



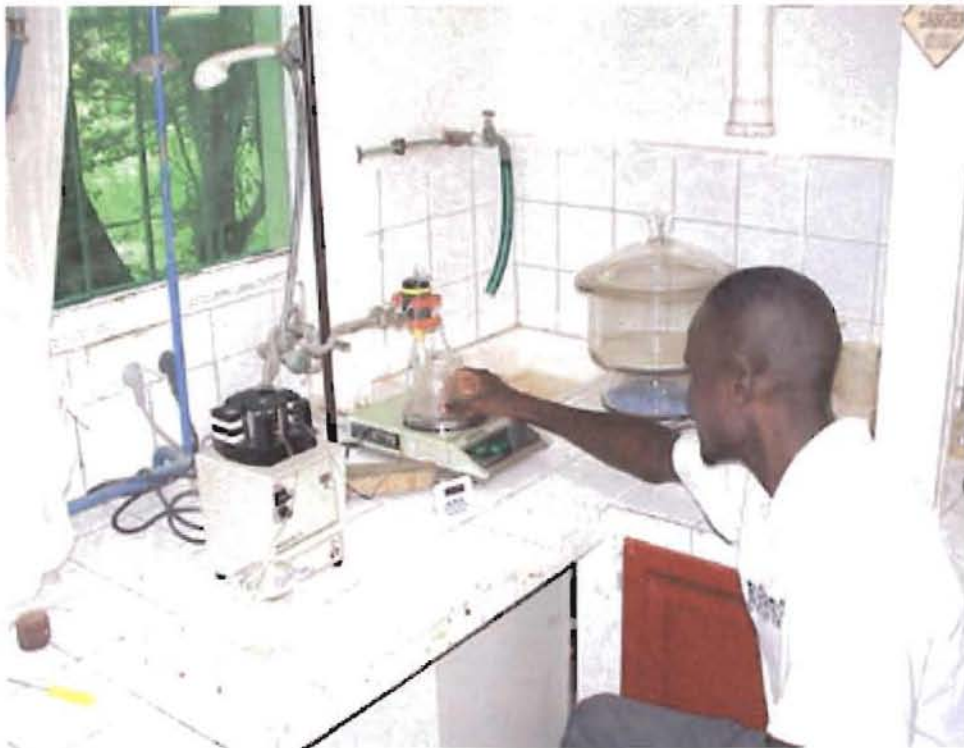
**Institut de recherche
pour le développement**

RAPPORT DE STAGE

sur le thème :

**DETERMINATION DES COEFFICIENTS DE DISPERSION DES
SOLUTES DANS LES SOLS DE DONAYE ET DU NGALENKA :
EXPERIMENTATION ET MODELISATION**

Présenté par : **CALIX KOFAYE DIOUF**
Période : du 01 Novembre 2001 au 30 Avril 2002



Sous l'encadrement de :

**MM. Claude HAMMECKER
Jean Luc MAEGHT
Fary DIOME**

**Chercheur à l'IRD de Dakar Hann
Ingénieur assistant à l'IRD de Hann
Assistant à l'IST (ucad)**

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

INTRODUCTION GENERALE	5
PREMIERE PARTIE : MODELISATION ET MECANISME DE DISPERSION DES SOLUTES DANS UN MILIEU POREUX SATURE	6
Chapitre 1 : Les propriétés physiques de base d'un sol	9
1. Description générale d'un sol	9
2. L'eau et le sol	11
Chapitre 2 : Hydrodynamique et transfert d'eau et de solutés en milieu poreux saturé	14
1. Hydrodynamique en milieu poreux saturé	15
2. Mécanisme et modélisation	16
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	21
Chapitre 1 : Contexte et problématique de l'étude	23
1. Contexte géographique	24
2. Problématique de l'étude	27
Chapitre 2 : Phase pratique de l'étude	29
1. Protocole	29
2. Dispositif expérimentale	31
3. Principe de la manipulation	31
4. Exploitation des données	35
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS	37
Chapitre 1 : Résultats	39
1. Résultats expérimentaux	40
2. Résultats du modèle	45
Chapitre 2 : Synthèse et discussions	49
CONCLUSION GENERALE	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	51

AVANT-PROPOS

Ce travail entre dans le cadre du programme de recherche de l'UR ARIANE du laboratoire de pédologie de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

Pour une meilleure rentabilité de la riziculture dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, les chercheurs dudit institut ont instauré ce programme. C'est dans cette optique qu'un stage de six mois (de Novembre à Avril) nous y a été proposé. Ce stage nous a permis , d'une part , de mettre en pratique certains de nos connaissances acquises au cours de notre formation universitaire , d'autre part d'enrichir nos connaissances personnelles dans le domaine de la pédologie et de l'informatique.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide et la compétence de certaines personnes à qui j'adresse tous mes remerciements.

Ces remerciements vont à l'endroit de :

M. Jean René DURAND, représentant de l'IRD au Sénégal, qui m'a accueilli au sein de l'institut qu'il dirige ;

M.Claude HAMMECKER, chargé de recherche à l'IRD et responsable du laboratoire de Pédologie. Je t'exprime toute ma gratitude pour ta disponibilité et ton apport scientifique

M.Jean Luc MAEGHT , ingénieur assistant à l'IRD :je te remercie pour ton apport technique et ta bonne humeur , sans oublier Jean Larvy DELARIVIERE et toute l'équipe scientifique du laboratoire de Pédologie : M. Augustin DIEME, M. Demba FAYE, M.Mamadou BADIANE

M. Gilles CIORNEI responsable du Laboratoire de Chimie. Sans sa collaboration notre travail ne pourrait être réalisée, je vous suis reconnaissant pour toutes les fois que vous m'avez accueilli dans votre laboratoire et pour toute l'aide que vous m'avez apportée.

M. Norbet SILVERA qui a fabriqué le robot xY que nous avons utilisé durant toute la phase pratique de notre travail. Merci de l'avoir mis à notre disposition.

M. Fary DIOME assistant à l'IST : merci de m'avoir encadrer durant ce stage , tes conseils furent enrichissants.

Mes remerciements vont également à l'endroit de mes camarades stagiaires Karim SANKARE , Codou et particulièrement à Roseline MBAYE avec qui l'ambiance ne m'a jamais manqué et à tous mes anciens camarades de l'IST, notamment Mame Penda, Aïssatou, Cheikh, Tapha, Moussa et Sidy. dont l'histoire nous unis.

Je ne saurais terminer sans adresser tous mes remerciements :

A mes parents qui m'ont mis au monde (mon père Dominique et ma mère Véronique) et qui sont mes premiers enseignants, et, à tous les membres de ma famille : Richard, Cécile, Christine, Sœur Emilie, Jean Noël, mes petits frères et sœurs. Mon affection pour vous est

incommensurable, vous êtes ma référence .Merci de m'avoir assuré une bonne éducation dans la foie

A mon oncle et tuteur Maxime, à ma tante Hélène et à toute la famille Dione : avec vous l'ambiance familiale ne m'a jamais manqué.

A mes cousins et amis Mathieu, Ignace, Wathie.....

Enfin à tous ceux et celles qui ont contribué, d'une façon ou d'une autre, à la réalisation de ce travail

MERCI !!!

INTRODUCTION

La vallée du fleuve Sénégal est caractérisée par un climat aride et une faible pluviométrie. Ces différents aspects font que cette zone est défavorable à l'agriculture. Pour parer à cela il a été mis en place les barrages de Diama (1986) et Manantali (1990) au Mali pour contrôler le cours du fleuve. Les aménagements ont permis l'irrigation de 240000ha de terres du côté du Sénégal.

Les changements environnementaux, sociaux et économiques provoqués par ce nouveau mode de gestion de l'eau sont étudiés dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire mené par l'IRD et d'autres institutions comme l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole).

L'un des contraintes majeures qui menacent l'environnement des sols de la vallée reste l'existence d'une nappe salée à une profondeur de 1.5 à 6m pouvant aller jusqu'à moins d'un mètre en saison des pluies.

La forte demande évaporatoire due au fort ensoleillement qui caractérise cette zone entraîne une remontée des sels provoquant ainsi une salinisation d'une part et une alcalinisation et une sodisation d'autre part.

Plusieurs études faites sur les terres du delta ont montré la diversité et la variabilité de la répartition en surface des sels dans les zones non encore aménagées. Plusieurs auteurs notamment Tricart (1954), Mougenot(1983) et récemment Barbiero et al. (2000) ont expliqué cette répartition du sel comme étant liée au phénomène de déflation éolienne. Cette déflation éolienne se manifeste par la concentration à la surface du sol des sels qui provoquent l'apparition d'une structure poudreuse due au foisonnement par cristallisation rapide des sels tel que le gypse (Hamdi Aissa et al., 1997).

Tous ces problèmes ont incité les chercheurs du laboratoire de pédologie de l'IRD à mettre en place un programme de recherche dont l'un des objectifs est d'étudier l'évolution des sols des périmètres irrigués de la vallée du fleuve Sénégal afin d'assurer une bonne production agricole. L'évolution de ces sols ne saurait être maîtrisée sans une parfaite compréhension de certains phénomènes comme la dispersion des solutés dans les sols, c'est à dire le mode de répartition des solutés dans les sols.

C'est dans cet optique que le problème de la dispersion des solutés dans les sols, particulièrement dans les sols de Donaye et du Ngalenka, nous a été proposé. Dans cette présente étude, nous nous proposons de déterminer le coefficient de dispersion des solutés ainsi que les teneurs en eau mobile et immobile pour ces sols qui présentent une différence texturale.

En effet, les sols de Donaye sont argileux contrairement a ceux du Ngalenka qui sont beaucoup plus sableux.

La détermination de ces paramètres nous permettra de mieux comprendre l'évolution de ces sols et éventuellement de bien cerner l'impact de ces facteurs sur la qualité des sols de la moyenne vallée.

Un modèle dénommé CXTFIT2.0 sera utilisé à cet effet.

Ce présent rapport va s'articuler autour de trois parties:

- dans la première partie, nous ferons une synthèse bibliographique sur les propriétés physiques de base du sol ainsi que les mécanismes de dispersion des solutés en milieu poreux saturé;
- dans la deuxième partie il sera question de présenter la zone de prélèvement des sols étudiés de définir les méthodes d'études utilisées ainsi que la problématique de l'étude et la description du matériel;
- la troisième partie fera l'objet d'une présentation des résultats et de la discussion de ces derniers.

PREMIERE PARTIE:

***MODELISATION ET MECANISME DE DISPERSION DES SOLUTES
DANS UN MILIEU POREUX SATURE***



CHAPITRE 1 : LES PROPRIETES PHYSIQUES DE BASE DU SOL



***CHAPITRE 2 : HYDRODYNAMIQUE ET TRANSFERT D'EAU ET
DE SOLUTES EN MILIEU POREUX SATURE***

Chapitre 1 : LES PROPRIETES PHYSIQUES D'UN SOL

1. Description générale d'un sol

1.1. Relation entre la masse et les différents constituant du sol

1.1.1. Les caractéristiques intrinsèques

- a. Masse volumique du solide
- b. Masse volumique du liquide
- c. Masse volumique de l'air

1.1.2. Les caractéristiques relatives

- a. La teneur en éléments solides
- b. La teneur en eau volumique
- c. La teneur en air
- d. Le degré de saturation

1.2. Notion de structure du sol

1.3. La porosité

2. L'eau et le sol

2.1. La solution du sol

2.2. L'état énergétique de l'eau dans le sol

Chapitre 2 : HYDRODYNAMIQUE ET TRANSFERT D'EAU ET DE SOLUTES EN MILIEU POREUX SATURE

1. Hydrodynamique en milieu poreux saturé

1.1. La loi de Darcy

1.2. L'équation de continuité

1.3. L'équation générale de l'écoulement en milieu poreux saturé

2. Mécanisme et modélisation

2.1. Mécanisme de transfert des solutés

2.1.1. Diffusion moléculaire

2.1.2. Convection (ou advection)

2.1.3. Dispersion cinématique

2.2. Théorie sur la courbe d'élution

2.3. Modélisation de la dispersion des éléments non interactifs

2.3.1. Transfert convectif à travers un milieu poreux saturé

a. Convection-dispersion classique

b. Convection dispersion à deux régions d'eau et échange de soluté

2.3.2. Algorithme du problème (CDE classique)

a. Solution analytique

b. Résolution de l'équation de diffusion avec convection

2.3.3. Propriétés de la dispersion classique

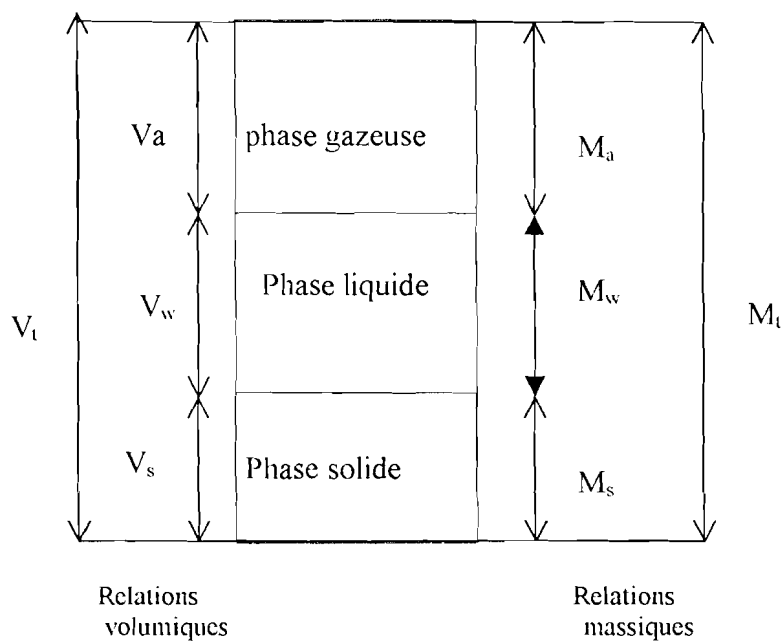
LES PROPRIETES PHYSIQUES DE BASE DES SOLS

1. Description générale d'un sol

Le sol peut être défini de manière générale comme étant le produit remanié et organisé de l'altération de la couche superficielle de la croûte terrestre essentiellement sous l'action d'agents climatiques et biologiques.

Le sol est constitué de trois phases (solide, liquide et gazeuse) comme le montre la figure 1.

La phase solide est représentée par les particules du sol, la phase liquide par l'eau du sol (ou solution du sol du fait des substances dissoutes qu'elle contient) et la phase gazeuse par l'air du sol.



V_t : volume total apparent
 V_s : volume de la phase solide
 V_w : volume de l'eau
 V_a : volume de l'air

M_t : masse totale
 M_s : masse du solide
 M_w : masse de l'eau
 M_a : masse de l'air

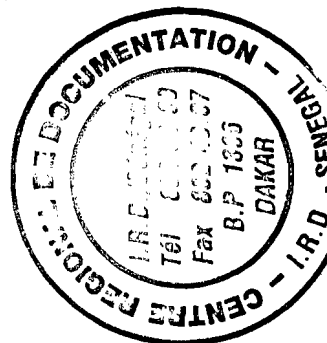


Figure 1: Représentation schématique de la constitution d'un volume de sol.

Les paramètres fondamentaux sur lesquels repose la description générale d'un sol relèvent des relations de masse et de volume caractérisant sa constitution.

1.1. Relation entre la masse et les différents constituants du sol

Le sol a des caractéristiques intrinsèques et relatives

1.1.1. Les caractéristiques intrinsèques

Elles restent invariables pour un type de sol. Elles sont exprimées par les masses volumiques des différentes phases constitutives du sol. Elles constituent de ce fait un critère de classification des sols

a . Masse volumique du solide

Elle est notée ρ_s et on a : $\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$ (1)

b . Masse volumique du liquide

Elle est notée ρ_w et on a :

$$\rho_w = \frac{M_w}{V_w} \quad (2)$$

c . Masse volumique de l'air

Elle est notée ρ_a et on a :

$$\rho_a = \frac{M_a}{V_a} \quad (3)$$

1.1.2. Les caractéristiques relatives

La distribution quantitative des trois phases du sol s'exprime par le volume total relatif qu'elles occupent, soit par le rapport de leur volume propre au volume total apparent du sol.

Les caractéristiques relatives sont les caractéristiques sur les quelles reposent les processus de transfert d'eau dans le sol. Elles sont souvent variables et influencent la conductivité hydraulique du sol selon qu'on est en milieu saturé ou non.

a . La teneur en éléments solides θ_{els}

$$\theta_{els} = \frac{V_s}{V_t} \quad (4)$$

b . La teneur en eau volumique θ ou θ_w

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} \quad (5)$$

c . La teneur en air

$$\theta = \frac{V_a}{V_t} \quad (6)$$

d . Le degré de saturation

$$S_w = \frac{V_w}{V_v} \quad (7)$$

Il exprime la proportion du volume pondéral occupé par la phase liquide. Elle varie aussi entre un minimum résiduel et la valeur de 100%. La notion de teneur en eau de saturation θ_s représente la valeur maximale de θ qui est de θ quand le milieu poreux considéré est saturé et la notion de teneur en eau résiduel θ_r qui est la valeur de la teneur en eau pour une succion infiniment grande.

Le besoin de déterminer la quantité d'eau dans un sol donné se manifeste fréquemment dans beaucoup d'études. Cette information est indispensable pour l'étude des transferts de solutés et d'eau en milieux poreux non saturé .

1.2. Analyse granulométrique et notion de texture du sol

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution de la taille des particules ou la composition granulométrique du sol. La texture du sol décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules d'un sol donné. On distingue principalement trois catégories de taille ou classe texturale: sable , limon , argile.

Le tableau suivant donne les coupures granulométriques selon les normes internationales :

argile	0 - 2 μ m
limon fin	2 - 20 μ m
limon grossier	20 - 50 μ m
sable fin	50 - 200 μ m
sable grossier	200 - 2000 μ m

Tableau 1: Les cinq fractions granulométriques

1.3. La notion de structure du sol

La structure du sol découle essentiellement de la distribution granulométrique des ces éléments solides et de l'existence des forces de nature électrostatique dues aux sites chargés de minéraux argileux et de l'humus. Elle est définie comme étant le mode d'assemblage des particules solides.

1.4. La porosité

La porosité est définie par le rapport du volume des vides au volume total apparent

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (8)$$

n = porosité totale

v_t = volume total

v_v = volume des vides

2. L'eau et le sol

2.1. La solution du sol

Bien que la solution du sol soit essentiellement constituée de molécules d'eau, elle contient également diverses substances dissoutes. Leur nature et leur concentration découlent en partie d'apports externes, mais surtout d'échanges internes avec la matrice solide du sol. La solution du sol reflète ainsi dans une certaine mesure la garniture cationique du complexe absorbant. Sa concentration en solutés, toutes espèces confondues, est très variable. Elles peut n'être que

de quelques ppm dans les régions à fortes pluviométrie, alors qu'elle peut atteindre plusieurs pourcentages dans les régions semi-arides.

2.2. L'état énergétique de l'eau dans le sol

L'état énergétique de l'eau est caractérisé par une énergie totale, soit la somme de son énergie interne mis en jeux à l'échelle atomique, de son énergie potentielle et de son énergie cinétique. Dans le cas où la vitesse de déplacement est suffisamment faible pour que l'énergie cinétique puisse être négligée (cas du mouvement de l'eau dans le sol) l'énergie utilisable pour effectuer le travail de transition provient de l'énergie potentielle. Cette énergie varie d'un milieu poreux à un autre. Cette différence d'énergie est à la base du mouvement de l'eau dans le sol. Ainsi l'eau tend à se déplacer d'un point où l'énergie potentielle est élevée vers un point où elle est basse.

D'après la Société Internationale des Sciences du Sol, le potentiel sol-eau est la quantité de travail par quantité unitaire d'eau pure requise pour transporter de façon réversible et à température constante une quantité infinitésimale d'eau à partir d'un bassin d'eau pure à une altitude donnée à la pression atmosphérique jusqu'à l'eau du sol.

Le concept de potentiel total de la phase liquide permet ainsi de quantifier son état énergétique et de décrire de manière unifiée et continue son comportement dans le système sol-planète-atmosphère. Le potentiel total s'écrit comme la somme des composantes suivantes: potentiel matriciel, le potentiel de gravité, le potentiel osmotique:

- le potentiel de pression matriciel (ϕ_p) ou succion matricielle est définie comme étant la pression manométrique négative relative à la pression du gaz extérieur sur l'eau du sol à laquelle une solution de composition identique à celle du sol doit être soumise,
- le potentiel de gravité (ϕ_g) lié à la pesanteur,
- le potentiel osmotique (ϕ_{osm}) lié à la présence des solutés.

$$\phi_{tot} = \phi_p + \phi_g + \phi_{osm} \quad (9)$$

Dans le cas le plus général, la solution du sol est considéré comme chimiquement homogène, si bien que le potentiel total se réduit aux termes de pression et de gravité, soit:

$$\phi_{tot} = \phi_p + \phi_g \quad (10)$$

Le potentiel total s'exprime sous la forme d'une énergie par unité de quantité de matière, mais, comme liquide, cette relation peut également être exprimée sous la forme d'une énergie par unité de volume, par unité de masse ou par unité de poids

$$\phi_{tot} = \rho_w gh + \rho_w gz \quad [J/m^3] \equiv Pa \quad (11)$$

$$\phi_{tot} = gh + gz \quad [J/Kg] \quad (12)$$

$$\phi_{tot} = h + z \quad [J/N] \equiv m \quad (13)$$

En exprimant ces grandeurs en colonne d'eau (potentiel par unité de poids), on obtient une nouvelle expression décrite par la relation de charge hydraulique.

h : densité d'énergie par unité de poids

z : côte du point considéré

h représente la hauteur pression effective de l'eau du sol par rapport à la pression atmosphérique et exprimé en hauteur de colonne d'eau par la relation:

$$h = \frac{P_e - P_{sat}}{\rho_e \times g} \quad (14)$$

P_e : pression absolue de l'eau du sol

P_{sat} : pression atmosphérique

ρ_e : masse volumique de l'eau

g : accélération de la pesanteur

z représente la charge gravitationnelle imposée par les forces de pesanteur (énergie potentielle par unité de poids d'eau).

Le mouvement de l'eau dans le sol dépend essentiellement de ce concept de potentiel.

HYDRODYNAMIQUE ET TRANSFERT D'EAU ET DE SOLUTES EN MILIEU POREUX SATURE

1. Hydrodynamique en milieu poreux saturé

La description de la dynamique de la phase liquide du sol repose sur l'analyse des diverses forces qui la conditionnent et de la cinématique qui en résulte. Elle peut être plus complexe, selon les caractéristiques du milieu dans lequel cette dynamique est étudiée. L'attention se porte ainsi tout d'abord sur la situation dans laquelle cette description est la plus simple, soit sur les écoulements en milieu saturé (André Musy et Marc Soutter, 1991).

Dans l'écoulement de l'eau en milieu poreux saturé les variables fondamentales sont la pression et le flux de l'eau.

Deux approches fondamentales peuvent être considérées :

- * une approche microscopique où l'on décrit l'écoulement de l'eau dans le réseau de cavités du système poral en prenant compte des forces de frottement;

- * une approche macroscopique où l'on étudie un élément de volume macroscopique dans lequel les écoulements sont considérés comme homogènes.

A l'échelle macroscopique, les écoulements peuvent être, pour la plupart, décrits par la loi de comportement hydrodynamique de Darcy.

1.1. Loi de Darcy

Cette loi stipule une proportionnalité entre le gradient de potentiel total H (ou charge hydraulique) et la densité du flux hydrique \vec{q} (ou débit par unité de section). H est la somme du potentiel de gravité et du potentiel de pression et \vec{q} est le débit par unité de surface. Le coefficient de proportionnalité entre ces deux termes définit ainsi la **conductivité hydraulique à saturation** K_s

$$\vec{q} = -K_s \vec{\nabla} H \quad (15)$$

La conductivité hydraulique à saturation reflète la résistance aux écoulements du milieu considéré dont il constitue une grandeur caractéristique.

1.2. L'équation de continuité

L'équation dynamique permet de déterminer la densité de flux en un point quelconque du sol. Pour décrire complètement le phénomène sur le plan quantitatif, il faut encore lui adjoindre l'équation de continuité qui exprime la conservation de la masse.

L'équation de continuité s'écrit:

$$\text{div } \vec{q} = 0 \quad (16)$$

1.3. Equation générale de l'écoulement en milieu saturé

Cette équation résulte de la combinaison des équations (15) et (16):

$$\vec{q} = -K_s \vec{\nabla} H \quad \text{et} \quad \text{div } \vec{q} = 0 \quad (17)$$

ce qui donne:

$$\text{div}(-K_s \vec{\nabla} H) = 0 \quad (18)$$

Le milieu étant homogène et isotrope, on a :

$$\text{div } \vec{\nabla} H = \vec{\nabla}^2 H = 0 \quad (19)$$

où $\vec{\nabla}$ est l'opérateur de Laplace ou Laplacien défini par:

$$\bar{\nabla} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (20)$$

2. Mécanisme et modélisation

2.1. Mécanisme de transfert des solutés

A partir du moment où on s'intéresse non plus seulement aux processus ou aux flux d'eau dans le milieu poreux, mais à des molécules particulières contenues dans cette eau, une description plus détaillée s'avère nécessaire.

La présence de solutés dans la phase liquide du sol découle d'une part d'apports externes (eaux de pluie et d'irrigation) et d'autre part des interactions avec la phase solide du sol.

La dynamique des solutés est caractérisée par deux mécanismes qui se produisent simultanément, le transfert par convection-dispersion qui correspond au transport des solutés par le déplacement global de la phase liquide et le transfert par diffusion moléculaire qui correspond à une homogénéisation progressive de la solution.

Dans notre cas de figure, nous utiliserons une solution de chlorure de calcium (CaCl_2), ce qui va nous permettre de suivre l'évolution de salinité à travers les mesures de conductivité électrique de la solution.

En effet, le Ca s'absorbe potentiellement sur le complexe et le chlore reste en solution.

2.1.1. Diffusion moléculaire

Les molécules en solution sont sujettes à la diffusion moléculaire. En l'absence d'écoulement, elle est le principal processus de transport des molécules. Les paramètres descriptifs sont les coefficients de diffusion dans l'eau libre D_0 et dans le milieu poreux D_p , exprimés en cm^2/h .

D_0 dépend de la concentration et de la masse des molécules, et D_p dépend en plus du milieu poreux et de sa teneur en eau.

La diffusion dans l'eau est d'environ $0.06\text{cm}^2/\text{h}$ pour les sels comme NaCl et KCl, à des concentrations comprises entre 0.01 et 0.1 mol/l.

2.1.2. Convection (ou advection)

La convection correspond au transport de solutés par l'eau en écoulement, et elle est décrite par les équations générales de l'écoulement présentées plus haut. La convection pure, sans dispersion ni diffusion, est parfois appelée **écoulement piston**.

2.1.3. Dispersion cinématique

La présence d'écoulement produit une dispersion cinématique des molécules suite au gradient de vitesse au voisinage des particules, aux écoulements transversaux et aux "détours" variables subis par différentes molécules (Nielsen et Biggar 1962). Deux molécules initialement voisines auront tendance à s'éloigner l'une de l'autre avec le temps, et ce d'autant plus rapidement que la vitesse d'écoulement est plus élevée. On utilise alors souvent une relation linéaire entre la dispersion cinématique et la vitesse d'écoulement.

