

[3]

## COMPORTEMENT PIEZOMETRIQUE DES NAPPES D'ALTERITES EN ZONE INTERTROPICALE HUMIDE D'ALTITUDE (HAUTS PLATEAUX DE MADAGASCAR)

J.C. GRILLOT<sup>1</sup>, M. RAUNET<sup>2</sup> et L. FERRY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Laboratoire d'Hydrogéologie, Unité Associée CNRS 13.59, Université des Sciences et Techniques, Place E. Bataillon 34095 Montpellier Cédex 5 (France);*

<sup>2</sup>*Institut de Recherches Agronomiques Tropicales, Service de Pédologie, BP 5035 34032 Montpellier Cédex (France);*

<sup>3</sup>*Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, B.P 434, Antananarivo 101 (Madagascar)*

(Reçu le 24 janvier, 1990; accepté pour publication le 9 février, 1990)

### ABSTRACT

Grillot, J.C., Raunet, M. and Ferry, L., 1990. Comportement piézométrique des nappes d'altérites en zone intertropicale humide d'altitude (hauts plateaux de Madagascar). (Water-table fluctuations in weathered crystalline rocks in a high altitude humid intertropical zone (high plateaux of Madagascar)). *J. Hydrol.*, 120: 271–282.

The behaviour of rice-cultivated peaty valley-bottoms on a weathered crystalline schist, located in a high altitude humid intertropical zone (Madagascar) is under study to define the water and mineral balance of these areas with an economic objective. Analysis of the groundwaters' piezometric level on a reference site allowed the differentiation of inflows and outflows and enabled us to specify the hydraulics of the media.

(1) The clay alteration products form a free aquifer broken up by the morphology of the land (valleys, surrounding interfluves); this aquifer discharges by outlets located in the lowlands and thus contributes to the prolonged flooding (nine months a year) of rice-fields; recharge depends on the spatial variability of local precipitation.

(2) The granite-gneiss basement constitutes a regional aquifer; the groundwater is semi-confined and outcrops in large valleys with free water-tables draining to the low coastal plains of the island; for the most part its recharge is ensured by discontinuous outcrops (residual ridges); it remains confined for several months after the rainy season.

(3) In the lowlands, underlying sands are also water bearing, recharged from superficial flows. The groundwater is confined during the rainy season, which favours ascending flows towards the rice rooting zone.

### RÉSUMÉ

Sur un socle cristallophyllien altéré, situé en zone intertropicale humide d'altitude (Madagascar), un étude fonctionnelle de bas-fonds tourbeux rizicoles est en cours. Elle vise à établir, dans un but économique, les bilans en eau et minéral de ces unités. Sur le plan hydrique, l'analyse piézométrique des eaux souterraines dans un site témoin conduit à différencier qualitativement les flux entrant et sortant, et permet de préciser le fonctionnement hydraulique du milieu.

(1) Les altérites argileuses sont le siège d'une nappe libre, morcelée par la morphologie matelassée du paysage (dépression-interfluves environnants); cet aquifère se vidange par des

émergences au droit des bas-fonds, ce qui contribue à l'inondation prolongée (neuf mois/an) des rizières; sa recharge est contrôlée par les précipitations locales; son bilan en eau est donc dépendant de la variabilité spatiale des pluies.

(2) Le socle granito-gneissique constitue un deuxième réservoir aquifère à extension plutôt régionale; la nappe est semi-captive, affleurante dans de grandes dépressions à plan d'eau libre, drainée vers les basses plaines côtières de l'île; sa recharge est assurée en majeure partie par des affleurements discontinus (rides résiduelles); sa mise en charge se prolonge très en deçà (plusieurs mois) de la saison des pluies.

(3) Dans les bas-fond, des sables sous-jacents à la tourbe sont aussi aquifères, vers lesquels des transferts de flux verticaux descendants, en provenance d'écoulements superficiels, s'effectuent en début de recharge; la nappe est par contre en charge au cours de la période humide, ce qui favorise, à cette époque, des flux au contraire ascendants vers la zone d'enracinement du riz.

## INTRODUCTION

En région intertropicale humide les fonds plats ou concaves des vallons, petites vallées et gouttières d'écoulement inondables, emboîtés dans les épaisses altérations de socle (généralement cristallin), constituent ce que l'on appelle communément des bas-fonds (Fig. 1). Ces unités sont les axes de convergence préférentielle des eaux de surface, des écoulements hypodermiques, et des aquifères d'altérites alimentés par les pluies. Lorsqu'à un certain stade de leur évolution un profil d'équilibre est atteint, la compétence des eaux est insuffisante (faibles gradients hydrauliques) pour assurer l'évacuation des déblais. Cette stabilisation permet alors l'installation d'une végétation hydrophile, génératrice d'amont en aval d'une tourbe plus ou moins épaisse et continue.

