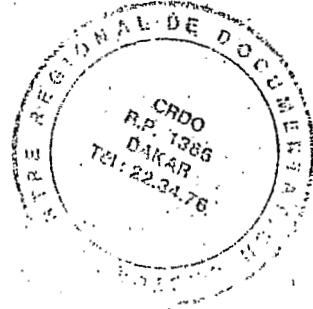


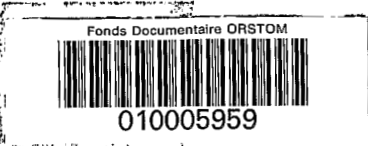
mhp 266
3



PROJET DE CRÉATION D'UNE BANQUE DE DONNÉES SUR LA QUALITÉ
DES EAUX DU SÉNÉGAL UTILISABLES À DES FINS AGRONOMIQUES

LE BRUSQ J.-Y. -- LOYER J.-Y.

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR
OCTOBRE 1982



Fonds Documentaire ORSTC
Cote: B* 5959 Ex: 1
1982

PROJET DE CRÉATION D'UNE BANQUE DE DONNÉES SUR LA QUALITÉ
DES EAUX DU SÉNÉGAL UTILISABLES À DES FINS AGRONOMIQUES

LE BRUSQ J.-Y. - LOYER J.-Y.

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR

OCTOBRE 1982

9/11/89
7333

dep-les

Au moment où le recours à l'irrigation dans le but d'accroître et de régulariser les productions agricoles apparaît de plus en plus une nécessité au Sénégal et alors que la construction de divers barrages et la réalisation de forages permettront d'augmenter les quantités d'eau disponibles, il nous paraît important que les responsables des divers projets agricoles puissent avoir à leur disposition les nombreux résultats des analyses d'eau qui ont été et seront effectuées sur le territoire sénégalais, et qu'ils puissent interpréter ces résultats en fonction de préoccupations agronomiques.

La situation actuelle est la suivante :

- Les données existantes sont nombreuses, mais-dispersées dans de multiples études, monographies et fiches de forages parfois difficiles à se procurer. A cause de la multiplicité des organismes concernés par les analyses d'eau, les résultats déjà existants sont sous-exploités. Par ailleurs, en raison de la variabilité spatiale et temporelle de la composition des eaux, il peut être difficile de se faire une juste idée de leur qualité dans une région donnée, et à une date donnée à partir d'une ou de quelques analyses.
- Par ailleurs, l'utilisation d'une eau pour l'irrigation, suppose que celle-ci ne présente pas de caractéristiques défavorables, susceptibles de rendre le sol impropre à la culture (salinisation, alcalisation...). Or l'interprétation des données peut être souvent délicate pour l'utilisateur, et d'autant plus qu'elle fait appel à des notions de physico-chimie très élaborées. De plus, l'évolution des connaissances scientifiques fait que l'on peut être amené à reviser un jugement porté sur la qualité d'une eau de même que la sélection de variétés culturales tolérantes peut aussi permettre de s'affranchir de certaines contraintes au niveau du sol ou de l'eau.

Dans ces conditions, deux problèmes doivent être résolus :

- Regrouper sous forme d'une banque l'ensemble des données existantes d'origine variées et en permettre l'accès aux divers utilisateurs.
- Fournir des bases d'interprétation de ces données facilement utilisables par toutes les personnes concernées par le problème de l'eau en agriculture.

La solution de ces problèmes existe dans les moyens informatiques dont s'est doté le Sénégal en particulier au sein du puissant réseau informatique de l'ISRA équipé d'un ordinateur IBM 4331 et de calculateurs IBM 5120.

1 - La Banque de données :

Une banque informatique de données permet de stocker sous une forme logiquement ordonnée, une grande masse d'informations sur un sujet défini.

Les données caractérisent un certain type d'objet, ici des prélèvements d'eau au sein d'unités naturelles ou artificielles, grâce aux valeurs prises par un certain nombre de variables.

