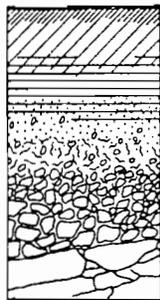


R. POSS et A. FORGET
Pédologues

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE
DES NIVEAUX AQUIFERES DU NORD-TOGO,
EN RELATION AVEC LA NATURE DU SOL
ET DU SUBSTRAT**
(DE L'OTI A LA FRONTIERE VOLTAÏQUE)



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

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



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE LOME

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES NIVEAUX AQUIFERES DU NORD-TOGO,
EN RELATION AVEC LA NATURE DU SOL ET DU SUBSTRAT
(de l'Oti à la frontière voltaïque)**

**POSS .et FORGET
pédologues ORSTOM**

Février 1983

- P L A N -

INTRODUCTION

I - METHODOLOGIE

II - LE SOCLE

2.1 Les sols et leur régime hydrique

2.1.1 Sols à arène proche de la surface
(altérations récentes)

2.1.1.1 Formations granito-gneissiques

2.1.1.2 Formations éruptives basiques

2.1.2 Sols à altération ferrallitique en profondeur

2.1.3 Conclusion

2.2 Les nappes profondes

III - LES GRES

3.1 Les sols et leur régime hydrique

3.1.1 Sols peu évolués

3.1.2 Sols colluviaux

3.1.3 Sols gravillonnaires (parfois tronqués)

3.2 Les nappes profondes

IV - LES SILEXITES

V - LES SHALES SILTEUX

5.1 Les sols et leur régime hydrique

5.1.1 Sols minéraux bruts

5.1.2 Sols peu évolués

5.1.3 Sols ferrugineux tropicaux

5.1.4 Sols colluviaux

5.2 Les nappes profondes

VI - LES ALLUVIONS ANCIENNES

6.1 Les sols et leur régime hydrique

6.2 Les nappes profondes

CONCLUSION

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES NIVEAUX AQUIFERES DU NORD-TOGO,
EN RELATION AVEC LA NATURE DU SOL ET DU SUBSTRAT

(de l'Oti à la frontière voltaïque)

INTRODUCTION

Dans les savanes du Nord-Togo (10° à 11° Nord, fig. 1), les travaux de cartographie des sols entrepris depuis plus de vingt ans par l'ORSTOM (LAMOUREUX puis VIEILLEFON, LE COCQ et OUEDRAOGO) et le BDPA (LÉMOINE) ont permis de définir la répartition des grands types de sols sur quelques périmètres limités. Cette cartographie est en cours d'extension à l'échelle régionale afin de fournir un document synthétique utilisable dans le cadre de la planification. Sous un climat à longue saison sèche avec un total annuel des précipitations de 1 100 mm les sols subissent chaque année une phase d'humectation aboutissant parfois à la formation de nappes perchées, avec des phénomènes d'érosion et de débordement des cours d'eau souvent spectaculaires, et une phase de dessèchement poussé pendant laquelle il peut ne pas pleuvoir pendant six mois consécutifs. Le régime hydrique des sols conditionne en premier lieu la croissance des végétaux, mais également la recharge des nappes, en particulier celles des niveaux profonds dans lesquels sont réalisés depuis quelques années des forages pour l'alimentation des villages. La dynamique de ces nappes profondes n'a pas encore été étudiée.

Du Nord-Ouest au Sud-Est, le Nord-Togo comprend (AFFATON, 1973 ; GODONOU, 1980) un socle granito-gneissique jusqu'au niveau de Dapaong, puis une série sédimentaire constituée de grès (Dapaong à Borgou et Barkoissi), de silexites et de shales silteux à intercalations gréseuses jusqu'à la vallée de l'Oti. Le long du fleuve, des dépôts d'alluvions anciennes forment des auréoles de quelques kilomètres de diamètre (Mandouri, Yagou, Manian, Fare...).

Nous préciserons les grands traits de l'organisation des sols sur chacun des substrats géologiques, ainsi que leur régime hydrique tel qu'il a été observé au cours des saisons des pluies 1981 et 1982, puis nous tenterons d'approcher les modalités et les voies de transfert des eaux en profondeur, à partir des variations de composition des eaux et des observations réalisées au cours du creusement des puits (BURGEAP, Italconsult) et des forages profonds (projet FED).

Le cas des sols hydromorphes de bas-fond, à longue submersion, ne sera pas abordé.

I - METHODOLOGIE

La cartographie, conduite à l'échelle du 1/200 000, a nécessité l'ouverture d'environ 500 fosses sur l'ensemble de la région. Ces fosses ont permis, dans un premier temps, d'étudier l'organisation des couvertures pédologiques. Puis, au cours de deux saisons des pluies, 200 fosses ont été choisies en fonction de leur représentativité et de leur accessibilité, dans lesquelles le niveau de la nappe a été observé. Lorsque les fosses contenaient de l'eau, afin d'éviter les erreurs liées au remplissage par ruissellement, le niveau de la nappe était contrôlé, soit par sondage à la tarière à quelques mètres de distance, soit par vidange au seau de la fosse elle-même. Cette vidange a ensuite été réalisée à titre expérimental dans les fosses où la présence d'une nappe était assurée. Elle a permis de comprendre quelques mécanismes du fonctionnement de cette nappe : vitesse de remplissage de la fosse, niveaux privilégiés de circulation, chimie des eaux. Les prélèvements des échantillons d'eau ont été effectués dans les fosses après vidange. Pour résoudre le délicat problème de représentativité du prélèvement, dans ce milieu où la modification des conditions naturelles entraîne une mise en mouvement des particules déposées dans les pores, seule l'eau des écoulements les plus importants a été recueillie, après une attente supérieure à 15 minutes, temps au bout duquel la charge en matières solides devient stable (observation du trouble). Nous estimons qu'avec cette méthode les caractéristiques de l'échantillon sont très peu différentes de l'eau des nappes, la pollution, essentiellement liée aux écoulements provenant du sommet du profil, étant extrêmement limitée.

Par ailleurs, sur huit sites choisis pour leur représentativité, l'humidité des sols et l'infiltrabilité de surface (méthode PIOGER modifiée) ont également été suivis mensuellement. Les résultats de ces mesures, partiellement dépouillés, ne seront que très peu développés.

Enfin, la chimie des eaux profondes a été abordée en effectuant chaque mois des prélèvements dans 22 puits et forages répartis sur les trois substrats géologiques. Les mesures (pH et résistivité) ont été réalisées au laboratoire une à deux semaines après le prélèvement, ce qui entraîne une erreur par excès de quelques dixièmes d'unité pH (probablement dégazagé du CO₂ par élévation de température), la résistivité ne variant pratiquement pas.

II - LE SOCLE

2.1 Les sols et leur régime hydrique

Les sols du socle calco-alcalin (Fig. 2) présentent une grande variété liée à l'importante variabilité géologique (AFFATON, 1973 ; GODONOU, 1980) et à l'histoire géomorphologique. Ces facteurs ne seront pas développés, et seuls les grands types d'organisation des sols seront exposés.