Ces bas-fonds tourbeux, qui couvrent en Afrique et à Madagascar une superficie d'environ 1 300 000 km<sup>2</sup>, sont peu ou mal exploités (sauf en Asie) et mal connus sur le plan fonctionnel. Ils sont pourtant, en raison du lieu de concentration et de stockage d'eau qu'ils représentent (aquifères et ruissellement de surface), des zones favorables à diverses formes de riziculture (inondation en saison des pluies) et de cultures céréalières de contre saison (remontées capillaires).

Sur les hauts plateaux de Madagascar, qui culminent entre 900 et 2600 m NGM (matériel granito-gneissique à 1100–550 MA, altéré et pénéplané par plusieurs phases d'érosion), ces bas-fonds ont une forte densité et représentent l'essentiel du potentiel rizicole du pays (Raunet, 1985). Le riz n'étant pas cultivable sur la tourbe pure (mauvais support à l'enracinement, pH acide, toxicités du milieu), une assise de surface anthropique, composée d'une couche argilo-limoneuse de 20 à 40 cm d'épaisseur, est généralement rapportée.

Dans le cadre d'une Action Thématique Programmée pluridisciplinaire (Piren), l'une de ces structures (superficie d'environ 130 ha) a été choisie en raison de sa bonne représentativité à l'échelle des hauts plateaux (Fig. 2). Le climat y est marqué par deux saisons bien tranchées: un épisode pluvieux qui dure environ six mois (15 octobre–15 avril); une période sèche le reste de l'année. Autour du site (1300 m NGM), les précipitations annuelles s'élèvent en moyenne à 1250 mm (relevés de 25 ans à la station de l'aéroport de Tananarive

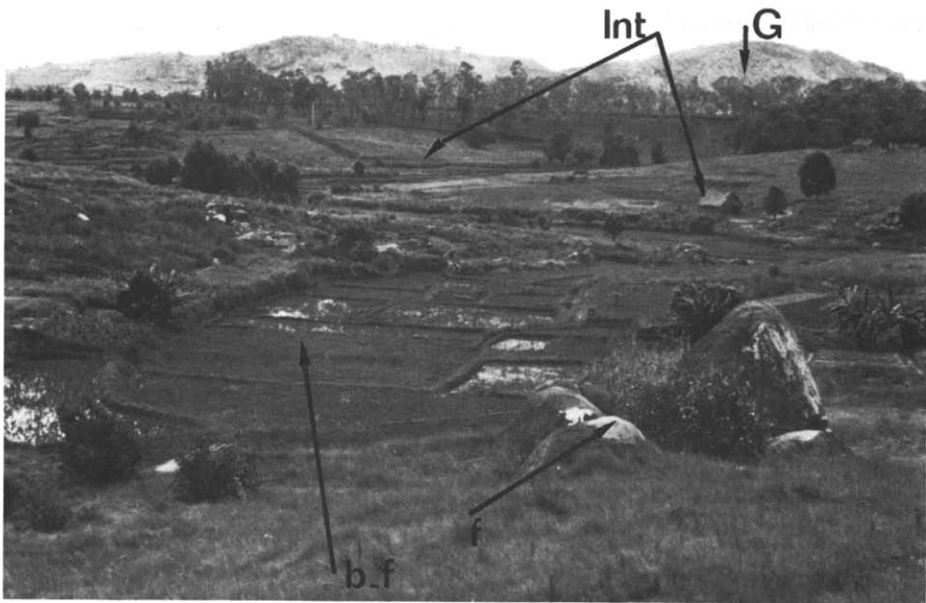
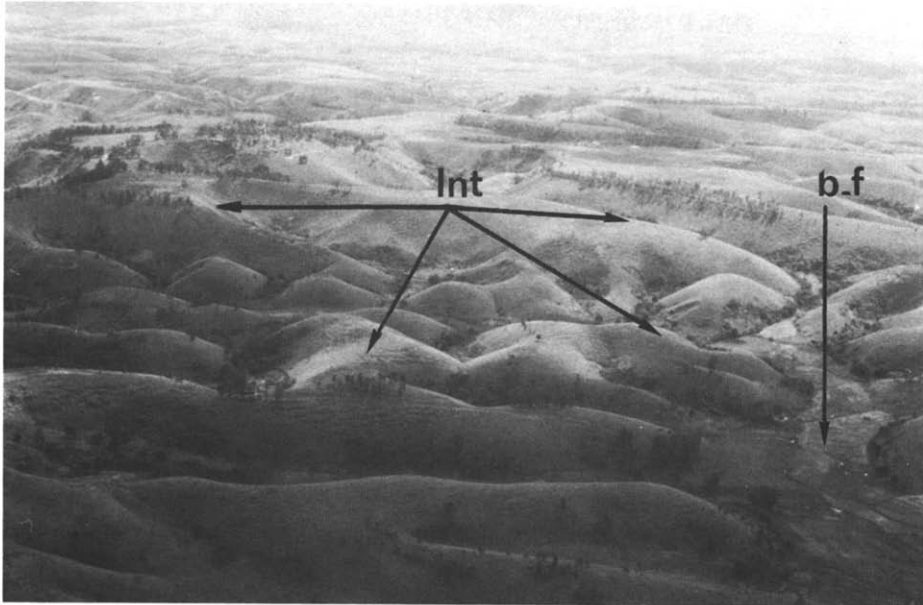


Fig. 1. Bas-fonds rizicoles des hauts plateaux (b-f); f, filon granitique; Int, interfluves; G, reliefs granitiques résiduels (rides E-W).

