

République du Sénégal

Ministère de l'Agriculture

Société Nationale d'Aménagement et
d'Exploitation des terres du Delta du fleuve
Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la
Falémé

S.A.E.D.

Opération Recherche - Développement 1995

Financement : 6ème Fonds Européen de Développement

Objet : Opération de recherche - développement pour l'amélioration de la
production rizicole et la préservation de la ressource en sols

Rapport Final

Mars 1996

ORSTOM

L'Institut Français de Recherche
Scientifique pour le Développement en
Coopération

ISRA

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
Centre de Saint-Louis

Opération 1 : Impact de l'irrigation sur l'évolution des sols et des nappes.	4
1.a Etat de dégradation des sols irrigués au niveau du département.	4
1.b Etude de l'évolution des sols sous culture.	4
Suivi sous riziculture.	4
Cultures de tomates et d'oignons	4
Caractérisation physique des sols	5
1.c Irrigation et dynamique des nappes superficielles	5
1.d. Méthodes de préservation de la ressource en sol	6
Volet 2 : Diagnostic et amélioration des systèmes de riziculture irriguée	7
Résumé	7
Rappel des objectifs	7
Dispositif	8
Déroulement des campagnes de culture (contre-saison et hivernage)	8
Elaboration des rendements rizicoles	9
1 - Comparaison des 2 modes d'implantation	12
2 - Contraintes en semis direct	12
3 - Contraintes en repiquage	12
Proposition d'un cadre pour le choix et la réalisation des interventions culturales	13
1 - Objectifs	14
2 Variété et date de semis	14
3 - Implantation	15
3 - 1 Implantation par semis direct	15
3 - 2 Implantation par repiquage	16
4 - Contrôle de l'enlèvement	16
5 - Fertilisation	17
6 - Contrôle des maladies et ravageurs	17
7 - Gestion de l'eau	19
8 - Récolte	19
9 - Pratiques individuelles et pratiques collectives	19
Volet 3 : Gestion de la mécanisation pour la préparation du sol	26
Résumé	26
Avant-propos	27
Introduction	27
Objectifs	27
Dispositif et Méthodes	28
Bibliographie	28
Etat des lieux, calendrier cultural	28
Etude de l'impact du travail du sol sur l'implantation du riz	28
Caractéristiques du parc de matériel et du cheptel de trait	29
Le cheptel de trait	29
Le parc de matériel à traction animale	29
Le parc de matériel motorisé	29
Enquête rétrospective sur les travaux mécanisés	29
Opérations mécanisées et place de chaque mode de travail du sol	29
Problèmes rencontrés et raisons du choix évoqués (Cf annexe I)	30

Objectifs visés pour l'opération et résultats obtenus (Cf annexe 2)	30
Coûts des prestations et modes de paiement (Cf annexe 3)	30
Relations entre prestataires et producteurs	31
Calendrier cultural, performances et rapport entre l'offre et la demande de travail	31
Performances techniques	31
Demande et offre de travail du sol selon le type de mécanisation	32
Effets du travail du sol sur l'implantation du riz irrigué	32
Effets sur le nivellement général de la parcelle	32
Effets sur la qualité du lit de semis	33
Conclusion et perspectives	34
Annexe au volet 1	43
<i>Volet Irrigation et Dynamique des Nappes Superficielles</i>	43
1- Objectifs de l'étude	43
2- Rappel des dispositifs expérimentaux et de suivi:	43
3-Etudes précédentes:	44
4-Analyses des résultats:	44
4-1- Donaye ITI	45
4-2- Mboyo 7	46
4-3- Ouromadiou	48
4-4- Ngawlé 2	49
Conclusions	49
Bibliographie sommaire	50

Opération de recherche - développement pour l'amélioration de la production rizicole et la préservation de la ressource en sols

Opération 1 : Impact de l'irrigation sur l'évolution des sols et des nappes.

1.a Etat de dégradation des sols irrigués au niveau du département.

Ce travail a fait l'objet d'un rapport intermédiaire, dont nous ne rappelons ici que les grandes lignes.

On a montré que la teneur en carbonates des horizons de surface est un bon indicateur de la dynamique de dégradation du sol par alcalinisation. Le protocole analytique est simple et peu coûteux. Il est détaillé dans le rapport de S. Schiess (1995).

Cette étude montre que tous les périmètres rizicoles échantillonnés ont tendance à accumuler des carbonates, signe d'une dynamique hydrique où l'accumulation résiduelle prédomine, et donc où les conditions d'une alcalinisation du sol sont réunies. Le pH du sol irrigué s'est effectivement significativement élevé par rapport au sol non cultivé.

Si tous les sols se dégradent, il y a des différences perceptibles au niveau de la dynamique, selon :

- Le type de sol. Les sols les plus filtrants ont tendance à moins accumuler de carbonates en surface. Néanmoins, cela ne signifie pas qu'ils ne se dégradent pas en profondeur. D'autre part, la remontée des nappes limite l'infiltration et favorise l'accumulation résiduelle par évaporation : la dynamique d'alcalinisation des sols les moins argileux devient alors équivalente à celle des sols lourds. Il convient de noter que les sols de Fonde sont moins résistants à la dégradation.
- Le type d'aménagement. Le Périmètre Autonome de Nianga, qui dispose de drains, a tendance à se dégrader plus lentement. Néanmoins, en raison d'une remontée générale de la nappe, l'alcalinisation progresse. Elle atteint même des stades très avancés en certains endroits engorgés de façon permanente.
- Le nombre de cycles de culture. Plus l'irrigation est ancienne, plus le sol est dégradé.

Cette étude confirme nos craintes quant à l'évolution du sol sous culture. Il permet de définir un indicateur peu coûteux pour un suivi de l'état des sols.

1.b Etude de l'évolution des sols sous culture.

Suivi sous riziculture.

De nombreux sites ont été équipés (Ngaoulé, Mboyo, Ndiawara, Donaye, Wouro Madiou). L'échec ou l'abandon des campagnes de contre-saison et des problèmes d'accessibilité en hivernage ont pénalisé cette étude. La partie piézométrie est présentée ci-après. L'évolution des sols lourds sous riziculture (cas de Donaye par exemple) est confirmée : faible infiltration, non mesurable donc éventuellement nulle, accumulation résiduelle de carbonates dans les sols. Le point important à retenir concerne la différence de dynamique entre les rizières dont l'eau de surface n'est jamais vidangée (la mise à sec résulte de l'évaporation) de celles disposant d'un fossé de collature (voire de diguettes trop mal entretenues), et dans lesquels l'eau de surface est périodiquement ou régulièrement évacuée. Dans ce dernier cas, la géochimie de l'eau de surface est nettement moins dangereuse, et la dynamique d'alcalinisation pourrait s'en trouver considérablement ralentie. Ceci sous réserve que l'eau évacuée soit rejetée *in fine* à la mer, et que les nappes ne deviennent pas affleurante (cas de Guia 3 par exemple).

De cette étude il ressort donc :

- Une confirmation de la dynamique de dégradation au cours du cycle cultural.
- L'illustration du paradoxe : il convient d'infiltrer de l'eau à travers le sol pour lessiver les sels, mais en quantité raisonnable pour ne pas recharger les nappes.
- L'intérêt de disposer d'une possibilité de vidanger les parcelles (fossés de collature) et de pouvoir rejeter les eaux usées dans le fleuve au minimum (on traite alors localement un problème qui restera à gérer régionalement).

Cultures de tomates et d'oignons

Le site de Wouro Madiou offre quelques particularités :

- Il est cultivé en tomates et oignons, et non en riz.

- Il est implanté sur un bourrelet de berge récent, de texture particulièrement légère.

On dispose donc ici d'un cas extrême (sol filtrant, nappe superficielle relativement profonde, apports d'eau plus limités que dans le cas de la riziculture).

Le dispositif de suivi du bilan hydro-salin implanté est décrit en annexe. On en retire principalement les conclusions suivantes :

- La profondeur maximum de percolation de l'eau d'irrigation sous culture est de 1.6 m. Les nappes (qui se situent à 4m) ne sont donc pas rechargées. Leur dynamique est indépendante de la culture et ne dépend que de la crue du Doné.
- Il n'y a donc globalement aucun lessivage. Le sol est appelé à se dégrader par alcalinisation de façon certaine. Sa « durée de vie » peut être grossièrement évaluée en croisant les apports d'eau et le stock total de calcium. En considérant une Alcalinité Résiduelle Calcite de 0.2 meq/l pour l'eau du fleuve, un apport de 450 l/m² pour une culture d'oignons, 1m de sol dispose d'un pouvoir tampon théorique de l'ordre de 25 ans. Ce délai est a priori un maximum. Si aucune autre réaction géochimique ne vient interférer, la dégradation du sol par sodisation peut se manifester beaucoup plus tôt. Ce point fera donc l'objet de vérifications (en particulier en ce qui concerne la géochimie).
- Il y aurait intérêt à lessiver de temps à autres le profil de sol, ce qu'une campagne de riziculture autoriserait. Les nappes superficielles permettraient alors un écoulement des eaux chargées vers le fleuve. Le système naturel peut ici faire office de drain.

Caractérisation physique des sols

Pour prévoir l'évolution des sols irrigués, l'outil a priori le plus utile est la simulation. Pour être en mesure de modéliser l'évolution des sols, il faut :

- Disposer de modèles reproduisant correctement les transferts d'eau et de solutés (sels) qui se produisent dans les sols de la région.
- Disposer des paramètres de calage de ces modèles.
- Disposer des données permettant leur validation.

Le troisième point est largement abordé grâce aux suivis réalisés depuis trois ans et en partie financés dans le cadre du FED Podor. Les premiers et second points font l'objet de recherches. Nous espérons disposer de modèles calés et validés d'ici trois ans, bien que dans certains cas nous ayons déjà des solutions opérationnelles (ci-après). Une campagne de caractérisation physique des sols a été réalisée en vue de satisfaire au deuxième point.

Différentes méthodes de détermination de la conductivité hydraulique à saturation des sols ont été testées, le détail de l'étude figurant dans le mémoire de Mr A. De Luca (1996). La mesure au perméamètre à succion donne satisfaction. La mesure au perméamètre à charge variable donne également de bons résultats. Les conductivités hydrauliques des sols de la région vont de 10⁻³ cm / s (Fondé léger) à 10⁻⁶ cm / s (Hollaldé). Dans ce dernier cas, la percolation directe (et donc le lessivage) à travers 1m d'argile est impossible. Il sera donc nécessaire de développer des méthodes originales pour éviter la dégradation progressive des sols.

1.c Irrigation et dynamique des nappes superficielles

Ce travail comporte deux aspects :

1. Etudier le fonctionnement des nappes sous les périmètres irrigués. On rappelle qu'il est à la fois nécessaire de lessiver les sols, tout en évitant un engorgement.
2. Quantifier les écoulements au niveau des aquifères et les mettre en relation avec la nature du substrat : ceci permettant d'une part de mieux comprendre le fonctionnement observé, d'autre part d'introduire le fonctionnement des nappes dans des modèles simulant le bilan hydro-salin de périmètres irrigués.

Le détail des travaux concernant les points 1 et 2 figure en annexe.

Les principales conclusions sont les suivantes :

Les périmètres situés à proximité immédiate du fleuve subissent nettement l'influence de ce dernier en ce qui concerne la dynamique de la nappe. L'influence de l'irrigation est donc plus grande en cas d'éloignement du fleuve, de périmètre de grande taille, et de (double) riziculture.

Il est possible d'utiliser les transferts depuis la nappe vers le fleuve comme un système de drainage naturel, dans le cas de périmètres bordant le cours d'eau.

Les perméabilités des aquifères sont déterminées par la présence de limons dans le sable, la salinité et la présence d'oxyhydroxydes de fer. Il doit être possible d'en donner un ordre de grandeur à partir de critères simples (granulométrie, mesure de salinité), et ce point sera à l'étude dans les mois qui viennent.

Des écoulements préférentiels sont probablement à l'origine de la remontée des nappes dans les sites les plus argileux : la perméabilité des sols ne permet pas d'expliquer les variations enregistrées. Le rôle de la compression d'air qui s'y produit est également à envisager.

1.d. Méthodes de préservation de la ressource en sol

En collaboration avec l'Institut de Mécanique des Fluides (CNRS) de Strasbourg, un modèle de recharge et d'écoulement des nappes a été mis au point et testé. Il doit permettre de raisonner par la simulation les choix de configuration et gestion de périmètres offrant les meilleures conditions de gestion conservatoire. La bibliographie concernant l'évapotranspiration des arbres a été collectée. La simulation en cours vise à mettre en évidence les inter-relations entre type de sol, perméabilité de l'aquifère, dimension du périmètre, système de culture et présence d'arbres, et leurs conséquences sur la dynamique des nappes. La thèse dont cette recherche fait l'objet sera soutenue en Juin 1996.

Des essais comparatifs sur l'effet du travail du sol et de la mise en eau vis à vis des transferts salins ont été conduits à Donay (comparaison puddling, labour, non travail). Les résultats sont encore en dépeillement en raison de retards indépendants de notre volonté.

Opération de recherche - développement pour l'amélioration de la production rizicole et la préservation de la ressource en sols

Volet 2 : Diagnostic et amélioration des systèmes de riziculture irriguée **Rapport final**

J.C. Poussin et T. Neuts, ORSTOM Dakar

Résumé

Ce rapport est subdivisé en 2 parties.

La première partie expose les résultats de nos mesures relatives à l'élaboration des rendements rizicoles en relation avec les pratiques culturales. Les principales conclusions sont les suivantes.

1) Le recul des surfaces irriguées cultivées en 1995 est lié à la conjugaison de 3 principaux facteurs : l'endettement croissant des groupements de producteurs, le durcissement des banques en matière d'octroi des crédits de campagne, l'opportunité de cultiver d'importantes surfaces de décrue.

2) Les principaux facteurs de limitation des rendements rizicoles est l'enherbement pour les parcelles semées directement, la faible densité de touffes (liée au recours à l'entraide et à l'âge avancé des plants) pour les parcelles repiquées.

La seconde partie concerne nos propositions en matière de conduite de la riziculture.

Les interventions techniques ne sont pas indépendantes entre-elles, et chaque intervention doit être raisonnée selon les objectifs poursuivis. Les deux principaux objectifs poursuivis sont :

- la réussite de l'installation de la culture en matière de densité, d'homogénéité et de contrôle de l'enherbement ;
- l'expression du potentiel issu de cette installation par la conduite de la fertilisation et le contrôle des ravageurs.

La maîtrise du processus de production impose une planification des actions. Or les caractéristiques essentielles des conditions de production rizicole dans la vallée sont la multiplicité des acteurs (paysans, groupements, banques, prestataires, fournisseurs...) et l'importance des incertitudes (d'origine variée) pesant sur le processus. Le gain de maîtrise ne peut s'effectuer sans une réduction de ces incertitudes, et cette réduction ne peut s'envisager sans une « professionnalisation » des groupements de producteurs.

Rappel des objectifs

Cette étude poursuit deux objectifs complémentaires :

- D'une part, porter un diagnostic sur la conduite du riz irrigué. Il s'agit d'identifier les facteurs et conditions qui limitent les rendements, en séparant ceux d'origine édaphique, de ceux liés aux pratiques culturales. Ces pratiques sont déterminées par les paysans (échelle individuelle) ou par le fonctionnement des groupements (échelle collective) chargés de la gestion des aménagements et des relations avec l'amont et l'aval de la production (financement, approvisionnement, prestation de services mécanisés, commercialisation).
- D'autre part, proposer des améliorations. Ces propositions sont issues des résultats de notre diagnostic et font l'objet d'expérimentations en parcelle paysanne.

Dans ce rapport, nous commencerons par présenter les résultats des observations réalisées en 1995, en identifiant les divers facteurs ou conditions qui limitent les rendements rizicoles ainsi que leurs origines. Puis, nous tenterons de synthétiser ces résultats en proposant un cadre pour le choix et la réalisation des techniques culturales, répondant aux problèmes rencontrés dans les parcelles rizicoles.

Dispositif

L'ensemble de notre dispositif est installé en milieu paysan. Il concerne un échantillon de 10 paysans ayant des parcelles rizicoles dans 16 aménagements différents. Cet échantillon est présenté dans le tableau 1. Nos observations articulent trois échelles d'analyse : la parcelle, le périmètre géré par un groupement, et le paysan qui cultive généralement, en plus de cultures traditionnelles, plusieurs parcelles irriguées situées dans différents aménagements.

Les suivis concernent :

- le calendrier de travail de chaque paysan,
- le déroulement de la campagne à l'échelle du périmètre ou de la SUMA et du G.P. pour Nianga,
- l'itinéraire technique sur chaque parcelle rizicole des paysans de l'échantillon,
- l'élaboration du rendement sur un sous-ensemble des parcelles rizicoles de l'échantillon.

Tableau 1 : Echantillon

Village	Paysan	Périmètre	Type	Surface (nb de parcelles)	Culture
Ndiawara	M.S.D.	Nianga, SUMA Ndiawara, G.P. 3 PIV Ndiawara 8 PIV Ndiawara 11	Grand Périmètre PIV PIV	0.50 (1) 0.08 (1) 0.12 (1)	hiv hiv non
	A.D.	Privé Ndiawara	PIP	4.00 (16)	csc
WuroMadiu	M.B.	Nianga, maille commune GIE Beytowo	Grand Périmètre PIV (GIE familial)	0.55 (1) 2.04 (5)	hiv non
Guia	I.D.	Nianga, SUMA Guia 3, ferme Guia 4	Grand Périmètre PIV FED	1.02 (1) 1.05 (2*)	hiv csc, hiv
Ngawlé	M.S.	Ngawlé 1 Ngawlé 2	PIV FED PIV FED	0.40 (1) 0.50 (1)	non csc
	A.W.	Ngawlé 1 Ngawlé 2	PIV FED PIV FED	0.40 (1) 0.40 (1)	non csc
Donaye	A.S.	Donaye IT2 Béké-Wéké	Périmètre Intermédiaire PIV	1.20 (3) 0.36 (1)	csc, hiv non
	M.ND	Donaye IT1 PIV Donaye I	Périmètre Intermédiaire PIV	1.00 (2) 0.10 (1)	hiv csc
Mboyo	S.B.D.	Mboyo 7 Mboyo 4 Mboyo 1-2	PIV FED PIV FED PIV FED	0.48 (3) 0.41 (1*) 1.29 (3)	hiv non non
	D.H.	Mboyo 7 Mboyo 4 Mboyo 3	PIV FED PIV FED PIV FED	0.16 (1) 0.43 (2) 0.43 (1*)	hiv non non

N.B. les astérisques indique des parcelles cultivées en « rempeccien »

En plus des suivis effectués, nous avons effectué des « expérimentations ». Celles-ci ont pour but de tester l'intérêt de certaines pratiques culturales face à certaines contraintes identifiées. Elles concernent la mise en oeuvre du repiquage (âge des plants, densité et profondeur), l'apport tardif d'urée pour favoriser le remplissage des grains, le désherbage précoce en pré-émergence en cas de semis direct.

Déroulement des campagnes de culture (contre-saison et hivernage)

La contre-saison chaude n'a concerné qu'une petite minorité de périmètre (Guia 4, Privé Ndiawara et Ngawlé 2) et certaines parcelles voire périmètres n'ont pas non plus été cultivés en hivernage. Quant à la double culture, qui concernait 50% des surfaces à Nianga en 94 (70% en 93), nous n'en avons pas observé en 95. La conjugaison de plusieurs facteurs explique ce recul :

- Les difficultés d'accès au crédit sont très souvent évoquées. La situation financière de nombreux paysans et groupements ne cesse de se dégrader. Les raisons de cette situation varient : résultats médiocres des campagnes

antérieures, difficulté de commercialisation et problème d'entente dans les groupements. De plus, face à l'importance des crédits non-remboursés, les banques doivent se montrer prudentes. Les groupements, qui font office de « banquier » pour leurs membres, ont également durci leur position en interdisant aux individus endettés de cultiver leur parcelle.

- L'état de dégradation du réseau hydraulique sur les périmètres est également un facteur important. L'entretien des canaux et des GMP n'est effectué que lorsque de gros problèmes apparaissent. Leur remise en état nécessite alors d'importants moyens autant mécaniques que financiers, et interdit l'exploitation du périmètre.

- La forte crue de 1994 a provoqué l'inondation de certains périmètres cultivés en hivernage, mais elle a aussi permis de mettre en culture d'importantes surfaces de vallo. D'une part, le gardiennage des parcelles et la récolte du sorgho de décrue viennent directement en concurrence avec l'implantation d'une culture de contre-saison chaude. D'autre part, la production de sorgho permet de subvenir, au moins en partie, aux besoins de la famille, ce qui diminue l'intérêt des paysans pour le riz de contre-saison. Cette situation, exceptionnelle depuis 1990, s'est répétée en 1995, mais il est néanmoins très probable que les crues à venir soit beaucoup moins importantes (sauf changement de priorité dans la gestion des barrages).

- Enfin, les rares périmètres exploités en contre-saison ont été fortement exposés à la pression aviaire. Certaines parcelles et secteurs de périmètres ont été totalement dévastés. Cette mauvaise expérience pèsera fortement dans le choix de réaliser une contre-saison 96.

Face aux difficultés croissantes pour contrôler l'enherbement et par souci d'économie (gas oil et semences), de nombreux paysans pratiquant auparavant le semis direct ont choisi le repiquage pour planter leurs parcelles en contre-saison et en hivernage. Lorsque ce choix était collectif, l'implantation des parcelles s'est heurtée à 2 principaux problèmes :

- Une transplantation tardive issue d'une mauvaise organisation du travail à l'échelle du groupement (semis de pépinières collectives en quelques jours, repiquage étalé sur plusieurs semaines).
- Une faible densité (moins de 20 touffes/m²) liée au repiquage en entraide, au retard de transplantation et au manque de plants.

A Nianga, non cultivé en contre-saison, une pré-irrigation a été tentée. Les paysans, en très grande majorité, n'ont pas assisté à cette opération et aucun contrôle de l'eau n'a été réalisé (ni à l'échelle de la maille, ni à celle de la parcelle). Certaines parcelles ont été submergées plusieurs fois, d'autres en partie seulement. Cette pré-irrigation a permis la levée des adventices (y compris le riz précédent), et certains paysans ont fait profiter leurs animaux de ce « fourrage ». Le travail du sol a démarré environ 1 mois après, les bénéfices (sol plus meuble, contrôle de l'enherbement) de la pré-irrigation étant alors perdus.

Le coût de cette pré-irrigation ratée a tout de même été calculé : 6.000 FCFA/ha. Cela montre l'intérêt économique de cette technique qui permet, lorsqu'elle est bien appliquée, de contrôler de l'enherbement (adventices annuelles dont riz rouge et repousse du riz précédent) et d'effectuer un meilleur travail du sol (profondeur et régularité).

Elaboration des rendements rizicoles

Les diverses composantes de rendement mesurées dans les parcelles suivies sont présentées dans les tableaux 2-1 (semis direct) et 2-2 (repiquage). Ces mesures ont été réalisées dans des stations de 4 m² installées dans les parcelles après semis ou repiquage (1 à 2 stations par parcelle, 4 répétitions par station).

Tableau 2-1 : Composantes de rendement (moyennes, minima, maxima) mesurées dans les parcelles semées directement

Perimètre		PIV FED Ngawlé 2		Privé Ndiawara	Nianga - Casier C SUMA Guia 3			PIV FED Guia 4	Nianga SUMA Niawara	Nianga - Casier Pilote Maille Commune		
Parcelle		NGA	NGM	NP	SG1	SG2	SG3	G4H	SN1	CP1	CP2	
Saison		CSC			HIV							
Variété		IKP			DJ12519				IR8	JAYA		Moyennes
NP	Moy.	173	154	219	253	323	307	142	357	84	227	224
	Min.	34	75	44	130	218	171	58	222	38	72	
	Max.	468	276	614	348	491	437	317	546	160	372	
NT	Moy.	783	386	707	327	413	381	372	509	287	398	456
	Min.	157	263	201	229	311	297	263	375	167	150	
	Max.	1304	526	1679	440	498	461	526	720	410	614	
BA (g)	Moy.	265	124	168	386	430	557	483	556	207	309	349
	Min.	60	85	40	240	212	448	258	418	110	108	
	Max.	368	167	457	619	575	659	691	689	405	407	
NE	Moy.	384	454	(1)	295	372	339	324	483	(2)	(2)	379
	Min.	242	270		222	304	191	208	334			
	Max.	515	631		403	430	580	519	744			
PP (g)	Moy.	399	294		436	430	485	485	748			468
	Min.	259	162		338	300	245	352	618			
	Max.	571	407		561	509	708	669	840			
NF	Moy.	24373	20387		18329	25607	24155	31068	33047			25281
	Min.	16117	13969		15690	18476	17243	22878	26967			
	Max.	33904	25967		22317	32256	33155	42839	38044			
NG	Moy.	20473	17032		14833	20546	17761	24024	28477			20449
	Min.	14745	11726		10649	14642	11616	17759	23811			
	Max.	27433	22139		19351	24544	24129	33992	32457			
PG (g)	Moy.	417	316		346	446	397	570	630			446
	Min.	297	220		247	321	261	426	521			
	Max.	549	420		458	527	544	828	732			
Enherbement		fort	très fort	très fort	moyen	fort	fort	moyen	moyen à fort	moyen à fort	très fort	
Rdt parcelle (t/ha)		4.0	1.0	0.0	3.5	3.5	3.5	5.5	3.0	1.0	1.0	

(1) parcelle non récoltée car totalement envahie par les adventices (rdt = 0) ; (2) traitements des échantillons non terminés

Tableau 2-2 : Composantes de rendement (moyennes, minima, maxima) mesurées dans les parcelles repiquées

Périmètre		Donaye IT2				PIV Donaye 1	PIV FED Guia 4	Donaye IT2	Donaye IT1	PIV Ndiawara 8	Donaye IT2	Donaye IT1	PIV FED Mboyo 7		
Parcelle		IAC2	IAC3	IAC1	IAC4	DO1	G4C	IAH1	IO1	PN8	IAH2	IOJ	MBD	MBB	
Saison		CSC						HIV							
Variété		Sahel 108		IKP			DJ12519	IR1529		IR8	Java				Moyennes
NTf	Moy.	50	56	44	34	22	29	17	20	24	19	18	17	16	28
	Min.	38	51	41	27	14	24	14	14	14	14	14	14	14	
	Max.	61	61	44	44	31	34	24	24	34	24	24	20	24	
NP	Moy.	105	148	312	269	50	75	84	145	83	84	103	49	26	118
	Min.	55	133	208	215	31	34	58	99	72	61	65	31	14	
	Max.	133	171	406	372	65	116	109	195	96	106	137	75	38	
NT	Moy.	924	1096	954	927	148	392	500	406	447	459	358	294	172	544
	Min.	843	1055	713	860	102	239	358	331	358	375	239	174	68	
	Max.	1031	1177	1184	1078	222	556	608	464	529	553	468	413	328	
BA (g)	Moy.	300	282	284	319	36	191	445	386	450	364	386	121	128	284
	Min.	291	282	234	319	20	137	315	267	316	240	269	78	51	
	Max.	322	282	352	319	56	292	533	532	547	465	464	200	202	
NE	Moy.	722	806	650	691			340	325	424	299	343	466	400	497
	Min.	597	700	594	543	(1)	(2)	273	249	365	263	246	304	297	
	Max.	819	962	761	980			403	427	488	362	430	604	474	
PP (g)	Moy.	833	903	795	860			1034	957	927	617	641	629	539	794
	Min.	703	855	643	736			763	569	679	539	511	405	392	
	Max.	968	949	965	960			1287	1392	1258	758	751	802	714	
NF	Moy.	84560	76348	50637	64854			49975	42527	56166	43513	43362	60024	51173	56649
	Min.	77765	62922	37195	54198			37736	29915	45734	38686	36392	40376	40566	
	Max.	90570	85973	58570	82597			62645	56149	70250	51411	53629	74399	62083	
NG	Moy.	70599	60835	43255	44841			43109	36563	45079	33330	31871	40646	35241	44124
	Min.	66655	52471	29761	39068			30430	25158	40353	29405	24102	27715	28121	
	Max.	73133	68962	51628	54997			54821	48694	54686	41017	39633	49453	45488	
PG (g)	Moy.	1190	997	854	853			887	774	913	793	733	909	753	876
	Min.	1093	832	569	754			625	556	793	707	557	624	641	
	Max.	1309	1086	1009	1003			1174	985	1100	949	892	1120	904	
PG corrigé (g/m2)		1168	993	824	796			750	674	814	677	630	775	637	794
Enherbement		0	0	0	0	faible	moyen	faible	faible	faible	faible	0	moyen	faible	
Rdt parcelle (t/ha)		6.5*	6.5*	6.5*	6.5*	4.5	2.5	6.5	5.5	5.0	6.0	6.0	5.5	5.5	

(1) parcelle récoltée par le paysan avant nos prélèvements ; (2) parcelle détruite par les oiseaux ; (*) Rdt parcelle sous évalué

L'analyse de ces 2 tableaux conduit aux constats suivants :

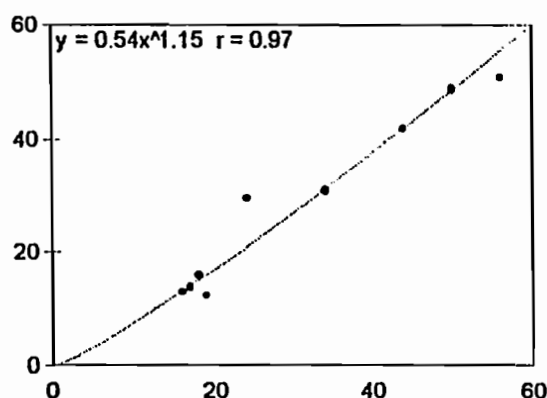
1 - Comparaison des 2 modes d'implantation

La variabilité intra-parcellaire est plus forte en semis direct qu'en repiquage. Cette variabilité reflète l'hétérogénéité des parcelles. Elle est liée à l'installation du peuplement (semis à la volée, défaut de nivellement, contrôle de l'enherbement).