2.2. Théorie sur la courbe d'élution

Dans le cas du comportement de la phase liquide d'un sol, le processus de la dispersion cinématique peut être illustré par le schéma suivant

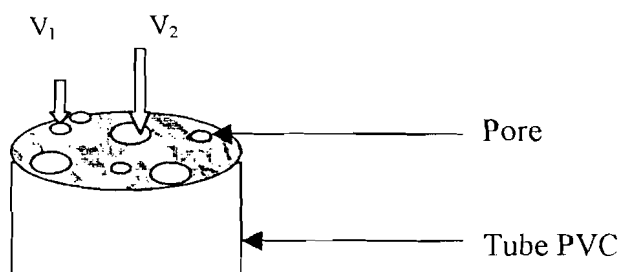


Figure 2 : Schématisation d'un système poreux

Au temps t_0 , le système poreux est parcouru par une solution non salée de concentration C_0 jusqu'à saturation totale de l'échantillon. A l'instant t ($t > 0$) la solution non salée est remplacée par une solution salée de concentration C . Du fait de l'hétérogénéité du système poreux, la vitesse d'infiltration de la solution varie d'un endroit à un autre et on note des plus grandes vitesses au niveau des petits pores comme le montre la figure 2. Ainsi donc, la solution salée occupe progressivement les pores du sol à des vitesses différentes. C'est ce qui donne une allure sigmoïdale de la courbe d'évolution de la conductivité électrique en fonction du temps, appelée **courbe d'éluion**, indiquant ainsi une augmentation progressive de celle-ci au fur et à mesure que la solution salée repousse celle non salée par effet piston.

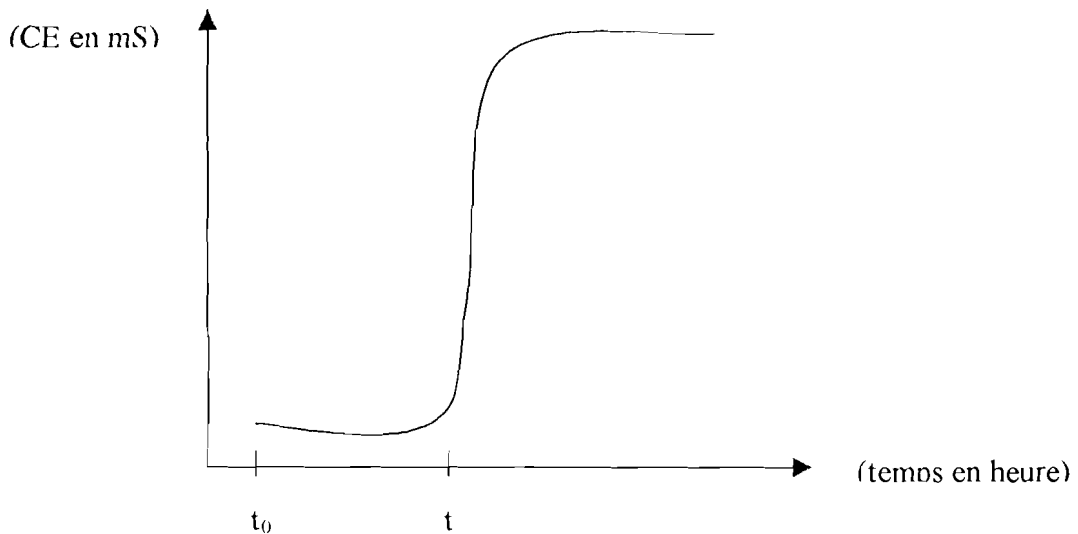


Figure 3 : courbe d'éluion : cas d'un système poreux hétérogène

Si l'ensemble des pores du sol avait la même taille le passage de la solution non salée à la solution salée serait brutal et la courbe d'éluion se présenterait sous la forme suivante :

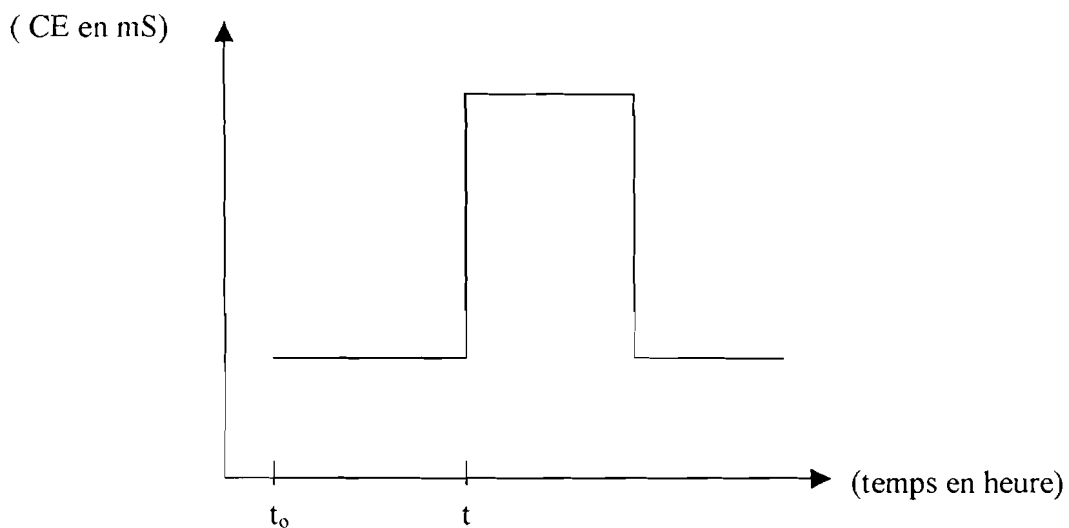


Figure 4 : courbe d'éluion : cas d'un système poreux homogène

2.3. Modélisation de la dispersion des éléments non interactifs

2.3.1. Transport convectif à travers un milieu poreux saturé

Dans Laudelout et al., (1994) on trouve un système de modélisation des transferts de solutés dans un milieu saturé non interactifs. Dans un tel milieu le transfert se fait essentiellement par convection-dispersion et par diffusion-dispersion.

2.3.1.1. Conversion dispersion classique

L'équation, générale de la convection-dispersion pour un écoulement permanent unidimensionnel est donnée par:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (21)$$

où D et v sont indépendants de x .

c : concentration (exprimée en masse par litre)

t : le temps (exprimé en heure)

D : est le coefficient de dispersion (cm^2/h)

x : la coordonnée spatiale (cm)

v : vitesse de l'eau dans le système poral, $v = \frac{V}{\phi}$ (où V est la densité de flux et ϕ la teneur en eau)

Le calcul de la dispersion est facilité si l'on se donne un système de référence spatial mobile situé au temps 0 dans le plan de séparation entre les deux liquides et se déplaçant à la vitesse de convection v . La relation entre la coordonnée x et la nouvelle x' sera:

$$x' = x - vt$$

La solution analytique doit satisfaire aux conditions initiales et aux conditions aux limites.

2.3.1.2. Convection-dispersion à deux régions d'eau et échange de soluté

Contrairement au modèle CDE (Convection - Dispersion Equation) classique, le modèle CDE à deux régions d'eau et d'échange de soluté prend en compte les zones d'eau stagnante ou des écoulements préférentiels. Ce modèle a été développé, pour rendre compte des phénomènes liés à l'eau immobile, à partir des bases de CDE, par Coats et Smith, 1964, Van Genuchten et Wierenga, 1976, Gaudet et al., 1977

Pour ce modèle les équations de base pour un écoulement permanent sont :

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} + \frac{\theta_m}{\theta} \frac{\partial C_m}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - \frac{q}{\theta_m} \frac{\partial C_m}{\partial z} \quad \text{avec} \quad \theta = \theta_m + \theta_{im} \quad (22)$$

$$\frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \frac{\alpha}{\theta_{im}} (C_m - C_{im}) \quad (23)$$

Les indices « m » et « im » se réfèrent aux régions mobile et immobile, α (h^{-1}) est le coefficient d'échange de solutés entre les deux régions d'eau. Les conditions initiales et aux limites retenues sont :

$$C_m(\infty, t) = C_{im}(\infty, t) = 0 \quad C_m(z, 0) = C_{im}(z, 0) = C_0 = 0 \quad (24)$$

$$\text{à } z = 0 : \quad -D_m \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial z} + q C_m \Big|_{z=0} = q C_0 \quad (0 < t \leq t_0) \quad (25)$$

$$= 0(t_0 < t)$$

La condition à la limite supérieure est une condition de flux. La condition initiale est la même que pour CDE. La condition à la limite inférieure diffère de celle de CDE, dans la mesure où les concentrations à l'infini sont nulles et non pas leur dérivée spatiale.

Lorsque α est petit, l'approximation $\alpha = 0$ aboutit au modèle CDE classique avec $\theta = \theta_m$, ce qui revient à considérer qu'il n'y a pas d'eau immobile

2.3.2. Algorithme du problème(CDE classique)

2.3.2.1. Solution analytique

Une solution générale s'obtient très facilement en choisissant le système de coordonnées mobiles $x' = x-vt$; l'équation de continuité décrivant le mouvement d'un soluté en milieu saturé et en l'absence de toutes réactions physico-chimiques devient:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x'^2} \quad (26)$$

La solution générale peut s'obtenir par changement de variables en remarquant que si l'on pose:

$$c(x',t) = X[x'] \cdot T[t] \quad (27)$$

avec $X =$ une fonction de x' et $T =$ une fonction de t

l'équation devient:

$$X \frac{\partial T}{\partial t} = DT \frac{\partial^2 X}{\partial x'^2} \quad (28)$$

Le développement de cette équation aboutit à des formulations extrêmement compliquées. On trouvera dans les travaux de Van Genuchten et al.(1980-1981) et de Van Genuchten et Alves (1982) un répertoire complet de ces solutions analytiques.

Dans notre cas, on utilise un échantillon de sol ne contenant pas de solutés au départ et qui est alimentée par une solution de concentration C_0 . Les conditions initiales et aux limites s'écrivent:

$$\text{à } t = 0 \quad C = C_0 \quad \text{pour } x' < 0$$

$$C = 0 \quad \text{pour } x' > 0$$

$$\text{à } t > 0 \quad C = 0 \quad \text{pour } x' \rightarrow \infty$$

avec :

$C =$ concentration

$C_0 =$ concentration à $t = 0$

$x' =$ coordonnée mobile de la concentration

En effet, ces conditions aux limites n'ont pas tenu compte des solutés contenus au départ dans le système étudié et considèrent que :

- à l'entrée du système, il n'y a pas d'échange entre la solution d'entrée et celle du sol mais il n'en est rien car en réalité ces deux solutions subissent simultanément un mélange ;
- à la sortie du système étudié, la concentration aura effectivement tendance à s'annuler mais n'atteint jamais 0 car s'ajuste progressivement à la concentration de la solution du sol.

2.3.2.2. Résolution de l'équation de diffusion avec convection

L'équation générale de diffusion avec convection s'écrit :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (32)$$

La solution de cette équation peut être cherchée pour les conditions aux limites suivantes:

$$\begin{array}{lll} c(x, t) = 0 & x > 0 & t = 0 \\ c(x, t) = C_0 & x = 0 & t > 0 \\ c(x, t) = 0 & x \rightarrow \infty & t > 0 \end{array}$$

2.3.3. Propriétés de la dispersion cinématique

Le coefficient de dispersion D (cm^2/h) et le seul paramètre du modèle CDE-classique si la teneur en eau est connue et si $R = 1$. Il ne peut être considéré comme une constante pour un milieu donné. Le coefficient de dispersion dépend des vitesses d'écoulement, il peut aussi dépendre des distances spatiales

Remarque :

Le coefficient de dispersion moléculaire n'est pas ici étudié car on le considère comme étant négligeable devant le coefficient de dispersion cinématique. En effet, le coefficient de diffusion moléculaire n'existe qu'au niveau de l'interface eau salée - eau non salée

DEUXIEME PARTIE :
MATERIEL ET METHODES



CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE



CHAPITRE 2 : PHASE PRATIQUE DE L'ETUDE

CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

1. Contexte géographique

- 1.1. Le climat
- 1.2. La végétation
- 1.3. L'hydrologie
- 1.4. Géomorphologie et pédologie

2. Problématique de l'étude

- 2.1. La salinisation
- 2.2. La sodisation
- 2.3. L'alcalinisation

CHAPITRE 2 : PHASE PRATIQUE DE L'ETUDE

1. Protocole

- 1.1. Prélèvement des échantillons

1.2. Préparation des échantillons

2. Dispositif expérimental

3. Principe de la manipulation

4. Exploitation des données

- 4.1. Traçage des courbes
- 4.2. Traitements des données
 - 4.2.1. Description du programme
 - 4.2.2. Traitement des données

4.2.2.1. Par le modèle CDE classique

4.2.2.2. Par le modèle CDE à deux régions

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE

1. Contexte géographique

La zone de Donaye est située dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal et se localise à dix kilomètres à l'est de Podor entre le fleuve et un de ses bras, le Doué (fig 5 et figure 6).

La parcelle étudiée fait partie du périmètre irrigué IT1 (fig 6). Le sol y est de nature argileuse jusqu'à 2.50m de profondeur puis sablonneux sur 5 à 6m.

Quant à la zone du Ngalenka, elle est localisée au Sud de la cuvette de Nianga et s'étend de Ndiayène à Tarédji. Elle est limitée au Sud par la route nationale ST-Louis Bakel et au Nord-Ouest par les périmètres irrigués de Nianga (fig 6)

1.1. Le climat

Cette région s'insère dans la partie sud de la zone sahéenne directement menacée par la désertification. Le climat de type sahélo-saharien est caractérisé par l'alternance de deux saisons: une saison des pluies qui dure trois mois (d'Août à Octobre) pendant laquelle les précipitations ne dépassent pas 300mm et une saison sèche qui couvre le reste de l'année. Pendant la saison sèche un vent chaud et sec appelé harmattan accentue l'évaporation et diminue l'humidité relative.

1.2. La végétation

Sur la végétation de la moyenne vallée, il est retenu que:

A l'intérieur de la zone inondable occupant la bordure du lit majeur, la couverture végétale naturelle des sols de la moyenne vallée est caractérisée par un peuplement arboré et arbustif clair typique de la zone sahélo-soudannienne (*Acacia radiana*, *Balates aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*,...).

Dans la vallée proprement dite, un peuplement hydrophile en voie de dégradation accélérée occupe la zone alluviale basse (*Acacia nilotica*,...).

De moins en moins résistante au stress hydrique et à la présence des sels dans le sol, la séquence hydrique sera, des abords du fleuve à l'intérieur du pays : palétuviers, *Tamaris senegalensis*, *Prosopis juliflora*, *Acacia senegalensis* pour les espèces arbustives et arborées; et *Sueda fruticosa*, *Arthrocnemum glaucum*, *Phloxerus vermicularis*, *Borreria verticillata*, *Indigofera oblongifolia* pour les espèces herbacées.

1.3. Hydrologie

Le réseau hydrographique de la région du fleuve est représenté par la région du fleuve qui prend sa source dans le Fouta-Djallon et s'en éloigne en sillonnant vers l'océan Atlantique au niveau de Saint-Louis. Le bassin du fleuve Sénégal peut être subdivisé en trois parties: le haut bassin, la vallée alluviale et le delta .

Avant la mise en service des barrages de Diama et de Manantali, le régime du fleuve dépendait essentiellement de la pluviométrie. Le fleuve atteignait son plus haut niveau en saison des pluies et débordait dans la vallée. Son plus bas niveau était atteint en saison sèche entraînant ainsi une remontée d'eau salée en provenance de la mer jusqu'à plus de 300km de l'embouchure.

L'avènement des barrages de Diama et de Manantali a profondément changé le régime du fleuve. Manantali joue le rôle de canalisation des eaux de pluie tandis que Diama empêche la remontée de la langue salée. Ce nouveau mode de gestion des eaux a permis de stabiliser le niveau du fleuve et d'offrir en permanence de l'eau douce pour la culture irriguée.

1.4. Géomorphologie et pédologie

La dernière transgression (1800BP) a permis au golfe marin de remonter jusqu'à Bogué. La mer

a laissé en place des sédiments sablo-limoneux et des sels (Michel, 1973). Les sédiments fluviaux venus de la haute Guinée ont été déposés formant un dépôt alluvionnaire constitué d'argiles jeunes peu évoluées.

En raison de la pente très faible, le fleuve a un parcours sinueux et se divise en de nombreux bras dont le plus important est le Doué (fig 6). Les différents bras ont été édifiés en bourrelets de berge, de texture mélangée, et des cuvettes de décantation des eaux de crue se sont formées.

Le mode de mise en place du fleuve et de ces bras est responsable de la morphologie des sols de la vallée; c'est ainsi qu'on distingue:

les cuvettes de décantation localisées dans les parties les plus basses dont les sols sont vertiques et aptes à la riziculture et à la polyculture. Ces sols sont plus connus sous le terme de "hollaldé";

les deltas de rupture avec des sols riches en limons et sables;

les levées subactuelles dont les sols sont également riches en limons et sables;

les petites levées localisées sur les bordures des cuvettes de décantation dont les sols sont des sols hydromorphes à pseudogley;

les hautes levées où les sols sont peu évolués et sont d'apport alluvial avec une teneur en argile comprise entre 10 à 30% aptes à la polyculture. Les sols de hautes levées sont plus connus sous le terme de "fondé".

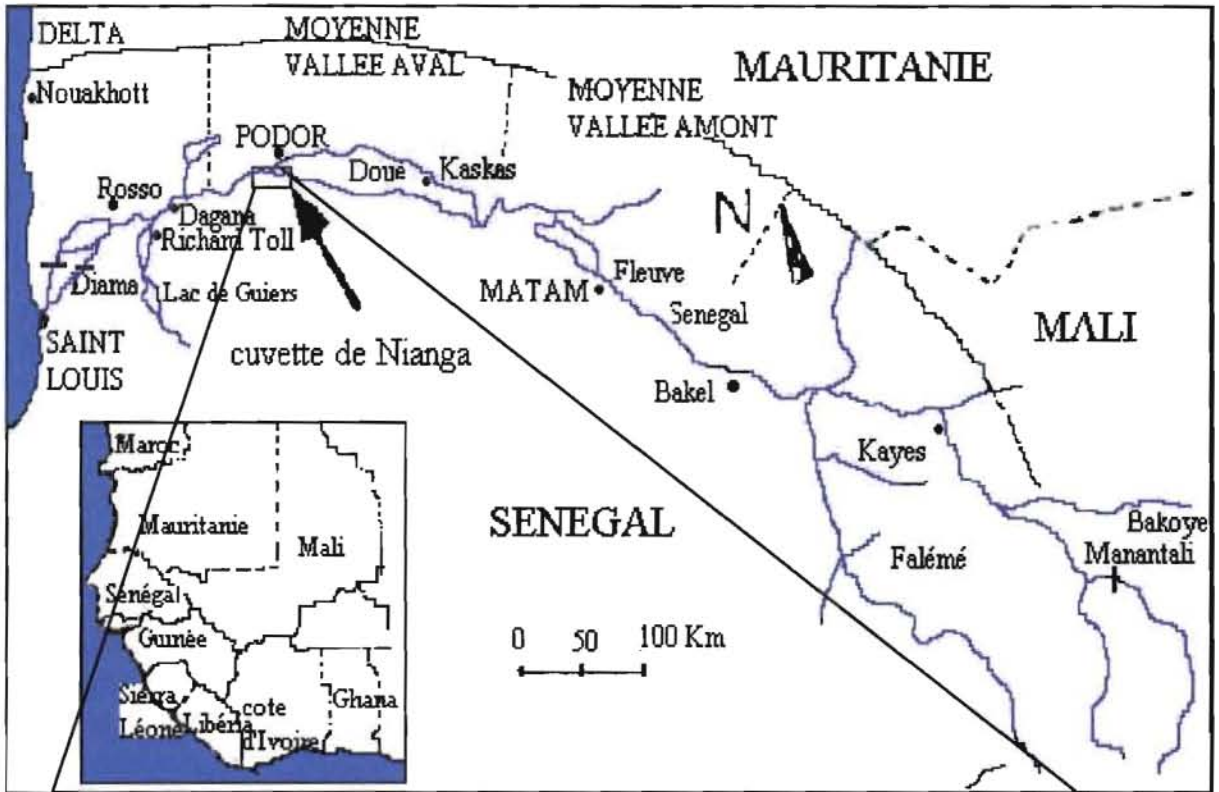


Figure n°5 : Situation de Podor dans la vallée du fleuve Sénégal
(Extrait de Laboratoire de Nianga 1995)

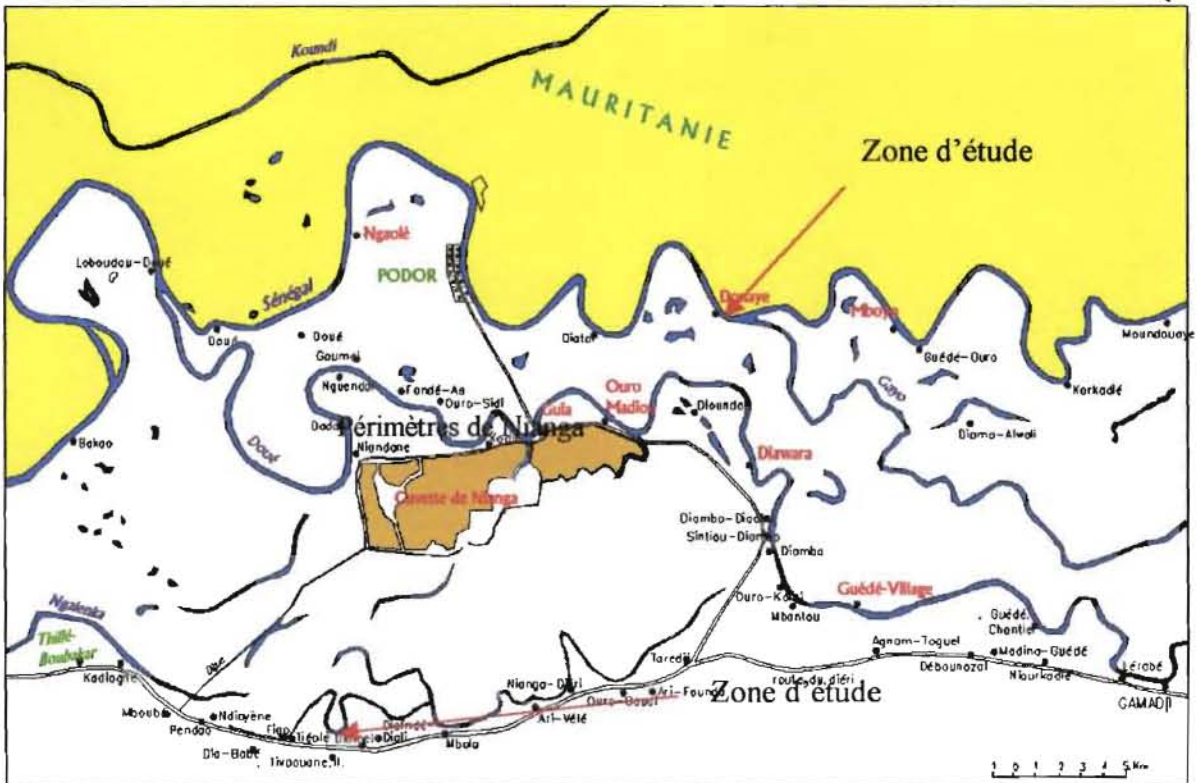


Figure n°6 : Localisation des sites d'études

2. Problématique de l'étude

Les sols de la région de Podor sont caractérisés par un risque de dégradation se manifestant par une salinisation, une alcalinisation et une sodisation. Ceci rend ces sols défavorables à l'agriculture.

2.1. La salinisation

Elle est définie comme étant l'ensemble des mécanismes suivant les quels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert le caractère salé. La salinité d'un sol est évaluée par sa conductivité électrique (CE) exprimée en siemens/cm (S/cm)

Cette salinisation aurait deux origines principales:

→ une origine primaire (salinisation primaire); d'après l'histoire géologique de la région c'est après le départ de la transgression marine du Nouackchotien (5500ansBP) que la mer a laissé des dépôts sableux sédimentés en milieu marin gorgés de sel;

→ une origine anthropique (salinisation secondaire), cette salinisation serait liée à la valorisation des surfaces par l'irrigation. Deux hypothèses sont posées:

- l'utilisation d'une eau faiblement salée mais qui, en l'absence de drainage ou de ruissellement et à la faveur d'une forte évaporation, s'accumule et concentre les sels dans le sol.
- des apports d'eau en quantité trop importante qui en l'absence d'un bon drainage provoque une remontée de la nappe salée.

2.2. La sodisation

L'augmentation de la teneur en sodium dans le complexe d'échange des sols entraîne une concentration de la solution du sol par évaporation ou par blocage du calcium sous forme de calcite. Ce phénomène est appelé **sodisation** et est à l'origine de changements de propriétés physiques des sols entraînant ainsi une diminution de la perméabilité et de la porosité des sols par le gonflement et la dispersion des colloïdes.

2.3. L'alcalinisation

Cette forme de dégradation des sols est essentiellement due à l'augmentation des alcalins dans la solution du sol et se manifeste par des valeurs de pH élevées. Son origine peut être liée à la qualité de l'eau d'irrigation utilisé

PHASE PRATIQUE DE L'ETUDE

1. PROTOCOLE

1.1. Prélèvement de l'échantillon

Le prélèvement se fait par un appareil appelé préleveur (figure 4) constitué d'un emporte-pièce sur lequel est vissé un cylindre en acier surmonté d'une pièce biseautée qui permet de prélever l'échantillon de sol sans changer ses propriétés physiques. Pour effectuer un prélèvement, on incorpore dans le cylindre un tube PVC sur lequel on inscrit les références de l'échantillon (lieu et niveau de prélèvement) et dont la face interne est revêtue d'une membrane imperméable qui servira à contenir l'échantillon. La deuxième phase consiste à poser le préleveur sur le sol par l'intermédiaire de la pièce biseautée puis à taper sur l'emporte-pièce à l'aide d'un marteau pour enfoncer la pièce dans le sol. Lorsque le cylindre est rempli de sol, l'opération est arrêtée pour éviter un éventuel tassement de l'échantillon. Outre la facilitation de la pénétration du préleveur dans le sol, la pièce biseautée permet également de découper l'échantillon une fois l'opération finie. La taille des échantillons prélevés est généralement de l'ordre de 6.5 cm. L'échantillon ainsi prélevé est soigneusement conservé dans ces tubes PVC et mis dans des caissons revêtus de mousse pour empêcher leur destruction lors du transport.

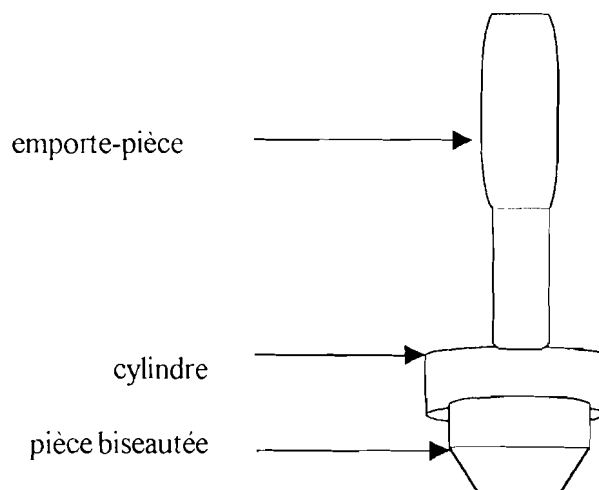


Figure 7 : Schéma d'un préleveur

Remarque :

Pour les expériences le choix des échantillons est important.

