

Les sols et la végétation de la région de Bondoukui (Ouest burkinabé)

**Présentation
générale
et cartographie
préliminaire
par télédétection
satellitaire
(SPOT)**



**Jean-Louis
DEVINEAU
Anne
FOURNIER
Bokar
KALOGA †**

CRSTOM
éditions

Les sols et la végétation de la région de Bondoukui (Ouest burkinabé)

Présentation générale et cartographie préliminaire
par télédétection satellitaire (SPOT)

Jean-Louis DEVINEAU
Anne FOURNIER
Bokar KALOGA †

Éditions de l'Orstom

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Paris, 1997

Photo de couverture : « Défriche dans la région de Bondoukui (ouest du Burkina Faso) », photo Anne FOURNIER.

Maquette de couverture : Marie-Agnès BRAY

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

AVANT-PROPOS

Depuis la fin de l'année 1991, un programme de recherche initié par l'Orstom dans le cadre d'une problématique commune avec le CNRST burkinabé (Centre national de la recherche scientifique et technologique) se déroule sur le site de Bondoukui. Ce programme a pour objet l'étude des *Interrelations entre systèmes écologiques et systèmes agraires dans l'ouest du Burkina Faso*. C'est un programme par essence pluridisciplinaire qui fait appel aux compétences de diverses spécialités : écologie, agronomie, pédologie, hydrologie, ethnologie, pastoralisme, télédétection, etc.

Le site de Bondoukui voit en outre se dérouler des recherches dans le cadre de programmes internationaux comme SALT-PIGB (Savanes à long terme, Programme international géosphère-biosphère) ou le projet CEE 7 ACP RPR 269 *Recherche sur l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest*.

Afin de définir dès le départ le cadre des recherches futures et aussi de répondre aux objectifs fixés par le programme SALT (Savane à long terme) qui recommandait l'établissement de cartographies préliminaires pour chacun de ses sites, une première étude de la région a été effectuée en 1991 à partir de deux images SPOT, l'une de janvier 1989, l'autre de juin 1990.

L'interprétation de l'image satellitaire qui est présentée dans la troisième partie par J.-L. DEVINEAU et B. KALOGA est fondée sur l'exploitation des connaissances déjà acquises sur l'organisation du milieu physique et végétal de la région et sur les processus qui la gouvernent. Deux missions de reconnaissance ont cependant été réalisées, l'une en octobre 1990 par J.-L. DEVINEAU en compagnie de G SERPANTIÉ, agronome à l'Orstom, l'autre en mars 1991 par B. KALOGA en relation avec le BUNASOLS (Bureau national des sols), organisme burkinabé.

Dans la première partie, B. KALOGA fait le point, en fonction des différents niveaux morphologiques, de ces connaissances sur la répartition, les propriétés physico-chimiques et les potentialités culturelles des différents types de sols.

La présentation de la végétation réalisée par J.-L. DEVINEAU et A. FOURNIER, dans la deuxième partie, aborde aussi les caractéristiques générales de la végétation de la zone d'étude. Elle intègre en outre des données floristiques acquises de septembre 1991 à février 1992, lors du sondage de validation de la classification de l'image satellitaire, sondage qui a également permis une caractérisation structurale des peuplements ligneux. Cette présentation ne recherche pas le déterminisme écologique ou anthropique des communautés végétales, ce qui fera l'objet de travaux ultérieurs, mais s'efforce de les définir et de les situer dans un cadre phytogéographique.

L'objectif principal de ce travail est de fournir aux chercheurs ou aux étudiants menant des recherches sur le site les éléments de caractérisation du milieu et un premier niveau de stratification. Il doit pouvoir être une référence utile et accessible pour la présentation générale du milieu qui introduit généralement tout mémoire ou article.

Première partie

LES SOLS

par B. KALOGA

LES FACTEURS DE LA PÉDOGÉNÈSE

1. Localisation géographique (fig. 1)

La zone étudiée est située dans le sud-ouest du Burkina Faso ; elle correspond à la partie sud de la scène SPOT KJ 049-236 et est approximativement limitée par les parallèles 11° 40' et 12° 00' N et les méridiens 3° 40' et 4° 10' W. Elle s'étend de part et d'autre du Mouhoun.

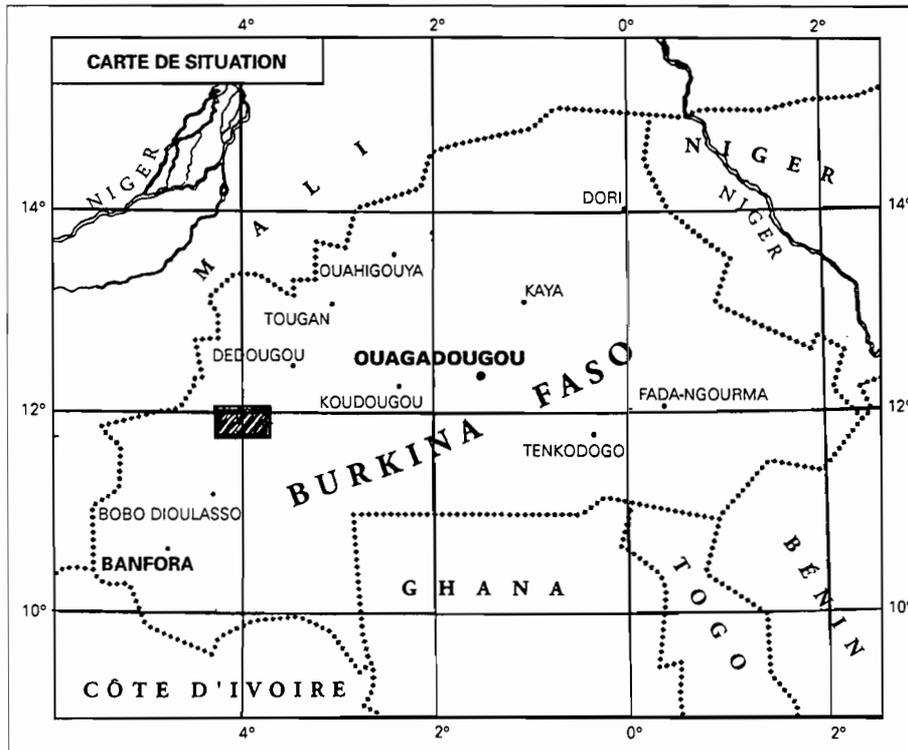


Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

2. Climat

En s'appuyant sur les données pluviométriques de 1966 à 1980 (CIEH, 1989), l'indice des saisons pluviométriques d'AUBRÉVILLE (1949), qui donne, dans l'ordre, le nombre de mois pluvieux (pluviosité > 100 mm), de mois intermédiaires (pluviosité comprise entre 30 mm et 100 mm) et de mois écologiquement secs (pluviosité < 30 mm), est de 5-1-6 à Ouarkoye, 5-2-5 à Solenzo (climat soudano-guinéen d'AUBRÉVILLE, 1949), 4-2-6 à Bondoukui (climat sahélo-soudanais). La pluviosité annuelle est respectivement de 924 mm, 933 mm et 835 mm. Les mois secs vont de novembre à avril, les mois intermédiaires sont octobre ou octobre et avril. Les mois pluvieux vont de mai à septembre avec un maximum en août.

La station climatique à données complètes la plus proche de la zone d'étude est celle de Boromo (11° 40' N, 2° 55' W).

L'humidité relative, faible en saison sèche, notamment en janvier-février (de l'ordre de 25 %), augmente ensuite rapidement avec la pluviosité, pour atteindre 80 % en août. Elle reste à des valeurs assez bonnes en début de saison sèche (de l'ordre de 50 % en novembre).

L'évaporation varie en sens inverse de l'humidité relative. Elle atteint ses valeurs extrêmes en mars-avril (autour de 360 mm) et en août-septembre (autour de 60 mm).

La température moyenne annuelle est élevée tout au long de l'année (autour de 27 °C), avec un maximum (autour de 30 °C) en mars-avril et un minimum (autour de 24 °C) en décembre-janvier et en juillet-août-septembre, les mois les plus pluvieux.

3. Géologie

Le substratum géologique est constitué de formations sédimentaires infracambriennes et paléozoïques (LEPRUN et MOREAU, 1969, d'après les travaux de JONQUET, 1963 ; SAGATZKY, 1950 ; PALAUSI, 1958) et d'alluvions récentes quaternaires.

Ces formations infracambriennes et paléozoïques sont gréseuses et se présentent en bandes grossièrement parallèles, d'âge de plus en plus récent – de l'est vers l'ouest (LEPRUN et MOREAU, 1969 ; BOUSQUET et LEGRAND, 1966-1974).

Sur la rive est du Mouhoun

- *Grès de Sotuba* : ils ne concernent qu'une petite portion du coin sud-est de la zone étudiée.
- *Grès à yeux de quartz* : grès fréquemment grossiers à gros yeux de quartz centimétriques. Ils sont friables ici et donnent naissance, sur matériau d'altération sous cuirasse, à des sols rouges ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux (LEPRUN et MOREAU, 1969).

Au sortir de la bande de grès schisto-dolomitiques pour les grès à yeux de quartz, les ruisseaux présentent de fréquents coudes à angle droit avec des tronçons NE-SW qui témoignent d'un démantèlement total de la cuirasse.

- *Grès schisto-dolomitiques* : grès schisteux et dolomitiques, avec à la base des dolomies gréseuses. La bordure orientale de ces grès est ourlée d'une succession de collines cuirassées du système haut glacis-relief pliocène-surface éocène.

De part et d'autre du Mouhoun

- *Grès roses et fins* : homogènes et fins, toujours compacts et durs, parfois un peu quartzitiques, fréquemment micacés.

Sur la rive ouest du Mouhoun

- *Schistes de Toun* : grès schisteux, ferrugineux, et schistes divers.
- *Grès de Koutiala* : siliceux, hétérogènes, mais avec fréquemment un faciès homogène fin, très friable, parfois recristallisé.

4. Géomorphologie (KALOGA, 1966-1983 ; LEPRUN, 1969)

4.1. LE CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE

Le schéma géomorphologique est celui d'un système de glacis cuirassés polygéniques plus ou moins sévèrement entaillés par le réseau hydrographique, avec une plaine colluvio-alluviale puis alluviale le long des grands axes de drainage (le Mouhoun et ses affluents).

Les reliefs et les glacis cuirassés peuvent être rattachés à quatre grands épisodes morphogénétiques qui sont, selon la terminologie de P. MICHEL (1959, 1969) et J. VOGT (1959) :

- le relief intermédiaire (d'âge estimé pliocène ou plio-quadernaire) : il comporte ici en surface des témoins de la surface éocène qui indiquent un démantèlement récent de celle-ci ;
- les glacis quadernaires : haut glacis, moyen glacis et bas glacis.

4.2. CARACTÉRISATION DES DIFFÉRENTS NIVEAUX

4.2.1. La surface éocène

Les matériaux indurés de la surface éocène sont très fortement allitisés (gibbsite et bœhmite abondantes) avec une quasi-exclusivité de l'hématite par rapport à la goëthite. Ces caractéristiques indiquent une pédogenèse très ferrallitisante pendant une longue période.

4.2.2. Le relief intermédiaire

Tous les auteurs (MICHEL, GAVAUD, BOULET, GRANDIN...) indiquent que les cuirasses de ce niveau reposent sur une épaisse altérite kaolinique.

Le cuirassement des buttes témoins du haut glacis est souvent surimposé dans le profil d'altération pliocène, auquel appartiennent les altérites (GAVAUD, 1967 au Niger ; KALOGA, 1969 et BOULET, 1970 au Burkina Faso ; VOGT, 1968).

L'étude de ce profil d'altération (KALOGA, 1983) montre qu'il est typiquement ferrallitique, mais sans allitisation, et cela dès les écaillies d'altération de la roche massive. Cependant, selon les textures, les structures et les compositions minéralogiques des roches mères, les stades d'altération des différents minéraux constitutifs de ces roches peuvent être étagés en fonction de leur richesse en alcalino-terreux et en fer (apparition d'une étape de phyllites à trois couches, séricite pour les feldspaths, vermiculite pour les amphiboles, tandis que les biotites sont très rapidement oxydées en un faciès dioctaédrique). Ces caractères signalent un pédoclimat nettement moins humide qu'à l'éocène.

Les matériaux indurés du niveau pliocène sont très faiblement allitisés, avec une prédominance de la goëthite à substitution alumineuse plus ou moins importante.