Ces variables sont de 2 types :

- alphanumériques : suite de lettres, de chiffres ou de symboles

ex. Nom d'un échantillon : SENEGAL 23

Type d'unité : RIVIERE, FORAGE, PUIITS

- numériques : Nombre entier ou décimal

ex. Teneur en sodium, en g/l : 2,53

La liste des variables doit être définie préalablement à la constitution de la banque. Toutes les variables ne se voient pas nécessairement attribuer une valeur pour chaque échantillon, mais il est important que la liste des variables soit aussi complète que possible, afin qu'il n'y ait pas de perte d'information lors du stockage des données. Il faut aussi penser que, même si la banque a été initialement conçue pour un certain type de besoin, elle peut être utilisée à d'autres fins. Par exemple, une banque de données sur les eaux peut être utilisée, non seulement pour l'agronomie, mais aussi pour l'industrie, les besoins urbains, et évidemment la recherche scientifique (cartographie automatique, suivi dans le temps...etc...). Aussi sa conception initiale doit être telle qu'elle puisse être utilisée sans grande modification pour aider à résoudre divers problèmes.

2 - Conception d'une banque utilisable à des fins agronomiques :

Le projet présenté ici porte sur la réalisation et l'exploitation d'une banque de données sur les eaux utilisables à des fins agronomiques. Ceci a des conséquences :

- sur la banque elle-même : les données stockées concerneront essentiellement les paramètres dont la connaissance est utile à l'agronome. Mais rien n'interdira à d'autres utilisateurs d'introduire par la suite dans la banque d'autres types de données (potabilité, données bactériologiques...)

- sur le programme d'exploitation de la banque : ce programme, à partir des données stockées, calculera divers paramètres et fournira quelques commentaires en fonction des résultats obtenus. Ces commentaires seront donc essentiellement liés aux caractéristiques de l'eau, et secondairement aux propriétés du sol et à la plante cultivée. Il faut bien voir cependant que les appréciations globales données ne seront valables que si les pratiques culturales sont ensuite menées normalement, et visent surtout à attirer l'attention sur des problèmes potentiels. Il appartiendra ensuite à l'utilisateur de prendre les mesures visant à éviter les problèmes (drainage, amendement...ou élimination de l'eau des sources d'approvisionnement). En cas de doute sur les possibilités d'utilisation d'une eau, il pourra être bon de consulter un agronome qui pourra prendre en compte de façon plus précise toutes les données du problème (eau, sol, plante, données techniques, économiques et humaines).

Les données principales prises en compte par le programme d'exploitation sont les suivantes :

a) Qualité de l'eau ;

- Problèmes liés à la salinisation et à l'alcalisation des terres.

Les paramètres essentiels à prendre en compte sont :

- * La conductivité électrique qui reflète la salinité globale de l'eau
- * Le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) qui permet d'apprécier les risques de fixation du Sodium sur les argiles, ce qui dégrade fortement le sol (alcalisation).

Selon les valeurs prises par ces 2 variables, l'eau peut être classée en fonction de son utilisation pour l'irrigation, selon une grille établie par l'U.S. Salinity Laboratory de Riverside. Evidemment, cette appréciation doit être pondérée selon la nature du sol à irriguer (cf. ci-dessous)

- * L'alcalinité résiduelle permet d'apprécier le risque d'élévation du pH et du S.A.R. de l'eau par précipitation de carbonates dans le sol.
- * L'état de saturation de l'eau vis-à-vis de certains minéraux peut être testé par un sous-programme de calcul des activités. Ceci permet d'estimer l'évolution de la composition de cette eau par suite de sa concentration.

- Problèmes liés à la nutrition minérale des plantes et à leur tolérance au sel.

Les rapports des teneurs de l'eau en différents éléments (Na/K, K/Mg... etc...) peuvent être calculés et les déséquilibres éventuels signalés.

Les toxicités éventuelles peuvent être indiquées (problèmes dûs au Fluor, au Bore, au Chlore, au Sodium...)

Un calcul des quantités d'éléments minéraux apportés au champ par un volume donné d'eau (10.000 m³/ha en riziculture par exemple) pourra être effectué.

b/ Nature des sols

La salinité initiale de l'eau et du sol est certes importante à apprécier avant toute opération d'irrigation. De façon simplifiée en effet, on peut dire que la quantité d'eau à apporter doit être d'autant plus forte que la quantité de sels à éliminer par lessivage est élevée.

