paysan ferme la vannette.
- Mode d'organisation: si l'arroseur est muni de régulateurs (2 maximum), seulement les paysans d'un même bief pourront irriguer le même jour. Quelques paysans (10 %) font état de conflits : des paysans présents sur des biefs différents veulent irriguer en même temps. Ce type de conflit est résolu par le chef d'arroseur ou les vieux.
- En règle générale, le tour d'eau n'est établi que s'il y a une crise d'eau, ce qui arrive rarement.

KO-KL; mêmes principes que sur le Grüber, sauf :

- Si la côte dans le partiteur est très élevée, la vannette sera souvent entrouverte.
- Un tour d'eau est parfois mis en place en cas de pénurie d'eau, sous la responsabilité du chef d'arroseur. Les canaux sont très dégradés et n'ont plus de régulateur.
- Toutes les prises d'arroseurs sont percées à leur base. Ces trous peuvent être bouchés ou ouverts suivant les besoins des paysans. L'ouverture des trous n'est pas reliée avec un faible niveau d'eau dans le partiteur, mais avec une demande importante sur l'arroseur.

##### **Retail**

- Le module à masque peut délivrer différents débits; par exemple un module de 60 l/s est équipé de quatre passes indépendantes (5, 10, 15 et 30 l/s). Il peut ainsi délivrer tout débit multiple de 5 l/s.
- Ouverture du semi-module : En théorie, sous la responsabilité conjointe du chef d'arroseur et de l'aiguadier. Dans la pratique, l'aiguadier peut être souvent absent, ou les cadenas sont cassés. Le chef d'arroseur n'a pas toujours l'autorité nécessaire.
- Mode d'organisation : en général, il n'y a pas de tour d'eau. Les paysans s'entendent avec le chef d'arroseur au jour le jour ou irriguent sans concertation préalable.

### 4.3 Conclusion.

Dans le cas du KL3, la gestion de l'eau dans le partiteur est en partie liée à la demande d'eau pour les terres hors casier. La vanne plate permet de délivrer un débit supérieur au débit de consigne à la demande des paysans cultivant les terres hors-casier.

La mauvaise gestion du partiteur, la vétusté des arroseurs entraînent des pénuries d'eau dans le partiteur ou en fin d'arroseur. Pour remédier à cela les paysans ont aménagé les prises d'arroseurs pour qu'elles puissent fournir un débit plus important.

Le mauvais état des aménagements, la présence d'une prise hors casier et l'absence de déversoir de sécurité entraînent des gaspillages d'eau très importants. Cela se traduit par un engorgement des superficies non aménagées, situées à l'aval du partiteur.

Sur le Grüber, ainsi que sur le Retail, le débit disponible est bien supérieur au débit maximum nécessaire à la satisfaction du besoin en eau des plantes, évalué à 1,3 l/s/ha en hivernage (Barraud, 1989). Ce suréquipement augmente la souplesse de distribution de l'eau, mais il ne favorise pas la mise en place d'une organisation entre les paysans.

Les possibilités de maîtrise de l'eau sont meilleures sur le Retail, où le débit fourni est constant dans le temps et peut être adapté à la demande.

## 5. Les consommations en eau.

### 5.1. Le secteur Retail

Grâce à l'installation de modules à masque en tête d'arroseur, des suivis de consommation d'eau ont pu être effectués. Ils ont débuté à la réhabilitation de la première tranche du Retail. Le tableau 3 présente l'évolution de la consommation moyenne de 1987 à 1995 (les données de 1992 à 1994 ne sont pas disponibles), à comparer avec la consommation théorique au niveau arroseur (calculée à partir du besoin théorique et d'une efficacité de 0,8).

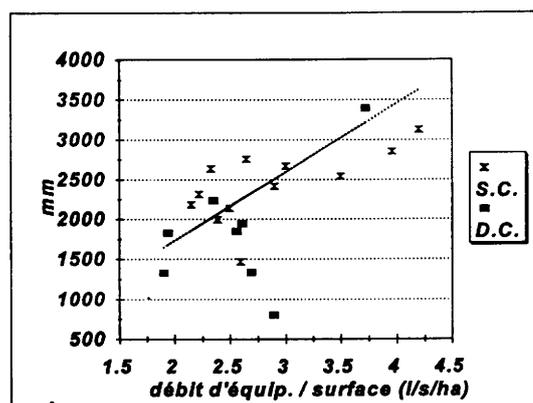
**Tableau 3.** Evolution de la consommation d'eau en hivernage et en contre saison au niveau arroseur (Bengaly, 1995).