4.2.3. Les niveaux quadernaires (KALOGA, 1986)

Dans les matériaux indurés de ces niveaux, la goëthite (sans substitution alumineuse) est le constituant ferrugineux essentiel.

• Le haut glacis

La localisation et la morphologie des témoins montrent que le cuirassement de ce niveau s'est produit principalement dans la partie supérieure des versants, sur les têtes primitivement accrochées à de hauts reliefs (pliocène).

Les cuirasses ont un faciès conglomératique (elles cimentent des débris hérités du pliocène : nodules, parfois pierres et même blocs) et des caractères de cuirasses de versant : ciment rouge à inclusions jaune-rouge non indurées, altérite ferrallitique sous-jacente rouge à quelques taches blanchâtres. Elles peuvent acquérir ultérieurement un faciès de pseudo-cuirasse de nappe.

L'évolution de ce niveau est surimposée dans le profil pliocène.

• Le moyen glacis

Il constitue l'essentiel du paysage induré. Les niveaux ultérieurs (bas glacis, surface actuelle) y sont emboîtés en un glacis polygénique. Ce cuirassement se développe à son tour sur les pentes du haut glacis et concerne aussi principalement la partie supérieure des versants où il est beaucoup plus puissant.

Il atteint cependant les bas de pente. La descente du fer vers l'aval paraît donc plus accentuée que pour le haut glacis (peut-être à cause de la pente plus faible du glacis, à moins que ce ne soit la conséquence d'une érosion moins efficace).

Comme le haut glacis, l'évolution du moyen glacis est surimposée dans le vieux profil ferrallitique pliocène.

• **Le bas glacis et la surface actuelle**

À l'inverse du moyen glacis, le cuirassement du bas glacis est sporadique et d'intensité faible (carapace). Il est localisé là où des nappes obliques concentraient suffisamment de fer.

La surface actuelle est le résultat d'une dissection du bas glacis suivie d'un colmatage.

4.3. CONCLUSION

Les matériaux constitutifs des niveaux quaternaires sont principalement hérités du vieux profil ferrallitique pliocène. Leurs caractéristiques dépendent donc de la nature de cet héritage et de l'évolution ultérieure de celui-ci.

L'ÉTUDE DES SOLS

1. Les résultats de la carte pédologique de reconnaissance à 1/500 000

LEPRUN et MOREAU (1969) distinguent dans cette région un certain nombre d'unités cartographiques ordonnées de part et d'autre de la Volta noire en bandes longitudinales (fig. 2). En voici un résumé adapté par B. KALOGA.

1.1. LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX À PSEUDOGLEY À TACHES ET CONCRÉTIONS SUR ALLUVIONS À TEXTURES VARIÉES, SOUVENT ARGILEUSES ET SOUVENT INONDABLES (LEPRUN ET MOREAU, 1969, UNITÉ 31 : P. 259-260)

Ils correspondent à la grande plaine alluviale du Mouhoun. Il s'agit donc souvent de sols à hydromorphie de surface d'inondation temporaire et de profondeur (nappe temporaire). Cette unité comprend aussi les levées de berge non inondables (sols à pseudogley de profondeur : nappe temporaire).

La morphologie modale est sur alluvions argileuses. C'est un pseudogley à faciès structuré qui comporte :

- A_{1g} : gris, 10YR 5/2 à petites taches rouille ; argileux ; structure massive ;
0-12 cm
- AB : gris clair, 10YR 7/2, à taches rouille s'agrandissant vers le bas ; argileux ; structure
12-32 cm polyédrique moyenne à grossière, parfois à tendance prismatique bien développée ; cohésion des agrégats forte ;
- B_{21g} : jaune pâle, 2.5Y 7/4, à petites taches rouille, diffuses ; argilo-limoneux ; structure
32-80 cm massive à débit polyédrique ; cohésion forte ;
- B_{22g} : gris clair, 10YR 7/2, à taches rouges irrégulières ; argileux à gravillons ferrugineux ;
80-150 cm structure polyédrique moyenne ; cohésion faible.

Mais les variations par rapport à cette morphologie sont nombreuses : structure en relation avec la texture, la persistance et l'intensité de l'hydromorphie ; texture plus ou moins limoneuse ; ségrégation ferrugineuse sous forme de concrétions...

1.2. LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX À PSEUDOGLEY À TACHES ET CONCRÉTIONS SUR MATÉRIAU LIMONO-ARGILEUX À ARGILEUX, ASSOCIÉS À DES SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ÉROSION SUR MATÉRIAU GRAVILLONNAIRE (LEPRUN ET MOREAU, 1969, UNITÉ 39 : P. 307-309)

Cette unité occupe la plaine à modelé très plat (mauvais drainage) qui succède à la plaine alluviale le long du Mouhoun (fig. 3).

Bien développée de 12° 5' à 12° 25' de latitude nord, elle l'est peu, plus au sud, dans la région qui nous intéresse, et concerne essentiellement la rive droite.

Le modelé est très plat. Les sols gravillonnaires occupent les zones les plus élevées (anciens interfluves cuirassés) ; les sols hydromorphes correspondent aux zones de remblaiement bordant les dépressions.

Le sol hydromorphe modal comporte :

- A_{1g} : gris clair, 10YR 6/1, à petites taches rouille ; limoneux ou sableux très fins ; structure
0-12 cm prismatique large, débit par éclats ;
- B_g : gris clair, 10YR 7/2, à taches rouille plus grandes ; argileux à argilo-limoneux à nom-
10-60 cm breux gravillons ferrugineux par endroits, et à quelques nodules manganiques à la partie supérieure et quelques taches noires manganiques par ailleurs.



Légende

SOLS MINÉRAUX BRUTS
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

- D'ÉROSION**
LITHOLSOLS
- Sur cuirasse ferrugineuse



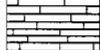
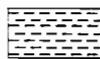
SOLS PEU ÉVOLUÉS
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

- D'ÉROSION**
RÉGIQUES
- Sur matériau gravillonnaire
 - Association à lithosols sur cuirasse ferrugineuse



SOLS HYDROMORPHES
MINÉRAUX

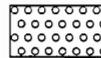
- PEU HUMIFÈRES À PSEUDOGLEY**
À TACHES ET CONCRÉTIONS
- FACIÉS STRUCTURÉ**
Sur matériau alluvionnaire de texture variable souvent argileuse
- FACIÉS MODAL**
Sur matériau limono-argileux à argileux
- Association à sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire



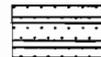
SOLS À SESQUIOXYDES ET À MATIÈRE ORGANIQUE
RAPIDEMENT MINÉRALISÉE

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

- LESSIVÉS OU APPAUVRIS**
À TACHES ET CONCRÉTIONS
- Sur matériau argilo-sableux
- Association à sols ferrallitiques faiblement et moyennement désaturés



- HYDROMORPHES**
Sur matériau argilo-sableux à argileux



- Association à sols hydromorphes à pseudogley à taches et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux



- REMANIÉS**
APPAUVRIS
- Sur matériau gravillonnaire et cuirasse ou altération de schistes
- Association à sols ferrugineux remaniés indurés sur matériau gravillonnaire

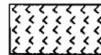


Figure 2. Extrait de la carte pédologique de la Haute-Volta à 1/500 000 (LEPRUN et MOREAU, 1969).

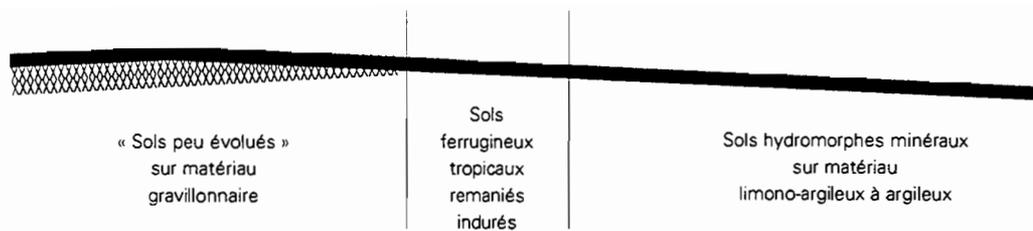


Figure 3. Répartition des sols de l'unité 2.

Les gravillons forment assez souvent un niveau individualisé plus ou moins induré (carapace) à faible profondeur (50 cm), avec des termitières champignons à la surface du sol.

Les sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire sont en fait des lithosols (cuirasse ferrugineuse) à recouvrement squelettique (de l'ordre de 20 cm) gravillonnaire à terre fine limono-argileuse gris-beige (10YR 6/3 à 10YR 5/3).

Le passage aux sols hydromorphes qui se fait par des sols ferrugineux tropicaux remaniés indurés sur matériau gravillonnaire, est le suivant :

- A1 : gris-brun, 10YR 5/3 ; argilo-limoneux à quelques gravillons ferrugineux, à structure 0-10 cm massive, à cohésion faible à moyenne ;
- B1 : brun, 10 YR 5/4 ; argileux à nombreux gravillons ferrugineux, à structure massive, 10-50 cm à cohésion faible ;
- Bg : essentiellement gravillonnaire à taches rouges à centre souvent noir. 50-110 cm

1.3. LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS OU APPAUVRIS À TACHES ET CONCRÉTIONS SUR MATÉRIAU ARGILLO-SABLEUX, ASSOCIÉS À DES SOLS PEU ÉVOLUÉS SUR MATÉRIAU GRAVILLONNAIRE ET DES LITHOSOLS (CUIRASSE FERRUGINEUSE) (LEPRUN ET MOREAU, 1969, UNITÉ 23 : P. 188-196)

Cette unité occupe la même position que l'unité précédente, mais sur la rive gauche du Mouhoun. Le démantèlement des cuirasses est moins poussé que sur la rive droite. Les interfluves, bien que peu étendus, sont bien marqués et portent des sols peu évolués gravillonnaires (lithosols sur cuirasse ferrugineuse à faible recouvrement gravillonnaire) et des cuirasses ferrugineuses affleurantes. Le passage aux sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris se fait par un approfondissement des matériaux gravillonnaires au-dessus de la cuirasse, avec alors individualisation d'un horizon B peu épais (20 cm environ) gravillonnaire à terre fine argileuse (sols peu évolués à faciès ferrugineux tropical selon les auteurs, ils peuvent être considérés comme des sols ferrugineux tropicaux à profil peu développé).

Le sol modal, ferrugineux tropical lessivé ou appauvri, comporte :

- A11 : gris-brun, 10YR 5/3 à 4/3 ; sableux faiblement limoneux ; structure massive ; cohésion moyenne ; 0-16 cm
- A12 : brun, 7.5YR 5/3 ; sablo-argileux ; structure massive à débit polyédrique moyen ; cohésion moyenne à forte ; 16-36 cm
- B1 : rouge-jaune brunâtre, 5YR 5/5 ; sablo-argileux à argilo-sableux ; structure inchangée ; cohésion plus forte ; 36-84 cm
- Bg : gris blanchâtre, 10YR 7 à 8/2 ; identique par ailleurs au précédent, mais avec une cohésion plus forte. 170-210 cm

Ces sols passent en bas de pente à des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes qui se distinguent des précédents par :

- un B_g jaune, 10YR 6.5/6 ; argilo-sableux, à structure massive, à cohésion forte, à marmorisation et taches jaune-rouge mal individualisées dans une matrice blanchâtre ;
- un jaunissement des horizons B sous-jacents, qui passent de 5YR à 7.5YR.

La séquence topographique apparaît dans la figure 4.

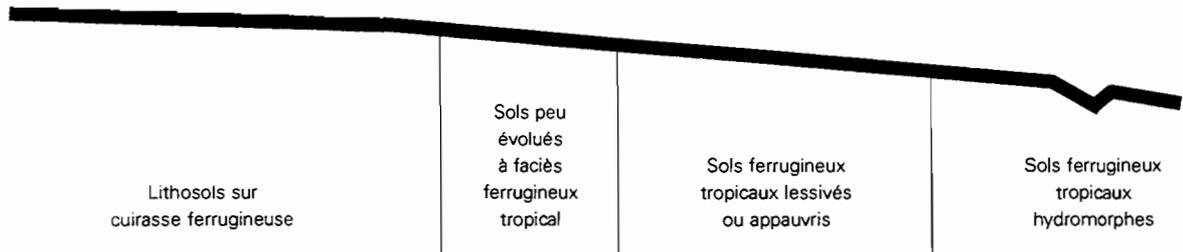


Figure 4. Répartition des sols de l'unité 3.