En effet les meilleurs échantillons sont:

- ceux qui ne sont pas tassés;
- ceux qui présentent une surface de rupture plane.

1.2. Préparation de l'échantillon

Elle consiste à:

- enduire l'échantillon de colle néoprène qui a les propriétés de suivre les déformations de l'échantillon, elle sert de couverture imperméable et permet une parfaite adhésion de la membrane élastique sur l'échantillon;
- emballer l'échantillon dans une membrane élastique et imperméable pour empêcher le drainage sur les bords de l'échantillon;

- mettre l'ensemble dans un tube PVC plus long que l'échantillon pour permettre un éventuel gonflement de celui-ci lors de la manipulation et rabattre les extrémités libres de la membrane élastique sur celles du tube ;
- coller ces deux éléments par du skotch afin de permettre une libre circulation de la solution à travers l'échantillon, aussi bien à l'entrée qu'à la sortie;
- fermer la partie inférieure du tube PVC par un capuchon à deux orifices, l'un permet l'évacuation de solution d'entrée et l'autre favorise la sortie de l'air avant saturation de l'échantillon.
- saturer l'échantillon par une eau non salée dans un becher pendant 24h;
- fermer la partie supérieure du tube PVC par un autre capuchon muni d'un seul orifice permettant la sortie la solution qui traverse l'échantillon (figure 5).

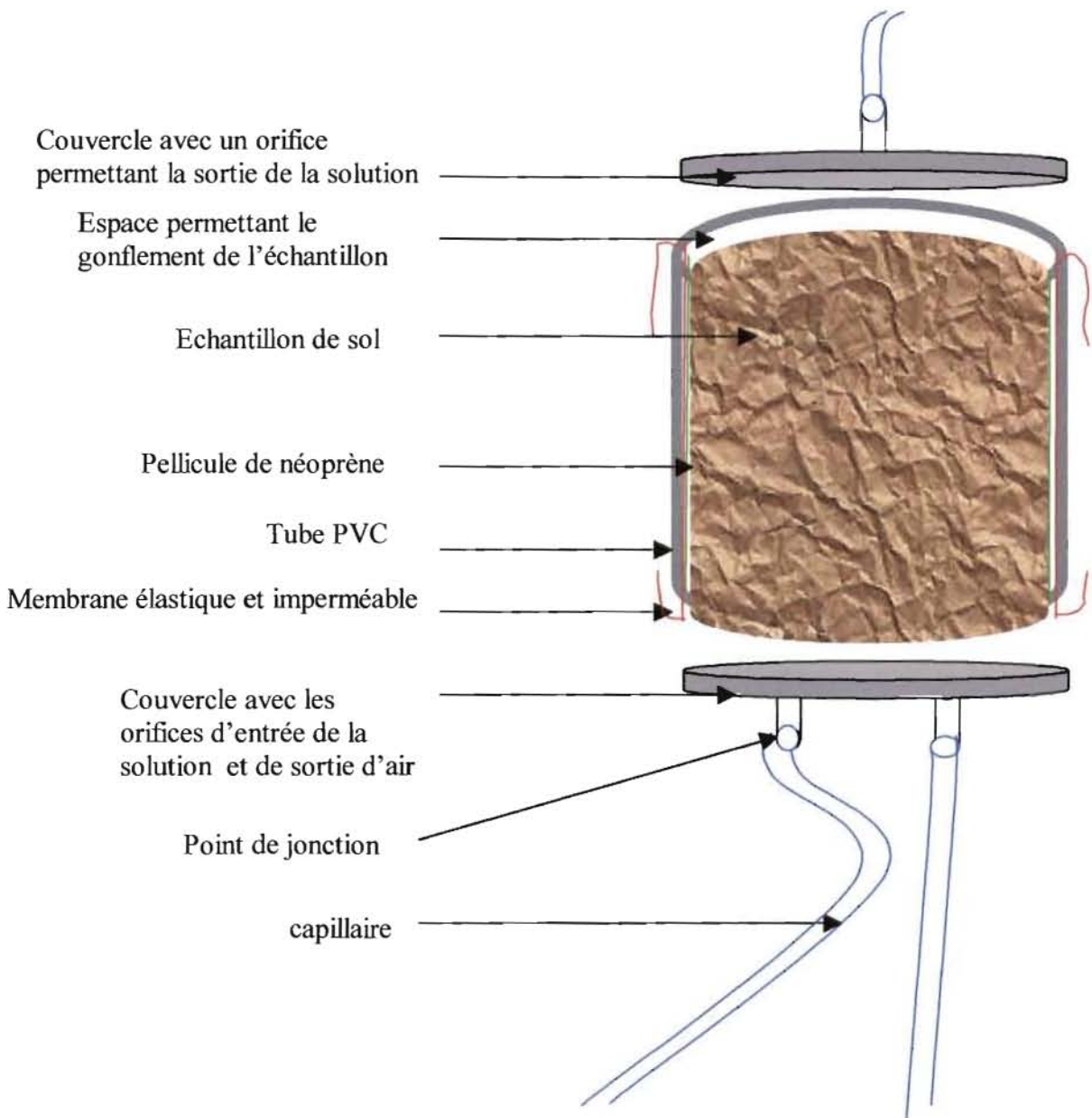


Figure 8 : Coupe longitudinale d'un échantillon déjà préparé à la manipulation

2. Dispositif expérimental

Pour saturer l'échantillon de sable et fractionner la solution d'élution, une pompe péristaltique et un robot Xy ont été mis à notre disposition.

En effet :

- la pompe est une pompe péristaltique (mini plus 2; de marque GILSON) réglable à une vitesse constante et qui sert à alimenter l'échantillon de sol en eau avec un débit constant, le réglage de la pompe est fonction des propriétés hydrauliques du sol avec lequel on travaille. Ainsi on doit régler la pompe de sorte à la faire fonctionner avec un débit inférieur à celui calculé avec la perméabilité du sol à saturation concerné;
- le robot XY composé d'un plateau qui peut contenir jusqu'à 160 godets (petits récipients qui recueillent l'eau traversant l'échantillon), est muni d'un appareil qui sert à programmer le temps de pause c'est à dire le temps que mettra le robot sur un godet avant de passer à un autre;
- après fractionnement de la solution d'élution, on mesure la conductivité électrique de celle-ci par un conductivimètre

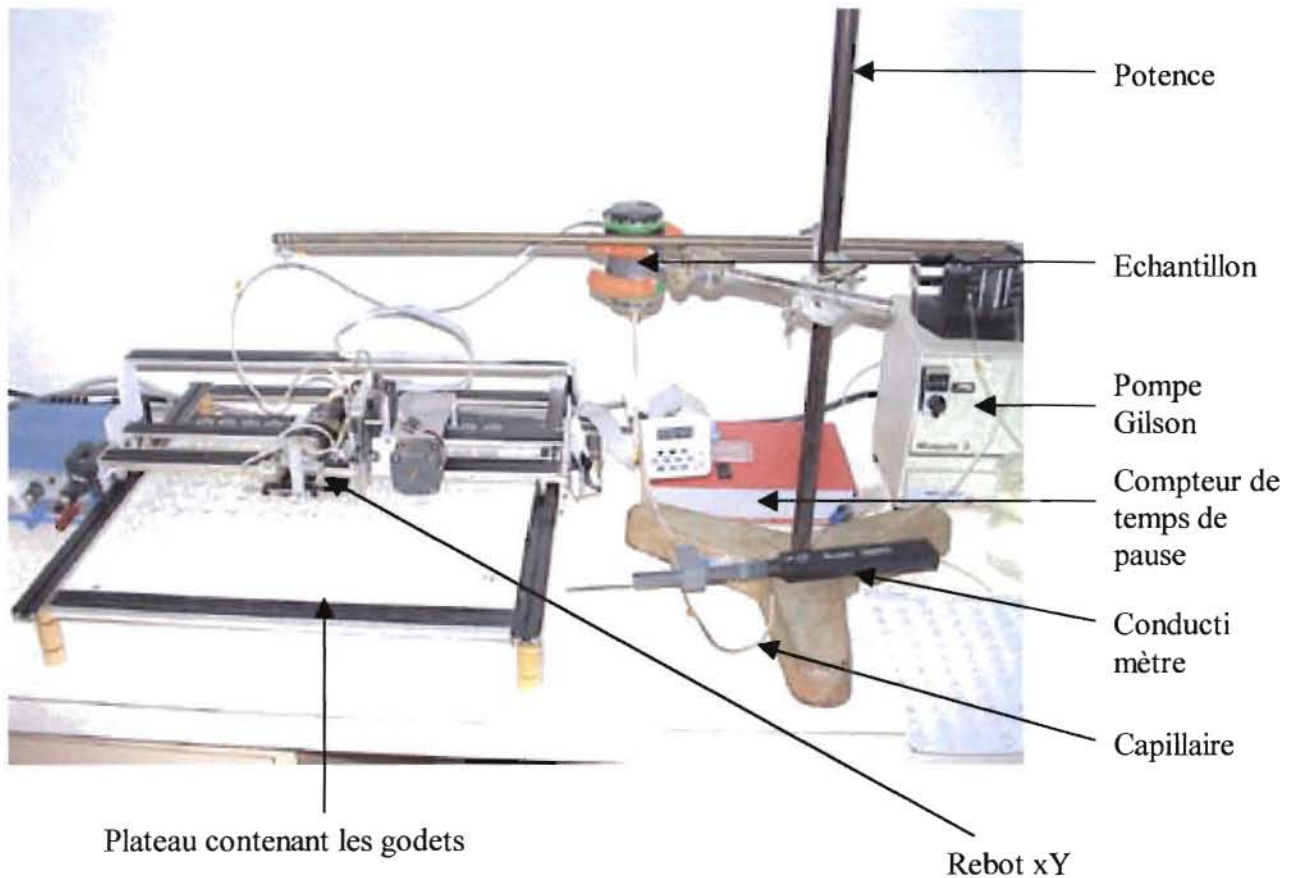


Figure 9: Schéma du dispositif expérimental

3. Principe de la manipulation

Le principe consiste à suivre l'évolution de la conductivité électrique de la solution d'un sol pour lequel on a initialement saturé avec une eau à conductivité hydraulique connue (eau du Doué).

N.B. : en raison des besoins de notre manipulation, et pour mieux se rapprocher de la composition chimique de l'eau du Doué, une eau dont la composition chimique est la suivante a été reconstituée au laboratoire

CaSO ₄	0.025mmol/l	3.404mg/l	34.036mg/10l
MgCO ₃	1.200mmol/l	101.172mg/l	1011.720mg/10l
CaCO ₃	0.415mmol/l	41.533mg/l	415.332mg/10l
NaHCO ₃	4.860mmol/l	408.270mg/l	4082.700mg/10l
KCl	0.040mmol/l	2.982mg/l	29.820mg/10l
NaCl	0.010mmol/l	0.5844mg/l	5.844mg/10l

Tableau 2 : Tableau des concentrations des constituants de l'eau reconstituée du Doué

De façon concrète, il s'agit de:

- l'imbiber l'échantillon par une eau non salée(eau du Doué) afin de le saturer et de le mettre dans ses conditions initiales (tel qu'il était pris sur le terrain) par l'intermédiaire de la pompe, cette eau après avoir traversé l'échantillon est recueillie au niveau des godets par l'intermédiaire du robot XY;
- mesurer la conductivité électrique de l'eau contenue dans le dernier godet de remplissage;
- remplacer cette eau non salée par une eau salée (solution de CaCl₂ 2H₂O à 6.02g/l) lorsque la conductivité électrique de la solution contenue dans le dernier godet atteint celle de l'eau du Doué;
- mesurer à nouveau la conductivité électrique de l'eau recueillie dans le dernier godet de remplissage;
- remplacer l'eau salée par l'eau non salée lorsque la conductivité électrique de la solution contenue dans le dernier godet atteint celle de la solution salée;
- arrêter la manipulation lorsqu'on retrouve la conductivité de l'eau non salée;
- procéder à une série de mesure de conductivité électrique et de volume d'eau recueillie au niveau de chaque godet

L'appareil servant à mesurer la conductivité électrique est le conductimètre.

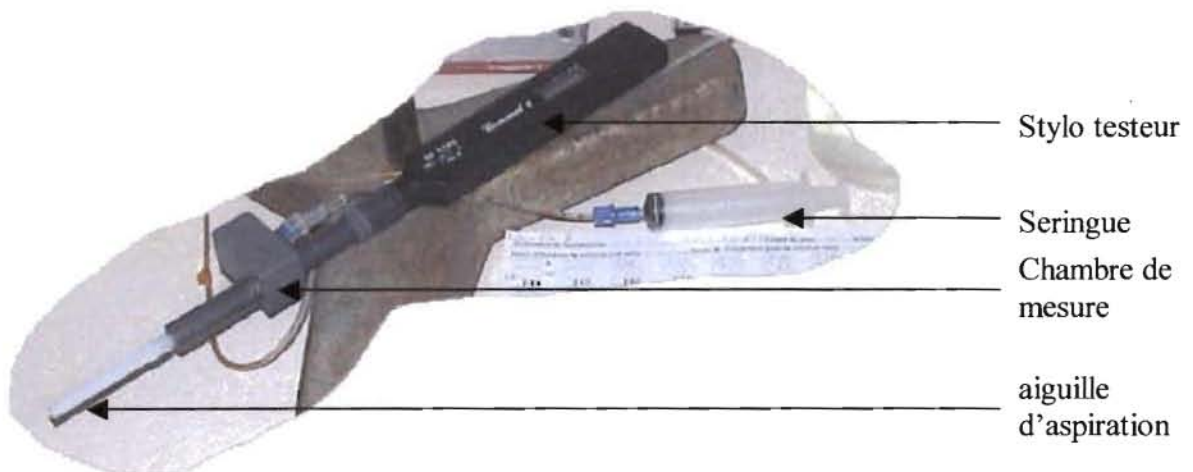


Figure 10: Schéma d'un conductimètre

Références du conductimètre : Connet 2
 HI 3292
 ATC Conductivity
 Probe

Il s'agit en effet d'un conductimètre portable comportant un stylo testeur qui mesure des conductivités faibles (entre 0 à 19.99mS/cm).L'appareil a été modifié pour l'adapter aux conditions de notre expérimentation ; la partie terminale du stylo testeur a été ainsi remplacée par une aiguille d'aspiration fixée sur une cellule qui sert de chambre à l'eau qu'on veut mesurer sa conductivité.

Les mesures se font par ordre de conductivité croissante pour éviter toute contamination et chaque godet constitue un point de mesure. Après chaque série de mesures, il est conseillé de bien rincer le conductimètre avec de l'eau distillée. Il faut également, après chaque manipulation, vider les godets , les rincer avec de l'eau distillée puis les sécher avant de les réutiliser.

Le volume de solution pour chaque fraction quant à lui est mesuré à partir de la balance électrique.

A partir des mesures de conductivité et de volume d'eau réalisés, on trace des courbes d'élution qui correspondent à la variation de conductivité électrique en fonction du temps ainsi que des courbes de variation de volume en fonction du temps

A chaque niveau du profil du sol de Donaye, on a prélevé un échantillon et on fait deux fois cette manipulation sur chaque échantillon d'un horizon. Ceci nous permettra d'appréhender le comportement général de ce profil vis-à-vis de la salinité.

Avant de lancer les manipulations, on a calculé le débit avec le quel on doit caler la pompe et le volume dont on doit disposer pour mener à terme la manipulation.

* Calcul du débit

Ce débit est la quantité d'eau qui traverse la section transversale de l'échantillon par unité de temps. En supposant que le gradient hydraulique est égale à l'unité, on obtient d'après la loi de Darcy:

$$Q = -KS_i \quad \text{avec:} \quad (33)$$

Ici le gradient hydraulique i est égale à l'unité.

Q le débit ; K la conductivité hydraulique de l'échantillon ; S la surface de la section et i le gradient hydraulique.

Dans le rapport d'Eric Barrès (Septembre , 2001) on trouve les caractéristiques hydrodynamiques des différents horizons du profil de sol de Donaye comme l'indique le tableau suivant:

Horizon	0-10cm	10-20cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm	100-120 cm
K_s (10^{-4} cm/s)	3.8	1.24	0.349	0.151	0.464	0.464	0.464

Tableau 3 : Tableau des K_s en fonction des horizons

La porosité est considérée constante dans tout le profil et est égale à 0.35.

Pour une approche plus simple des calculs, la conductivité hydraulique du sol à saturation est choisie comme étant la moyenne des K_S proposés pour chaque horizon dans le tableau ci-dessus. Elle vaut 0.432 cm/h soit $7.2 \cdot 10^{-2}$ mm/min.

Les échantillons avec les quels on travaille ont pour rayon $r = 20$ mm.

Ainsi donc, on a :

$$S = \pi R^2 \quad (34)$$

Il vient dès lors,

$$Q = K \pi R^2 i \quad (35)$$

si $i = 1$, on a :

$$\begin{aligned} Q &= 7.2 \cdot 10^{-2} \times 3.14 \times (20)^2 \times 1 \\ &= 90.43 \cdot 10^{-6} \text{ l/h} \end{aligned}$$

soit

$$Q = 0.09 \text{ ml/min}$$

avec :

Q le débit (en ml/min)

R le rayon de l'échantillon (en mm)

K la conductivité hydraulique du sol où a été prélevé l'échantillon

i le gradient hydraulique

S la surface de la section transversale de l'échantillon (en mm^2)

* Calcul du volume nécessaire pour la manipulation

Ce volume est fonction du volume des vides de l'échantillon d'une part et du volume retenu dans les capillaires d' autre part. Ainsi pour calculer le volume nécessaire pour la manipulation, il suffit de calculer le double du volume des vides au quel on ajoute les volumes morts correspondant.

Pour le sol du Ngalenka, les caractéristiques hydrodynamiques sont illustrées en détail dans le rapport de Matar Ndao et donnent les valeurs suivantes :

Site	Numéros de mesure	θ_s	K_S (cm/j)	θ_s moyenne	K_S moyenne (cm/j)
Site 1 en surface	3	0.330	0.63	0.307	0.506
	4	0.327	0.326		
	5	0.299	0.271		
Site 2 en surface	2	0.294	0.552	0.334	0.758
	3	0.272	0.153		
	4	0.321	1.107		
Site 1 en profondeur	1	0.281	1.033	0.334	0.758
	2	0.298	0.579		
	3	0.397	0.601		
Site 2 en profondeur	1	0.306	0.904	0.334	0.758
	2	0.387	0.8		
	2	0.339	1.027		

Tableau 4 : Les paramètres hydrodynamiques du sol du Ngalenka

Ces valeurs sont les mesures faites sur le terrain, mais dans la pratique, elles n'ont pu être utilisées parce qu'elles ont donné des vitesses d'infiltration qui entraînent un drainage de particules de l'échantillon. La vitesse qui allait mieux pour notre manipulation est celle calculée plus haut.

4. Exploitation des données

4.1. traçage des courbes

Après avoir fait toutes les mesures de conductivité électrique pour une manipulation, on utilise le programme excel pour tracer les courbes $E_c = f(t)$ et $V = f(t)$ à partir des valeurs de conductivité et de volume mesurées.

Ces courbes feront ensuite l'objet d'un traitement par un programme dénommé « CXTFIT , version 2.0 ».

4.2. Traitement des données

4.2.1. Description du modèle

Le programme CXTFIT, Version 2.0 (N.Toride, F. J. Leij et M. Th. Van Genuchten, 1995) traite à la fois de l'estimation des paramètres de transport des solutés à partir des concentrations observées (problème inverse) et de celle de la concentration des solutés (problème direct) en utilisant la convection-dispersion comme modèle de transport.

Trois modèles de transport différents composent ce programme :

i) le modèle de convection-dispersion classique CDE .

Ce modèle est basé sur l'équation de convection dispersion donnée par :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad ; \quad (36)$$

et considère un régime d'écoulement unidirectionnel des solutés non réactifs

ii) le modèle avec des conditions de non-équilibre où l'eau considère deux régions à savoir : une partie de volume poreux où l'eau est mobile et une fraction immobile.

L'équation sur laquelle se base ce modèle est donnée par la relation suivante :

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} + \frac{\theta_m}{\theta} \frac{\partial C_m}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - \frac{q}{\theta m} \frac{\partial C_m}{\partial z} \quad \text{avec} \quad \theta = \theta_m + \theta_{im} \quad (37)$$

Les deux premiers modèles seront utilisés pour résoudre le problème inverse avec lequel on nous allons traiter nos afin d'estimer les paramètres de transport des solutés à savoir : D le coefficient de dispersion, V la vitesse d'infiltration, θ_m la teneur en eau mobile et θ_{im} la teneur en eau immobile.

4.2.2. Traitement des données

4.2.2.1. Par le modèle CDE classique

A partir des valeurs de conductivité électrique obtenues par la manipulation, le modèle CDE classique ajuste la courbe $E_c = f(t)$ et calcule en même temps le coefficient de dispersion D et la vitesse d'infiltration V à partir de l'équation (36).

L'ajustement consiste à retracer la courbe théorique qu'aurait donné ces valeurs de E_c avec les conditions aux limites auxquelles elles sont soumises. Tableaux 5 et 6

Plus l'ajustement est bon, plus la différence entre les valeurs observées et les valeurs ajustées est petite et mieux le résultat est correct.

4.2.2.2. Par le modèle CDE à deux régions

Le principe est le même, seulement dans ce cas, en plus du coefficient de dispersion, le modèle calcule aussi deux autres paramètres que sont β et ω avec :

$$\beta = \frac{\theta_m + f\rho_b K_d}{\theta + \rho_b K_d} \quad (38)$$

mais puisque ρ_b (coefficient d'adsorption) est nulle, on a :

$$\beta = \frac{\theta_m}{\theta} \quad (39)$$

et

$$\omega = \frac{\alpha L}{\theta v} \quad (40)$$

où $\theta = \theta_m + \theta_{im}$

Connaissant β et ω , on peut facilement calculer θ_m et θ_{im} , autrement dit,

$$\theta_m = \beta\theta \quad \text{et} \quad \theta_{im} = \theta(1 - \beta)$$

α : coefficient d'échange (T^{-1}) entre les fractions d'eau immobile et mobile

β : coefficient de partage

f : flux moyen

K_d : coefficient de distribution de l'adsorption linéaire ($M^{-1}L^3$)

L : longueur (L)

v : vitesse d'infiltration (LT^{-1})

ω : coefficient de transfert de masse

θ : teneur en eau de saturation (ici c'est la porosité)

θ_m : teneur en eau mobile

θ_{im} : teneur en eau immobile

ρ_b : masse volumique (ML^{-3})

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS



Chapitre 1 : Résultats



Chapitre 2 : Synthèse et discussions

Chapitre 1 : RESULTATS

1. Résultats expérimentaux

2. Résultats du modèle

2.1. Modèle CDE classique

2.2 .Modèle CDE à deux régions

Chapitre 2 : SYNTHESE ET DISCUSSIONS

RESULTATS

1. Résultats expérimentaux

Les résultats des expériences faites sur les sols de Donaye et du Ngalenka, et dont le protocole et le principe sont décrits précédemment, sont récapitulés par les figures (11) et (12).

Ces figures nous montrent respectivement les courbes d'évolution de la conductivité électrique CE (en mS) et du volume V (en ml) de solution recueilli en fonction du temps t (en mn) à différentes profondeurs pour les sols de Donaye et du Ngalenka.

Ainsi, nous observons que :

Au début de la manipulation, lorsqu'on envoie la solution non salée, la CE du sol reste faible et est égale à celle de cette même solution ;

La CE va augmenter progressivement et atteint une valeur maximale vers 10mS pour les sols de Donaye et 11mS pour ceux du Ngalenka lorsqu'on introduit la solution salée. Ce maximum est atteint lorsque le sol est entièrement imbibé par la solution salée qui va progressivement remplacer la solution non salée (qui a servi à saturer l'échantillon et la mettre sur les conditions du terrain) dans les pores de l'échantillon de sol ;

Le remplacement de la solution salée par la solution non salée entraîne une chute progressive de la CE jusqu'à sa valeur initiale.

Quant au volume d'eau recueilli, sa variation est lente et sa valeur dépasse rarement 2ml . Cette valeur est étroitement liée aux conditions initiales à savoir le débit Q et le temps de pause t qui sont relativement faibles.

Une chute du volume d'eau recueilli entraîne souvent une augmentation de la CE.