Les rendements mesurés en semis direct sont plus faibles que sur les parcelles repiquées. Cet écart est lié à un enherbement plus important, et aussi à une moindre fertilisation (Cf. Itinéraires techniques présentés en annexe). Il semble que les parcelles semées directement sont conduites avec moins d'attention que celles repiquées.

Il faut néanmoins remarquer que notre dispositif de prélèvement surestime systématiquement la densité de touffes, surtout lorsque celle-ci est faible.

Densité de touffes mesurées sur 4 m² en fonction de celle mesurées dans les stations
(régression logarithmique)



Cette surestimation de la densité de touffes conduit à une surestimation des rendements de 15 à 20% pour les parcelles les moins denses.

2 - Contraintes en semis direct

La principale contrainte pour les parcelles semées directement est l'enherbement qui limite la densité de talles et d'épis. L'exemple le plus démonstratif est le cas du périmètre privé de Ndiawara. Cultivé depuis seulement 3 campagnes (double culture en 94), la totalité des parcelles a été envahie par les mauvaises herbes.

En l'absence d'enherbement, l'hétérogénéité liée au mode de semis à la volée et au défaut de nivellement, ainsi qu'une fertilisation azotée insuffisante (doses et dates d'apport) sont les causes principales des faibles rendements.

Le contrôle de l'enherbement en semis direct est crucial. Les paysans utilisent des herbicides, mais les doses et modalités d'application sont trop souvent incorrectes. L'Oxadiazon (Ronstar 25 EC), utilisé en pré-émergence, est déconseillé car il bloque également la levée du riz. Le Propanil, plus fréquemment utilisé en post-levée mais à dose trop faible (moins de 8 l/ha), ne permet pas un contrôle efficace car les adventices ont systématiquement dépassé le stade 2-3 feuilles lorsque le riz a atteint un stade tolérant. Face à ce problème, nous avons testé un herbicide (Sofit, fabriqué par CibaGeigi), non disponible actuellement au Sénégal, permettant un traitement dans la lame d'eau après semis pré-germé. Une molécule bloque la levée des adventices, une autre protège les germes de riz. Nous avons pu observer une bonne efficacité de ce produit : les sous-parcelles traitées sont restées propres durant la première partie du cycle (parcelles SGI et CPI). Mais, compte tenu de l'importance du stock en terre, un second désherbage début mai aurait été nécessaire.

3 - Contraintes en repiquage

En contre-saison, nous avons effectué une expérimentation concernant le mode de repiquage et la fertilisation azotée (Cf. rapport d'étape) :

- Le mode de repiquage concerne la densité de touffes (40 à 60 touffes/m²), le nombre de plants par touffes (2 à 3 plants/touffe), et l'âge des plants (4-5 feuilles) ; il a été testé sur les parcelles IAC2 et IAC3. Les parcelles IAC1 et IAC4 ont été repiquées par le paysan nous ayant prêté sa parcelle (la densité de touffes y est néanmoins plus élevée que la moyenne).

- La fertilisation azotée, au total 150 kg/ha d'azote, a été fractionnée en 3 apports (tallage, initiation paniculaire, épiaison). L'objectif du 3ème apport est de favoriser le remplissage des grains en maintenant l'activité photosynthétique des dernières feuilles. Ce mode de fertilisation concerne les parcelles IAC1 et IAC2. Les parcelles IAC2 et IAC4 ont reçu plus de 300 kg/ha d'azote, en 2 apports (tallage et initiation paniculaire).

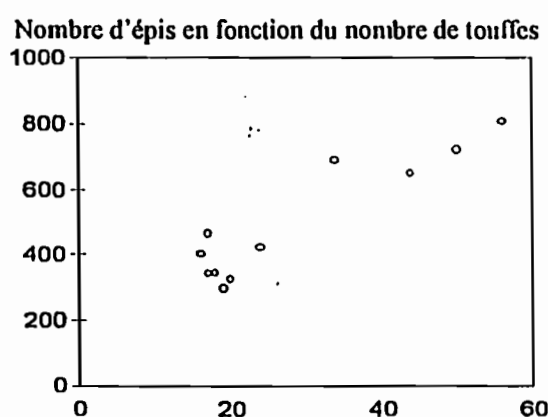
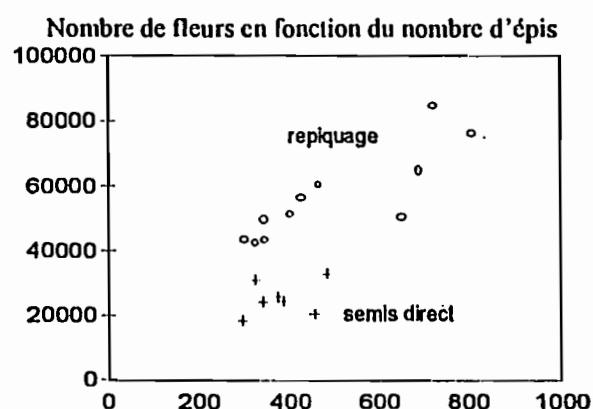
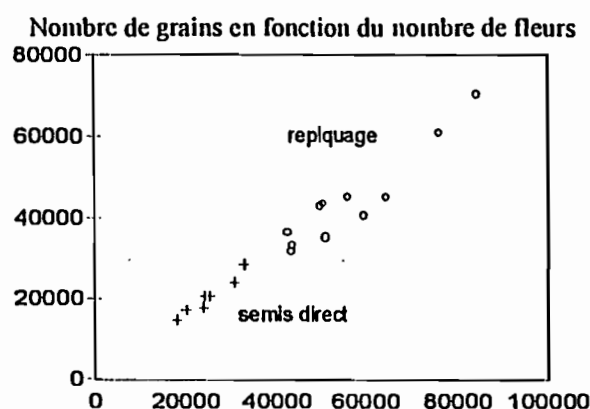
Les densités d'épis et les poids de grains mesurés dans ces parcelles sont les plus élevés. A la récolte, réalisée par le paysan, les rendements de ces parcelles ont (malheureusement) été sous-évalués.

En hivernage, nous avons établi le plan de conduite pour 2 sous-parcelles (IAH2 et IOJ) et confié sa réalisation aux paysans. Ce plan prévoyait un repiquage précoce, une densité de touffes importantes avec 2 à 3 plants par touffes, et 3 apports d'urée (effectués aussi sur la parcelle « témoin » IAH1).

La réalisation du repiquage n'a pas respecté ce plan, induisant une faible densité d'épis. Le remplissage des grains n'est pas meilleur que sur les autres parcelles, car les variétés utilisées (Jaya et IR1529) redistribuent la matière sèche des tiges et des feuilles vers les grains, et l'activité photosynthétique de la dernière feuille est moins cruciale.

La contrainte majeure dans les parcelles repiquées est la densité d'épis, liée à la densité de touffes. Ces faibles densités sont liées au mode de repiquage en entraide (les petites parcelles, comme PN8, repiquées par les membres de la famille, ont une densité plus forte) et à l'âge avancé des plants (diminution des capacités de tallage, non compensé par le nombre élevé de plants par touffes).

Ce constat est bien illustré par les graphiques suivants :



Proposition d'un cadre pour le choix et la réalisation des interventions culturales

Un itinéraire technique, dans sa définition stricte, est « une suite logique et ordonnée de techniques culturales appliquées de façon raisonnée par l'agriculteur à un peuplement végétal cultivé sur une parcelle donnée, en vue d'atteindre un objectif de production donné » (Sébillotte, 1974, 1978). Les termes « logique » et « raisonnée » sont trop souvent oubliés. En effet, les fiches techniques qui décrivent la suite des interventions à réaliser pour la « bonne » conduite d'une culture, oublient généralement de préciser le but de ces interventions, ou qu'une intervention doit être

raisonnée selon l'état de la parcelle cultivée, ou encore que la qualité de réalisation d'une intervention est au moins aussi importante que la technique utilisée.

Nous allons tenter ici de présenter dans une démarche logique les différentes interventions et leur mode de réalisation afin de faire face aux divers problèmes ou contraintes rencontrés dans la conduite d'une parcelle rizicole.

1 - Objectifs

L'installation de la culture est déterminante : lorsque le peuplement est homogène (stade et densité), les compétitions inter (avec les adventices) et intra-spécifiques (entre plants de riz) sont réduites. Le nivellement de la parcelle, la qualité de la préparation du sol (profondeur homogène) et celle du semis (pré-germination, régularité du semis) d'abord, puis le contrôle précoce de l'enherbement et l'apport d'urée au début du tallage, sont les conditions nécessaires à la réussite de cette installation.

La densité d'épis est directement liée à la densité de talles ; cette densité doit être supérieure à 500 talles/m² pour avoir des chances d'obtenir un rendement d'au moins 6 t/ha. La croissance des talles pour la production d'épis est assurée par un apport d'urée au début de la montaison.

Une bonne croissance des épis et le maintien de l'activité photosynthétique du convert foliaire après épiaison permet de favoriser le remplissage des grains. En hivernage, les insectes peuvent provoquer d'importants dégâts : la perforation des tiges par les borers empêche le remplissage des grains, les sauterelles réduisent les capacités photosynthétiques des plantes en fin de cycle (épiaison - maturation). Une prévention systématique doit être effectuée (si l'état de la parcelle suppose un rendement potentiel élevé).

2 Variété et date de semis

Le choix de la date de semis et de la variété doit s'effectuer en tenant compte du risque de stérilité des épillets induit par des températures extrêmes durant la floraison et de la date à laquelle il sera possible de démarrer la récolte. Pour les semis de contre-saison, cette date induit la possibilité de réaliser un second cycle ; pour les semis plus tardif, les pluies peuvent gêner la récolte.

Les graphiques suivants sont issus de simulations du développement des variétés Aïwu (cycle court) et Jaya (cycle moyen) dans la zone de Podor. Ces simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel RIDEV de l'ADRAO.

La durée du cycle est plus longue en contre-saison (15 à 20 j) du fait des températures fraîches en début de cycle, et aussi plus variable (20 j d'écart entre durée minimale et maximale) qu'en hivernage.

Le taux de stérilité des épillets augmente très fortement à partir de fin août ; il est compris entre 0 et 25% en contre-saison du fait de la forte probabilité de températures élevées au mois de mai.

Ces deux courbes permettent de raisonner vis-à-vis des seuls critères durée du cycle et taux de stérilité, le choix de la variété et des périodes de semis dans la zone de Podor :

Cas d'une double-culture annuelle :

- en contre-saison chaude, il est préférable de semer Aïwu vers le 15/02 car la durée du cycle permet de récolter au plus tard dans le courant du mois de Juillet ;
- en hivernage, les semis réalisés après le 15 août pour Jaya ou début septembre pour Aïwu, exposent la culture à un fort risque de stérilité (jusqu'à 100%).

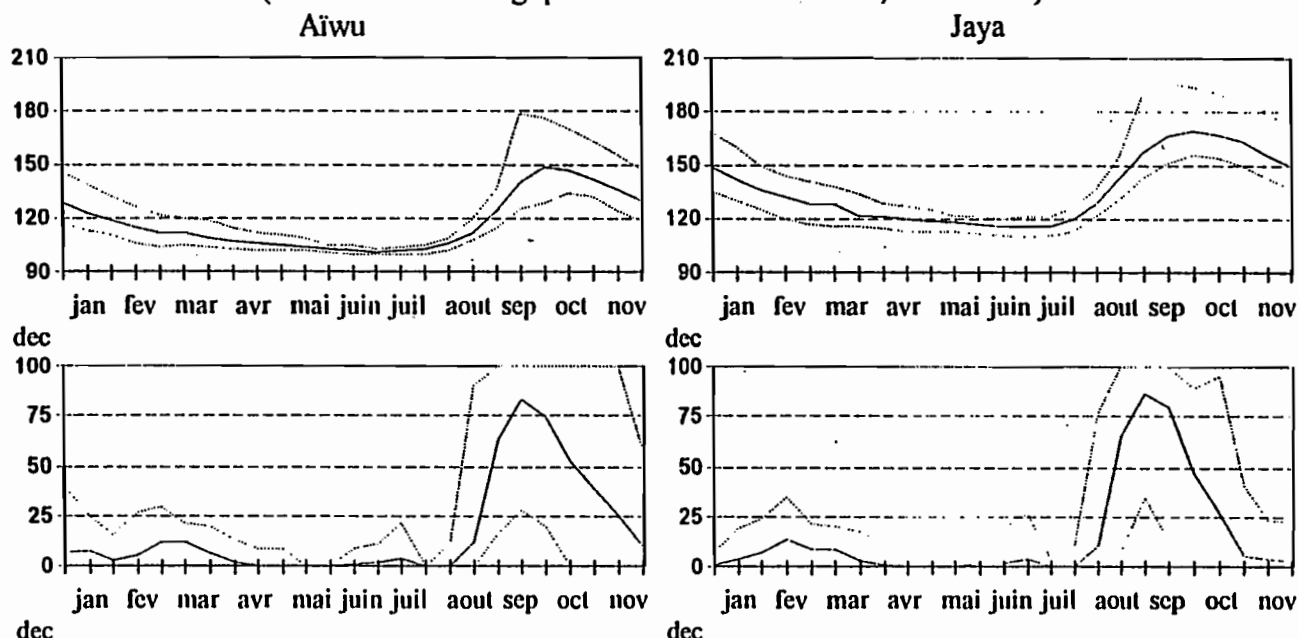
Cas d'un cycle unique :

- durant la période du 15/04 au 30/06, le risque de stérilité des épillets est très faible et la durée cycle de la culture est minimale (100 jours pour Aïwu, 120 jours pour Jaya). Cette durée du cycle nous permet de « prédire » la maturité entre le 30/07 et le 15/10 pour Aïwu, et entre le 15/08 et le 30/10 pour Jaya. Les cultures semées après le 31/05 sont exposées à un fort risque de pluies pendant la maturité et la récolte.

**Durées du cycle (en jours) et Taux de stérilité simulés pour les variétés Aïwu et Jaya,
selon la date de semis (semis du 1/01 au 27/12 à intervalle de 15 jours)**

sous l'hypothèse d'un semis direct

(données météorologiques de la station de Podor, 1967-1983)



L'utilisation de semences sélectionnées assure (théoriquement) une pureté variétale et un taux de germination élevé. Mais son coût élevé conduit les paysans à préférer utiliser du paddy d'une précédente récolte : son taux de germination plus faible peut être compensé par une dose de semis plus forte (10 à 20% de plus), mais sa pureté (mélange variétal et présence d'adventices) est très incertaine. L'observation de la parcelle (homogénéité, enherbement) qui fournira la semence de la prochaine campagne, et la connaissance de son histoire culturale (succession de différentes variétés notamment) permet de s'assurer de sa qualité.

3 - Implantation

Le choix se pose entre une implantation par semis direct et celle par repiquage. Chacun de ces 2 modes d'implantation présente ses avantages et ses inconvénients.

Le repiquage permet une économie de semences (les semences sélectionnées coûtent cher) en implantant dans la parcelle une faible densité de plantes (100 à 150/m²) et en comptant sur les capacités de tallage du riz, une certaine économie d'eau en début de cycle (surtout si les pépinières sont regroupées), et surtout il constitue une réponse efficace au défaut de nivellement des parcelles et à l'enherbement. Mais la transplantation induit un stress physiologique qui se traduit par un allongement du cycle, et la densité de plantes repiquées, lorsqu'elle est trop faible limite le nombre d'épis. Du point de vue du travail, ce mode d'implantation nécessite une bonne organisation à l'échelle du périmètre : regroupement des pépinières pour éviter les gaspillages d'eau, répartition des dates de semis des pépinières selon la durée et l'organisation du repiquage, entraide pour la transplantation qui nécessite une forte main d'œuvre. De plus, la phase en pépinière permet un décalage des travaux sur les parcelles (si ces pépinières sont installées sur un secteur particulier).

Le semis direct est fondé sur l'installation d'une forte densité de plantes (450 à 600 plantes/m²) qui autorise un rendement potentiel élevé. Ce mode d'implantation est très rapide, mais sa réussite nécessite un peuplement homogène (densité et stade de développement), un bon nivellement de la parcelle et un contrôle efficace de l'enherbement.

3 - 1 Implantation par semis direct

La préparation de la parcelle débute par un nettoyage systématique des résidus qui ne peuvent être enfouis correctement par le travail du sol, et qui gênent la levée du riz.

L'objectif du travail du sol est de permettre un bon développement racinaire (10 à 15 cm de profondeur suffisent, homogénéité de profondeur de travail), et de produire un état de surface assez fin et régulier qui facilite la levée du riz et la gestion de l'eau (une reprise manuelle au râteau à la mise en eau permet de corriger les petits défauts). La pré-irrigation permet de diminuer les efforts de traction, surtout dans les sols très argileux et lorsqu'on utilise la traction bovine. Cette pré-irrigation demande une organisation à l'échelle du périmètre qui tienne compte à la fois de l'organisation des chantiers de travail du sol, du délai de ressuyage, de la variabilité éventuelle de texture, et de l'accessibilité des parcelles.

Le semis à la volée de semences pré-germées s'effectue ensuite dans une lame d'eau fine. En effet, un semis en boue, plus favorable à une levée du riz rapide, s'expose aux dégâts des oiseaux. Le maintien de cette lame d'eau limite quelque peu la levée d'adventices (autres que cypéracées et riz). L'emploi de semences pré-germées favorise un démarrage rapide et homogène de la culture. De la qualité du semis dépend l'homogénéité du peuplement aux plans de la densité et du stade de développement.

La densité de semis doit aboutir à une densité de 400 à 600 plantes par m², soit environ 110 kg/ha de grains germés, c'est à dire 130 kg/ha de semences ayant un taux de germination de 85%.

3 - 2 Implantation par repiquage

La préparation et la conduite de la pépinière est quasiment identique à celle d'une parcelle semée directement. La surface réduite de la pépinière permet d'augmenter le soin apporté aux interventions (préparation et semis). La densité de semis doit aboutir à environ 2000 à 3000 plantes/m², soit 5 à 7 kg/are de semences. La surface de la pépinière est environ 5 ares par hectare repiqué.

La préparation du sol dans la parcelle est comparable. Néanmoins, le nivellement ou la finesse de l'état de surface sont des critères moins importants.

Pour limiter le stress physiologique et favoriser le tallage dans la parcelle de culture, la transplantation doit avoir lieu au stade 4-5 feuilles, soit 3 à 5 semaines après semis selon les températures.

Le repiquage de 2 à 3 plants/touffes, en ligne ou en foule, doit aboutir à une densité de 30 à 50 touffes/m². Pour compenser une capacité de tallage limitée due à une transplantation tardive, on peut augmenter le nombre de plantes par touffes, ce qui nécessite une plus grande pépinière.

4 - Contrôle de l'enherbement

Le mode d'implantation influe fortement sur la dynamique de l'enherbement.

En effet, dans l'implantation par repiquage, les plants de riz ont un avantage initial important sur les adventices car leur croissance est déjà avancée. Cette croissance avancée permet en outre de maintenir dès la transplantation une épaisse lame d'eau qui freine le développement des mauvaises herbes.

En semis direct, cet avantage initial est beaucoup plus faible (le riz a seulement germé). De plus, on favorise la levée du riz en maintenant après le semis le sol en boue ou une très fine lame d'eau. Mais ces conditions favorisent également la germination et la levée des adventices dont le cycle peut être beaucoup plus court que celui du riz. C'est pourquoi l'enherbement constitue une contrainte majeure dans les parcelles semées directement.

Le contrôle de l'enherbement doit être raisonné à l'échelle de la succession culturale, car l'enherbement de la campagne précédente a une conséquence directe sur le stock de graines d'adventices en terre et donc l'importance et le type des adventices la campagne suivante.

En semis direct, le désherbage chimique avec un herbicide post-levée se heurte fréquemment au démarrage très rapide des adventices (petites cypéracées notamment), et l'utilisation d'un herbicide de pré-émergence provoque une mauvaise levée du riz.

En repiquage, l'enherbement de la parcelle peut être contrôlé plus facilement : herbicide de pré-émergence avant la transplantation (à la mise en eau), désherbage manuel éventuel avant le second apport d'urée. Le désherbage des pépinières (et de leurs bordures, lorsqu'elles sont installées dans les parcelles de culture) s'effectue de la même manière qu'en semis direct.

La situation de certaines parcelles conduites en semis direct depuis plusieurs cycles et sans contrôle efficace des adventices (herbicide sous-dosé ou appliqué trop tard) est très préoccupante. Différentes interventions peuvent être proposées :

- La pré-irrigation permet la levée des adventices annuelles (petites cypéracées, riz rouge, riz de la précédente récolte), qui pourront être enfoui par le travail du sol. On diminue ainsi le stock d'adventices (cette opération ne supprime pas la nécessité du désherbage chimique après semis !). La réalisation de la pré-irrigation nécessite une organisation rigoureuse à l'échelle du périmètre (Cf. préparation du sol).

- Le désherbage chimique post-levée doit être systématique, en respectant les doses et les conditions d'application, notamment le stade des adventices. En cas de forte infestation, un deuxième désherbage chimique ou manuel (qui est difficile en semis direct vu la répartition des plantes) est nécessaire.
- Le changement de mode d'implantation enfin, constitue un moyen de contrôle efficace. Avec le repiquage, le riz est installé dans la parcelle au début du tallage, et la compétition avec les adventices pour la lumière et les éléments nutritifs est franchement en sa faveur.

Deux familles de mauvaises herbes posent un problème particulier :

- La suppression des adventices pérennes (cypéracées à bulbe, riz à rhizome) est coûteuse. Elle s'effectue par un travail profond (outil à dent plutôt que la charrue) ou l'utilisation d'un herbicide systémique de type Round-up. L'herbicide n'étant efficace que sur des adventices adultes, il doit être épandu pendant la culture (traitement localisé) ou après irrigation de la parcelle.
- Le riz rouge, apparu depuis peu dans la zone de Podor (utilisation de lots de semences contaminés ?), ne peut être éliminé chimiquement dans les rizières (les herbicides sont aussi toxiques pour la culture). La pré-irrigation peut constituer le moyen de son élimination.

Enfin, le contrôle de l'enherbement ne concerne pas uniquement les parcelles. Les canaux d'irrigation, les diguettes, les parcelles voisines sont des sources potentielles de contamination. Le désherbage est donc aussi une affaire collective.

5 - Fertilisation

La fumure doit être raisonnée en fonction des besoins de la culture et de ce que le sol peut fournir.

Les analyses de sol effectuées dans toutes les parcelles suivies montrent :

- une richesse importante en potassium échangeable dans les sols à plus de 40% d'argile ; en dessous de 40% d'argile, la teneur en K est comprise entre 100 et 250 kg/ha. On peut donc dans tous les cas compter sur les fournitures du sol, mais une compensation des exportations est à envisager sur sol fondé.
- une teneur assez variable en phosphore assimilable, sans doute liée aux apports relativement importants en cet élément depuis la mise en culture (les sols naturels sont très pauvres en phosphore assimilable). Afin de ne pas appauvrir les sols, les apports de P doivent couvrir les besoins de la culture (50 à 80 kg/ha).

La fumure de « fond » peut donc se limiter à l'apport de 18-46-0. Cet apport doit être effectué après la mise en eau de la parcelle afin d'éviter les pertes (N et en partie P) par lessivage (l'eau entraîne les éléments à une profondeur supérieure à celle des racines du riz). Un total de 50 à 75 kg/ha de P est suffisant (environ 100 à 150 kg de 18-46-0).

Pour être efficaces et éviter les pertes, les apports d'azote doivent être effectués lorsque les plantes sont capables d'absorber les quantités apportées, après désherbage et en l'absence de lame d'eau.

On préconise ainsi un premier apport au début du tallage (environ 25 à 35 jours après semis), après le désherbage chimique, sur les parcelles semées directement, et après reprise des plants (15 à 25 jours après repiquage) sur les parcelles repiquées. La remise en eau de la parcelle s'effectue 2 jours après l'apport d'engrais.

Le second apport a pour but de favoriser la croissance des épis. Il doit être effectué à l'initiation paniculaire (début de la montaison), et au minimum 10 jours après le premier apport.

Un troisième apport peut éventuellement être réalisé à l'épiaison afin de favoriser la photosynthèse pendant la phase de remplissage des grains. Son efficacité est d'autant plus grande qu'il existe un nombre élevé d'épillets par unité de surface, c'est à dire beaucoup de grains à remplir. On minimise ainsi le taux de grains vides ou mal remplis.

La dose totale d'azote apporté peut varier de 100 à 150 kg/ha selon les potentialités de la parcelle (il est inutile d'apporter beaucoup d'urée sur une parcelle peu dense ou très enherbée !). Un fractionnement voisin de 1/2-1/2 en cas de 2 apports, ou 1/3-1/3-1/3 en cas de 3 apports est un bon compromis. Concrètement, ce dosage peut correspondre à :

- 100 kg/ha 18-46-0 et 50 à 100 kg d'urée au premier apport, soit 18 P et 41 à 64 N,
- 100 à 150 kg/ha d'urée au second apport, soit 46 à 69 N,
- 100 kg/ha d'urée au troisième apport, soit 46 N.

On aboutit ainsi à un total de 100 kg de 18-46-0 et 200 à 300 kg d'urée. En cas de trésorerie limitée, la priorité doit être donnée aux apports d'azote. Cela ne signifie pas que l'apport de P est inutile et peut être omis chaque année !

6 - Contrôle des maladies et ravageurs

Sur le fleuve Sénégal, les maladies du riz sont assez rares ; les dégâts des ravageurs le sont beaucoup moins :

- Les insectes peuvent causer d'importants dégâts, surtout en hivernage : borers qui percent les tiges et provoquent une stérilité apparente, sauterelles qui rongent les feuilles en fin de cycle, ce diminue les capacités de photosynthèse du riz. Afin d'éviter ces dégâts, il est conseillé d'effectuer sur les cultures d'hivernage un traitement préventif au début de la montaison (en même temps que le second apport d'urée) en utilisant un insecticide systémique comme le Furadan (300 g de matière active par ha).

Remarque : les dégâts de sauterelles sont généralement limités au pourtour des parcelles ; les traitements curatifs peuvent donc être localisés (diguettes et pourtour), mais doivent également concerner les parcelles voisines !

- Les rats, qui pullulent dans les périmètres, sont responsables de deux types de dégâts : directement sur le riz lorsque la parcelle est à maturité, et indirectement à cause des nombreux terriers dans les diguettes qui induisent des fuites d'eau. Pour lutter efficacement contre les rats, c'est l'ensemble du périmètre qui doit être traité.