1.4. LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX HYDROMORPHES SUR MATÉRIAU SABLO-ARGILEUX À ARGILEUX, ASSOCIÉS À DES SOLS HYDROMORPHES À PSEUDOGLEY À TACHES ET CONCRÉTIONS SUR MATÉRIAU LIMONO-ARGILEUX À ARGILEUX (LEPRUN ET MOREAU, 1969, UNITÉ 25 : P. 204-212)

Cette unité occupe, le long du Mouhoun, la même position topographique que l'unité 2 ou lui succède. Elle correspond à la plaine de remblayage succédant à la plaine alluviale.

La figure 5 donne la répartition des sols de cette unité.

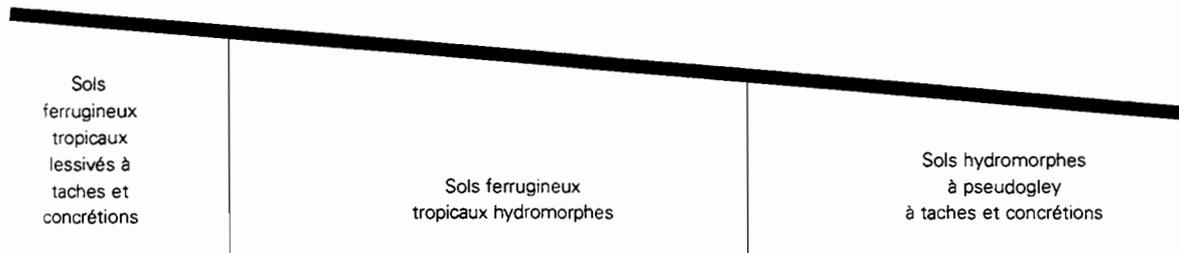


Figure 5. Répartition des sols de l'unité 4.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes comportent :

- A₁ : gris, 10YR 5/2 à 5/3 ; humifère ; argilo-sableux à argileux ; structure massive ; 0-20 cm cohésion moyenne à faible ;
- B_{1g} : jaune, 10YR 7/6 ; à plages plus humifères de couleur 10YR 6/4 et à taches très irrégulières ou à mouchetures rouges ; argileux ; structure massive à débit polyédrique moyen à fin ; cohésion moyenne ;
- B_{g1} : jaune, 10YR 8/6 ; à taches rouges bien délimitées ; identique par ailleurs au précédent ; 50-90 cm
- B_{g2} : blanchâtre, 10YR 8/3 ; à taches rouges irrégulières ; argileux ; structure massive ; 90-170 cm cohésion faible.

Il s'agit donc en fait de sols ferrugineux tropicaux appauvris, à texture argileuse dès 20 cm de profondeur environ, en même temps qu'apparaît le pseudogley. Ils peuvent ainsi être considérés comme des sols à pseudogley quasi d'ensemble. Il s'agit d'un engorgement qui ne s'intensifie que vers 1 m de profondeur. En fait, ce pseudogley peut apparaître à une profondeur variable (entre 50 cm et 100 cm), d'où le passage aux sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions à la partie supérieure de la pente. Ces derniers ne se différencient donc que par la profondeur d'apparition du pseudogley et on peut les considérer comme des sols ferrugineux tropicaux appauvris à pseudogley de profondeur.

Les sols hydromorphes associés comportent :

- A_{11g} : gris à petites taches jaunes, 10YR 6/8 ; gainant racines et canalicules ; humifère ;
0-25 cm limono-sableux à limono-argileux ; structure massive à tendance prismatique large ;
cohésion assez forte ;
- A_{12g} : gris-blanc, 5YR 7/1, à petites taches jaunes 10YR 6/8 gainant racines et canalicules
25-50 cm et à taches jaunes diffuses ; texture et structure inchangées ;
- B_g : gris-blanc, 5YR 7/1, à taches jaunes 10YR 6/8 ou rouges 2.5YR 5/8, diffuses à la
50-180 cm partie supérieure, puis à taches rouges très nombreuses vers 140 cm avec alors
de petits nodules marron-noir ; argileux ; structure d'abord prismatique grossière,
puis massive ; cohésion forte ; consistance plastique à partir de 120 cm.

L'engorgement temporaire est intense dès la surface.

1.5. LES SOLS PEU ÉVOLUÉS SUR MATÉRIAU GRAVILLONNAIRE (AU-DESSUS DE CUIRASSES OU PARFOIS DE CARAPACES FERRUGINEUSES), ASSOCIÉS À DES LITHOSOLS (CUIRASSES FERRUGINEUSES) (LEPRUN ET MOREAU, 1969, UNITÉ 4 : P. 54-59)

Il s'agit principalement de sols squelettiques qui, en fait, doivent être considérés comme des lithosols (cuirasses ferrugineuses) à faibles recouvrements gravillonnaires.

La surface du sol est plus ou moins pavée de pierres et blocs de cuirasse. La terre fine est tantôt gris-brun clair, 10YR 6/3 à 5/3, tantôt plus rougeâtre.

À l'ouest du Mouhoun, cette unité constitue une grande plaine succédant à celle de l'unité 3. À l'est, cette plaine est fortement découpée par celles des unités 4 et 6 dont elle constitue les sommets d'interfluves.

1.6. LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX HYDROMORPHES SUR MATÉRIAU SABLO-ARGILEUX À ARGILEUX, ASSOCIÉS À DES SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT ET MOYENNEMENT DÉSATURÉS (LEPRUN ET MOREAU, 1969, UNITÉ 24 ; P. 197-203)

Les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes sont ceux de l'unité 4. Les caractères d'hydromorphie s'accroissent progressivement vers le bas de pente.

Le sol modal ferrallitique comporte :

- A₁₁ : brun, 7.5YR 5/4 ; humifère ; sableux à quelques gravillons ferrugineux et graviers
0-30 cm de quartz ; structure massive ; cohésion assez forte ;
- B₂ : rouge, 2.5YR 5/8 à 4/8 ; argilo-sableux ; structure massive ; cohésion moyenne à
30-170 cm forte ; présence vers 120 cm de quelques petites taches rouges très diffuses.

La figure 6 donne la répartition des sols le long de la pente. Les sommets de pente peuvent être gravillonnaires et la couronne de sols ferrallitiques peu étendue. Certains de ces derniers peuvent être peu profonds et sur matériaux remaniés. Le passage aux sols ferrugineux tropicaux est progressif.

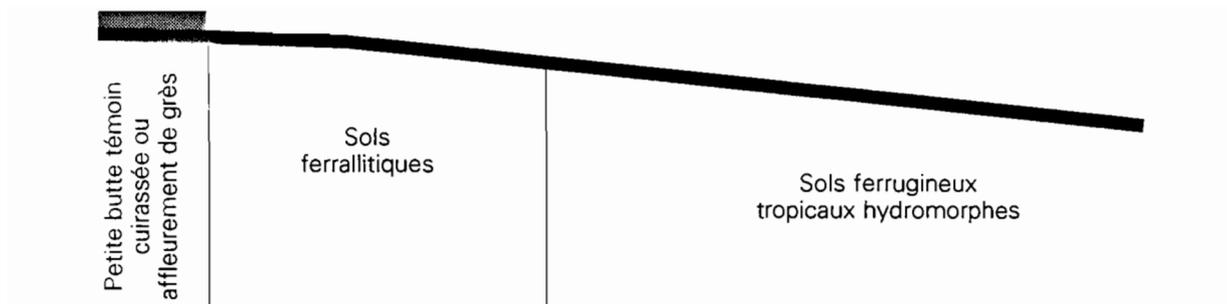


Figure 6. Répartition des sols de l'unité 6.

2. Les résultats de la cartographie de la région de Solenzo (mars 1991)

Plus récemment, MM. SEMDÉ, SOMÉ et ZOUNGRANA ont effectué, au centre Orstom de Bondy (1992), un stage de cartographie des sols par télédétection sur la région de Solenzo, immédiatement au nord de la région étudiée ici. J'ai assuré l'encadrement de ce stage pour la partie pédologique et la validation des résultats des traitements d'images sur le terrain (mission de mars 1991 financée par la FAO).

En dehors de la zone alluviale, la région peut être divisée en trois domaines :

- un domaine caractérisé par la prépondérance du complexe moyen glacis-haut glacis, c'est-à-dire des cuirasses quaternaires dans lesquelles la goëthite est très dominante sur l'hématite, et qui ne montrent pas de gibbsite ; ce domaine est très dominant à l'ouest du Mouhoun ;
- un domaine caractérisé par la prépondérance du complexe haut glacis-relief pliocène-surface éocène, avec des matériaux indurés dans lesquels l'hématite est dominante sur la goëthite et qui montrent parfois de la gibbsite ; ce domaine se développe sur la rive est du Mouhoun ;
- un domaine à larges ondulations convexes dans leur partie supérieure où les affleurements de grès remplacent les cuirasses ferrugineuses.

Dans la région étudiée au cours de cette mission, ce domaine, uniquement localisé à l'est du Mouhoun, est peu développé. Il le devient dans la partie sud, objet de la présente étude (cf. LEPRUN et MOREAU, 1969).

2.1. LE DOMAINE DU COMPLEXE MOYEN GLACIS-HAUT GLACIS (CUIRASSES QUATERNAIRES)

Le haut glacis se développe généralement sur les racines du vieux profil ferrallitique pliocène. Par ailleurs, il a été démantelé par les cycles d'érosion successifs du moyen et du bas glacis. Il est donc beaucoup moins développé que le moyen glacis.

En dehors de la plaine alluviale, le moyen glacis constitue l'essentiel du paysage et le dernier grand cycle de cuirassement. Les niveaux ultérieurs (bas glacis et surface actuelle) y sont emboîtés en un glacis polygénique (KALOGA, 1969, 1986).

2.1.1. Les séquences moyen glacis-surface actuelle

Ce sont les plus fréquentes dans cette zone (fig. 7 a et 7 b). La figure 7 b n'est qu'une variante de la 7 a, dans laquelle la haute plaine cuirassée comporte des plages « bowalisées » nues à termitières champignons.

• La plaine haute cuirassée

1) Les lithosols sur cuirasse ferrugineuse

La surface du sol est plus ou moins gravillonnaire (épandage de gravillons ferrugineux), avec un pavage plus ou moins intense de gros cailloux et pierres de cuirasse (planche 3 hors texte : photo 1). Les gravillons sont le plus souvent enchâssés dans une croûte de battance à aspect damé, gris-brun, 10YR 3/2 (*idem* : photo 2), tandis que, dans les microdépressions, on observe une croûte de décantation (*idem* : photo 3).

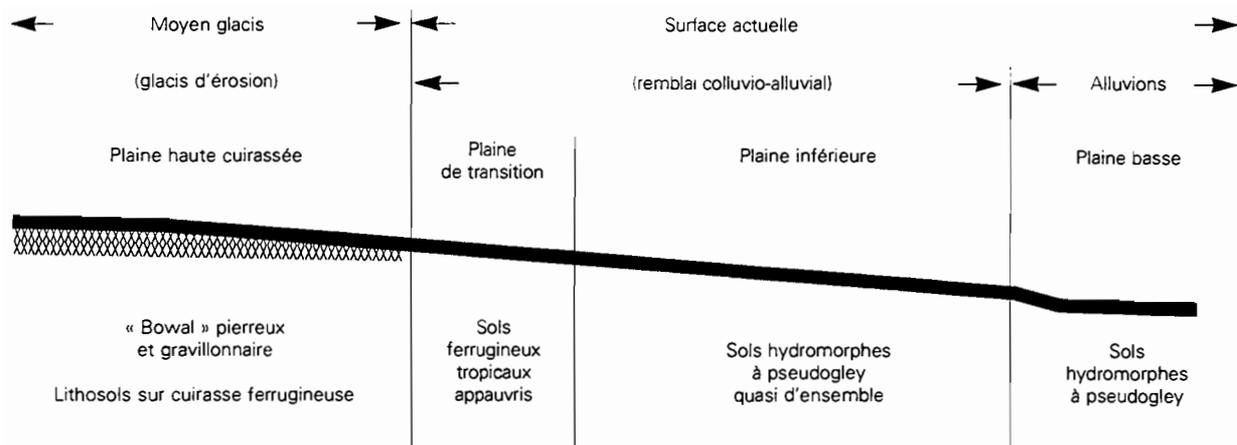


Figure 7 a. « Bowal » uniformément pierreux et gravillonnaire.