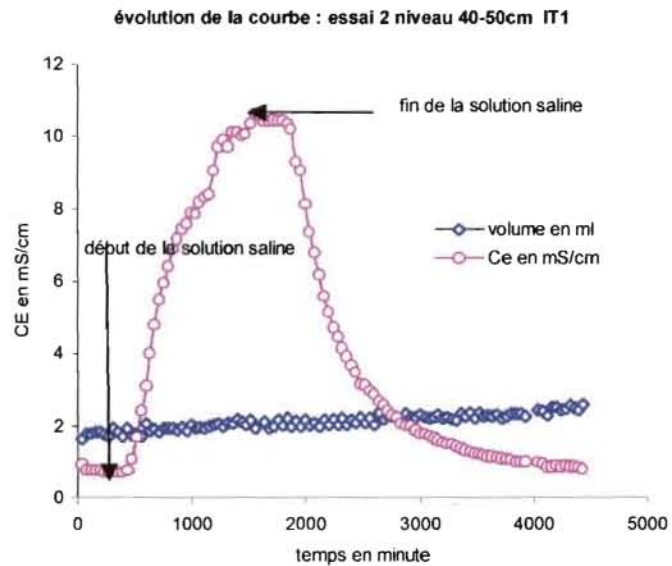
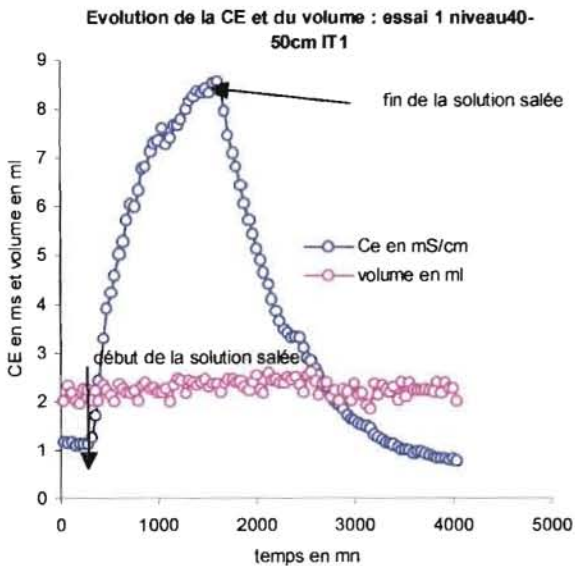
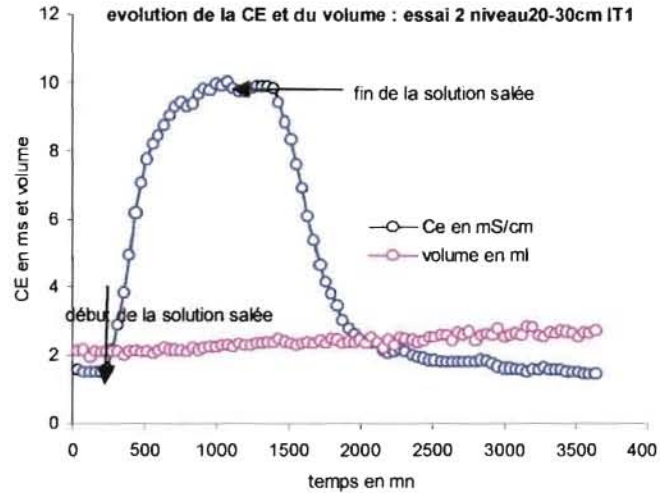
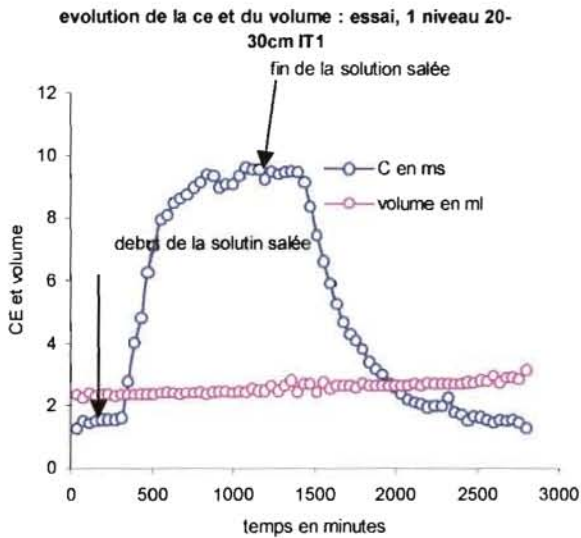
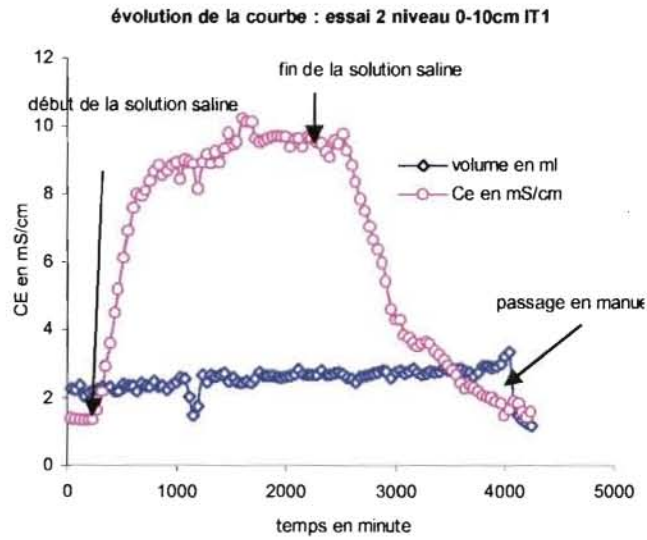
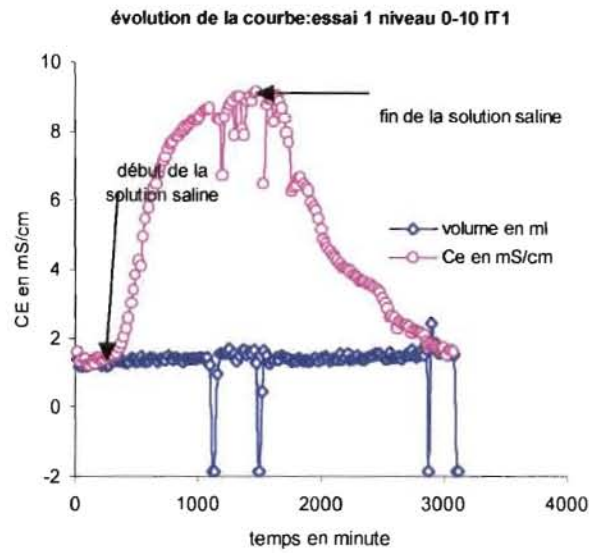


Figure 11: courbes d'évolution de $EC = f(t)$ et $V = f(t)$ aux différents niveaux du sol de Donaye

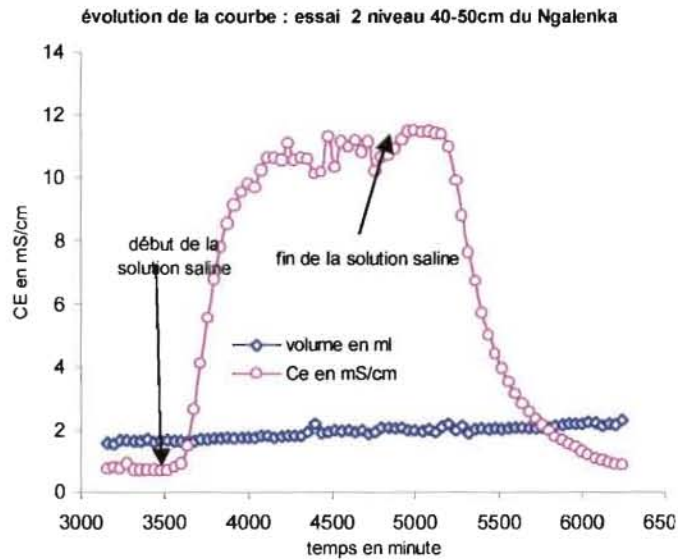
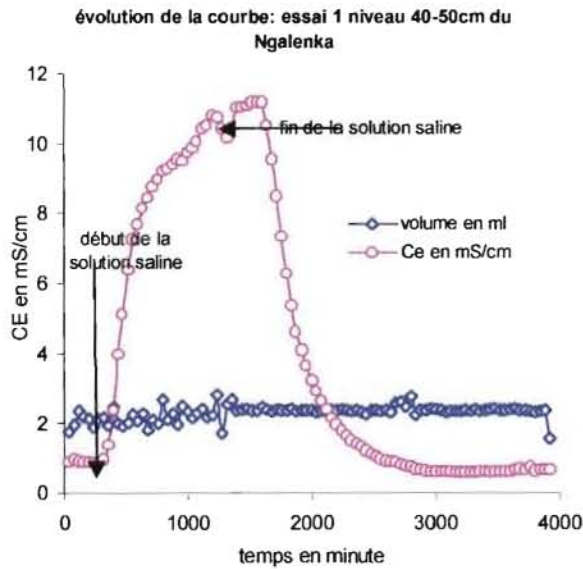
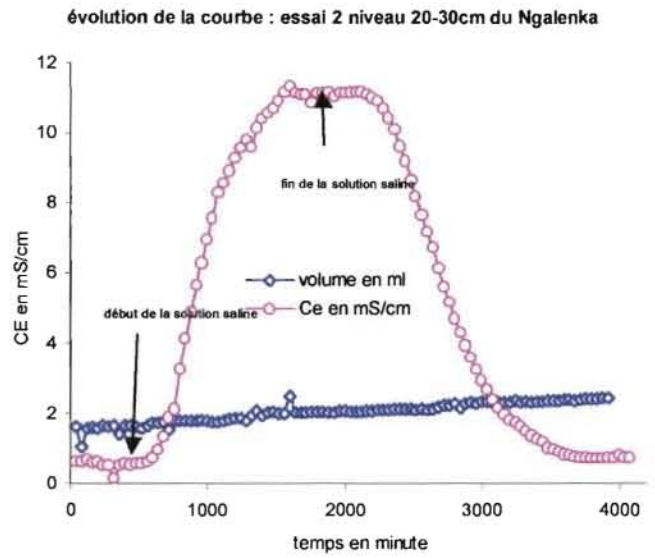
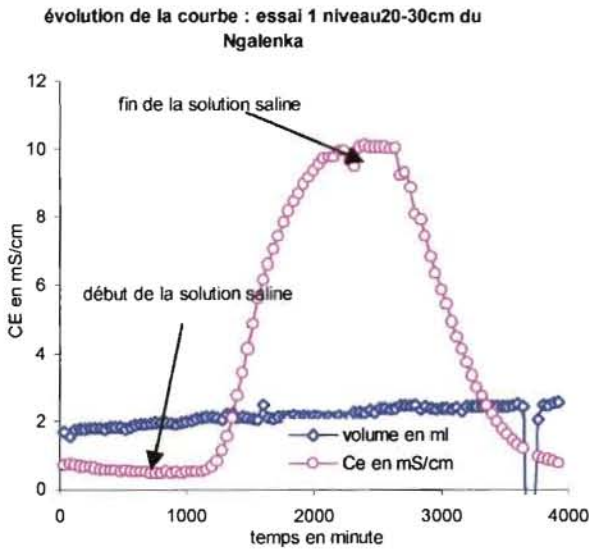
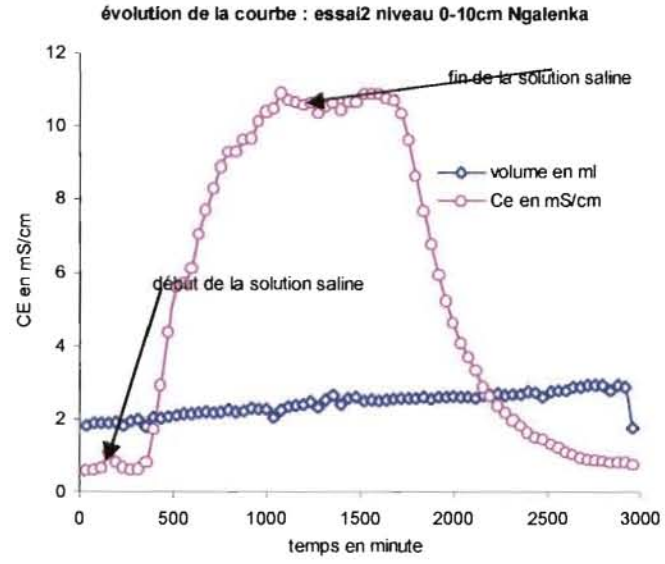
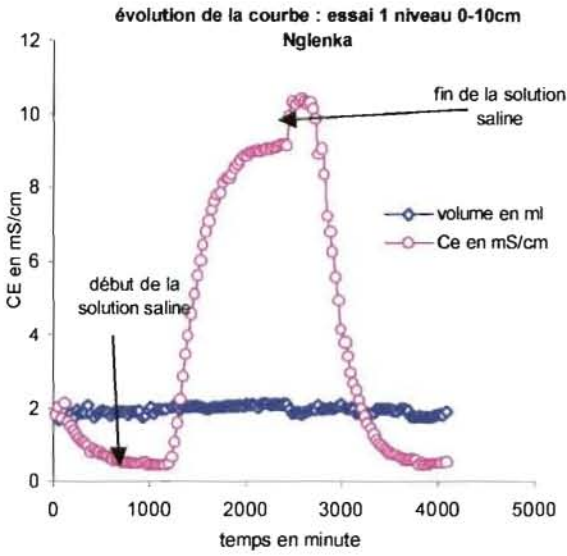


Figure 12: Courbes d'évolution de EC = f(t) et V = f(t) aux différents niveaux du sol du Ngalenka

Les résultats expérimentaux donnent les données d'entrée du modèle CDE classique dont les valeurs sont récapitulées dans le tableau suivant :

it 100 essai 1 niveau 0-10cm			
fixe		libre	
V = 1.0004	C = 9.14	$22 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

it 150 essai 2 niveau 20-30cm			
fixe		libre	
V = 0.973	C = 9.97	$20 \leq t \leq 25$	$0 < R \leq 1$

it 110 essai 2 niveau 0-10cm			
fixe		libre	
V = 1.2	C = 10.21	$38 \leq t \leq 40$	$0 < R \leq 1$

it 120 essai 1 niveau 20-30cm			
fixe		libre	
V = 0.94	C = 9.37	$18 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

it 140 essai 1 niveau 40-50cm			
fixe		libre	
V = 0.928	C = 8.56	$22 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

it 130 essai 2 niveau 40-50cm			
fixe		libre	
V = 0.934	C = 10.61	$25 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des valeurs de vitesse , de concentration et de temps considérées comme valeurs d'entrée lors du traitement des données par le modèle CDE classique : cas du sol de Donaye

N12 essai 2 niveau 0-10cm du Ngalenka			
fixe		libre	
V = 0.99	C = 1.091	$22 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

N11 essai 1 niveau 0-10cm du Ngalenka			
fixe		libre	
V = 0.99	C = 10.91	$22 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

N21 essai 1 niveau 20-30cm du Ngalenka			
fixe		libre	
V = 0.85	C = 10.12	$24 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

N22 essai 2 niveau 20-30cm du Ngalenka			
fixe		libre	
V = 0.897	C = 11.33	$22 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

N31 essai 1 niveau 40-50cm du Ngalenka			
fixe		libre	
V = 1.074	C = 11.21	$22 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

N32 essai 2 niveau 40-50cm du Ngalenka			
fixe		libre	
V = 0.952	C = 10.61	$27 \leq t \leq 30$	$0 < R \leq 1$

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des valeurs de vitesse , de concentration et de temps considérées comme valeurs d'entrée lors du traitement des données par le modèle CDE classique : cas du sol du Ngalenka

V est la vitesse et est exprimée en cm/h

t est le temps en heure(h)

C est la concentration en sel ou bien la conductivité électrique exprimée en millisiemens (mS)

R est le facteur retard (constante)

D est le coefficient de dispersion ou la dispersivité , elle est exprimée ici en centimètres carré par h (cm^2/h)

Le tableau suivant donne les valeurs des différents paramètres d'entrée du modèle CDE à deux régions d'eau.

Donaye	IT100b essai 1 niveau 0-10cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
	1.004	7.01	0.75	2	0.8	9.14	2.66	25
	IT110b essai 2 niveau 0-10cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
	1.2	10.87	0.75	2	0.8	9.69	2	40
	IT120b essai 1 niveau 20-30cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
	0.94	9.9	0.75	2	0.8	9.37	3	22.66
	IT150b essai 2 niveau 20-30cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
	0.973	9.57	0.75	2	0.8	9.97	1.25	22
	IT140b essai 1 niveau 40-50cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
0.928	5.78	0.75	2	0.8	8.56	3	25	
IT130b essai 2 niveau 40-50cm								
V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2	
0.934	7.84	0.75	2	0.8	10.61	4.983	29	
Ngalenka	N11b essai 1 niveau 0-10cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
	1.008	1.86	0.75	2	0.72	10.42	3	25.5
	N12b essai 2 niveau 0-10cm							
	V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
0.99	3.86	0.75	2	0.8	10.91	3.15	22.67	

N21b essai 1 niveau 20-30cm							
V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
0.85	2.03	0.75	2	0.72	10.12	3	25
N22b essai 2 niveau 20-30cm							
V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
0.897	0.9	0.75	2	0.8	11.19	3.52	28.6
N31b essai 1 niveau 40-50cm							
V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
1.074	9.06	0.75	2	0.8	11.21	1.13	22.66
N32b essai 2 niveau 40-50cm							
V	D	β :	ω	$C_{N.S}$	C_S	T_1	T_2
0.952	6.78	0.75	2	0.8	10.61	2.86	28.5

V : vitesse d'infiltration (cm/h)

D : coefficient de dispersion (cm²/h)

Béta : coefficient de partage

Oméga: coefficient de transfert de masse

$C_{N.S}$: concentration de la solution non salée (mS/cm)

C_S : concentration de la solution salée (mS/cm)

T_1 : durée d'injection de la solution non salée(en heure)

T_2 : durée d'injection de la solution non salée(en heure)

Tableau 7: Valeurs des différents paramètres d'entrée du modèle CDE à deux régions d'eau en fonction du site d'étude et du niveau considéré

2. Résultats du modèle

2.1.Modèle CDE classique avec un seul pulse

Ce modèle permet d'ajuster les courbes théoriques aux courbes expérimentales bien que l'on ajuste que le coefficient de dispersion D.

Les figures (13) et (14) représentent les courbes d'éluion aussi bien expérimentales qu'ajustées par le modèle.

C'est ainsi qu'on peut noter que :

- à l'exception de l'essai 2 du niveau 20-30cm du Ngalenka, l'ajustement est meilleur que celui des essais de Donaye avec des coefficient de corrélation r plus élevés (tableau) ;
- les valeurs des coefficients de dispersion des sols de Donaye sont plus élevées que celles des sols du Ngalenka ;
- compte tenu des coefficients de corrélation, on retient qu'au sein des sols de Donaye, le coefficient de dispersion diminue de la surface vers la profondeur ;

- les valeurs obtenues sur les essais du Ngalenka ne montrent pas une évolution régulière du coefficient de dispersion, mais notons tout de même que celui-ci diminue de la surface ($3.86\text{cm}^2/\text{h}$) au niveau intermédiaire ($2.03\text{cm}^2/\text{h}$) puis augmente en profondeur ($9.06\text{cm}^2/\text{h}$) ;

2.2. Modèle CDE à deux régions(fig (13) et fig(14))

L'exploitation des données par ce modèle aboutit à des résultats peu cohérents dans la mesure où les teneurs en eau mobile et immobile trouvées ne reflètent pas la réalité .

La méthode de détermination des paramètres avec ce modèle n'est pas efficace car il n'y a pas d'unicité de solution.

Les paramètres qui sont déterminés par ce modèle sont le coefficient de dispersion D et les teneurs en eau mobile et immobile ; les valeurs trouvées sont récapitulées dans le tableau suivant (tableau 8)

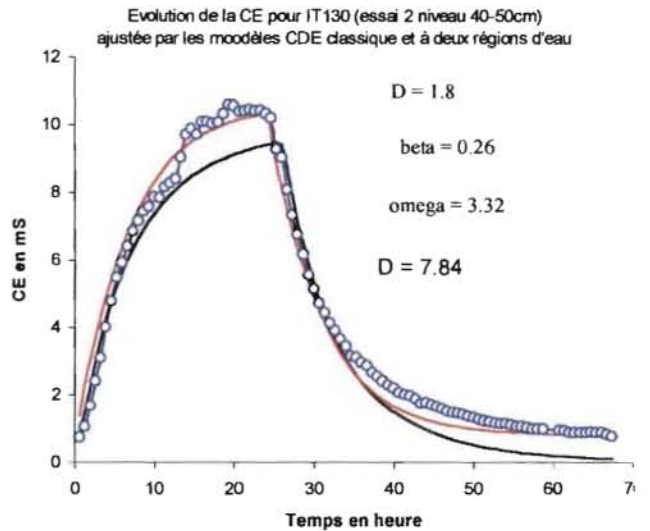
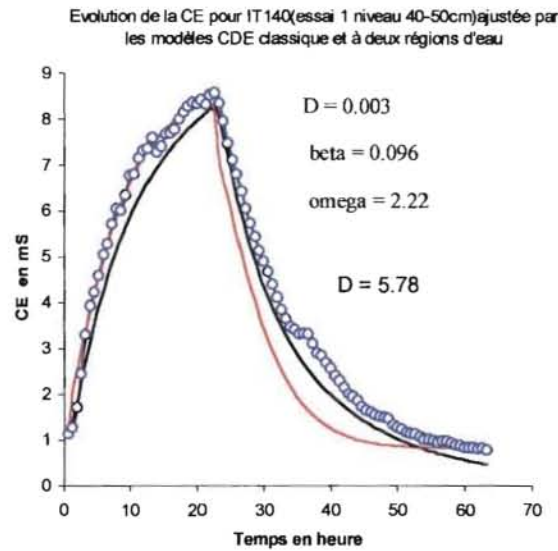
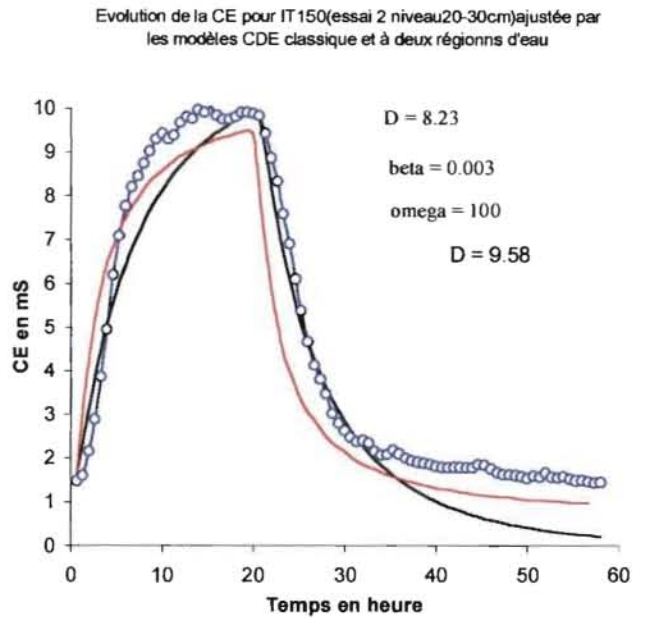
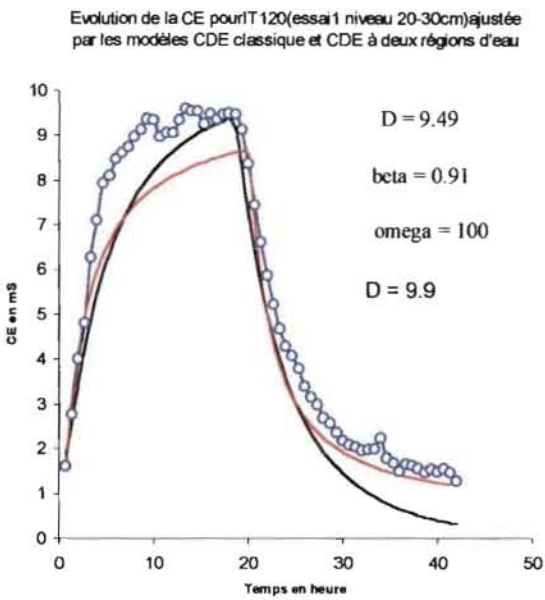
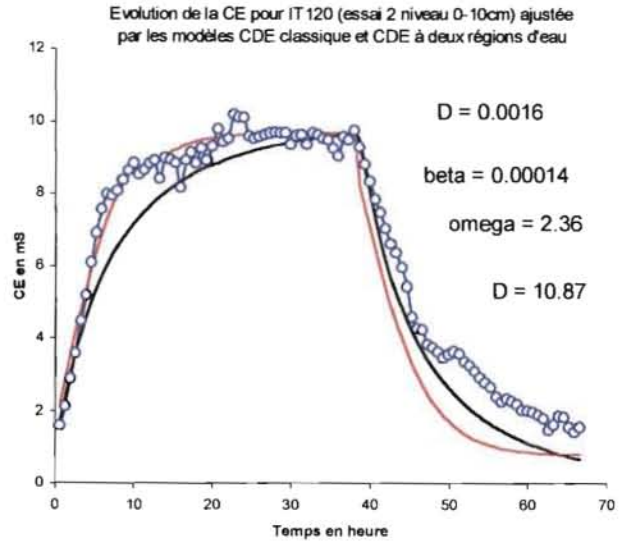
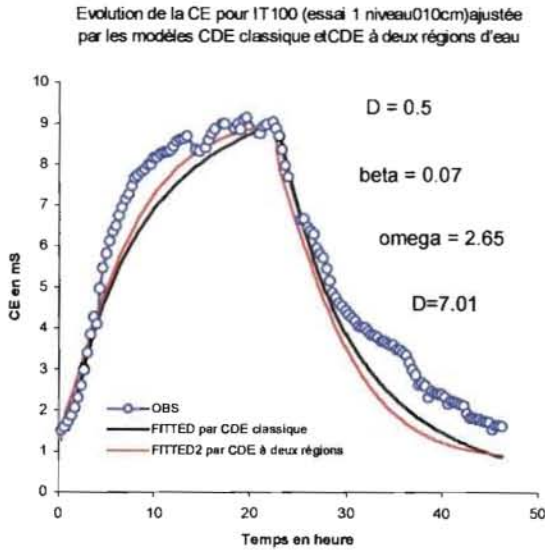


Figure 13 : Courbes d'éluion aux différents niveau du sol de Donaye ajustées par les modèles CDE classique et CDE à deux régions d'eau

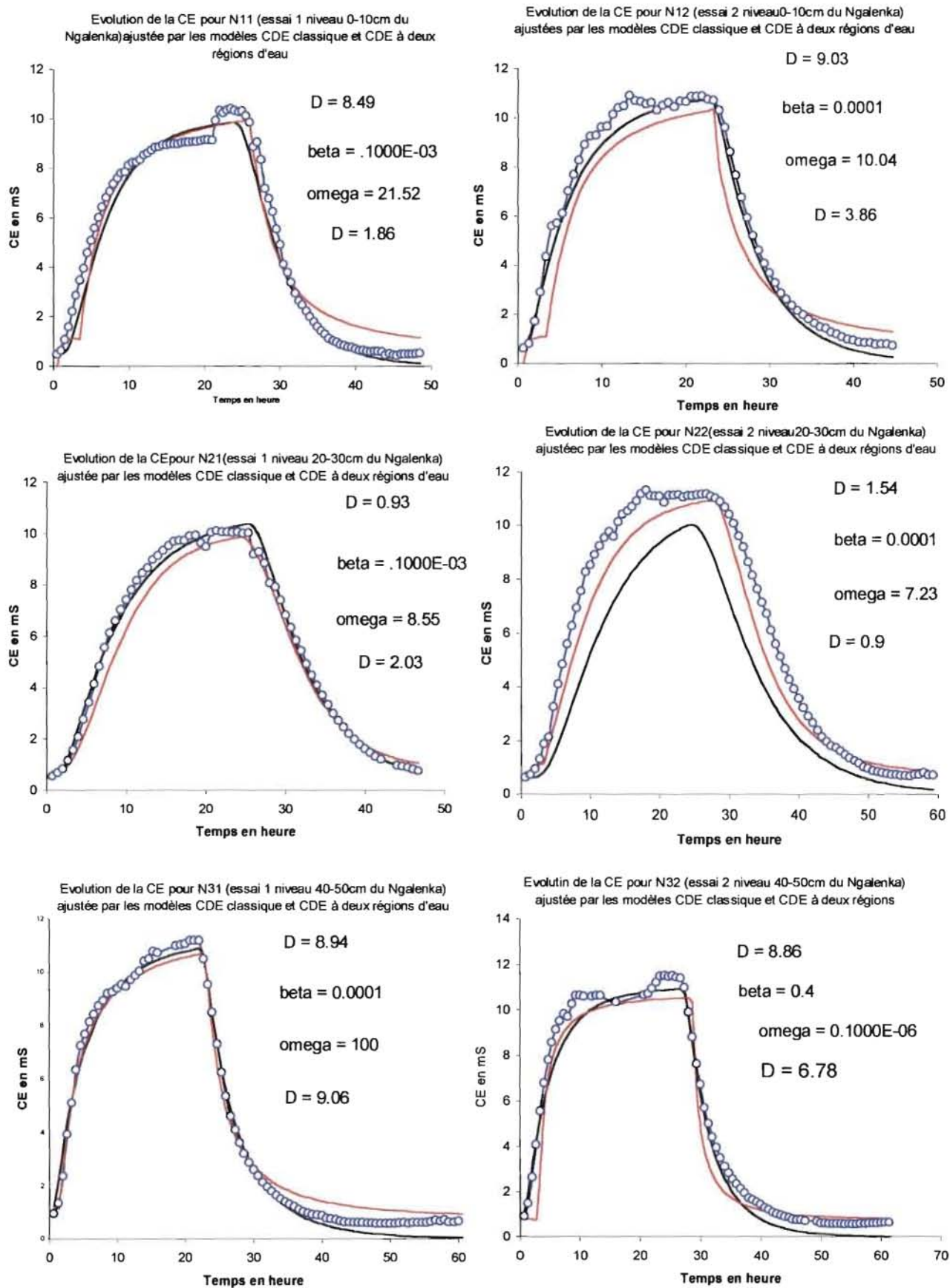


Figure 14 : Courbes d'éluion aux différents niveaux du sol du Ngalenka ajustées par les modèles CDE classique et CDE à deux régions d'eau

Modèle	CDE à l'équilibre avec un seul pulse											
	IT1 DONAYE						NGALENKA					
Niveau	0-10cm		20-30cm		40-50cm		0-10cm		20-30cm		40-50cm	
essai	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
D	7.01	10.87	9.9	9.57	5.78	7.84	1.86	3.86	2.03	0.9	9.06	6.78
r^2	0.9	0.92	0.91	0.93	0.97	0.95	0.97	0.98	0.99	0.77	0.99	0.98
Niveau	0-10cm		20-30cm		40-50cm		0-10cm		20-30cm		40-50cm	
essai	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
D	0.5	0.0016	9.49	8.23	0.003	1.8	8.49	9.03	0.93	1.54	8.94	8.86
β	0.07	0.00014	0.91	0.003	0.096	0.26	0.0001	0.001	0.0001	0.001	0.001	0.4
ω	2.65	2.36	100	100	2.22	3.22	21.52	10.04	8.55	7.23	100	1.00E-07
θ	0.35											
θ_m	0.0245	4.9E-05	0.3185	0.00105	0.0336	0.091	3.2E-05	0.00032	3.2E-05	0.00032	0.000321	0.1284
θ_m	0.3255	0.34995	0.0315	0.34895	0.3164	0.259	0.32097	0.32068	0.32097	0.32068	0.320679	0.1926
r^2	0.88	0.9	0.93	0.96	0.93	0.99	0.96	0.9	0.97	0.95	0.99	0.96

D coefficient de dispersion
 θ teneur en eau
 θ_m teneur en eau mobile
 θ_m teneur en eau immobile

ω coefficient de transfert de masse
 β coefficient de partage
 r coefficient de corrélation

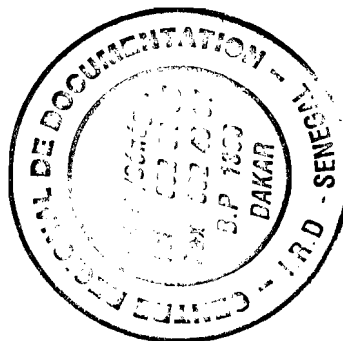
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des résultats des trois modèles utilisés

SYNTHESE ET DISCUSSIONS

L'analyse des différentes courbes montrent une différence de comportement des sols de Donaye et du Ngalenka .