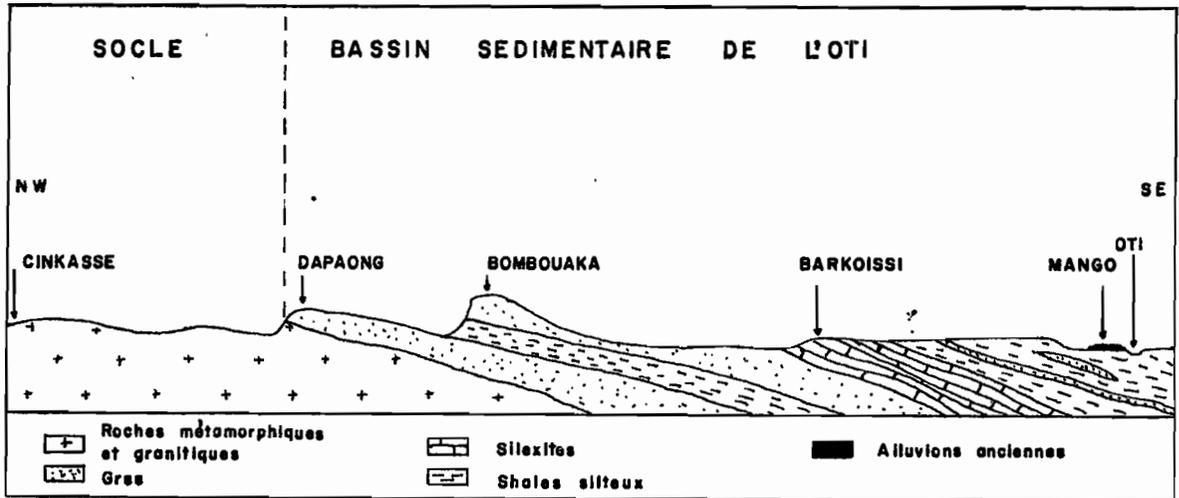


Fig 2 : Coupe géologique schématique du Nord Togo (d'après Affaton 1973)

2.1.1 Sols à arène proche de la surface (altérations récentes)

2.1.1.1 Formations granito-gneissiques

- Les sols

Les sols à arène proche de la surface, développés sur roches granito-gneissiques, représentent la majorité des sols de la région (de l'ordre de 70 %). L'arène apparaît à moins de deux mètres de profondeur et peut même parvenir à l'affleurement. Elle est assez friable (pénétrable à la pioche sur près de 7 mètres en général), les minéraux altérés de la roche sont encore reconnaissables et celle-ci est parcourue de fractures planes et profondes. A sa partie supérieure, l'arène est souvent partiellement argilifiée, mais la structure de la roche reste reconnaissable et des minéraux altérables se maintiennent. Cette argilification conduit parfois à l'individualisation d'un horizon continu, mais se traduit plus fréquemment par des veines argileuses liées aux hétérogénéités de la roche. En saison sèche les horizons argilifiés déterminent *in situ* en se rétractant des fentes verticales sur quelques décimètres. Sur cette altération, l'évolution pédologique a amené la différenciation d'un continuum de sols parmi lesquels il est possible de distinguer trois grands types principaux :

- les sols minéraux bruts (Fig. 3) : l'arène (parfois même la roche) affleure à la surface du sol et les minéraux se désagrègent partiellement au contact de l'atmosphère. Principalement liés aux affleurements rocheux, ces sols sont également abondants sur les versants lorsque l'érosion a décapé jusqu'à l'arène les horizons superficiels gravillonnaires des sols ferrugineux tropicaux.

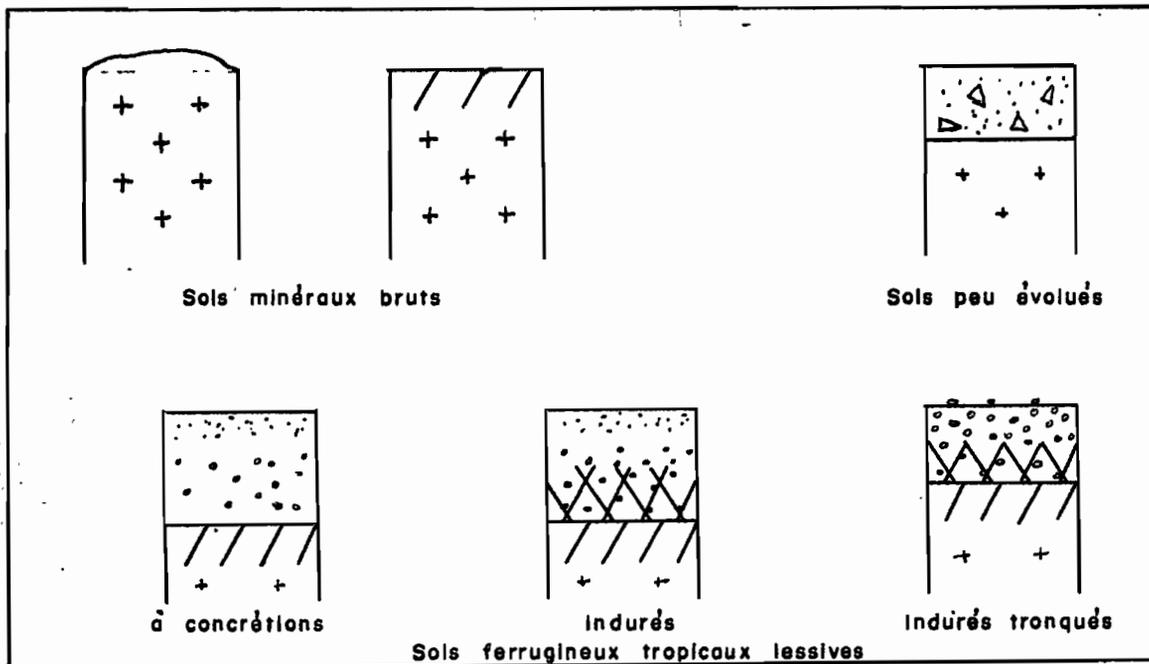


Fig 3: Représentation schématique des sols à arène proche de la surface sur roches granito-gneissiques

- les sols peu évolués : au-dessus de l'arène se développe un horizon peu humifère de texture généralement sableuse et le plus souvent riche en éléments grossiers (débris de roche, quartz, parfois nodules). Cet horizon peut parfois atteindre une épaisseur de 80 cm à 1 mètre (sol peu évolué profond). Une légère ferruginisation des minéraux est assez fréquente.
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris (à concrétions ou indurés) : le profil pédologique, plus profond que précédemment, présente au-dessus de l'arène un horizon riche en concrétions. En surface, le sol est sableux et ne comporte que peu d'éléments grossiers. Les niveaux concrétionnés ont une très nette tendance à l'induration. Particulièrement marquée en bas de versant, elle apparaît également par places sur les versants et se différencie latéralement en quelques mètres. Le faciès tronqué correspond aux endroits où les horizons sableux de surface n'existent pas (surtout aux ruptures de pente où l'érosion est plus accentuée) et où par conséquent les horizons concrétionnés affleurent.

Les sols peu évolués et les sols ferrugineux tropicaux présentent très fréquemment des horizons blanchis ou vidés, soit dans la partie supérieure de l'arène (souvent sous forme de langues ou de poches) soit à la base des horizons sus-jacents, au contact de l'arène. L'importance de ces horizons, qui semblent constituer le trait le plus original des sols du Nord-Togo, a déjà été soulignée précédemment cent kilomètres plus au sud dans la région de Bassar (LE COCQ, à paraître) et en Haute-Volta (BOULET, 1978).

- Le régime hydrique

Le régime hydrique de ces sols peut être décrit par trois phases successives :

1° Phase : humectation du sol

En début de saison des pluies, le front d'humectation parvient rapidement à l'arène ou à l'horizon argileux qui la surmonte (à une date variable suivant la pluviométrie et l'épaisseur des horizons superficiels, environ vers le mois de juin, Fig. 4). Le front d'humectation est pratiquement bloqué à ce niveau, les matériaux sous-jacents ne s'humectant plus ensuite que très lentement, hormis les fractures de la roche où l'eau se propage en profondeur.