Fig. 1. Lowlands with rice-fields on the high plateaux of Madagascar (b-f). f, granitic veins; Int, interfluves; G, granitic topography (ripple E-W).

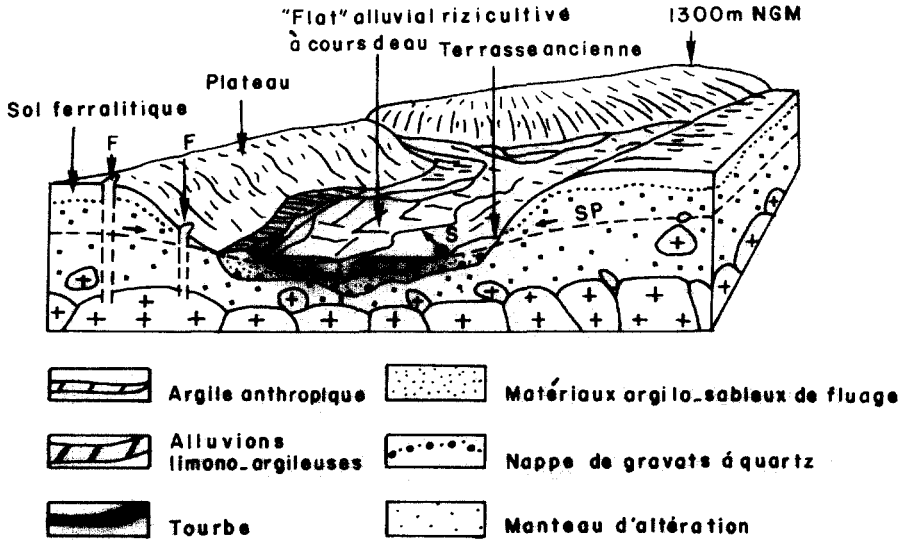


Fig. 2. Structure morpho-pédologiques types d'un bas-fond.

Fig. 2. Morpho-pedological structures in the lowland.

situé à 6km). Durant le cycle climatique observé dès la fin des travaux d'aménagement du bassin (février 1987 à janvier 1988), ces précipitations ont atteint 1245 mm, soit sensiblement la valeur du cycle moyen.

Dans cette action de recherche, il s'agit d'appréhender sur une année hydrologique les flux hydrique et minéral traversant cette structure; de différencier ces dynamiques en fonction des caractéristiques morpho-pédologiques et physiques du milieu; d'établir un bilan global de l'unité rizicole et d'intégrer cette donnée à la caractérisation des structures équivalentes à différentes échelles.

Du point de vue hydrique, la dynamique des écoulements souterrains fait l'objet d'études détaillées. Il s'agit en effet d'une part de différencier et de quantifier les flux entrant et sortant à la fois transversalement (apports latéraux au bas-fond), longitudinalement (d'amont en aval du système) et verticalement (transfert de flux descendant ou ascendant; ascension capillaire); d'autre part de préciser les conditions de saturation et de désaturation du complexe hétérogène sous-jacent au flat alluvial (Fig. 2).

Cette approche est menée grâce en partie à une infrastructure hydraulique (Fig. 3) comprenant entre autre douze forages réalisés sur les interfluves, et des batteries de piézomètres implantés dans le bas-fond à trois niveaux différents (tourbe, sables lavés sous-jacents et arènes micacées inférieures, Fig. 2).

Le suivi géologique des forages, et les tests hydrauliques qui ont suivi, ont permis de proposer une définition des aquifères (Grillot et al., à paraître), proche de celle des systèmes hydrauliques bicouches des zones altéritiques et décrits par exemple en Afrique de l'Ouest (Engalenc et al., 1979; Margat, 1983;