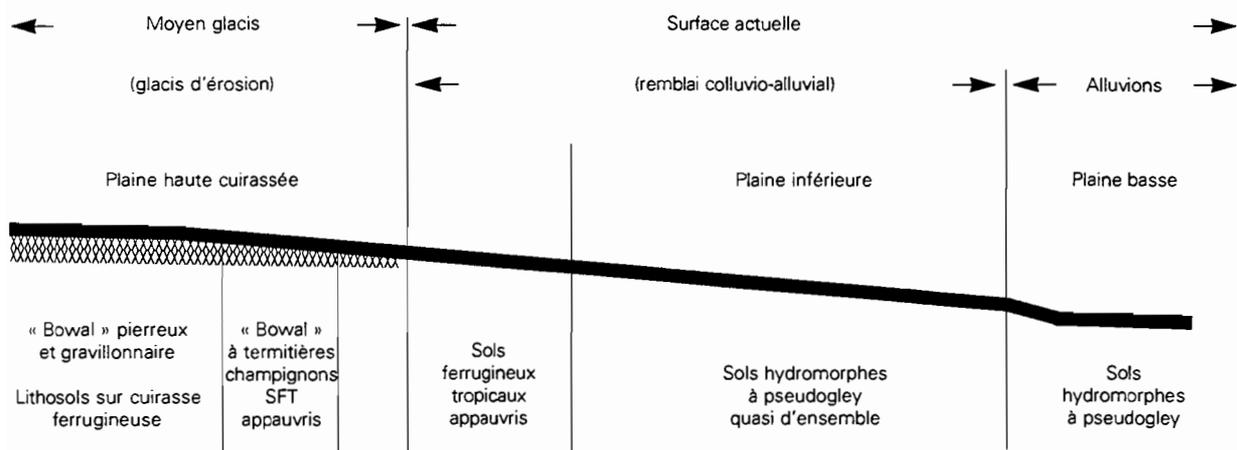


Figure 7 b. « Bowal » pierreux avec des plages à termitières champignons.

Figure 7. Toposéquences moyen glacis-surface actuelle.

La végétation est une savane arbustive (à *Combretum* avec *Gardenia*, *Lansea*, *Bombax*) dont le taux de recouvrement est moyen à faible selon l'épaisseur des recouvrements. Le tapis herbacé est sec ou a disparu (par les feux). Il s'agit donc d'un sol à surface sombre et rouge (celle des éléments indurés).

Le sol est une cuirasse ferrugineuse soit affleurante, soit recouverte d'un horizon d'environ 15 cm d'épaisseur, gris-brun, 10YR 3/2 à 5/2, essentiellement constitué (plus de 80 %) de gravillons ferrugineux, à cohésion d'ensemble moyenne. Cet horizon passe brutalement à la cuirasse à induration forte à très forte, à ciment constitué d'un assemblage de volumes rouges, 2.5YR 3/4, et rouge-jaune, 5YR 5/4, 7.5YR 5/6, à porosité tubulaire très bonne lui donnant un aspect finement alvéolaire.

2) Les sols ferrugineux tropicaux appauvris hydromorphes à profils peu développés sur matériau limono-argileux gravillonnaire des plaines cuirassées

La morphologie de ces sols est assez homogène et la fosse K111 en est un type modal. Elle est située dans une plaine cuirassée à pente très faible de l'ordre de 1 %, montrant des plages hectométriques nues à termitières champignons séparées par des bosquets arbustifs (*Combretum*, *Lansea*, *Entada*). La fosse est sur une plaine nue.

La surface du sol a un aspect « damé », avec dans les microdépressions une croûte de décantation gris-brun, 10YR 5/2, recouverte de fins débris végétaux partiellement brûlés et répartis en petites plages à assemblage réticulé.

Le sol comporte :

- A : brun clair, 10YR 6/3, sur environ 6 cm, passant ensuite à brun très clair, 10YR 7/3, à 0-18 cm nombreux fins volumes jaune-rouge ; humifère ; limono-argileux ; structure massive à débit grossier prismatique ; cohésion forte ; passage progressif au suivant par la couleur ;
- B : jaune, 10YR 7/6 ; principalement constitué (60 % environ) de gravillons ferrugineux ; terre fine limono-argileuse à structure polyédrique petite à grossière et pseudo-particulaire ; cohésion moyenne à faible ;
- Bg : identique au précédent avec en plus d'assez nombreux volumes rouges ferritisés ; passage brutal au suivant ;
- à 45 cm : cuirasse ferrugineuse à induration forte, démantelée à la partie supérieure en grosses plaques ou pierres et cailloux. Elle cimente des gravillons ferrugineux. Le ciment ferrugineux est le même que celui décrit précédemment.

• **La plaine de transition : les sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau argilo-gravillonnaire au-dessus de cuirasse**

La végétation est variable et va de champs de culture à une jachère ou une savane arborée dense.

Les sols comportent :

- A : brun clair, 10YR 5/3 à 5/4 (plus épais et plus foncé dans sa partie supérieure sous savane arborée, 10YR 3/2) ; humifère ; limono-argilo-sableux à argilo-limono-sableux ; structure massive ; cohésion forte ;
- B2 : jaune-rouge, 7.5YR 6/6 ; argilo-gravillonnaire ; structure massive à débit polyédrique variable, très grossier à fin et pseudoparticulaire ; cohésion moyenne à faible ;
- BFEM : carapace ferrugineuse à ciment brun vif, 7.5YR 5/6, provoquant l'induration de la base du matériau argilo-gravillonnaire ;
passage brutal à :
cuirasse ferrugineuse à induration forte (cuirasse du moyen glaciaire, cf. description ci-dessus)
- ou
- B21 : jaune-rouge, 7.5YR 6/6 à 6/8 ; argilo-sableux à argileux ; la structure est soit celle décrite pour B2, soit massive à débit polyédrique large à petit ; cohésion assez forte ;
- B22 : brun vif, 7.5YR 5/6, à jaune, 7.5YR 7/6, lorsqu'il y a début d'hydromorphie (quelques petits volumes rouges) ; argileux ou argilo-gravillonnaire ; structure massive à débit polyédrique de taille très variable, très grossier à petit et pseudoparticulaire ; cohésion moyenne ;
- Bg : même couleur que B22 ou plus clair (brun clair, 10YR 7/4), à nombreux volumes rouges ferritisés ; argilo-gravillonnaire ; structure et cohésion identiques à celles de B22 ;
passage brutal à :
cuirasse ferrugineuse à induration forte du moyen glaciaire.

Les sols de la plaine de transition sont brillants (lorsque la végétation n'est pas dense) et peu rouges.

• **La plaine inférieure**

C'est la portion de paysage la plus cultivée. Il s'agit donc le plus souvent de champs après récolte ou de jachères plus ou moins anciennes avec une litière sèche d'herbes ou de feuilles aux taux de recouvrement très variables (10 % à 100 %), une savane parc anthropique dont le taux de recouvrement par des arbres ne dépasse pas 2 à 3 % (*Butyrospermum paradoxum*, *Pterocarpus erinaceus*, *Diospyros mespiliformis*, *Bombax costatum*, *Terminalia* sp., *Parkia biglobosa*, *Lannea acida*).

À l'extrémité amont de cette plaine, les sols font la transition avec ceux de la portion précédente de pente : ce sont des sols ferrugineux tropicaux à pseudogley de profondeur à taches, passant très rapidement aux sols hydromorphes à pseudogley structuré. Ces sols sont tous développés sur le remblai colluvio-alluvial qui colmate cette plaine. À l'extrémité amont, ce remblai est encore souvent posé sur la cuirasse du moyen glaciaire.

1) Les sols ferrugineux tropicaux appauvris à pseudogley de profondeur sur matériau colluvio-alluvial argileux

Ils ne se distinguent pas en surface des sols ferrugineux tropicaux de la plaine de transition, y compris par la végétation, mais par une épaisseur généralement plus grande avec alors absence de cuirasse dans la portion de sol observée, un matériau originel argileux, rarement argilo-gravillonnaire.

Ils comportent :

- un horizon A, d'environ 12 à 16 cm d'épaisseur, brun, 10YR 5/2, 5/3 à 4/2 ; humifère ; limono-argilo-sableux ; structure massive à débit prismatique grossier ; cohésion forte ; structure litée dans l'horizon cultivé (Ap) ; passage progressif au suivant ;
- un horizon AB ou B1, d'environ 15 cm d'épaisseur (6 à 20 cm) ; transition humifère ; brun clair, 10YR 6/4 à 6/3 ; limono-argilo-sableux à argilo-limono-sableux ; structure et cohésion inchangées ;
- un horizon B2, parfois absent, d'environ 30 à 45 cm d'épaisseur ; jaune-rouge, 7.5YR 5/6 à 7.5YR 6/6, ou brun clair, 7.5YR 6/4 à 10YR 7/4 ; argileux ; structure massive à débit polyédrique de taille variable, grossier à petit ; cohésion moyenne ou assez forte (assemblage assez lâche ou assemblage assez compact) ;
- un horizon Bg1, souvent absent, d'environ 40 cm d'épaisseur ; jaune-rouge, 7.5YR 6/6 à 10YR 6/6, à assez nombreux volumes rouges (2.5YR 3/4) ou jaune-rouge (7.5YR 7/6) ; texture, structure et cohésion inchangées par rapport à B2 ;
- un horizon Bg2, d'environ 25 à 53 cm d'épaisseur (observé jusqu'à 105 à 117 cm de profondeur) ; brun clair, 10YR 7/4 (plus rarement 10YR 6/4), à nombreux volumes rouges (2.5YR 3/4) ou jaune-rouge (7.5YR 7/6, 10YR 6/8 ou 7.5YR 4/6) ; texture, structure et cohésion inchangées ;
- plus rarement, la cuirasse ferrugineuse à induration forte du moyen glaciaire.

2) Les sols hydromorphes à pseudogley structuré sur matériau colluvio-alluvial argileux

Dans les champs ou les jachères récentes, la surface du sol est souvent encroûtée. La couleur est très claire, 10YR 7/3 à 10YR 7/2. Ce sont donc des sols très clairs (brillants) et pas du tout rouges.

Ils comportent :

- un horizon A, d'épaisseur de l'ordre de 17 cm ; brun-jaune clair, 10YR 7/2 à 10YR 6/2, 6/3 ou 6/4 ; humifère ; texture argilo-limoneuse à limono-argilo-sableuse ; structure tantôt massive à débit prismatique grossier avec une cohésion d'ensemble forte, tantôt litée (Ap) avec alors une cohésion d'ensemble moyenne à faible ; passage progressif au suivant ;
- un horizon B1, d'épaisseur très variable, 10 à 32 cm ; brun clair (10YR 6/3) à gris clair (10YR 7/2) ou jaune (10YR 6/6 à 7/6) dans les sols jaunes, à volumes diffus jaunes ou à volumes rouges peu nombreux ; argileux ; structure massive à débit prismatique grossier ou polyédrique très grossier (à tendance prismatique) à petit ; cohésion forte ;
- un horizon B1g, parfois absent, d'épaisseur de l'ordre de 20 à 30 cm ; brun-jaune clair (10YR 6/4) à gris clair (10YR 7/2), à ségrégation ferrugineuse variable : assez nombreux volumes brun vif 7.5YR 5/6 ou volumes rouges moyennement représentés ; dans les sols jaunes, cet horizon, lorsqu'il existe, est jaune (10YR 7/8), à quelques fins volumes rouge-jaune et blanchâtres, à nodules ferro-manganiques rouge-jaune (5YR 5/8) à centre noir, cassables

à la main ; la texture est argileuse, la structure massive à débit polyédrique de taille variable (petit à très grossier) en assemblage assez compact (cohésion d'ensemble moyenne dans les sols jaunes) ;

- un horizon Bg, observé jusqu'à 100 à 115 cm de profondeur ; gris clair (10YR 7/2) à gris blanchâtre (10YR 8/2) à nombreux volumes brun vif (7.5YR 5/6) et parfois à volumes noirs manganiques par plages, ou jaune (10YR 7/6) à nombreux volumes rouges (2.5YR 4/6), avec quelques nodules noirs manganiques dans la partie supérieure (sols jaunes). La texture est argileuse, la structure massive à débit polyédrique grossier à petit en assemblage compact (cohésion d'ensemble moyenne).

Dans certains sols jaunes, la ferritisation par volumes rouges est faible au regard de la déferritisation (volumes blanchâtres) : Bg brun pâle, 10YR 7/4, à nombreux volumes blanchâtres diffus, quelques volumes noirs et rouges. La structuration est alors le trait dominant du pseudogley.

Les caractéristiques structurales et celles de la ségrégation ferro-manganique ne permettent pas de rattacher ces sols aux sols ferrugineux tropicaux.