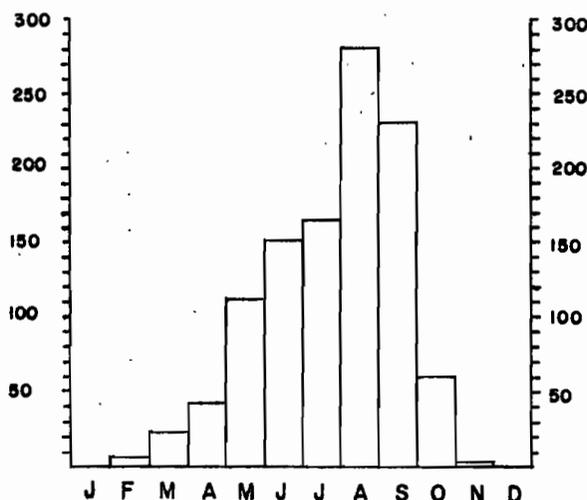


Fig 4: Pluviométrie moyenne mensuelle
à Dapaong (30 années)

2° Phase : apparition d'une nappe

L'apport d'eau pluviale augmentant, le transfert en profondeur par le réseau de fractures n'est plus suffisant. Une nappe apparaît alors, initialement localisée dans ces fractures (généralement remplies de matériau très sableux blanchi). La date d'apparition de la nappe est très variable selon les sols, entre le 15 juin et la fin du mois de juillet. La durée pendant laquelle cette nappe se maintient varie également. Il semble que dans les sols ferrugineux tropicaux bien différenciés elle subsiste pendant toute la saison des pluies, alors que dans les sols peu évolués elle ne se maintient que quelques heures ou quelques jours après chaque grosse pluie. Sa base est toujours constituée par l'arène ou les horizons argileux, comme l'ont prouvé les sondages à la tarière et l'ouverture de nouvelles fosses : en opérant rapidement, on constate toujours

que les horizons situés à la base de la nappe sont frais à humide, mais jamais saturés (humectation lente, mais pas d'eau saturante). Par contre, les fissures de l'arène sont toujours très humides et fréquemment saturées, des voies de circulation rapides existant à ce niveau (écoulement sous pression le long des parois de la fosse à l'ouverture). Le toit de la nappe n'est pas conforme à la surface topographique, mais semble déterminé par les caractères pédologiques. Début septembre, après quelques jours sans pluies, il est généralement situé vers 50 cm (Fig. 5). Mais juste après les pluies, il peut atteindre la surface, où il ne reste que quelques heures (l'existence des nappes est attestée par le remplissage rapide des fosses après vidange).

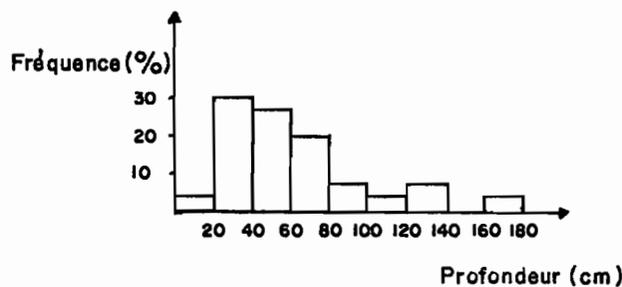


Fig 5 : Profondeur de la nappe
debut Septembre 1981 (30 observations)

La circulation de ces nappes n'est pas connue. En particulier les parts respectives de l'infiltration profonde et des circulations latérales sont totalement ignorées. Nous ne disposons que de quelques informations :

- la circulation latérale existe : aux ruptures de pente, l'apparition de la roche peu ou pas altérée correspond très fréquemment à des suintements importants qui durent pendant tout le coeur de la saison des pluies.
- l'infiltration profonde existe : lors du creusement des fosses en saison des pluies l'eau qui circule dans les fissures de l'arène remplit rapidement la fosse. D'autre part les puits présentent des suintements importants sur leurs parois, qui se prolongent en profondeur.
- des blocages latéraux doivent exister : très généralement la nappe se développe dans des horizons à macro-porosité élevée (horizons fortement gravillonnaires ou sableux) dans lesquels les circulations sont très rapides comme l'attestent, d'une part la vitesse à laquelle se remplissent les fosses (souvent plusieurs centaines de litres à l'heure), d'autre part la diminution du niveau d'eau lors d'un apport d'eau supplémentaire (5,5 cm/h après un apport de 10 cm d'eau). La présence prolongée d'une nappe dans certains sols ne peut donc se concevoir qu'avec un blocage latéral de la circulation, ce qui est rendu possible par l'hétérogénéité géologique, l'évolution pédologique ne semblant pas pouvoir être invoquée, les matériaux d'éluviation étant exportés du paysage.

- la circulation doit s'effectuer principalement par des voies privilégiées : après vidange des fosses, l'arrivée d'eau est localisée principalement à quelques points seulement du profil (souvent de l'ordre de 3 ou 4). Ces points sont généralement en contact avec l'arène (principalement les fissures) et quelques gros pores des horizons gravillonnaires. Il faut noter toutefois que la méthode d'observation utilisée perturbe la circulation naturelle de la nappe et en particulier que les voies de circulation proches du toit ne peuvent apparaître avec cette méthode.

Les eaux des nappes sont chargées de particules en suspension (généralement entre 0,2 et 0,8 g/l). Le teneur ne semble guère varier au sein d'une nappe au cours de la saison des pluies. Par contre les éléments dissous sont peu abondants (résistivité comprise entre 20 000 et 50 000 ohm. cm) et semblent décroître avec l'avancement de la saison des pluies. Le pH (Fig. 6) est généralement compris entre 5,6 et 6,8 (médiane 6,2).

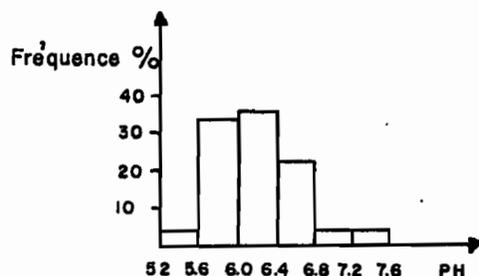


Fig 6 : PH des eaux des nappes superficielles du socle (36 échantillons)

3° Phase : tarissement de la nappe

Comme pour l'apparition de la nappe, la date du tarissement est variable selon les sols, généralement situé entre le 15 septembre et la fin du mois d'octobre. Cependant, dès le début du mois d'octobre, l'épaisseur de la nappe est généralement très faible (moins de 10 cm). Les sols peu épais tarissent les premiers et ce sont les fissures de l'arène qui restent saturées le plus longtemps.

2.1.1.2 Formations éruptives basiques

- Les sols

Les roches basiques sont peu répandues dans le Nord-Togo (environ 15 % de la surface). Elles se présentent sous forme de taches de quelques hectares ou de bandes allongées suivant les directions tectoniques. Beaucoup plus altérables que les roches granito-gneissiques, elles produisent rapidement des argiles d'altération. Selon des facteurs qui restent à déterminer (part respective de la géologie et de la topographie ?), les sols évoluent selon deux directions différentes :

- le plus souvent apparaissent des argiles gonflantes, qui déterminent généralement des faces de glissement et qui peuvent former des horizons de plusieurs décimètres d'épaisseur. Cette évolution conduit à la différenciation de quatre types principaux de sols (Fig. 7) :
- = Sols peu évolués vertiques : l'argile gonflante affleure, avec une division marquée de la structure en surface pendant la saison sèche, se prolongeant en profondeur par quelques fentes. Ces sols sont fréquents dans les zones d'érosion.
- = Vertisols : les sols peu évolués vertiques passent latéralement très rapidement à des vertisols typiques (structure grossière prismatique, faces de glissement en profondeur, présence de poutres calcaires et/ou de concrétions ferrugineuses en "plombs de chasse"...).
- = Sols peu évolués sableux : parfois l'horizon à argiles gonflantes est recouvert d'un horizon sableux sans éléments grossiers (hormis quelques concrétions ferrugineuses). L'horizon sableux est blanchi au moins à la base et présente des taches d'hydromorphie.
- = Sols ferrugineux tropicaux modaux : les horizons sableux de surface passent à un matériau plus argileux en profondeur marqué par des taches d'hydromorphie. Une stone-line de cailloux de quartz, parfois mêlés de concrétions ferrugineuses, est souvent située au contact des horizons argileux.