En outre, l'action réciproque de l'eau d'irrigation et du sol oblige à prendre en considération certaines contraintes physiques liées au sol lui-même et en particulier sa texture (sableux, limoneux, argileux...), qui conditionne largement sa perméabilité et sa capacité de rétention pour l'eau et pour les sels qui y sont dissous. Le phénomène évaporatoire intense sous climat tropical sec, agit ensuite pour concentrer ces sels en surface.

c/ La plante cultivée

On sait qu'une eau chargée en sel peut avoir une influence néfaste sur la partie aérienne des plantes cultivées dans le cas particulier où l'irrigation est conduite par aspersion (phénomène de brûlure des feuilles par exemple).

Au plan nutritionnel, la notion de tolérance des plantes au sel s'exprime de façon variable selon les espèces considérées leur morphologie, et aussi selon les variétés sélectionnées. De plus cette résistance des plantes n'est pas identique tout au long du cycle végétatif, de la germination à la maturité. A titre indicatif, nous donnons en annexe un tableau général de tolérance de certaines plantes, établi d'après les résultats de divers laboratoires.

3 - Exemples de fiches de données

Exemple 1 :

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

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

LOCALITE : ROSS-BETHIO

ORIGINE : COURS D'EAU PROFONDEUR : 0

LAT : 16°10 N LONG : 16°16 W

OBSERVATION : UTILISEE EN IRRIGATION

COMPOSITION : (EN ME/L)

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

S.A.R. = 1.15

ALCALINITE RESIDUELLE = - 0.13 ME/L

SATURATION VIS-A-VIS DE MINERAUX : AUCUN

CONCLUSIONS :

EAU CHLORURO-SULFATEE, SODIQUE ET CALCO-MAGNESIENNE
 EAU DE BONNE QUALITE UTILISABLE EN IRRIGATION
 PREVOIR UN MINIMUM DE LESSIVAGE EN SOL PEU PERMEABLE (ARGILEUX)
 C1/S1 SELON LA CLASSIFICATION U.S.S. LAB. MODIFIEE PAR DURAND.
 RISQUE DE SALINISATION FAIBLE
 RISQUE D'ALCALISATION FAIBLE
 TOXICITES : AUCUNE
 APPORT DE SELS : 1,13 TONNES/10 000 M3 D'EAU/HA

Exemple 2 :

CODE DE L'ECHANTILLON : NDIERBA ND 82 DATE DU PRELEVEMENT : 21/4/80
 CARTE TOPOGRAPHIQUE A 1/200.000 : PODOR
 LOCALITE : NDIERBA
 ORIGINE : NAPPE PHREATIQUE PEU PROFONDE PROFONDEUR : 1,8 M DE LA SURFACE DU SOL
 LAT : - LONG : -

OBSERVATION : SOUS PARCELLE IRRIGUEE

COMPOSITION (EN ME/L)

NA+	K+	CA++	MG++	CL ⁻	SO4 ⁻⁻	HCO3 ⁻
154	1.2	7.5	15	134	19.3	9.6
CO3 ⁼	PH LABO		CONDUCTIVITE		CHARGE DISSOUTE	
0.8	8.4		17 MMHOS/CM		10.2 G/L	

S.A.R. = 46

ALCALINITE RESIDUELLE = - 12.1 ME/L

SATURATION VIS-A-VIS DE MINERAUX : CALCITE DOLOMITE

CONCLUSIONS :

EAU CHLORUREE SODIQUE
 EAU DE TRES MAUVAISE QUALITE, ABSOLUMENT INUTILISABLE EN IRRIGATION.
 C5/S4 SELON LA CLASSIFICATION U.S.S. LAB. MODIFIEE PAR DURAND
 RISQUE DE SALINISATION TRES FORT
 RISQUE D'ALCALISATION TRES FORT
 DRAINAGE INDISPENSABLE POUR EVITER LA REMONTEE DE CETTE NAPPE APRES IRRIGATION
 TOXICITES : SODIUM (FORTE)
 CHLORE (FORTE)
 APPORT DE SELS : 102 TONNES/10.000 M3 D'EAU/HA

Exemple 3 :

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

CARTE TOPOGRAPHIQUE A 1/200 000 : THIES

LOCALITE : FIMELA

ORIGINE : NAPPE PHREATIQUE PERMANENTE PROFONDE

PROFONDEUR : 7M DE LA SURFACE DU SOL

LAT : 14°17 30 N LONG : 16°04 W

OBSERVATION : PUIITS BOYAR

COMPOSITION : (EN ME/L)