- Enfin, les oiseaux granivores et les criquets qui occasionnaient d'importants dégâts sur les cultures traditionnelles, demeurent de véritables fléaux pour les cultures irriguées. La protection des parcelles nécessite un gardiennage intensif (du même type que dans les parcelles de sorgho de décrue) à l'intérieur des parcelles et à l'échelle de l'ensemble du périmètre.

7 - Gestion de l'eau

La gestion de la lame d'eau à l'échelle de la parcelle est un facteur déterminant dans la réussite de la culture :

- la hauteur d'eau doit être réglée en fonction du stade du riz,
- le maintien d'une lame d'eau freine le développement des adventices,
- le désherbage chimique post-levée et les apports d'engrais nécessitent un sol en bon état,
- le drainage de la parcelle en fin de cycle (15 à 20 jours après floraison) favorise l'homogénéité de maturation des panicules et une portance précoce de la parcelle,
- les cycles irrigation-drainage permettent de désaler l'horizon de surface.

Cette gestion est très fortement perturbée par la qualité de nivellement de la parcelle. En effet, une hauteur d'eau variable, liée au défaut de nivellement et au micro-relief généré par le travail du sol, induit des conditions de levée du riz et des adventices très hétérogènes. Ce défaut se répercute également sur la qualité des assecs, en laissant des zones inondées qui perturbent la réalisation des interventions, ou favorisent l'accumulation de sels.

La présence d'un réseau de collature (« drains » en surface) simplifie fortement la gestion de l'eau et constitue une condition sine qua non pour la mise en valeur de sols salés. Dans la zone de Podor, aucun PIV ne dispose d'un tel réseau, mais heureusement, la salinité, mesurée par conductivité électrique, n'atteint des seuils supérieurs à 300µS/cm que dans de rares cas (le périmètre privé de Ndiawara notamment). La réalisation des assecs nécessite donc la connaissance du délai de ressuyage de la parcelle. Ce délai varie selon le type de sol, le stade de la culture, la demande évaporative et la hauteur de la lame d'eau. Néanmoins, il est possible de donner des bornes :

- 8 à 12 jours sur faux hollaldé ;
- 12 à 16 jours sur hollaldé.

La gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle est fortement dépendante de celle réalisée à l'échelle de l'aménagement. L'entretien de la moto-pompe et l'organisation du tour d'eau constitue deux éléments essentiels au fonctionnement d'un aménagement. L'entretien du réseau (irrigateur et drains) est quant à lui essentiel pour améliorer les conditions de fonctionnement de la moto-pompe et la détermination du tour d'eau (pertes de charge dans les irrigateurs, fuites, niveau d'eau requis...).

8 - Récolte

La date de récolte doit être avant tout raisonnée en fonction de la maturité des panicules. En effet, la sur-maturité engendre non seulement des pertes par égrenage, mais aussi un taux de brisure plus important lors de l'usinage et par conséquent un rendement en riz blanc plus faible (le prix du paddy risque à l'avenir de varier selon sa qualité à l'usinage).

La maturité des panicules n'est pas homogène ; cette homogénéité peut être améliorée par un drainage (ou un arrêt de l'irrigation) précoce, 15 à 20 jours après floraison, si le stade de la culture est homogène dans la parcelle.

Dans tous les cas, la production des premières panicules émise est plus forte que celle des panicules tardives.

9 - Pratiques individuelles et pratiques collectives

La maîtrise du processus de production impose une planification des actions. Aucune planification à l'échelle individuelle (parcelle) ne peut être envisagée sans planification à l'échelle collective. Le schéma suivant illustre l'origine et la succession des événements qui interviennent au long d'une campagne rizicole. Il permet ainsi d'identifier (au moins en partie) les interactions entre les divers acteurs agissant plus ou moins directement sur le processus de production :

- les liens entre les événements (techniques ou non) d'origines différentes (acteurs de la filière) sont très forts ;
- peu d'événements sont sous la seule dépendance du paysan, qui cultive par ailleurs d'autres parcelles et dépend d'autres groupements.

Des incertitudes de tout ordre pèsent sur le fonctionnement des 3 types d'acteurs, et se répercutent d'un niveau à l'autre. Dans ce contexte, la planification des actions semble totalement inaccessible. Néanmoins, il est raisonnable de proposer une évolution de l'organisation et du fonctionnement des groupements de producteurs permettant de réduire ces incertitudes. Cette évolution concerne :

- la cohésion des membres des groupements (rôles de chacun, appartenance à un groupe, respect des règles de fonctionnement...),
- les fonctions des unions de GIE (connaissance et contrôle de « l'environnement »),

- la prise en compte de la dimension technique du processus de production, autour de laquelle les autres fonctions (financières, commerciales...) des groupements peuvent être définies et ajustées.

Origine et succession des événements au long d'une campagne

Environnement		(rizerie) paiement de la production		montage du dossier de crédit	(banque) octroi du crédit	réalisation de la préparation du sol			(fournisseur) livraison des intrants	(prestataire ou main d'oeuvre extérieure)
Groupement		commercialisation		remboursement du crédit			tour d'eau		fonctionnement de l'aménagement	
Paysan	remboursement des charges de la campagne						mise en eau	semis	réalisation des interventions culturales	récolte

Annexe 1.1 : pratiques culturales observées dans les parcelles repiquées (hivernage 1995)

	IOJ 32 ares			IAH2 67 ares			MD 16 ares			MB 48 ares			IO1 50 ares			IAH1 17 ares			PN8 8 ares		
	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha
Semis	-33	offset		-25	offset		0	JAYA	50kg	0	JAYA	50kg	-33	offset		-25	offset		0	IR 8	150k g
	0	JAYA	93kg	0	JAYA	62,5k g							0	IR 1529	70kg	0	IR 1529	100kg			
	non pré-germée			pré-germée			pré-germée			pré-germée			pré-germée			pré-germée			pré-germée		
Pépin	10	Ronstar	15,6 l	20	urée	22kg	18	urée	208k g	18	urée	208k g	10	Ronstar	14,7 l	20	urée	22kg			
	17	urée	125k g		18.46.0	22kg		Furadan	8,3kg		Furadan	8,3kg	17	urée	235k g		18.46.0	22kg			
Parcel	34	en eau		33	en eau		20	offset		22	offset		34	en eau		33	en eau		41	offset	
	35	Ronstar	4 l		Ronstar	4 l	35	en eau		36	en eau						Ronstar	4 l	44	en eau	
Repiq.	42	repiquage		39	repiquage		36	repiquage		37	repiquage		42	repiquage		39	repiquage		45	repiquage	
1st ap.	57	urée	100k g	51	urée	100kg	37	Ronstar	3 l	38	Ronstar	1 l	57	Propanil	4 l	51	urée	100kg	55	18.46.0	125k g
		18.46.0	100k g		18.46.0	100kg	38	18.46.0	212k g		18.46.0	312k g	59	urée	100k g		18.46.0	100kg	69	Propanil	6,25 l
2d ap.	83	Furadan	300g		Furadan	300g	73	urée	150k g	79	urée	120k g	64	sarclage			Furadan	300g			
		urée	100k g	70	urée	100kg			50kg				84	urée	200k g	70	urée	100kg	75	urée	125k g
		Furadan	1,5kg	81	Furadan	12kg		18.46.0								81	Furadan	12kg			
3d ap.	97	urée	100k g	84	sarclage											84	sarclage				
				100	urée	100kg										100	urée	100kg			
	141	déb récol.		127	déb récol.		142	déb récol.		137	déb récol.		161	déb récol.		127	déb récol.		164	déb récol.	
Récol	162	fin récol.	5,5 t	169	fin récol.	4,2 t	144	fin récol.	5,3 t	140	fin récol.	5,3 t	188	fin récol.	3,9 t	169	fin récol.	6,4 t	165	fin récol.	5 t
Total fertilisat.	N		213 U			170 U			212 U			350 U			264 U			170 U			80 U
	P		46 U			56 U			121 U			143 U			46 U			56 U			57.5 U

Annexe 1.2 : pratiques culturales observées dans les parcelles semées directement (hivernage 1995)

	G4H 120 ares			CP1 25 et CP2 35 ares			SG1 à 3 86ares			SN1 55 ares		
	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha	j.a.s	intervent.	Q/ha
Semis	-37	offset		-41	offset		-22	offset		-8	offset	
	-2	en eau		-1	en eau		-1	en eau		-1	en eau	
	-1	Ronstar	0,8 l									
	0	JAYA	150kg	0	JAYA	170kg	0	DJ 129	103kg	0	IR8	33kg
		pré-germée	g		pré-germée			pré-germée	g		pré-germée	
1st ap.				3	Sofit (a)	4 l	15	Rilof	4 l	20	Propanil	5,45 l
					Ronstar (b)	3 l						
				16	Rilof	25 cl						
				18	sarclage(b)							
				23	sarclage(a)							
				26	resemis (a)							
					IKP	33 kg						
				39	urée	125kg	21	urée	58 kg	33	urée	182kg
					18.46.0	83kg		18.46.0	116kg		18.46.0	g
									g			91kg
2d ap.	37	Rilof	2 l	40	sarclage		31	sarclage		39	sarclage	
	57	urée	125kg	65	urée	150kg	49	urée	174kg			
			g						g			
	151	déb récol.					96	déb récol.		133	déb récol.	
récol.	156	fin récol.	5,7 t	129	récolte	1,1 t	114	fin récol.	3,4 t	136	fin récol.	2,9 t
Total fertilisat.			N 115 U				149			182		
							U			U		
			P 48 U	63 U			62 U			70 U		

Annexe 2.1 : état des parcelles repiquées (hivernage 1995)

	IAH 1et 2 84 ares	IOJ 32 arcs	IOI 50 ares	MD 16 arcs	MB 48 arcs	PN 8 arcs
semis	10-jun	18-jun	18-jun	25-jul	25-jul	02-jul
déb tallage	39 jas repiquage en ligne	42 jas repiquage en foule	42 jas repiquage en foule	36 jas repiquage en foule	37 jas repiquage en foule	45 jas repiquage en foule
tallage	51 jas 1er apport en boue 70 jas 2ème apport en eau	57 jas 1er apport en boue	5 jas 1er apport en boue	38 jas 1er apport en eau	58 jas 1er apport en eau	55 jas 1er apport en eau 75 jas 2ème apport
déb mont	73 jas en eau	75 jas en eau	84 jas en boue cypéracées et Fonio: faible	73 jas 2ème apport en eau	79 jas en eau	91 jas en eau
montaison	81 jas insecticide en eau infest. Borers feuilles rongées par sauteriaux Fonio: faible	83 jas 2ème apport en boue				
épiaison	100 jas 3ème apport en eau Fonio: faible Sauteriaux	97 jas 3ème apport Riz rouge: fort dans 1/4 de la parcelle	103 jas en eau Riz rouge + Fonio: moyen			109 jas en eau

Annexe 2.2 : état des parcelles semées directement (hivernage 1995)

	G4H 1,20 ares	CP1 et CP2 60 ares	SGG1 à 3 86 ares	SN1 55 ares
semis	10-jul	01-aoû	16-jul	02-jul
tallage	17 jas 1er apport en eau cypéracées: moyen 57 jas 2ème apport en eau cypéracées: moyen	39 jas 1er apport en eau riz à rhizomes: très fort	21 jas 1er apport en eau cypéracées + Fonio: moyen	41 jas 1er apport en eau cypéracées+ Fonio: moyen
déb mont	66 jas en eau un peu de verse feuilles rongées sauteriaux fort qques Borers cypéracées: fort	65 jas en boue riz à rhizomes: très fort sur 60% de la parcelle hétérogénéité très forte	38 jas en eau sauteriaux riz rouge: fort 49 jas 2ème apport en eau cypéracées + Fonio	65 jas en eau cypéracées+ Fonio: faible
épiaison	80 jas en eau présence sauteriaux cypéracées+Fonio: fort			93 jas en eau riz sauvage: fort
80% maturité	117 jas hétérogène	121 jas très hétérogène: riz à rhizomes	95 jas très hétérogène 90% parcelle versée	133 jas hétérogène

Volet 3 : Gestion de la mécanisation pour la préparation du sol

Samba KANTE, agromachiniste ISRA St. Louis

Résumé

Ce rapport présente les résultats obtenus en 1995 relatifs à la gestion de la mécanisation pour la préparation du sol.

L'état des lieux de la mécanisation dans la zone, décrit de manière détaillée dans le rapport d'étape, montre d'une part que le parc de matériel motorisé est très restreint du fait d'un vieillissement important, et d'autre part, que les attelages sont assez peu utilisés pour la préparation des terres, sauf dans les zones enclavées. Ceci est lié au prix intéressant des prestations motorisées. Mais l'effet de la dévaluation sur les coûts des matériels et des pièces détachées, qui n'a pas encore été totalement répercuté sur le prix de ces prestations, peut inverser la tendance et redresser la situation financière des détenteurs de bocufs de culture attelée.

Rares sont les paysans qui assistent au travail du sol. Cette opération est en général gérée par le groupement. De plus, les producteurs manquent de références pour juger de la qualité du travail et de son impact sur la production.

En 1995, les problèmes (croissants) d'accès au crédit de campagne ont engendré d'abord un très fort recul des surfaces cultivées en contre saison chaude, puis d'importants retards pour la mise en place des cultures d'hivernage. Pour pallier ce retard, les producteurs de PIV FED ont fait appel aux tracteurs pour la préparation des terres. Les observations relatives aux effets du travail du sol sur l'implantation du riz ne concernent donc que la préparation motorisée.

Les caractères essentiels du résultat d'une préparation du sol à l'offset sont :

- une très faible profondeur de travail, et donc peu d'enfouissement de résidus,
- un lit de semis grossier, sauf dans les fourrières, produisant un micro-relief important,
- une forte hétérogénéité.

Ces caractères sont fortement défavorables à une bonne implantation, qui est une condition essentielle à la réussite de la culture, surtout en semis direct (Cf. rapport du volet 2). L'hétérogénéité du lit de semis s'ajoute à celle issue du semis à la volée et au défaut de nivellement, et explique la forte variabilité de densité de levée, à l'échelle de la parcelle comme à celle du mètre carré.

Par contre, l'effet (à court terme) du travail à l'offset sur le nivellement général de la parcelle est faible. Il s'agit donc maintenant d'en mesurer les effets à plus long terme (la succession culturale), et surtout d'en mesurer l'impact sur une parcelle venant d'être planée.

Avant-propos

- Les producteurs, conducteurs ou détenteurs d'UCA retiennent difficilement les dates, les détails des prestations. Ceci est un obstacle pour la réalisation d'enquêtes rétrospectives.
- La multiplication des centres de décisions dans les organisations paysannes rend difficile la collecte des informations. Celles-ci sont souvent contradictoires selon le niveau de décision, ce qui nécessite des recoupements pour valider les résultats.
- L'étude de l'impact du travail du sol sur l'implantation du riz irrigué nécessite une réflexion méthodologique (dispositifs et protocoles de mesures, analyse des résultats). C'est ainsi qu'on a été amené à concevoir et à fabriquer l'ensemble du matériel utilisé (profilographe, cadres, grilles, bornes, etc).

Introduction

Ce document fait suite et complète le rapport d'étape élaboré en mai 1995. Il présente les résultats des travaux menés dans le cadre du volet "Gestion de la mécanisation pour la préparation du sol" de l'opération de recherche/développement "Performance et évolution de la riziculture irriguée dans la région Nianga-Podor".

La campagne 1995 est marquée par deux événements :

- l'absence de la pratique de la contre saison chaude dans la zone d'étude ;
- la non-utilisation de la culture attelée pour la réalisation de la préparation des terres cultivées en hivernage.

En effet, par suite des retards dans la mise en place du crédit, les producteurs des périmètres FED détenteurs d'attelages ont été contraints de faire appel aux prestataires de services motorisés pour respecter le calendrier cultural.

Cependant, nous avons pu observer des comportements et des tendances par rapport à la gestion de la mécanisation du travail du sol et ses effets sur l'installation de la culture du riz.

Ce document, après un rappel des objectifs du travail, présente brièvement le dispositif et les méthodes utilisées, puis expose les résultats obtenus.

Objectifs

Cette étude vise les objectifs suivants :

- recenser et caractériser les matériels agricoles et le cheptel de trait dans la zone d'étude ;
- identifier les différentes opérations mécanisées, l'évolution des coûts des prestations, les modes de paiement et l'importance relative de chacune ;
- appréhender les problèmes rencontrés au cours de la réalisation de ces opérations mécanisées, les raisons qui guident leur choix et les résultats obtenus par rapport aux objectifs visés ;
- établir des référentiels technico-économiques sur la gestion paysanne des attelages et des tracteurs ;
- concevoir un dispositif et des méthodes de mesure concernant l'effet du travail du sol sur l'implantation de la culture du riz et obtenir des résultats préliminaires.

Dispositif et Méthodes

La première partie de l'étude est basée sur des travaux d'enquêtes, d'entretiens directs et de documentation sur la mécanisation dans la délégation SAED de Podor. Les performances sont obtenues à l'aide d'un suivi des attelages et des tracteurs. L'évaluation des conséquences du travail du sol sur l'installation de la culture s'appuie sur des levés topographiques avant et après travail, une caractérisation du travail du sol réalisé et des comptages de levée.

Bibliographie

L'essentiel du travail bibliographique a consisté à recueillir des données auprès du Projet FED/AHA. Il s'agit des statistiques sur les superficies emblavées, sur les matériels mis en place par le projet et les GIE concernés, leur localisation avant d'aller sur le terrain pour effectuer les enquêtes proprement dites.

Etat des lieux, calendrier culturel

- Le recensement des tracteurs et des attelages utilisés dans la zone a été réalisé sur la base de 2 questionnaires.
- Une enquête rétrospective sur les travaux mécanisés sur les trois dernières années a été effectuée sur un échantillon de 21 périmètres ou SUMA. Le choix de l'échantillon est guidé par le souci d'embrasser une large gamme de situations. Cette enquête, qui concerne les principales opérations mécanisées, est faite à deux échelles : celle du périmètre (ou de la SUMA) et celle de la parcelle. Pour chaque opération on s'est intéressé aux problèmes rencontrés au cours de sa réalisation, aux raisons de son choix, aux objectifs visés et les résultats obtenus après réalisation.
- Un suivi des attelages et des prestataires de travaux agricoles a été mis en place pendant l'hivernage. Les principales étapes sont : élaboration de fiches de suivis, visites périodiques et enfin dépouillement, analyse des résultats.
- Pour compléter les enquêtes et les suivis, des entretiens directs, semis-structurés, très ouverts, embrassant plusieurs aspects du sujet sont effectués.

Etude de l'impact du travail du sol sur l'implantation du riz

- Pour mesurer les conséquences du travail du sol sur le nivellement général de la parcelle, nous avons effectué sur un échantillon de parcelle un levé topographique avant et après le travail du sol. Le traitement des données est réalisé à l'aide d'outils géostatistiques.
- Pour évaluer les conséquences sur la levée du riz, nous avons mesuré avec précision le micro-relief dans une placette de 1m de côté, puis compté, à intervalle régulier, le nombre de plantes levées dans un maillage de 10cm de côté. Trois placettes sont installées par parcelle selon une diagonale afin de rendre compte du nivellement général.
- Pour caractériser la qualité du travail du sol, on note, à l'échelle de la parcelle, la présence de végétaux et de chaumes non enfouis, la présence de dérayures et ornières, la détérioration diguettes, l'homogénéité du travail réalisé etc... De plus, on évalue, à l'échelle de la placette, la profondeur de travail, l'importance de terre fine et de mottes (classées par diamètre croissant de 5cm à plus de 20cm).

Caractéristiques du parc de matériel et du cheptel de trait

Ce travail ayant fait l'objet d'un rapport d'étape, nous ne donnons ici qu'un résumé des résultats obtenus.

Le cheptel de trait

Sur le plan des statistiques les enquêtes ont donné les résultats ci-après :

- 766 boeufs de trait dont 760 acquis par le biais du projet et 6 sur initiative paysanne ;
- 577 chevaux et 345 ânes achetés par les producteurs ;

L'utilisation des chevaux et ânes est antérieure à la mise en place du projet, tandis que l'acquisition en 1993 de boeufs sur fonds propres est une conséquence du projet. Sa véritable signification apparaîtra avec l'arrêt de l'intervention du projet pour l'acquisition des boeufs (degré d'adoption du thème par les paysans).

Deux ans après cette vaste opération, des ventes de boeufs ont eu lieu (43 % des effectifs), le plus souvent sans renouvellement (52 %) ou bien renouvelé par de jeunes boeufs incapables de travailler. C'est ce qui explique, entre autres, l'intervention des tracteurs dans les périmètres du projet.

Les acquisitions sur initiative paysanne (6 sur 766) ne concernent que deux villages. Ces achats de paires complémentaires illustrent plus que tout autre critère, l'intérêt porté par les producteurs à la traction bovine. Ainsi, les paysans de Loboudou Doué disent qu'ils n'aimeraient pas voir un tracteur dans leur parcelle.

On note également que l'intérêt porté par les paysans pour la culture attelée est d'autant plus fort qu'ils sont situés dans une zone enclavée, où les prestataires de services motorisés ne peuvent accéder.

Le parc de matériel à traction animale

Au total 380 matériels de préparation du sol sont placés (25 Arara et 355 houes sine Gréco, équipées de dents type canadien).

Les houes sont accompagnées de 380 corps de charrue, 380 corps butteurs/billonneurs.

Les résultats d'enquêtes donnent 1017 unités de transport (380 charrettes bovines, 596 charrettes équines et 41 charrettes asines). Le transport des récoltes et parfois même du paddy non battu constitue un goulot d'étranglement pour la réalisation d'une double culture annuelle. Il constitue un des postes de charge les plus lourdement ressentis par les producteurs.

Le parc de matériel motorisé

Le recensement a donné les résultats suivants :

- La délégation compte 76 tracteurs dont la majorité est en panne (55 % de l'effectif);
- 53 tracteurs (70 % de l'effectif de la délégation) peuvent intéresser la zone de Nianga et les périmètres du projet. Mais seuls 21 sont fonctionnels, parmi lesquels 4 appartiennent à des services publics.
- Les propriétaires sont en majorité des GIE, SUMA et Sections Villageoises (76 % du parc). Les propriétaires individuels ne représentent que 5 %, ce qui signifie que l'initiative privée n'est pas encore marquée dans la zone.

L'importance des tracteurs en panne illustre le vieillissement du parc et le manque d'entretien des matériels liés tous deux aux coûts (renouvellement, pièces détachées).

Chaque tracteur pouvant théoriquement offsetter 8 ha/jour, les 17 fonctionnels ont une capacité de travail de 130 ha/jour. Avec cette performance, il faudrait près de 4 mois de travail pour réaliser la préparation des 15.000 ha de la zone. Ceci explique l'intervention de prestataires venus de Dagana et du Delta. Nous reviendrons sur cette analyse lorsque nous aborderons les performances de la mécanisation (Cf. plus loin).

Enquête rétrospective sur les travaux mécanisés

Opérations mécanisées et place de chaque mode de travail du sol

Les 2 principales opérations culturales sont l'offsettage (ou grattage s'il s'agit de la culture attelée) et le labour. Nous avons essayé d'évaluer la représentativité de chacun de ces modes de préparation du sol selon le type de mécanisation.

Le travail superficiel à l'offset est quasiment la seule façon culturale pratiquée en motorisation. Pour la culture attelée, les résultats indiquent une domination de l'offsettage sur le labour. La plupart des producteurs intervenant dans les périmètres du

projet FED/AHA font du simple grattage soit parce qu'ils ne connaissent que cette technique de travail du sol, soit parce que la puissance des animaux ou l'impératif d'aller vite pour respecter le calendrier cultural les obligent d'utiliser les outils à dents.

L'enquête rétrospective sur la mécanisation ces trois dernières années montre que les problèmes rencontrés par les producteurs sont multiples : entretien et maintenance des aménagements, mauvaise qualité du travail du sol réalisé par des prestataires peu soucieux du résultat agronomique, coût élevé des façons culturales qui est le critère de choix le plus important (c'est la raison qui explique la quasi-absence de labour dans la zone). L'étude révèle aussi des problèmes liés au non-respect du calendrier cultural, et souvent un manque de connaissance des dates optimales de réalisation des opérations culturales (ou des contraintes autres qu'agronomiques interviennent).

Problèmes rencontrés et raisons du choix évoqués (Cf annexe 1)

- Pour la pré-irrigation, les principaux problèmes rencontrés sont liés à l'état de dégradation de l'aménagement (canal principal, diguettes, GMP et planage).

- Pour l'offsetage, la mauvaise qualité du travail du sol est liée au mauvais dressage des bœufs, au manque de formation des conducteurs et à l'inadéquation du matériel vis-à-vis de la dimension réduite des parcelles.

Le choix de l'offsetage se justifie par son coût relativement abordable par rapport au labour mais aussi par le mode de décision dans les OP. En effet, le choix du mode de travail du sol n'est pas une initiative individuelle, mais il est plutôt du ressort du bureau du groupement des producteurs intervenant dans le même maillage hydraulique ou des voisins ou de la SAED.

- Pour le labour, 50 % des réponses reçues désignent la cassure des diguettes comme problèmes liés à la réalisation du labour en motorisation, tandis que 50 % disent n'avoir rencontré aucune contraintes. Le coût élevé cette opération est un facteur limitant. En culture attelée, c'est surtout la mauvaise qualité du travail qui est le principal problème évoqué.

En motorisation, l'imitation et la lutte contre les adventices sont les raisons qui sous-tendent le choix du labour. Pour la traction animale c'est surtout les conditions du GIE qui guident à 65 % le choix (peu d'initiative individuelle). Le désir d'effectuer un travail profond motive 27 % des choix tandis que la baisse de rendement et l'imitation ne représentent que 4 %.

Objectifs visés pour l'opération et résultats obtenus (Cf annexe 2)

- Pour la pré-irrigation, deux objectifs sont visés : permettre de bonnes conditions de travail du sol et provoquer la levée des adventices avant travail du sol. Les résultats obtenus sont jugés satisfaisants à 63 %.

- Pour l'offsetage, la recherche de conditions favorables à l'implantation de la culture est le but visé. La lutte contre les mauvaises herbes se situe au second plan. Les résultats sont perçus comme satisfaisants à 63 % en motorisation et 95 % en culture attelée.

- Pour le labour, les objectifs visés et l'appréciation des résultats obtenus sont quasiment les mêmes qu'en offsetage cependant, la lutte contre les mauvaises herbes devient ici un objectif majeur au même titre que la réalisation d'un bon lit de semis.

Par rapport à un travail du sol les paysans visent deux objectifs principaux : créer des conditions favorables à l'implantation de la culture et lutter contre l'enherbement. Les résultats jugés satisfaisants nous paraissent contraires à la qualité du travail que nous avons observé sur le terrain (de plus, il est assez rare de rencontrer un paysan présent dans sa parcelle durant la réalisation du travail du sol). Ceci dénote chez les paysans une absence de repère pour apprécier la qualité du travail du sol.

Coûts des prestations et modes de paiement (Cf annexe 3)

Les coûts des prestations motorisées pour l'offsetage ont fortement évolué entre 1992 et 1994. Elles sont passées de 13.000 FCFA/ha à 20.000 FCFA/ha après la dévaluation. Les tarifs de 15.000 FCFA qui représentaient 43 % des coûts pratiqués en 1992 n'occupent en 1994 que 2 %, tandis que les tarifs supérieurs ou égaux à 18.000 FCFA, absents en 1992 et en 1993, apparaissent en 1994 avec une proportion totale de 18 %.

Les prix des prestations pour l'offsetage et le labour en traction animale, et pour le labour en motorisation n'ont pas varié.

Le paiement des prestations s'effectue soit par bons CNCAS, soit en espèces, au comptant ou à crédit.

Cette augmentation des prix des prestations des services motorisés est susceptible de relancer l'intérêt des producteurs pour la culture attelée, d'autant plus que ces prix n'ont pas encore totalement subi les conséquences de la dévaluation. En effet, le renouvellement de pièces portera encore à la hausse les coûts de prestations motorisées.

Mais face au prix élevé des matériels, les prestataires peuvent également ralentir le rythme des renouvellements. Le vieillissement du parc actuel se traduira par une baisse sensible des performances, et donc de l'offre globale en travail du sol

motorisé dans la zone. Ceci pourrait se traduire, notamment dans les zones les moins accessibles, soit par une faible mise en valeur des terres, soit par un regain d'intérêt pour la culture attelée, si des attelages sont encore disponibles.