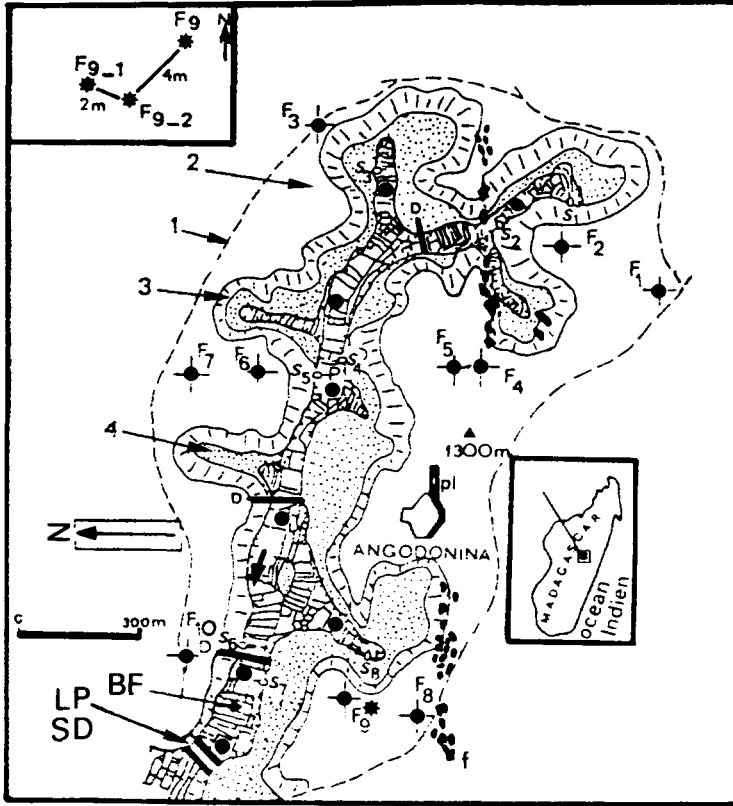


Fig. 3. Equipement hydraulique d'un site témoin: 1, limites d'interfluves; 2, plateau ondulé; 3, pente convexe; 4, terrasse ancienne; BF, bas-fond; F, forage; P, piézomètre; S, sources pérennes; D, sections déversantes; LP + SD, batteries de piézomètres en ligne et section déversante à l'aval; f, filons granitiques. Encarté, site expérimental réduit (détermination du coefficient d'emmagasinement du milieu).

Fig. 3. Hydraulic equipment of test site: 1, interfluves limits; 2, undulating plateau; 3, convex slope; 4, old terrace; BF, lowland; F, borehole; P, observation borehole; S, perennial springs; D, flowing sections; LP + SD, line of observation boreholes and downward flowing section; f, granitic veins. Inset, reduced experimental site to evaluate the storage coefficient.

Faillat, 1986). Se distinguent ainsi de haut en bas: (1) un réservoir libre dans les altérites argileuses, où la conductivité électrique des eaux, extrêmement faible (inférieure à  $40 \mu\text{s cm}^{-1}$ ), témoigne de l'achèvement des processus d'hydrolyse minérale; cet aquifère se vidange lentement par une ligne d'émergences circonscrites autour du bas-fond (Fig. 3); (2) plus profondément (entre 10 et 30 m), le complexe arènes micacées-socle fissuré est le siège d'une deuxième nappe, semi-captive (emmagasinement de  $10^{-3}$ ), plus minéralisée (conductivité entre 100 et  $220 \mu\text{s cm}^{-1}$ ), séparée de la précédente par un interface argileux de 1 à 2 m d'épaisseur reconnu lors des sondages. Une drainage hydraulique (et hydro-

chimique) en provenance des altérites argileuses est d'ailleurs apparue systématiquement au cours des pompages réalisés dans tous les ouvrages du site.

L'appréhension du flux hydrique des bas-fonds rizicoles est donc soutendue par ce mode de fonctionnement hydraulique, en particulier par les comportements relatifs et inter-relationnels des deux nappes. C'est pourquoi des suivis piézométriques réguliers sont effectués dans les forages des interfluves et dans les batteries de piézomètres installées dans le bas-fond. Les réponses des nappes aux conditions naturelles d'alimentation et de drainage sont discutées dans cet article.

#### PIEZOMETRIE DES INTERFLUVES

Les réponses piézométriques enregistrées sur forages sont illustrées par deux types de comportement bien distincts (Fig. 4). Dans l'aquifère des altérites argileuses ( $F_9$  et piézomètres associés, encarté Fig. 3), les fluctuations des