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

S.A.R. = 2,85

ALCALINITE RESIDUELLE =-2,9 ME/L

CONCLUSIONS :

EAU BICARBONATEE ET CHLORUREE, CALCIQUE ET SODIQUE

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

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

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

RISQUE DE SALINISATION TRES FORT

RISQUE D'ALCALISATION MOYEN

TOXICITES : CHLORE (FORTE)

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

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

Fiche d'analyse

ORGANISME :	
Laboratoire d'analyse :	

Code de l'échantillon :	Date du Prélèvement :
CARTE 1/200 000 :	Localité :
Latitude :	Longitude :
Origine :	Profondeur :
OBSERVATION :	

Composition :

Unité de concentration : mé/l millimole/litre mole/l

Densité		<input type="checkbox"/> mg/l	<input type="checkbox"/> gramme/litre	<input type="checkbox"/> mole/kg d'eau
Sodium	Potassium	Calcium	Magnésium	Aluminium
Fer Ferreux	Fer Ferrique			
Chlore	Fluor	Sulfate	Phosphate	Bicarbonate
Carbonate	Nitrate	Alcalinité totale (mé/l)	Bore (mg/l)	Silice (mg/l)
pH in situ	pH Labo	Conductivité (mmhos/cm 25°)	Charge dissoute (mg/l)	Charge solide (mg/l)
Résidu sec (mg/l)	Température			

5 - Commentaires sur la fiche d'analyse :

Organisme : Institut, Centre de Recherche, Bureau d'Etude à l'Origine de l'analyse : ex. : ISRA, ORSTOM, SONED, CARITAS, SONAFOR...

Laboratoire d'analyse : Laboratoire où ont été effectuées les analyses chimiques.

Code de l'échantillon : maximum 10 caractères.

Date : date de prélèvement - Eventuellement heure, selon le format ci-dessous
08/09/81, 16 H pour 8 Octobre 81, à 16 heures.

CARTE 1/200 000 : Nom de la carte 1/200 000° I.G.N. où figure la localité de prélèvement

Localité : Ville ou village le plus proche.

Latitude et Longitude : en degré sexagesimaux, puis N ou S, E ou W, selon le forma : 15.0506, N pour 15° 5' 6" Nord

Orgine :

Cours d'eau

Marigot (Ecoulement temporaire) ou Mare

Nappe phréatique permanente superficielle (Prof. < 5 m)

Nappe phréatique permanente profonde (Prof. > 5 m)

Nappe temporaire

Eau de drainage

Reservoir artificiel - Retenue, barrage

Forage

Puits

Code

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Profondeur : en mètres, par rapport au niveau du sol (S) ou par rapport à la carte I G N (I)

ex. 1.5, S

12.3, I

Observation : 30 caractères maximum

Composition : si une valeur n'est pas connue, entrer 0

Unité de concentration : l'entrée des données se fait avec l'unité de son choix.

Le programme convertit automatiquement les valeurs entrées en moles/kg d'eau si la densité a été fournie, sinon en mole/l. L'unité choisie concerne toutes les variables pour lesquelles aucune unité n'a été spécifiée dans la case correspondante (sauf le pH)

Charge dissoute : Si aucune valeur n'est entrée, la charge dissoute sera automatiquement calculée à partir des concentrations des éléments.

Conductivité : Si aucune valeur n'est entrée, la conductivité peut être calculée approximativement à partir des concentrations.

Résidu sec : Lorsqu'une analyse séparée, charge dissoute - charge solide, n'a pas été effectuée, entrer 0 pour ces deux paramètres, puis la valeur du résidu sec (= charge dissoute + charge solide / en mg/l).

Remarque :

La définition des termes employés par la banque, l'ensemble des critères de jugement des eaux utilisés en agronomie, avec quelques commentaires, les seuils de toxicité, établis pour diverses cultures par les Centres de Recherches Agronomiques, (avec des références bibliographiques) sont présentés en annexe à l'intention des utilisateurs non spécialisés.

Ces critères et seuils peuvent être revus et mis à jour régulièrement.

Ceci assurera donc une diffusion rapide et précise de l'information scientifique disponible à un moment donné.