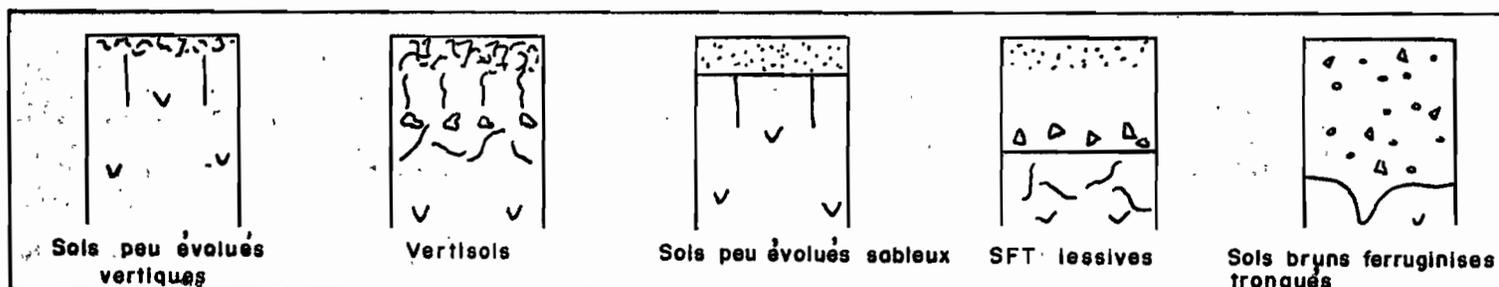


Fig 7 : Représentation schématique des sols à arène proche de la surface sur roches basiques

- une autre évolution est rare et très localisée : à partir de la roche altérée (altérite meuble jaune à verdâtre) se différencie progressivement un matériau rouge à structure polyédrique fine très marquée qui se maintient jusqu'en surface. Ce matériau renferme généralement d'assez nombreuses concrétions et des cailloux et graviers de quartz jusqu'en surface (sols bruns ferruginisés tronqués).

- Le régime hydrique

- sols à argiles gonflantes : en début de saison des pluies les fentes et les fissures des niveaux argileux s'humectent, ce qui produit le gonflement des argiles et une imperméabilisation totale du matériau.

Même dans les horizons superficiels où la structure semble bien fragmentée en saison sèche, les premières pluies produisent une prise en masse et un glaçage de la surface qui limite considérablement la pénétration de l'eau dans le sol. Ce mécanisme a également été observé sous pluie simulée dans les régions plus sèches (VALENTIN, 1981). Au cours de la saison des pluies les horizons à argiles gonflantes deviennent humides au sommet, frais à humides à la base, l'altérite sous-jacente restant elle-même fraîche à humide. Lors du creusement des fosses en saison des pluies ces horizons ne contiennent jamais d'eau libre. Mais si les horizons à argiles gonflantes sont surmontés d'un matériau différent, une nappe s'établit à ce niveau (vers 30 cm), qui détermine fréquemment l'apparition d'un micro-horizon très blanchi au contact et des sables déliés dans les fentes du matériau argileux.

Dans les sols peu évolués vertiques et dans les vertisols aucune nappe n'apparaît, alors que dans les sols peu évolués sableux et les sols ferrugineux tropicaux modaux une nappe se développe, avec un mécanisme semblable à celui des sols sur roches granito-gneissiques, mais sans transfert en profondeur.

Les nappes sur matériau à argiles gonflantes semblent comporter autant de matières en suspension que les précédentes, mais plus de matières en solution (résistivité de l'ordre de 6 000 ohm. cm).

- sols bruns eutrophes ferruginisés : dans ces sols l'altération de la roche n'a pas produit d'horizons argileux compacts et le passage des horizons superficiels (à structure très fragmentée) à l'altérite est progressif. Les quelques observations réalisées sur ces sols peu répandus montrent qu'il n'apparaît pas d'engorgement dans les deux mètres superficiels, sans que la dynamique puisse être mieux précisée.

2.1.2 Sols à altération ferrallitique en profondeur (altérations anciennes)

- Les sols

Dans ces sols, le matériau situé à la base des profils est typiquement ferrallitique :

- couleur rouge dominante, avec souvent des taches blanches
- pas d'argiles gonflantes
- structure peu marquée
- minéraux primaires altérés, sauf les quartz et éventuellement les muscovites
- structure de la roche non reconnaissable.

Ce matériau est dépourvu de concrétions dans le Nord-Togo.

Les sols à altération ferrallitique sont principalement situés sur les sommets de forme, en particulier sur la ligne de partage des eaux allant de Dapaong à Cinkassé, mais apparaissent également par endroits sur les versants sans justification géomorphologique apparente. Leur

position géomorphologique a par contre déterminé leur évolution dans trois directions différentes (Fig. 8) :

- les sols minéraux bruts et les sols peu évolués sur cuirasse : sur les quelques témoins cuirassés qui dominent le paysage (principalement sur l'axe Dapaong-Cinkassé, mais également vers Pogno et Kpondjaga) subsistent des sols gravillonnaires squelettiques juxtaposés à des affleurements de cuirasse.
- les sols ferrallitiques rajeunis : sur les pentes de raccord entre les plateaux cuirassés et les versants se trouvent des sols très homogènes dont l'organisation est remarquablement constante. Sous un horizon superficiel généralement remanié (pente forte) se trouve un matériau ferrallitique typique, meuble, qui se prolonge en profondeur sans succession d'horizons bien marquée. L'altérite, également ferrallitique, apparaît progressivement à la base.
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris (à concrétions ou indurés) : ces sols sont situés sur les versants et sur les croupes. Leur organisation est semblable à celle des sols ferrugineux tropicaux à arène proche de la surface, mais la présence d'horizons vidés est moins nette (nombre d'observations limité).

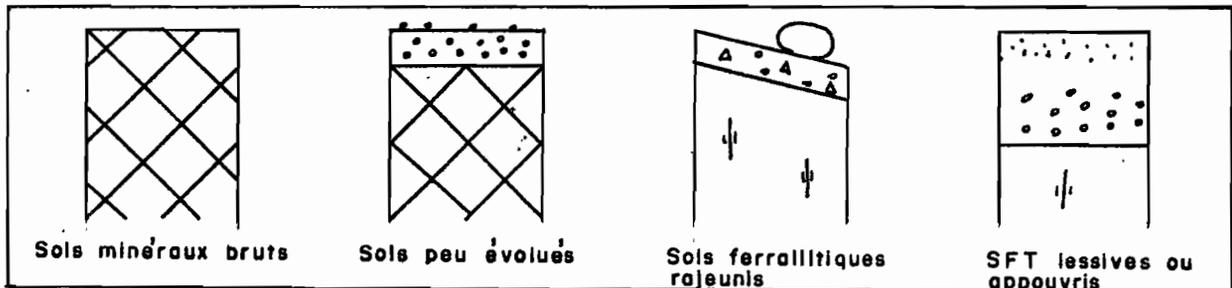


Fig 8 Représentation schématique des sols à alteration ferrallitique en profondeur (socle)

- Le régime hydrique

- sols minéraux bruts et sols peu évolués sur cuirasse : l'eau parvenant sur les plateaux cuirassés ruisselle. Elle est, ou bien évacuée sur les versants, ou bien accumulée dans de petites dépressions où se créent de minces sols hydromorphes, ou bien encore elle s'infiltré dans les fissures de la dalle cuirassée où la nature de l'altération permet son transfert en profondeur (jusqu'à 20 m parfois). La part respective de chaque phénomène est difficile à évaluer.
- sols ferrallitiques rajeunis : l'eau pénètre difficilement dans ces sols situés sur des pentes généralement fortes. Les déterminations de profils hydriques échelonnés dans le temps montrent en effet que pendant toute la saison des pluies l'humidité des horizons profonds reste très inférieure à celle de la capacité au champ. Mais l'eau qui pénètre chemine sans obstacle dans ce matériau ferrallitique qui se prolonge plusieurs mètres en profondeur (structichron passant à altérite, CHATELIN et MARTIN, 1972).

- sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris : contrairement aux altérations récentes, les matériaux ferrallitiques ne constituent pas par eux-mêmes un obstacle à l'infiltration de l'eau. Au cours de la saison des pluies aucune nappe n'apparaît à leur partie supérieure, et eux-mêmes restent généralement bien drainés, même lorsqu'ils présentent les traînées blanches des réticrons (hydromorphie ancienne ?). Lorsqu'une nappe se manifeste, c'est au sein même du matériau d'altération ferrallitique, donc en profondeur, et sa circulation est rapide. Les quantités de matière en suspension et en solution semblent voisines de celles des sols ferrugineux tropicaux sur altérations récentes.