	Cons. arr. théorique	1987	1988	1989	1990	1991	1995
Contre-saison (mm)	1640	2360	2100	2025	1900	1930	-
Hivernage (mm)	1375	2186	2040	1734	1850	1390	2010
Pluviométrie (mm)		416	610	603	272	631	333

En 1991, quatre années après la réhabilitation, les agents d'encadrement et les exploitants arrivent à une bonne gestion du système. Les données de 1995 montrent que la consommation d'eau est revenue au niveau de 1988, sans que cela puisse être expliqué par la pluviométrie. La restructuration de l'O.N., le désengagement du projet Retail du service de la gestion de l'eau contribuent à expliquer les insuffisances dans le suivi des consommations de 1992 à 1994 ainsi que la hausse des consommations par arroseur pour l'année 1995.

L'étude des consommations en eau d'un échantillon de 20 arroseurs lors de la campagne 95 donne les résultats suivants :

- Les arroseurs cultivés en double culture consomment moins que les arroseurs cultivés en simple culture, car ils ne nécessitent pas de préirrigation pour la campagne d'hivernage.
- La figure 7 représente les consommations en eau (en mm) par arroseur en fonction du débit disponible (spécifications du module / surface de l'arroseur) pour l'année 1995. Il apparaît que la consommation d'hivernage est liée au débit disponible en tête d'arroseur. A titre indicatif, la ligne pointillée représente la consommation dans l'hypothèse où le module est grand ouvert un jour sur deux.
- L'état d'un arroseur influence la consommation : à débit disponible égal, un arroseur bien entretenu consommera 300 mm de moins qu'un arroseur mal entretenu.
- L'échantillon suivi n'a pas montré de corrélations entre le nombre d'exploitants ou le nombre de non-résident présent sur un arroseur et la consommation.



**Figure 7 :** Relation entre la cons. et le débit d'équipement pour le Retail, hivernage 95.

Le suréquipement d'un arroseur permet donc une plus grande souplesse d'utilisation, mais entraîne des surconsommations. Un bon entretien limite la consommation.

## 5.2 Le secteur Grüber

Les suivis ont été effectués au cours de l'hivernage 96, de la dernière décade de mai à la deuxième décade de novembre. Un échantillon de 20 arroseurs a été déterminé, qui soit représentatif de la distribution de surface et situé sur les sept partiteurs. A un pas de temps journalier, la fermeture ou l'ouverture de la vanette est notée. Si elle est ouverte, la hauteur d'eau au niveau de la vanette est mesurée. L'ouverture des modules à masque en tête de partiteur est aussi relevée au même pas de temps.

Ces observations journalières permettent de calculer le débit transitant dans les partiteurs et les 20 arroseurs chaque jour. On ne dispose que d'une seule mesure par jour, alors que la vanette ou les modules peuvent être manipulés en cours de journée. Cet inconvénient est compensé par le nombre important de mesures (117) au cours de ces 6 mois.

L'analyse des résultats (Annexe 2) montre que les deux arroseurs ayant une surface inférieure à 5 ha ont une consommation élevée. En effet, la largeur du seuil reste supérieure à 10 cm (cela permet de disposer d'une main d'eau de 20 l/s), ce qui entraîne un débit d'équipement élevé (de 4 à 5 l/s/ha) pour ces deux arroseurs. Ces deux arroseurs ne sont pas pris en compte dans la suite, et cela change de 20 mm seulement le calcul de la consommation moyenne car les superficies concernées sont petites (10 ha sur deux arroseurs).

Le tableau 4 compare les consommations des partiteurs avec les consommations moyennes des arroseurs suivis sur les partiteurs. Les résultats sont cohérents : la consommation moyenne des arroseurs reflète le niveau de consommation moyen des partiteurs. Sur chaque partiteur, l'échantillon suivi est petit, ce qui explique les différences parfois importantes entre les deux calculs. La collecte des données sur le partiteur G1 a été effectuée à l'aube, ce qui pourrait expliquer les faibles valeurs de consommation obtenues sur ce partiteur.

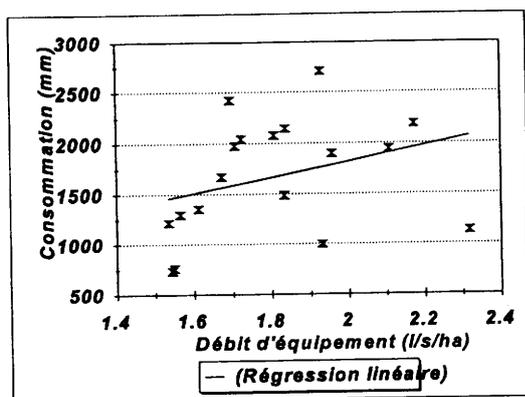
**Tableau 4** : Consommation des partiteurs et des arroseurs échantillonnés du secteur Grüber rapportés à l'hectare.