Relations entre prestataires et producteurs

En culture attelée, de nombreux conflits liés aux performances des attelages, aux coûts des prestations et au remboursement des matériels, opposent les détenteurs de boeufs aux paysans d'une part, et au bureau des GIE d'autre part.

Selon les paysans qui reçoivent les prestations, la mauvaise qualité du travail est jugée liée à la mauvaise formation des détenteurs, à leur manque de motivation et au mauvais dressage des boeufs. Quant aux bouviers, ils imputent cette mauvaise qualité du travail au mauvais planage des parcelles qui occasionne une répartition inégale de la lame d'eau et de ce fait un ressuyage étalé.

De sérieux conflits opposent souvent les détenteurs aux membres des bureaux des GIE. Ces conflits trouvent leur origine dans l'absence d'assemblée générale exposant le bilan des activités du GIE de la part des responsables des GIE. Les détenteurs ont comme argument la faiblesse des performances des animaux qui ne permettent pas d'obtenir assez de recettes pouvant couvrir les amortissements des UCA. Par contre le bureau du GIE reproche aux détenteurs de vendre les boeufs sans leur avis comme stipulé dans le contrat.

En motorisation, les conflits sont moins fréquents et moins aigus. Les prestataires utilisent plusieurs stratégies pour conserver certains clients : diminution du prix des prestations pour fidéliser les clients. Certains effectuent les travaux du sol à crédit pour recevoir leur paiement après les récoltes pour garantir le marché de ces récoltes.

Seuls des engagements verbaux lient les prestataires et leurs clients. Les contrats écrits, pouvant entraîner des obligations de l'une et l'autre parties, ne sont pas signés parce que cela est vu comme un manque de confiance.

Calendrier culturel, performances et rapport entre l'offre et la demande de travail

L'étude du calendrier culturel du riz montre des plages de temps plus ou moins longues selon le mode d'implantation choisi par le paysan (repiquage ou semis direct). Le retard sur la mise en place du crédit peut réduire d'un minimum de 15 jours pour chaque campagne le temps disponible pour la mise en place de la culture. Le repiquage, par contre, peut faire gagner 15 jours par rapport au semis direct.

Tableau 1 : Temps disponible en mois selon le mode d'implantation

mode implantation	Temps disponible CSC			Temps disponible HIV		
	Total	Crédit	Reste	Total	Crédit	Reste
Semis direct	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1
Repiquage	2	0,5	1,5	2	0,5	1,5

Performances techniques

En 1995, très peu de surfaces ont été préparées en culture attelée. Avec le démarrage tardif des façons culturales lié aux problèmes de mise en place du crédit, la plupart des producteurs ont recouru aux tracteurs. Les performances des attelages présentées ici sont donc provisoires, et devront être validées par les études que nous mènerons en 1996.

Le suivi réalisé en hivernage donne les performances journalières suivantes:

- le temps de travail journalier varie entre 3 h et 4,5 h ;
- la vitesse moyenne d'avancement est de 0,45 m/s soit 1,62 km/h ;
- le temps de repos au cours du travail est en moyenne de 27 mn ;
- les pertes de temps au virage s'élèvent à 24 % de la durée totale;
- la superficie travaillée varie entre 0,11 à 0,16 ha/jour (0,14 ha/j en moyenne). A ce rythme il faut compter 24 à 36 jours pour réaliser le quota de 4 ha attribué à chaque paire de boeufs.

Les performances déjà médiocres sont encore diminuées à cause des raisons suivantes :

- les détenteurs ne travaillent que 2 jours sur 3 ;
- l'absence d'un calendrier de travail prévisionnel ;
- les arrêts de travail pour des convenances personnelles (cérémonies familiales, religieuses etc.).

Pour la motorisation, un suivi du travail du sol au cover-crop a été effectué pour 3 tracteurs (1 SUMA, 1 SV et 1 privé). Ce suivi a permis de déterminer les performances techniques en conditions réelles d'utilisation suivantes :

- la durée de travail par jour varie entre 1,5 h et 7,5 h, avec une moyenne de 6 h ;
- la vitesse de travail est en moyenne de 1,4 h/ha (mini = 1 h 17 mn, maxi = 2 h 15 mn) ;
- la surface offsetée par jour est en moyenne de 4,3 ha (mini=1,38 ha, maxi = 7,5 ha).

Ces performances médiocres sont liées à l'inadaptabilité des machines utilisées par rapport à la dimension des parcelles et au manque de formation des conducteurs.

La mauvaise programmation des chantiers s'ajoute à ces faibles performances, et dénote le manque d'expérience et de formation des gestionnaires de la mécanisation. En effet, de grandes distances sont parcourues pour travailler de petites superficies (Cf. annexe 4). Un regroupement des chantiers par un planning des clients éviterait certains déplacements qui non seulement occasionnent des consommations inutiles de carburant mais aussi des pertes de temps. Le suivi sur la campagne à venir nous permettra d'obtenir plus de détails sur les pertes de temps liées à ces déplacements.

Demande et offre de travail du sol selon le type de mécanisation

La demande et l'offre réelles en travail du sol suivant le type de mécanisation se présentent ainsi :

Tableau 3 : Demande et offre réelles en travail du sol

	nombre d'unités		performance journalière	Offre en travail			Demande globale
	total	fonctionnelles		journalière	sur 1 mois	sur 1,5 mois	
traction bovine	383	383	0.14 ha/j	54 ha	1620 ha	2430 ha	1520 ha (1)
tracteurs	76	30 (3)	4.3 ha/j	129 ha	3870 ha	5805 ha	15000 ha (2)

(1) : total des surfaces des 20 PIV équipés en UCA par le FED/AHA.

(2) : total des surfaces aménagées dans la délégation autres que celles du projet FED/AHA.

(3) : nombre de machines disponibles dans la délégation, moins les machines en panne et celles des services.

L'offre réelle en travail du sol du parc de tracteur est très faible par rapport à la demande ; ceci explique en grande partie l'intervention de prestataires venant du delta, et également les retards sur l'implantation des cultures.

Pour la traction animale, l'offre en travail sur 1 mois couvre largement la demande (en supposant que les attelages travaillent 30 jours sur 30 !). L'intervention des tracteurs dans les PIV FED ne peut donc se justifier que par un retard exagéré lié à l'octroi des crédits de campagne (cet octroi est nécessaire pour l'achat du gas-oil utilisé pour la pré-irrigation avant travail du sol).

Effets du travail du sol sur l'implantation du riz irrigué

L'essentiel du travail mené à ce niveau est la mise au point de la méthode d'étude : conception de matériel, mesures sous lame d'eau, levés topographiques précis, test d'outils d'analyse des résultats. Les conclusions qui suivent sont donc préliminaires et nécessitent d'être confirmées.

Effets sur le nivellement général de la parcelle

L'examen des cartes établies à partir des données recueillies par levés topographiques sur un maillage de 3 m x 3 m avant et après travail du sol, et traitées à l'aide des logiciels Geostat et WinSurfer, donne les résultats suivants (Cf. annexe 5) :

La carte des différences de topographie (altitude après travail - altitude avant travail) sur une parcelle déjà mal nivelée (Cf. carte avant travail en annexe 5) montre que la préparation du sol ne modifie pas fortement la topographie. En effet, la surface des zones où les différences sont comprises entre plus ou moins 3 cm représente environ 75% de la parcelle.

On remarque néanmoins que les différences négatives sont situées préférentiellement dans les zones basses, et les différences positives, dans les zones hautes. Ceci indiquerait par conséquent que le travail du sol accentue le défaut initial de nivellement de la parcelle.

La préparation du sol à l'offset produit par ailleurs de manière qui semble à première vue aléatoire des déblais et remblais de plus de 3 cm. Ces zones hautes et basses expliquent au moins en partie l'hétérogénéité de la culture, du fait d'une hauteur de lame d'eau variant de plus ou moins 9 cm.

Effets sur la qualité du lit de semis

L'analyse porte sur des parcelles offsetées avec un seul passage. Le travail a été effectué à sec dans les parcelles des SUMA de Ndiawara, Guia 3, et 2 parcelles situées dans la maille commune du Casier Pilote, dont une avait subi une pré-irrigation environ 1 mois auparavant (son effet sur l'état d'humidité du sol au moment du travail est donc nul).

La qualité du travail du sol est appréciée au travers des critères suivant : la proportion et la répartition de la taille des mottes, la profondeur de travail, et le micro-relief.

Les mottes sont réparties en 5 classes selon leur calibre : moins de 5 cm, de 5 à 10 cm, de 10 à 20 cm, et plus de 20 cm.

Les comptages réalisés dans les parcelles (Cf annexe 6) montrent :

- les fourrières sont plus émiettées que l'intérieur de la parcelle du fait des nombreux passages d'outil,
- les grosses mottes (calibre > 10 cm) représentent à l'intérieur de la parcelle de 30% à 70% de la surface,
- la répartition de mottes est relativement variable à l'intérieur d'une même parcelle.

La profondeur de travail a été mesurée dans les diverses placettes situées dans les fourrières et à l'intérieur des parcelles (Cf. tableau 4). La profondeur est faible (3 à 7 cm environ) et ne permet donc pas un bon développement racinaire (nutrition des plantes limitées, risque de stress hydrique en cas d'assec).

Tableau 4 : profondeurs de travail mesurées dans 3 parcelles

Parcelle	lieu (fourrière ou intérieur)	profondeur (cm)
Casier Pilote 1	F1	5.9
	F2	3.2
	I1	2.6
	I2	5.9
	I3	6.5
Casier Pilote 2	F1	3.7
	F2	6.3
	I1	5.1
	I2	3.8
Guia 3	F1	5.8
	F2	4.5
	I1	3
	I2	4.9
	I3	4.3

Le micro-relief a été mesuré dans des placettes de 1 m de côté à l'aide d'un profilographe (on ne mesure pas l'altitude, mais la hauteur de la lame d'eau). Dans l'exemple présenté (Cf. annexe 7), la hauteur d'eau varie de 2 à 22cm, ce qui traduit des différences de 20cm liées à la répartition et à la taille des mottes en surface.

On a tenté d'évaluer l'effet de cette variabilité sur la dynamique de levée du riz. En effet, l'hétérogénéité de levée, illustrée par les cartes de densité (Cf. annexe 8), est liée non seulement au mode de semis à la volée (la distribution des graines pré-germées n'est pas homogène), mais aussi à la variabilité de la hauteur de la lame d'eau qui induit des conditions de levée variables. L'effet de cette variabilité de hauteur d'eau n'a pas pu être clairement identifié, car en hivernage, la température de l'eau d'irrigation est beaucoup plus favorable.

Conclusion et perspectives

L'échec partiel de la culture attelée dans la zone est fortement lié à la conjugaison des deux facteurs suivants : d'une part, la présence dans la zone de prestataires de services motorisés qui proposent de réaliser une préparation du sol en sec beaucoup plus rapide qu'avec des boeufs, pour un coût seulement légèrement plus élevé jusqu'en 94, et d'autre part, le démarrage retardé des campagnes de culture, lié notamment à l'octroi du crédit, qui réduit le temps disponible pour la préparation des terres (et gêne également la réussite du repiquage). Cette situation est encore susceptible d'évoluer à cause de l'augmentation, par suite de la dévaluation, des coûts de la motorisation. Ceux-ci sont actuellement sous-évalués par les prestataires, qui n'ont pas encore répercuté les charges liées au renouvellement et aux réparations des matériels de peur de perdre leur clientèle. Plutôt que de se limiter au choix de l'un ou l'autre type de mécanisation, il semble beaucoup plus raisonnable d'utiliser l'un et l'autre en fonction de leurs intérêts respectifs vis-à-vis du fonctionnement des systèmes irrigués.

Une caractéristique majeure des préparations du sol (motorisées ou attelées) est leur qualité médiocre (faible profondeur de travail, grossièreté du lit de semis, enfouissement des résidus et adventices). Ce résultat a des diverses origines diverses : non seulement le manque de formation/motivation de ceux qui les réalisent, mais aussi et surtout l'absence de contrôle par le paysan du travail réalisé ou le manque de références pour juger de sa qualité. Deux facteurs peuvent expliquer cette seconde origine : d'une part le travail du sol n'est pas géré à l'échelle individuelle mais à celle du groupement, et d'autre part, il est d'autant plus difficile de juger l'effet d'une intervention que celle-ci est éloignée du résultat concret que constitue la récolte.

La qualité de la préparation du sol peut influencer notamment sur l'implantation de la culture (rapidité et homogénéité de levée). Le lien entre la qualité de cette implantation et le rendement de la parcelle n'est pas direct (Cf. rapport du volet 2). Les parcelles repiquées sont également concernées, car l'état des plants, leur homogénéité, est issu de la conduite de la pépinière.

Enfin, les premiers résultats montrent un effet du travail du sol sur le nivellement général de la parcelle. Néanmoins, cet effet à court terme est faible (légère accentuation du relief initial) sur une parcelle non nivelée.

L'étude commencée en hivernage 95 doit continuer, non seulement au travers d'un dispositif en parcelle paysanne, mais également au travers d'essais en station (Fanaye) et de mesures en laboratoires :

- Le dispositif en parcelle paysanne nous permettra d'étudier les effets à long terme du travail du sol, dans une succession culturale purement rizicole, ou dans une succession riz - culture sur billon.
- Un dispositif en station permettra de mesurer l'effet du travail du sol et de la culture sur une parcelle nivelée, et de tester différents matériels, notamment une lame niveleuse en collaboration avec la SAED.
- Un dispositif en laboratoire sera installé afin de mesurer l'évolution de la température et de l'oxygène dissout en fonction de la profondeur d'eau.

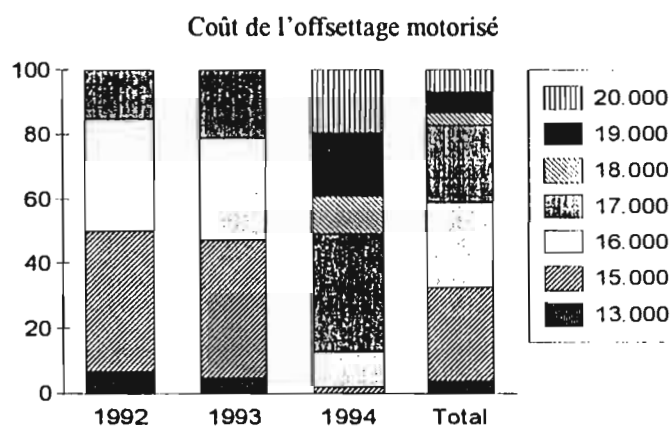
Annexe 1 : Problèmes rencontrés et raisons du choix des opérations

Opération		Problèmes	Fréq. %	Raisons du choix	Fréq. %
Préirrigation		Détériorat. Amgt	25	Facilte W Ax	60
		Canal princ.défect	20	Sol trop dur	36
		Probl. planage	15	Facil W man.	3
		Pannes GMP	15	Imitation	1
		Faible débit GMP	10		
		Cassure diguettes	9		
		Néant	6		
offsettage	MOTO	Mauvaise qulté W	41	Coût<coûtlab	40
		Néant	29	Condit. GIE	35
		Panne tracteurs	21	Imitation	15
		retard	6	Contr. calen	7
		coût élevé	2	Gain tps/UCA	3
		sol dur	1		
	UCA	Néant	48	Condit. GIE	45
		Mauvais dressage	39	Coût<coûtlab	27
		Puissance faible	9	Puis. limUCA	15
		Matériel inadapté	4	Imitation	8
				Rapidité	5
labour	MOTO	Néant	50	Imitation	50
		Cassure diguettes	50	Lutte c.adv.	50
	UCA	Néant	30	Condit. GIE	65
		Grosses mottes	28	W profond	27
		solsec/hum/endroit	24	Baisse rdt	4
		Mauvais dressage	16	Imitation	4
		Coût > coût offset	2		
Récolte	MOTO	Pertes de riz	44	Rapidité W	63
		Néant	27	Economique	37
		Mélange riz rouge	13		
		Retard Moisbat	8		
		Panne Moisbat	8		
	MANUEL	Néant	41	Faible sup/rdt	43
		Prise en charge MO	33	MO disponible	39
		Fatigant	23	Retard mbat	18
Battage	MOTO	Néant	38	Rapidité	44
		Coût élevé	29	Imitation	21
		retard	26	MO non disp	18
		Perte riz	7	Condit. GIE	15
				Coût< chgeMO	3
	MANUEL	Prise en charge	51	Faible sup/rdt	39
		Néant	26	MO dispo	38
		Fatigant	23	Seule possib	16
				Economique	7

Annexe 2 : Objectifs visés et résultats obtenus

Opération		Objectifs	Fréq. %	Résultats/objectifs	Fréq. %
Préirrigation		Bonne condit. W	98	Satisfaisant	63
		Prélever advent.	2	Moyen	37
Offset	MOTO	Lutte c advent.	26	Satisfaisant	63
		Ameubler sol	57	Moyen	37
		Bon lit de semis	13		
		Imitation	4		
	UCA	Ameubler sol	34	Satisfaisant	95
		Lutte c advent.	17	Moyen	5
Bon lit de semis		47			
Imitation		2			
labour	MOTO	Lutte c advent.	50	Faib.enhermt	50
		Enfourir résidus	50	Bonne levée	50
	UCA	Ameubler le sol	28	Satisfaisant	95
		Lutte e advent.	32	Non satisfat	5
Bon lit de semis		40			
Récolte	MOTO	Dégager rap Plle	61	Bien	20
		Rembourt tps dette	39	Moyen	13
				Mal	67
	MANUEL	Néant	24	Bien	43
		Economie	24	Moyen	38
		Rembourt tps dette	49	Mal	19
Moyen disponible		3			
Battage	MOTO	Repos	9	Bien	74
		Dégager rap Plle	35	Moyen	15
		Limiter pertes	17	Mal	11
		Amortir matériel	39		
	MANUEL	Occuper chaumeurs	22	Bon	44
		Limiter les frais	45	Moyen	17
		Respect calendrier	33	Mal	39

Annexe 3 : Evolution des coûts et modes de paiement des prestations mécanisées



Modes de paiement des prestations

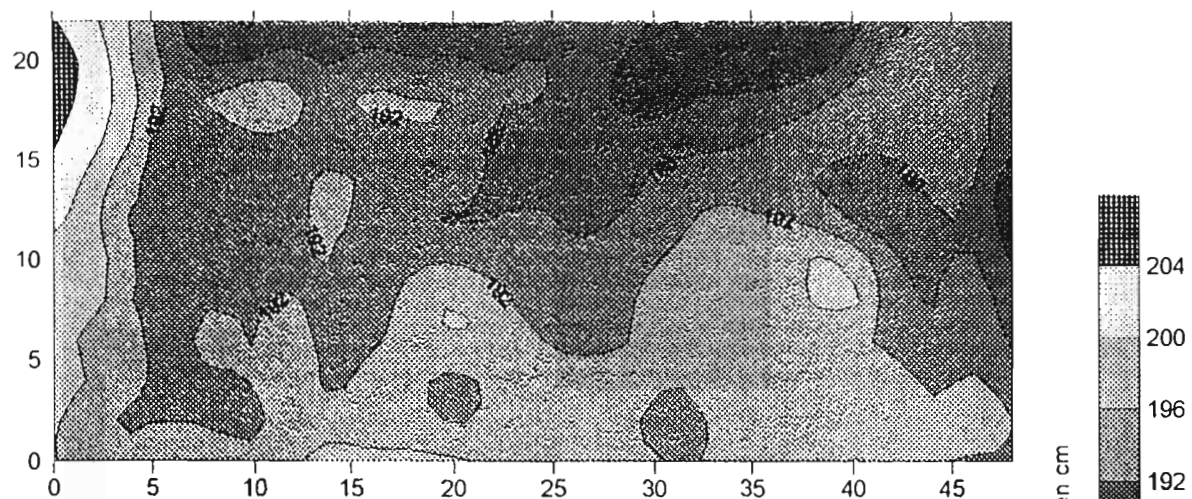
Années	1992	1993	1994	Total
Mode paiement				
Bon CNCAS	76	71	72	74
A crédit	0	12	1	14
Au comptant	24	17	27	12

Annexe 4 : calendrier des déplacements de trois tracteurs pour la campagne 1995

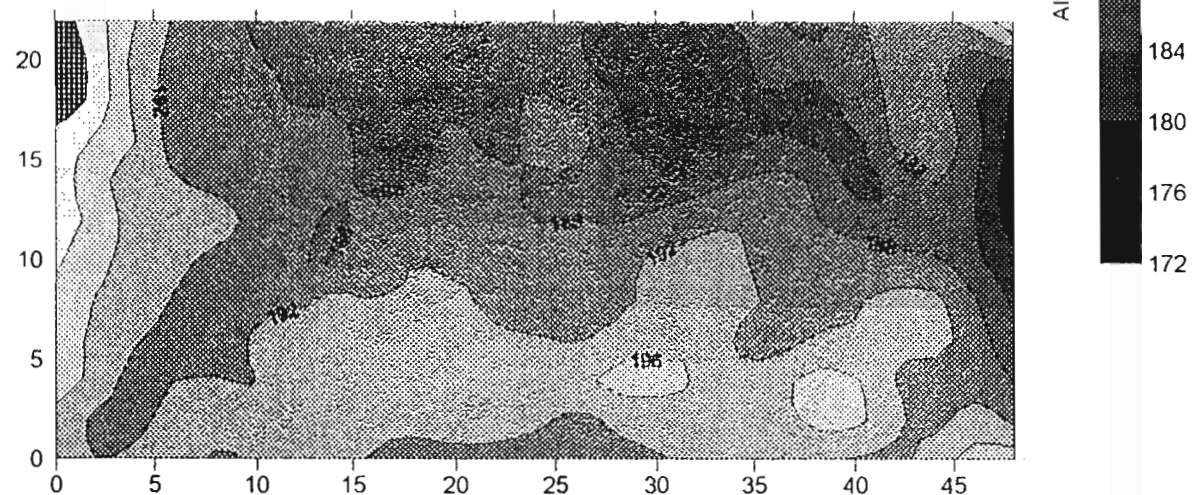
Tracteur	lieu du déplacement	distance (km)	surface réalisée (ha)	période de travail
CUMA pilote	Nianga	0	90	15 - 30/6
	Niandane	4	10	20 - 25/7
	Ndiayène	15	15	27 - 30/7
	Niandane	4	20	06 - 14/8
	Kodit	8	12	15 - 16/8
	Diatar	12	4	05/9
	Guia	5	16	10 - 12/9
Moussa H. LY (Privé Donaye)	Diomandou	70	133	15 - 27/6
	Ndioum	50	192	27/6- 5/7
	Donaye	0	42	15 - 21/7
	Diatar	4	42	20 - 25/7
	Gaya	90	104	15 - 22/7
	D. wali	20	15	17 -18/8
IT3 Donaye	Diomandou	70	100	15 - 27/6
	Ndioum	50	75	27/6- 5/7
	Gaya	90	45	15 - 22/7
	Donaye	0	6	24/7
	Mboyoy	20	14	03 - 05/8
	Donaye	0	19	06 - 08/8
	Mboyoy	20	14	09 - 12/8
	Donaye	0	20	13 - 15/8
	Mboyoy	20	17	16 - 20/8
	Donaye	0	24	21 - 23/8

Annexe 5 : Effet du travail du sol sur le nivellement général de la parcelle
(cas d'une parcelle mal nivelée)

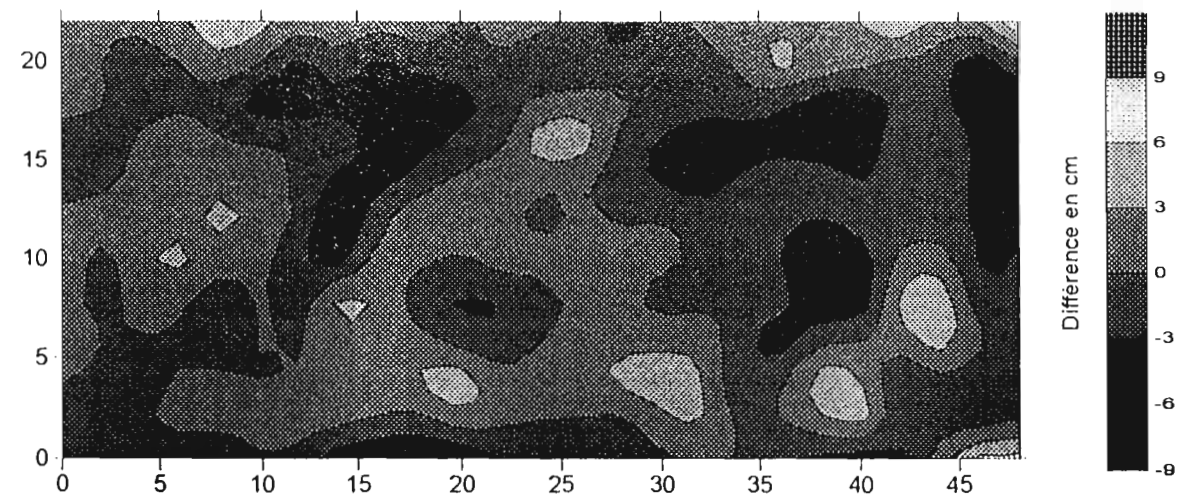
Topographie avant travail du sol



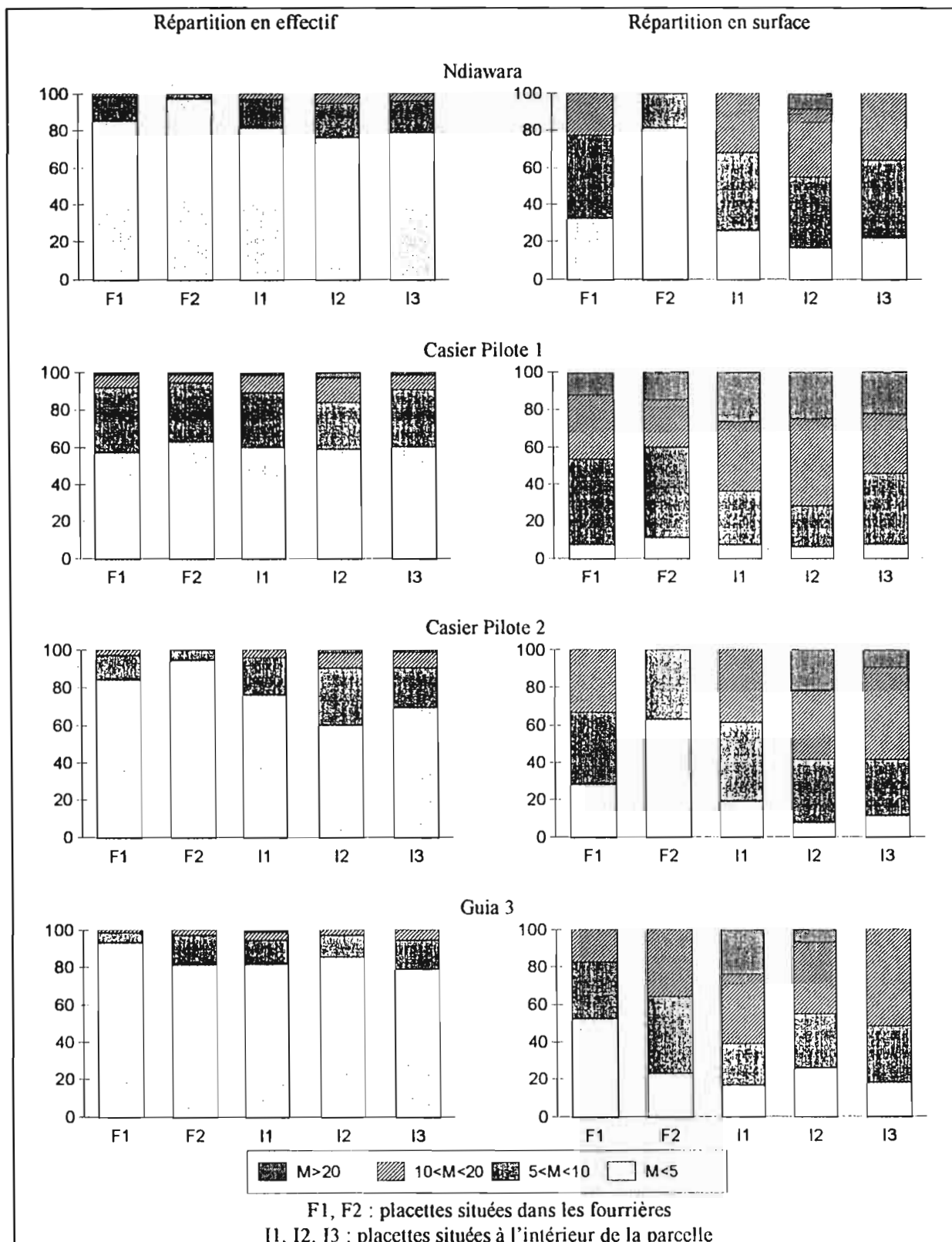
Topographie après travail du sol



Carte des différences d'altitude (après - avant)