2.1.3 Conclusion

L'eau pénètre difficilement dans les altérations récentes. Dans le cas des roches granito-gneissiques, un transfert en profondeur existe, par les fissures de l'arène, mais il est généralement insuffisant pour empêcher la formation d'une nappe temporaire. Sur les roches basiques (sols bruns eutrophes exceptés), les argiles gonflantes résultant de l'altération forment un niveau imperméable qui bloque la pénétration de l'eau peu de temps après le début de la saison des pluies. Là où les horizons à argiles gonflantes atteignent la surface (sols peu évolués vertiques et vertisols) l'eau ne pénètre que très peu dans le sol. Là où ils sont situés plus profondément (sols ferrugineux tropicaux modaux) ils provoquent la création d'une nappe comparable à celle observée sur roches granito-gneissiques. Bien que la dynamique de ces nappes ne soit pas connue, leur influence sur l'évolution des sols doit être considérable, plus par les quantités de matières transportées en suspension (0,1 à 0,5 g/l) que par les matières transportées en solution (résistivité de 20 000 à 50 000 ohm. cm).

La couverture ancienne ferrallitique, par contre, permet le transfert de l'eau en profondeur et il est rare d'observer un engorgement dans ce type de sols, même lorsque le matériau présente des taches interprétées généralement comme un signe d'hydromorphie. Lorsqu'il apparaît, c'est généralement au sein du matériau ferrallitique lui-même et les caractéristiques de l'eau semblent voisines de celles des nappes apparaissant sur altérations récentes.

2.2. Les nappes profondes

Les puits traditionnels (Fig. 9) sont profonds de 5 à 10 mètres, profondeur à laquelle la roche saine est généralement atteinte. Ces puits sont bien pourvus en saison des pluies, mais la moitié tarissent en saison sèche. Lors du creusement des puits FED il a été constaté (BURGEAP, 1978) que "la nappe est située dans les niveaux fissurés de la roche peu ou pas altérée, les horizons les plus productifs étant à la base" (située en moyenne à 17 mètres), ce qui a été confirmé depuis par le géologue du BRGM qui implantait les forages : "le socle est généralement fissurée entre 13 et 25 mètres" (information orale). Cette première nappe, atteinte généralement à moins de vingt mètres de

profondeur, a un débit important (3 m³/h en moyenne dans des puits de 1,2 m de diamètre, mesuré au pompage).

Les forages, qui atteignent 40 à 60 mètres de profondeur, recoupent généralement un autre niveau aquifères avant 40 mètres. Le débit mesuré au soufflage est très variable ; souvent compris entre 1 et 3 m³/h, il atteint parfois 30 à 40 m³/h, mais le débit réel est généralement bien moindre.

Les eaux de forage ne comportent aucune matière en suspension. Leur charge minérale, peu élevée (résistivité comprise entre 2000 et 8000 ohm. cm, moyenne à 3000, cf. Fig. 10) varie peu au cours de la saison des pluies (en général moins de 10 %). Une légère augmentation est nette en septembre ; elle pourrait provenir de la recharge par les eaux de surface. Par comparaison avec les grès, où la recharge est généralement plus nette (cf. 3.2) et en remarquant que dans le seul forage utilisé intensivement (Dapaong) la résistivité varie de 30 %, on peut penser que les eaux profondes circulent naturellement lentement et que les eaux pluviales à forte résistivité parvenant au sommet de la nappe ne se mélangent que très progressivement aux eaux préexistantes et que seul le pompage crée une circulation suffisante pour assurer le mélange. Il semble donc que le suivi de la résistivité ne permette pas de comprendre les phénomènes de recharge en conditions naturelles. Les résistivités mesurées dans les puits au sommet de la même nappe (BURGEAP), sont du même ordre de grandeur (1000 à 5000 ohm. cm).

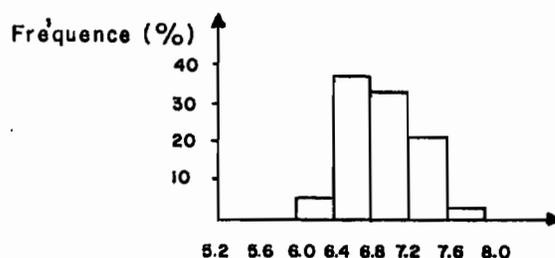


Fig II : PH des eaux de Forage sur le socle
(42 échantillons)

Le pH (Fig. 11) est un peu plus élevé que celui des eaux de surface (moyenne 6,8), ce qui rend compte de la minéralisation plus importante, mais les valeurs de pH doivent être interprétées avec prudence étant donné le temps qui a séparé le prélèvement de la mesure. Les différences observées avec les mesures réalisées par le BURGEAP (valeurs comprises entre 7,0 et 8,5) sont probablement dues à un stockage prolongé.

Les nappes du socle sont donc constituées d'un réseau de fractures dont la recharge est assurée en partie par la nappe perchée qui s'établit dans certains sols au cours de la saison des pluies (Fig. 12). Il est probable que le lit des cours d'eaux soit également un point privilégié de recharge de la nappe.

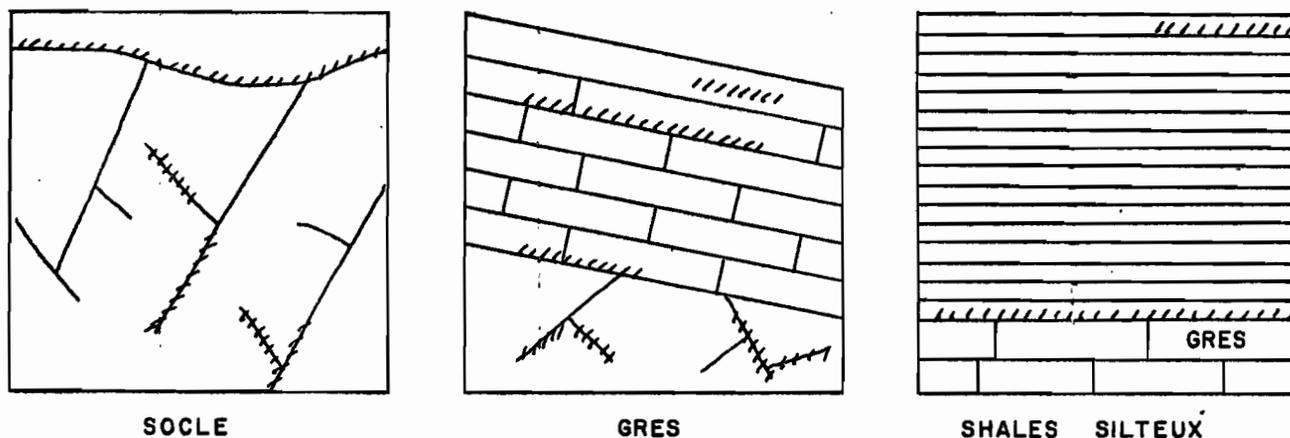


Fig 12 : Les differents types de niveaux aquifères

III - LES GRES

3.1 Les sols et leur régime hydrique

Les sols développés sur grès se rattachent à trois grands types qui présentent une organisation très constante (Fig. 13).

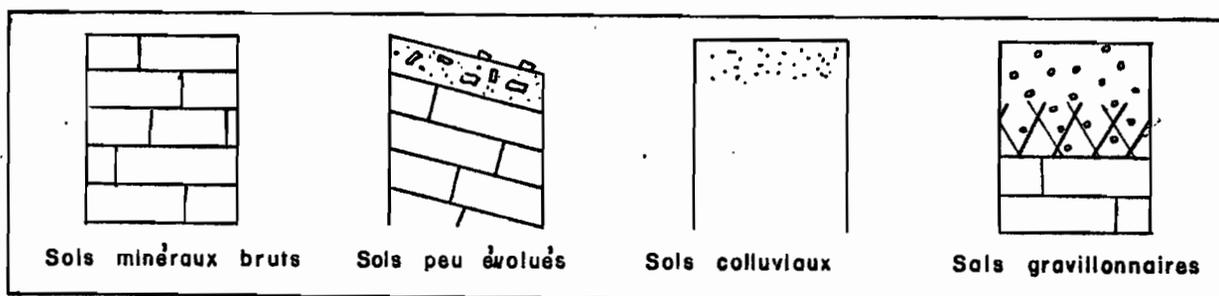


Fig 13 : Représentation schématique des sols sur grès

3.1.1 Sols peu évolués

Ces sols peu profonds et peu argileux comportent une charge importante en éléments grossiers. Le passage au grès est brutal. Ils sont localisés sur les pentes les plus fortes, fréquemment en alternance avec des affleurements.