Partiteur	Cons. du partiteur (mm)	Nb d'arroseurs suivis	Cons. moyenne des arroseurs (mm)
G1	1260	3	940
G2	1480	1	1300
G3	1590	4	1700
G3 bis	1500	3	1985
G4	1365	2	1610
G5	1970	2	2025
G6	1720	3	2150
Moyenne	1590	18	1625

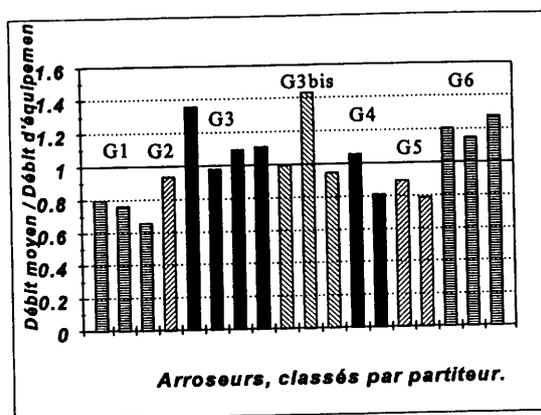
Comme dans le cas du Retail, la valeur du débit d'équipement va influencer la consommation, comme le montre la figure 8 ( $R^2=0,3$ ). Le débit moyen disponible (la moyenne des débits mesurés à la prise) peut être significativement différent du débit d'équipement. Sur la figure 9, on a représenté le ratio débit moyen / débit d'équipement pour chaque arroseur, classé suivant les partiteurs. Soit tout un partiteur est favorisé (G6) ou défavorisé (G1), soit un arroseur a une position favorable (cas du G3, en fin de partiteur; cas du G3 bis, sur un bief mal entretenu). La corrélation entre le débit moyen et la consommation est meilleure ( $R^2=0,44$ ).

On constate que le niveau de consommation du Grüber est bien inférieur à celui du Retail : la comparaison entre l'année 95 et 96, où la pluviométrie a été comparable, montre une différence de 400 mm. Plusieurs raisons à cela :

- Le débit d'équipement excède rarement 2,3 l/s/ha sur le Grüber, alors que sur le Retail il est en moyenne de 2,6 l/s/ha. On a vu que ce surdimensionnement apportait plus de souplesse, mais favorise aussi la surconsommation. D'une manière générale, le réseau retail est surdimensionné, alors que le réseau Grüber ne l'est pas (depuis la mise en place de modules à masque).
- L'évacuation des excès d'eau de l'arroseur est plus difficile sur le secteur Grüber que sur le secteur Retail; les arroseurs ne sont pas toujours reliés à un drain efficace.



**Figure 8:** Relation entre la cons. et le débit d'équipement pour le Grüber, hivernage 96.



**Figure 9 :** Ratio débit moyen / débit d'équipement pour le Grüber.

## Conclusion

Ces trois partiteurs illustrent trois degrés de maîtrise technique :

Sur le périmètre Retail, les ouvrages sur le partiteur et les modules à masque assurent un débit constant en tête d'arroseur, modulable suivant les besoins des paysans.

Sur le Grüber, les variations de débit en tête d'arroseur sont plus importants, essentiellement du fait des prises semi-modules.

Sur le KL3, des excès d'eau allant jusqu'à l'inondation de la prise ou des pénuries sont fréquents. Cela est dû à plusieurs facteurs : conception et vétusté des aménagements, présence d'une prise hors-casier.

Les paysans d'un arroseur ne mettent en place un tour d'eau que pour gérer la pénurie. En temps normal, le débit délivré, supérieur au débit fictif continu, est suffisant pour permettre une certaine souplesse dans la conduite des irrigations. Toutefois, cela favorise les surconsommations. Le mauvais entretien d'un arroseur entraînera aussi une hausse des consommations. L'exemple du Retail de 1987 à 1991 montre que les consommations en eau peuvent être réduites de façon significative, grâce à un encadrement suivi.

Les paysans peuvent influencer la gestion dans le partiteur, dans le sens d'une augmentation des débits, facilitant les irrigations. Cela est illustré sur le KL3, où, afin d'irriguer les hors casiers, le débit délivré en tête du partiteur est bien supérieur au débit de consigne.

