

## **HYDROCHIMIE DE LA NAPPE DU CONTINENTAL TERMINAL DU FERLO**

Pour l'étude hydrochimique de la nappe du Continental Terminal du Ferlo, une campagne d'échantillonnage a été effectuée du 14 au 25 février 2004. Durant cette campagne 56 puits villageois (**Fig.20**) captant essentiellement la nappe du Continental Terminal ont été échantillonnés. La localisation de l'ensemble de ces points a été faite grâce au GPS. Les paramètres physico-chimiques (température ( $^{\circ}\text{C}$ ), conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et pH) sont mesurés *in situ* et les échantillons d'eau prélevés ont fait l'objet d'analyses au laboratoire d'hydrochimie du Département de Géologie. Ces analyses portent sur la mesure des teneurs en éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) et mineurs ( $\text{F}^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ).

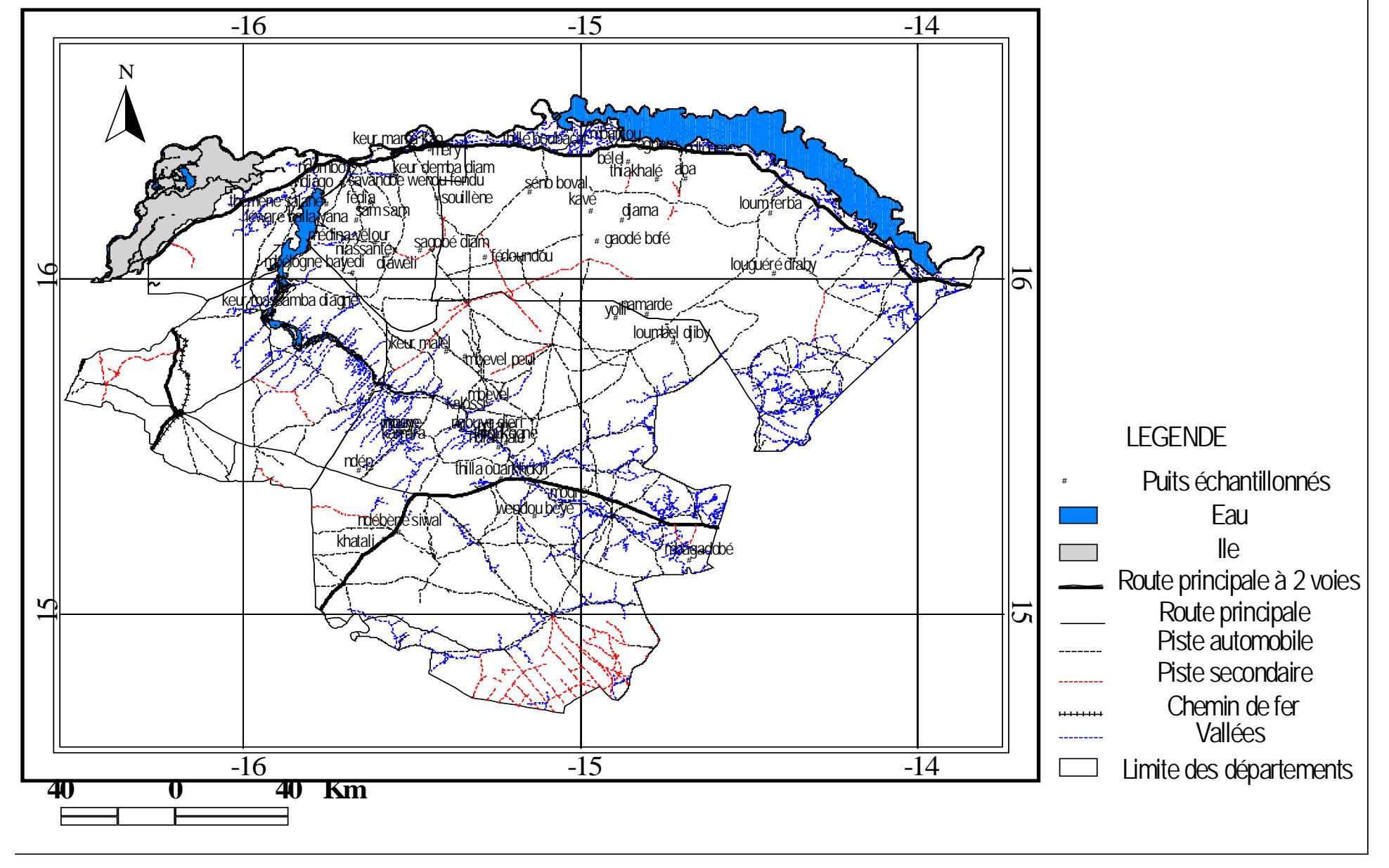
Notre contribution à l'étude hydrochimique des eaux de la nappe du Continental Terminal du Ferlo sera basée sur l'interprétation des paramètres mesurés *in situ* et des résultats des analyses.

### **II.1 - Les paramètres physico-chimiques**

#### **II.1.1 La température**

Les valeurs de la température des eaux de la nappe du Continental Terminal du Ferlo mesurées varient entre  $26.1^{\circ}\text{C}$  et  $42.4^{\circ}\text{C}$ , avec une moyenne de  $31.86^{\circ}\text{C}$ .

Les puits échantillonnés dans le Ferlo sont à ciel ouvert et les échantillonnages n'ont pas été faites à la même heure de la journée, par conséquent les températures mesurées peuvent ne pas refléter celles exactes de la nappe du fait de la forte insolation dans cette zone.



### II.1.2 La conductivité

Les valeurs de conductivités de la nappe du Continental Terminal du Ferlo varient de 92 à 16940  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , avec une moyenne de 2540.48  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

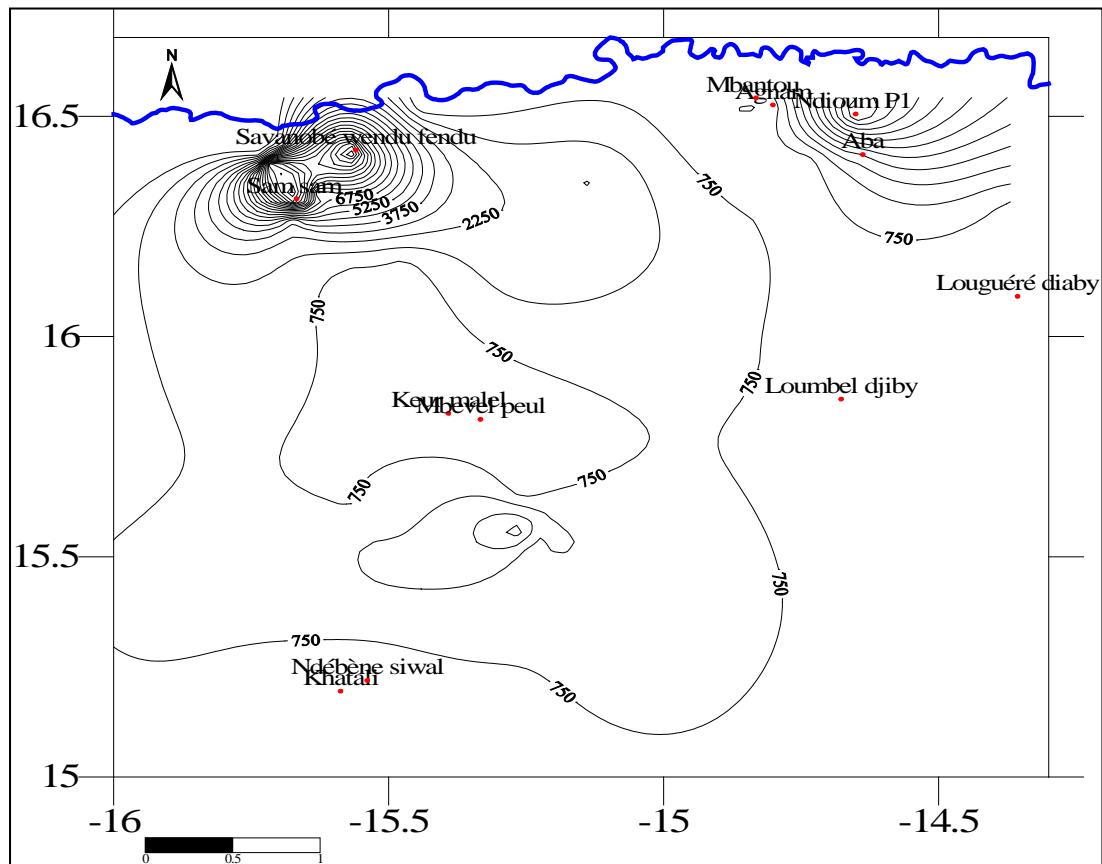
Les fortes valeurs de conductivités se rencontrent au Nord, où on note un accroissement important de la conductivité atteignant 16940  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Savanabé Wendou Fendu et 16790  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Sam Sam ; et au Nord - Est avec des valeurs de 9420  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Ndioum (**Fig.21**).

Les faibles conductivités de la nappe inférieure à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se rencontrent au centre (Keur Malel, Mbével peul), au Nord (Mbantou, Agnam), au Sud (Khatali, Ndébène Siwal) et à l'Est (Louguéré Diaby, Loumbel Djiby).