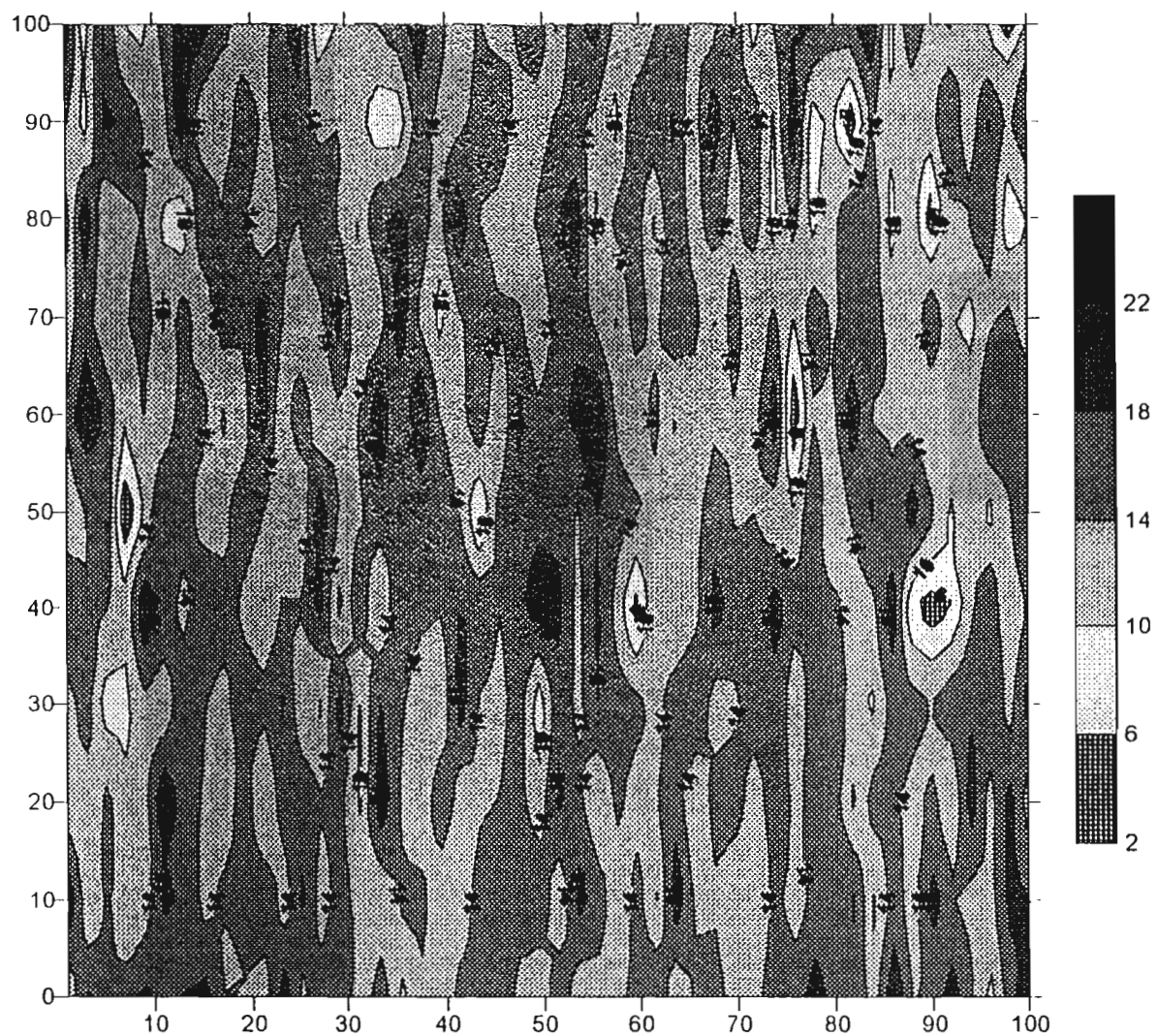


Annexe 6 : Répartition des classes de mottes dans 4 parcelles du grand périmètre de Nianga



Annexe 7 : micro-relief mesuré sur une placette de 1m de côté

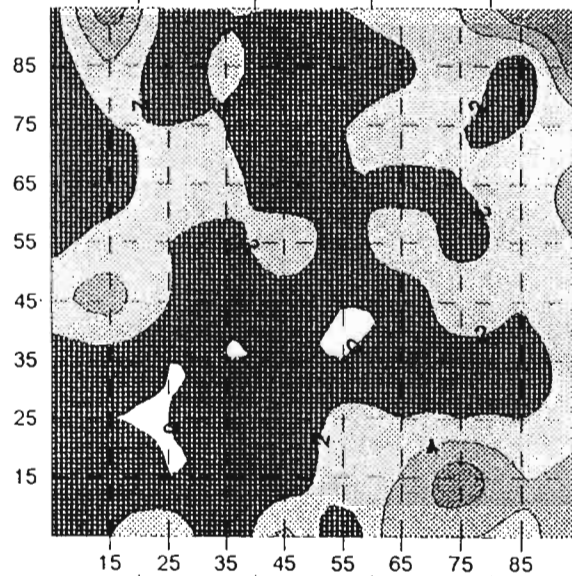
Carte du micro-relief (placette 1m x 1m)



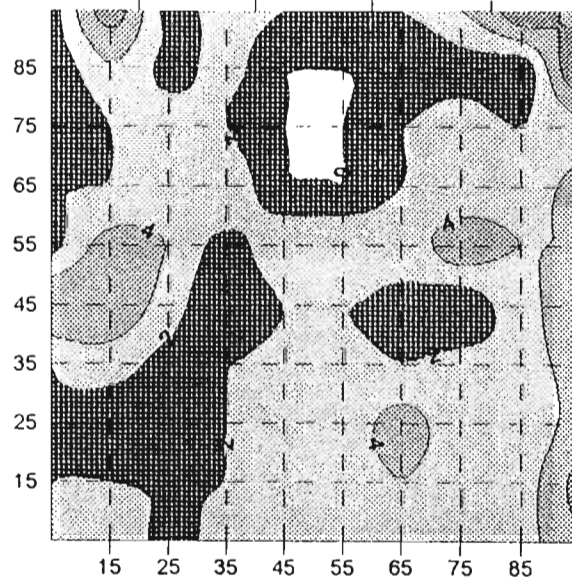
Annexe 8 : hétérogénéité de levée du riz

Cartes des densités de levée par maille (10cm x 10cm)

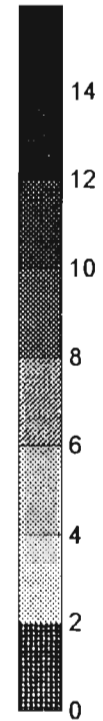
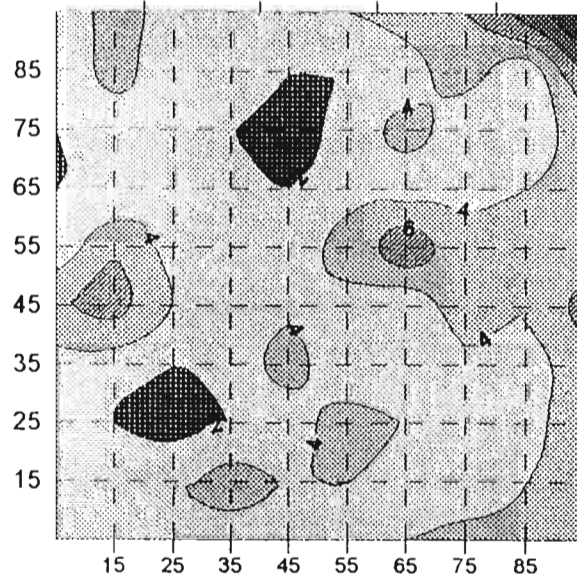
Date 1



Date 2



Date 3



Annexe au volet 1

Volet Irrigation et Dynamique des Nappes Superficielles Contre Saison Chaude et Hivernage 1995

P. Boivin, F. Laval

Ce rapport présente les résultats des travaux engagés depuis le début de l'année 1995 dans le cadre de l'étude du fonctionnement des nappes superficielles à l'échelle de périmètres irrigués dans la Moyenne Vallée du Fleuve Sénégal (Volet 1b de l'Opération 1: Impact de l'irrigation sur l'évolution des sols et des nappes, Programme de Travail, année 1995). Les objectifs de l'étude sont rappelés ainsi que les dispositifs expérimentaux et de suivi qui ont été mis en oeuvre. L'analyse des résultats est donnée site par site.

1- Objectifs de l'étude

Les études antérieures ont montré que les sols pouvaient se dégrader sous l'influence de l'irrigation. Les processus d'alcalinisation et de salinisation sont maintenant connus au point de vue géochimique. Leur évolution dans le temps et dans l'espace étant étroitement liés aux fonctionnements hydriques des sols, l'étude présente a pour objectif de caractériser les aquifères représentatifs des terrains à risque de la région de Podor et de quantifier leur paramètres hydrodynamiques.

Il s'agit dans un premier temps d'étudier la répartition des nappes superficielles et les transferts dont elles sont le siège, et d'accéder aux grandeurs quantitatives telles que la conductivité hydraulique ou la transmissivité caractéristiques de ces milieux.

L'approche suivante consiste à étudier le milieu en fonctionnement sous irrigation. Cette démarche amène à étudier distinctement deux zones inter-dépendantes:

- la zone saturée, constituée par la nappe superficielle;
- la zone non-saturée comprise entre la surface du sol et la surface de la nappe.

Notre étude concernant l'aquifère se limite donc au domaine de la zone saturée.

En outre, des bilans hydriques seront menés sur différents sites. Ils apporteront des connaissances complémentaires sur le fonctionnement hydrique et la gestion de l'eau de parcelles.

Ces expérimentations seront menées avec le souci de recueillir des données exploitables lors d'une modélisation des transferts hydriques à l'échelle de la parcelle ou du périmètre.

Les résultats précédents acquis, il sera possible de:

- évaluer l'extension dans l'espace des risques de dégradation liés à un périmètre irrigué;
- comprendre et prévoir l'évolution de la qualité des nappes au voisinage des périmètres;
- évaluer en retour les possibilités de dégradation des sols dues à une remontée excessive des nappes;
- être en mesure de développer des modèles prévisionnels de gestion des aménagements à l'échelle des unités de paysage, prenant en compte leur impact sur les nappes.

2- Rappel des dispositifs expérimentaux et de suivi:

Les dispositifs de suivi et les méthodes expérimentales employées ont été décrites en détail dans un rapport d'avancement (Boivin et Laval, 1995).

On rappellera brièvement les études engagées.

Les sites équipés en 1995 d'un dispositif de suivi de la nappe et permettant une caractérisation des grandeurs hydrodynamiques sont les suivants:

- Ndiawara, périmètre privé, 6 piézomètres sur 2 transect;
- Ngawlé 2, périmètre FED, 7 piézomètres sur 2 transect;
- Mboyo 7, périmètre FED, 9 piézomètres sur 2 transect dont 1 piézomètre pour essai de pompage;
- Ouromadiou, périmètre FED, 6 piézomètres sur 1 transect;

Le cas du périmètre de Ndiawara ne sera pas traité dans ce rapport.

A ces périmètres s'ajoutent celui de Donaye ITI sur lequel un suivi piézométrique a été engagé dès 1994 et poursuivi cette année.

Sur ces 5 périmètres, 2 d'entre eux sont installés sur des sols lourds de type hollaldé (Donaye et Mboyo), 2 autres sont situés sur des sols de levée appelés fondé (Ndiawara et Ouromadiou), enfin Ngawlé se trouve sur un sol de type intermédiaire faux-hollaldé. Ces sites sont donc bien représentatifs des types de sols rencontrés dans la région de Podor et généralement dans la vallée du Fleuve.

3-Etudes précédentes:

Les études relatives aux aquifères superficiels dans la vallée du Fleuve Sénégal sont peu nombreuses.

On sait que la nappe est généralement contenue dans un aquifère sableux de type nouakchottien comme décrit par Michel (1973) dont la texture est relativement homogène: de 50 à 100 microns.

Illy (1973) a étudié globalement le système hydrogéologique de la vallée.

Il a montré que la nappe alluviale était alternativement alimentée et drainée (respectivement pendant la crue et au cours de la saison sèche) par le Fleuve et ses affluents et que cette influence était limitée au voisinage des berges des cours d'eau. En accordant par exemple une transmissivité de $30\text{m}^2/\text{j}$ aux aquifères, une élévation du niveau d'eau lors de la crue de 5m crée une remontée de la nappe à terme de 0.30m à une distance de 500m.

En outre, Illy donne des valeurs caractéristiques de perméabilité des aquifères: de $2.5\text{m}/\text{j}$ pour des sables francs à $1\text{m}/\text{j}$ pour des sables limoneux. Ces données sont recueillies à partir de piézomètres généralement profonds installés le long de toute la vallée et ne sont pas forcément caractéristiques des nappes alluviales.

La nappe alluviale peut sinon être alimentée par percolation lors de la submersion des cuvettes par les eaux de crue. Les taux d'infiltration très faibles ($0.7\text{mm}/\text{j}$ pour 1m d'argile, $0.05\text{mm}/\text{j}$ pour 2m d'argile) apportent en moyenne un équivalent de 40mm à la nappe.

L'apport des précipitations à la nappe est enfin négligeable.

Diagana (1994) a mis en évidence, grâce à des essais de pompage, des aquifères étagés séparés par des couches argileuses imperméables. Dans la cuvette de Nianga, l'aquifère alluvial est libre et épais de 5 à 8m. Il surmonte un aquifère captif développé dans les sables de l'ogolien dont les fluctuations sont indépendantes du premier.

Diagana met d'autre part en évidence l'élévation du niveau général des nappes superficielles à la suite des aménagements hydrauliques sur le Fleuve dont un des buts est de relever le niveau d'eau à l'étiage.

L'influence de l'irrigation a été étudiée par Da Boit (1993) dans le Delta, essentiellement au niveau de la qualité des eaux sous périmètre irrigué. L'élévation de la nappe due à une remontée des niveaux du Fleuve a été aussi constatée mais l'impact direct des apports d'irrigation n'a pas été développé.

4-Analyses des résultats:

Par la suite, on présente site par site les résultats acquis du point de vue des observations piézométriques et de la quantification des grandeurs hydrodynamiques.

Ces dernières ont été calculées à partir de slug tests. Cet essai rapide et simple consiste à observer la remontée du niveau d'eau dans un piézomètre après avoir soutiré un volume connu. Cet essai caractérise l'aquifère localement et permet d'apprécier la variabilité des conductivités hydrauliques. Les mesures sont interprétées par les méthodes de Bouwer et Rice ou de Hvorslev décrite plus amplement par Laval (1996).

4-1- Donaye IT1

- abréviation: DNY;
- périmètre de 50 ha, sur sol de type hollaldé;
- alimenté en eau par un groupe moto-pompe sur le Doué;
- pas de drainage, irrigation par siphons;
- cultures en 1995: pas de campagne de contre saison chaude, riz en hivernage.

Le périmètre de Donaye IT1 est situé dans l'île à Morfil en bordure du Doué.

Les positions de la parcelle et du transect de piézomètres sont indiquées sur le plan fig.1. La coupe du transect de piézomètres est représentée en fig.2

L'aquifère du périmètre est constitué d'un sable fin. Des sondages électriques ont confirmé la présence d'argile comme premier horizon sur une épaisseur d'environ 2m, et ont montré que l'aquifère pouvait avoir pour plancher un niveau argileux à sablo-argileux de conductivité plus grande et situé à la profondeur de 8m. L'aquifère aurait donc comme puissance environ 5 à 6m.

Le sable aquifère étant très fluent lorsque saturé, les sondages à la tarière n'ont pu apporter de confirmation sur la localisation du plancher de la nappe.

La parcelle étudiée a été cultivée de riz pendant l'hivernage. Aucune culture n'a eu lieu pendant la contre-saison chaude 95.

La figure fig.3 indique les variations piézométriques au cours de l'année 1995 dans 4 piézomètres représentatifs du site:

- DNYa se situe en bordure du canal d'alimentation en eau,
- DNY2 est au milieu de la parcelle,
- DNY1 est en dehors du périmètre, dans la cuvette créée artificiellement lors de la construction de la digue,
- DNYc se situe au-delà de cette zone remaniée.

On peut retrouver la position de ces piézomètres sur la figure

Ces niveaux piézométriques sont comparés au niveau du Doué qui borde le périmètre et se situe à environ 400m de la parcelle. Les niveaux d'eau du Doué sont assimilés à ceux du Fleuve mesurés à l'échelle de Podor.

Observations piézométriques

On observe un abaissement général de la nappe pendant toute la saison sèche.

Les niveaux piézométriques sont supérieurs de 1m à 1.50m à celui du Doué et attestent d'une alimentation de la nappe par irrigation lors de la saison culturale précédente. La surface piézométrique indique une pente et donc un écoulement de la nappe vers l'extérieur du périmètre. L'abaissement est lent et régulier, mais la pente existe toujours (figure 3). Il y a donc un apport. Celui-ci peut être de 2 natures:

- soit il provient d'une infiltration des eaux du canal d'alimentation qui a fonctionné pendant la saison sèche pour alimenter une partie du périmètre dans son extrémité nord.
- soit la nappe du périmètre dont la surface totale est de 50ha se draine vers des zones non-irriguées.

Cette deuxième hypothèse semble la plus probable. En effet, d'après l'équation de Dupuits donnant la ligne piézométrique d'une nappe alimentée, et connaissant les grandeurs hydrodynamique données plus loin, l'apport peut être estimé à environ 15 litres par jour et par mètre, quantité d'eau que le canal ne peut fournir car il lui faudrait infiltrer 70mm/j à travers 2m d'argile.

On peut remarquer que pendant cette période où la nappe est relativement basse, la pente de sa surface est plus faible au voisinage du piézomètre DNY2, ce qui atteste d'une plus faible conductivité hydraulique. Les résultats de slug test confirmeront cette hypothèse. Or, ce piézomètre se situe dans une poche salée, donc apparemment moins lessivée (figure 4). On verra plus loin sur d'autres exemples que la salinité des eaux peut être corrélée négativement avec la conductivité hydraulique.

Dès la première mise en eau (19 juillet, jour n°200), la nappe remonte (figure 5). Le niveau s'élève d'abord dans les piézomètres de la parcelle, puis moins sensiblement dans les piézomètres hors-périmètre. Cette variation brusque de 4 à 2 cm/j dans les premiers jours est entièrement due aux apports d'eau par irrigation car le niveau du Doué est encore inférieur à celui de la nappe. Si on considère une porosité efficace de 10% pour les sables de l'aquifère, cette élévation de la nappe correspond à un apport surfacique de 4 à 2mm/j. Ce taux d'infiltration est très nettement supérieur à celui donné par Illy pour 2m d'argile: environ 0.05mm/j; Diaw (1996) confirme ces faibles taux par des essais de perméabilité. En outre, la réponse de la nappe est très rapide.

L'infiltration des eaux d'irrigation à travers l'argile ne peut donc expliquer à elle seule la remontée de la nappe. Il pourrait exister des écoulements préférentiels dont l'existence reste à prouver.

La nappe atteint un niveau maximal en fin de culture. Elle devient localement affleurante, par exemple près du canal dont le niveau surélevé place la nappe en charge. Globalement, il semble que la surface piézométrique prenne la forme d'un dôme affleurant sur tout le périmètre et du fait des perméabilités relativement bonnes de l'aquifère (de l'ordre de 2.10^{-5} m/s soit environ 2m/j comme démontré plus loin), le niveau s'affaisse en bordure de périmètre. Ce schéma a lieu par exemple au jour n°228, soit 1 mois après le début de la culture.

Du fait de la présence d'une épaisse couche d'argile, à cette période, dès que le niveau piézométrique passe la limite argile/sable, la nappe devient captive. Le profil argileux est saturé mais l'eau qu'il recèle n'est pas libre ou tout au moins peu, car un forage à la tarière ne fait apparaître un plan d'eau qu'une fois le niveau du sable atteint.

Le pic de crue du Fleuve a été atteint le 3 octobre à la cote 4.75m IGN à Podor. Avant que cette cote soit atteinte, le Fleuve et le Doué avaient déjà commencé à inonder les cuvettes dont celle qui borde le périmètre. La région de Donaye sur l'île à Morfil est inondée par un débordement du Doué en amont de Guédé. Plusieurs dizaines de kilomètres en amont de Podor la cote du Doué peut être supérieure à 4.75m ce qui explique que les piézomètres en dehors du périmètre ont été submergés jusqu'à la cote 5.30m environ.

La cuvette en bordure de périmètre a été inondée pour une cote supérieure à 4.50m à partir du jour n°260. Cette submersion a entraîné une élévation du niveau des piézomètres hors périmètre.

L'influence est surtout nette sur le piézomètre DNY1 dont la courbe présente un changement de pente sur le graphique fig.3. L'infiltration est favorisée par une plus faible épaisseur d'argile. L'élévation du niveau piézométrique se répercute dans les piézomètres DNYc et DNY2 dans une moindre mesure. On peut aussi remarquer une nouvelle remontée du piézomètre DNYa, probablement due au drainage limité induit hors périmètre.

Le retrait des eaux de crue coïncide avec l'arrêt de l'irrigation. En effet la dernière irrigation a lieu le 11 octobre et la crue commence à se retirer vers le 10 octobre. L'interprétation des mesures n'est donc pas facile. On peut cependant remarquer que la nappe s'abaisse, d'abord plus franchement hors périmètre, puis dans le périmètre, une fois que le drainage peut être rétabli.

La campagne de riziculture d'hivernage suivie a permis d'estimer les besoins en eau: 12500 m³ par ha ont été apportés à la parcelle dont 2500 (soit 250mm) dus aux précipitations.

Grandeurs hydrodynamiques

L'aquifère du périmètre de Donaye IT1 est constitué d'un sable fin de texture homogène plus ou moins teinté en ocre par l'oxyde de fer.

Les essais de choc hydraulique appelés slug-test ont donné les résultats suivants pour la conductivité hydraulique K:

Piezomètre	K ($\times 10^{-5}$ m/s)	K (m/j)	Type d'aquifère	Salinité
DNYa	2.2	1.9	sable fin ocre/jaune	très peu salé
DNY4	2.4	2.1	sable fin ocre/jaune	très peu salé
DNY3	2.2	1.9	sable fin ocre/jaune	très peu salé
DNY2	2.0	1.7	sable fin ocre/jaune	salé
DNY1	3.2	2.7	sable fin blanc/ocre	très peu salé
DNYb	4.6	4.0	sable fin blanc	très peu salé
DNYc	2.3	2.0	sable fin ocre/jaune	peu salé
DNYd	3.1	2.7	sable fin ocre	peu salé

La distribution des conductivités hydrauliques est assez homogène. Les valeurs sont stables autour de $2.2 \cdot 10^{-5}$ m/s dans la parcelle, plus hétérogènes hors périmètre. La valeur plus élevée pour le piézomètre DNYb peut s'expliquer par le fait que la zone testée lors de l'essai est plus profonde; l'effet de la zone de transition limono-sableuse entre l'argile et le sable est moins significatif. Notons de plus que dans ce piézomètre, le sable est d'aspect blanc sans oxyde de fer, comme sur d'autres sites où la perméabilité était aussi relativement bonne (Pontgari, PG4 ou Ngawlé, NGW1)

4-2- Mboyo 7

- abréviation: MB;
- périmètre FED de 15 ha, sur sol de type faux hollaldé à hollaldé;
- alimenté en eau par un groupe moto-pompe sur le Gayo, affluent du Fleuve Sénégal;

- pas de drainage, irrigation par buses sous diguette;
- cultures en 1995: pas de campagne de contre saison chaude, riz en hivernage.

Le périmètre de Mboyo 7 est situé en bordure du Fleuve Sénégal et du Gayo son affluent et les piézomètres sont installés comme mentionnés sur le plan fig.6. Les transect de piézomètres sont décrits sur les figures fig.7 et fig.8. La carte de salinité est présentée en figure 9.

Comme à Donaye, la nappe se situe dans un aquifère sableux. Le sable est toutefois moins homogène car sa texture tend à être plus limoneuse. Le sable est de couleur beige à ocre ou ocre/rouge. Cet horizon sableux est épais de 1.5m à 2m suivant les piézomètres; il repose sur un horizon sableux de couleur grise, assez limoneux à son apparition, puis fin en profondeur.

Le secteur de Mboyo 7 étudié a été cultivé avec du riz pendant l'hivernage 95; aucune culture n'a eu lieu en contre-saison chaude. La saison culturale a débuté fin août (jour n°240) et s'est achevée vers le 15 novembre (jour n°318) sur les parcelles 1 à 6 du secteur étudié.

Observations piézométriques

Les relevés piézométriques ont débuté en juillet 95 environ un mois avant la première mise en eau.

A la mise en eau des parcelles 1 à 6, la nappe est déjà remontée dans certains piézomètres (MB1, MB6). Les parcelles du périmètre entier ont été mise en eau à la même période, cette remontée est donc due à l'influence de la crue du Fleuve.

Par la suite, il devient difficile de faire la part des influences respectives des apports par irrigation ou infiltration depuis la berge, d'autant plus que la dernière irrigation aura lieu quelques jours après la décrue. On peut cependant remarquer que tous les piézomètres du transect n°1 ont amorcé une descente avant que les parcelles de la zone étudiée soient à sec (figures 10 et 11) (jour n°318). L'influence du Fleuve sur le fonctionnement de la nappe semble donc être prépondérante. La figure fig.12 montre que le piézomètre MB1 réagit aux fluctuations du Fleuve.

Lors de la période de crue, la nappe monte uniformément dans tous les piézomètres sauf dans MB6 qui réagit plus vite. MB6 est le piézomètre le plus près du centre du périmètre. Les données recueillies ne suffisent pas à dire si la nappe au voisinage de MB6 est alimentée par les apports d'irrigation, par le Fleuve par un chemin détourné de la direction du transect n°1 ou par le Gayo à l'opposé. On peut remarquer toutefois que la nappe de la zone du transect au voisinage des piézomètres MB2 à MB4 est alimentée d'une part par le Fleuve, d'autre part par la nappe centrée sur le périmètre.

Globalement, les amplitudes des variations de la nappe de Mboyo sont faibles par rapport à celles de la nappe de Donaye IT1. La différence de taille des périmètres, la plus faible perméabilité de l'aquifère et la proximité de 2 cours d'eau qui facilitent le drainage à Mboyo en sont les causes les plus probables

Grandeurs hydrodynamiques

Des essais de slug test ont été réalisés dans tous les piézomètres simples de Mboyo. Un piézomètre de pompage (MB1P) a été installé au milieu du périmètre et a donné lieu à un essai de pompage.

Les résultats des slug tests sont les suivants:

Piézomètre	K (x 10 ⁻⁵ m/s)	K (m/j)	Type d'aquifère	Salinité
MB1	0.3	0.3	sable fin rouge/ocre	très salé
MB2	1.3	1.1	sable fin ocre/jaune	extrêmement salé
MB3	0.6	0.5	sable fin ocre/jaune et gris	extrêmement salé
MB4	0.6	0.5	sable limoneux gris	extrêmement salé
MB5	0.4	0.3	sable limoneux gris	extrêmement salé
MB6	0.9	0.8	sable fin ocre/jaune	très salé
MB7	2.3	2.0	sable gris	extrêmement salé
MB8	2.6	2.2	sable blanc à ocre et gris	extrêmement salé

L'essai de pompage a donné les résultats suivant:

MP1P	0.1	0.1	sable fin ocre/jaune et gris	extrêmement salé
------	-----	-----	------------------------------	------------------

Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues par slug test sont très disparates car les crépines des piézomètres peuvent être placées dans le sable fin supérieur de l'aquifère, dans le sable gris inférieur plus limoneux ou encore dans une position intermédiaire.