D'un autre côté, le surdimensionnement du réseau d'irrigation et la connexion à un réseau de drainage relativement efficace pour le secteur Retail favorise la surconsommation. En effet, les consommations en eau du Retail (2000 mm en moyenne) sont bien supérieures à celles du Grüber (1600 mm en moyenne), dont le degré de maîtrise technique est pourtant moins élevé.

Barral, J.P. et M.K. Dicko, 1996. La dégradation des sols à l'office du Niger. Doc. IER/PSI, 40 p., Bamako.

Barraud V., 1989. La gestion de l'eau au projet Retail. Mémoires de fin d'études, CNEARC, Montpellier.

B.EAU, 1980. Besoins en eau au niveau arroseur. Riz - Canne à Sucre. Rapport d'études. Université Agricole Wageningen.

Bengaly K., 1995. Contribution à l'étude de la gestion de l'eau dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger. Cas du casier Retail. Mémoire de fin de cycle. IPR de Katibougou. 78 pages et annexes.

G.eau, 1984

TI: Rapport principal sur la gestion de l'eau et l'expérimentation agricole dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger.

TII: Gestion de l'eau.

TIII: Expérimentation agricole

Université de Wageningen, Pays Bas.

Konaté, 1990. Gestion de l'eau et suivi des activités de l'entretien dans le secteur Sahel de l'Office du Niger. Mémoire de fin d'étude.

Office du Niger, 1996. La gestion des grands aménagements: cas de l'Office du Niger. Séminaire IIMI régional de l'irrigation, Niamey, septembre 96.

Office du Niger, 1995a. Perspectives de développement de la région de l'Office du Niger.

Office du Niger, 1995b. Bilan de campagne 1994-1995.

Office du Niger, 1995c. Contrat Plan Etat-Office du Niger-Producteurs.

SOGREAH, 1987. Manuel de la gestion de l'eau. Périmètre rizicole du secteur Retail. Réhabilitation d'une première tranche de 1315 ha. 108p.

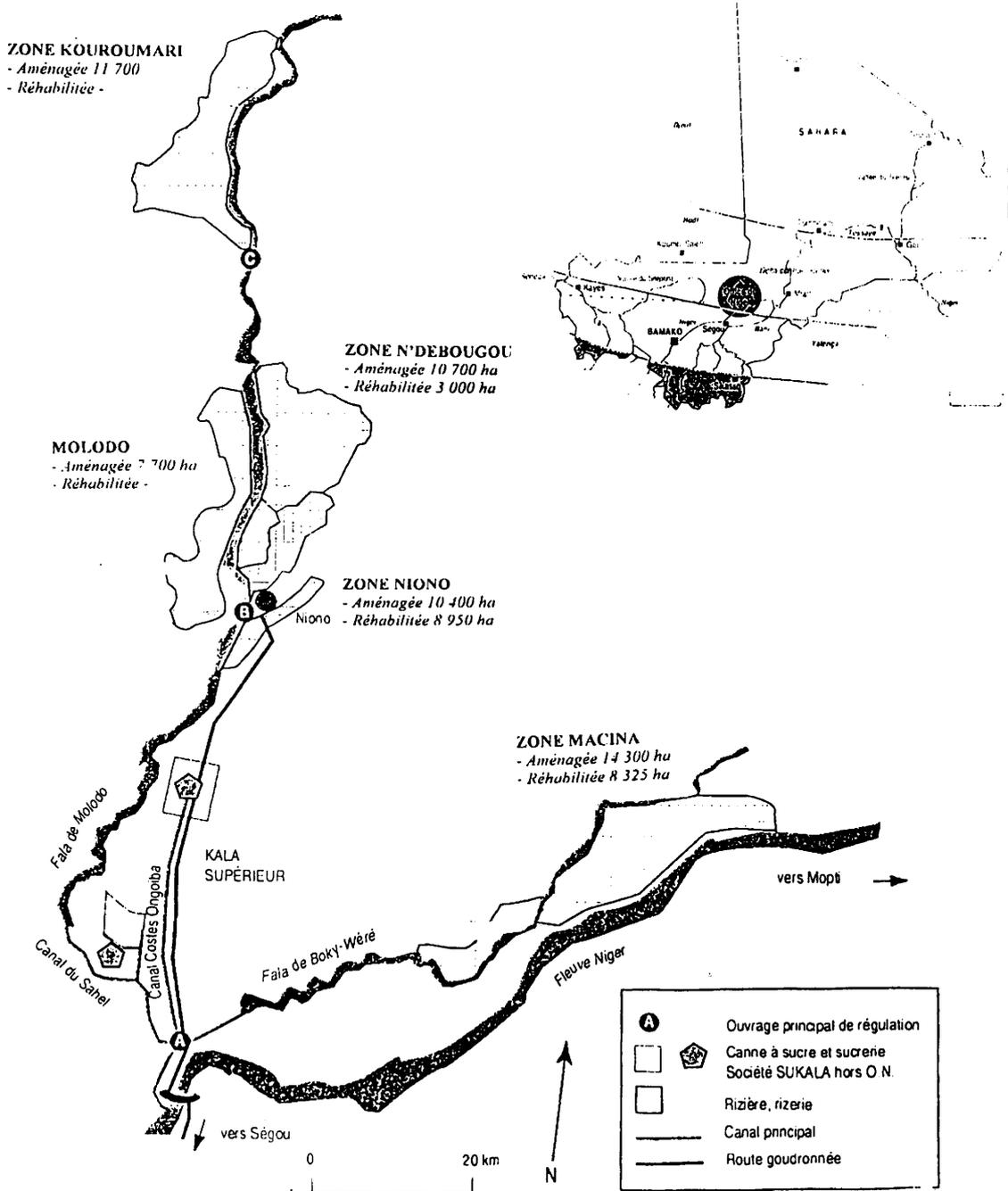
## Annexe 1 : Débit mensuel moyen (m3/mois) au niveau des grands ouvrages.