### II.1.3 Le pH

Les eaux de la nappe du Continental Terminal ont des pH compris entre 6.61 et 9.3, avec une moyenne de 7.61. Les pH acides se rencontrent à Agnam 6.72 et à Keur Mama Kao 6.61, situés à la lisière de la vallée alluviale du Sénégal. Quelques points échantillonnés ont des pH supérieurs à 8 : Léwaré Halla Yana 8.01, Keur Malel 8.03, Médina Yélour 8.04, Ndébène Siwal 8.19, Ndiakhaté 8.2, Ndiané 8.05, Ndiago 8.38, Ndep 9.3.

Les valeurs des pH mesurées sur l'ensemble de la zone d'étude montrent que l'alcalinité de la nappe du Continental Terminal est due essentiellement aux teneurs en bicarbonates. Lorsque le pH mesuré *in situ* est inférieure à 8.3, l'alcalinité est pour l'essentiel constituée par les bicarbonates (Sturm et Morgan, 1981 ; Tardat et Henry, 1984 ; Drever, 1988 ; *in* Kane, 1995). Les résultats des analyses chimiques montrent que les eaux de la nappe du Continental Terminal du Ferlo présentent une alcalinité essentiellement bicarbonatée.



**Fig.21 :** Répartition des conductivités de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

## II.2 - Détermination des faciès chimiques

Les résultats des analyses chimiques exprimés en milliéquivalent, rapportés sur le diagramme de Piper (**Fig.22**), ont permis de déterminer les différents faciès chimiques des eaux de la nappe.

Les faciès chimiques identifiés au niveau de la nappe sont multiples, du fait de la diversité des formations géologiques en continuité ou en contact latérale avec la formation détritique du Continental Terminal.

Le diagramme montre les faciès suivant :

- ❖ Le faciès bicarbonaté calcique et magnésien : qui représente plus de 23 % des points d'eau échantillonnés. Ce faciès caractérise les eaux peu minéralisées avec des valeurs de conductivités comprises entre 92 et 1034  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

- ❖ Le faciès bicarbonaté sodique et potassique : qui caractérise les eaux peu minéralisées mais avec des conductivités un peu plus élevées que celles des eaux bicarbonaté calcique et magnésien (comprise entre 485 et 1167  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Le pôle sodique et potassique évolue vers le pôle calcique et magnésien.

- ❖ Le faciès chloruré sodique et potassique : qui prédomine et représente 32 % des points d'eau échantillonnés. Ce faciès caractérise les eaux très fortement minéralisées avec des conductivités variant entre 803 et 16940  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

- ❖ Le faciès chloruré calcique et magnésien des eaux moyennement minéralisées dont les conductivités varient entre 196 et 9420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

- ❖ Le faciès sulfaté sodique et potassique : est rencontré à Mogré, Théméne Salane et à Wendou Bèye.

La représentation graphique de ces différents faciès sur une carte a permis une répartition spatiale des faciès des eaux de la nappe du Continentale Terminale (**Fig.23**).

Les eaux bicarbonatées prédominent (50% des points d'eaux échantillonnés présentent un faciès bicarbonatés), et sont rencontrées dans toute la zone d'étude sauf au Nord-Ouest. Cette prédominance peut être attribuée aux horizons inférieurs calcaires en contact latéral ou en continuité avec le Continental Terminal.

A défaut d'arguments lithologiques (coupes de puits), la tendance sodique et potassique de ces eaux serait probablement liée au caractère marno-calcaire de l'aquifère au niveau de ces points d'eau (Dégallier, 62 *in* Diène, 95).

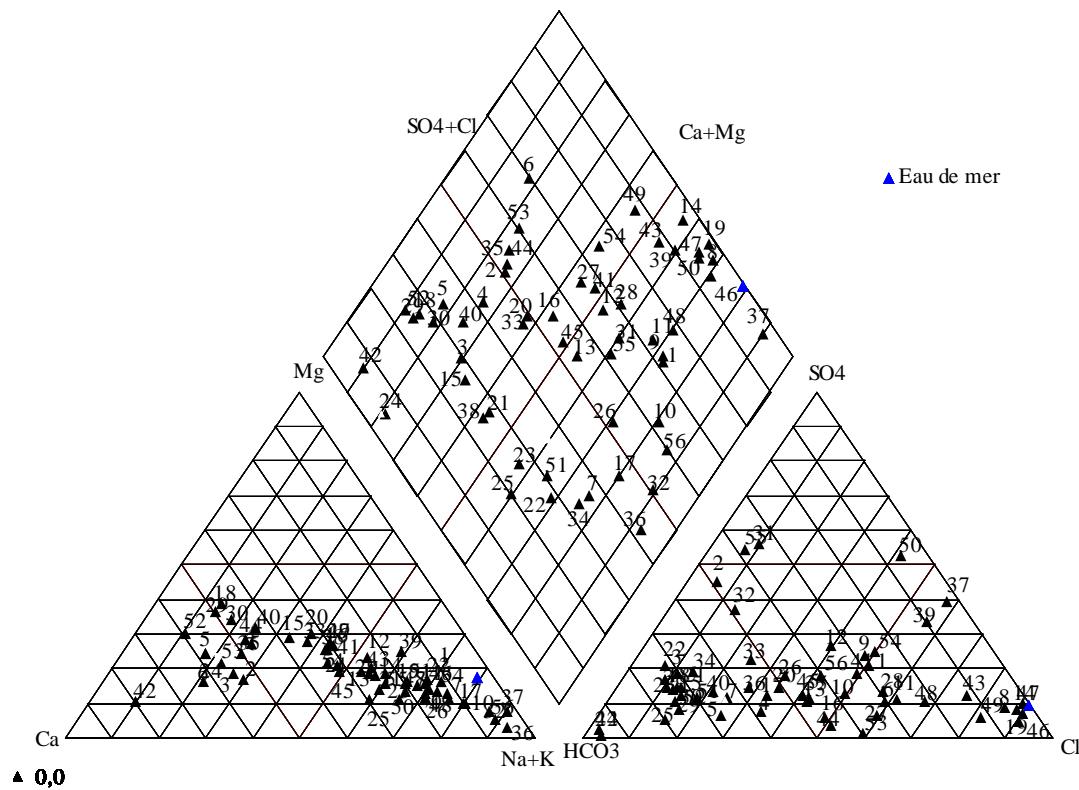
Les enclaves d'eaux chlorurées (au Nord-Est et au centre) seraient probablement dues soit à de l'eau marine ancienne, soit à une pollution ponctuelle.

Les eaux chlorurées calciques et chlorurées sodiques sont rencontrées au Nord-Ouest. Les eaux chlorurées auraient une origine marine ancienne, mais l'importance de la minéralisation dans cette zone suggère une autre origine. Le Nord-Ouest se particularise par d'intenses activités agricoles, et par conséquent l'utilisation de pesticides, d'engrais divers. ..

Ces activités anthropiques pourraient être à l'origine de l'accroissement de la minéralisation.

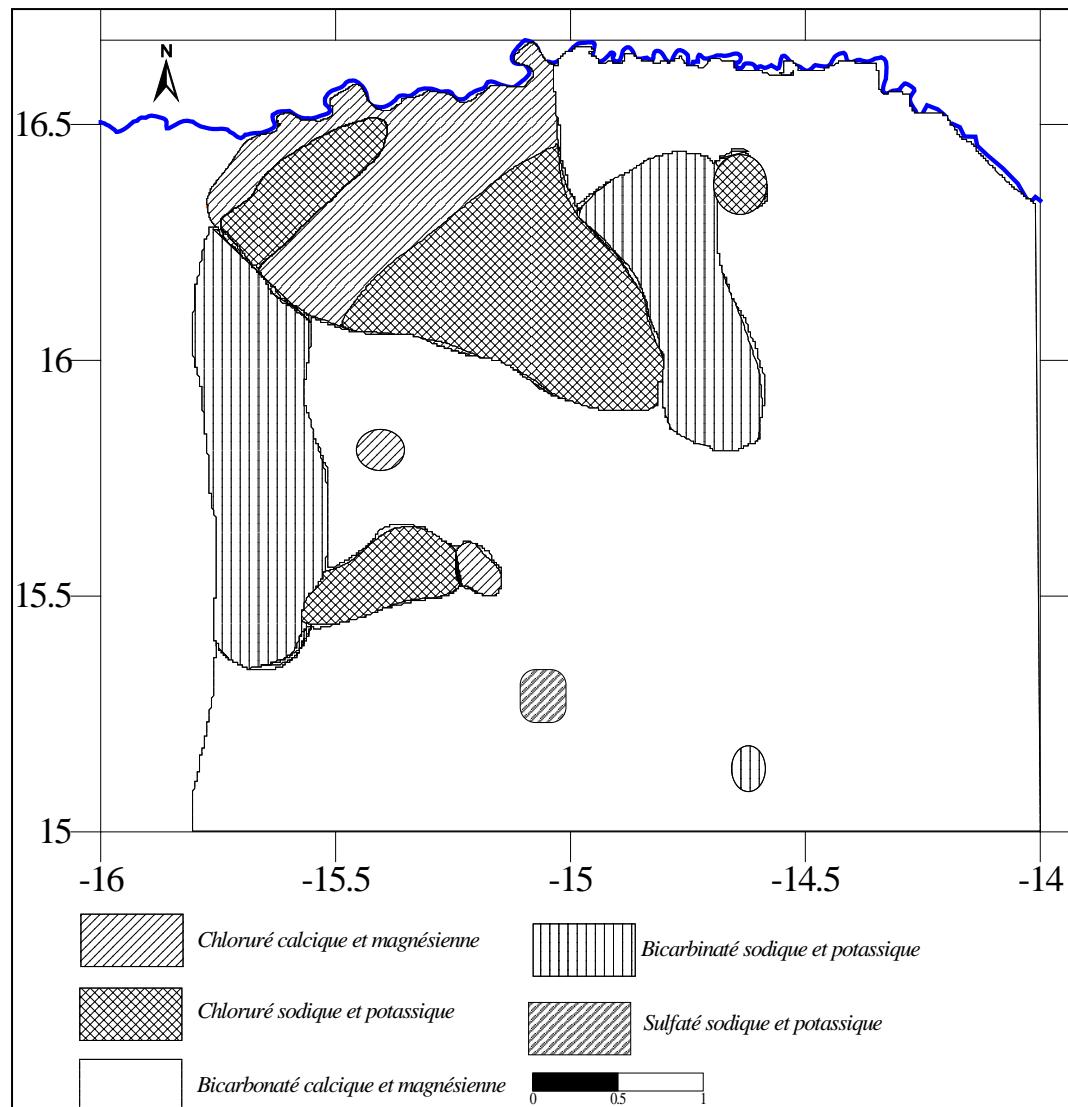
Cependant il est à noter à l'intérieur des eaux chlorurées calciques et magnésiennes des enclaves d'eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes (Ndombo, Diawéli, Ndiago, Sagobé Diam) et sulfatées sodique et potassique (théméne Salane).