Les sols peu évolués ne sont jamais engorgés. L'eau pénètre, souvent en totalité, entre les plaquettes de grès.

3.1.2 Sols colluviaux

Ces sols, sur lesquels sont installés la plupart des villages, sont d'origine colluviale (présence de cailloux de grès non altérés dans le profil, passage brutal à la roche, parfois ligne de gravillons au contact du grès). Leur organisation est remarquablement constante : sur une épaisseur qui dépasse fréquemment deux mètres, le sol est composé d'un matériau qui est sableux au sommet sur quelques décimètres et devient progressivement plus argileux à la base. Ce matériau, de couleur ocre, ne comporte généralement pas d'éléments grossiers.

Très généralement les sols colluviaux ne sont pas engorgés quelle que soit la pente, même lorsque le matériau comporte des taches plus rouges et plus jaunes suggérant une hydromorphie. Toutefois il arrive parfois qu'une nappe perchée éphémère se crée à moyenne profondeur (vers 1 mètre) dans certains sols. Cette nappe s'établit après les plus grosses pluies et disparaît en quelques jours. Sa base correspond à une augmentation du taux d'argile dans le profil, mais elle ne s'accompagne pas des différenciations morphologiques observées sur le socle. Les sondages à la tarière ont montré que la base du profil n'était jamais engorgée.

3.1.3 Sols gravillonnaires (parfois tronqués)

Les sols gravillonnaires sont peu répandus. De texture assez sableuse, ils reposent à la base, soit sur la dalle de grès, soit sur une cuirasse elle-même au contact direct du grès non altéré. Ils sont fréquemment tronqués.

Ces sols ne sont jamais saturés, si l'on excepte un léger suintement qui apparaît parfois à la base, au contact du grès ou de la cuirasse.

3.2 Les nappes profondes

Sur les grès, les nappes pouvant être atteintes par des puits sont rares. Cependant, lorsqu'elles existent, elles sont assez proches de la surface (5 à 8 mètres), tarissent rarement et présentent un bon débit (2,3 m³/h au pompage en moyenne dans les puits FED).

Lors du creusement des forages (6 observations), la première venue d'eau est située à une profondeur variable (25 à 60 mètres) et la superposition de plusieurs aquifères est moins fréquente que sur le socle. Cependant, même si l'eau n'est pas atteinte plus haut, il semble que le contact entre les grès et le socle constitue un niveau aquifère, soit juste au contact, soit dans les fractures du socle situées au-dessous. Le débit est généralement compris entre 1 et 3 m³/h (au soufflage).

Dans quatre cas sur six (Fig. 10) la recharge de la nappe est très nette au mois d'août, ce qui s'explique par des circulations rapides entre les bancs de grès. La résistivité, comprise entre 2000 et 4000 ohm. cm en fin de saison sèche, peut alors monter à 25 000 (soit une

valeur égale à celle des nappes superficielles), ce qui risque de poser des problèmes de qualité des eaux. Le pH est compris entre 5,8 et 7,4, les valeurs les plus faibles étant atteintes lors de la recharge.

IV - LES SILEXITES

Les silexites forment un petit ressaut festonné depuis la frontière ghanéenne (Nayargou) jusqu'à Borgou. Leur extension est faible (affleurements d'une centaine de mètres en général), mais elles constituent un niveau repère particulièrement net. Au sommet du ressaut se trouvent des sols cuirassés (Fig. 14), gravillonnaires en surface, qui passent latéralement à des sols comparables sur shales silteux (cf. 5.1.3) Sur le versant, les sols sont squelettiques, avec de nombreuses plaquettes de silexite dans et à la surface du sol, la roche en place apparaissant dès quelques décimètres, ce qui les rend impropres à toute culture, même traditionnelle.

Les sols cuirassés connaissent un engorgement temporaire (cf. 5.1.3) au cours de la saison des pluies, mais une partie de l'eau pénètre dans la silexite, ce qui produit des suintements sur les versants, où les sols squelettiques sont très humides pendant plusieurs mois. Dès la fin de la saison des pluies, par contre, les sols des versants s'assèchent très vite (80 % en volume d'éléments grossiers) et le pédoclimat reste alors particulièrement sec pendant plus de six mois.

Les silexites semblent constituer une zone favorable au creusement des puits : les quatre puits creusés par le FED dans cette formation ont donné de bons résultats, l'eau restant stockée entre les plaquettes de silexite. Un seul forage a été réalisé (par le BNRM à Galangashi en décembre 82) dans cette formation, le niveau aquifère étant atteint à 65 mètres de profondeur, avec un faible écoulement artésien. Il est donc probable que les silexites constituent un terrain favorable, les nappes superficielles s'ajoutant à celles des grès qu'elles surmontent.

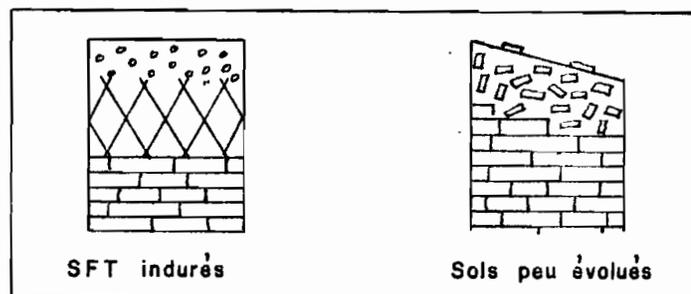


Fig 14 : Représentation schématique des sols sur silexites

V - LES SHALES SILTEUX

Les shales silteux du Nord Togo sont des roches sédimentaires fortement litées composées principalement d'argiles, mais également de très fins grains de quartz (silt : 3,9 à 62,5 micromètre).

Deux niveaux sont à l'affleurement dans le Nord-Togo. Le premier, le plus ancien, est intercalé entre deux niveaux gréseux et forme une dépression de 50 kilomètres de long sur 1 à 2 kilomètres de large dans laquelle est située la Fosse aux Lions (Nano, Pana bas, Kankanpieni).

Le deuxième, qui repose sur les silexites, s'étend de part et d'autre du fleuve Oti sur une bande large de cinquante kilomètres environ. Il comporte quelques passées gréseuses qui peuvent constituer des niveaux aquifères.

5.1 Les sols et leur régime hydrique

5.1.1 Sols minéraux bruts

Lorsque les shales sont amenés à l'affleurement, ils se désagrègent entièrement et forment un glaçage superficiel interdisant toute pénétration de l'eau dans le sol (Fig. 15).

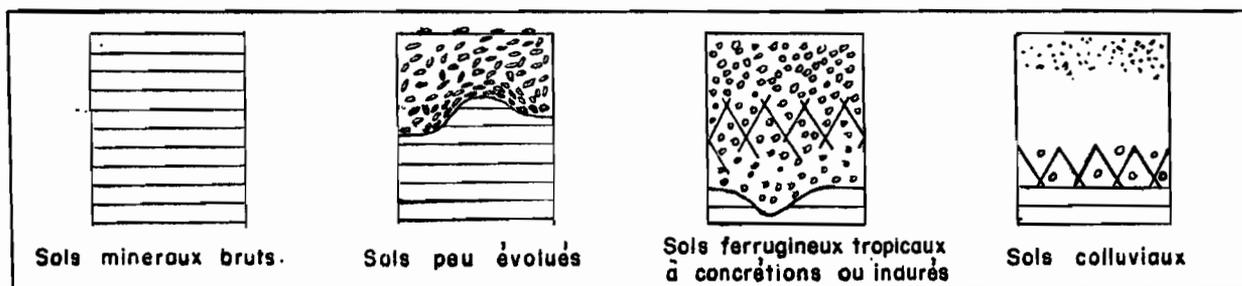


Fig 15 : Représentation schématique des sols sur shales silteux

5.1.2 Sols peu évolués

Si l'érosion est moins sévère, des sols peu épais (30 à 50cm) ont pu se développer. Ils sont situés sur les versants des entailles en pente faible (1 à 2 %) créées par les affluents de l'Oti. Ils comportent une forte charge en éléments grossiers (60 à 80 % en volume) : ce sont de petites plaquettes de shales plus ou moins imprégnées d'oxydes de fer et dont la coalescence peut former des ébauches de carapace. Au sommet du profil, ces plaquettes sont emballées dans une matrice limoneuse, de couleur brune lorsque l'hydromorphie n'est pas trop prononcée, et de structure grumeleuse très nette, laquelle disparaît rapidement à la mise en culture. A la base, par contre, les plaquettes sont au contact, sont

recouvertes d'une mince pellicule blanche, et forment un horizon d'éluviation souvent typique. De plus, au contact des shales en place, les lits de plaquettes épousent la forme de la roche-mère, suggérant un soutirage par la base du profil.