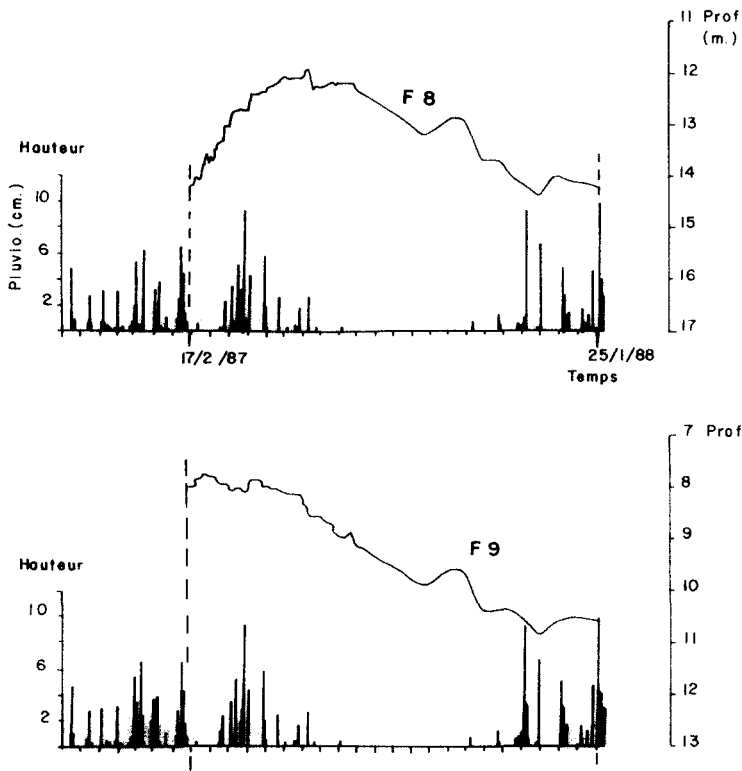


Fig. 4. Piézométrie sur un cycle climatique complet des interfluves. Exemple dans deux forages captant l'horizon aquifère altéritique seul ( $F_9$ ); cet horizon et le réservoir arènes-socle ( $F_8$ ).

Fig. 4. Interfluvial water-table fluctuations over a whole climatic cycle. Observations in a borehole tapping the weathered layer ( $F_9$ ) and in a borehole tapping the weathered layer and the granitic sand-basement aquifer ( $F_8$ ).

niveaux semblent en hautes eaux directement influencées par les précipitations sur les interfluves; les réponses sont brèves, bien que légèrement retardées, avec un retour rapide à des conditions de lente décrue dont la pente moyenne reste relativement constante durant toute la saison sèche. Toutefois, cette période est perturbée par des fluctuations non négligeables sans apports concomitants par les pluies. Ces variations, et leur cause possible, seront analysées ultérieurement. Dans les ouvrages captant conjointement les deux aquifères ( $F_1$  à  $F_{10}$ ) les variations piézométriques, toutes sensiblement identiques aux amplitudes près, sont par contre différentes en début de recharge (exemple  $F_8$ , Fig. 4). Elles sont marquées par une mise en charge continue alors que la décrue est déjà amorcée dans l'horizon altéritique libre ( $F_9$ ). Ce retard pourrait provenir d'une réalimentation différée du milieu arènes-socle, due par exemple à l'éloignement des affleurements à plus d'un km du site (rides E-W de reliefs résiduels granito-gneissiques, Fig. 1). Aussi dans la mesure où ces reliefs constituent des zones majeures d'infiltration (études fissurales en cours), on peut concevoir que les temps de transit des eaux souterraines vers le bas-fond sont lents comparativement à la mise en charge du réservoir libre altéritique.

Au cours de la décrue (période sèche), il semble que le tarissement de la nappe superficielle soit prépondérant et masque ainsi celui de l'horizon profond. En effet, les courbes présentent des formes similaires et des fluctuations de niveau synchrones. Deux hypothèses peuvent expliquer les variations de l'aquifère libre au cours de la période sèche: la première fait appel aux pressions barométriques en altitude. Mais on sait que ces effets sont insignifiants sur les nappes libres dont les fluctuations ne sont alors dues qu'à l'élasticité faible de l'eau, ce qui a été vérifié dans le cas présent. La deuxième a trait au comportement des milieux poreux capacitifs soumis à forte désaturation durant une longue période d'étiage: la recharge de la zone noyée peut être très déphasée dans le temps (resaturation lente de la zone non saturée) et se manifester ensuite sous la forme de remontées rapides (Lelong, 1966). Cette deuxième hypothèse semble plus plausible pour expliquer le comportement à l'étiage du milieu altéritique (nappe libre), d'autant que durant le cycle annuel observé les pluies se sont exceptionnellement prolongées jusqu'à la fin du mois de mai 1987. Par ailleurs, ce retard de la recharge en fin d'étiage n'est pas incompatible avec l'épaisseur de la zone non saturée qui peut dépasser 15 m à cette époque, et la porosité utile des altérites qui atteint 6%.

#### PIEZOMETRIE DU BAS-FOND

La reconnaissance détaillée des séquences sous-jacentes au flat alluvial (Raunet, 1984) a montré que deux niveaux jouent un rôle dans les écoulements souterrains (Fig. 2):

(a) des sables quartzeux sans trace de mica et très peu argileux, résultant du fluage d'altérites lors de l'emboîtement des bas-fonds dans les terrasses quaternaires;

(b) le complexe arènes-socle sous-jacent dont le toit est souligné par une discontinuité argileuse à galets quartzeux ("stone line").