Quant au faciès sulfaté sodique et potassique, il se présente sous forme d'îlots au Sud à l'intérieur du faciès bicarbonaté (Mogré, Wendou Bèye) et au Nord-Ouest dans le faciès chloruré (Théméne Salane). Les sulfates peuvent être liée à la présence de gypse ou de pyrite, sujets à des phénomènes de dissolutions dans le milieu, ou à une pollution anthropique.



**Fig. 22 :** Faciès chimiques des eaux de la nappe du Continental Terminal du Ferlo  
(février 2004)

1-Aba	18-Khatali	36-Ndep	54-Thioukogne
2-Agnam	19-Léwaré	37-Ndiago P1	55-Wendou Bèye
3-belel	Yana	38-Ndiago P2	56-Yolli
4-Diawéli	20-Louguéré Diaby	39-Ndiago P3	
5-Dioum P1	21-Loum Ferba	40-Ndiakhaté	
6- Dioum P2	22-Loumbel Djiby	41-Ndiané	
7-Djarna	23-Mbagadobé	42-Ndombo	
8-Fédia	24-Mbantou	43-Ngouye Diéri	
9-Fédoundou	25-Mbantou	44-Niassanté	
10-Gaodé Boffé	26-Mbélogne Bayedi	45-Sagobé Diam	
11-Kalossi	27-Médina Yélour	46-Sam Sam	
12-Kamara	28-Méry	47-Savanobé	
13-Kavé	29-Mbével	Wendou Fendu	
14-KeurDemba	30- Mbével Peul	48-Séno Boval	
Diam	31- Mogré	49-Souillène	
15-Keur Malel	32- Mouye P1	50-Théméne Salane	
16-Keur Mama Kao	33- Mouye P2	51-Thiakhalé	
17-Keur Massamba	34- Namardé	52-Thilla Ouarkhokh	
Diagne	35- Ndébène Siwal	53-Thillé Boubacar	



**Fig. 23 :** Carte de répartition des faciès des eaux de la nappe du "C.T" du Ferlo  
(Février 2004)

## II.3 - Les paramètres chimiques

### II.3.1 - Répartition spatiale de la minéralisation totale

La minéralisation des eaux de la nappe est comprise entre  $136.34 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $4492.60 \text{ mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de  $1706.88 \text{ mg.l}^{-1}$ . Les eaux de la nappe du Continental Terminal présentent de faibles minéralisations inférieures à  $1000 \text{ mg.l}^{-1}$  pour la majeure partie des points d'eau. L'analyse de la carte de minéralisation (**Fig.24**) indique des zones de fortes minéralisations au Nord autour de Sam Sam ( $> 4000 \text{ mg.l}^{-1}$ ) et autour d'Aba ( $> 2000 \text{ mg.l}^{-1}$ ) ; tandis que le centre, l'Est et l'extrême Nord (à la lisière de la vallée du fleuve Sénégal) la minéralisation des eaux est très faible étant le plus souvent inférieure à  $500 \text{ mg.l}^{-1}$ . La répartition spatiale de la minéralisation totale est identique à celle de la conductivité.

### II.3.2 - Répartition spatiale des éléments chimiques

#### II.3.2.1 -Les ions chlorures

Les concentrations en ions chlorures des eaux de la nappe du Continental Terminal du Ferlo varient entre  $3.14 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $6378.62 \text{ mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de  $633.19 \text{ mg.l}^{-1}$ . La carte de répartition des ions chlorures (**Fig.25**) montre qu'au Nord les eaux de la nappe présentent des teneurs en chlorures très élevées où les faciès chimiques sont chloruré sodique et potassique et chloruré calcique et magnésien. Ces teneurs dépassent même plus de  $6000 \text{ mg.l}^{-1}$  autour de Sam Sam et de Savanabé Wendou Fendu ; teneurs largement supérieures aux valeurs guide de l'OMS pour l'eau potable qui se situent pour les ions chlorures entre 250 et 600  $\text{mg.l}^{-1}$ .

La répartition spatiale des ions chlorures suit parfaitement celles de la minéralisation globale et de la conductivité ;mais une légère différence est notée au Nord-Est vers Thiakhalé. Les chlorures sont le plus souvent associés aux fortes minéralisations comme le montre la bonne corrélation entre ces ions et la conductivité ( $R^2 = 0.81$ ).

#### II.3.2.2 - Les ions sodium

Les ions sodium sont souvent associés aux chlorures car ayant la même origine. Le sodium, selon Bontemps et al, 1989 ; *in* El Faid, 1996; entre dans la composition des roches silicatées (phyllosilicates, plagioclases) et constitue un ion majeur dans les eaux de pluies.

Les concentrations en sodium des eaux varient entre  $3.18 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $3455.12 \text{ mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de  $340.67 \text{ mg.l}^{-1}$ . Le sodium constitue le cation dominant dans les eaux superficielles du ferlo.

Comme pour les chlorures la répartition spatiale des ions sodium suit celle de la minéralisation globale (**Fig.26**) : les fortes concentrations se localisent au Nord autour de Sam Sam, Ndiago tandis que les faibles teneurs se situent au centre, à l'Est et à l'extrême Nord ; correspondant à la grande dépression du Ferlo.

Les ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  influencent fortement la minéralisation des eaux.

### **II.3.2.3 - Les ions potassium**

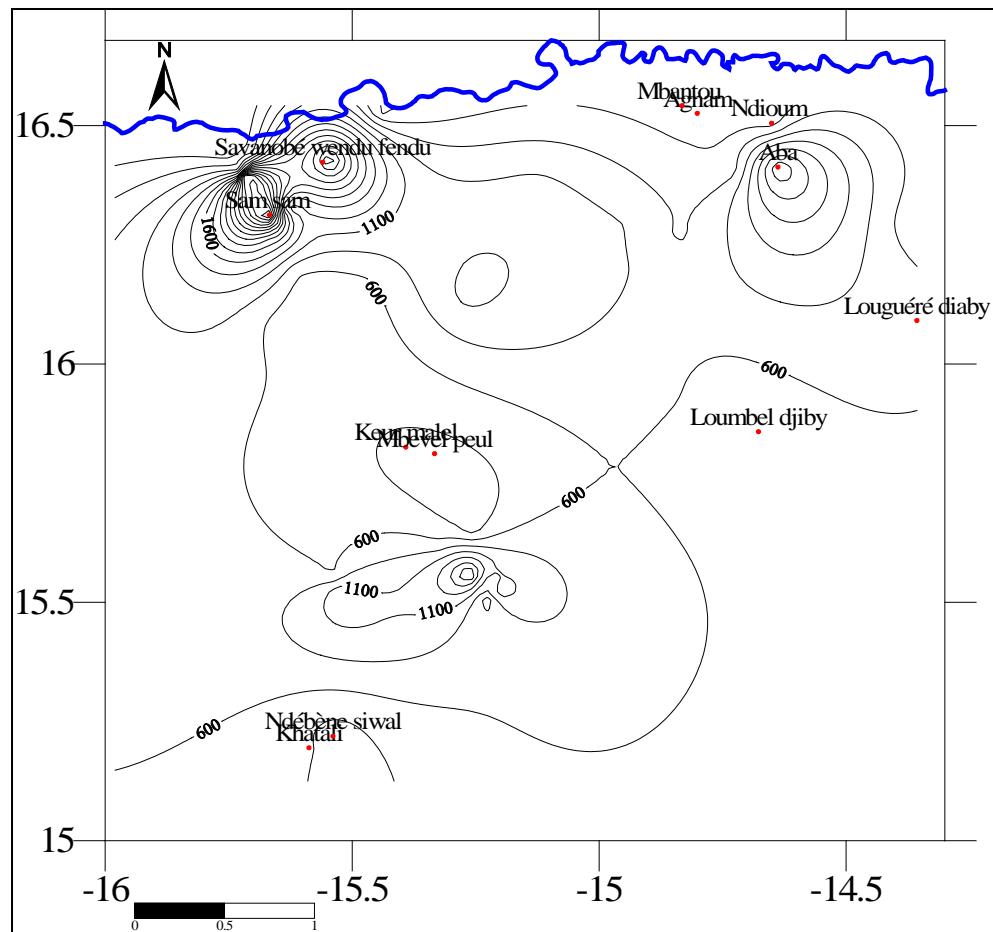
Les ions potassium sont, parmi les ions majeurs, ceux qui sont les moins représentatives des ions majeurs de la nappe du Continental Terminal. Leur concentration varie de  $0.50 \text{ mg.l}^{-1}$  à  $512.47 \text{ mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de  $29.91 \text{ mg.l}^{-1}$ . La répartition spatiale du potassium (**Fig.27**) montre que la majorité des points d'eau ont des teneurs inférieures à  $50 \text{ mg.l}^{-1}$  (norme de l'OMS). Les fortes teneurs en potassium supérieures à cette norme se localisent aux environs de Sam Sam et reflètent donc celle de la minéralisation.