Le sable fin ocre/jaune a une perméabilité moyenne de 10^{-5} m/s. Ces sables peuvent être légèrement limoneux ce qui explique la faiblesse de la perméabilité devant celle des sables de Donaye dont l'apparence est semblable. Le sable limoneux gris présent localement dans la partie supérieure de l'horizon de sable gris a une perméabilité de l'ordre de $0.5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Quant au sable gris, sa perméabilité approche celle du sable blanc déjà noté à Donaye: plus de $2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Comme à Donaye, on peut remarquer que, outre la texture, les sables contenant des oxydes de fer altérés (couleur ocre, ocre/rouge) ont des conductivités relativement plus faibles. C'est le cas pour MBI pour lequel la conductivité hydraulique n'est pas caractéristique de la texture.

L'eau de nappe est globalement très salée et sa teneur évolue peu au cours de la saison culturale. Le drainage des sels par la nappe vers d'éventuels exutoires est très limité, ce que confirment les résultats de slug test.

L'essai de pompage ne confirme pas les essais de slug tests. On obtient en effet une perméabilité près de 10 fois inférieure. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que localement près du piézomètre MB1P le niveau de sable gris est assez limoneux, et que pendant l'essai le débit apporté provenait essentiellement de la nappe du niveau supérieur de sable ocre/jaune qui a rapidement été tari car la surface piézométrique avait presque retrouvé son niveau bas de saison sèche à l'époque de l'essai.

4-3- Ouromadiou

- abréviation: OM;
- périmètre FED de 12 ha, sur sol de type fondé;
- alimenté en eau par un groupe moto-pompe sur le Doué;
- pas de drainage, irrigation par buses sous diguette;
- cultures en 1995: pas de contre saison chaude, oignon en hivernage.

Le périmètre étudié à Ouromadiou sert habituellement aux cultures d'oignons et de tomates. Il est installé sur un bourrelet de berge en bordure du Doué dont la texture est limoneuse à argileuse en surface.

Les figures fig.14 et 15 montrent le plan général du périmètre et la zone d'étude comprenant un transect de 6 piézomètres en direction du Doué.

La figure fig.16 décrit la coupe des piézomètres. La figure 17 présente la carte de salinité.

Observations piézométriques

La nappe se situe en saison sèche à une profondeur d'environ 4m et peut remonter lors de la crue. L'aquifère est sableux dans la partie éloignée du Doué, plus limoneux lorsqu'on s'en rapproche. On trouve d'ailleurs assez profondément le même sable limoneux gris qu'à Mboyo. On remarque que seuls les piézomètres OMI et OM2 réagissent à la crue à l'époque où le niveau est le plus élevé (cf fig.17). L'alimentation de la nappe semble limitée par la présence d'une langue argileuse suivant la surface de la nappe mais dont la position et l'impact restent à préciser.

On peut considérer que les piézomètres suivants sont quasi-statiques au long de l'année quelle que soit l'activité culturale. En effet, Diaw (1996) montre sur le même périmètre que le profil hydrique n'évolue pas au-delà de 1.50m de profondeur sous culture d'oignons et de tomates. Bien que la texture des sols soit légère les apports d'irrigation sont faibles: on estime à environ 450m^3 par ha la quantité d'eau nécessaire à une campagne de culture d'oignons. La quantité nécessaire pour une campagne de tomates est sensiblement identique bien que la campagne soit plus longue.

Grandeurs hydrodynamiques

Les slug tests n'ont pu être réalisés que dans les piézomètres OMI et OM2.. Les conductivités hydrauliques pour les autres piézomètres sont assez semblables au vu des caractéristiques des sables et leurs valeurs ont été estimées à partir d'essais sur d'autres sites. D'après la granulométrie et la fluence du sable, le sable aquifère de Ouromadiou est à rapprocher de celui de Donaye. Néanmoins, la quantité en oxyde de fer semble supérieure, les sables sont ocre à ocre/rouge, on choisira donc des perméabilités légèrement inférieures.

Piezomètres	K ($\times 10^{-5}$ m/s)	K (m/j)	Type d'aquifère	Salinité
-------------	---------------------------	---------	-----------------	----------

OM1	0.03	0.025	sable limoneux gris	très peu salé
OM2	0.3	0.25	sable limoneux gris et fin blanc	très peu salé
OM3	1 à 1.5	1.0	sable fin ocre/rouge	peu salé
OM4	1.5 à 2	1.4	sable fin blanc à ocre	peu salé
OM5	1 à 1.5	1.0	sable fin ocre/rouge	peu salé
OM6	2 à 3	2.0	sable fin blanc à brun	salé

4-4- Ngawlé 2

- abréviation: NGW;
- périmètre FED de 20 ha, sur sol de type faux-hollaldé;
- alimenté en eau par un groupe moto-pompe sur le Fleuve Sénégal;
- pas de drainage, irrigation par buses sous diguette;
- cultures en 1995: riz en contre saison chaude, oignon en contre-saison froide.

Ce périmètre est situé en bordure du Fleuve Sénégal à la sortie de l'un de ses méandres, sur un sol de type faux-hollaldé, transition entre un bourrelet de berge de faible altitude et une large cuvette.

La situation du périmètre est présentée sur le plan fig. 18. La carte de salinité est présentée en figure 19.

Observations piézométriques (figures 20 et 21)

L'aquifère du périmètre diffère des précédents sites étudiés par son hétérogénéité. En effet la profondeur d'apparition du sable aquifère est très variable d'une piézomètre à l'autre et des horizons argileux organisés en bande viennent certainement perturber la continuité de la nappe alluviale. Dans le piézomètre NGW7, le sable limoneux gris déjà présent à Mboyo ou Ouromadiou

La proximité du Fleuve entraîne une influence notable de celui-ci sur le fonctionnement de la nappe. Suivant les cycles culturels et les périodes de crues et d'étiage, la nappe peut être en position de drainage dans le Fleuve ou d'alimentation par celui-ci. En outre, la crue submerge entièrement le périmètre situé à une altitude moyenne de 4m IGN, et vient apporter une recharge non-négligeable à la nappe.

Grandeurs hydrodynamiques

Des essais de slug test ont été réalisés dans chacun des piézomètres

Piezomètre	K ($\times 10^{-5}$ m/s)	K (m/j)	Type d'aquifère	Salinité
NGW1	6.2	5.3	sable fin blanc	très peu salé
NGW2	2.8	2.4	sable fin blanc avec agrégats d'argile	très peu salé
NGW3	1.6	1.4	sable fin ocre/jaune	peu salé
NGW4	1.2	1.0	sable limoneux brun clair	très salé
NGW5	1.2	1.0	sable fin ocre/rouge	peu salé
NGW6	2.1	1.8	sable fin blanc à brun avec iron pipes	salé
NGW7	0.4	0.3	sable limoneux gris	très salé

De même que sur les autres sites, les conductivités les plus grandes sont obtenues pour les sables blancs à blanc/brun. Les sables chargés d'oxyde de fer voient leur conductivité décroître bien que la texture soit la même que pour les autres sables. Enfin pour le sable limoneux gris, on retrouve des valeurs de l'ordre de $0.5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Conclusions

Le slug-test est la méthode la plus appropriée pour quantifier les écoulements au niveau des aquifères. Les perméabilités rencontrées semblent liées à différentes caractéristiques du substrat :

Les zones salées sont faiblement conductrices, et réciproquement les zones conductrices sont les plus drainées donc les moins salées. C'est le cas à Donaye et à Mboyo.

Les aquifères sableux contenant une grande quantité de nodules d'oxyde de fer altérés (couleur ocre/jaune, ocre, et surtout ocre/rouge) ont, pour une même texture, une plus faible conductivité que les sols blancs à brun clair. Le sable limoneux gris est présent sous l'aquifère sableux fin contenant la nappe. Il peut jouer dans certain cas le rôle de plancher de la nappe. Sa perméabilité est de l'ordre de 10 fois moindre que celle du sable fin supérieur.

La recharge des nappes est essentiellement due aux cours d'eau lorsque les périmètres sont proches et que les sols le permettent: à Ngawlé, la continuité du sable favorise les échanges entre la nappe et le Fleuve; à Ouroniadiou, une langue argileuse semble limiter l'alimentation depuis le Doué. Toutefois, lorsque le périmètre est de grande taille (>50ha comme à Donaye) et éloigné du Fleuve, la remontée de la nappe est essentiellement due aux apports d'eau d'irrigation. La percolation jusqu'à la nappe ne peut s'expliquer par la seule infiltration à travers l'horizon argileux; il faut éventuellement chercher la cause des remontées rapides de la nappe dans des écoulements préférentiels.

La quantification des perméabilités au niveau des aquifères permet la mise en œuvre de modélisations de la dynamique des nappes sous les périmètres irrigués. Des régressions entre composition granulométriques du substrat et perméabilité seront recherchées.

Bibliographie sommaire

BOIVIN P. et LAVAL F. (1995) - Rapport de campagne des travaux d'expérimentation ORSTOM-FED dans la moyenne vallée du Fleuve Sénégal, région de Podor, Volet Irrigation et Dynamique des nappes superficielles, contre-saison chaude et hivernage 1995.

BOUWER H., RICE R. C. (1976) - A Slug Test for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells. In *Water Resources Research*, Vol. 12, No. 3, June 1976.

DA BOIT M. (1993) - Impact des aménagements hydro-agricoles sur la nappe superficielle de la Basse Vallée du Fleuve Sénégal (Thiagar, Richard-Toll, Dagana). Rapport de DEA de géologie appliquée mention hydrogéologie. Départ. Géol., Fac. Sc., Univ. C.A. Diop, Dakar, 94p.

DIAGANA A. (1994) - Etudes hydrogéologiques dans la Vallée du Fleuve Sénégal de Bakel à Podor: relations eaux de surface / eaux souterraines. Thèse de doctorat de géologie appliquée mention hydrogéologie, Fac. Sc., Univ. C. A. Diop, Dakar, 123p.

DIAW (1996) (*à paraître*) - Thèse de doctorat, IMF Strasbourg-ORSTOM.

ILLY P. (1973) - Etude hydrogéologique de la vallée du Fleuve Sénégal. Projet hydro-agricole du bassin du Fleuve Sénégal, RAF 65/061, 163p. et annexes.

LAVAL (1996) (*à paraître*) - Slug Test, Méthode de terrain appliquées aux piézomètres de la vallée alluviale du Fleuve Sénégal; Interprétation par la méthode de Bouwer, ORSTOM.

MARSILY (de) G. (1981) - Hydrogéologie quantitative. Collection Sciences de la Terre, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 215p. Ed. Masson.

MICHEL (1973) - Les bassins des Fleuves Sénégal et Gambie; Etude géomorphologique, Tomes 1,2 et 3, Mémoires ORSTOM.

PAPADOPULOS S. S., BREDEHOEFT J. D., COOPER H. H. Jr (1973) - On the Analysis of 'Slug Test' Data. In *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 4, August 1973.

SARR B. (1995) - Détermination de la perméabilité des aquifères par la méthode du Slug-Test. Application à la nappe du littoral nord du Sénégal. Rapport de DEA de géologie appliquée mention hydrogéologie, Fac. Sc., Univ. C. A. Diop, Dakar, 59p.

Fig. 1: Site de Donaye IT1
Plan de situation

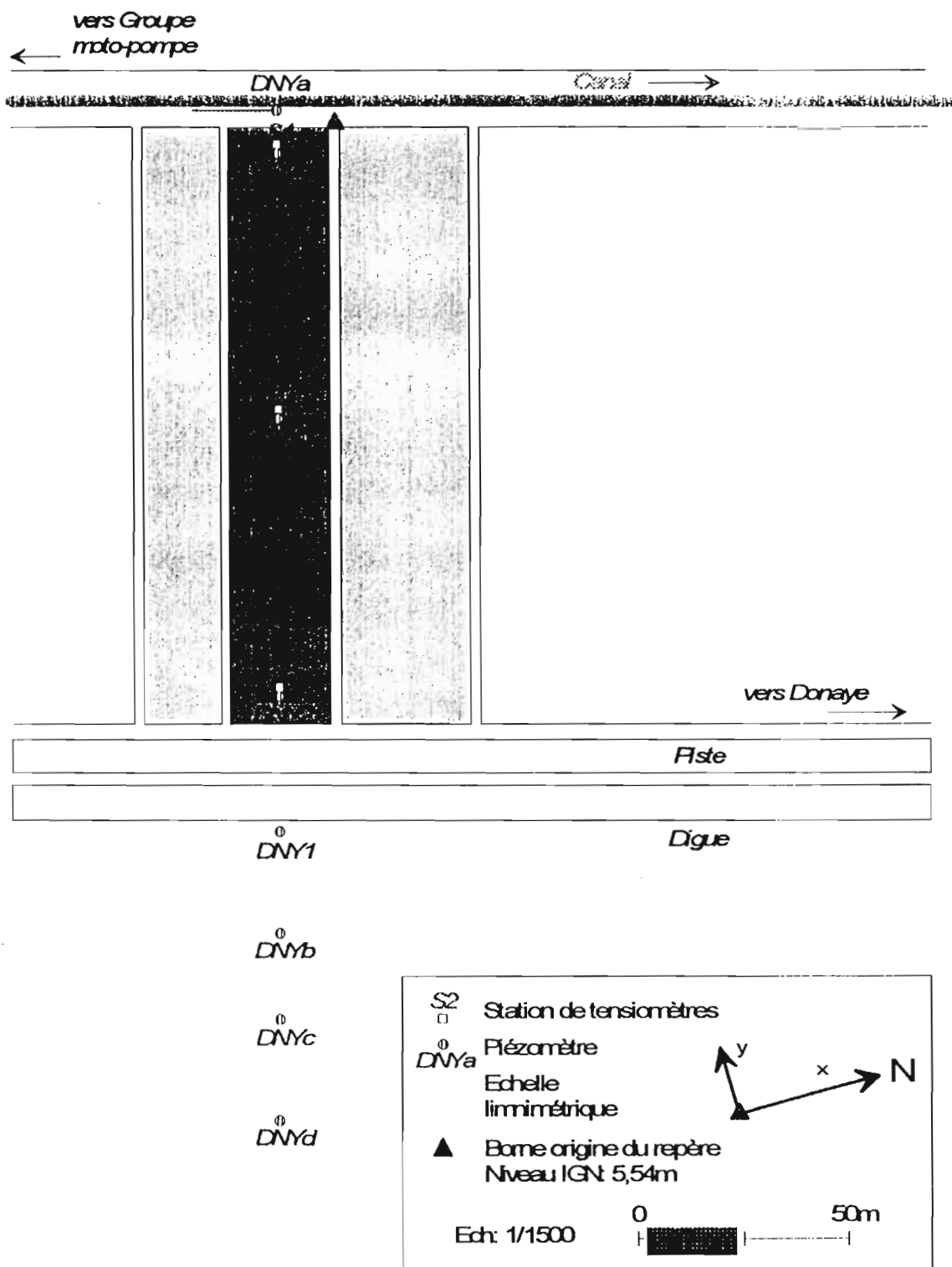


Fig. 2 : Donaye IT1
Positionnement des piézomètres,
topographie et nappe au 10 mai 95

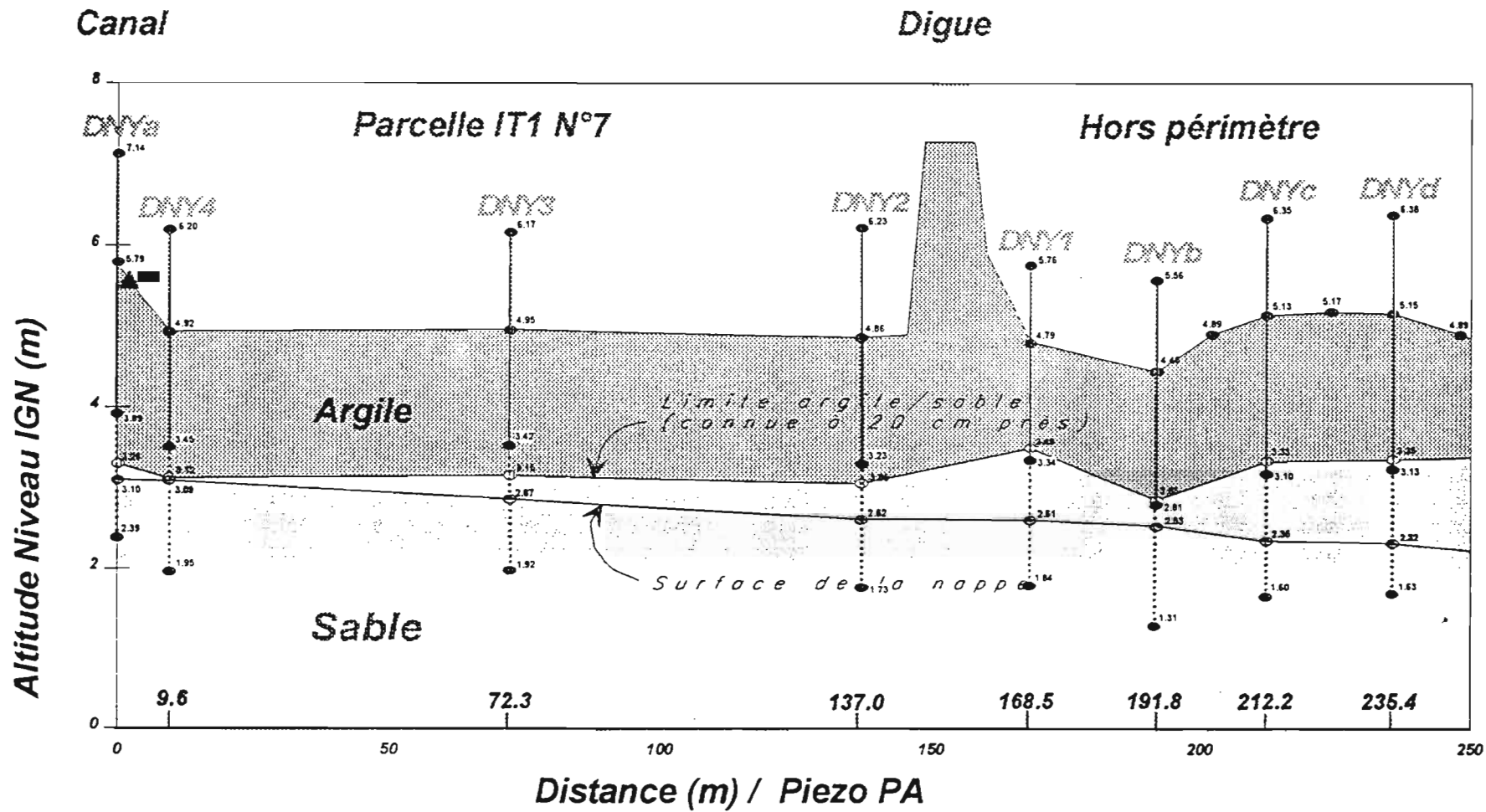


Fig. 3 : Donaye IT1
Variations
des niveaux piézométriques

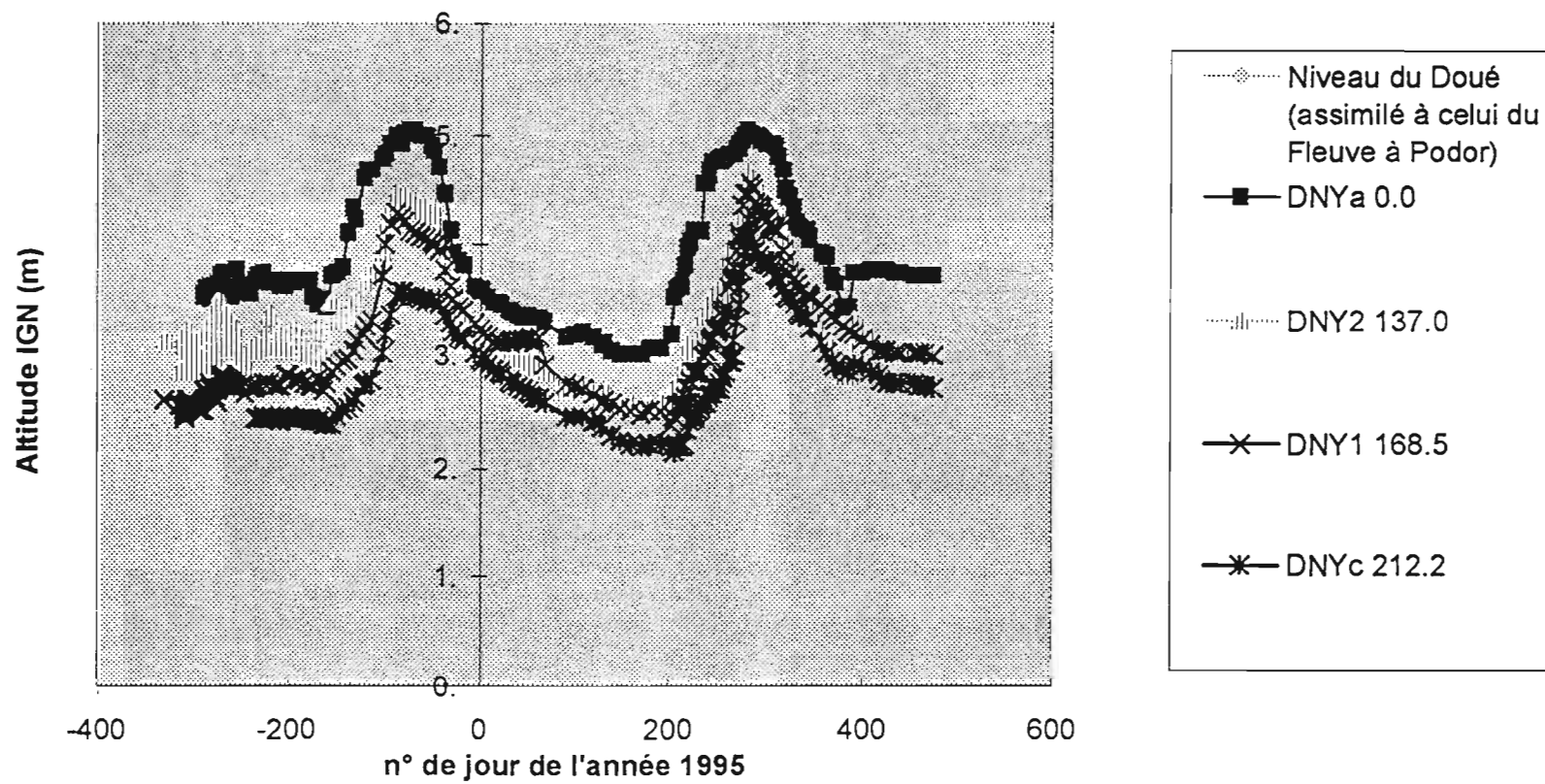


Fig.4:Donaye IT1
Carte de salinité

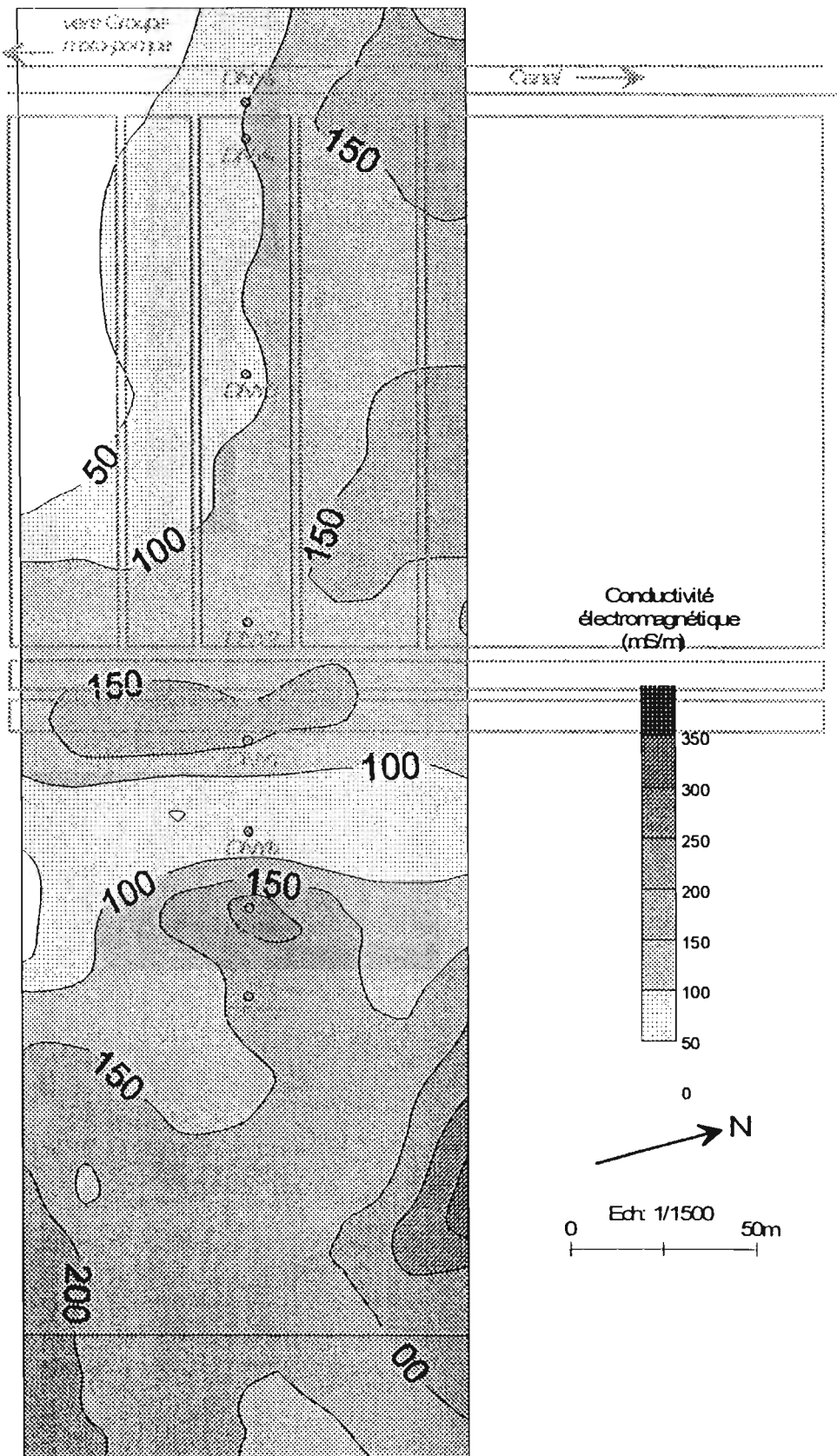


Fig. 5: Donaye IT1
Remontée de la nappe
(à comparer avec Fig.2-2)