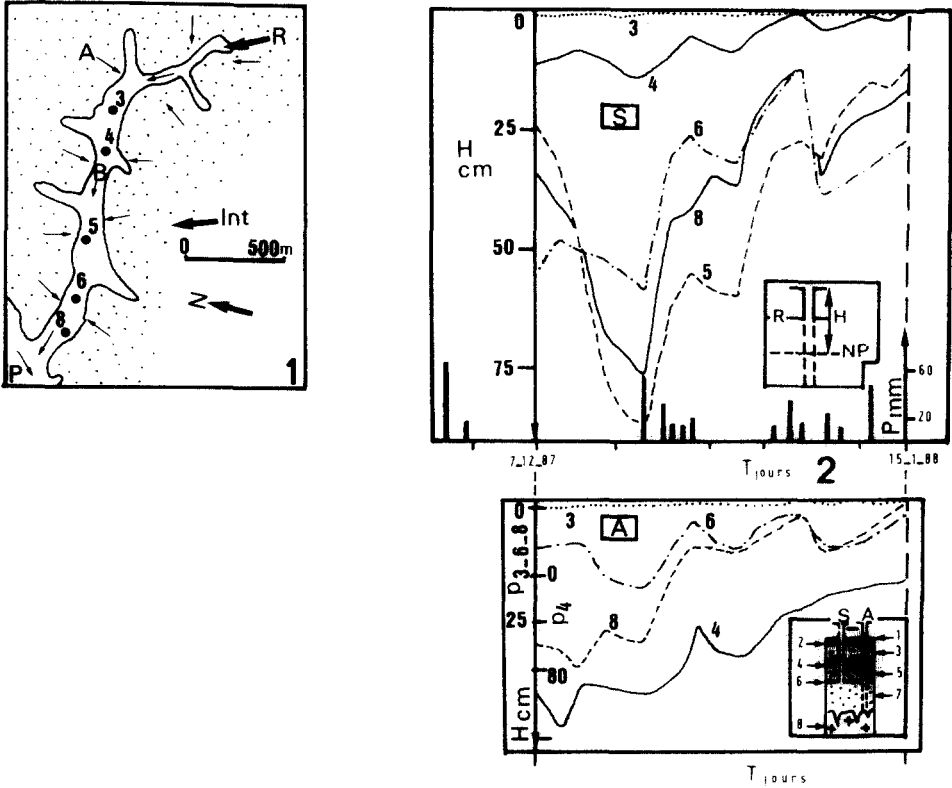


Fig. 5. Piézométrie du bas-fond. (1) Dispositif piézométrique (batteries de 3 à 8). Int, interfluves; R, rizières aquatiques; P, plaine alluviale; A, écoulement souterrain; B, écoulement de surface. (2) Piézométrie en début de recharge. S, sables lavés; A, arènes micacées. En S, mesure des niveaux (H) par rapport au plan d'eau des rizières (R). En A, profils des séquences et profondeur des piézomètres avec 1, rizières; 2, recouvrement argileux anthropique; 3, alluvions limono-argileuses; 4, tourbe; 5, sables quartzeux sans trace de mica et d'argile; 6, "stone line" à galets quartzeux; 7, arènes grenues micacées; 8, socle cristallophyllien.

Fig. 5. Water table of lowland. (1) Water table equipment (number of boreholes 3 to 8). Int, interfluves; R, rice-fields; P, alluvial plain; A, ground flow; B, surface flow. (2) Water table at the beginning of recharge. S, washed sands; A, micaceous granitic sands. In S, water-level (H) measurements with reference to the rice-field water surface (R). In A, sections and depth of boreholes with 1, rice-fields; 2, man-settled clayey cover; 3, silty and clayey alluvium; 4, peat; 5, quartz sand without mica and clay; 6, "stone line" with quartz pebbles; 7, granular and micaceous granitic sand; 8, crystalline basement.

Les batteries de piézomètres (Fig. 5) ont recoupé, sauf en  $P_5$ , chacun de ces deux niveaux; l'horizon tourbeux est plus discontinu. Les observations piézométriques ont été faites en début de recharge (décembre 1987–janvier 1988).

Dans l'horizon des sables (S, Fig. 5), la fluctuation des niveaux présente des amplitudes qui augmentent de l'amont vers l'aval du bas-fond (insignifiantes en



$P_3$ , jusqu'à 60 cm en  $P_8$ ). Compte tenu de la répartition temporelle des pluies sur le bassin (Fig. 4), ces variations pourraient de prime abord être en relation avec les apports pluviométriques du début de la recharge. Dans cette hypothèse, le déphasage temporel ne serait que de quelques heures, ce qui impliquerait qu'au droit du bas-fond des infiltrations se produisent à travers le recouvrement anthropique.

Dans l'horizon arénitique (A, Fig. 5), les fluctuations sont concomitantes des précédentes. Sauf en  $P_4$ , les amplitudes sont toutefois plus faibles, croissant aussi, bien que plus discrètement, d'amont en aval du flat alluvial.

Excepté en  $P_4$ , tous les niveaux se maintiennent en permanence au dessus du plan d'eau des rizières dans les arènes; ils ne le sont que tardivement et de façon asynchrone dans les sables. Enfin, les pressions sont supérieures dans l'aquifère des altérites, mis à part à l'amont où elles sont sensiblement à l'équilibre en  $P_3$ , en déséquilibre inverse en  $P_4$ .