### **II.3.2.4 - Les alcalino-terreux**

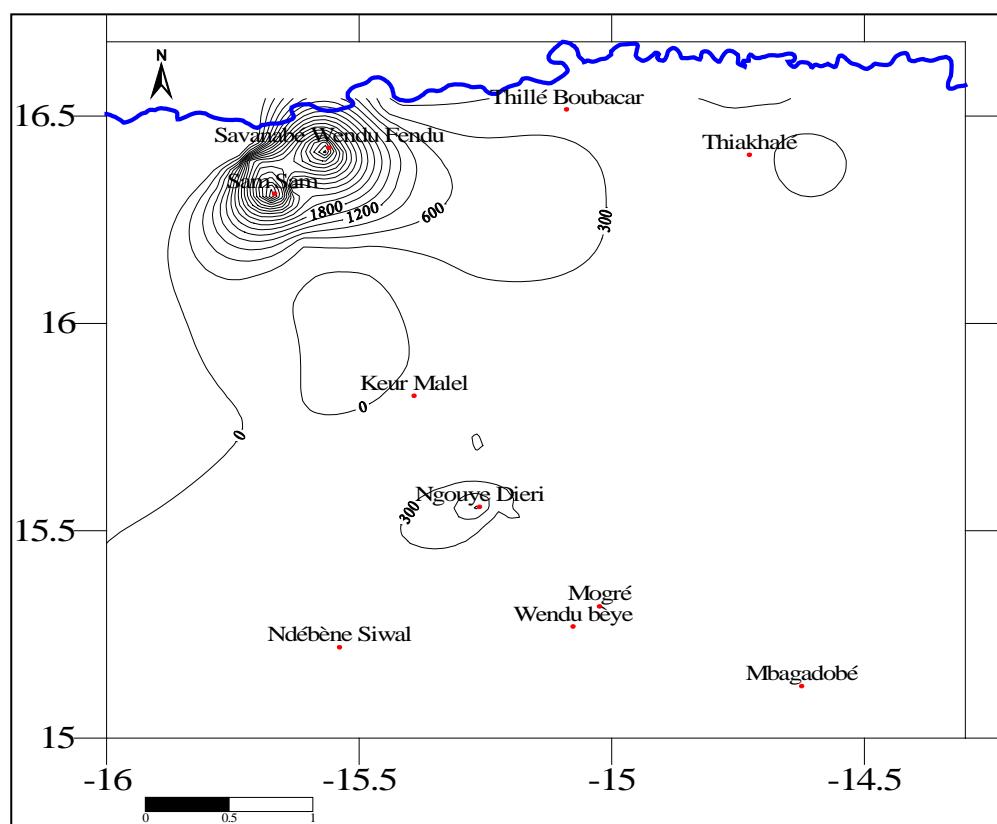
Les eaux de la nappe présentent des teneurs en calcium variant entre  $8.42 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $649.06 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $99.45 \text{ mg.l}^{-1}$ . La carte d'isovaleurs du calcium (**Fig.28**) montre que les fortes teneurs en calcium des eaux du Continental Terminal se localisent au Nord à Niassanté  $104.64 \text{ mg.l}^{-1}$ , Fédia  $129.01 \text{ mg.l}^{-1}$ , Ndombo  $129.72 \text{ mg.l}^{-1}$ , Souillène  $258.86 \text{ mg.l}^{-1}$ , Ndiago  $274.01 \text{ mg.l}^{-1}$ , Théméné Salane  $350.02 \text{ mg.l}^{-1}$ , Savanabé Wendou Fendu  $345.08 \text{ mg.l}^{-1}$ , Léwaré Halla Yana  $380.60 \text{ mg.l}^{-1}$ , Sam Sam  $610.13 \text{ mg.l}^{-1}$  et Keur Demba Diam  $649.06 \text{ mg.l}^{-1}$  ; et au Sud à Thioukogne  $108.63 \text{ mg.l}^{-1}$  et à Thilla Ouarkhokh  $117.20 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ces fortes concentrations en calcium sont supérieures aux valeurs guide de l'OMS pour l'eau potable qui est de  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ . Comme pour la minéralisation globale les fortes teneurs se situent autour de Sam Sam, Keur Demba Diam, situé un peu à l'Est du dôme anticlinal de Guiers.

Le calcium des eaux du Continental Terminal proviendrait :

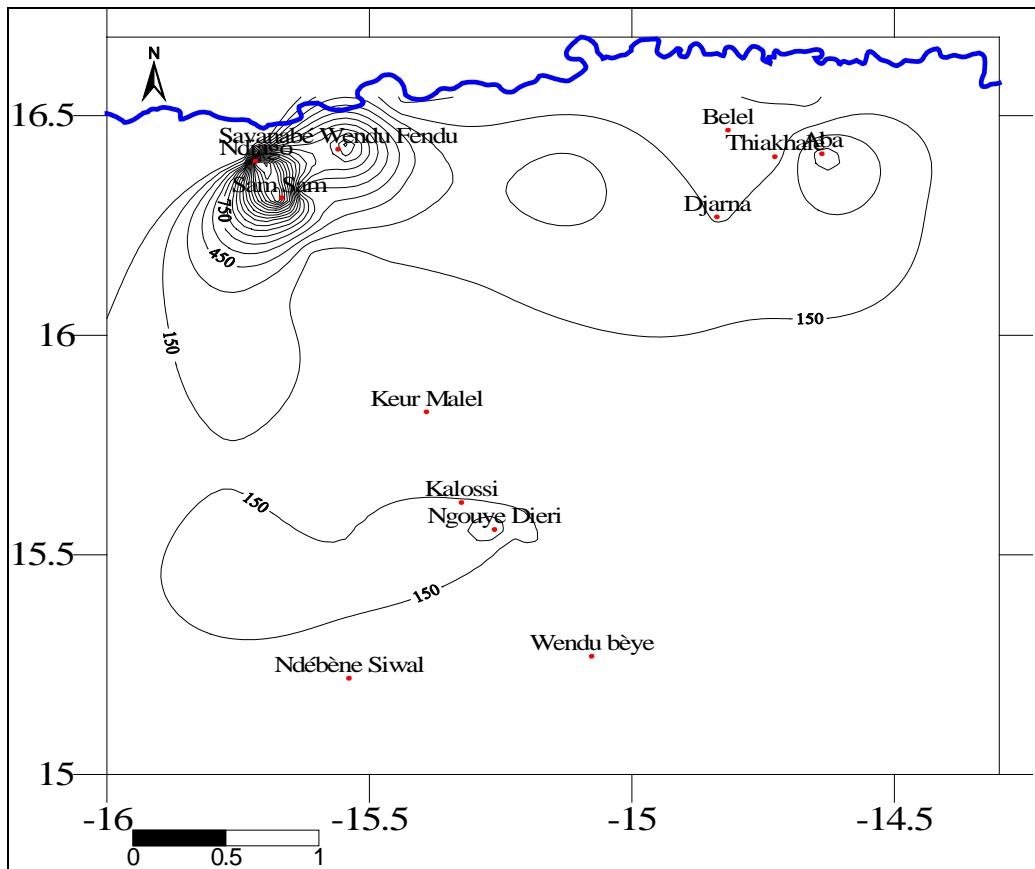
❖ de l'entraînement des particules carbonatées du sol