Conclusion :

Les quelques chiffres suivants paraissent suffisamment éloquentes pour sensibiliser les praticiens de tous niveaux aux risques que fait courir au patrimoine sol une mauvaise pratique de l'irrigation :

- Une eau contenant 50 mg/litre de sel comme celle du Fleuve Sénégal par exemple, apporte 500 kg/ha de sel en une campagne rizicole (10 000 m³/ha).
- Les Nations Unies ont estimé en 1977 que environ 120 000 ha de terres irriguées sur la surface du globe sont annuellement perdues pour la production, par salinisation ou alcalisation (mauvaise qualité de l'eau, absence de drainage).

Au Sénégal, l'effet de la sécheresse de ces dernières années a fortement contribué à concentrer les eaux superficielles. Parfois une pratique de l'irrigation mal adaptée a conduit à l'abandon de certaines terres. Il paraît important de recommander aux utilisateurs de prendre toutes précautions afin que n'aille pas en s'accroissant la superficie des terres dégradées du Delta du Fleuve Sénégal, des Niayes, du Sine-Saloum.

La création de cette banque des données d'eaux devrait permettre de les aider dans cette voie de l'utilisation rationnelle des eaux d'irrigation.

A N N E X E

Fiche explicative à l'intention
des utilisateurs de la banque

I - Les paramètres physico-chimiques retenus pour caractériser les eaux

11/ Paramètres principaux

La conductivité électrique (en millimhos/cm)

La conductivité électrique d'une eau augmente avec sa teneur en sel. Plus elle est forte, plus le risque de salinisation du sol est élevé. Le U.S. Salinity Laboratory a proposé un classement des eaux selon leur conductivité, qui a ensuite été modifié par DURAND :

- C 1: de 0 à 0,25 mmhos/cm : Eaux non ou peu salines.

Une irrigation menée normalement, en assurant un minimum de lessivage (apport d'eau légèrement supérieur aux besoins des plantes) ne doit pas conduire à une dégradation du sol, à condition que le S.A.R. ne soit pas trop élevé (voir ci-dessous)

- C 2 : de 0,25 à 0,75 mmhos : Eaux à salinité moyenne.

Un minimum de drainage doit être assuré. Une surveillance de l'évolution de la salinité du sol est souhaitable, surtout en sols très argileux. Plantes de tolérance au sel modérée.

- C 3 : de 0,75 à 2,25 mmhos/cm : Eaux de salinité élevée.

Le drainage, éventuellement par drains enterrés, est indispensable, de même que le contrôle de la salinité du sol.

Une utilisation prolongée de cette eau en sols argileux, peut s'avérer impossible. On réservera, si nécessaire, l'utilisation de cette eau pour les sols très perméables (sableux) ou pour la riziculture, avec un système de drainage efficace.

Plantes de bonne tolérance au sel.

- C 4 : de 2,25 à 5 mmhos/cm : Eaux de salinité très élevée

Son utilisation en irrigation est à proscrire, sauf en sols très sableux, et avec une parfaite maîtrise de l'eau (calcul des doses, mode d'épandage, drainage, évacuation des eaux de drainage vers des zones bien choisies). Cultures très tolérantes.

- C 5 : de 5 à 20 mmhos/cm : Classe proposée par J.H. DURAND pour la culture du palmier dattier. Son utilisation en toute autre condition est à proscrire totalement. Les eaux dont la conductivité est supérieure à 20 mmhos sont inutilisables pour toute irrigation. Il est possible cependant que certaines espèces forestières se développent en présence de nappes peu profondes jusqu'à 20 mmhos/cm et au-delà, mais les données précises sur ce sujet manquent actuellement.

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

Le S.A.R. exprime le rapport entre la concentration du sodium et de la somme Calcium + Magnésium

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

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

- vis-à-vis du sol : le sodium se fixe sur les argiles, entraîne leur gonflement ; le sol devient imperméable à l'eau et à l'air. Il devient difficile d'éliminer ensuite les sels et le sodium fixé. L'alcalisation, ou fixation du sodium sur les argiles, est un phénomène souvent difficilement réparable. En ce sens, il peut être plus nocif que la simple salinisation.
- vis-à-vis de la plante : le sodium est un élément toxique pour des valeurs inférieures à celles qui causent la détérioration de l'état physique du sol. En outre, l'alcalisation du sol perturbe le développement racinaire (mauvaise aération, assimilation de certains éléments minéraux ralentie).

On peut classer les eaux selon leur S.A.R. : (d'après le U.S. Salinity Laboratory).