Les coefficients de dispersion, obtenus par le traitement des données expérimentales, sont plus élevés dans les sols argileux de Donaye que dans les sols sableux du Ngalenka.

Les coefficients de corrélation, par contre, sont plus élevés dans le Ngalenka que dans le Donaye ; ce qui veut dire que l'ajustement des courbes par le modèle CDE classique est meilleur dans les sols du Ngalenka que dans ceux du Donaye.



CONCLUSION GENERALE

Les résultats obtenus ont permis de comprendre le comportement des solutés à travers un milieu poreux naturel d'une part et d'autre part, d'avoir des informations sur l'hydrodynamisme dans les sols de moyenne vallée du fleuve SENEGAL.

L'étude des transfert de solutés dans les sols est très complexe du fait de l'interaction des éléments dissous dans la solution du sol au cours du transport. Le problème a été abordé en considérant le cas simple du transport des éléments non interactif (les traceurs) comme le chlore.

De cette étude ressort une différence comportement des deux sols étudiés comme le montre l'analyse de nos résultats.

Les résultats du modèle sont obtenues par la confrontation entre les courbes d'éluion du traceur(chlore) et les modèles CDE classique et CDE à deux régions d'eau (mobile-immobile).

La simulation des résultats par le premier modèle est plus correcte que celle du modèle CDE à deux régions d'eau. Néanmoins les teneurs en eau mobile et immobile trouvées par ce dernier donne une idée sur la mobilité hydrique au niveau de ces deux sols.

Les résultats du programme offrent des coefficients de dispersion qui sont plus élevées dans les sols de Donaye que dans les sols du Ngalenka. Cette différence de comportement pourrait être liée à la différence de structure qui caractérise ces deux sols, si l'on sait que les sols de Donaye sont argileux alors que ceux du Ngalenka sont sableux.

En effet dans ces sols argileux, du fait de leur conductivité hydraulique, la circulation de l'eau à travers les pores intergranulaires est lente et permettant ainsi aux solutés de se disperser à travers le sol déjà saturé. Quant aux sols sableux du Ngalenka où la vitesse d'infiltration est relativement élevée, les solutés sont tout simplement entraînés par l'eau à travers les pores du sol. Ce qui pourrait expliquer en partie les faibles coefficients observés dans ces sols. Donc la dispersion des solutés dépendrait non seulement de la vitesse d'infiltration de la solution du sol mais aussi du système poral dans le quel circule la solution.

Les résultats de la simulation numérique vérifient l'hypothèse de l'existence de salinisation dans les sols de la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Ce risque est plus élevé dans les sols de Donaye que dans les sols du Ngalenka. Une bonne gestion des eaux d'irrigation pourrait améliorer l'état de salinisation de ces sols. On pourrait donc approfondir cette étude en testant différents scénarios de gestion de l'eau par des modèles numériques afin de mieux prévoir l'évolution de ces sols.

BIBLIOGRAPHIE

1. BARBIERO L., CUNNAC S., MANE L., LA PEROUSAZ C., HAMMECKER C. et MAEGHT J.L., (2000) :

Salt distribution in Sénégal Riser middle valley. Analysis of saline structure irrigation scheme from Ngalenka Creek, Agricultural Water Management.

2. BARRES E., (2001):

Effets du piégeage d'air sur l'infiltration des eaux d'irrigation d'une riziculture du nord du Sénégal. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique de Lorraine ; 53p.

3. COATS K. H., SMITH B.D., (1964):

Society of Petroleum Engineers Journal; March:73-84; Dead and pore volume and dispersion in porous media.

4. GAUDET J.P., JEGATH H., VAUDET G., WIERENGA P.J., (1977):

Soil Sci. Soc. Am. J.; 41(4): 665-671; Solute transfer with exchange between mobile and stagnant water through unsaturated sand.

5. HAMDI A.B., FEODOROFF N. et VALLES V. (1997) :

Short and long term soil system behaviour in time and space, Vienna, Austria.

6. HILLEL D. (1974) :

L'eau et du sol: Principes et Processus Hydriques: Université Catholique de Louvain, Bruxelles-288p.

7. ILLOU A. (1995) :

Evolution des sols irrigués de la moyenne vallée de fleuve Sénégal. Mémoire d'Ingénieur IST de l'UCAD n° d'ordre 055(IST)95.

8. LAUDELOUT H., CHEVERY C., CALVET R. (1994):

Modélisation mathématique et processus pédologiques, Institut Agronomique et Vétérinaire HassanII, Maroc : 264p.

9. LEIJ F.J., TORIDE N. And VAN GUENUCHTEN M.T., (1995):

THE CXTFIT Code for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Field Tracer Experiments, Research report No. 137..U-S , CALIFORNIA.

10. MICHEL P. (1973) :

Les bassins du fleuve Sénégal et de la Gambie. Etude géomorphologique. Mémoire OROSTOM n°63 3T, 743p.

11. MOUGENOT B., (1994) :

Caractérisation et évolution de la surface des sols en relation avec la dynamique saisonnière des sels dans le delta du fleuve Sénégal. OROSTOM , Dakar, 50p.

12.MUSY A., SOUTTER M.,(1991):

Physique du sol. Presse polytechniques et Universitaires Romandes, 335p.

13.NDAO M. (2001) :

Caractérisation des conductivités hydrauliques par l'infiltromètre et par la méthode de Wind des sols des nouveaux aménagements du Ngalenka – Essais de simulation des transferts d'eau et de solutés. Mémoire de fin d'études,ENSA-Thiès, 62p + annexes.

14.NIELSEN D.R., BIGGAR J.W.(1962) :

Miscible displacement : III Theoretical considerations- Soil. Soc. Am. Proc.; 26(3); 216-221.

15.SCHOEN R. (1996):

Transfert de solutés dans un lysimètre à conditions contrôlées : Expériences et Simulations. Thèse de Doctorat, Université JOSEPH FOURRIER – GRENOBLE1 , 205p+annexes

16.VAN GENUCHTEN M. T., (1980):

A closed form equations for predicting the hydrolic conductivity of unsaturated soil, Soil Sci. Sci. Am.

17.VAN GENUCHTEN M. T., ALVES W. J.,(1982):

USDA, Agricultural Ressearch Service, Technical Bulletin Number1661; Analytical solutions of the one dimentionnal convective-dispersives Solute transport equatiion.

18. VAN GENUCHTEN M. T., WIERENGA P.J.,(1976) :

Soil Sci. Sci. Am.J.;40(4)473-480; Mass transfer studies in sorbing porous medial. Analytical solutions.

19.WADE M. EL. A.,(2000):

Determination des paramètres hydrodynamiques de deux types de sols du delta du fleuve Sénégal – Simulations de transferts hydros-salins : Application au phénomène de la déflation éolienne. Mémoire de fin d'études, IST-UCAD , Dakar ; 64p + annexes.

ANNEXE 0

Liste des figures et tableaux dans le texte

) Les figures

Figure1	Représentation schématique de la constitution d'un volume de sol
Figure2	Schématisme d'un système poreux
Figure3	Courbe d'élution : cas d'un système poreux hétérogène
Figure4	Courbe d'élution : cas d'un système poreux homogène
Figure5	Situation de Podor dans la vallée du fleuve Sénégal(Extrait du laboratoire de Nianga
Figure6	Localisation des sites d'études
Figure7	Schéma d'un préleveur
Figure8	Schéma d'un échantillon déjà préparé à la manipulation
Figure9	Dispositif expérimental
Figure10	Schéma d'un conductivimètre
Figure11	Courbes d'évolution de $EC = f(t)$ et $V = f(t)$ aux différents niveaux du sol de Donaye
Figure12	Courbes d'évolution de $EC = f(t)$ aux différents niveaux du sol de
Figure13	Courbes d'évolution de $EC = f(t)$ aux différents niveaux du sol de Donaye ajustées par les modèles CDE classique et à deux régions d'eau
Figure14	Courbes d'évolution de $EC = f(t)$ aux différents niveaux du sol du Ngalenka ajustées par les modèles CDE classique et à deux régions d'eau

II) Les tableaux

Tableau1	Les cinq fractions granulométriques
Tableau2	Tableau des concentrations des constituants de l'eau reconstituée du Doué
Tableau3	Tableau des K_S (conductivité hydraulique à saturation) en fonction des Horizons pour le sol de Donaye
Tableau4	Les paramètres hydrodynamiques des sol du Ngalenka
Tableau5	Tableau récapitulatif des valeurs de concentration, de vitesse, et de temps

Considérés comme données d'entrée du modèle CDE classique : cas de Donaye

- Tableau6 Tableau récapitulatif des valeurs de concentration, de vitesse, et de temps
Considérés comme données d'entrée du modèle CDE classique : cas du Ngalenka
- Tableau7 Valeurs des différents paramètres d'entrée du modèle CDE à deux régions
D'eau en fonction du site d'étude et du niveau considéré
- Tableau8 Tableau récapitulatif des résultats des trois modèles utilisés

ANNEXE 1 :

Dans cette annexe, figurent les essais expérimentaux faits sur les sols étudiés . Ces essais sont relatifs aux mesures de conductivités électriques des différents sols soumis à une solution de CaCl_2 à 6.002g/l

DONAYE

Premier essai de courbe avec sol IT1 donaye surface (0-10cm)

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un godet	1.82	1.81	1.96	1.81	2	2	1.8	1.9	2	1.84333333
------------------	------	------	------	------	---	---	-----	-----	---	------------

	T0	1 heure	2h10	3h24
poids du becher	41.75	46.45	51.76	57.42
débit en ml/minute		0.07833333	0.075857143	0.0764865
		1 heure	2h04	3h01
poids du becher	41.76	46.16	50.91	55.1
débit en ml/minute		0.07333333	0.07421875	0.0735088

↙
moyenne de la masse d'un godet

début de la manipe 12h40 24/10

début de la solution salée 15h20 24/10

fin de la solution salée 14h52 25/10

T0

changement de la solution à T0 plus 2:40.

changement de la solution à T0+26:12.

pas de temps de 20 minutes par godet

solution à 1,07 mS/cm et solution à 8,38 mS/cm

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm

6.5

diam cm

4.7 volume de l'échantillon 112.7714

volume des vides en cm3 (35% 39,46 ml

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS/cm
	0			
1	20	3.22	1.39	1.61
2	40	3.01	1.18	1.36
3	60	3.01	1.18	1.39
4	80	3.08	1.25	1.39
5	100	3.02	1.19	1.25
6	120	3.08	1.25	1.23
7	140	3.21	1.38	1.31
8	160	3.1	1.27	1.3
9	180	3.12	1.29	1.42
10	200	3.15	1.32	1.43
11	220	3.04	1.21	1.35
12	240	3.13	1.3	1.38
13	260	3.03	1.2	1.48
14	280	3.06	1.23	1.43
15	300	3.18	1.35	1.45
16	320	3.17	1.34	1.52
17	340	3.22	1.39	1.6

18	360	3.18	1.35	1.73
19	380	3.22	1.39	1.87
20	400	3.14	1.31	2.07
21	420	3.12	1.29	2.32
22	440	3.16	1.33	2.62
23	460	3.26	1.43	3
24	480	3.22	1.39	3.41
25	500	3.14	1.31	3.85
26	520	3.19	1.36	4.28
27	540	3.3	1.47	4.1
28	560	3.17	1.34	4.97
29	580	3.15	1.32	5.47
30	600	3.19	1.36	5.82
31	620	3.29	1.46	6.13
32	640	3.26	1.43	6.37
33	660	3.21	1.38	6.5
34	680	3.14	1.31	6.75
35	700	3.22	1.39	6.95
36	720	3.23	1.4	7.16
37	740	3.21	1.38	7.28
38	760	3.35	1.52	7.49
39	780	3.25	1.42	7.67
40	800	3.21	1.38	7.73
41	820	3.28	1.45	7.82
42	840	3.24	1.41	7.89
43	860	3.21	1.38	7.99
44	880	3.16	1.33	8.01
45	900	3.27	1.44	8.16
46	920	3.23	1.4	8.17
47	940	3.23	1.4	8.26
48	960	3.27	1.44	8.3
49	980	3.24	1.41	8.3
50	1000	3.27	1.44	8.35
51	1020	3.28	1.45	8.45
52	1040	3.25	1.42	8.56
53	1060	3.25	1.42	8.62
54	1080	3.28	1.45	8.63
55	1100	3.06	1.23	8.69
56	1120			
57	1140			
58	1160	2.81	0.98	8.36
59	1180	3.39	1.56	8.33
60	1200	3.4	1.57	6.73
61	1220	3.4	1.57	8.41

62	1240	3.4	1.57	8.6
63	1260	3.52	1.69	8.76
64	1280	3.35	1.52	8.87
65	1300	3.4	1.57	7.92
66	1320	3.19	1.36	9
67	1340	3.34	1.51	9
68	1360	3.47	1.64	8.07
69	1380	3.49	1.66	7.92
70	1400	3.36	1.53	8.88
71	1420	3.44	1.61	9
72	1440	3.38	1.55	8.85
73	1460	3.51	1.68	9.1
74	1480	3.13	1.3	9.14
75	1500			
76	1520	2.29	0.46	
77	1540	3.46	1.63	6.5
78	1560	3.34	1.51	8.76
79	1580	3.1	1.27	8.93
80	1600	3.2	1.37	8.97
81	1620	3.21	1.38	8.29
82	1640	3.28	1.45	9.03
83	1660	3.21	1.38	8.88
84	1680	3.33	1.5	8.69
85	1700	3.29	1.46	8.36
86	1720	3.27	1.44	7.97
87	1740	3.23	1.4	7.7
88	1760	3.15	1.32	6.29
89	1780	3.2	1.37	6.39
90	1800	3.18	1.35	6.42
91	1820	3.25	1.42	6.65
92	1840	3.2	1.37	6.67
93	1860	3.17	1.34	6.46
94	1880	3.2	1.37	6.38
95	1900	3.15	1.32	6.3
96	1920	3.17	1.34	5.95
97	1940	3.23	1.4	5.81
98	1960	3.27	1.44	5.72
99	1980	3.19	1.36	5.46
100	2000	3.26	1.43	5.16
101	2020	3.24	1.41	4.87
102	2040	3.31	1.48	4.75
103	2060	3.26	1.43	4.62
104	2080	3.17	1.34	4.54
105	2100	3.22	1.39	4.43

106	2120	3.23	1.4	4.34
107	2140	3.2	1.37	4.26
108	2160	3.38	1.55	4.17
109	2180	3.21	1.38	4.06
110	2200	3.27	1.44	4.02
111	2220	3.4	1.57	4.01
112	2240	3.2	1.37	3.94
113	2260	3.22	1.39	3.85
114	2280	3.27	1.44	3.82
115	2300	3.34	1.51	3.77
116	2320	3.22	1.39	3.69
117	2340	3.21	1.38	3.68
118	2360	3.22	1.39	3.64
119	2380	3.29	1.46	3.58
120	2400	3.32	1.49	3.58
121	2420	3.3	1.47	3.49
122	2440	3.38	1.55	3.47
123	2460	3.36	1.53	3.41
124	2480	3.38	1.55	3.34
125	2500	3.3	1.47	3.17
126	2520	3.24	1.41	3
127	2540	3.23	1.4	2.87
128	2560	3.43	1.6	2.63
129	2580	3.27	1.44	2.67
130	2600	3.27	1.44	2.61
131	2620	3.29	1.46	2.31
132	2640	3.3	1.47	2.46
133	2660	3.24	1.41	2.43
134	2680	3.31	1.48	2.4
135	2700	3.36	1.53	2.39
136	2720	3.33	1.5	2.33
137	2740	3.51	1.68	2.16
138	2760	3.35	1.52	2.24
139	2780	3.28	1.45	2.2
140	2800	3.33	1.5	2.18
141	2820	3.48	1.65	2.14
142	2840	3.34	1.51	2.11
143	2860	3.51	1.68	1.92
144	2880		-1.83	1.83
145	2900	4.27	2.44	1.83
146	2920	3.56	1.73	1.79
147	2940	3.69	1.86	1.78
148	2960	3.4	1.57	1.73
149	2980	3.47	1.64	1.72

150	3000	3.42	1.59	1.71
151	3020	3.35	1.52	1.53
152	3040	3.44	1.61	1.63
153	3060	3.36	1.53	1.63
154	3080	3.36	1.53	1.61
155	3100		-1.83	
156	3120		-1.83	

deuxième essai de courbe avec sol IT1 donaye surface (0-10cm)

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un god	1.82	1.81	1.96	1.81	2	2	2	2	2	1.843
----------------	------	------	------	------	---	---	---	---	---	-------

	T0	15 minutes	45 minutes	1h07
poids du becher	41.99	43.02	45.54	47.04
débit en ml/mn		0.068667	0.084	0.75
		21 minutes	1h	1.17
poids du becher	49	50.46	53.5	54.69
débit en ml/mn		0.069524	0.07794872	0.07

↙
moyenne de la masse d'un godet

début de la man 16h13 30/10/01 T0

début de la solution salée 18h13 30/10 changement de la solution à T0 plus 2h

fin de la solution salée 8h40 1/11/01 changement de la solution à T0+40:06

pas de temps de 40 minutes par gode solution à 1,07 mS/cm et solution à 9,03 mS/cm

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des vides en cm³ (35% de 112.7714=39.46ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	temps en mn	masse	temps en mn	volume en ml	Ce en mS
	0		0		
1	40	4.08	40	2.25	1.39
2	80	4.06	80	2.23	1.37
3	120	4.19	120	2.36	1.32
4	160	3.87	160	2.04	1.32
5	200	3.97	200	2.14	1.33
6	240	4.03	240	2.2	1.36
7	280	4.05	280	2.22	1.61
8	320	4.13	320	2.3	2.14
9	360	4.08	360	2.25	2.91
10	400	4.15	400	2.32	3.6
11	440	4	440	2.17	4.5

12	480	4.01	480	2.18	5.2
13	520	4.22	520	2.39	6.1
14	560	4.16	560	2.33	6.92
15	600	4.16	600	2.33	7.58
16	640	4.01	640	2.18	8
17	680	4.24	680	2.41	7.94
18	720	4.18	720	2.35	8.08
19	760	4.13	760	2.3	8.39
20	800	4.31	800	2.48	8.66
21	840	4.13	840	2.3	8.85
22	880	4.18	880	2.35	8.54
23	920	4.07	920	2.24	8.67
24	960	4.2	960	2.37	8.84
25	1000	4.27	1000	2.44	8.93
26	1040	4.42	1040	2.59	8.43
27	1080	4.39	1080	2.56	9
28	1120	3.85	1120	2.02	8.96
29	1160	3.31	1160	1.48	8.87
30	1200	3.58	1200	1.75	8.17
31	1240	4.5	1240	2.67	8.92
32	1280	4.28	1280	2.45	9.16
33	1320	4.49	1320	2.66	8.86
34	1360	4.43	1360	2.6	9.26
35	1400	4.49	1400	2.66	8.92
36	1440	4.55	1440	2.72	9.32
37	1480	4.3	1480	2.47	9.8
38	1520	4.41	1520	2.58	9.44
39	1560	4.27	1560	2.44	9.54
40	1600	4.24	1600	2.41	10.21
41	1640	4.3	1640	2.47	10.12
42	1680	4.26	1680	2.43	10.11
43	1720	4.4	1720	2.57	9.6
44	1760	4.59	1760	2.76	9.54
45	1800	4.47	1800	2.64	9.58
46	1840	4.46	1840	2.63	9.64
47	1880	4.46	1880	2.63	9.68
48	1920	4.44	1920	2.61	9.71
49	1960	4.41	1960	2.58	9.69
50	2000	4.44	2000	2.61	9.7
51	2040	4.48	2040	2.65	9.37
52	2080	4.52	2080	2.69	9.61
53	2120	4.65	2120	2.82	9.63
54	2160	4.52	2160	2.69	9.37
55	2200	4.49	2200	2.66	9.69
56	2240	4.5	2240	2.67	9.64
57	2280	4.5	2280	2.67	9.54
58	2320	4.63	2320	2.8	9.5
59	2360	4.49	2360	2.66	9.26

60	2400	4.5	2400	2.67	9.05
61	2440	4.56	2440	2.73	9.58
62	2480	4.58	2480	2.75	9.5
63	2520	4.53	2520	2.7	9.77
64	2560	4.41	2560	2.58	9.29
65	2600	4.38	2600	2.55	8.83
66	2640	4.29	2640	2.46	8.35
67	2680	4.44	2680	2.61	7.86
68	2720	4.47	2720	2.64	7.49
69	2760	4.5	2760	2.67	7.05
70	2800	4.54	2800	2.71	6.63
71	2840	4.57	2840	2.74	6.38
72	2880	4.62	2880	2.79	5.98
73	2920	4.6	2920	2.77	5.44
74	2960	4.42	2960	2.59	4.6
75	3000	4.58	3000	2.75	4.28
76	3040	4.62	3040	2.79	4.26
77	3080	4.54	3080	2.71	3.85
78	3120	4.6	3120	2.77	3.76
79	3160	4.68	3160	2.85	3.63
80	3200	4.59	3200	2.76	3.47
81	3240	4.51	3240	2.68	3.58
82	3280	4.56	3280	2.73	3.64
83	3320	4.61	3320	2.78	3.59
84	3360	4.57	3360	2.74	3.38
85	3400	4.6	3400	2.77	3.26
86	3440	4.68	3440	2.85	3.1
87	3480	4.64	3480	2.81	2.93
88	3520	4.66	3520	2.83	2.79
89	3560	4.66	3560	2.83	2.66
90	3600	4.68	3600	2.85	2.41
91	3640	4.6	3640	2.77	2.26
92	3680	4.58	3680	2.75	2.35
93	3720	4.48	3720	2.65	2.28
94	3760	4.57	3760	2.74	2.19
95	3800	4.76	3800	2.93	2.04
96	3840	4.78	3840	2.95	2.02
97	3880	4.72	3880	2.89	1.98
98	3920	4.75	3920	2.92	1.89
99	3960	4.81	3960	2.98	1.81
100	4000	5.04	4000	3.21	1.48
101	4040	5.18	4040	3.35	1.63
102	4080	3.67	4080	1.84	1.87
103	4120	3.3	4120	1.47	1.83
104	4160	3.16	4160	1.33	1.57
105	4200	3.07	4200	1.24	1.44
106	4240	2.99	4240	1.16	1.57

Premier essai de courbe avec sol IT1 donaye 20-30 cm

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un godet la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	17 minutes	30 minutes	63	123	336
poids du becher	46.379	47.53	48.42	50.67	54.8	69.97
débit en ml/minute		0.06770588	0.068461538	0.0681818	0.0688	0.0712

début de la manipe 15h48 06/11/01
 début de la solution salée 18h48 06/11/01
 fin de la solution salée 14h29 07/11/01

T0
 changement de la solution à T0 plus 3h
 changement de la solution à T0+22:40

pas de temps de 40 minutes par godet

solution à 1,04 mS/cm et solution à 9,03 mS/cm

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm

6.5

diam cm

4.7

volume de l'échantillon

112.7714

volume des vides en cm³ (35% de 112.7714ml=39.46ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	C en mS	volume en ml
		0			
1	1.8	40	4.13	1.26	2.33
2	1.97	80	4.23	1.51	2.26
3	1.9	120	4.29	1.43	2.39
4	1.89	160	4.2	1.51	2.31
5	1.86	200	4.19	1.58	2.33
6	1.83	240	4.18	1.57	2.35
7	1.85	280	4.16	1.58	2.31
8	1.81	320	4.14	1.62	2.33
9	1.93	360	4.26	2.78	2.33
10	1.85	400	4.18	4.01	2.33
11	1.84	440	4.19	4.82	2.35
12	1.85	480	4.21	6.28	2.36
13	1.87	520	4.23	7.11	2.36
14	1.85	560	4.25	7.94	2.4
15	1.78	600	4.2	8.1	2.42