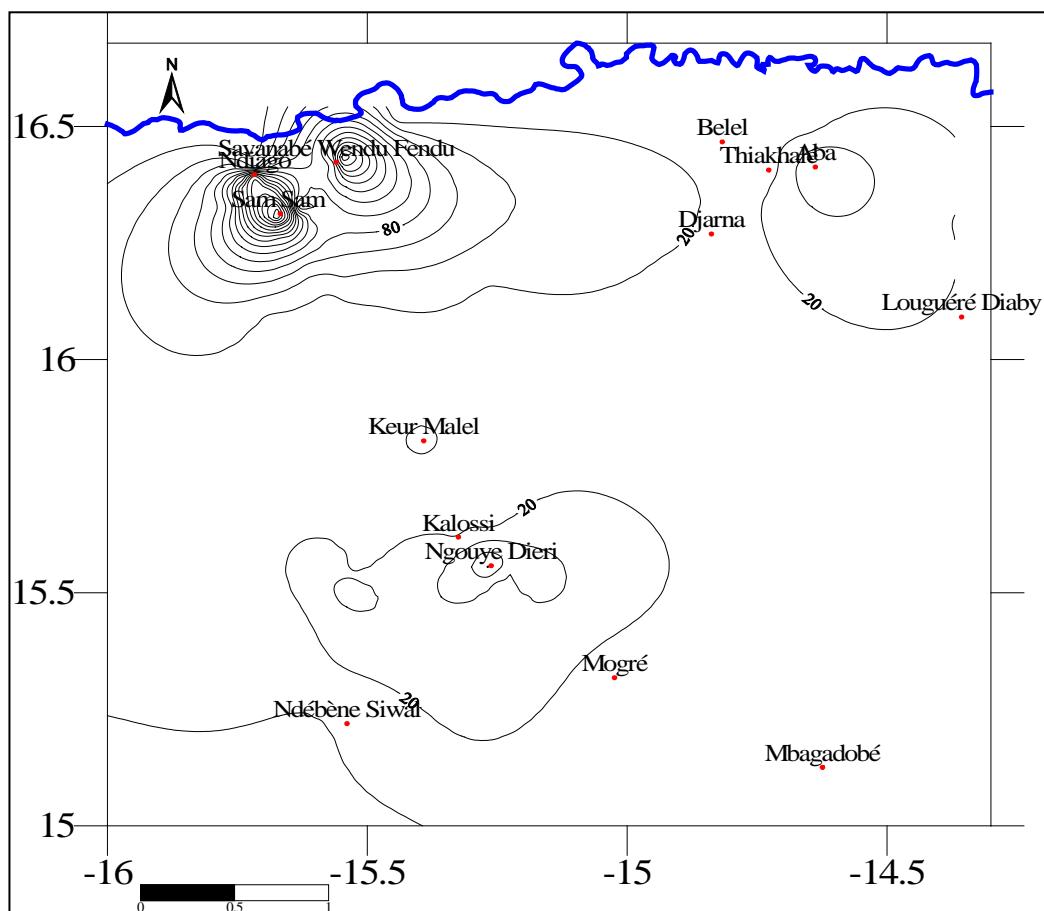
**Fig. 24 :** Carte de répartition de la minéralisation globale de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)



**Fig. 25 :** Carte de répartition des Chlorures de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)



**Fig. 26 :** Carte de répartition du Sodium de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)



**Fig. 27 :** Carte de répartition du Potassium de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

- ❖ de la dissolution des carbonates des environnements carbonatés sous jacents dont les matériaux sont facilement solubilisables.

Les concentrations en magnésium des eaux sont comprises quand à elles, entre  $1.89 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $372.95 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $47.95 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ces concentrations sont très largement en dessous de celles du calcium pour l'ensemble des eaux de la nappe. Les fortes concentrations en ions  $\text{Mg}^{2+}$  sont situées au Nord à Sam Sam  $372.95 \text{ mg.l}^{-1}$ , Keur Demba Diam  $279.87 \text{ mg.l}^{-1}$ , Ndiago P<sub>2</sub>  $252.39 \text{ mg.l}^{-1}$ , Léwaré Halla Yana  $178.13 \text{ mg.l}^{-1}$ , Ndiago P<sub>1</sub>  $154 \text{ mg.l}^{-1}$ , Savanabé Wendou Fendu  $128.41 \text{ mg.l}^{-1}$ , Théméne Salane  $95.58 \text{ mg.l}^{-1}$ , et Fédia  $71.05 \text{ mg.l}^{-1}$ ; et au Sud à Thioukogne  $58.46 \text{ mg.l}^{-1}$  (**Fig.29**). Ces teneurs sont supérieures à  $50 \text{ mg.l}^{-1}$  (valeurs guide de l'OMS).

La répartition spatiale du magnésium est parfaitement identique à celle du calcium.

La répartition des alcalino-terreux est globalement semblable à celle de la minéralisation. Ces ions jouent donc un rôle prépondérant dans le processus de minéralisation.

### **II.3.2.5 - Les ions sulfates**

Les concentrations en sulfates des eaux de la nappe varient de  $3.47 \text{ mg.l}^{-1}$  à  $3148.18 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $223.56 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ces concentrations sont dans l'ensemble inférieures aux valeurs guide de l'OMS pour l'eau potable ( $200-400 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Cependant la carte de répartition des isovaleurs de sulfates (**Fig.30**) montre que les fortes concentrations en sulfates sont observées autour de Ndiago (P<sub>1</sub>)  $3148.18 \text{ mg.l}^{-1}$  et (P<sub>2</sub>)  $1105.52 \text{ mg.l}^{-1}$ , Théméne Salane  $1605.47 \text{ mg.l}^{-1}$ , Sam Sam  $678.1 \text{ mg.l}^{-1}$  et Keur Demba Diam  $522.83 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ces fortes concentrations en sulfates se localisent dans la zone de cultures irriguées et seraient probablement dues à une pollution liée à l'utilisation d'engrais ou à des processus de minéralisations intrinsèques.

### **II.3.2.6 - Les ions bicarbonates**

Les teneurs en bicarbonates des eaux du Continental Terminal du Ferlo varient entre  $30.5 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $533.75 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $257.5 \text{ mg.l}^{-1}$ . La carte de répartition spatiale des ions bicarbonates (**Fig.31**) des eaux montre que ces concentrations sont dans l'ensemble très

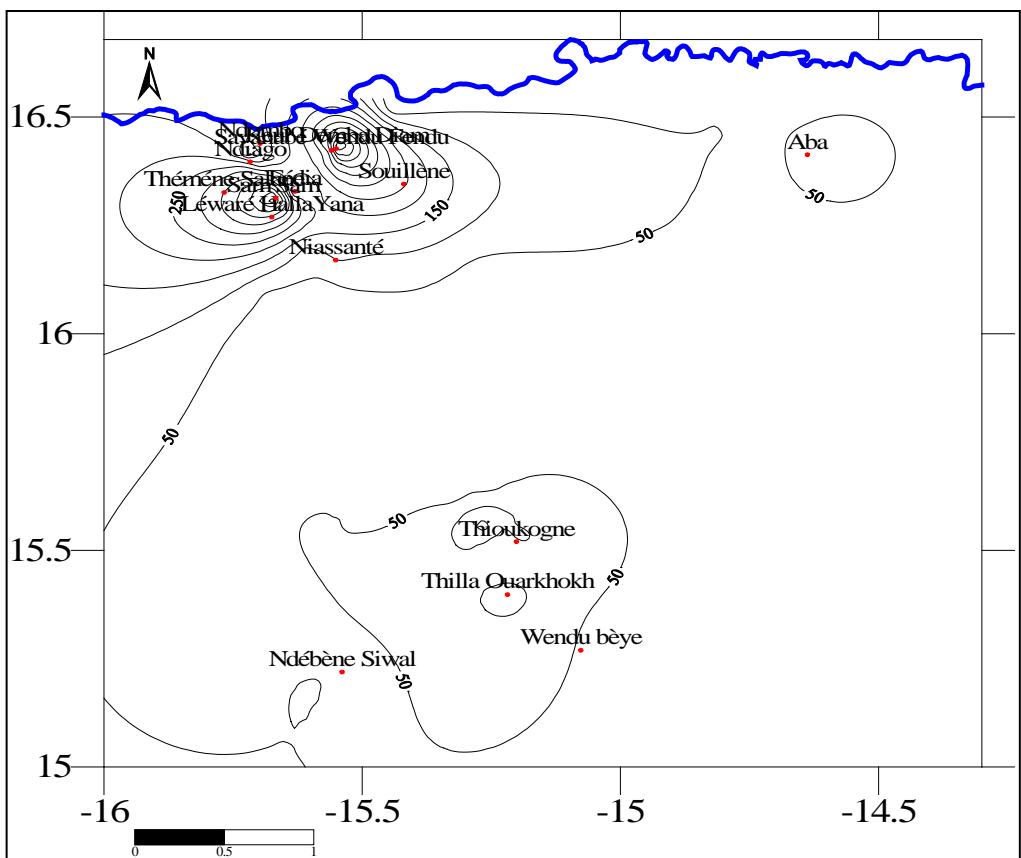


Fig. 28 : Carte d'isovaleurs en calcium de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