		Point A	Point B	Kala Inf.	Macina	Costes	Remarques
1993	janvier	19.7	3	16.7	28.2	3.73	
	février	27	8	19	26.5	5.5	
	mars	26	9.5	16.5	26.5	5.5	
	avril	37.5	7	30.5	27	7.4	Valeur Pt B extrapolé
	mai	50	5.8	44.2	0	10	
	juin	66	17	49	26.5	8.5	
	juillet	51	14	37	26	6	
	août	50.5	12.5	38	27	1	
	septembre	82	13.6	68.4	40	0	
	octobre	90	19.5	70.5	40	6	
	novembre	55	12	43	41	7.5	
	décembre	23	3.75	19.25	30.5	3	
1994	janvier	21	1.3	19.7	0	3.5	
	février	30	3	27	27	6	
	mars	33.5	3.5	30	26.5	7.5	
	avril	39.5	3.5	36	26.5	7	
	mai	50	7	43	26.5	7	4 valeurs extrapolés
	juin	60	21	39	26.5	6	
	juillet	43.5	14	29.5	24.5	0	
	août	32.5	14	18.5	25	0	
	septembre	72.5	20	52.5	38	0	
	octobre	68	17.5	50.5	35	2.5	
	novembre	47.5	10	37.5	30.5	3.5	

## Annexe 2 : Résultats des consommations en eau sur les 20 arroseurs suivis du secteur Grüber.

Arroseur	Conso. (mm)	Surface (ha)	Largeur vanette	Débit nominal	Nb de jours d'ouverture	Débit moyen
G1-3d	735	47.22	37	1.54	47	1.23
G1-5d bis	1218	46.18	36	1.54	84	1.17
G1-2g	761	20.34	16	1.55	59	1.02
G2-4g	1301	22.65	18	1.57	72	1.47
G3-4d	999	20.41	20	1.93	31	2.62
G3-2g	1357	19.54	16	1.61	70	1.58
G3-3g	1974	46.17	40	1.71	85	1.86
G3-9g	2145	18.24	17	1.84	85	2.03
G3bis-1gbis	2415	5.7	10	3.46	69	2.84
G3bis-4g	1897	36.23	36	1.96	79	1.94
G3bis-7g	2706	14.3	14	1.93	78	2.76
G3bis-6d	1132	8.5	10	2.32	42	2.19
G4-2gbis	1673	27.1	23	1.67	76	1.77
G4-6gbis	1488	12.9	12	1.83	80	1.49
G5-5dbis	2190	15.4	17	2.17	91	1.94
G5-5g	1941	29.9	32	2.11	94	1.66
G5-10g	3234	4.2	13	6.10	58	4.47
G6-2d	2041	24	21	1.72	78	2.08
G6-6d	2077	32.7	30	1.81	80	2.07
G6-4g	2424	18.6	16	1.69	90	2.16

# Annexe 3 : Carte de l'office du Niger : données de l'hivernage 94



Carte 1 Zones de production rizicole Office du Niger