16	1.97	640	4.36	8.48	2.39
17	1.86	680	4.21	8.62	2.35
18	1.9	720	4.3	8.74	2.4
19	1.84	760	4.22	8.98	2.38
20	1.88	800	4.31	9.12	2.43
21	1.87	840	4.23	9.37	2.36
22	1.8	880	4.21	9.34	2.41
23	1.81	920	4.25	8.98	2.44
24	1.83	960	4.27	9.06	2.44
25	1.78	1000	4.18	9.06	2.4
26	1.87	1040	4.32	9.34	2.45
27	1.92	1080	4.35	9.6	2.43
28	1.82	1120	4.35	9.54	2.53
29	1.87	1160	4.36	9.54	2.49
30	1.97	1200	4.45	9.25	2.48
31	1.83	1240	4.46	9.48	2.63
32	1.9	1280	4.39	9.36	2.49
33	1.78	1320	4.41	9.47	2.63
34	1.82	1360	4.63	9.49	2.81
35	1.95	1400	4.36	9.47	2.41
36	1.89	1440	4.59	9.13	2.7
37	1.84	1480	4.53	8.37	2.69
38	1.9	1520	4.33	7.45	2.43
39	1.8	1560	4.54	6.62	2.74
40	1.99	1600	4.54	5.87	2.55
41	1.78	1640	4.4	5.23	2.62
42	1.98	1680	4.62	4.68	2.64
43	1.81	1720	4.43	4.28	2.62
44	1.84	1760	4.41	4.08	2.57
45	1.83	1800	4.56	3.79	2.73
46	1.78	1840	4.41	3.39	2.63
47	1.87	1880	4.51	3.15	2.64
48	1.81	1920	4.43	2.98	2.62
49	1.94	1960	4.53	2.68	2.59
50	1.83	2000	4.45	2.57	2.62
51	1.85	2040	4.47	2.36	2.62
52	1.85	2080	4.49	2.18	2.64
53	1.83	2120	4.52	2.08	2.69
54	1.84	2160	4.47	2.04	2.63
55	1.85	2200	4.57	1.96	2.72
56	1.82	2240	4.52	1.98	2.7
57	1.84	2280	4.53	1.99	2.69
58	1.8	2320	4.48	2.24	2.68
59	1.85	2360	4.5	1.78	2.65

60	1.81	2400	4.49	1.68	2.68
61	1.82	2440	4.56	1.5	2.74
62	1.84	2480	4.56	1.65	2.72
63	1.87	2520	4.68	1.62	2.81
64	1.83	2560	4.61	1.55	2.78
65	1.81	2600	4.75	1.46	2.94
66	1.97	2640	4.72	1.53	2.75
67	1.85	2680	4.73	1.48	2.88
68	1.88	2720	4.79	1.54	2.91
69	1.88	2760	4.73	1.46	2.85
70	1.81	2800	4.93	1.28	3.12

Deuxième essai de courbe avec sol IT1 donaye 20-30 cm

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un god la masse de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	33 minutes	79	130
poinds du becher	66.66	69.05	72.26	75.92
débit en ml/minute		0.072424	0.06978261	0.07176

début de la man 17h35 09/11/01 T0

début de la solution salée 18h50 09/11 changement de la solution à T0 plus 1h15

fin de la solution salée 15h12 10/11/0 changement de la solution à T0+21:37

pas de temps de 40 minutes par gode solution à 1,34 mS/cm et solusion à 9,03 mS/cm

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des vides en cm³ (35% de 112.7714 = 39.46ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn mn 0	masse	Ce en mS/cm	volume en ml
1	1.8	40	3.95	1.57	2.15
2	1.97	80	4.13	1.5	2.16
3	1.9	120	3.84	1.49	1.94
4	1.89	160	4	1.48	2.11
5	1.86	200	3.94	1.48	2.08
6	1.83	240	3.95	1.61	2.12
7	1.85	280	3.96	2.17	2.11
8	1.81	320	3.92	2.89	2.11
9	1.93	360	3.92	3.86	1.99
10	1.85	400	3.95	4.95	2.1
11	1.84	440	3.97	6.2	2.13
12	1.85	480	3.93	7.08	2.08
13	1.87	520	3.98	7.77	2.11

14	1.85	560	3.89	8.21	2.04
15	1.78	600	3.93	8.46	2.15
16	1.97	640	4.19	8.74	2.22
17	1.86	680	4.02	9.02	2.16
18	1.9	720	4.06	9.29	2.16
19	1.84	760	3.99	9.42	2.15
20	1.88	800	3.97	9.3	2.09
21	1.87	840	4.1	9.39	2.23
22	1.8	880	3.97	9.68	2.17
23	1.81	920	4.02	9.81	2.21
24	1.83	960	4.07	9.77	2.24
25	1.78	1000	4.04	9.97	2.26
26	1.87	1040	4.14	9.91	2.27
27	1.92	1080	4.22	10.03	2.3
28	1.82	1120	4.07	9.84	2.25
29	1.87	1160	4.21	9.75	2.34
30	1.97	1200	4.24	9.75	2.27
31	1.83	1240	4.12	9.81	2.29
32	1.9	1280	4.27	9.9	2.37
33	1.78	1320	4.15	9.9	2.37
34	1.82	1360	4.21	9.88	2.39
35	1.95	1400	4.33	9.83	2.38
36	1.89	1440	4.37	9.43	2.48
37	1.84	1480	4.25	8.87	2.41
38	1.9	1520	4.24	8.34	2.34
39	1.8	1560	4.09	7.6	2.29
40	1.99	1600	4.31	6.91	2.32
41	1.78	1640	4.17	6.1	2.39
42	1.98	1680	4.3	5.38	2.32
43	1.81	1720	4.24	4.67	2.43
44	1.84	1760	4.18	4.14	2.34
45	1.83	1800	4.33	3.81	2.5
46	1.78	1840	4.24	3.48	2.46
47	1.87	1880	4.21	3.03	2.34
48	1.81	1920	4.22	2.8	2.41
49	1.94	1960	4.32	2.63	2.38
50	1.83	2000	4.29	2.48	2.46
51	1.85	2040	4.19	2.38	2.34
52	1.85	2080	4.36	2.4	2.51
53	1.83	2120	4.21	2.36	2.38
54	1.84	2160	4.05	2.17	2.21
55	1.85	2200	4.32	2.07	2.47
56	1.82	2240	4.13	2.08	2.31
57	1.84	2280	4.37	2.19	2.53

58	1.8	2320	4.29	2.1	2.49
59	1.85	2360	4.32	2	2.47
60	1.81	2400	4.23	1.94	2.42
61	1.82	2440	4.27	1.91	2.45
62	1.84	2480	4.37	1.88	2.53
63	1.87	2520	4.4	1.86	2.53
64	1.83	2560	4.43	1.81	2.6
65	1.81	2600	4.39	1.79	2.58
66	1.97	2640	4.43	1.78	2.46
67	1.85	2680	4.54	1.79	2.69
68	1.88	2720	4.49	1.79	2.61
69	1.88	2760	4.59	1.78	2.71
70	1.81	2800	4.27	1.78	2.46
71	2.08	2840	4.65	1.86	2.57
72	1.85	2880	4.48	1.84	2.63
73	1.8	2920	4.39	1.75	2.59
74	1.93	2960	4.71	1.67	2.78
75	1.85	3000	4.4	1.63	2.55
76	1.83	3040	4.43	1.62	2.6
77	1.89	3080	4.54	1.6	2.65
78	1.87	3120	4.47	1.58	2.6
79	1.82	3160	4.66	1.53	2.84
80	1.87	3200	4.69	1.59	2.82
81	1.81	3240	4.39	1.57	2.58
82	1.84	3280	4.38	1.66	2.54
83	1.85	3320	4.52	1.57	2.67
84	1.78	3360	4.41	1.56	2.63
85	1.78	3400	4.51	1.58	2.73
86	1.9	3440	4.6	1.52	2.7
87	1.83	3480	4.48	1.48	2.65
88	1.84	3520	4.37	1.5	2.53
89	1.89	3560	4.58	1.46	2.69
90	1.97	3600	4.62	1.44	2.65
91	1.87	3640	4.6	1.45	2.73

Premier essai niveau 40-50cm

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique de Donaye IT1

normale du sol

masse d' la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	40 minutes	83	107	128	152
poids du t	43.93	46.53	49.31	50.9	52.2	54.1
débit en ml/minute		0.065	0.06465	0.07	0.06	0.0804
	T		182	231	289	
	poids du beche		56.3	59.8	63.6	
	débit en ml/minute		0.07333	0.07	0.07	

début de l 15h17' le 14/11/01 T0

début de l salée 18h20' 14/11/01 changement de la solut 3h02'

fin de la s lée 16h50' 15/11/01 changement de l T0+25h32'

fin de la manipulation 10h34' 17/11/01 T0+67H14'

pas de temps de 40 minutes par god solution non salée:0.72ms et solution salée:7.83ms

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur ci 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 113

volume des vides en cm de 112.7714=39.46ml

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	masse	temps en mn	Ce en mS	volume en ml
			0		
1	1.8	3.83	40	1.18	2.03
2	1.97	4.3	80	1.16	2.33
3	1.9	4.09	120	1.17	2.19
4	1.89	3.92	160	1.12	2.03
5	1.86	3.83	200	1.13	1.97
6	1.83	4.1	240	1.14	2.27
7	1.85	4.1	280	1.13	2.25
8	1.81	3.85	320	1.27	2.04
9	1.93	4.17	360	1.72	2.24
10	1.85	3.87	400	2.45	2.02
11	1.84	4.19	440	3.3	2.35
12	1.85	4.1	480	3.93	2.25

13	1.87	4.02	520	4.23	2.15
14	1.85	3.85	560	4.59	2
15	1.78	4.15	600	5.04	2.37
16	1.97	4.25	640	5.28	2.28
17	1.86	4.06	680	5.72	2.2
18	1.9	4.08	720	6.05	2.18
19	1.84	4.08	760	6.01	2.24
20	1.88	3.9	800	6.34	2.02
21	1.87	4.21	840	6.78	2.34
22	1.8	4.2	880	6.8	2.4
23	1.81	4.09	920	7.15	2.28
24	1.83	4.12	960	7.32	2.29
25	1.78	3.99	1000	7.36	2.21
26	1.87	4.09	1040	7.6	2.22
27	1.92	4.19	1080	7.28	2.27
28	1.82	3.83	1120	7.41	2.01
29	1.87	4.22	1160	7.67	2.35
30	1.97	4.45	1200	7.68	2.48
31	1.83	4.28	1240	7.78	2.45
32	1.9	4.06	1280	8	2.16
33	1.78	4.22	1320	8.15	2.44
34	1.82	4.23	1360	8.27	2.41
35	1.95	4.28	1400	8.36	2.33
36	1.89	4.31	1440	8.33	2.42
37	1.84	4.31	1480	8.41	2.47
38	1.9	4.2	1520	8.32	2.3
39	1.8	4.16	1560	8.52	2.36
40	1.99	4.36	1600	8.56	2.37
41	1.78	3.99	1640	8.35	2.21
42	1.98	4.35	1680	7.95	2.37
43	1.81	4.28	1720	7.47	2.47
44	1.84	4.31	1760	7.1	2.47
45	1.83	4.24	1800	6.8	2.41
46	1.78	4.21	1840	6.43	2.43
47	1.87	4.19	1880	6.06	2.32
48	1.81	4.06	1920	5.73	2.25
49	1.94	4.34	1960	5.44	2.4
50	1.83	4.37	2000	5.14	2.54
51	1.85	4.1	2040	4.9	2.25
52	1.85	4.03	2080	4.67	2.18
53	1.83	4.43	2120	4.39	2.6
54	1.84	4.29	2160	4.11	2.45
55	1.85	4.31	2200	3.84	2.46
56	1.82	4.2	2240	3.65	2.38

57	1.84	4.2	2280	3.47	2.36
58	1.8	4.3	2320	3.42	2.5
59	1.85	4.32	2360	3.32	2.47
60	1.81	4.32	2400	3.33	2.51
61	1.82	4.17	2440	3.31	2.35
62	1.84	4.04	2480	3.1	2.2
63	1.87	4.4	2520	2.9	2.53
64	1.83	4.44	2560	2.84	2.61
65	1.81	4.24	2600	2.68	2.43
66	1.97	4.11	2640	2.56	2.14
67	1.85	4.22	2680	2.4	2.37
68	1.88	4.28	2720	2.29	2.4
69	1.88	3.98	2760	2.15	2.1
70	1.81	4.04	2800	2.01	2.23
71	2.08	4.11	2840	1.94	2.03
72	1.85	4.1	2880	1.86	2.25
73	1.8	4.02	2920	1.73	2.22
74	1.93	3.95	2960	1.65	2.02
75	1.85	4.21	3000	1.61	2.36
76	1.83	3.98	3040	1.55	2.15
77	1.89	4.07	3080	1.51	2.18
78	1.87	3.8	3120	1.5	1.93
79	1.82	3.68	3160	1.46	1.86
80	1.87	4.24	3200	1.33	2.37
81	1.81	3.96	3240	1.27	2.15
82	1.84	4.18	3280	1.22	2.34
83	1.85	4.1	3320	1.16	2.25
84	1.78	3.98	3360	1.13	2.2
85	1.78	4.08	3400	1.12	2.3
86	1.9	3.95	3440	1.07	2.05
87	1.83	4.24	3480	1	2.41
88	1.84	3.95	3520	1	2.11
89	1.89	4.28	3560	0.98	2.39
90	1.97	4.23	3600	0.94	2.26
91	1.87	4.1	3640	0.97	2.23
92	1.97	4.21	3680	0.97	2.24
93	1.98	4.24	3720	0.92	2.26
94	1.88	4.11	3760	0.89	2.23
95	1.81	4.03	3800	0.86	2.22
96	1.82	4.22	3840	0.83	2.4
97	1.81	3.98	3880	0.82	2.17
98	1.85	4.23	3920	0.82	2.38
99	1.86	4.14	3960	0.8	2.28
100	1.89	4.16	4000	0.81	2.27

101 1.9 3.91 4040 0.78 2.01

deuxième essai niveau 40-50cm

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye

masse d'un god la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	32	62	94	141	209
poids du becher	52.51	54.66	56.78	58.94	62.2	66.8
débit en ml/minute		0.067188	0.07066667	0.0675	0.07	0.07

début de la man 15h02 19/11/01 T0
 début de la solu salée 20h00 changement de la solution à T(4h59
 fin de la soluti lée 21h1! 20/11/01 changement de la soluti T0+30h19
 fin de la manipu on 17h 10 22/11/01 T0+74h08
 pas de temps de 40 minutes par gode solution non salée:0.72ms et solution salée:7.83ms

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des vides en cm³ (35%de 112.7714ml=393.46ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS
		0			
1	1.8	40	3.44	1.64	0.91
2	1.97	80	3.76	1.79	0.77
3	1.9	120	3.69	1.79	0.75
4	1.89	160	3.73	1.84	0.73
5	1.86	200	3.7	1.84	0.73
6	1.83	240	3.6	1.77	0.7
7	1.85	280	3.57	1.72	0.7
8	1.81	320	3.75	1.94	0.68
9	1.93	360	3.78	1.85	0.68
10	1.85	400	3.57	1.72	0.68
11	1.84	440	3.78	1.94	0.75
12	1.85	480	3.58	1.73	1.07
13	1.87	520	3.67	1.8	1.68

14	1.85	560	3.55	1.7	2.42
15	1.78	600	3.85	2.07	3.12
16	1.97	640	3.84	1.87	4.01
17	1.86	680	3.78	1.92	4.79
18	1.9	720	3.75	1.85	5.5
19	1.84	760	3.79	1.95	5.94
20	1.88	800	3.81	1.93	6.41
21	1.87	840	3.81	1.94	6.87
22	1.8	880	3.69	1.89	7.17
23	1.81	920	3.78	1.97	7.45
24	1.83	960	3.7	1.87	7.59
25	1.78	1000	3.81	2.03	7.88
26	1.87	1040	3.81	1.94	7.84
27	1.92	1080	3.89	1.97	8.19
28	1.82	1120	3.76	1.94	8.29
29	1.87	1160	3.87	2	8.41
30	1.97	1200	4	2.03	9.05
31	1.83	1240	3.89	2.06	9.73
32	1.9	1280	3.9	2	9.9
33	1.78	1320	3.88	2.1	9.72
34	1.82	1360	3.88	2.06	10.1
35	1.95	1400	4.14	2.19	10.1
36	1.89	1440	4	2.11	10.04
37	1.84	1480	3.88	2.04	10.07
38	1.9	1520	4.08	2.18	10.33
39	1.8	1560	3.75	1.95	10.61
40	1.99	1600	3.94		10.57
41	1.78	1640	3.91	2.13	10.39
42	1.98	1680	3.91	1.93	10.42
43	1.81	1720	3.81	2	10.46
44	1.84	1760	4.02	2.18	10.43
45	1.83	1800	3.85	2.02	10.44
46	1.78	1840	3.99	2.21	10.34
47	1.87	1880	3.85	1.98	10.22
48	1.81	1920	3.95	2.14	9.29
49	1.94	1960	3.92	1.98	9.04
50	1.83	2000	3.99	2.16	8.11
51	1.85	2040	3.86	2.01	7.35
52	1.85	2080	3.95	2.1	6.78
53	1.83	2120	3.83	2	6.18
54	1.84	2160	4	2.16	5.57
55	1.85	2200	3.89	2.04	5.16
56	1.82	2240	4.01	2.19	4.73
57	1.84	2280	3.89	2.05	4.46

58	1.8	2320	4.01	2.21	4.15
59	1.85	2360	3.88	2.03	3.92
60	1.81	2400	3.98	2.17	3.68
61	1.82	2440	3.91	2.09	3.46
62	1.84	2480	4.09	2.25	3.17
63	1.87	2520	3.96	2.09	3.13
64	1.83	2560	4.05	2.22	2.97
65	1.81	2600	3.86	2.05	2.88
66	1.97	2640	4.34	2.37	2.68
67	1.85	2680	4.04	2.19	2.57
68	1.88	2720	4.19	2.31	2.43
69	1.88	2760	4.14	2.26	2.31
70	1.81	2800	4.06	2.25	2.22
71	2.08	2840	4.22	2.14	2.07
72	1.85	2880	4.21	2.36	2.02
73	1.8	2920	4.04	2.24	1.98
74	1.93	2960	4.18	2.25	1.89
75	1.85	3000	4.17	2.32	1.75
76	1.83	3040	4.08	2.25	1.77
77	1.89	3080	4.1	2.21	1.72
78	1.87	3120	4.11	2.24	1.67
79	1.82	3160	4.14	2.32	1.6
80	1.87	3200	4.08	2.21	1.52
81	1.81	3240	4.06	2.25	1.49
82	1.84	3280	4.04	2.2	1.48
83	1.85	3320	4.01	2.16	1.43
84	1.78	3360	4.14	2.36	1.37
85	1.78	3400	4.04	2.26	1.34
86	1.9	3440	4.27	2.37	1.28
87	1.83	3480	4.05	2.22	1.23
88	1.84	3520	4.21	2.37	1.21
89	1.89	3560	4.16	2.27	1.18
90	1.97	3600	4.28	2.31	1.15
91	1.87	3640	4.15	2.28	1.14
92	1.97	3680	4.29	2.32	1.12
93	1.98	3720	4.19	2.21	1.09
94	1.88	3760	4.14	2.26	1.07
95	1.81	3800	4.15	2.34	1.04
96	1.82	3840	4.17	2.35	0.99
97	1.81	3880	4.16	2.35	0.99
98	1.85	3920	4.12	2.27	1
99	1.86	3960			
100	1.89	4000			
101	1.9	4040	4.36	2.46	0.96

102	1.82	4080	4.25	2.43	0.95
103	1.81	4120	4.11	2.3	0.88
104	1.8	4160	4.33	2.53	0.88
105	1.81	4200	4.35	2.54	0.89
106	1.78	4240	4.22	2.44	0.88
107	1.86	4280	4.33	2.47	0.9
108	1.81	4320	4.39	2.58	0.88
109	1.85	4360	4.35	2.5	0.88
110	1.82	4400	4.28	2.46	0.83
111	1.84	4440	4.45	2.61	0.78

NGALENKA

essai dilution 1 niveau 0-10cm ngal

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol du Ngalenka

masse d'un god la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	19	36	92	203
poids du becher	51.05	52.44	53.65	57.8	66.3
débit en ml/minute		0.073158	0.07117647	0.07411	0.08

début de la man 14h35 28/11/01 T0
 début de la solusalée 7h54 29/11/01 changement de la soluti T0+17h17
 fin de la solutoralée 7h41 20/11/01 changement de la soluti T0+41h04
 fin de la manipulation 10h34' 17/11/01 T0+67H14'
 pas de temps 30mn par godets solution non salée:0.72ms et solution salée:8.80mS

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur en cm 6.5

diam en cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

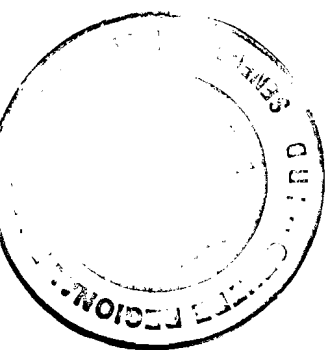
volume des des (35%de 1 39,46 ml

volume à faire circuler : $(39,46 \times 4) = 145,84 + 25,815 VmT = 171,65$ ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS
1	1.8	30	3.66	1.86	1.83
2	1.97	60	3.66	1.69	2.03
3	1.9	90	3.78	1.88	1.72
4	1.89	120	3.8	1.91	2.13
5	1.86	150	3.6	1.74	1.64
6	1.83	180	3.69	1.86	1.51
7	1.85	210	3.62	1.77	1.38
8	1.81	240	3.77	1.96	1.29
9	1.93	270	3.79	1.86	1.19
10	1.85	300	3.74	1.89	1.1
11	1.84	330	3.72	1.88	1.05
12	1.85	360	3.94	2.09	0.98
13	1.87	390	3.73	1.86	0.82
14	1.85	420	3.61	1.76	0.89
15	1.78	450	3.65	1.87	0.83
16	1.97	480	3.87	1.9	0.8
17	1.86	510	3.79	1.93	0.73

18	1.9	540	3.8	1.9	0.71
19	1.84	570	3.73	1.89	0.68
20	1.88	600	3.7	1.82	0.64
21	1.87	630	3.76	1.89	0.61
22	1.8	660	3.71	1.91	0.6
23	1.81	690	3.71	1.9	0.57
24	1.83	720	3.75	1.92	0.56
25	1.78	750	3.69	1.91	0.53
26	1.87	780	3.7	1.83	0.52
27	1.92	810	3.82	1.9	0.51
28	1.82	840	3.73	1.91	0.5
29	1.87	870	3.79	1.92	0.49
30	1.97	900	3.9	1.93	0.47
31	1.83	930	3.59	1.76	0.52
32	1.9	960	3.7	1.8	0.53
33	1.78	990	3.74	1.96	0.46
34	1.82	1020	3.87	2.05	0.47
35	1.95	1050	3.82	1.87	0.45
36	1.89	1080	3.84	1.95	0.45
37	1.84	1110	3.84	2	0.44
38	1.9	1140	3.87	1.97	0.43
39	1.8	1170	3.78	1.98	0.45
40	1.99	1200	3.95		0.49
41	1.78	1230	3.82	2.04	0.65
42	1.98	1260	4.08	2.1	1.08
43	1.81	1290	3.86	2.05	1.6
44	1.84	1320	3.81	1.97	2.23
45	1.83	1350	3.88	2.05	2.88
46	1.78	1380	3.84	2.06	3.47
47	1.87	1410	3.91	2.04	3.97
48	1.81	1440	3.87	2.06	4.59
49	1.94	1470	4	2.06	5.1
50	1.83	1500	3.9	2.07	5.6
51	1.85	1530	3.9	2.05	6.02
52	1.85	1560	3.87	2.02	6.45
53	1.83	1590	3.83	2	6.82
54	1.84	1620	3.83	1.99	7.09
55	1.85	1650	3.87	2.02	7.38
56	1.82	1680	3.87	2.05	7.62
57	1.84	1710	3.87	2.03	7.81
58	1.8	1740	3.85	2.05	7.86
59	1.85	1770	3.9	2.05	8.13
60	1.81	1800	3.87	2.06	8.24
61	1.82	1830	3.89	2.07	8.27

62	1.84	1860	3.9	2.06	8.36
63	1.87	1890	3.94	2.07	8.56
64	1.83	1920	3.9	2.07	8.62
65	1.81	1950	3.89	2.08	8.74
66	1.97	1980	4.04	2.07	8.85
67	1.85	2010	3.97	2.12	8.86
68	1.88	2040	3.98	2.1	8.94
69	1.88	2070	3.99	2.11	8.95
70	1.81	2100	3.9	2.09	8.99
71	2.08	2130	4.1	2.02	9
72	1.85	2160	3.96	2.11	8.99
73	1.8	2190	3.93	2.13	9.04
74	1.93	2220	4.06	2.13	9.05
75	1.85	2250	3.95	2.1	9.06
76	1.83	2280	3.94	2.11	9.09
77	1.89	2310	4.01	2.12	9.09
78	1.87	2340	3.99	2.12	9.12
79	1.82	2370	3.92	2.1	9.16
80	1.87	2400	4	2.13	9.15
81	1.81	2430	3.93	2.12	9.13
82	1.84	2460	3.84	2	9.94
83	1.85	2490	3.72	1.87	10.35
84	1.78	2520	3.66	1.88	10.26
85	1.78	2550	3.67	1.89	10.37
86	1.9	2580	3.74	1.84	10.42
87	1.83	2610	3.72	1.89	10.35
88	1.84	2640	3.75	1.91	10.29
89	1.89	2670	3.85	1.96	10.31
90	1.97	2700	3.94	1.97	10.13
91	1.87	2730	3.82	1.95	9.86
92	1.97	2760	4.05	2.08	8.88
93	1.98	2790	3.94	1.96	9.06
94	1.88	2820	3.88	2	8.36
95	1.81	2850	3.8	1.99	7.2
96	1.82	2880	3.84	2.02	6.8
97	1.81	2910	3.79	1.98	6.26
98	1.85	2940	3.87	2.02	5.55
99	1.86	2970	3.93	2.07	4.91
100	1.89	3000	4	2.11	4.12
101	1.9	3030	3.92	2.02	3.79
102	1.82	3060	3.82	2	3.39
103	1.81	3090	3.82	2.01	2.94
104	1.8	3120	3.8	2	2.66
105	1.81	3150	3.66	1.85	2.48



106	1.78	3180	3.64	1.86	2.22
107	1.86	3210	3.73	1.87	1.99
108	1.81	3240	3.68	1.87	1.78
109	1.85	3270	3.72	1.87	1.59
110	1.82	3300	3.68	1.86	1.43
111	1.84	3330	3.72	1.88	1.29
112	1.83	3360	3.82	1.99	1.12
113	1.82	3390	3.81	1.99	1.02
114	1.82	3420	3.8	1.98	0.95
115	1.97	3450	3.95	1.98	0.88
116	1.78	3480	3.76	1.98	0.83
117	1.85	3510	3.81	1.96	0.77
118	1.82	3540	3.76	1.94	0.74
119	1.94	3570	3.86	1.92	0.7
120	1.97	3600	3.95	1.98	0.65
121	1.85	3630	3.84	1.99	0.63
122	1.97	3660	3.96	1.99	0.6
123	1.83	3690	3.77	1.94	0.59
124	1.82	3720	3.6	1.78	0.6
125	1.81	3750	3.56	1.75	0.6
126	1.87	3780	3.63	1.76	0.59
127	1.83	3810	3.61	1.78	0.46
128	1.86	3840	3.62	1.76	0.5
129	1.81	3870	3.56	1.75	0.45
130	1.82	3900	3.58	1.76	0.44
131	1.85	3930	3.61	1.76	0.48
132	1.89	3960	3.67	1.78	0.48
133	1.82	3990	3.62	1.8	0.48
134	1.78	4020	3.61	1.83	0.49
135	1.88	4050	3.7	1.82	0.5
136	1.85	4080	3.75	1.9	0.52

deuxième essai niveau 0-10cm ngai

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un god la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	21	46	89	117
poids du becher	75.04	76.65	78.48	81.27	83.4
débit en ml/minute		0.076667	0.0732	0.06488	0.08

début de la man 16h10 03/12/01 T0

début de la solusalée 19h20 03/12/01 changement de la soluti T0+3h 09

fin de la soluti alée 17h 04/12/01 changement de la soluti T0+25h 28

fin de la manipu on 17h15 05/12/01 T0 + 49h05

pas de temps 40 mn par godet solution non salée:0.72ms et solution salée:
8.80 ms