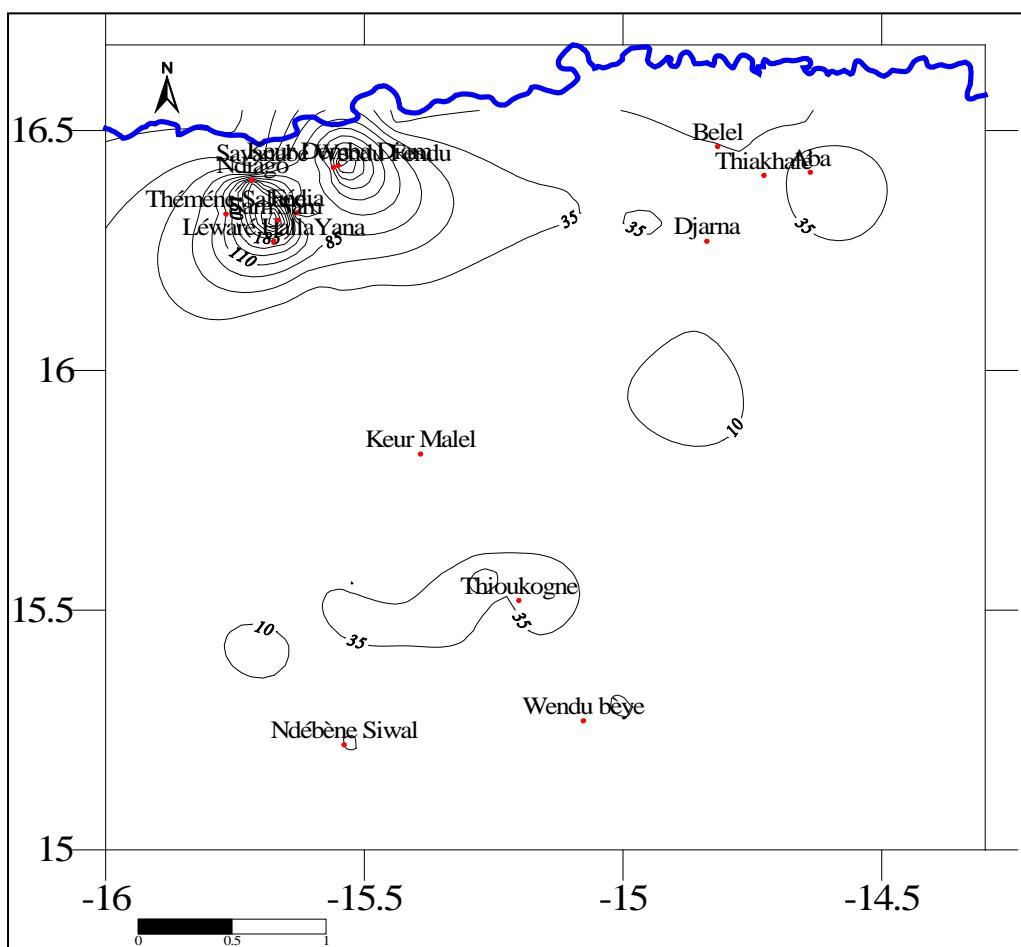
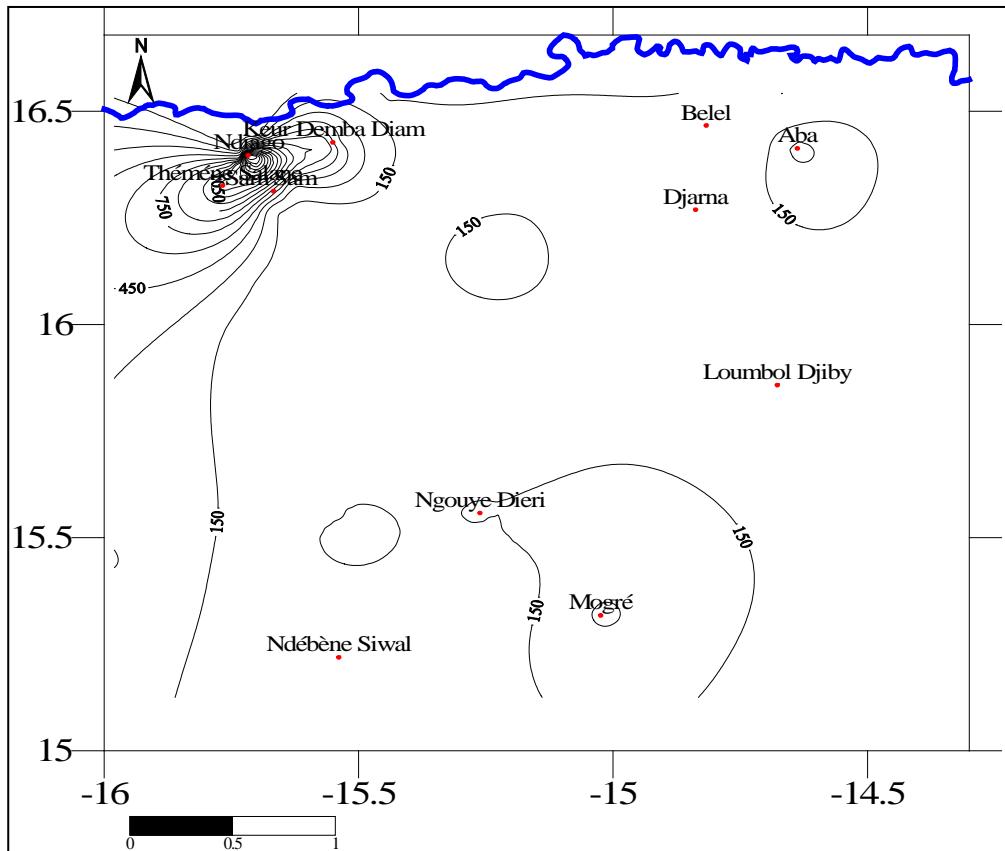
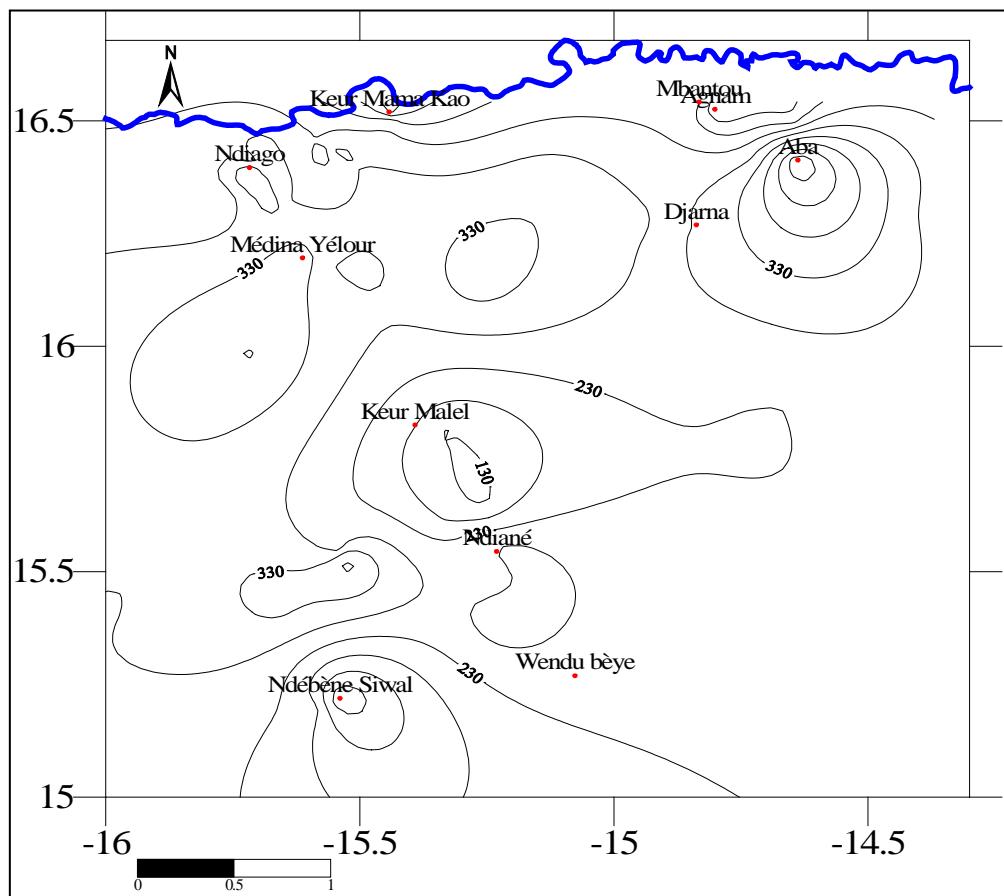


Fig. 29: Carte d'isovaleurs en Magnésium de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

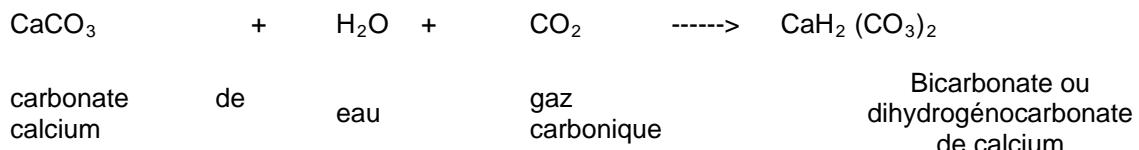


**Fig.30 :** Carte d'isovaleurs en sulfates de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)



**Fig. 31 :** Carte d'isovaleurs en Bicarbonates de la nappe du "C.T "du Ferlo (février 2004)

élevées, supérieures à  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ . Les faibles teneurs se situent au Nord à la lisière de la vallée du fleuve Sénégal à Keur Mama Kao  $54.9 \text{ mg.l}^{-1}$ , Agnam  $76.25 \text{ mg.l}^{-1}$ , Mbantou  $91.5 \text{ mg.l}^{-1}$ ; et au Sud à Ndébène Siwal  $30.5 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ces faibles concentrations en bicarbonates pourraient s'expliquer par le fait qu'au Nord la nappe du Continental Terminal communique avec la nappe alluviale du fleuve qui constituerait une zone d'alimentation du Continental Terminal ; au Sud ce serait probablement dû au caractère lithologique. Les valeurs élevées en ions  $\text{HCO}_3^-$  des eaux de la nappe seraient liées à la continuité hydraulique entre la nappe du Continental Terminal et les autres nappes superficielles localisées en partie dans les formations calcaires d'âge Eocène. La dissolution de ces roches calcaires; en présence de  $\text{CO}_2$ ; est susceptible de libérer des ions  $\text{HCO}_3^-$  selon la réaction suivante:



Le CO<sub>2</sub> provient de l'atmosphère, de la respiration des racines des végétaux et des processus de fermentations qui accompagnent la décomposition de l'humus.