Des observations antérieures, faites lors d'une mise en charge artificielle des eaux de surface (Grillot et Raunet, 1988), ont montré que les eaux souterraines du bas-fond étaient semi-captives sous le recouvrement superficiel anthropique. Les fluctuations piézométriques confirment globalement cette caractéristique, aux nuances près suivantes.

(1) Les différences de pression observées dans deux horizons du bas-fond, sauf vers l'extrême amont ( $P_3$ ), dénotent l'existence de deux aquifères superposés aux paramètres hydrauliques certainement différents (étude des perméabilités en cours).

(2) La discontinuité qui les sépare ("stone line") doit jouer un rôle différentiel selon que son soubassement soit plutôt sableux (perméable en  $P_3$ ), argileux (imperméable en  $P_4$ ), ou sablo-argileux (semi-perméable à l'aval en  $P_5$ ,  $P_6$ , et  $P_8$ ). Le caractère discontinu de cet interface argileux avait d'ailleurs été remarqué lors de la réalisation des sondages dans le bas-fond.

Au cours de la période de recharge (décembre-janvier), les deux horizons aquifères sous-jacents au bas-fond présentent de brèves mais fortes amplitudes piézométriques, en particulier à l'aval du système (Fig. 5). Sur l'une des batteries ( $P_8$ , Fig. 5.1), un piézomètre dans les sables lavés a été équipé d'un limnigraphe. Par ailleurs, un contrôle des surfaces inondées a été effectué, quand cela était possible (mai à décembre), par pointage cartographique de l'état des rizières (Fig. 6).

À partir du début de la recharge (mi-novembre), les fluctuations des niveaux dans ce piézomètre répondent sans déphasage significatif aux précipitations (Fig. 6.1 et 6.2), comme d'ailleurs dans les autres ouvrages (Fig. 5). Cette période est marquée en outre par des variations piézométriques dont la période (environ 15 jours) correspond sensiblement à celle du retour des pluies. Enfin l'état d'inondation des rizières est en phase avec ces évolutions, le léger déphasage constaté étant vraisemblablement imputable à l'estimation approchée des surfaces sur le terrain.

Ces observations d'une part confirment l'hypothèse envisagée à l'échelle du bas-fond (Fig. 4) selon laquelle des infiltrations se produisent à partir du flux

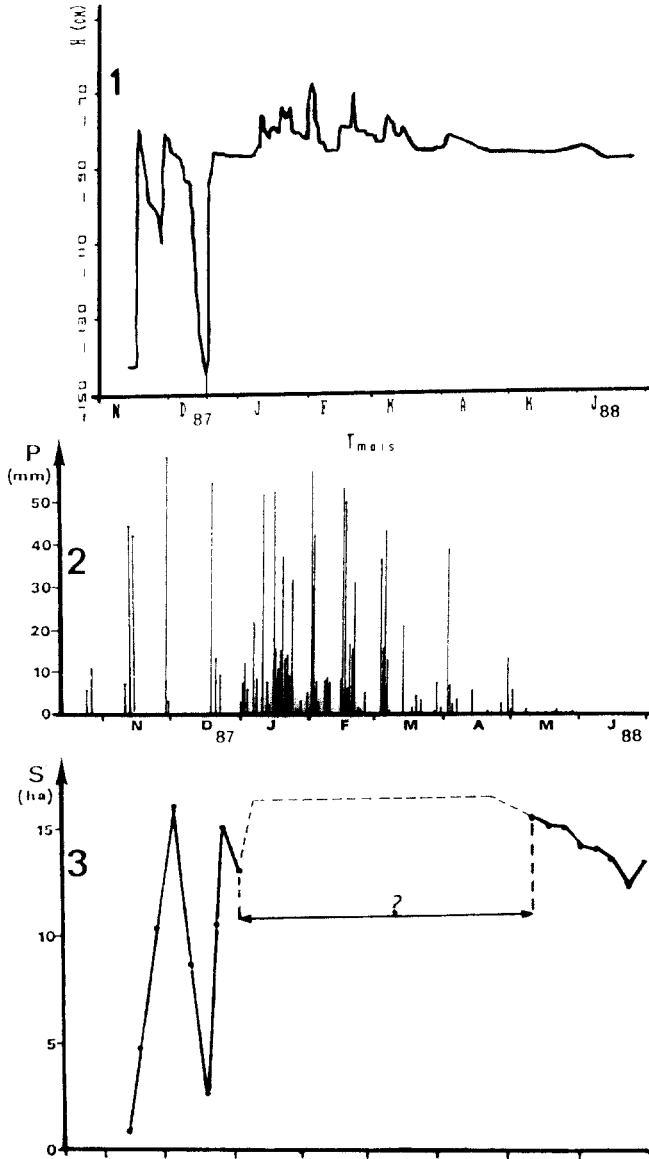


Fig. 6. Piézométrie des eaux souterraines et écoulements superficiels. 1, enregistrement limnigraphique (sables lavés,  $P_8$ , Fig. 4); 2, pluviométrie; 3, surfaces d'inondation des rizières en début de recharge.