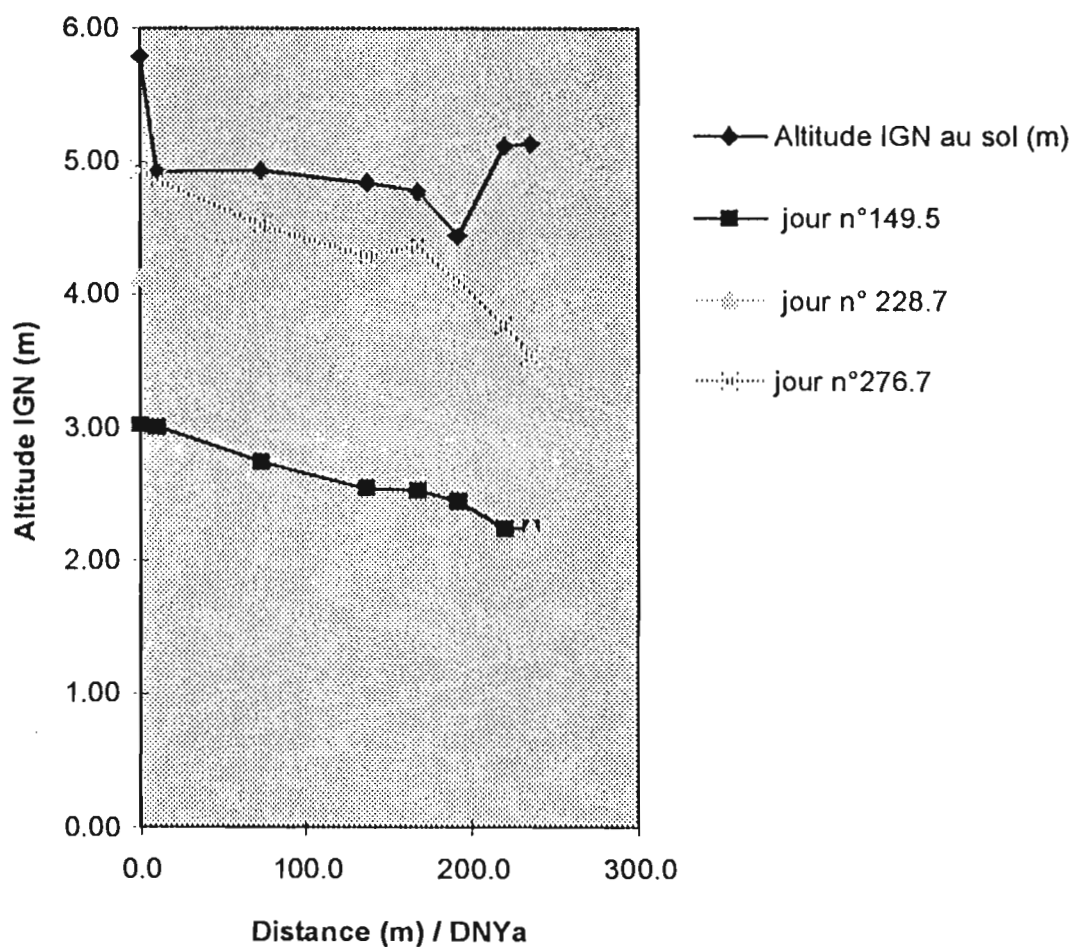


Fig. 3-1bis: Site de Mboyo 7 **Plan de situation**

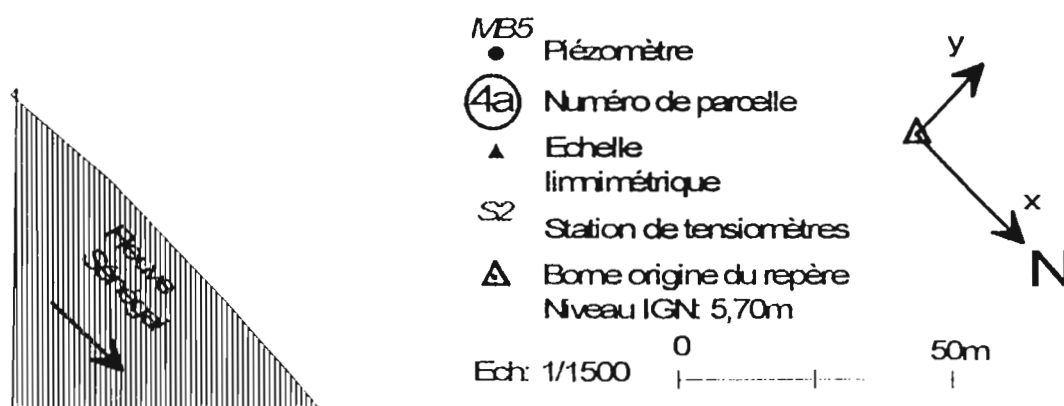
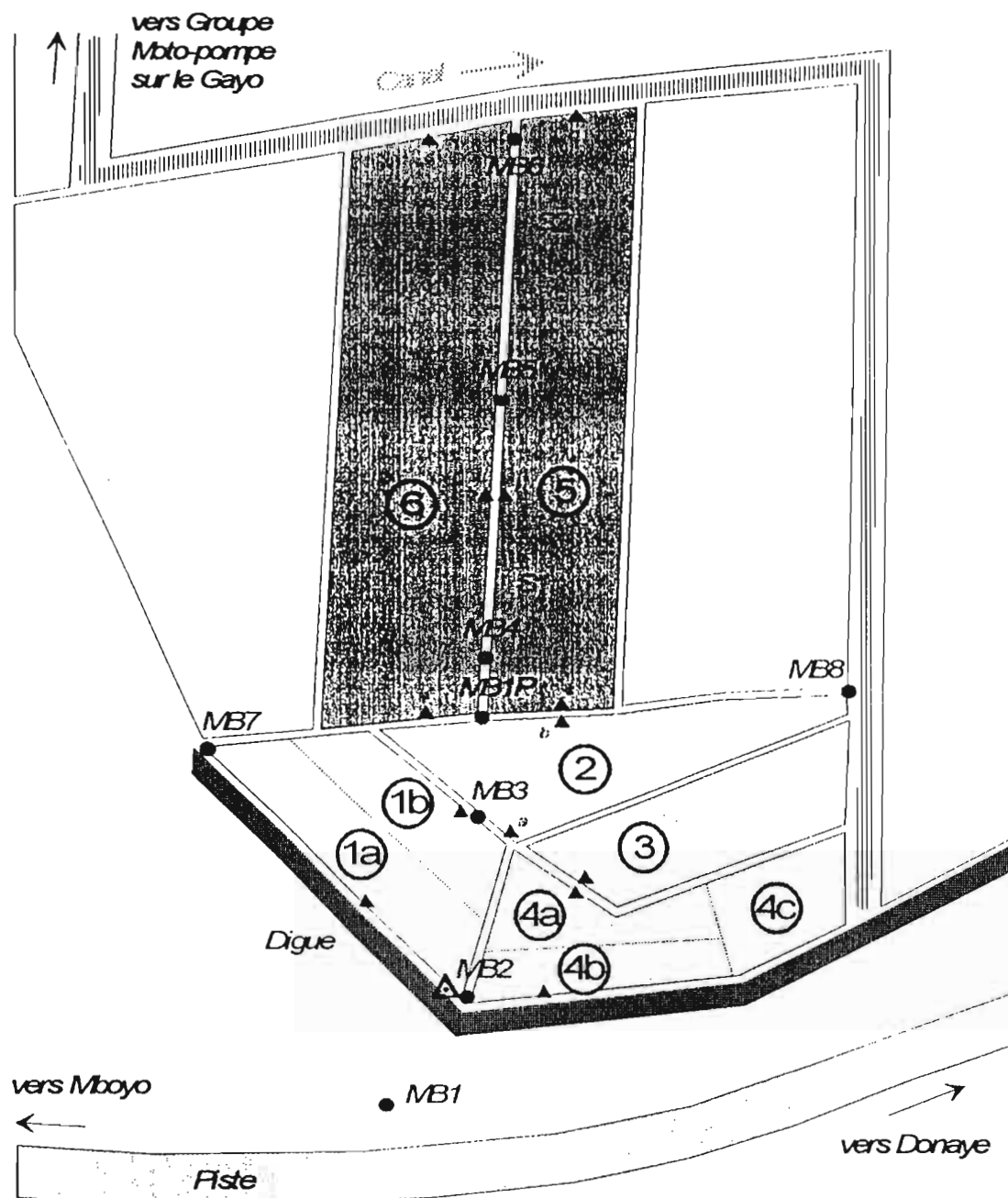


Fig. 7 : Mboyo 7
Positionnement des piézomètres, topographie
et nappe au 21 juillet 95 (Transect n°1)

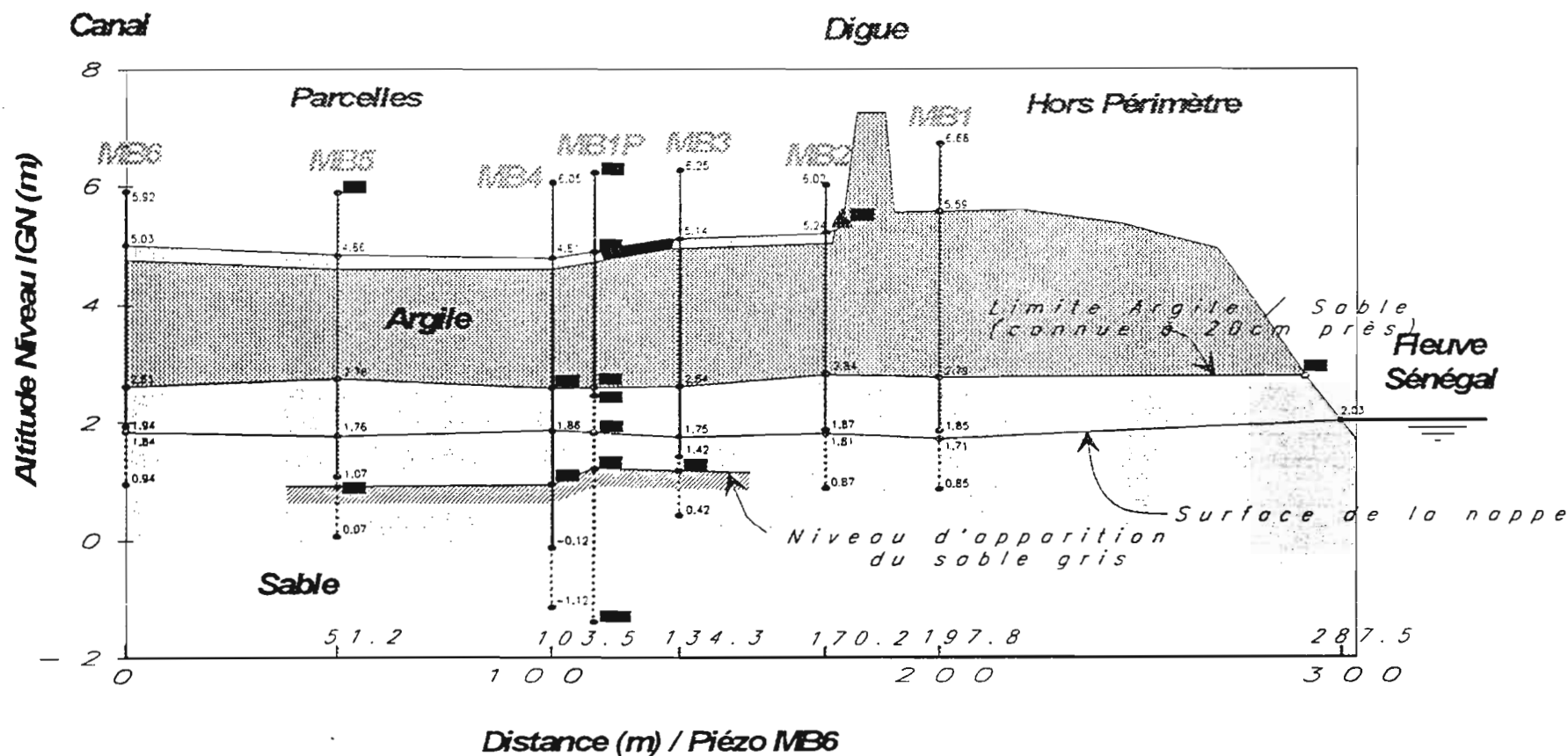


Fig.8 : Mboyo 7
Positionnement des piézomètres, topographie
et nappe au 21 juillet 95 (Transect n°2)

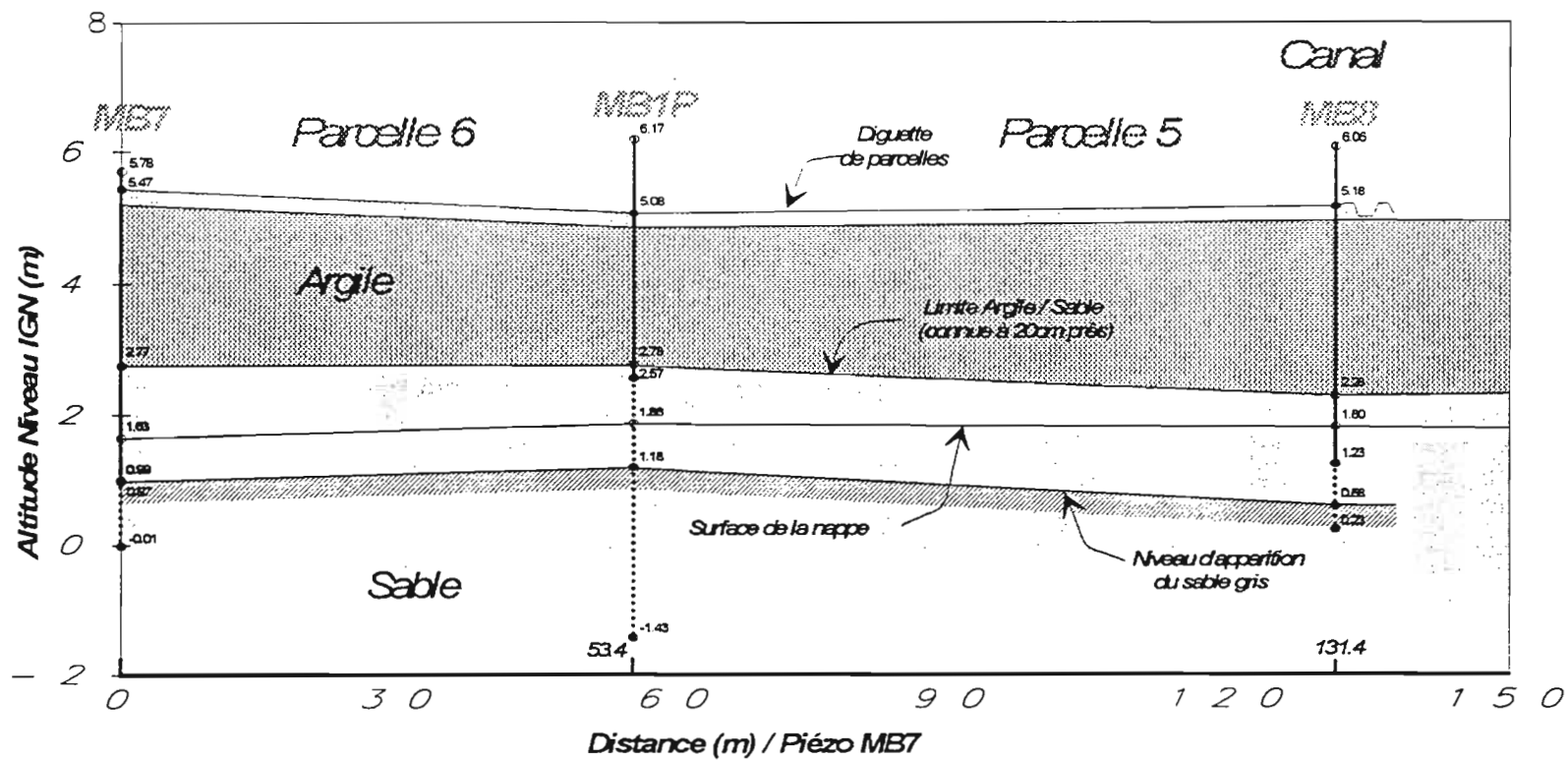


Fig. 9 : Mboyo 7, Carte de salinité

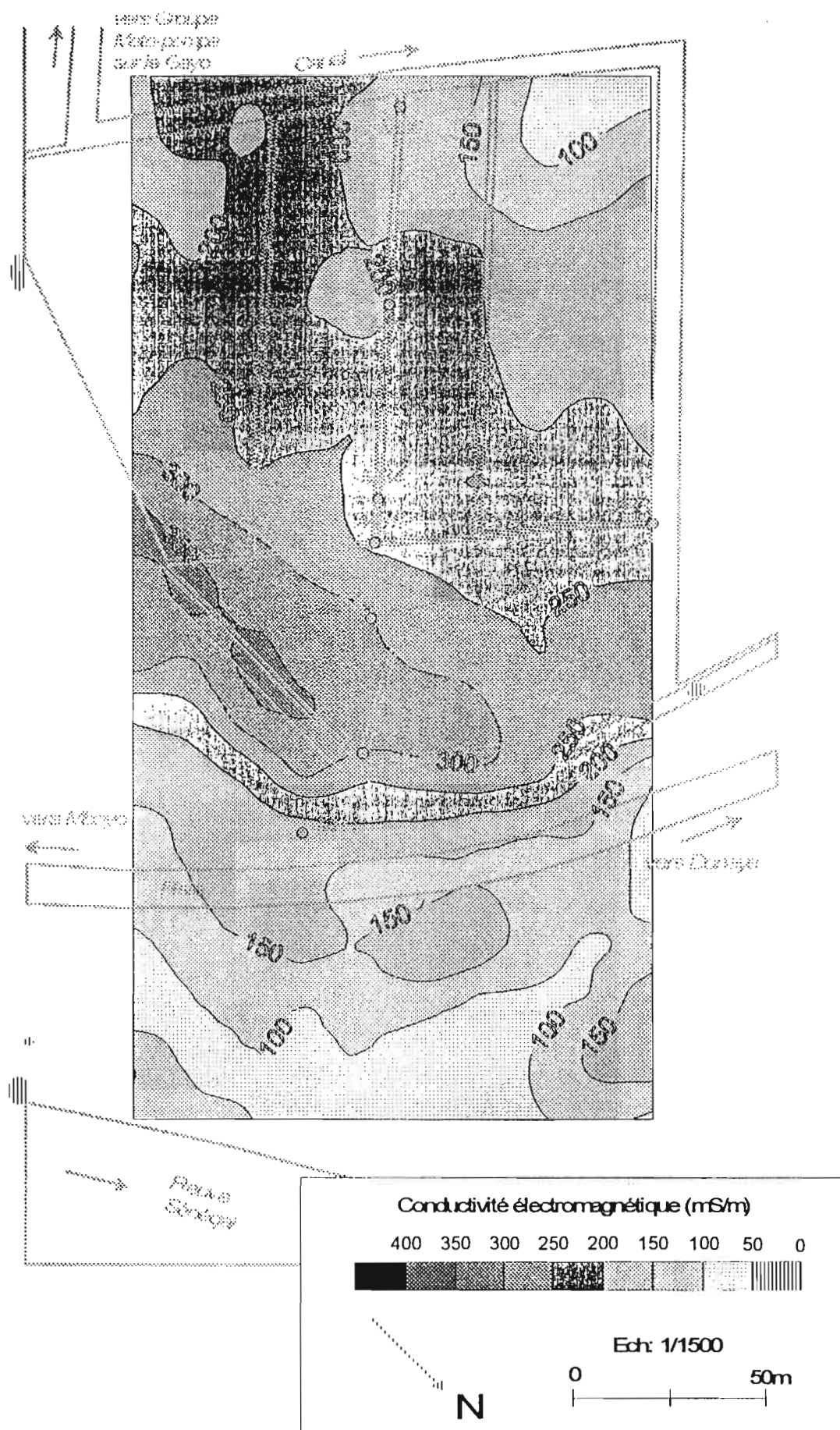


Fig. 10 : Mboyo 7
Variations des niveaux piézométriques du transect n°1

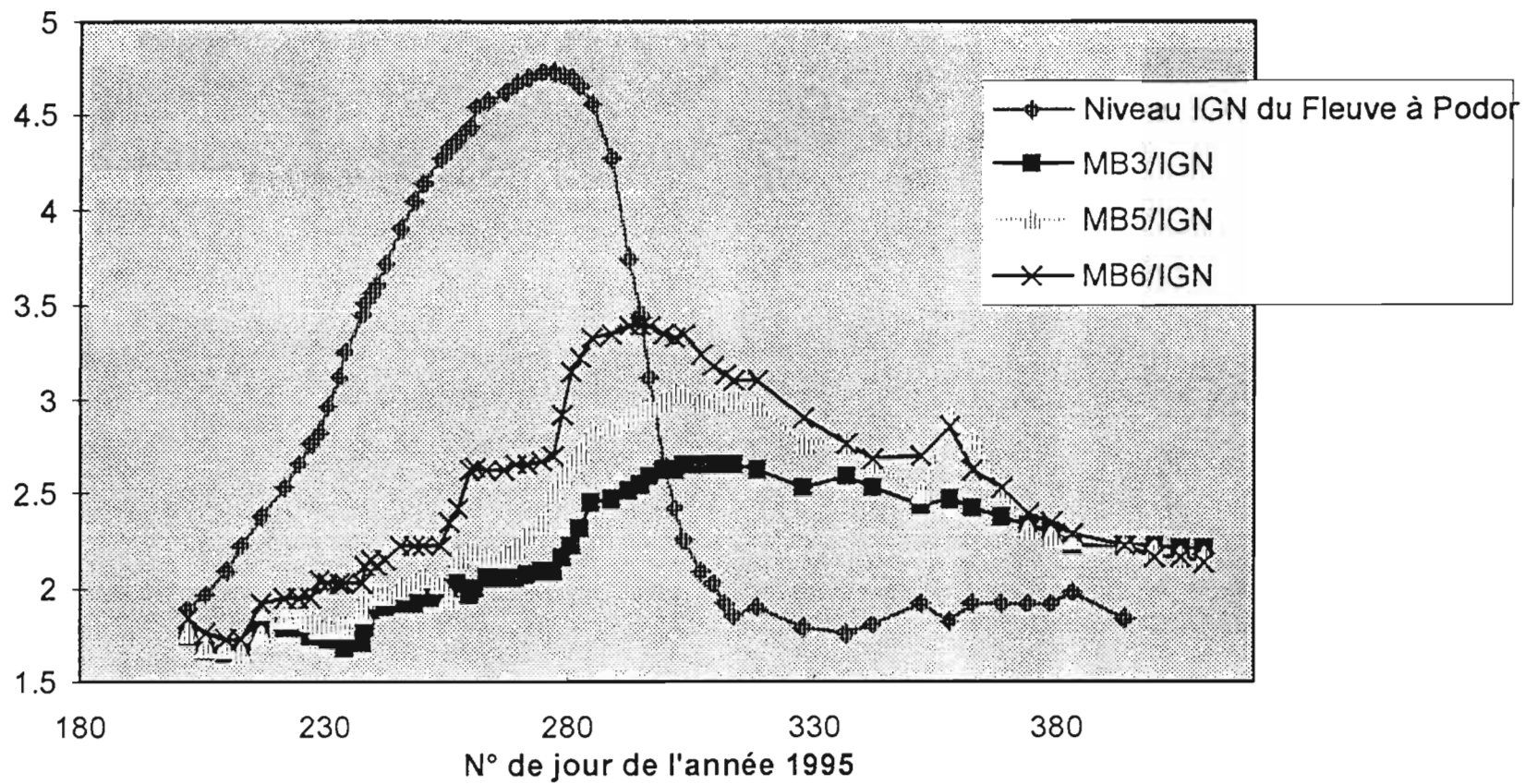


Fig. 11 : Mboyo 7
Variations des niveaux piézométriques du transect n°2

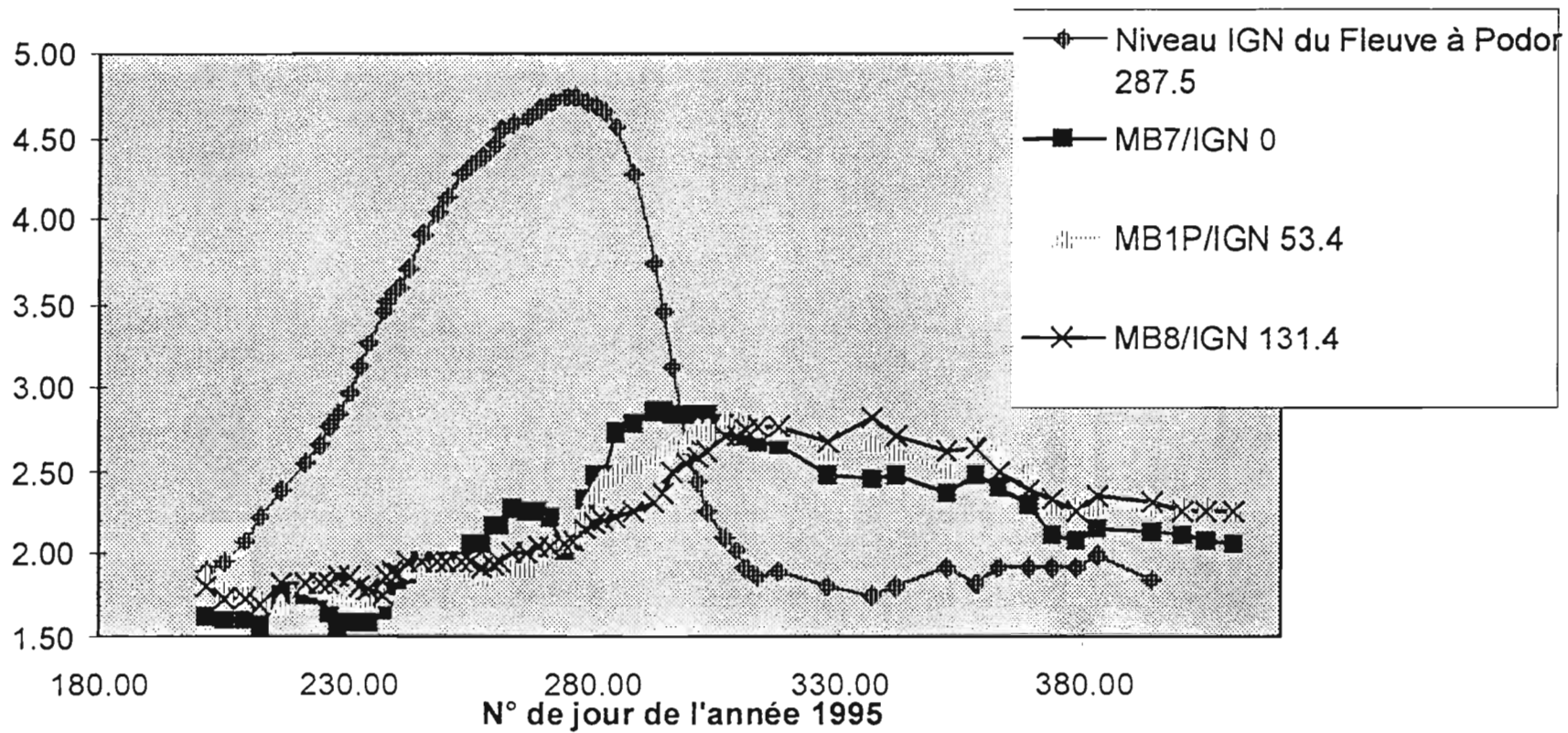


Fig. 12 : Mboyo 7
Comparaison des niveaux du Fleuve
et de la nappe dans MB1 et MB2