Le bicarbonate est par contre soluble dans l'eau et confère à cette dernière son caractère alcalin.

### II.3.2.7 - Les ions fluor

Les teneurs en fluor des eaux de la nappe varient entre 0 et 2.69 mg.l<sup>-1</sup> avec une moyenne de 0.8 mg.l<sup>-1</sup>. Les fortes concentrations en fluor supérieures aux valeurs guide de l'OMS (0.8 à 1 mg.l<sup>-1</sup>) sont observées au centre de la zone d'étude et atteignent des valeurs de 2.69 mg.l<sup>-1</sup> à Fédoundou.

La carte de répartition des ions fluor (Fig.32) ne suit pas celle de la minéralisation totale.

### II.3.2.8 - Les nitrates

Les concentrations en nitrates des eaux de la nappe sont comprises entre 0 et 2116.65 mg.l<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 71.42 mg.l<sup>-1</sup>. Les concentrations élevées en nitrates se situent au Nord-Ouest autour de Ndiago (2116.65 mg.l<sup>-1</sup>) et au Sud où les teneurs atteignent 131.12 mg.l<sup>-1</sup> à Thilla Ouarkhokh (**Fig.33**). Dans le reste du Ferlo les concentrations en nitrates restent

faibles, inférieures aux valeurs guide de l'OMS qui est de  $50 \text{ mg.l}^{-1}$ . Notons que par endroits les eaux de la nappe sont dépourvues de nitrates. La présence de fortes teneurs en nitrates au Nord-Ouest et au Sud peut s'expliquer par une pollution liée à l'utilisation de fertilisant contenant des produits azotés.

### **II.3.2.9 - Les bromes**

Seul 25 points échantillonnés présentent des concentrations en ions bromures. Ces concentrations varient de  $0.15 \text{ mg.l}^{-1}$  à  $21.91 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $4.8 \text{ mg.l}^{-1}$ . La zone Nord-Ouest centrée autour de Sam Sam se particularise par de fortes concentrations comme pour la minéralisation totale. Ces fortes concentrations peuvent être dues aux aérosols, aux embruns marins, au sel des marais salants, aux pesticides et aux émissions automobiles et aux motopompes (El Achheb et al, 2003). En effet cette zone est le siège d'activités humaines intenses (Cultures irrigués) et la nappe y est peu profonde.

### **II.3.2.10 - Conclusion**

La répartition spatiale des ions majeurs montre deux zones (au Nord - Ouest et au Sud) où leurs teneurs sont très élevées. Ces fortes teneurs sont responsables de la minéralisation des eaux de la nappe d'où la similitude qui existe entre la majeure partie des cartes de répartition spatiale de ces ions et celles de la minéralisation et de la conductivité.

Les bicarbonates jouent un rôle prépondérant dans la chimie des eaux de la nappe du Continental Terminal grâce aux  $\text{CO}_2$  atmosphérique.

La variation des nitrates serait due à une pollution d'origine anthropique mise en évidence au Nord-Ouest et au Sud.

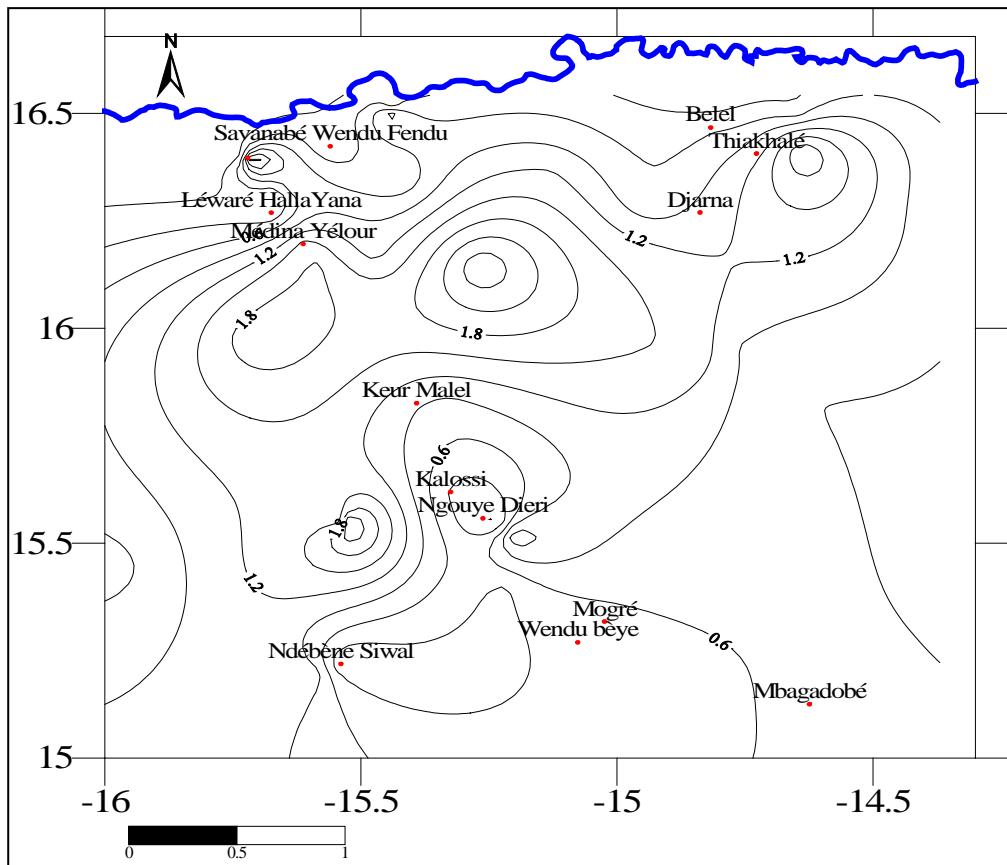


Fig. 32: carte de répartition des ions fluor de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

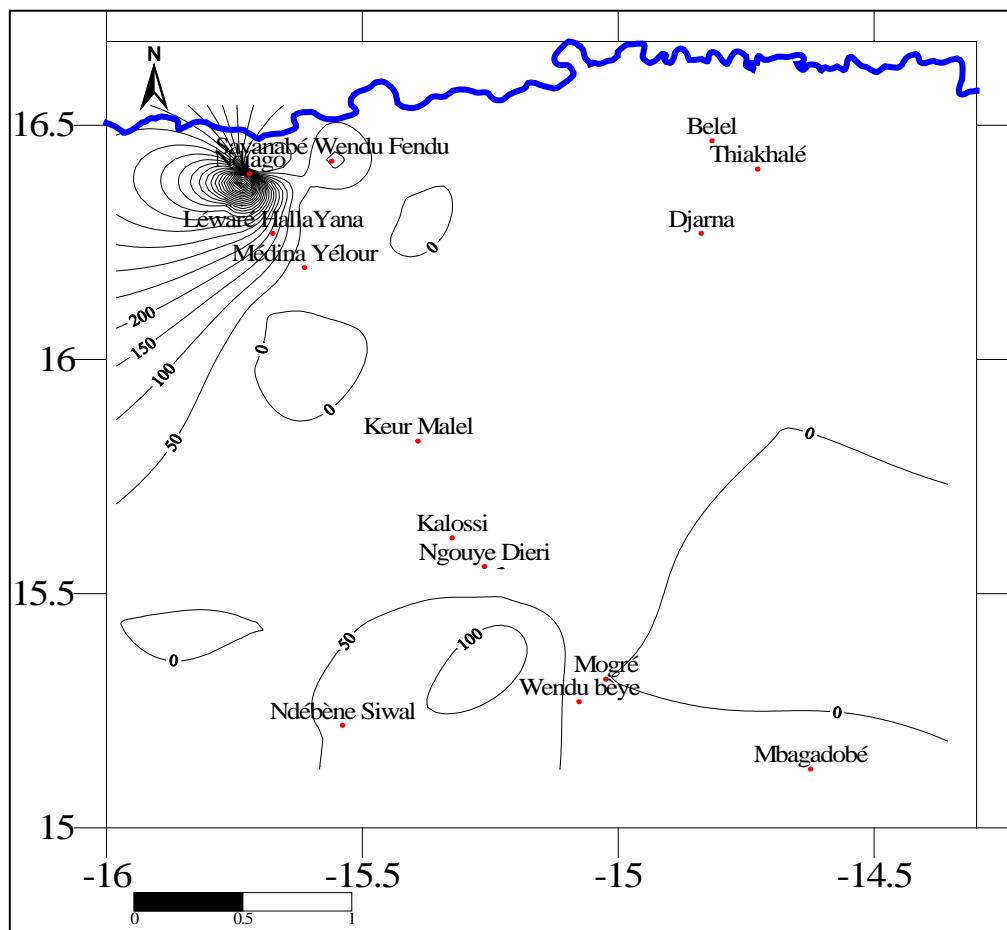


Fig. 33 : carte de répartition des nitrates de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

## II.4 - Les indices d'échange de base

L'indice d'échange de base (IEB) ou indice de déséquilibre chloro-alcalin (ICA) est donné par la formule :

$$\text{IEB} = [\text{rCl} - \text{r}(\text{Na} + \text{K})] / \text{rCl}$$

Le signe de ce rapport est fonction de la teneur en chlorures ou en alcalins des eaux :

- ❖ IEB > 0 traduit la prédominance des chlorures sur les alcalins.
- ❖ IEB < 0 traduit la prédominance des alcalins sur les chlorures.