• **Conclusion**

L'organisation des sols dans le paysage est toposéquentielle avec, dans la plaine haute cuirassée, des sols sombres, rouges et rugueux, dans la plaine intermédiaire, des sols brillants et peu rouges et, dans la plaine inférieure, des sols très brillants et pas rouges du tout. Les caractères radiométriques de ces sols sont donc très bien différenciés et la problématique de leur cartographie peut être appréhendée facilement par la télédétection.

Cependant, les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes à profil peu développé des plaines cuirassées ont un aspect superficiel hydromorphe et ne se différencient des sols hydromorphes d'inondation sur alluvions que par la position topographique.

2.1.2. Les séquences haut glacis-surface actuelle ou haut glacis-moyen glacis-surface actuelle

Les figures 8 a, 8 b et 8 c montrent les toposéquences représentatives.

• **Figure 8 a**

Le haut glacis, complètement érodé, est obséquent par rapport au moyen glacis (inversion de relief).

Les sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau gravillonnaire-argileux ne se distinguent de ceux de la plaine de transition des séquences précédentes que parce qu'ils reposent sur une carapace ferrugineuse ancienne (résiduelle du haut glacis) : carapace à volumes rouges, 2.5YR 3/4, et jaunes, 7.5YR 6/8, avec quelques taches noires salissant le rouge en surface.

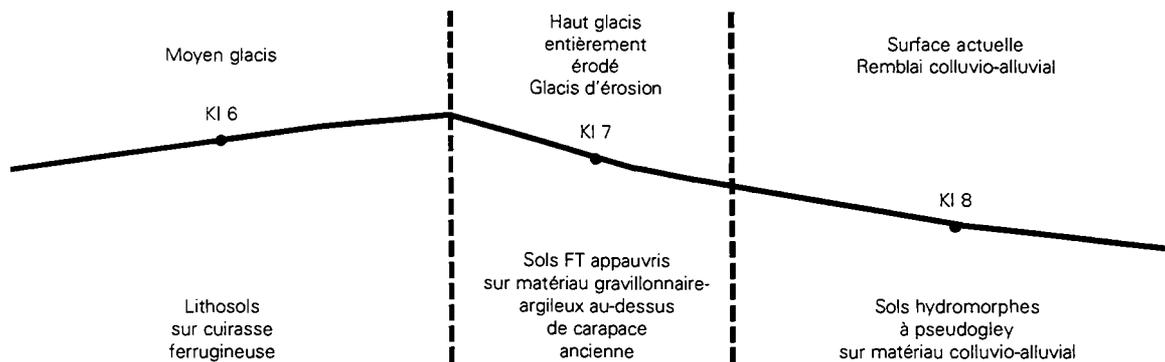


Figure 8 a. Toposéquence haut glacis érodé-surface actuelle.

Du point de vue édaphique, la carapace est un élément d'amélioration de l'alimentation en eau des arbres et arbustes. Sous végétation naturelle, les deux types de sols pourront être différenciés par leur végétation.

• **Figure 8 b**

Le *haut glacis*, fortement démantelé, est réduit à une large croupe à épandage gravillonnaire continu, avec pavage à taux variable (1 à 15 %) de pierres et cailloux de cuirasse. Il porte des sols ferrallitiques sur matériau gravillonnaire-argileux dont la fosse DA 10 donne un exemple de morphologie :

- A : brun-rouge, 2.5YR 5/4 ; humifère ; essentiellement gravillonnaire à gros gravillons
0-14 cm ferrugineux ; terre fine peu abondante (20 % environ) limono-sablo-argileuse ; passage progressif au suivant ;
- B1 : rouge, 2.5YR 5/6 ; encore faiblement humifère ; gravillonnaire à terre fine un peu
14-30 cm plus abondante (30 % environ) argileuse ; structure polyédrique moyenne et petite bien développée ; cohésion faible ; horizon très poreux ;
- B2 : rouge plus vif, 2.5YR 5/8 ; essentiellement constitué de gravillons ferrugineux et
30-85 cm de débris de l'altérite sous-jacente ; terre fine peu abondante (20 % environ) à structure pseudoparticulaire ; cohésion faible ; horizon très poreux.
- Altérite ancienne : brun vif, 7.5YR 5/6, à volumes blanchâtres, tantôt démantelée en petits cailloux et graviers, tantôt massive.

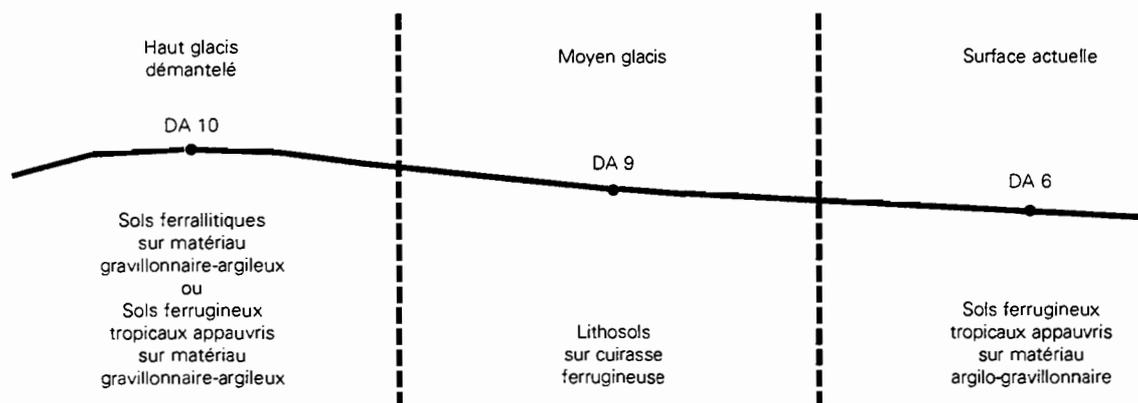


Figure 8 b. Toposéquences haut glacis-moyen glacis-surface actuelle.

Ces sols gravillonnaires sont rouges en surface, ils sont très poreux et reposent sur l'altérite ancienne. Du point de vue édaphique, ils sont très favorables à l'enracinement des plantes qui y bénéficient d'une bonne alimentation en eau grâce à la présence de l'altérite qui augmente la profondeur du sol. Aussi, la végétation naturelle de ces sols est-elle une savane arborée dense, à *Daniellia oliveri*, *Lannea acida*, *Detarium microcarpum*, avec une strate arbustive à *Combretum* sp. Cela les distingue des lithosols sur cuirasse ferrugineuse du moyen glacis.

Du point de vue radiométrique, la différenciation de ces sols est basée sur la couleur et la végétation.

Le *moyen glacis* porte, comme sur les toposéquences moyen glacis-surface actuelle, des lithosols sur cuirasse ferrugineuse, avec des plages nues. Cependant, ici, le recouvrement gravillonnaire est souvent un peu plus épais, de l'ordre de 30 cm, avec alors :

- un horizon A : brun foncé (10YR 4/2) à brun clair (10YR 6/3) ; humifère ; limono-argilo-
0-15 cm environ sableux ; structure massive à débit prismatique grossier ; cohésion forte ;
ou gravillonnaire à terre fine limono-argilo-sableuse avec alors une cohésion d'ensemble moyenne ;

- un horizon B : jaune-rouge, 7.5YR 6/6 ; argilo-gravillonnaire ; terre fine à structure polyédrique grossière à petite ; cohésion moyenne à faible ;
15-30 cm environ
- passage brutal à la cuirasse ferrugineuse à induration forte, un peu démantelée à sa partie supérieure.

Le profil, du type AB, doit être rattaché aux sols ferrugineux tropicaux appauvris à profil très peu développé au-dessus de cuirasse.

Du point de vue radiométrique, le moyen glacis ne se distingue pas alors de la plaine de transition.

Dans la *plaine de transition*, les sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau argilo-gravillonnaire se distinguent de ceux des toposéquences moyen glacis-surface actuelle principalement par le fait qu'ils reposent, non sur une cuirasse, mais sur une carapace ferrugineuse à structure feuilletée, à ciment brun vif, 7.5YR 5/6.

Il n'y a pas de changement pour les sols de la *plaine inférieure* qui n'a pas été représentée ici.

Du point de vue radiométrique, les caractéristiques de la surface du sol ne distinguent pas bien ici le moyen glacis de la surface actuelle. Cependant, les sols sont plus profonds sur la seconde, avec une végétation arbustive à arborescente plus dense.

• **Figure 8 c**

Le *haut glacis* subsiste sous forme d'une butte témoin cuirassée aux flancs encombrés d'éboulis de blocs et pierres de cuirasse.

Dans la *plaine de transition*, les sols sont plus profonds et développés dans des matériaux ferrallitiques. Ils comportent :

- A : brun-rouge foncé, 7.5YR 4/4 ; humifère ; limono-argilo-sableux ; structure massive ; cohésion forte ;
0-15 cm environ
- B1 : rouge-jaune, 5YR 4/6 ; encore faiblement humifère ; argilo-limono-sableux ; structure massive à débit polyédrique de taille très variable, très grossier à petit ; cohésion moyenne à assez forte ;
15-35 cm environ
- B2 : rouge, 2.5YR 4/6 ; argileux ; structure et cohésion inchangées par rapport à B1. Cet horizon peut être très riche (jusqu'à 60 %) en gravillons ferrugineux (dont nombre sont centimétriques) dans la moitié inférieure ; la cohésion est alors moyenne et la structure de la terre fine polyédrique petite et pseudoparticulaire.
observé jusqu'à 120 cm

Seule l'étude de l'activité des argiles peut permettre de savoir s'il s'agit de sols ferrallitiques (masquage des propriétés argileuses) ou ferrugineux tropicaux (démasquage des propriétés argileuses).

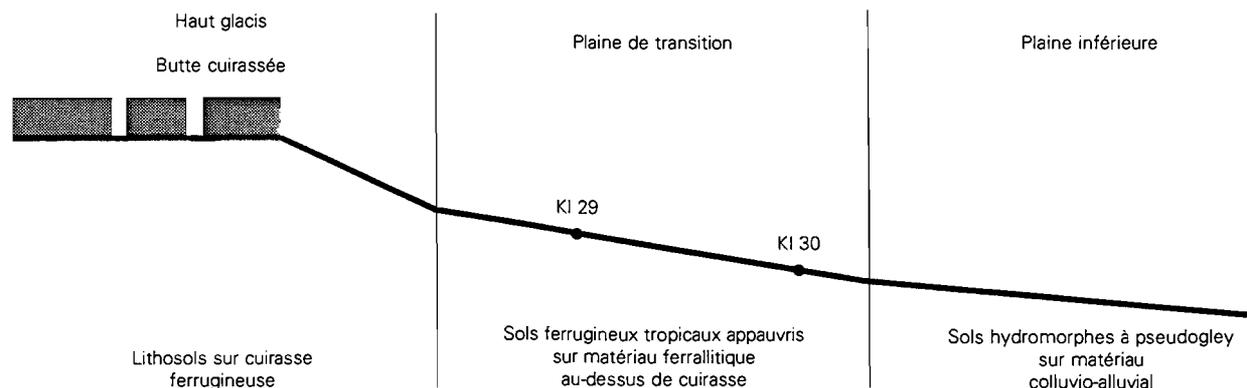


Figure 8 c. Toposéquence haut glacis-surface actuelle.

Ces sols sont très favorables à l'enracinement profond de la végétation et à son approvisionnement en eau. Ils devraient donc se distinguer par leur végétation naturelle. Mais ils sont le plus souvent cultivés et se comportent dans ce cas, après les récoltes, comme des sols brillants et assez rouges.

2.2. LE DOMAINE À PRÉPONDÉRANCE DU COMPLEXE HAUT GLACIS-RELIEF INTERMÉDIAIRE-SURFACE ÉOCÈNE

Les séquences relief intermédiaire-haut glacis-surface actuelle (fig. 9)

Alors que les séquences précédentes sont principalement localisées sur la rive gauche du Mouhoun, celles-ci sont localisées exclusivement sur la portion orientale de la zone située sur la rive droite.

• Le plateau cuirassé (planche hors texte 3, photo 4)

Il est beaucoup plus développé, à surface ondulée, avec un épandage gravillonnaire continu (gros gravillons ferrugineux centimétriques à cassure rouge violacé 10R 3/2), pavage de pierres de cuirasse (intensité variable, faible à plus de 20 %). Ces dernières sont assez souvent bauxitiques à pisolithes ferrugineux. Ce sont alors des débris de la surface éocène.