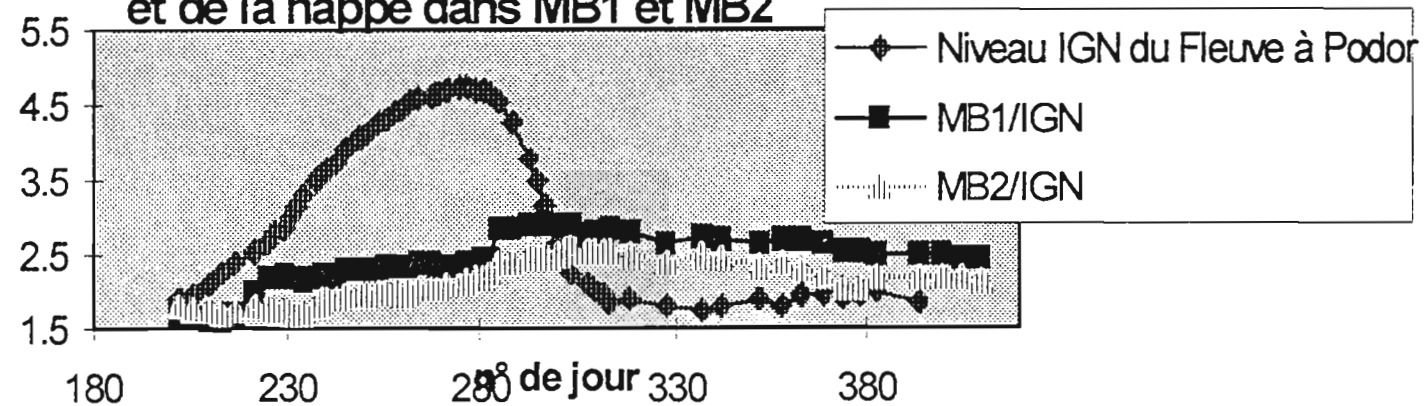


Fig. 14 : Ouromadiou
Plan de situation du périmètre étudié

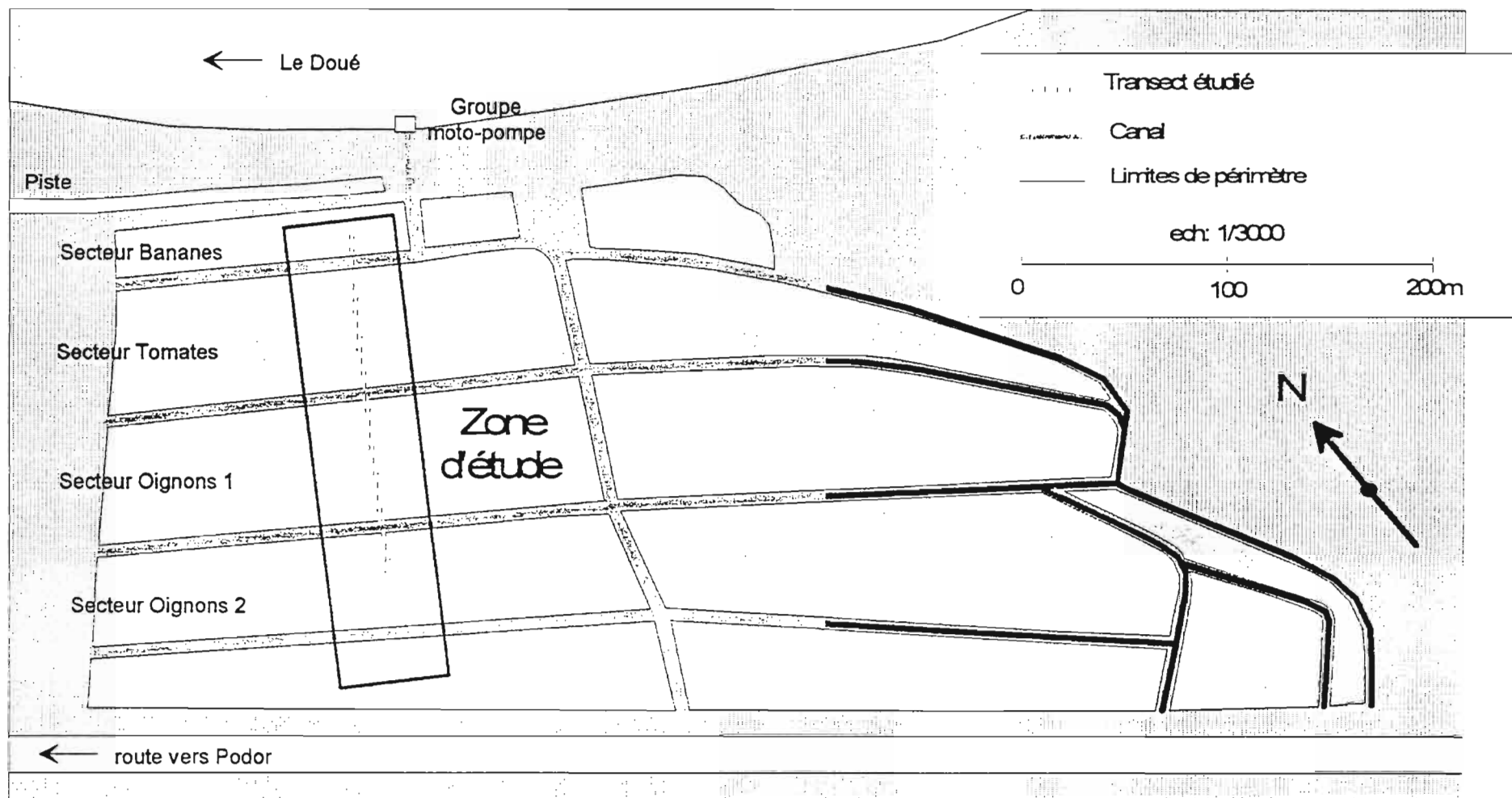


Fig. 15: Ouromadiou
Plan de la zone d'étude

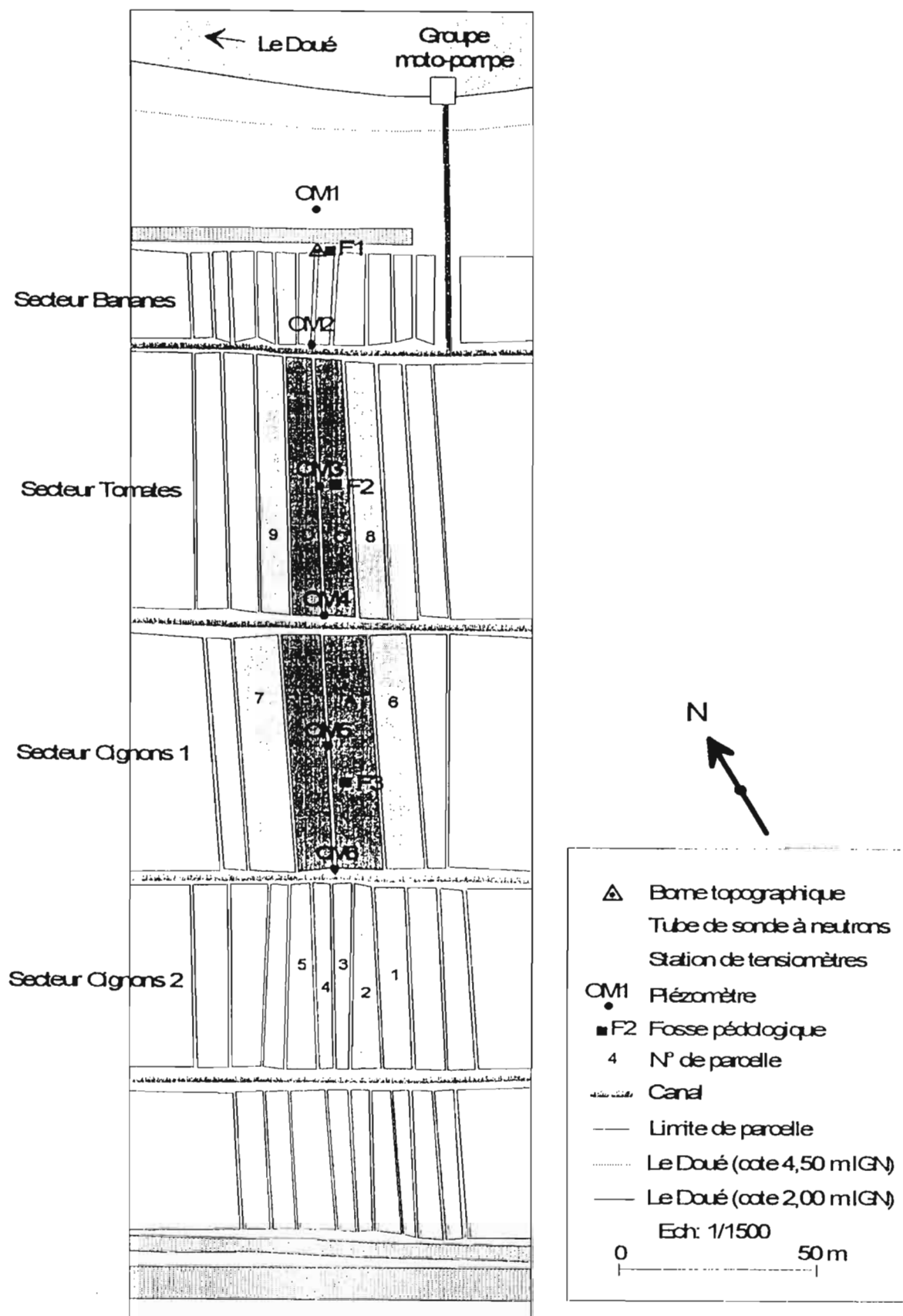


Fig. 16 : Ouromadiou
positionnement des piézomètres, topographie
et nappe au 12 octobre et au 2 décembre 1995

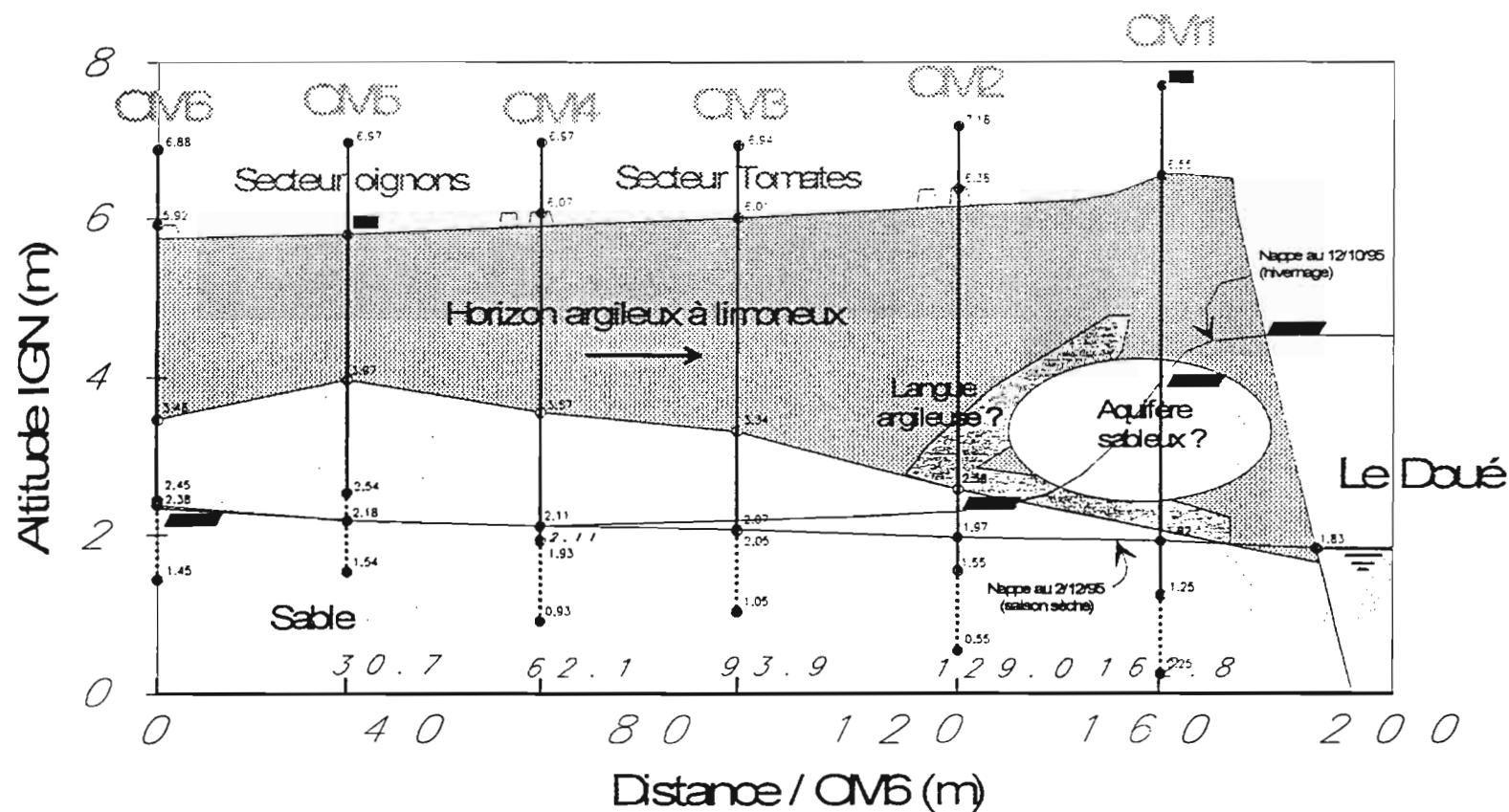
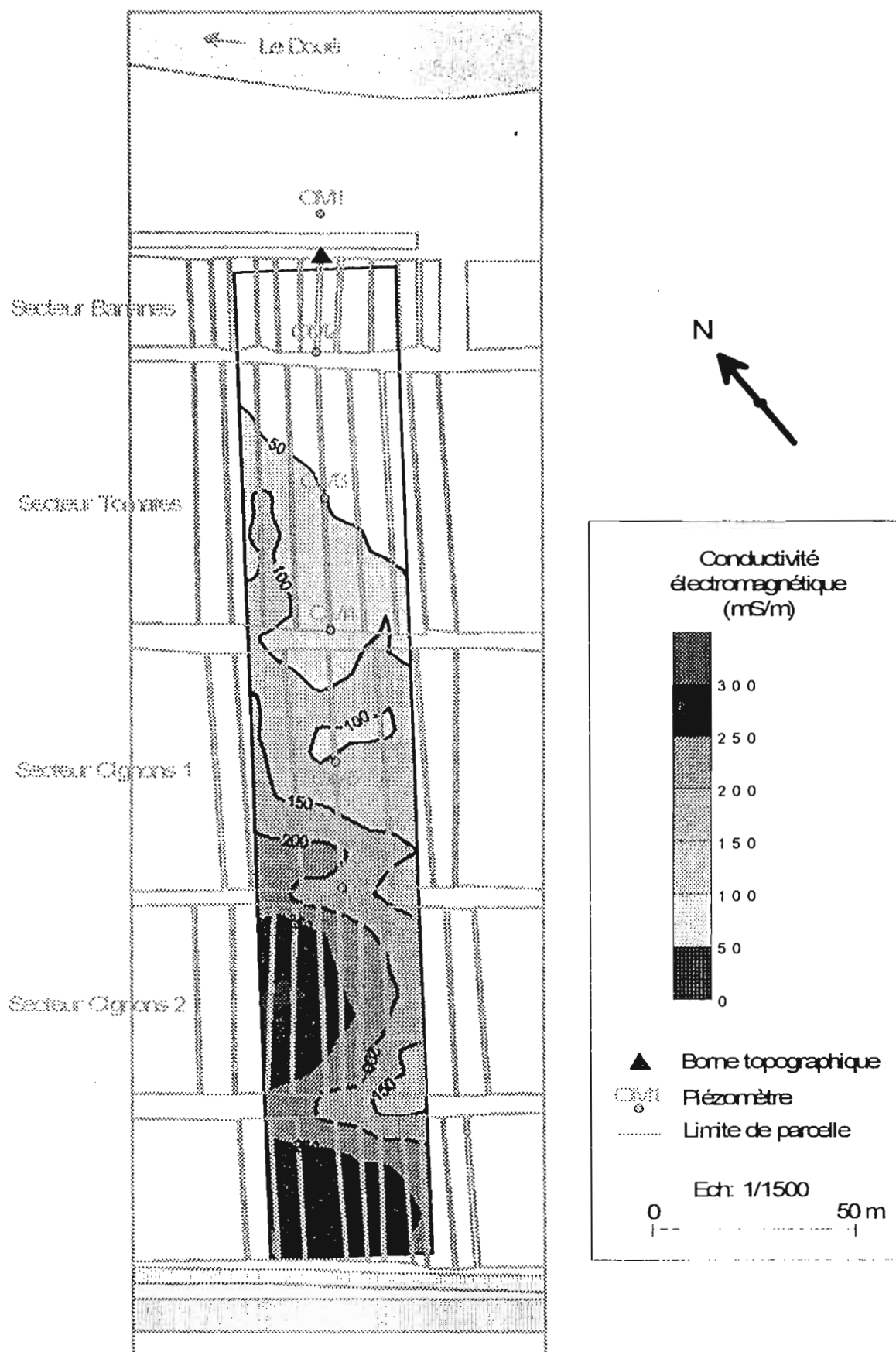


Fig.: 17 Ouromadiou
Carte de salinité de la zone d'étude



**Fig. 18 : Site de Ngawlé 2:
Plan de situation**

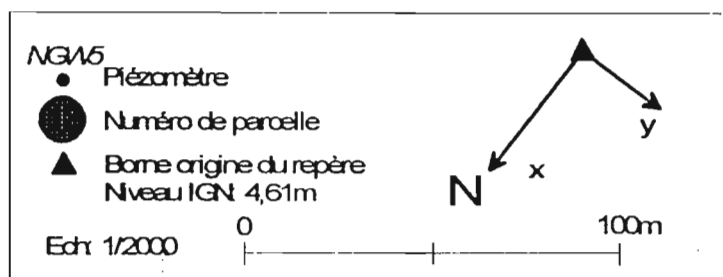
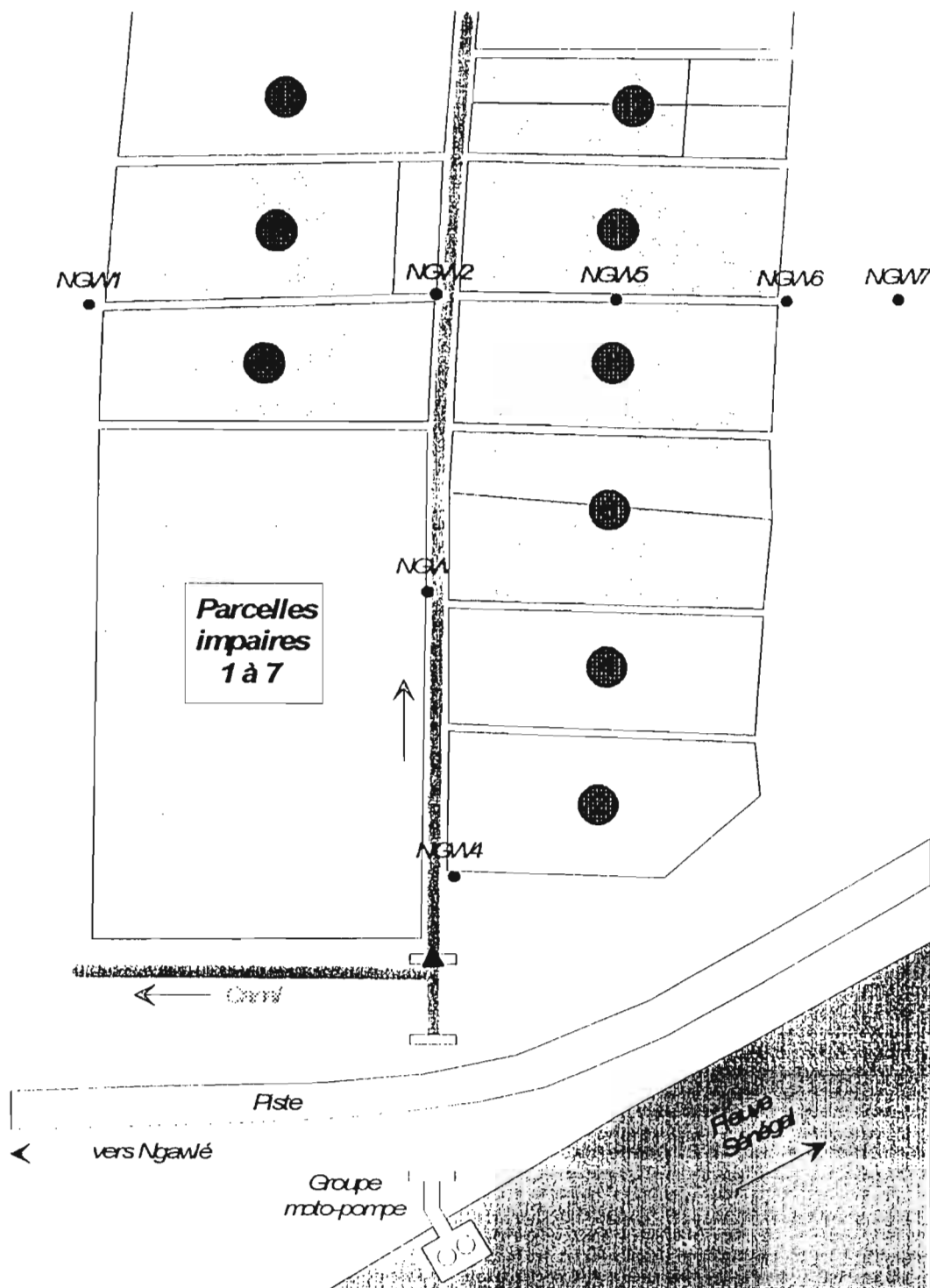


Fig. 19 : Ngawlé 2
carte de salinité

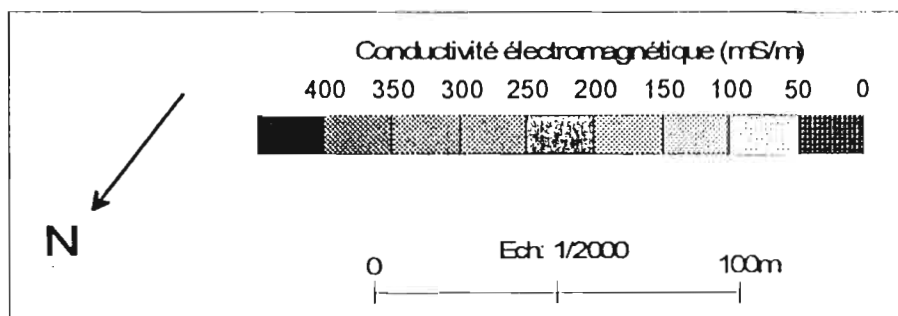
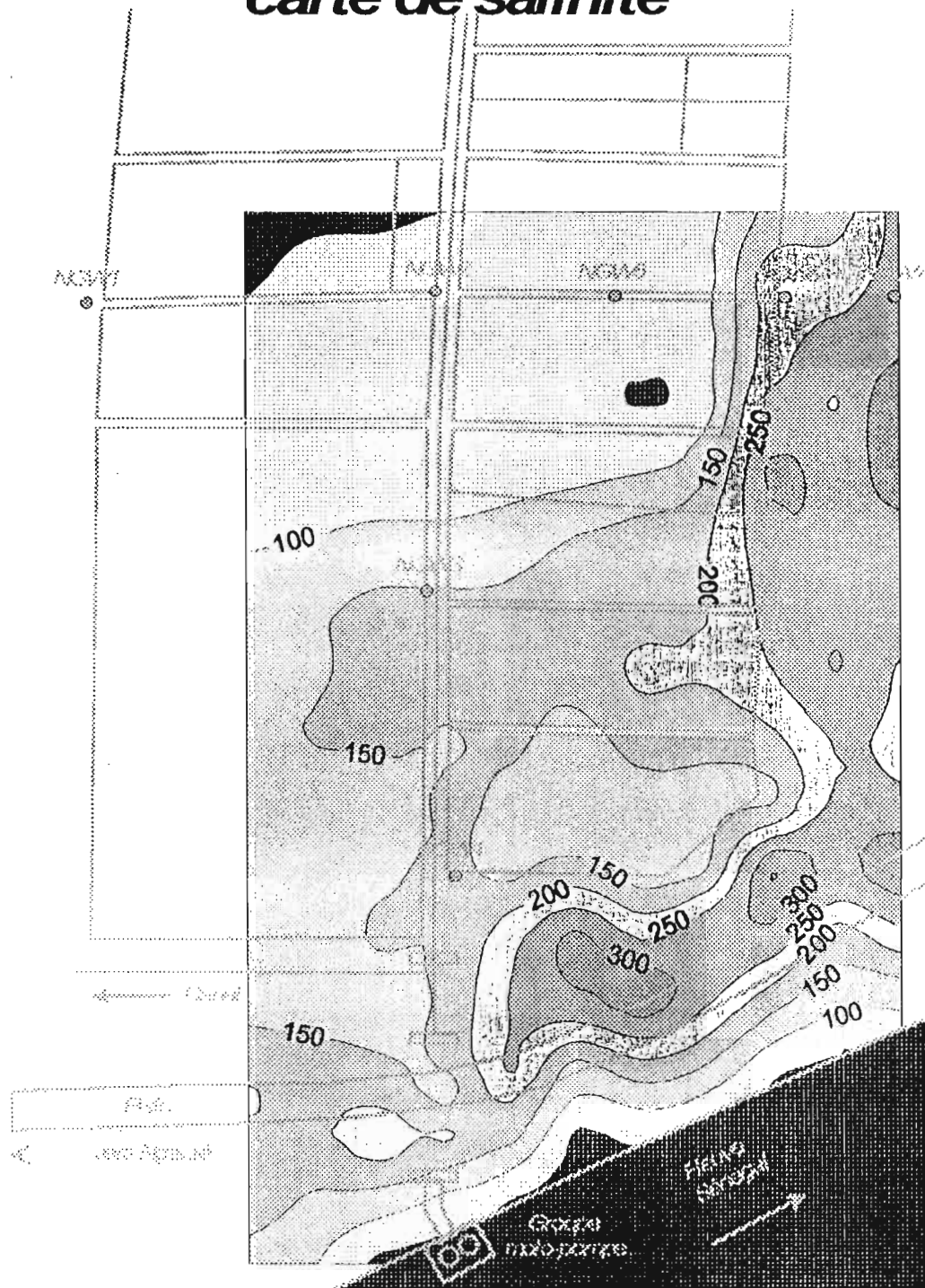


Fig. 20 : Ngawlé
Variations des niveaux piézométriques du transect n°1

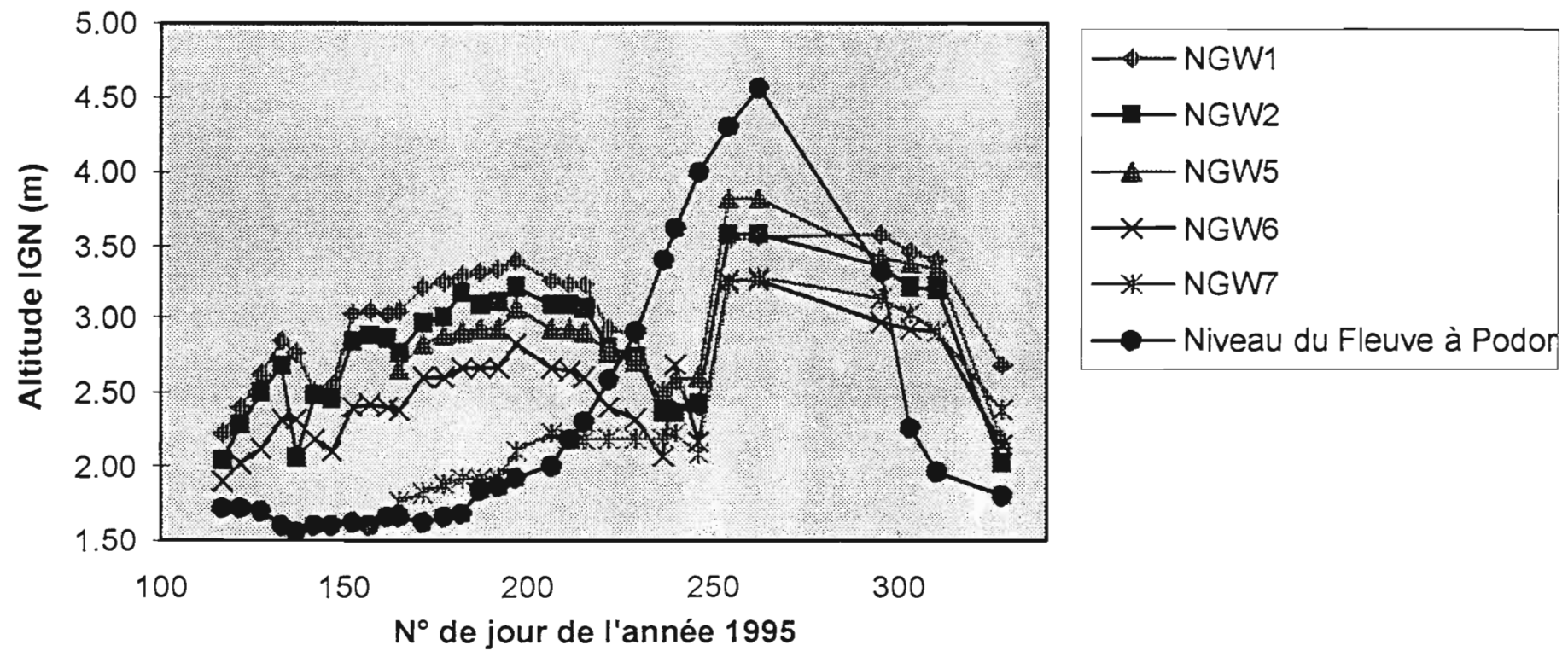


Fig. 21 : Ngawlé
Variations des niveaux piézométriques du transect n°2