En effet, au cours de la saison des pluies, ces sols renferment une nappe épidermique qui s'établit au contact des shales. Elle est peu chargée (l'eau est claire), mais sa circulation est rapide (de l'ordre de 1 m/h, mesuré par injection de sel) et elle lessive le sol tout en dégradant les shales situés à la base. Elle se crée, non seulement à la suite des précipitations naturelles, mais également par vidange des nappes contenues dans les sols gravillonnaires et indurés situés à l'amont: le long des pistes, en effet, les ruissellements au contact de l'argilite se prolongent plusieurs jours après les pluies, en contrebas des sols gravillonnaires et indurés.

Il est rare que la nappe remonte jusqu'à la surface du sol et les cultures sur billons restent possibles.

5.1.3 Sols ferrugineux tropicaux

La plus grande partie des shales est recouverte de sols gravillonnaires ou indurés classés en sols ferrugineux tropicaux. Les shales non altérés apparaissent généralement avant deux mètres de profondeur. Ils sont surmontés d'un puissant horizon gravillonnaire fréquemment induré, qui se prolonge généralement jusqu'à moins de dix centimètres de la surface, l'horizon superficiel sans éléments grossiers restant extrêmement limité. Les horizons gravillonnaires ou indurés sont particulièrement pauvres en terre fine, le taux volumique d'éléments grossiers étant estimé à 80 % en moyenne. Ces propriétés physiques défavorables expliquent la faible utilisation traditionnelle des sols gravillonnaires sur shales. Un horizon d'éluviation blanchi d'épaisseur variable, dans lequel la terre fine est pratiquement inexistante, se trouve très souvent au contact de la roche-mère.

Dans ces sols également, une nappe se crée au contact des shales au cours de la saison des pluies. Elle remonte plus ou moins haut dans le profil selon la pente de la roche-mère et l'intensité des précipitations, mais elle atteint rarement la surface. Comme sur le socle, elle ne contient que peu de matière en solution (résistivité de l'ordre de 20 000 ohm.cm), mais une charge en suspension supérieure à celle des nappes des sols peu évolués. Les vitesses de circulation sont plus faibles que dans les sols peu évolués car les pentes sont plus douces. Les entraînements de matière, encore difficiles à chiffrer, conduisent à un appauvrissement poussé des sols, les particules en suspension étant exportées du paysage par les axes de drainage, sans dépôt dans les sols de bas de pente.

5.1.4 Sols colluviaux

Dans la région de la Fosse aux Lions, les shales sont situés en contrebas des grès. Un apport colluvial de matériau issu des grès est donc très fréquent (LAMOUREUX, 1961), l'épaisseur de cet apport pouvant atteindre plusieurs mètres. Lorsqu'il a été atteint, le passage aux shales s'effectue toujours par l'intermédiaire d'un niveau induré.

Ces sols sont morphologiquement identiques aux sols colluviaux sur grès et leur fonctionnement hydrique est semblable (drainage profond assuré, sauf éventuellement pendant quelques jours après les plus grosses pluies) lorsque le recouvrement est épais. Mais, à la base, le niveau de shales bloque la pénétration de l'eau en profondeur, ce qui provoque la formation d'une nappe responsable du niveau induré. C'est cette nappe qui est utilisée pour les puits traditionnels.

5.2 Les nappes profondes

Le résultat du creusement des puits sur les shales est aléatoire et les échecs sont fréquents. Bien que les puits atteignent jusqu'à 16 mètres de profondeur (fig. 9) le débit reste faible (300 l/h au pompage en moyenne pour les puits FED) et la moitié tarissent en saison sèche. Le débit est plus élevé en fin de saison des pluies, tant que les horizons indurés à forte perméabilité contribuent à l'alimentation, mais cet apport tarit rapidement.

Les forages ne donnent guère de meilleurs résultats et il est fréquent d'atteindre 100 mètres sans trouver d'eau. Dans la Fosse aux Lions, ce n'est que lorsque le grès sous-jacent a pu être atteint que des venues d'eau importantes ont été observées. Ce contact, qui semble généralement aquifère, s'enfonce rapidement en profondeur vers le sud : à Nano il apparaît à 60 mètres, mais à Goundoga, situé 5 kilomètres au Sud-Est, un forage de 112 mètres n'a pas suffi à l'atteindre. Les forages situés dans la partie Nord de la Fosse aux Lions donneront donc certainement les meilleurs résultats. La charge minérale dissoute est assez élevée pour des eaux profondes (résistivité de 1500 à 2500 ohm.cm), avec un pH compris entre 6,6 et 7,6. Ce pH augmente considérablement au stockage, pour atteindre 8, voire 9 (probablement dégazage du CO₂).

Dans les shales proches de l'Oti, des forages à plus de 100 mètres de profondeur sont restés improductifs. L'absence de niveaux aquifères s'explique par l'imperméabilité et la faible macro-porosité des shales. C'est pourquoi les forages n'ont quelques chances de succès que si des intercalations gréseuses peuvent être traversées.

Il semble donc que, sur les shales, la solution au problème de l'eau passe par la construction de petits barrages comme celui du projet Namiélé, avec les problèmes d'hygiène que cela comporte. En effet, les shales forment généralement un niveau imperméable à la base des retenues, ainsi qu'en témoigne la persistance des mares dans les carrières utilisées pour la construction de la route. Bien que la réussite ne soit pas toujours assurée, une interprétation des échecs devrait permettre rapidement une

implantation sûre des sites. Il est évident que tout barrage nécessite le décapage préalable des sols jusqu'à la roche-mère au niveau de la digue, afin de supprimer les niveaux gravillonnaires très perméables.

VI - LES ALLUVIONS ANCIENNES

6.1 Les sols et leur régime hydrique

Une phase humide du quaternaire a provoqué le dépôt d'alluvions anciennes dans tout le lit majeur de l'Oti (VIEILLEFON et al., 1965). Ces alluvions reposent sur les shales, au-dessus d'un mince lit de galets. Elles ont une épaisseur de l'ordre de quelques mètres et forment des lentilles qui ne dépassent que fort peu le niveau de la plaine. Originellement, elles avaient une composition argilo-sableuse assez homogène (argiles de type kaolinitique), sans éléments grossiers. L'évolution pédologique a provoqué deux types de différenciation :

- sur les bordures des lentilles s'étendent largement des carapaces qui sont fréquemment sub-affleurantes à la périphérie, alors que le centre a conservé des sols meubles et profonds.
- sur l'ensemble de la zone, les sols ont été lessivés sur près de 50 centimètres, en partie certainement à la suite de la mise en culture intensive, les textures étant actuellement très sableuses.

Les sols des lentilles d'alluvions anciennes peuvent donc être schématisés par deux types principaux (Fig. 16) :

- au centre se trouvent des sols profonds (plus de deux mètres) sans éléments grossiers, sableux en surface, argilo-sableux en profondeur. Ces sols sont très proches des sols colluviaux issus des grès.
- autour des précédents s'étendent les sols indurés. L'induration est d'abord profonde, puis elle se rapproche de la surface et les caractères d'hydromorphie s'accroissent de plus en plus haut dans le profil.