Les indices d'échanges de base des eaux de la nappe montrent que 54% des points échantillonnés ont des rapports négatifs. L'origine des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  peut être lié aux échanges contre les cations bivalent  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  contenus dans les minéraux argileux ou dans des substances organiques. Leur lessivage entraîne une augmentation de la concentration des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  dans les eaux par phénomène d'accumulation. C'est pourquoi on trouve des indices positifs dans les dépressions piézométriques.

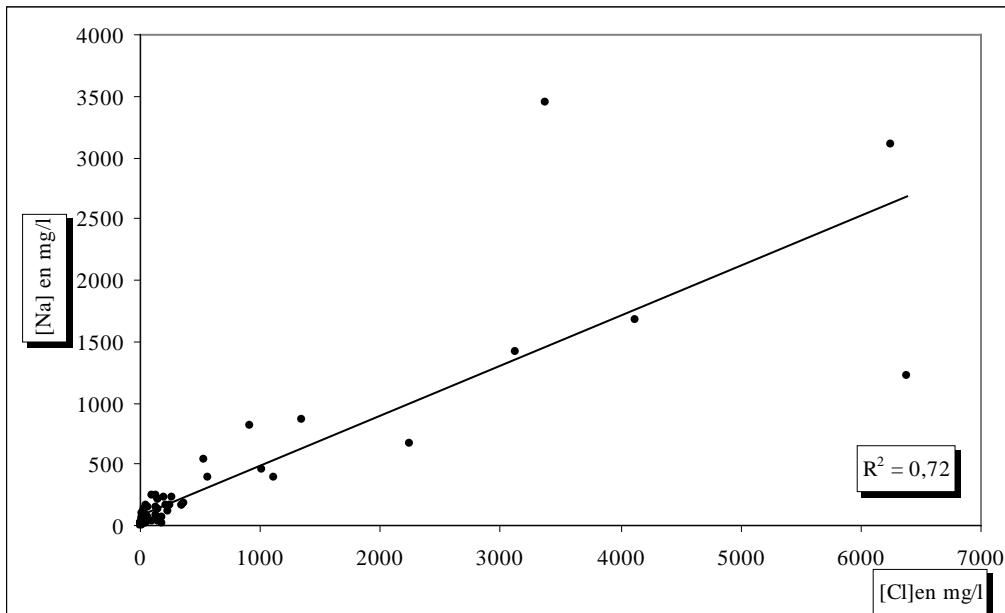
Cependant 46% des points d'eau du Ferlo ont des indices d'échanges de base positifs. Les chlorures des eaux de la nappe proviennent d'une contamination par les eaux du fleuve salées avant la mise en place des barrages. Les retenues d'eau douce créées par ces barrages ont dû atténuer cette contamination par des phénomènes de dilution des teneurs qui y étaient auparavant assez élevées à cause de la remontée des eaux salées en provenance de l'océan.

## II.5 - Les rapports caractéristiques

### II.5.1 - Rapport $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$

Les valeurs du rapports  $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$  des points d'eau échantillonnés sont comprises entre 0.08 et 6.9. Ceci se traduit pour la majorité des points des points échantillonnés un rapport très largement supérieur à celui de l'eau de mer (0.56). Ceci indiquerait qu'il existe un autre processus qui est à l'origine de la libération des ions  $\text{Na}^+$  dans le milieu.

La corrélation entre les ions Na et Cl (Fig.34) montre un coefficient de corrélation  $R^2 = 0.72$  qui indique une origine probablement commune de ces deux ions. Et par le processus d'échange de base, la nappe s'est enrichie en  $\text{Na}^+$  au détriment du  $\text{Cl}^-$  qui lui est conservatif.



**Fig.34 :** Corrélation entre les ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  de la nappe du "C.T" du Ferlo (février 2004)

### II.5.2 - Rapport $r(\text{Cl} - \text{Na}) / r \text{Cl}$

Les valeurs positives de ce rapport varient entre 0.11 et 0.91, et celles négatives entre -5.93 et -0.01. Plus de la moitié des points échantillonnés présente un rapport positif, indiquant la prédominance du chlore sur le Sodium.

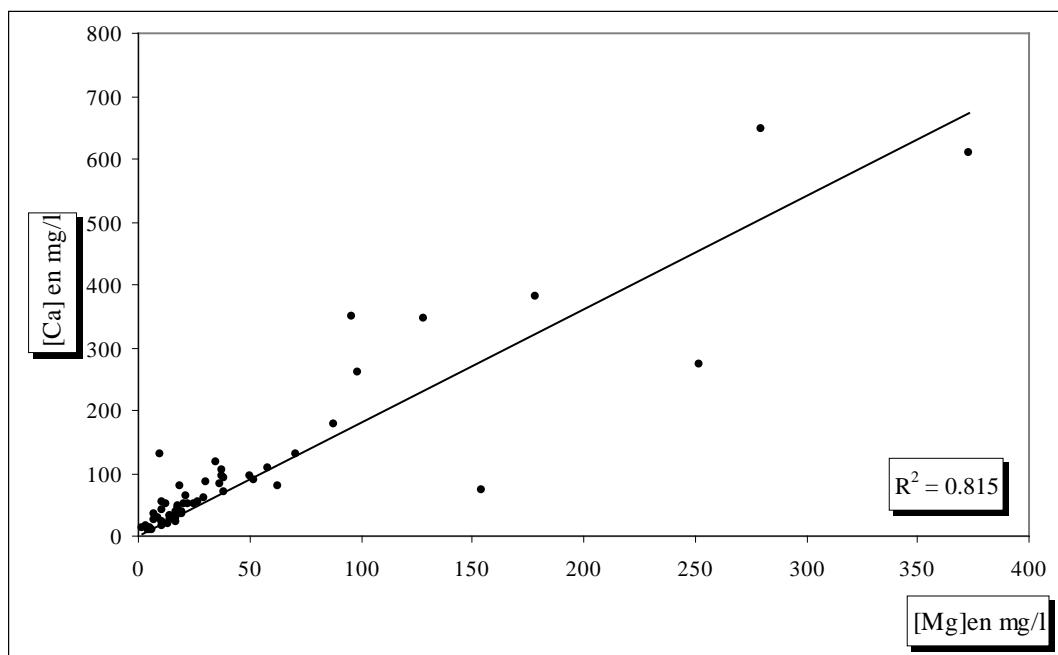
Les valeurs positives ( $\text{Cl} - \text{Na} \geq 0$ ) sont dues à un apport important en ions chlorures, soit par pollution dans les périmètres irrigués au Nord - Ouest ou dans les zones de cultures maraîchères au centre ; soit par processus d'échange de base inverse d'une part. D'autre part les phénomènes de reprise évaporatoire due à l'impact de l'évaporation au niveau de la nappe peu profonde au Nord - Ouest peuvent être à l'origine de l'augmentation des teneurs en chlorures dans les eaux de la nappe.

Les valeurs négatives de ce rapport ne montrent pas une distribution spatiale spécifique, mais se présentent sous forme de points disparates localisés pour la plupart au Nord - Ouest et au Sud où les valeurs des IEB, tous négatifs, traduisent la prédominance des alcalins sur les chlorures.

### II.5.3 - Rapport rMg / rCa

Le rapport Mg/Ca des eaux de la nappe du Continental Terminal varie entre 0.07 et 2.12. Il est largement inférieur à 1, sauf à Ndiago 2.12. Les valeurs de ce rapport inférieur à 1 s'expliquent par le fait que le calcium est le cation dominant des stations continentales par entraînement des particules carbonatées des sols (Travi et al., 1987). Le magnésium est tributaire des apports marins.

La bonne corrélation entre ces deux ions ( $R^2 = 0.815$ ) suggère une origine probablement commune (**Fig.35**).



**Fig. 35:** Corrélation entre les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  de la nappe du "C.T "du Ferlo (février 2004)

### II.5.4 -Rapport rNa / rCa

Les valeurs du rapport Na/Ca varient entre 0.13 et 47.62. Plus de 70% des points échantillonnés ont des rapports Na/Ca très largement supérieur à 1. La prédominance du sodium s'explique, par le fait des processus d'échanges de bases entre les cations monovalents et les cations bivalents.