Les sols sont développés dans un matériau gravillonnaire à terre fine représentant 50 à 65 %, d'épaisseur variable (35 à 65 cm), reposant sur une carapace ferrugineuse ancienne. Selon son épaisseur, le matériau gravillonnaire est différencié en A11-A12 ou A-B1-B2 :

- A11 ou A : 10 à 17 cm d'épaisseur ; gris très foncé, 10YR 3/1 ; humifère ; terre fine limono-argilo-sableuse ; cohésion faible ; très bonne porosité ;
- A12 : 17 cm d'épaisseur environ ; brun clair, 10YR 6/4 ; identique par ailleurs à A11 ;
- B1 : 20 cm d'épaisseur environ ; brun-jaune foncé, 10YR 4/6 ; terre fine argilo-sableuse ; cohésion faible ; très bonne porosité ;
- B2 : 40 cm d'épaisseur environ ; brun-jaune, 10YR 5/6 ; terre fine argileuse ; cohésion moyenne ; bonne porosité.

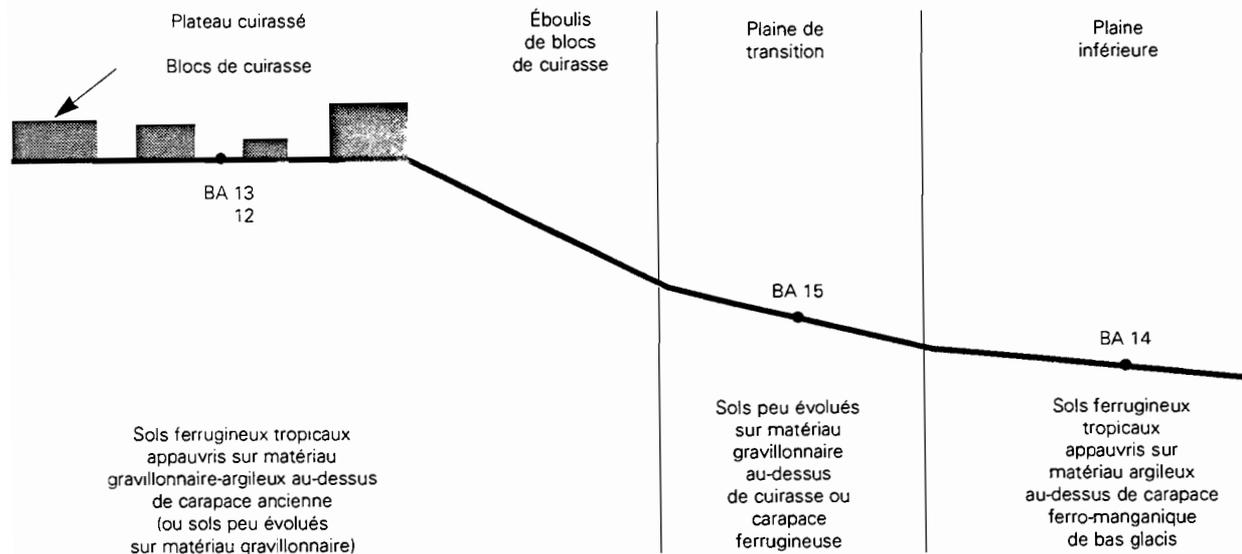


Figure 9. Toposéquence morphopédologique synthétique du domaine haut glacis-relief pliocène-surface éocène.

Le passage à la carapace est brutal : carapace ferrugineuse à ciment rouge, 2.5YR 4/6, et brun vif, 7.5YR 5/6 ; à induration faible.

La différenciation en A11 et A12 est celle de sols peu évolués régosoliques ou de régosols (carapace ferrugineuse) à faible recouvrement gravillonnaire. Celle en A-B1-B2 indique des sols ferrugineux appauvris reposant sur la carapace ancienne.

Ces sols sont très favorables à l'enracinement de la végétation tant herbacée qu'arbustive et arborée. Cette dernière y bénéficie d'une grande profondeur parce que les espèces peuvent coloniser la carapace dont les réserves en eau sont protégées par le matériau gravillonnaire sus-jacent. Aussi portent-ils une végétation naturelle assez dense : savane arborée à *Detarium microcarpum*, *Burkea africana*, *Isobertinia doka* ou savane arborescente à *Detarium microcarpum* avec *Lannea* sp., *Pterocarpus erinaceus*, *Combretum* sp.

Du point de vue radiométrique, ce sont des sols sombres, rouges et rugueux comme ceux du moyen glaciaire. Ils s'en distinguent cependant par des proportions d'hématite (c'est-à-dire indice de rougeur) beaucoup plus élevées. Par ailleurs, ils s'en distinguent également par une végétation plus dense et plus active.

• **La plaine de transition**

La surface du sol est encroûtée (10YR 6/3) avec un épandage continu de gros gravillons ferrugineux (de même type que précédemment), de cailloux et pierres de cuirasse et parfois de grès. Les cuirasses sont ferrugineuses et bauxitiques (débris de la surface éocène). Les gravillons sont enchâssés dans la croûte.

Les sols sont développés dans un matériau gravillonnaire d'environ 15 à 30 cm d'épaisseur, à terre fine très rare, différencié en un horizon A, brun, 10YR 5/3, passant à 10YR 4/4 dans la moitié inférieure, avec parfois, en surface, un placage d'environ 5 cm d'épaisseur, sablo-limono-argileux, pauvre en gravillons, à structure massive et à cohésion forte. L'horizon repose soit sur une cuirasse, soit sur une carapace à induration faible qui peut être du grès ferritisé.

Sauf lorsqu'ils reposent sur cuirasse, ces sols ne se distinguent pas de ceux du plateau cuirassé. Cependant, probablement à cause de leur position en pente (2 à 3 %), la végétation arborescente ou arbustive est plus lâche. Des espèces plus hydrophiles telles *Terminalia laxilora* apparaissent sur les sols sur carapace.

• **La plaine inférieure**

Elle est beaucoup moins basse que sur les toposéquences précédentes, aussi les sols hydromorphes à pseudogley sont-ils remplacés par des sols ferrugineux tropicaux appauvris développés dans un matériau argilo-sableux à argileux, à nombreux gravillons ferrugineux avec quelques cailloux de grès.

Ces sols comportent :

- un horizon A, d'épaisseur de l'ordre de 15 cm ; brun-gris, 10YR 5/2, plus foncé (10YR 4/2) et plus épais (20 cm) en bas de pente sous végétation arborée dense ; parfois différencié en A11 (13 cm d'épaisseur et de même couleur que A) et A12 (12 cm d'épaisseur et plus clair, 10YR 5/3) ; sablo-limono-argileux ; structure massive ; cohésion forte ;
- un horizon B1, d'épaisseur de l'ordre de 13 à 24 cm ; brun, 7.5YR 5/4 ; encore faiblement humifère ; argilo-sableux à argilo-limono-sableux, à nombreux gravillons ferrugineux et quelques cailloux de grès et de cuirasse ; structure massive à débit polyédrique de taille variable, grossier à petit ; cohésion moyenne ;
- un horizon B2, d'épaisseur de l'ordre de 25 à 35 cm ; brun-rouge, 5YR 5/4 ; argileux à très nombreux gravillons ferrugineux ; structure et cohésion inchangées par rapport à B1 ;
- un passage brutal à une carapace ferrugineuse à ciment rouge, 2.5YR 4/4, à quelques taches noires ; inclusions de terre fine rouge-jaune, 5YR 5/6

ou

à un horizon tacheté, rouge, 2.5YR 4/4, à volumes blanchâtres diffus et à quelques nodules rouge violacé.

La carapace et l'horizon tacheté sont des matériaux anciens hérités du vieux profil ferrallitique pliocène.

Lorsque la position topographique de la plaine inférieure est suffisamment basse, les sols ferrugineux tropicaux présentent un pseudogley quasi d'ensemble à taches et carapace ferrugineuses (avec des horizons B de couleur jaune, 10YR 6/6) qui ne modifie pas les caractéristiques de surface.

Du fait que ces sols reposent en profondeur sur une carapace ou sur un matériau tacheté, ce sont des sols profonds à l'égard de la végétation arborée. Sous végétation naturelle, ils portent une savane arborée dense à *Anogeissus leiocarpus*, *Lannea acida*, *Combretum* sp., *Butyrospermum paradoxum*.

Du point de vue radiométrique, ils se distinguent parfaitement des sols amont par un indice de rougissement beaucoup moins élevé (disparition des matériaux à hématite). Ce sont des sols brillants, moyennement clairs et peu rouges lorsqu'ils sont nus ou peu couverts.

Ainsi, dans les séquences relief intermédiaire-haut glaciaire-surface actuelle, l'organisation des sols reste toposéquentielle, avec des caractères radiométriques distinctifs nets entre l'amont et l'aval, lorsque les sols sont nus ou peu couverts.

2.3. LE DOMAINE À LARGES ONDULATIONS

À côté des toposéquences précédentes à amont cuirassé, on observe une zone à larges ondulations à convexité faible avec des pentes de l'ordre de 1 %.

L'amont de ce paysage est occupé par des sols ferrallitiques et l'aval par des sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau sablo-argileux dérivé de grès.

• Les sols ferrallitiques

Le sol est observé sous culture après récolte. Il y a une dégradation de l'horizon de surface. Il comporte :

- A₁₁ : gris-brun clair, 7.5YR 7/4 ; humifère ; sableux ; structure massive à débit polyédrique émoussé et particulaire, ou litée ; cohésion moyenne ; porosité faible ; passage progressif mais rapide au suivant ;
0-15 cm
- A₁₂ : brun-rouge, 2.5YR 5/4 ; encore humifère ; sableux ; structure massive à débit par éclats ; cohésion assez forte ; porosité uniquement tubulaire moyenne ; passage progressif au suivant ;
15-38 cm
- B₂₁ : rouge, 2.5YR 5/8 ; sablo-argileux ; structure massive à débit polyédrique de taille variable, très grossier à petit et pseudoparticulaire ; cohésion assez forte ;
38-79 cm
- B₂₂ : rouge légèrement plus clair, 2.5YR 5/8 ; un peu plus argileux que le précédent ;
79-117 cm structure inchangée ; cohésion forte.

• Les sols ferrugineux tropicaux appauvris

Le sol décrit est sous jachère ancienne : savane arborescente à *Sclerocarya birrea*, *Butyrospermum paradoxum*, *Ficus* sp., avec une strate arbustive à *Piliostigma*, *Guiera senegalensis*. Il comporte :

- A₁₁ : gris-brun, 10YR 3/2 ; humifère ; sableux légèrement argileux ; structure massive à débit grossier ; cohésion forte ;
0-21 cm
- A₁₂ : brun, 10YR 4/3 ; humifère ; identique par ailleurs à A₁₁ ;
25-35 cm
- AB : brun, 7.5YR 5/4 ; encore un peu humifère ; sableux un peu argileux ; structure massive à débit par éclats à tendance polyédrique ; cohésion forte ;
35-50 cm
- B₁ : rouge-jaune, 5YR 5/6 ; sablo-argileux ; identique par ailleurs à AB ;
50-74 cm
- B₂ : jaune-rouge, 5YR 6/8 ; plus argileux que B₁ ; identique par ailleurs à celui-ci.
74-110 cm

La caractéristique principale de cette séquence est la couleur rouge et brillante de son amont lorsque l'horizon de surface n'est pas trop dégradé par la culture. Cela la distingue des séquences à amont rouge et sombre (amont cuirassé).

Les sols ferrugineux tropicaux appauvris se distinguent bien des sols ferrallitiques par leur couleur peu rouge et brillante (lorsqu'ils sont nus ou peu couverts).

Les sols ferrallitiques se distinguent par un bon drainage interne et externe, favorisant la percolation de l'eau et son stockage. Ils sont par ailleurs très favorables à un enracinement profond des plantes, d'où une végétation arborée naturelle bien développée.

2.4. CONCLUSION

La répartition des sols dans le paysage est organisée de manière toposéquentielle, avec des caractères radiométriques bien différenciés. On est dans le cas où la démarche thématique fondée sur « *l'expérience et les connaissances "exogènes à l'image" de l'utilisateur est très performante* » (KING, 1986). Elle sera basée sur la sélection d'indices utiles (végétation, rougeur, brillance).

Deuxième partie

FLORE ET VÉGÉTATION

par J.-L. DEVINEAU et A. FOURNIER

GÉNÉRALITÉS

1. Caractéristiques phytogéographiques de la région de Bondoukui

1.1. UNE ZONE DE TRANSITION PHYTOGÉOGRAPHIQUE

La région de Bondoukui appartient au centre d'endémisme soudanien, selon WHITE (1986). Cette unité phytogéographique s'étend depuis la côte du Sénégal jusqu'au pied des hauts plateaux de l'Éthiopie, en une longue bande relativement étroite (500 à 700 km). La végétation naturelle et semi-naturelle la plus répandue et la plus caractéristique y est une forêt claire pouvant se présenter sous plusieurs types distincts.