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des des (35%de 112.7714 = 39.469ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS
1	1.8	40	3.62	1.82	0.57
2	1.97	80	3.86	1.89	0.6
3	1.9	120	3.8	1.9	0.66
4	1.89	160	3.78	1.89	1.06
5	1.86	200	3.77	1.91	0.82
6	1.83	240	3.66	1.83	0.68
7	1.85	280	3.8	1.95	0.61
8	1.81	320	3.8	1.99	0.62
9	1.93	360	3.72	1.79	0.81
10	1.85	400	3.89	2.04	1.72
11	1.84	440	3.85	2.01	2.92
12	1.85	480	3.91	2.06	4.37
13	1.87	520	3.96	2.09	5.6
14	1.85	560	3.99	2.14	5.71
15	1.78	600	3.93	2.15	6.12
16	1.97	640	4.14	2.17	7.03
17	1.86	680	4.05	2.19	7.7
18	1.9	720	4.08	2.18	8.29

19	1.84	760	4.03	2.19	8.9
20	1.88	800	4.12	2.24	9.26
21	1.87	840	4.08	2.21	9.3
22	1.8	880	4.02	2.22	9.62
23	1.81	920	4.1	2.29	9.67
24	1.83	960	4.1	2.27	10.14
25	1.78	1000	4.05	2.27	10.42
26	1.87	1040	3.91	2.04	10.49
27	1.92	1080	4.16	2.24	10.91
28	1.82	1120	4.16	2.34	10.7
29	1.87	1160	4.24	2.37	10.67
30	1.97	1200	4.36	2.39	10.56
31	1.83	1240	4.3	2.47	10.64
32	1.9	1280	4.23	2.33	10.32
33	1.78	1320	4.3	2.52	10.5
34	1.82	1360	4.47	2.65	10.64
35	1.95	1400	4.34	2.39	10.45
36	1.89	1440	4.47	2.58	10.68
37	1.84	1480	4.43	2.59	10.66
38	1.9	1520	4.41	2.51	10.88
39	1.8	1560	4.33	2.53	10.88
40	1.99	1600	4.48	2.49	10.89
41	1.78	1640	4.31	2.53	10.77
42	1.98	1680	4.52	2.54	10.72
43	1.81	1720	4.38	2.57	10.32
44	1.84	1760	4.41	2.57	9.63
45	1.83	1800	4.41	2.58	8.63
46	1.78	1840	4.37	2.59	7.68
47	1.87	1880	4.41	2.54	6.77
48	1.81	1920	4.41	2.6	5.94
49	1.94	1960	4.53	2.59	5.22
50	1.83	2000	4.45	2.62	4.62
51	1.85	2040	4.46	2.61	4.08
52	1.85	2080	4.44	2.59	3.69
53	1.83	2120	4.4	2.57	3.3
54	1.84	2160	4.5	2.66	2.89
55	1.85	2200	4.49	2.64	2.62
56	1.82	2240	4.52	2.7	2.38
57	1.84	2280	4.49	2.65	2.17
58	1.8	2320	4.47	2.67	1.98
59	1.85	2360	4.54	2.69	1.8
60	1.81	2400	4.57	2.76	1.65
61	1.82	2440	4.54	2.72	1.5
62	1.84	2480	4.45	2.61	1.44

63	1.87	2520	4.62	2.75	1.28
64	1.83	2560	4.61	2.78	1.21
65	1.81	2600	4.6	2.79	1.09
66	1.97	2640	4.84	2.87	1
67	1.85	2680	4.72	2.87	0.94
68	1.88	2720	4.81	2.93	0.88
69	1.88	2760	4.81	2.93	0.86
70	1.81	2800	4.74	2.93	0.84
71	2.08	2840	4.87	2.79	0.78
72	1.85	2880	4.77	2.92	0.8
73	1.8	2920	4.67	2.87	0.8
74	1.93	2960	3.7	1.77	0.73

premier essai niveau 2 ngal2

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un god la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	21	42	63
poids du becher	65.59	66.91	68.19	69.49
débit en ml/minute		0.062857	0.06095238	0.0619

début de la man 18h07 11/12/01 T0

début de la solusalée 08h12 12/12/0 changement de la soluti T0 +14h05

fin de la solutioralée 08h3 04/12/01 changement de la soluti T0 + 38h22

fin de la manipu on 11h25 14/12/01 T0 + 65h18

pas de temps 40 mn par godet solution non salée:0.72ms et solution salée : 9.02mS

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des des (35%de 112.7714 = 39.469ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS
		0			
1	1.8	40	3.5	1.7	0.73
2	1.97	80	3.55	1.58	0.75
3	1.9	120	3.66	1.76	0.74
4	1.89	160	3.67	1.78	0.7
5	1.86	200	3.64	1.78	0.68
6	1.83	240	3.66	1.83	0.68
7	1.85	280	3.66	1.81	0.65
8	1.81	320	3.62	1.81	0.61
9	1.93	360	3.73	1.8	0.58
10	1.85	400	3.7	1.85	0.58
11	1.84	440	3.68	1.84	0.56
12	1.85	480	3.69	1.84	0.55
13	1.87	520	3.66	1.79	0.56
14	1.85	560	3.7	1.85	0.53
15	1.78	600	3.67	1.89	0.52

16	1.97	640	3.89	1.92	0.51
17	1.86	680	3.78	1.92	0.51
18	1.9	720	3.85	1.95	0.5
19	1.84	760	3.81	1.97	0.5
20	1.88	800	3.86	1.98	0.5
21	1.87	840	3.85	1.98	0.54
22	1.8	880	3.75	1.95	0.5
23	1.81	920	3.75	1.94	0.51
24	1.83	960	3.82	1.99	0.5
25	1.78	1000	3.8	2.02	0.51
26	1.87	1040	3.9	2.03	0.51
27	1.92	1080	4.02	2.1	0.52
28	1.82	1120	3.95	2.13	0.52
29	1.87	1160	4.01	2.14	0.56
30	1.97	1200	4.12	2.15	0.7
31	1.83	1240	3.96	2.13	0.84
32	1.9	1280	3.97	2.07	1.18
33	1.78	1320	4	2.22	1.58
34	1.82	1360	4.07	2.25	2.11
35	1.95	1400	4.07	2.12	2.78
36	1.89	1440	4.04	2.15	3.45
37	1.84	1480	3.96	2.12	4.16
38	1.9	1520	3.99	2.09	4.85
39	1.8	1560	3.85	2.05	5.58
40	1.99	1600	4.02	2.49	6.16
41	1.78	1640	3.89	2.11	6.62
42	1.98	1680	4.08	2.1	7.05
43	1.81	1720	3.96	2.15	7.45
44	1.84	1760	3.99	2.15	7.84
45	1.83	1800	3.98	2.15	8.2
46	1.78	1840	3.97	2.19	8.47
47	1.87	1880	4.01	2.14	8.68
48	1.81	1920	3.97	2.16	9
49	1.94	1960	4.09	2.15	9.16
50	1.83	2000	3.99	2.16	9.36
51	1.85	2040	3.99	2.14	9.55
52	1.85	2080	3.98	2.13	9.71
53	1.83	2120	3.97	2.14	9.75
54	1.84	2160	3.97	2.13	9.76
55	1.85	2200	4.02	2.17	9.93
56	1.82	2240	3.95	2.13	9.95
57	1.84	2280	3.98	2.14	9.66
58	1.8	2320	4.07	2.27	9.5
59	1.85	2360	4.12	2.27	10.07

60	1.81	2400	4.05	2.24	10.12
61	1.82	2440	4.15	2.33	10.08
62	1.84	2480	4.11	2.27	10.08
63	1.87	2520	4.27	2.4	10.06
64	1.83	2560	4.23	2.4	10.08
65	1.81	2600	4.18	2.37	10.03
66	1.97	2640	4.35	2.38	10.05
67	1.85	2680	4.33	2.48	9.23
68	1.88	2720	4.34	2.46	9.32
69	1.88	2760	4.34	2.46	8.86
70	1.81	2800	4.32	2.51	8.1
71	2.08	2840	4.44	2.36	7.94
72	1.85	2880	4.28	2.43	7.43
73	1.8	2920	4.2	2.4	6.83
74	1.93	2960	4.3	2.37	6.36
75	1.85	3000	4.23	2.38	5.87
76	1.83	3040	4.23	2.4	5.46
77	1.89	3080	4.26	2.37	4.95
78	1.87	3120	4.29	2.42	4.49
79	1.82	3160	4.12	2.3	4.12
80	1.87	3200	4.32	2.45	3.73
81	1.81	3240	4.25	2.44	3.36
82	1.84	3280	4.27	2.43	3
83	1.85	3320	4.3	2.45	2.73
84	1.78	3360	4.21	2.43	2.47
85	1.78	3400	4.21	2.43	2.22
86	1.9	3440	4.34	2.44	2
87	1.83	3480	4.26	2.43	1.8
88	1.84	3520	4.27	2.43	1.63
89	1.89	3560	4.36	2.47	1.46
90	1.97	3600	4.49	2.52	1.33
91	1.87	3640	4.3	2.43	1.22
92	1.97	3680		-1.97	
93	1.98	3720		-1.98	
94	1.88	3760	3.94	2.06	0.99
95	1.81	3800	4.3	2.49	0.93
96	1.82	3840	4.3	2.48	0.9
97	1.81	3880	4.35	2.54	0.83
98	1.85	3920	4.43	2.58	0.76

deuxième essai niveau 2:20-30cm ngal

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un god la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	21	53	72	95
pois du becher	70.3	71.71	73.84	75.09	76.56
débit en ml/mn		0.067143	0.0665625	0.06579	0.06391

début de la man 13 h 39 14/12/01 T0

début de la solu salée 17h10 14/12/01 changement de la soluti T0 +3h31

fin de la soluti alée 22h 15/12/01 changement de la soluti T0 +32h36

fin de la manipu on 09h16 17/12/01 T0 + 67H35

pas de temps 40 mn par godet solution non salée:0.72ms et solution salée: 9.02mS

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des des (35%de 112.7714 = 39.469ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS
		0			
1	1.8	40	3.42	1.62	0.63
2	1.97	80	3.01	1.04	0.63
3	1.9	120	3.47	1.57	0.69
4	1.89	160	3.5	1.61	0.6
5	1.86	200	3.43	1.57	0.62
6	1.83	240	3.48	1.65	0.53
7	1.85	280	3.48	1.63	0.53
8	1.81	320	3.47	1.66	0.14
9	1.93	360	3.36	1.43	0.53
10	1.85	400	3.51	1.66	0.59
11	1.84	440	3.51	1.67	0.55
12	1.85	480	3.47	1.62	0.58
13	1.87	520	3.46	1.59	0.59
14	1.85	560	3.51	1.66	0.64
15	1.78	600	3.52	1.74	0.74
16	1.97	640	3.71	1.74	0.96

17	1.86	680	3.63	1.77	1.33
18	1.9	720	3.45	1.55	1.89
19	1.84	760	3.64	1.8	2.14
20	1.88	800	3.68	1.8	3.27
21	1.87	840	3.65	1.78	4.12
22	1.8	880	3.6	1.8	4.87
23	1.81	920	3.61	1.8	5.62
24	1.83	960	3.65	1.82	6.29
25	1.78	1000	3.58	1.8	6.96
26	1.87	1040	3.64	1.77	7.58
27	1.92	1080	3.69	1.77	8.29
28	1.82	1120	3.61	1.79	8.55
29	1.87	1160	3.71	1.84	8.93
30	1.97	1200	3.84	1.87	9.26
31	1.83	1240	3.7	1.87	9.56
32	1.9	1280	3.68	1.78	9.78
33	1.78	1320	3.72	1.94	9.61
34	1.82	1360	3.9	2.08	10.16
35	1.95	1400	3.89	1.94	10.43
36	1.89	1440	3.92	2.03	10.56
37	1.84	1480	3.89	2.05	10.72
38	1.9	1520	3.91	2.01	10.93
39	1.8	1560	3.79	1.99	11.19
40	1.99	1600	3.9	2.49	11.33
41	1.78	1640	3.8	2.02	11.12
42	1.98	1680	4	2.02	11.11
43	1.81	1720	3.84	2.03	11.1
44	1.84	1760	3.9	2.06	10.87
45	1.83	1800	3.88	2.05	11.14
46	1.78	1840	3.82	2.04	11.14
47	1.87	1880	3.9	2.03	11.17
48	1.81	1920	3.84	2.03	11.06
49	1.94	1960	4.01	2.07	11.12
50	1.83	2000	3.91	2.08	11.12
51	1.85	2040	3.91	2.06	11.15
52	1.85	2080	3.91	2.06	11.18
53	1.83	2120	3.87	2.04	11.19
54	1.84	2160	3.92	2.08	11.1
55	1.85	2200	3.93	2.08	11.03
56	1.82	2240	3.92	2.1	10.91
57	1.84	2280	3.94	2.1	10.71
58	1.8	2320	3.91	2.11	10.44
59	1.85	2360	3.98	2.13	10.1
60	1.81	2400	3.93	2.12	9.64

61	1.82	2440	3.95	2.13	9.22
62	1.84	2480	3.97	2.13	8.66
63	1.87	2520	3.98	2.11	8.18
64	1.83	2560	3.95	2.12	7.66
65	1.81	2600	3.92	2.11	7.16
66	1.97	2640	4.1	2.13	6.75
67	1.85	2680	4.04	2.19	6.13
68	1.88	2720	4.11	2.23	5.61
69	1.88	2760	4.12	2.24	5.15
70	1.81	2800	4.09	2.28	4.7
71	2.08	2840	4.24	2.16	4.3
72	1.85	2880	4.13	2.28	3.95
73	1.8	2920	4.12	2.32	3.59
74	1.93	2960	4.23	2.3	3.24
75	1.85	3000	4.2	2.35	2.94
76	1.83	3040	4.18	2.35	2.68
77	1.89	3080	4.21	2.32	2.4
78	1.87	3120	4.19	2.32	2.16
79	1.82	3160	4.14	2.32	1.98
80	1.87	3200	4.19	2.32	1.81
81	1.81	3240	4.18	2.37	1.75
82	1.84	3280	4.16	2.32	1.63
83	1.85	3320	4.2	2.35	1.49
84	1.78	3360	4.1	2.32	1.36
85	1.78	3400	4.13	2.35	1.27
86	1.9	3440	4.25	2.35	1.18
87	1.83	3480	4.2	2.37	1.02
88	1.84	3520	4.2	2.36	0.97
89	1.89	3560	4.26	2.37	0.9
90	1.97	3600	4.36	2.39	0.85
91	1.87	3640	4.26	2.39	0.82
92	1.97	3680	4.34	2.37	0.77
93	1.98	3720	4.37	2.39	0.75
94	1.88	3760	4.31	2.43	0.74
95	1.81	3800	4.23	2.42	0.72
96	1.82	3840	4.25	2.43	0.71
97	1.81	3880	4.26	2.45	0.7
98	1.85	3920	4.29	2.44	0.74
99	1.86	3960	4.29	2.43	0.74
100	1.89	4000	4.38	2.49	0.82
101	1.9	4040	4.36	2.46	0.73
102	1.82	4080	2.86	1.04	0.73

premier essai niveau 3: 40-50cm ngal

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Donaye IT1

masse d'un god la masse de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	26	51	74	95	121	145
pois du becher	57.88	59.58	61.42	63.56	65.59	67.49	69.18
débit en ml/minute		0.065385	0.0736	0.09304	0.09667	0.07308	0.07042

début de la man 17h 30 03/01/02 T0

début de la solu salée 18h 40 03/01/02: changement de la soluti T0 +1h 08

fin de la soluti alée 16h 12 04/01/02: changement de la soluti T0 + 22h 40

fin de la manipu on 10h 38 06/01/02: T0 + 65h 06

pas de temps 40 mn par godet solution non salée: 0.72ms et solu alée 9.02ms

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des des (35%de 1 39,46 ml

volume à faire circuler : $(39,46 \times 4) = 155,84 + 25,815 \text{ VmT} = 181,65 \text{ ml}$

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en	Ce en mS
		0			
1	1.8	40	3.57	1.77	0.89
2	1.97	80	3.95	1.98	0.98
3	1.9	120	4.27	2.37	0.93
4	1.89	160	4.12	2.23	0.91
5	1.86	200	4.01	2.15	0.89
6	1.83	240	3.74	1.91	0.87
7	1.85	280	3.98	2.13	0.87
8	1.81	320	4.01	2.2	0.98
9	1.93	360	3.89	1.96	1.37
10	1.85	400	4.33	2.48	2.39
11	1.84	440	3.85	2.01	3.96
12	1.85	480	3.79	1.94	5.14
13	1.87	520	3.91	2.04	6.37
14	1.85	560	4.12	2.27	7.27
15	1.78	600	3.88	2.1	7.7
16	1.97	640	4.26	2.29	8.15
17	1.86	680	3.68	1.82	8.44
18	1.9	720	4.01	2.11	8.77
19	1.84	760	3.85	2.01	8.95
20	1.88	800	4.58	2.7	9.22
21	1.87	840	3.99	2.12	9.28

22	1.8	880	4.1	2.3	9.42
23	1.81	920	3.79	1.98	9.56
24	1.83	960	4.33	2.5	9.49
25	1.78	1000	4.13	2.35	9.74
26	1.87	1040	4.03	2.16	9.89
27	1.92	1080	4.22	2.3	10.07
28	1.82	1120	4.24	2.42	10.44
29	1.87	1160	4.06	2.19	10.52
30	1.97	1200	4.21	2.24	10.8
31	1.83	1240	4.67	2.84	10.75
32	1.9	1280	3.61	1.71	10.45
33	1.78	1320	4.34	2.56	10.17
34	1.82	1360	4.51	2.69	10.44
35	1.95	1400	4.32	2.37	11.02
36	1.89	1440	4.3	2.41	11.06
37	1.84	1480	4.28	2.44	11.08
38	1.9	1520	4.29	2.39	11.21
39	1.8	1560	4.19	2.39	11.22
40	1.99	1600	4.34	2.49	11.21
41	1.78	1640	4.18	2.4	10.53
42	1.98	1680	4.33	2.35	9.57
43	1.81	1720	4.21	2.4	8.52
44	1.84	1760	4.21	2.37	7.33
45	1.83	1800	4.22	2.39	6.27
46	1.78	1840	4.2	2.42	5.37
47	1.87	1880	4.23	2.36	4.63
48	1.81	1920	4.2	2.39	4.11
49	1.94	1960	4.32	2.38	3.64
50	1.83	2000	4.21	2.38	3.23
51	1.85	2040	4.18	2.33	2.9
52	1.85	2080	4.21	2.36	2.63
53	1.83	2120	4.19	2.36	2.4
54	1.84	2160	4.21	2.37	2.15
55	1.85	2200	4.24	2.39	1.97
56	1.82	2240	4.23	2.41	1.8
57	1.84	2280	4.22	2.38	1.65
58	1.8	2320	4.14	2.34	1.51
59	1.85	2360	4.22	2.37	1.4
60	1.81	2400	4.13	2.32	1.31
61	1.82	2440	4.09	2.27	1.21
62	1.84	2480	4.22	2.38	1.12
63	1.87	2520	4.25	2.38	1.04
64	1.83	2560	4.18	2.35	0.98
65	1.81	2600	4.18	2.37	0.93

66	1.97	2640	4.29	2.32	0.9
67	1.85	2680	4.43	2.58	0.88
68	1.88	2720	4.49	2.61	0.78
69	1.88	2760	4.36	2.48	0.76
70	1.81	2800	4.59	2.78	0.74
71	2.08	2840	4.33	2.25	0.68
72	1.85	2880	4.22	2.37	0.65
73	1.8	2920	4.19	2.39	0.63
74	1.93	2960	4.35	2.42	0.62
75	1.85	3000	4.25	2.4	0.62
76	1.83	3040	4.22	2.39	0.62
77	1.89	3080	4.22	2.33	0.6
78	1.87	3120	4.23	2.36	0.6
79	1.82	3160	4.16	2.34	0.59
80	1.87	3200	4.23	2.36	0.59
81	1.81	3240	4.19	2.38	0.59
82	1.84	3280	4.2	2.36	0.59
83	1.85	3320	4.25	2.4	0.58
84	1.78	3360	4.14	2.36	0.6
85	1.78	3400	4.17	2.39	0.62
86	1.9	3440	4.3	2.4	0.59
87	1.83	3480	4.25	2.42	0.61
88	1.84	3520	4.23	2.39	0.61
89	1.89	3560	4.27	2.38	0.61
90	1.97	3600	4.37	2.4	0.62
91	1.87	3640	4.29	2.42	0.66
92	1.97	3680	4.34	2.37	0.7
93	1.98	3720	4.35	2.37	0.67
94	1.88	3760	4.23	2.35	0.73
95	1.81	3800	4.14	2.33	0.64
96	1.82	3840	4.18	2.36	0.65
97	1.81	3880	4.19	2.38	0.67
98	1.85	3920	3.42	1.57	0.66

deuxième essai niveau 3: 40-50cm ngal

norme 0,09 ml part minute pour ne pas dépasser la conductivité hydraulique normale du sol de Ngalenka

masse d'un god la mase de chaque godet est déduite pour chaque point de mesure

	T0	16	31	44	66	93
poids du becher	68.31	69.71	70.68	71.48	73.03	74.78
débit en ml/minute		0.0875	0.06466667	0.06154	0.07045	0.06481

début de la man 12h 57 06/01/02 T0

début de la solu salée 15h 49 06/01/ changement de la soluti T0 + 2h 52

fin de la solutio alée 18h 30 07/01/ changement de la soluti T0 + 29h 32

fin de la manipu on 09h 53 09/01/0. T0 + 68h 56

pas de temps 40 mn par godet solution non salée:0.72ms et solution salée:9.02mS

volume mort : 25,815 ml VmT

volume des vides de l'échantillon.

dimension de l'échantillon:

hauteur cm 6.5

diam cm 4.7 volume de l'échantillon 112.771

volume des des (35%de 112.7714 = 39.469ml)

volume à faire circuler : (39,46*4)=145,84 +25,815 VmT =171,65 ml

n° flacon	tarre	temps en mn	masse	volume en ml	Ce en mS
		0			
79	1.82	40	3.4	1.58	0.76
80	1.87	80	3.43	1.56	0.78
81	1.81	120	3.49	1.68	0.76
82	1.84	160	3.5	1.66	0.93
83	1.85	200	3.5	1.65	0.74
84	1.78	240	3.43	1.65	0.74
85	1.78	280	3.47	1.69	0.72
86	1.9	320	3.52	1.62	0.73
87	1.83	360	3.49	1.66	0.71
88	1.84	400	3.51	1.67	0.71
89	1.89	440	3.52	1.63	0.78
90	1.97	480	3.6	1.63	0.93
91	1.87	520	3.48	1.61	1.49
92	1.97	560	3.61	1.64	2.66
93	1.98	600	3.68	1.7	4.1
94	1.88	640	3.59	1.71	5.56

95	1.81	680	3.55	1.74	6.8
96	1.82	720	3.56	1.74	7.82
97	1.81	760	3.56	1.75	8.58
98	1.85	800	3.59	1.74	9.15
99	1.86	840	3.63	1.77	9.53
100	1.89	880	3.66	1.77	9.82
101	1.9	920	3.67	1.77	9.71
102	1.82	960	3.65	1.83	10.27
103	1.81	1000	3.63	1.82	10.66
104	1.8	1040	3.56	1.76	10.66
105	1.81	1080	3.6	1.79	10.61
106	1.78	1120	3.59	1.81	11.11
107	1.86	1160	3.67	1.81	10.61
108	1.81	1200	3.63	1.82	10.66
109	1.85	1240	3.78	1.93	10.63
110	1.82	1280	4.01	2.19	10.14
111	1.84	1320	3.76	1.92	10.18
112	1.83	1360	3.76	1.93	11.32
113	1.82	1400	3.82	2	10.35
114	1.82	1440	3.79	1.97	11.19
115	1.97	1480	3.96	1.99	11.01
116	1.78	1520	3.73	1.95	11.21
117	1.85	1560	3.86	2.01	10.85
118	1.82	1600	3.69	1.87	11.19
119	1.94	1640	3.89	1.95	10.24
120	1.97	1680	4.04	2.07	10.67
121	1.85	1720	3.94	2.09	10.73
122	1.97	1760	4.02	2.05	10.96
123	1.83	1800	3.92	2.09	11.23
124	1.82	1840	3.81	1.99	11.5
125	1.81	1880	3.8	1.99	11.52
126	1.87	1920	3.84	1.97	11.49
127	1.83	1960	3.86	2.03	11.51
128	1.86	2000	3.81	1.95	11.45
129	1.81	2040	3.92	2.11	11.41
130	1.82	2080	4.02	2.2	11.01
131	1.85	2120	3.85	2	9.92
132	1.89	2160	4.02	2.13	8.82
133	1.82	2200	3.74	1.92	7.65
134	1.78	2240	3.81	2.03	6.73
135	1.88	2280	3.93	2.05	5.72
136	1.85	2320	3.88	2.03	5.03
137	1.81	2360	3.85	2.04	4.42
138	1.89	2400	3.92	2.03	3.97

139	1.81	2440	3.87	2.06	3.51
140	1.82	2480	3.89	2.07	3.14
141	1.84	2520	3.92	2.08	2.85
142	1.85	2560	3.91	2.06	2.57
143	1.93	2600	3.98	2.05	2.36
144	1.83	2640	3.92	2.09	2.17
145	1.88	2680	3.97	2.09	1.97
146	1.97	2720	4.1	2.13	1.75
147	1.86	2760	4.03	2.17	1.66
148	1.94	2800	4.15	2.21	1.55
149	1.82	2840	4.03	2.21	1.44
150	1.84	2880	4.05	2.21	1.31
151	1.89	2920	4.16	2.27	1.21
152	1.8	2960	4.03	2.23	1.1
153	1.97	3000	4.12	2.15	1.04
154	1.9	3040	4.1	2.2	0.97
155	1.89	3080	4.07	2.18	0.92
156	1.86	3120	4.19	2.33	0.88
1	1.83	3160	4.06	2.23	0.8
2	1.85	3200	4.37	2.52	0.77
3	1.81	3240	4.17	2.36	0.75
4	1.93	3280	4.73	2.8	0.72
5	1.85	3320			
6	1.84	3360			
7	1.85	3400	4.14	2.29	0.7
8	1.87	3440	4.11	2.24	0.62
9	1.85	3480	4.23	2.38	0.61
10	1.78	3520	4.2	2.42	0.6
11	1.97	3560	4.19	2.22	0.59
12	1.86	3600	4.18	2.32	0.59
13	1.9	3640	4.23	2.33	0.59
14	1.84	3680	4.2	2.36	0.58
15	1.88	3720	4.17	2.29	0.59
16	1.87	3760	4.32	2.45	0.58
17	1.8	3800	4.23	2.43	0.58
18	1.81	3840	4.27	2.46	0.6
19	1.83	3880	4.23	2.4	0.6
20	1.78	3920	4.25	2.47	0.61
21	1.87	3960	4.28	2.41	0.61
22	1.8	4000	4.17	2.37	0.62
23	1.81	4040	4.22	2.41	0.63
24	1.83	4080	4.25	2.42	0.66
25	1.78	4120	4.2	2.42	0.65

ANNEXE 2 :

Dans cette annexe est présenté le programme CXTFIT 2.0 avec les trois modèles utilisés .
Chaque modèle comprend sept (7) blocs dont l'ensemble constitue une fonction servant à déterminer les paramètres de transport.