- S 1 : S.A.R. inférieur à 10 pour les eaux peu salées (C 1), inférieur à 3 pour les eaux salées (C 4)

Le risque d'alcalisation est faible : elles sont utilisables sur la plupart des sols. Quelques cultures très sensibles au sodium peuvent être gênées.

- S2 : S.A.R. inférieur à 18 pour les eaux peu chargées, (C 1), inférieur à 8 pour les eaux salées.

Le risque d'alcalisation du sol est moyen et surtout sur textures fines. Une surveillance de l'évolution du sol, et notamment de son pH (acidité ou

basicité) est souhaitable. Un apport d'amendement (calcaire, gypse, chlorure de calcium) peut être utile, au moins périodiquement. Eaux utilisables sur sols à bonne perméabilité.

- S 3 : S.A.R. inférieur à 26 pour les eaux peu chargées (C 1), inférieur à 12 pour les eaux salées (C 4).

Le risque de dégradation du sol par alcalisation, est important. L'utilisation de ces eaux en sols argileux est à proscrire. Dans les sols très sableux, leur utilisation est possible (sauf si la teneur en sels est trop forte).

L'apport d'amendements est très souhaitable pour faciliter le lessivage. Drainage obligatoire.

- S 4 : au-delà des valeurs indiquées pour S 3.

Ces eaux sont inutilisables en agriculture, sauf en sol purement sableux. Mais dans ce cas un déséquilibre nutritionnel peut alors apparaître chez les plantes (défaut de Ca et Mg).

D'après ce qui précède, on voit donc que la qualité d'une eau pour l'irrigation dépend en premier lieu de 2 paramètres qui doivent être pris en compte simultanément : la conductivité et le S.A.R.

12/ Paramètres secondaires :

- L'alcalinité résiduelle = $(CO_3^{=} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$. C'est la somme (Carbonate + bicarbonate) qui resterait en solution dans l'eau après précipitation totale des carbonates de calcium et de magnésium. Si l'alcalinité résiduelle est positive, la concentration de cette eau s'accompagnera d'une élévation de son pH par accumulation de carbonate de sodium ou de potassium. Ces phénomènes sont très préjudiciables au sol et aux cultures.

Une alcalinité résiduelle supérieure à + 2,5 mé/l rend l'utilisation de cette eau en irrigation dangereuse.

- Le pH : Entre 5 et 8,5, le pH de l'eau mesuré au laboratoire peut être considéré comme satisfaisant. En dessous de 4, une acidification du sol risque d'apparaître, d'autant plus vite que le sol est plus sableux et qu'il contient peu de calcaire (cas de nombreux sols au Sénégal).

Au-delà de 8,5, des phénomènes d'alcalisation et d'imperméabilisation du sol ainsi que l'accumulation de carbonate de sodium sont fortement à craindre.

- La toxicité de l'eau : Divers éléments (Sodium, Chlore, Bore, Fluor, Aluminium...) peuvent être toxiques pour les cultures à partir d'une certaine teneur en solution (à partir d'1 mg/l pour le Bore, par exemple). Une toxicité forte sera néfaste pour toutes les espèces, mais surtout pour les plus sensibles. Une toxicité moyenne agira sur les espèces sensibles et moyennement sensibles, une toxicité faible n'agira que sur les espèces très sensibles.

Notons que la résistance d'une espèce à un ion donné peut varier selon le stade de développement, selon la variété, selon les interactions entre divers constituants du sol. En outre, de nouvelles variétés peuvent être créées, dont la résistance à tel élément serait meilleure. Aussi, les indications de toxicité sont données pour attirer l'attention sur un problème potentiel, mais qui ne peut être résolu que par les moyens appropriés (choix de la variété par exemple).

Les Déséquilibres minéraux :

Lorsque le rapport entre 2 éléments dissous (Ca/Mg, K/Mg...) est excessif en trop faible et si le sol irrigué est initialement pauvre en éléments minéraux (sol sableux, sol fortement lessivé des régions semi-humides), l'absorption de l'un de ces éléments risque d'être insuffisante (ou trop forte). Ici aussi, il s'agit d'un problème potentiel, qui peut ne pas se manifester.