Cette différenciation est strictement liée au régime hydrique des sols. Les sols profonds ne connaissent qu'un engorgement limité aux plus grosses pluies. Il se produit vers 1 mètre de profondeur et ne dure que quelques jours. Le régime hydrique est donc très voisin de celui des sols colluviaux sur grès. A la base de la couverture alluviale, souvent à plusieurs mètres de profondeur, le drainage profond est bloqué par les shales et des nappes apparaissent, utilisées pour les puits, mais elles sont peu importantes, car l'épaisseur d'alluvions retient une bonne partie du flux hydrique (effet tampon). Par contre, sur le pourtour, les shales sont plus proches de la surface et la nappe remonte largement dans le profil, alimentée non seulement par les pluies, mais également par l'écoulement provenant de l'amont, ce qui explique, en liaison avec les faibles pentes, la puissance des indurations.

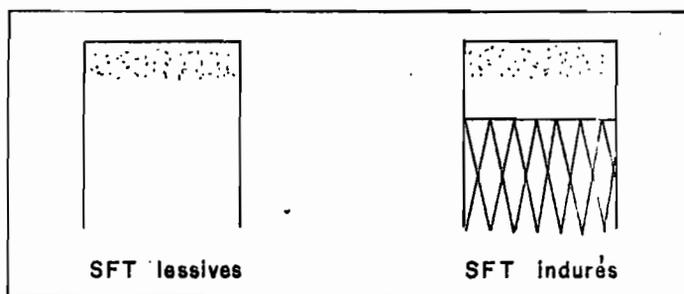


Fig 16 : Représentation schématique des sols sur alluvions anciennes

6.2 Les nappes profondes

Les puits traditionnels exploitent le niveau aquifère situé au contact des shales. Mais, de même que dans le cas des sols colluviaux sur shales de la Fosse aux Lions, le tarissement est très fréquent au cours de la saison sèche. Les forages, qui traversent les alluvions et atteignent les shales, n'ont que peu de chances de succès et les barrages sont de réalisation difficile dans cette zone très plane. Les problèmes d'eau sont donc sévères au cours de la saison sèche dans cette zone agronomiquement intéressante, et l'utilisation de l'eau de l'Oti ne semble pas pouvoir être évitée.

CONCLUSION

Dans le Nord Togo, où les couvertures pédologiques sont généralement peu épaisses, la nature de la roche-mère joue un rôle déterminant dans la différenciation des sols. Le socle calco-alcalin porte les sols les plus diversifiés. A la grande variété pétrographique (des gneiss aux amphibolites) se surimpose une histoire géomorphologique qui a épargné des lambeaux de couverture ferrallitique ancienne. Cette évolution pédologique est liée en partie au régime hydrique des sols et en particulier à l'apparition fréquente de nappes transformantes au contact de l'arène. Sur les grès, les processus d'évolution majeurs de la plupart des sols sont l'érosion et le colluvionnement, qui a repris le matériau d'une évolution pédologique ancienne. Par rapport aux sols du socle, où il est un fait morphologique dominant dans les sols les plus développés, le concrétionnement est rare. Les sols ne connaissent pas d'engorgement durable et l'eau pénètre généralement rapidement dans les niveaux gréseux pour être transmises aux nappes profondes. Sur les silexites, le sommet des versants est fortement cuirassé avec un engorgement de profondeur en saison des pluies, alors que les pentes portent des sols caillouteux peu épais, humides, voire engorgés, en saison des pluies, mais très secs ensuite pendant plusieurs mois. Sur les shales, les plateaux sont principalement constitués de sols très fortement concrétionnés ou indurés, alors que les entailles des affluents de l'Oti portent des sols peu épais. La roche-mère forme un obstacle à la pénétration de l'eau. Des nappes circulantes apparaissent donc dans ces sols au cours de la saison

des pluies, provoquant un appauvrissement poussé des profils. Les alluvions anciennes constituent par contre un matériau perméable et les phénomènes d'engorgement sont uniquement liés à la profondeur d'apparition des shales sous-jacents : lorsque le recouvrement alluvial est épais, les sols sont meubles, profonds et bien drainés, mais lorsqu'il s'amincit l'hydromorphie envahit le profil et produit une induration poussée en profondeur.

Les ressources en eau sont également largement déterminées par la nature de la roche-mère. Sur le socle le magasin des nappes est constitué par le réseau des fissures de la roche. L'importante fracturation conduit généralement à l'apparition de plusieurs niveaux aquifères entre 10 et 40 mètres. Sur les grès également, les ressources en eau sont généralement assurées, mais nécessitent souvent des forages profonds. Lorsqu'aucune venue d'eau n'est observée dans les niveaux gréseux, il est fréquent d'en atteindre une au contact du socle à la base de la série. Les silexites semblent renfermer une nappe qui ne tarit pas en saison sèche et qui peut être atteinte par des puits, mais cette formation n'a été que peu explorée. Sur les shales et les alluvions anciennes, les ressources en eau sont par contre très faibles. Si l'on excepte les nappes de cuirasse, à fort débit mais à tarissement rapide, les niveaux aquifères sont rares, et le succès des forages n'est probable que si des niveaux gréseux peuvent être atteints. La solution au problème de l'eau sur ces substrats géologiques semble donc devoir passer par la réalisation de petits barrages collinaires ou par le pompage dans l'Oti.

Les auteurs sont reconnaissants à Messieurs F.X. HUMBEL et C. VALENTIN pour l'aide apportée à la rédaction de ce texte.

BIBLIOGRAPHIE

- AFFATON (P.), 1973.- Etude géologique et structurale du Nord Ouest Dahomey, du Nord Togo et du Sud-Est de la Haute-Volta. Trav. Lab. Sc. Ter., sér. B, n° 10, 203 p.
- BOULET (R.), 1978.- Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Mém. ORSTOM (Paris) n° 85, 272 p.
- BURGEAP, 1978.- Construction de puits sur financement FED (1036/TO). Rapport final. Min. Mines, éner. et ress. hydro. (Togo), Dir. Hydrau. et Elect., 27 p., 6 ann., multig.
- CHATELIN (Y.) et MARTIN (D.), 1972.- Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM (Paris), sér. Pédol., vol. X, n° 1, pp. 25-43.
- GODONOU (K.S.), 1980.- Le point sur les recherches géologiques et minières dans l'extrême Nord Togo (Nord du 10° parallèle). Rapp. Fin de mission. Rapp. BNRM (Lomé), 46 p., 20 fig., multig.
- ITALCONSULT, 1965.- Inventaire des puits du Togo. Multig.
- LAMOUREUX (M.), 1958.- Etudes pédologiques dans le Nord Togo. I. Le secteur de modernisation de Toaga-Nassablé. II. Reconnaissance dans les cercles de Mango et Dapango. Rapp. ORSTOM (Lomé), 82 p., multig.
- LAMOUREUX (M.), 1961.- Les sols à vocation rizicole du Nord Togo. 2° partie : la Fosse aux Lions. Rapp. ORSTOM (Lomé), 51 p., multig.
- LE COCQ (A.), 1970.- Etude pédo-hydrologique de bassins versants représentatifs et expérimentaux - Tome I. Le Nioufoko à Natjoundi. Carte des sols au 1/50 000. Rapp. ORSTOM (Lomé), 87 p., multig.
- LE COCQ (A.), à paraître.- Notice explicative de la carte pédologique au 1/100 000 de Bassar. Carte des capacités agronomiques des sols. ORSTOM (Paris).
- LEMOINE (J.C.), FAYE, 1969.- Sorad des savanes. Programme d'aménagement. Etude pédologique. BDPA, 63 p. annexes.
- OUEDRAOGO (H.), 1976.- Carte pédologique du bassin versant de l'Oubiaro (Nord Togo). Rapp. ORSTOM (Lomé), 70 p., 9 fig., multig.
- VALENTIN (C.), 1981.- Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez - République du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie de l'eau. Th. 3e cycle, Un. Paris VII, 229 p., multigr.
- VIEILLEFON (J.) et al., 1965.- Etude pédo-hydrologique au Togo. Vol. II : les sols de la région maritime et des savanes - ONU/FAO (Rome) - ORSTOM (Paris), 189 p.