A chaque essai est attaché un fichier du genre « .IN » ,le quel fichier sera la fonction d'entrée . Cette fonction est résolue par le modèle et donne les résultats sous forme de fichier « .OUT » de sortie comme on le voit dans ce qui suit :

Notons que dans cette annexe, nous ne prenons qu'un seul exemple de fichier (un fichier .IN et un fichier .OUT) puisque le principe est le même pour chaque type de modèle .

Pour simplifier le travail nous avons choisi ,pour les trois modèles , les fichiers IN et OUT de l'essai IT140 .

**MODELE CDE CLASSIQUE
AVEC UN SEU PULSE**

```

1
*** BLOCK A: MODEL DESCRIPTION
*****
**
Fig.7-4: Estimation of duration time (MASS = 1 in
Block B)
EC (TDR) vs. Time at 10 cm (After Dirk
Mallants, No.121)
INVERSE MODE NREDU
1 1 1
MODC ZL(BLANK IF MODE=NREDU=1)
3
*** BLOCK B: INVERSE PROBLEM
*****
***
MIT ILMT MASS
150 1 1
*** BLOCK C: TRANSPORT PARAMETERS
*****
V D R Mu
0.928 1.0 1.0 0.0
1 1 0 0
0.01 0.01 .01 999
100 100 100 999
*** BLOCK D: BVP; MODB=0 ZERO; =1 Dirac;
=2 STEP; =3 A PULSE *****
MODB =4 MULTIPLE; =5
EXPONENTIAL; =6 ARBITRARY
3
8.56 22
1 0
1 0.1
10 30
*** BLOCK E: IVP; MOD1=0 ZERO; =1
CONSTANT; =2 STEPWISE; =3 EXPONENTIAL
**
MOD1
1
1.13
*** BLOCK F: PVP; MODP=0 ZERO; =1
CONSTANT; =2 STEPWISE; =3 EXPONENTIAL
**
MODP
0
*** BLOCK G: DATA FOR INVERSE
PROBLEM
*****
INPUTM =0,Z,T,C :=1,T,C FOR SAME Z ;=2,Z,C
FOR SAME T ;=3, ver.1 format
1
6.5
T C (3F10.0) (Give "0 0" after last data
set.)
0.66666667 1.13
1.33333333 1.27
2 1.72
.
.
63.3333333 0.78

```

0 0

Ce bloc contient les paramètres qui définissent le type de problème à résoudre.

Le paramètre INVERSE indique le problème à résoudre : direct (INVERSE = 0 ou -1) inverse (INVERSE = 1)

Le paramètre MODE (= 1 car on est à l'équilibre) spécifie le type de modèle tandis que MODC dénote le mode concentration

Ce bloc contient les paramètres du problème inverse :

MIT : c'est le nombre maximum d'itération

ILMT indique les paramètres de contrainte (=0 si pas de contraintes, =1 si l'on considère les contraintes minimales et maximales)

MASS indique le code d'estimation de la masse totale (= 0 si pas d'estimation, = 1 s'il y a estimation)

Ce bloc contient les paramètres de transport ainsi que leurs valeurs initiales. A la troisième ligne on indique si le paramètre reste une constante pendant l'ajustement (0) ou s'il sera ajusté par le mode (1)

La quatrième ligne mentionne la valeur minimale que pourrait prendre le paramètre ajusté

La cinquième ligne mentionne sa valeur maximale

Dans ce bloc on a les différentes fonctions qu'on peut utiliser pour avoir une variation des concentrations enregistrées en fonction du temps dans les valeurs limites du problème

A la ligne 4 sont mentionnées les valeurs du pulse enregistré et le temps pendant le quel a duré ce pulse. Les lignes 5,6 et 7 sont les mêmes que les lignes 3,4 et 5 du bloc C

Dans ce bloc on définit les fonctions qui peuvent être utilisées pour définir la concentration initiale dans les valeurs initiales du problème

MOD1 = 1 si le nombre de step est ≤ 2

A la quatrième ligne on note la concentration initiale du step

La production des valeurs du problème constitue le bloc F

MODP = 0 montre qu'il n'y a pas de production des termes

Dans ce bloc on a les données observées du problème

A la ligne 3 on a le code des données enregistrées :

1 s'il on cherche la variation de la concentration en fonction du temps pour une profondeur fixe

a la ligne 4 on note la longueur de l'échantillon de sol avec le quel on a travaillé

a la ligne 5 on note la valeur de la première concentration enregistrée lors du pulse à droite et à gauche la valeur du temps lui correspondant

après suivent les autres valeurs de concentration et de temps observés

chaque série de données est terminée par un zero (0)

\$

```
*****
*
* CXTFIT VERSION 2.1 (4/17/99)
* ANALYTICAL SOLUTIONS FOR ONE-DIMENSIONAL CDE
* NON-LINEAR LEAST-SQUARES ANALYSIS
*
* Fig.7-4: Estimation of duration time (MASS = 1 in Block B)
* EC (TDR) vs. Time at 10 cm (After Dirk Mallants, No.121)
*
* DATA INPUT FILE: input\it140.in
*
*****
```

MODEL DESCRIPTION

```
=====
DETERMINISTIC EQUILIBRIUM CDE (MODE=1)
RESIDENT CONCENTRATION (THIRD-TYPE INPUT)
REAL TIME (t), POSITION(x)
(D,V,mu, AND gamma ARE ALSO DIMENSIONAL)
```

INITIAL VALUES OF COEFFICIENTS

```
=====
NAME      INITIAL VALUE   FITTING   MIN VALUE   MAX VALUE
V.....   .9280E+00    Y    .1000E-01   .1000E+03
D.....   .1000E+01    Y    .1000E-01   .1000E+03
R.....   .1000E+01    N
mu.....   .0000E+00    N
Cin.....   .8560E+01    Y    .1000E+01   .1000E+02
T2.....   .2200E+02    N
```

BOUNDARY, INITIAL, AND PRODUCTION CONDITIONS

```
=====
<INITIAL ESTIMATE OF B.C.>
SINGLE PULSE OF CONC. = 8.5600 & DURATION = 22.0000
CONSTANT INITIAL CONC. = 1.1300
NO PRODUCTION TERM
```

PARAMETER ESTIMATION MODE

```
=====
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS = 150
INPUT CONCENTRATION, Cin, IS FITTED TO THE DATA
1.0000 < Cin < 10.0000
```

ITER	SSQ	V....	D....	Cin..
0	.1520E+03	.928E+00	.100E+01	.856E+01
1	.4483E+02	.949E+00	.335E+01	.993E+01
2	.2224E+02	.938E+00	.670E+01	.100E+02
3	.2218E+02	.930E+00	.659E+01	.100E+02
4	.2205E+02	.925E+00	.648E+01	.100E+02
5	.2192E+02	.920E+00	.638E+01	.100E+02
6	.2180E+02	.916E+00	.629E+01	.100E+02
7	.2170E+02	.913E+00	.622E+01	.100E+02
8	.2162E+02	.910E+00	.615E+01	.100E+02
9	.2155E+02	.907E+00	.610E+01	.100E+02
10	.2149E+02	.905E+00	.605E+01	.100E+02
11	.2145E+02	.903E+00	.601E+01	.100E+02
12	.2141E+02	.902E+00	.598E+01	.100E+02
13	.2138E+02	.900E+00	.595E+01	.100E+02
14	.2135E+02	.899E+00	.592E+01	.100E+02
15	.2133E+02	.898E+00	.590E+01	.100E+02
16	.2131E+02	.897E+00	.588E+01	.100E+02
17	.2129E+02	.897E+00	.586E+01	.100E+02
18	.2128E+02	.896E+00	.585E+01	.100E+02
19	.2127E+02	.895E+00	.584E+01	.100E+02
20	.2126E+02	.895E+00	.583E+01	.100E+02
21	.2125E+02	.894E+00	.582E+01	.100E+02
22	.2125E+02	.894E+00	.581E+01	.100E+02
23	.2124E+02	.894E+00	.580E+01	.100E+02
24	.2123E+02	.894E+00	.580E+01	.100E+02
25	.2123E+02	.893E+00	.579E+01	.100E+02
26	.2123E+02	.893E+00	.579E+01	.100E+02
27	.2122E+02	.893E+00	.579E+01	.100E+02
28	.2122E+02	.893E+00	.578E+01	.100E+02
29	.2122E+02	.893E+00	.578E+01	.100E+02

COVARIANCE MATRIX FOR FITTED PARAMETERS

=====

	V....	D....	Cin..
V....	1.000		
D....	.755	1.000	
Cin..	.107	.548	1.000

RSQUARE FOR REGRESSION OF OBSERVED VS PREDICTED = .96930299
(COEFFICIENT OF DETERMINATION)

MEAN SQUARE FOR ERROR (MSE) = .2306E+00

NON-LINEAR LEAST SQUARES ANALYSIS, FINAL RESULTS

=====

95% CONFIDENCE LIMITS

NAME	VALUE	S.E.COEFF.	T-VALUE	LOWER	UPPER
V....	.8927E+00	.3059E-01	.2918E+02	.8319E+00	.9534E+00
D....	.5780E+01	.7534E+00	.7672E+01	.4284E+01	.7277E+01
Cin..	.1000E+02	.1693E+00	.5906E+02	.9664E+01	.1034E+02

-----ORDERED BY COMPUTER INPUT-----

\$	NO	CONCENTRATION		RESI-	OBS	FITTED	DUAL
		DISTANCE	TIME				
	1	6.5	0.6667	1.13	1.1675	-0.0375	
	2	6.5	1.3333	1.27	1.4439	-0.1739	
	3	6.5	2	1.72	1.8631	-0.1431	
	4	6.5	2.6667	2.45	2.3169	0.1331	
	5	6.5	3.3333	3.3	2.7632	0.5368	
	6	6.5	4	3.93	3.1869	0.7431	
	7	6.5	4.6667	4.23	3.5832	0.6468	
	8	6.5	5.3333	4.59	3.9516	0.6384	
	9	6.5	6	5.04	4.2934	0.7466	
	10	6.5	6.6667	5.28	4.6103	0.6697	
	11	6.5	7.3333	5.72	4.9045	0.8155	
	12	6.5	8	6.05	5.1777	0.8723	
	13	6.5	8.6667	6.01	5.4319	0.5781	
	14	6.5	9.3333	6.34	5.6687	0.6713	
	15	6.5	10	6.78	5.8897	0.8903	
	16	6.5	10.6667	6.8	6.0962	0.7038	
	17	6.5	11.3333	7.15	6.2894	0.8606	
	18	6.5	12	7.32	6.4706	0.8494	
	19	6.5	12.6667	7.36	6.6405	0.7195	
	20	6.5	13.3333	7.6	6.8002	0.7998	
	21	6.5	14	7.28	6.9503	0.3297	
	22	6.5	14.6667	7.41	7.0918	0.3182	
	23	6.5	15.3333	7.67	7.2251	0.4449	
	24	6.5	16	7.68	7.3509	0.3291	
	25	6.5	16.6667	7.78	7.4697	0.3103	
	26	6.5	17.3333	8	7.582	0.418	
	27	6.5	18	8.15	7.6883	0.4617	
	28	6.5	18.6667	8.27	7.789	0.481	
	29	6.5	19.3333	8.36	7.8844	0.4756	
	30	6.5	20	8.33	7.9748	0.3552	
	31	6.5	20.6667	8.41	8.0607	0.3493	
	32	6.5	21.3333	8.32	8.1422	0.1778	
	33	6.5	22	8.52	8.2197	0.3003	
	34	6.5	22.6667	8.56	8.2511	0.3089	
	35	6.5	23.3333	8.35	8.0095	0.3405	
	36	6.5	24	7.95	7.6037	0.3463	
	37	6.5	24.6667	7.47	7.1556	0.3144	
	38	6.5	25.3333	7.1	6.713	0.387	
	39	6.5	26	6.8	6.293	0.507	

40	6.5	26.6667	6.43	5.9013	0.5287
41	6.5	27.3333	6.06	5.5385	0.5215
42	6.5	28	5.73	5.2033	0.5267
43	6.5	28.6667	5.44	4.8939	0.5461
44	6.5	29.3333	5.14	4.6081	0.5319
45	6.5	30	4.9	4.3438	0.5562
46	6.5	30.6667	4.67	4.099	0.571
47	6.5	31.3333	4.39	3.872	0.518
48	6.5	32	4.11	3.6612	0.4488
49	6.5	32.6667	3.84	3.465	0.375
50	6.5	33.3333	3.65	3.2822	0.3678
51	6.5	34	3.47	3.1117	0.3583
52	6.5	34.6667	3.42	2.9523	0.4677
53	6.5	35.3333	3.32	2.8031	0.5169
54	6.5	36	3.33	2.6634	0.6666
55	6.5	36.6667	3.31	2.5323	0.7777
56	6.5	37.3333	3.1	2.4092	0.6908
57	6.5	38	2.9	2.2935	0.6065
58	6.5	38.6667	2.84	2.1846	0.6554
59	6.5	39.3333	2.68	2.082	0.598
60	6.5	40	2.56	1.9852	0.5748
61	6.5	40.6667	2.4	1.8939	0.5061
62	6.5	41.3333	2.29	1.8077	0.4823
63	6.5	42	2.15	1.7262	0.4238
64	6.5	42.6667	2.01	1.649	0.361
65	6.5	43.3333	1.94	1.576	0.364
66	6.5	44	1.86	1.5068	0.3532
67	6.5	44.6667	1.73	1.4413	0.2887
68	6.5	45.3333	1.65	1.3791	0.2709
69	6.5	46	1.61	1.32	0.29
70	6.5	46.6667	1.55	1.2639	0.2861
71	6.5	47.3333	1.51	1.2106	0.2994
72	6.5	48	1.5	1.1599	0.3401
73	6.5	48.6667	1.46	1.1117	0.3483
74	6.5	49.3333	1.33	1.0658	0.2642
75	6.5	50	1.27	1.0221	0.2479
76	6.5	50.6667	1.22	0.9805	0.2395
77	6.5	51.3333	1.16	0.9408	0.2192
78	6.5	52	1.13	0.903	0.227
79	6.5	52.6667	1.12	0.8669	0.2531
80	6.5	53.3333	1.07	0.8325	0.2375
81	6.5	54	1	0.7996	0.2004
82	6.5	54.6667	1	0.7682	0.2318
83	6.5	55.3333	0.98	0.7382	0.2418
84	6.5	56	0.94	0.7095	0.2305
85	6.5	56.6667	0.97	0.6821	0.2879
86	6.5	57.3333	0.97	0.6559	0.3141
87	6.5	58	0.92	0.6308	0.2892
88	6.5	58.6667	0.89	0.6068	0.2832
89	6.5	59.3333	0.86	0.5838	0.2762

90	6.5	60	0.83	0.5618	0.2682
91	6.5	60.6667	0.82	0.5407	0.2793
92	6.5	61.3333	0.82	0.5205	0.2995
93	6.5	62	0.8	0.5011	0.2989
94	6.5	62.6667	0.81	0.4826	0.3274
95	6.5	63.3333	0.78	0.4648	0.3152

**NON-EQUILIBRUM MODELE :
MODELE CDE A DEUX REGIONS**

```

*** BLOCK A: MODEL DESCRIPTION *****
Fig 7-9b: BORON EFFLUENT (Exp3-1, van Genuchten, 1974)
(Kd=1.04, unit, cm, d, micro g)(see CXTFIT ver. 1, EX. 4A, Fig. 5)
INVERSE  MODE  NREDU
  1        2      0
MODC     ZL
  1       6.5
*** BLOCK B: INVERSE PROBLEM *****
MIT     ILMT  MASS
  200    0     0
MNEQ    MDEG
  0      0
*** BLOCK C: TRANSPORT PARAMETERS *****
  V      D      R   Bcta  omega  Mu1  Mu2
  0.928  5.78   1   0.75  2     0.  0.
  0      1      0   1     1     0   0
*** BLOCK D: BVP; MODB=0 ZERO; =1 DIRAC; =2 STEP; =3 A PULSE *****
MODB (Reduced Conc. & time) =4 MULTIPLE; =5 EXPONENTIAL; =6 ARBITRARY
  4
  3
  .8 0
  8.56 3
  .8 25
*** BLOCK E: IVP; MODI=0 ZERO; =1 CONSTANT; =2 STEPWISE; =3 EXPONENTIAL **
MODI
  1
  .8
*** BLOCK F: PVP; MODP=0 ZERO; =1 CONSTANT; =2 STEPWISE; =3 EXPONENTIAL **
MODP
  0
*** BLOCK G: DATA FOR INVERSE PROBLEM *****
INPUTM =0; Z.T.C =1; T.C FOR SAME Z =2; Z,C FOR SAME T
  1
  6.5
  TIME     CONC   (Give "0 0 0" after last data set.)
  3.66666667  1.27
  4.33333333  1.72
  5          2.45
  5.66666667  3.3
  6.33333333  3.93
  0          0

```

TWO-REGION PHYSICAL NONEQUILIBRIUM MODEL

ITER	SSQ	D....	beta.	omega
0	.9779E+02	.578E+01	.750E+00	.200E+01
1	.5729E+02	.221E+01	.688E+00	.243E+01
2	.5532E+02	.203E+01	.624E+00	.172E+01
3	.5344E+02	.101E+01	.416E+00	.124E+01
4	.4874E+02	.721E+00	.293E+00	.206E+01
5	.4743E+02	.288E+00	.169E+00	.220E+01
6	.4689E+02	.265E+00	.903E-01	.257E+01
7	.4686E+02	.174E+00	.913E-01	.247E+01
8	.4682E+02	.199E+00	.102E+00	.242E+01
9	.4679E+02	.102E+00	.986E-01	.234E+01
10	.4677E+02	.811E-01	.101E+00	.230E+01
11	.4675E+02	.324E-01	.979E-01	.226E+01
12	.4674E+02	.262E-01	.983E-01	.225E+01
13	.4673E+02	.207E-01	.983E-01	.224E+01
14	.4672E+02	.160E-01	.982E-01	.224E+01
15	.4672E+02	.122E-01	.979E-01	.223E+01
16	.4671E+02	.924E-02	.977E-01	.223E+01
17	.4671E+02	.710E-02	.974E-01	.222E+01
18	.4671E+02	.564E-02	.972E-01	.222E+01
19	.4671E+02	.470E-02	.971E-01	.222E+01
20	.4670E+02	.235E-02	.964E-01	.222E+01
21	.4670E+02	.249E-02	.965E-01	.222E+01
22	.4670E+02	.315E-02	.967E-01	.222E+01
23	.4670E+02	.312E-02	.967E-01	.222E+01
24	.4670E+02	.304E-02	.967E-01	.222E+01
25	.4670E+02	.304E-02	.967E-01	.222E+01

COVARIANCE MATRIX FOR FITTED PARAMETERS

=====

	D....	beta.	omega
D....	1.000		
beta.	.996	1.000	
omega	-.185	-.207	1.000

RSQUARE FOR REGRESSION OF OBSERVED VS PREDICTED = .93160612
(COEFFICIENT OF DETERMINATION)

MEAN SQUARE FOR ERROR (MSE) = .5132E+00

NON-LINEAR LEAST SQUARES ANALYSIS, FINAL RESULTS

=====

95% CONFIDENCE LIMITS					
NAME	VALUE	S.E.COEFF.	T-VALUE	LOWER	UPPER
D....	.3041E-02	.1901E+00	.1600E-01	-.3745E+00	.3806E+00
beta.	.9668E-01	.6137E-01	.1576E+01	-.2522E-01	.2186E+00
omega	.2219E+01	.2292E+00	.9683E+01	.1764E+01	.2675E+01

-----ORDERED BY COMPUTER INPUT-----

\$	NO	CONCENTRATION DISTANCE	RESI- TIME	OBS	FITTED	DUAL
	1	6.5	3.6667	1.27	1.0921	0.1779
	2	6.5	4.3333	1.72	2.0809	-0.3609
	3	6.5	5	2.45	2.5251	-0.0751
	4	6.5	5.6667	3.3	2.9648	0.3352
	5	6.5	6.3333	3.93	3.3942	0.5358
	6	6.5	7	4.23	3.8099	0.4201
	7	6.5	7.6667	4.59	4.2074	0.3826
	8	6.5	8.3333	5.04	4.5861	0.4539
	9	6.5	9	5.28	4.9463	0.3337
	10	6.5	9.6667	5.72	5.2779	0.4421
	11	6.5	10.3333	6.05	5.5901	0.4599
	12	6.5	11	6.01	5.8802	0.1298
	13	6.5	11.6667	6.34	6.1464	0.1936
	14	6.5	12.3333	6.78	6.3908	0.3892
	15	6.5	13	6.8	6.6194	0.1806
	16	6.5	13.6667	7.15	6.8187	0.3313
	17	6.5	14.3333	7.32	7.0089	0.3111
	18	6.5	15	7.36	7.1797	0.1803
	19	6.5	15.6667	7.6	7.3276	0.2724
	20	6.5	16.3333	7.28	7.4669	-0.1869
	21	6.5	17	7.41	7.5944	-0.1844
	22	6.5	17.6667	7.67	7.7042	-0.0342
	23	6.5	18.3333	7.68	7.8005	-0.1205
	24	6.5	19	7.78	7.8905	-0.1105
	25	6.5	19.6667	8	7.9723	0.0277
	26	6.5	20.3333	8.15	8.0437	0.1063
	27	6.5	21	8.27	8.1046	0.1654
	28	6.5	21.6667	8.36	8.1585	0.2015
	29	6.5	22.3333	8.33	8.2081	0.1219
	30	6.5	23	8.41	8.2529	0.1571
	31	6.5	23.6667	8.32	8.2924	0.0276
	32	6.5	24.3333	8.52	8.3265	0.1935
	33	6.5	25	8.56	8.3554	0.2046
	34	6.5	25.6667	8.35	8.0884	0.2616
	35	6.5	26.3333	7.95	7.1227	0.8273
	36	6.5	27	7.47	6.6988	0.7712
	37	6.5	27.6667	7.1	6.277	0.823
	38	6.5	28.3333	6.8	5.8628	0.9372
	39	6.5	29	6.43	5.4608	0.9692
	40	6.5	29.6667	6.06	5.0744	0.9856
	41	6.5	30.3333	5.73	4.7061	1.0239
	42	6.5	31	5.44	4.3578	1.0822
	43	6.5	31.6667	5.14	4.0309	1.1091
	44	6.5	32.3333	4.9	3.7259	1.1741
	45	6.5	33	4.67	3.4427	1.2273
	46	6.5	33.6667	4.39	3.181	1.209
	47	6.5	34.3333	4.11	2.9402	1.1698
	48	6.5	35	3.84	2.7194	1.1206
	49	6.5	35.6667	3.65	2.5178	1.1322

50	6.5	36.3333	3.47	2.3342	1.1358
51	6.5	37	3.42	2.1676	1.2524
52	6.5	37.6667	3.32	2.0168	1.3032
53	6.5	38.3333	3.33	1.8807	1.4493
54	6.5	39	3.31	1.7583	1.5517
55	6.5	39.6667	3.1	1.6484	1.4516
56	6.5	40.3333	2.9	1.5499	1.3501
57	6.5	41	2.84	1.462	1.378
58	6.5	41.6667	2.68	1.3835	1.2965
59	6.5	42.3333	2.56	1.3137	1.2463
60	6.5	43	2.4	1.2516	1.1484
61	6.5	43.6667	2.29	1.1966	1.0934
62	6.5	44.3333	2.15	1.1478	1.0022
63	6.5	45	2.01	1.1047	0.9053
64	6.5	45.6667	1.94	1.0666	0.8734
65	6.5	46.3333	1.86	1.033	0.827
66	6.5	47	1.73	1.0035	0.7265
67	6.5	47.6667	1.65	0.9775	0.6725
68	6.5	48.3333	1.61	0.9546	0.6554
69	6.5	49	1.55	0.9346	0.6154
70	6.5	49.6667	1.51	0.9171	0.5929
71	6.5	50.3333	1.5	0.9017	0.5983
72	6.5	51	1.46	0.8883	0.5717
73	6.5	51.6667	1.33	0.8766	0.4534
74	6.5	52.3333	1.27	0.8664	0.4036
75	6.5	53	1.22	0.8575	0.3625
76	6.5	53.6667	1.16	0.8498	0.3102
77	6.5	54.3333	1.13	0.843	0.287
78	6.5	55	1.12	0.8372	0.2828
79	6.5	55.6667	1.07	0.8321	0.2379
80	6.5	56.3333	1	0.8277	0.1723
81	6.5	57	1	0.8239	0.1761
82	6.5	57.6667	0.98	0.8206	0.1594
83	6.5	58.3333	0.94	0.8177	0.1223
84	6.5	59	0.97	0.8153	0.1547
85	6.5	59.6667	0.97	0.8131	0.1569
86	6.5	60.3333	0.92	0.8113	0.1087
87	6.5	61	0.89	0.8097	0.0803
88	6.5	61.6667	0.86	0.8083	0.0517
89	6.5	62.3333	0.83	0.8071	0.0229
90	6.5	63	0.82	0.8061	0.0139
91	6.5	63.6667	0.82	0.8052	0.0148
92	6.5	64.3333	0.8	0.8045	-0.0045
93	6.5	65	0.81	0.8038	0.0062
94	6.5	65.6667	0.78	0.8033	-0.0233

□ 1

Modèle à deux régions de l'essai 1 niveau 40-50cm

```

*****
*                                     *
*   CXTFIT VERSION 2.1 (4/17/99)           *
*   ANALYTICAL SOLUTIONS FOR ONE-DIMENSIONAL CDE           *
*   NON-LINEAR LEAST-SQUARES ANALYSIS           *
*                                     *
*   Fig 7-9b: BORON EFFLUENT (Exp3-1, van Genuchten, 1974) *
*   (Kd=1.04, unit, cm, d. micro g)(see CXTFIT ver. 1.EX.4A, Fig.5*
*                                     *
*   DATA INPUT FILE: input\it140b.in           *
*                                     *
*****

```

MODEL DESCRIPTION

```
=====
```

```

DETERMINISTIC NONEQUILIBRIUM CDE (MODE=2)
FLUX-AVERAGED CONCENTRATION
REAL TIME (t), POSITION(x)
(D AND V ARE DIMENSIONAL;
 R,beta,omega,mu, AND gamma ARE DIMENSIONLESS)
CHARACTERISTIC LENGTH = 6.5000
FOR DIMENSIONLESS PARAMETERS

```

INITIAL VALUES OF COEFFICIENTS

```
=====
```

NAME	INITIAL VALUE	FITTING
V.....	.9280E+00	N
D.....	.5780E+01	Y
R.....	.1000E+01	N
beta.....	.7500E+00	Y
omega....	.2000E+01	Y
mu1.....	.0000E+00	N
mu2.....	.0000E+00	N

BOUNDARY, INITIAL, AND PRODUCTION CONDITIONS

```
=====
```

```

MULTIPLE PULSE INPUT No. OF PULSES = 3
CONC. Starting time
.80000 .00000
8.56000 3.00000
.80000 25.00000
CONSTANT INITIAL CONC. = .8000
NO PRODUCTION TERM

```

PARAMETER ESTIMATION MODE

```
=====
```

```

MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS = 200

```