La plupart des arbres soudaniens se caractérisent cependant par une grande amplitude écologique et par une répartition géographique très vaste tant en longitude qu'en latitude, si bien qu'il est difficile, d'après WHITE (1986), de distinguer dans cet ensemble des centres d'endémisme bien définis : « *On trouve trop peu d'espèces en association assez constante avec d'autres sur des surfaces suffisamment étendues pour justifier la distinction de groupements écologiques bien définis, quoique plus localement on puisse parfois reconnaître des "associations".* »

White propose toutefois une subdivision de la végétation soudanienne en deux grands ensembles, « *la forêt claire indifférenciée soudanienne* » au nord et « *la forêt claire soudanienne à Isoberlinia* » au sud. D'un point de vue floristique, ces deux formations ne se différencient pas très nettement, sinon par la présence plus constante et l'abondance relative plus grande au sud de l'espèce ligneuse *Isoberlinia doka* (*Caesalpinaceae*). Leur structure oppose cependant les deux types de forêts claires, avec une hauteur et une densité des arbres légèrement plus élevées au sud.

Notre région d'étude se situe exactement à la limite de ces deux zones ; l'espèce *Isoberlinia doka* y est encore très fréquente mais disparaît quelques dizaines de kilomètres plus au nord, comme cela apparaît bien sur les cartes de répartition établies par TERRIBLE (1978, 1984). Elle appartient au district ouest Volta noire (Mouhoun) du domaine phytogéographique soudanien défini par GUINKO (1984) (fig. 10).

1.2. UNE VÉGÉTATION ET DES PAYSAGES MODIFIÉS DE LONGUE DATE PAR L'ACTION DE L'HOMME

La végétation actuelle de la forêt claire à *Isoberlinia*, située au sud de la région soudanienne, serait à rapprocher du « miombo » de la région phytogéographique zambézienne (Zaire et Sud-Ouest africain), dont elle pourrait représenter une forme floristiquement appauvrie. Elle en diffère cependant par sa structure, car sa strate ligneuse est moins élevée (WHITE, 1986). Mais les formations végétales que nous observons aujourd'hui ne seraient que des formes plus ou moins dégradées du climax. Selon AUBREVILLE (1950), CHEVALLIER (1951) et SCHNELL (1976), le climax de ces régions serait plutôt une forêt sèche, ressemblant à celle qui existe encore de nos jours en République centrafricaine entre Bria et Ndélé (BOULVERT, 1980). Selon KEAY (1952), une protection totale des forêts claires du Nigeria induit leur évolution vers une formation plus fermée, qui semble se rapprocher de la forêt dense sèche.

D'après White, la végétation primitive de la forêt claire indifférenciée soudanienne, au nord, était probablement une forêt claire floristiquement riche. *Isoberlinia doka* en était absent ou bien ne s'y rencontrait que localisé et confiné aux collines rocheuses dans les zones les plus humides. En fait, il ne subsiste plus de forêt claire indifférenciée soudanienne à peu près intacte que sur des collines rocheuses et dans les endroits où l'eau est rare. White conclut au sujet de ce type de végétation que l'on ne dispose que de peu d'informations publiées.

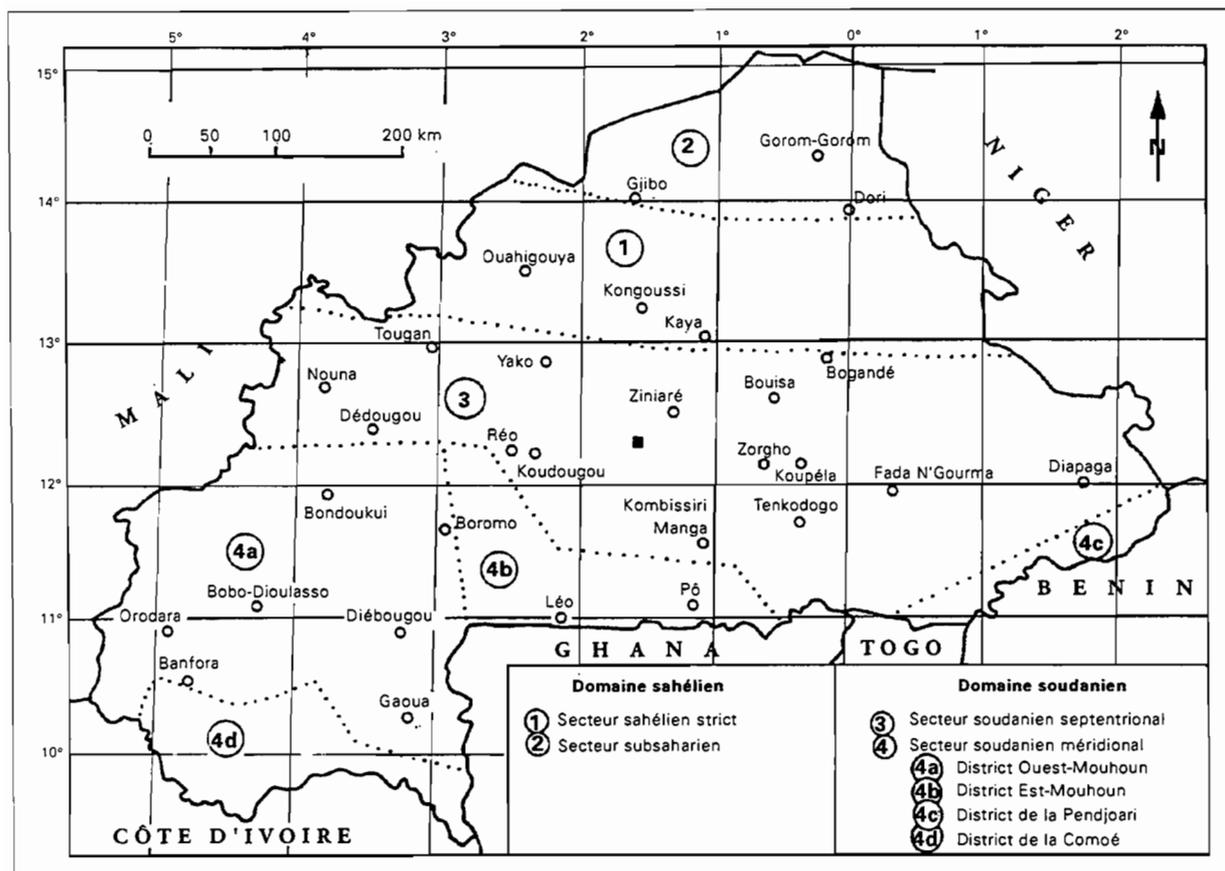


Figure 10. Carte des territoires phytogéographiques du Burkina Faso (d'après GUINKO, 1984) et localisation de la zone d'étude.

Une caractéristique notable de toute cette région est une forte empreinte de l'homme (DEVINEAU et GUILLAUMET, 1992). La dégradation de la végétation a probablement en partie effacé les traits distinctifs des types floristiques ayant pu exister autrefois (WHITE, 1986). Cet auteur explique bien les causes de cet état de fait lorsqu'il décrit la zone de la forêt claire indifférenciée soudanienne comme recevant une pluviosité annuelle suffisante pour que l'agriculture y soit possible et comme portant une végétation suffisamment peu dense pour que l'on puisse la défricher même avec des outils primitifs. Ces caractéristiques, associées à l'absence de la mouche tsé-tsé dans la plus grande partie de son étendue, ont conféré de longue date à cette région un statut de « grande voie de pénétration de la civilisation à travers le continent » (WHITE, 1986).

Dans les secteurs les plus densément peuplés de la zone à *Isoberlinia*, on observe ainsi rarement une forêt claire bien développée. C'est ainsi que White décrit autour des villes et villages importants, au-delà des terres cultivées en permanence, une formation herbeuse où abondent les rejets d'*Isoberlinia* et d'autres arbres. Dans cette zone, soumise à une alternance de cultures de courte durée et de pâturage, la forêt claire ne trouverait jamais l'occasion de se reconstituer. Au-delà de cette auréole s'étend, selon White, une forêt claire ouverte et très irrégulière ou une formation herbeuse boisée qui assure l'approvisionnement en combustibles et en perches pour la construction, ainsi que des terres servant sporadiquement à l'agriculture itinérante et au pâturage. Lorsque l'espèce caractéristique *Isoberlinia doka* disparaît à la suite de cultures trop fréquentes, WHITE (1986) note qu'elle est souvent remplacée par *Terminalia avicennioides*, *T. laxiflora* et *Butyrospermum paradoxum*.

Dans la zone de la forêt claire indifférenciée, le milieu est tout aussi densément peuplé et intensivement cultivé que dans la zone précédente. White explique ainsi les mécanismes de modification de la végétation. La pratique d'une jachère relativement longue entre de courtes périodes de culture, qui laissait autrefois se restaurer la végétation et la fertilité, est peu à peu abandonnée. La durée de la jachère a progressivement diminué et, sur de vastes étendues, surtout autour des grands centres urbains, les cultures sont devenues quasi permanentes ; parfois même, seule la jachère herbeuse est pratiquée. Les arbres économiquement importants qui se sont installés naturellement ont cependant été respectés, ce qui confère au paysage une apparence de parc. Sur les sols non cultivés, la forêt claire a subi une profonde dégradation et a été remplacée localement par des fourrés ou par une formation arbustive (WHITE, 1986). Certaines régions, autrefois cultivées, se sont dépeuplées au cours du siècle dernier à l'occasion de guerres ; elles abritent actuellement une forêt claire secondaire.

En milieu naturel, la végétation s'organise généralement le long du versant en fonction de la topographie et des sols. CÉSAR (1978) décrit ainsi la séquence théorique des formations végétales dans son étude du parc national de la Comoé (nord de la Côte d'Ivoire) : « *Du bas-fond en bordure de galeries forestières au plateau, le sol sableux au départ s'enrichit progressivement en argile. Sa fertilité augmente régulièrement et la végétation ligneuse croît en taille et en densité.* » Ce schéma est très largement admis et les auteurs travaillant dans les zones naturelles de la région soudanienne d'Afrique présentent habituellement les groupements végétaux en fonction de la topographie et des sols (CÉSAR, 1978, 1990 ; TOUTAIN, 1974, 1979 a et b ; HOFFMANN, 1983, 1985 ; BRUZON, 1990 ; Collectif, 1989). Les séquences observées sont généralement différentes selon le substrat géologique.

De manière générale, ce schéma théorique s'applique à toutes les végétations peu anthropisées, même si la végétation réelle s'y organise parfois de façon un peu différente car certaines unités peuvent manquer tandis que d'autres se surajoutent. C'est ce qu'exprime HOFFMANN (1983) lorsqu'elle écrit, au sujet de la végétation des environs de Doropo dans le Nord-Est ivoirien, que l'on peut relier les groupements végétaux des milieux naturels à des « situations écologiques ».

Cependant, plus le milieu est fortement anthropisé, moins ce schéma est suivi. Hoffmann distingue trois niveaux de perturbation : faible dans la végétation « naturelle », moyenne dans la végétation « transformée » (ou « semi-naturelle ») et fort dans la végétation « perturbée ». Elle estime que, à partir d'un certain degré de perturbation, les groupements ne peuvent plus être reliés qu'à des modes d'exploitation (végétation perturbée). Dans son étude de l'utilisation pastorale du milieu par les populations lobi en Côte d'Ivoire, Hoffmann confirme, pour les végétations « transformées » de la région de Doropo, la localisation des formations herbeuses en bas-fond et des savanes arbustives et boisées sur le plateau, en accord avec le schéma exposé par César. Elle décrit en revanche des versants couverts d'une mosaïque de formations plus ou moins arbustives ne s'ordonnant pas en fonction de la teneur en argile dans le sol mais traduisant plutôt le type et le degré d'anthropisation.

Une anthropisation plus poussée, qui correspond à ce qu'Hoffmann appelle la végétation « dégradée », conduit aux paysages décrits par White (voir plus haut), l'organisation se faisant alors presque uniquement en fonction de la distance au village, c'est-à-dire en fonction de l'utilisation du milieu par l'homme. « *Les unités de végétation perturbée se retrouvent, pour la plupart, sur à peu près tous les types de sols et en toutes positions topographiques. Les facteurs déterminants sont le type et le degré de la pression subie par la végétation ; les conditions écologiques, essentiellement édaphiques, n'interviennent qu'après.* » (HOFFMANN, 1983).