- Saturation vis-à-vis d'un minéral :

L'eau analysée peut contenir suffisamment de certains éléments (Calcium, Carbonate, Sulfate...) pour précipiter certains minéraux (Calcaire, Gypse) dès qu'elle se concentre légèrement. Cette précipitation est susceptible de perturber le système d'irrigation (colmatage des petits orifices) ; en outre, le S.A.R. de l'eau (voir plus haut) peut en être augmenté par perte de calcium et de magnésium soluble dans l'eau.

Le calcul du taux de saturation en calcite demande que soit fourni le pH du sol qui sera irrigué. Ce pH est susceptible de varier dans le temps ; aussi des mesures à intervalles réguliers peuvent être recommandées, surtout en cas d'irrigation par des eaux chargées, contenant des carbonates et bicarbonates.

2 - Les paramètres du sol retenus dans la Fiche-Commentaire : Texture-Perméabilité

Les principales textures ont été regroupées en 3 classes :

- Fine : Argileux à Limono-argileux
- Moyenne : Equilibrée à Limono-Sableux
- Grossière : Sablo-limoneux à très sableux

auxquelles on peut faire correspondre approximativement les classes de perméabilité suivantes (mesurées au double anneau).

- Sols peu perméables ($K < 1,5$ cm/heure)
- Sols moyennement perméables ($1,5 < K < 6$ cm/heure)
- Sols perméables ($K > 6$ cm/heure)

A titre indicatif les limites supérieures admissibles de la conductivité de l'eau d'irrigation en fonction de la tolérance des cultures aux sels sont les suivantes. Dans tous les cas au voisinage de ces limites le drainage est indispensable.

Tolérance des plantes au sol / Texture	Plantes sensibles	Plantes semi-tolérantes	Plantes très tolérantes
Grossière	2,5 mmhos/cm	6,5	10,0
Moyenne	1,6	4,0	5,8
Fine	0,8	2,0	3,0

3 - Tolérances des cultures à la salinité

1/ Conductivité de l'eau d'irrigation (en mmhos/cm)

On considère que la conductivité de la solution du sol, qui est la valeur à considérer pour les cultures, est en moyenne trois fois celle de l'eau d'irrigation. En réalité ce rapport dépend de la texture du sol, du mode d'irrigation (doses et fréquences), de la profondeur, de la composition chimique de l'eau. Aussi les valeurs limites de la conductivité de l'eau d'irrigation, données ci-dessous, ne sont que des ordres de grandeur à corriger en fonctions des facteurs ci-après). Enfin, ces valeurs limites ne sont admissibles que si l'irrigation est pratiquée dans les meilleures conditions (drainage efficace, dose de lessivage en sus des besoins) et si le S.A.R. de l'eau n'est pas excessif.

Conductivités maximales de l'eau d'irrigation (en mmhos/cm) pour diverses cultures

A R B R E S		L E G U M E S	
Eucalyptus	3	Choux	2
Grenadier	2,4	Piment	3,4
Oranger	1,6	Radis	1,3
Citronnier	1,6	Carottes	1,1
Avocatier	1,2	Oignons	1,2
Palmier dattier	4,5	Pasteques	4,4
C E R E A L E S		Aubergines	3,4
Orge	6	Topinenbourg	3,4
Blé	4,5	Choux-Fleur	3,4
Riz	1,3 à 3	Pommes de terre	1,7
Sorgho	3	Tomates	2,3
Maïs	1,5	Melon	2,5
CULTURES INDUSTRIELLES		Patate douce	1,6
Coton	6	Soja	3,5
Ricin	2	Concombre	2
Tabac	1,5	Laitue	1,4
sisal	3		

2/ Toxicités :

Concentrations limites dans l'eau d'irrigation :

Sodium :

Plantes sensibles : 3 mé/l (70 mg/l)
 Plantes semi-tolérantes : 6 mé/l (140 mg/l)
 Plantes tolérantes : 9 mé/l (200 mg/l)
 (en cas d'irrigation par aspersion, 3 mé/l est la valeur limite)

Bore :

Plantes sensibles : 0,5 mg/l
 Plantes semi-tolérantes : 1 mg/l
 Plantes tolérantes : 2 mg/l

Chlore :

Plantes sensibles : 4 mé/l (140 mg/l)
 Plantes semi-tolérantes : 6 mé/l (210 mg/l)
 Plantes tolérantes : 10 mé/l (350 mg/l)
 (en cas d'irrigation par aspersion, 3 mé/l est la valeur limite).