Fig. 6. Water-table fluctuations and surface flow. 1, limnigraphic recording (washed sands,  $P_8$ , Fig. 5); 2, pluviometry; 3, flooded area of rice-fields at first ground-water recharge.

de surface; d'autre part montrent qu'à l'évidence ces transferts verticaux descendants atteignent la zone noyée permanente des sables lavés. Autrement dit le recouvrement argileux anthropique, et la tourbe sous-jacente, possèdent une perméabilité verticale qui n'est probablement pas négligeable.

## CONCLUSION

Sur les hauts plateaux de Madagascar, la piézométrie des eaux souterraines fournit un début de réponse (d'ordre qualitatif) aux questions que posent, sur un plan fonctionnel et économique, les modes d'écoulements latéraux, longitudinaux et verticaux inhérents au modèle accidenté de ces régions. La morphologie matelassée que l'on observe, typique des paysages intertropicaux à pluviométrie comprise entre 700 et 2000 mm/an, impose un fonctionnement hydraulique qui nuance le modèle bicouche (altérites capacitives sur socle fissuré drainant) couramment adopté en zones sahelienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest.

(1) La nappe des altérites, libre et pratiquement déminéralisée, possède des exutoires au droit de bas-fonds tourbeux, ce qui assure d'ailleurs à ces derniers une longue période d'inondation (neuf mois/an). L'aquifère est ainsi morcelé par un système d'unités bas-fond-interfluves environnants, et sa recharge est corrélativement contrôlée par les précipitations locales. Le bilan hydrique est donc dépendant de la variabilité spatiale des pluies.

(2) Le socle granito-gneissique est le siège d'un deuxième aquifère dont la particularité réside dans son extension régionale, sa semi-captivité et sa minéralisation plus élevée. Il affleure au niveau de vastes dépressions à plan d'eau libre et son drainage s'effectue vers les bordures de l'île dont il alimente les grands cours d'eau. Sa mise en charge, conditionnée en majeure partie par un impluvium réduit à des affleurements discontinus et souvent orientés (rides E-W), se prolonge très en deçà (plusieurs mois) de la saison des pluies.

(3) Dans les bas-fonds, un troisième horizon propre à ces unités et lié à leur genèse (sables lavés) présente une double spécificité: celle d'être en relation hydraulique plus ou moins continue et complexe avec l'aquifère régional (arènes-socle); celle d'être sensible en début de recharge à des infiltrations provenant d'écoulements superficiels et se faisant à travers le recouvrement argilo-tourbeux.

Tous ces éléments piézométriques rendent vraisemblables des transferts de flux verticaux vers la zone d'enracinement du riz, soit descendants en début de recharge, soit ascendants en période humide avancée.

## BIBLIOGRAPHIE

- Engalenc, M., Grillot, J.C. et Lachaud, J.C., 1979. Méthode d'étude et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest. Ed. Géohydraulique (France) et CIEH (Haute Volta), t. 2, 193 pp.
- Faillat, J.P., 1986. Aquifères fissurés en zone tropicale humide: structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). Thèse Doct. ès. Sci., Univ. Montpellier II, 536 pp., ronéo.
- Grillot, J.C. et Raunet, M., 1988. Aquifère d'arènes granitiques sous recouvrement argilo-limoneux et organique (hauts plateaux cristallophylliens, Madagascar). C.R. Acad. Sci. Paris, Série 11, 306: 611-614.
- Grillot, J.C., Blavoux, B., Rakotondrainibe, J.H. et Raunet, M., 1990. Dynamique en hautes eaux des aquifères d'altérites sur les hauts plateaux cristallophylliens de Madagascar. *J. Afr. Earth Sci.*, à paraître.

- Lelong, F., 1966. Régime des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altération tropicale. Conséquences sur la pédogénèse. *Sci. Terre*, XI(2): 201-214.
- Margat, J., 1983. Rapport sur le thème 3 du colloque. Les milieux discontinus en Hydrogéologie, Orléans, France, Hydrogéol.-Géol. de l'Ing., BRGM, 1: 25-33.
- Piren, A.T.P., 1989. Influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux des sols: bilan hydrique et minéral d'un bas-fond des hautes terres de Madagascar. Ed. CNRS, Paris.
- Raunet, M., 1984. Les potentialités des bas-fonds en région intertropicale. L'exemple de la culture du blé de contre saison à Madagascar. *Agric. Trop.*, 39(2): 121-125.
- Raunet, M., 1985. Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar. Géomorphologie-Pédologie-Hydrologie. *Z. Geomorph. N.E.*, suppl. Bd52: 25-62.