2. Rappels sur la structure et le fonctionnement des savanes : strate ligneuse et strate herbacée, un équilibre dynamique

La savane étant une formation mixte ligneuse et herbacée, la question se pose donc des relations existant entre ces deux constituants. Certains auteurs ont admis l'indépendance fonctionnelle des strates ligneuse et herbacée du fait que ces deux catégories de plantes seraient tributaires de niveaux de sols différents dont les caractères et le régime hydrique ne sont pas forcément liés. Cette conception est généralement abandonnée par les auteurs plus récents qui posent le problème en termes de compétition entre les deux composants (voir par exemple WALKER et NOY-MEIR, 1982) car l'observation a montré que les systèmes racinaires des végétaux ligneux et des végétaux herbacés se rencontrent dans certaines couches du sol, même si leur répartition est en moyenne plus profonde chez les arbres (WALTER, 1971 ; DEVEAU, 1975). Strate ligneuse et strate herbacée seraient ainsi en état d'équilibre dynamique. Cette vue semble confirmée par le fait que des changements des conditions de milieu, même apparemment mineurs (modification du régime des feux ou de la pression de pâturage), peuvent parfois modifier de manière spectaculaire la végétation en faveur de l'un ou l'autre des deux constituants.

CÉSAR (1990) note ainsi que les compositions floristiques des strates ligneuse et herbacée ne sont pas toujours en concordance en un même point. D'après César, les ligneux sont par leur pérennité des indicateurs écologiques plus fidèles du climat et du sol que les herbes. Ces dernières rendent en revanche mieux compte des variations locales du milieu, édaphiques ou microclimatiques, comme des variations temporaires dues à l'activité humaine. Dans les zones anthropiques, les espèces herbacées indiquent le stade éphémère de reconstitution, tandis que les ligneux reflètent bien souvent l'état initial de la végétation et renseignent sur le passé agricole régional.

P.-M. OUEDRAOGO (1985) met en évidence un lien entre peuplements ligneux et herbacé dans une savane du Centre-Sud du Burkina Faso : composition floristique, recouvrement et même phytomasse de la strate herbacée dépendent en partie, mais en partie seulement, des caractéristiques de la strate ligneuse.

Si l'évidence d'un lien entre strate ligneuse et strate herbacée s'impose, il n'en reste pas moins vrai que leurs réactions aux diverses conditions du milieu sont souvent différentes.

LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX DE LA RÉGION DE BONDOUKUI

1. Principales formations végétales

Les principaux types de formations végétales rencontrés dans la région de Bondoukui correspondent à la végétation liée au réseau hydrographique (forêts galeries et formations herbeuses inondables qui ne couvrent que des superficies relativement faibles) d'une part et aux formations savanicoles (savanes herbeuses des bowals, savanes arbustives ou arborées et forêts claires qui couvrent la plus grande partie du paysage) d'autre part.

La zone inondable de 3 ou 4 km de large qui s'étend tout au long du Mouhoun est constituée de formations herbeuses denses à *Hyparrhenia rufa* et *Vetiveria nigriflora*, surmontées d'un couvert arbustif ou arboré très variable à *Mitragyna inermis*, *Ptilostigma thonningii*, *Guiera senegalensis* et *Terminalia macroptera*. La physionomie de la végétation dépend essentiellement de la durée de la submersion : formations herbeuses, parfois prairies lorsque la submersion est de longue durée, le couvert arboré prenant de l'importance là où l'inondation est de plus courte durée. La végétation est alors une savane arbustive ou arborée plus ou moins dense ou encore un fourré.

La régression des forêts galeries durant les dernières décennies a été spectaculaire : entre 1952 et 1981, par exemple, leur superficie a diminué de plus de 70 % alors que durant la même période l'espace cultivé s'étendait de plus de 200 %, essentiellement aux dépens des formations végétales des bas glacis (DEVINEAU, 1986 ; DEVINEAU et SERPANTIÉ, 1991).

Outre les formations savanicoles proprement dites, qui vont être décrites dans la section suivante, il existe un type physionomique largement répandu, caractéristique des zones cultivées et prédominant sur tout le bas glacis : le parc arboré.

Ce parc est dominé essentiellement par le karité (*Butyrospermum paradoxum*), et parfois, localement, par le néré (*Parkia biglobosa*). Le parc à *Faidherbia albida* est peu développé et se localise auprès des anciens villages de l'ethnie autochtone Bwaba.

Malgré la monotonie apparente de ces parcs, leur flore est néanmoins assez diversifiée, comme l'indiquent les deux exemples qui suivent.

Aux environs du village de Zanzaka, plus d'une vingtaine d'espèces ont été rencontrées dans un parc dominé par *Butyrospermum paradoxum* : *Sclerocarya birrea*, *Terminalia avicennioides*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus*, *Combretum nigricans*, *Tamarindus indica*, *Bombax costatum*, *Cassia sieberiana*, *Ficus ingens*, *Grewia venusta*, *Parkia biglobosa*, *Acacia dudgeoni*, *Lannea acida*, *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana*, *Acacia macrostachya*, *Ptilostigma thonningii*, *Gardenia ternifolia*, *Adansonia digitata*, *Lannea velutina*, *Anogeissus leiocarpus*, *Isoblerlinia doka*, *Lannea microcarpa*, *Sterculia setigera*.

Aux environs du village de Bassé, un parc, toujours dominé par *Butyrospermum paradoxum*, compte lui aussi plus d'une vingtaine d'autres espèces, telles : *Mangifera indica*, *Diospyros mespiliformis*, *Sterculia setigera*, *Prosopis africana*, *Terminalia laxiflora*, *Ficus sycomorus*, *Tamarindus indica*, *Terminalia macroptera*, *Parkia biglobosa*, *Bombax costatum*, *Khaya senegalensis*, *Isoblerlinia doka*, *Adansonia digitata*, *Anogeissus leiocarpus*, *Cola cordifolia*, *Lannea velutina*, *Vitex doniana*, *Combretum nigricans*, *Ceiba pentandra*, *Nauclea latifolia*, *Lannea microcarpa*.

2. Composition floristique des formations végétales savaniques

2.1. NATURE DES DONNÉES ET MÉTHODE D'ÉTUDE

Les investigations destinées à l'inventaire préliminaire de la flore des savanes de Bondoukui ont été réalisées d'octobre 1991 à février 1992. Une soixantaine de relevés de végétation, portant sur la présence ou l'absence des espèces sur des sites « physionomiquement homogènes », ont ainsi été effectués.

Les tableaux espèces-relevés ont ensuite été étudiés par analyse factorielle des correspondances. Les analyses globales portant sur l'ensemble des espèces ligneuses et herbacées sont peu concluantes car il est difficile de distinguer des groupements. Les résultats sont meilleurs lorsque herbes et arbres ou arbustes sont traités séparément ; cela s'explique par l'indépendance relative entre strates herbacée et arborée évoquée plus haut.

L'analyse floristique séparée de la strate ligneuse et de la strate herbacée à Bondoukui a conduit à reconnaître dix groupements d'herbes et autant de groupements d'arbres (décrits en annexe). Ces groupements ont été établis sur une base purement floristique, leurs caractères édaphiques et structuraux n'ayant été dégagés que par la suite.

Chez les herbes, la végétation qui n'a jamais été mise en culture et les jachères âgées s'opposent aux jachères plus jeunes. Dans le premier ensemble, les groupements sont clairement liés au substrat édaphique. L'unité des autres groupements se fait autour d'autres caractères, les caractéristiques des sols n'intervenant que secondairement. Les groupements d'arbres sont plus étroitement liés au substrat édaphique que ceux des herbes, néanmoins les caractères structuraux d'un site traduisent davantage son passé cultural et pastoral que ses conditions de milieu. Les formations les plus naturelles se rencontrent principalement sur les milieux impropres à l'agriculture (les sols gravillonnaires, les cuirasses et leurs rebords, les collines) tandis que les milieux les plus dégradés se situent sur les sables. La correspondance entre les milieux les moins perturbés et les zones impropres à l'agriculture à Bondoukui ressort également des observations de KIÉMA (1992). La situation observée ici est donc exactement celle que décrit Hoffmann (voir plus haut).

Les espèces herbacées les plus fréquemment rencontrées sont *Pennisetum pedicellatum*, *Pennisetum polystachion*, *Andropogon gayanus*, *Andropogon ascinodis*, *Andropogon pseudapricus*, *Andropogon fastigiatus*, *Aspilia* sp. Chez les espèces ligneuses ou suffrutescentes, *Combretum collinum*, *Cochlospermum planchonii*, *Butyrospermum paradoxum*, *Terminalia avicennioides*, *Pteleopsis suberosa*, *Terminalia laxiflora*, *Crossopteryx febrifuga*, *Daniellia oliveri* se retrouvent dans pratiquement tous les groupements.

L'analyse floristique permet néanmoins de différencier trois principaux ensembles de groupements : les groupements des cuirasses, les groupements des sols gravillonnaires et les groupements sur substrats sableux à argileux.

2.2. GROUPEMENTS DES SOLS NON GRAVILLONNAIRES À DOMINANTE SABLEUSE OU ARGILEUSE

2.2.1. Espèces caractéristiques ou préférantes

• Espèces herbacées

Stylosanthes mucronata, *Crotalaria cephalotes*, *Setaria pallide-fusca*, *Triumfetta pentandra*, *Tacca leontopetaloides*, *Borreria stachydea*, *Kaempferia aethiopica*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Chasmopodium caudatum*, *Hackelochloa granularis*, *Desmodium gangeticum*, *Sida cordifolia*, *Indigofera capitata*.

Les faciès les plus humides sont caractérisés par : *Waltheria indica*, *Wissadula amplissima* var. *rostrata*, *Sida rhombifolia*, *Centrosema pubescens*, *Sporobolus pyramidalis*, *Crotalaria retusa*, *Crotalaria mucronata*, *Mitracarpus scaber*, *Zornia glochidiata*.

Par ailleurs, *Indigofera dendroides*, *Fadogia agrestis* et *Tinnea barteri* préfèrent les faciès les plus secs.

- **Espèces ligneuses**

Securinega virosa, *Hymenocardia acida*, *Swartzia madagascariensis*, *Securidaca longepedunculata*, *Vitex simplicifolia*, *Cassia sieberiana*, *Parinari curatellifolia*, *Piliostigma thonningii*, *Dichrostachys cinerea*.

2.2.2. Végétation des jachères ou friches herbeuses ou arborées (parc) à couvert ligneux faible sur sols hydromorphes

- **Espèces préférantes**

Parkia biglobosa, *Nauclea latifolia*.

- **Espèces fréquentes**

Combretum collinum, *Butyrospermum paradoxum*, *Parkia biglobosa*, *Cochlospermum planchonii*, *Terminalia avicennioides*, *Nauclea latifolia*, *Piliostigma thonningii*.

- **Caractéristiques du groupement**

La flore ligneuse est pauvre : moins d'une dizaine d'espèces sont généralement rencontrées sur les relevés. La strate herbacée, elle aussi peu diversifiée (une dizaine d'espèces par relevé), a un recouvrement variable en graminées pérennes. Elle comprend principalement ***Borreria stachydea***, *Andropogon pseudapricus*, *Pennisetum pedicellatum*, ***Borreria radiata***, *Cassia mimosoides*, *Andropogon asciodis*, *Andropogon fastigiatus*, *Andropogon gayanus*, *Pandiaka heudelotii*, *Schizachyrium sanguineum*, *Ctenium newtonii*, ***Lepidagathis collina***. On y note l'importance des phorbes des parcours (espèces en caractères gras), des espèces ubiquistes et d'espèces de milieux écologiques relativement « secs » (espèces des sols gravillonnaires : *P. heudelotii*, *S. sanguineum*). La présence de ces dernières s'oppose à la tonalité plutôt humide de la flore ligneuse. L'ensemble de ces caractères traduit la dégradation du milieu.

2.2.3. Végétation des jachères ou friches arbustives à *Piliostigma thonningii*

- **Espèces préférantes**

Piliostigma thonningii, *Gardenia ternifolia*, *Swartzia madagascariensis*.

- **Espèces fréquentes**

Piliostigma thonningii, *Annona senegalensis*, *Butyrospermum paradoxum*, *Terminalia avicennioides*, *Pteleopsis suberosa*, *Gardenia ternifolia*, *Guiera senegalensis*, *Terminalia laxiflora*, *Securidaca longepedunculata*, *Prosopis africana*, *Cochlospermum planchonii*, *Daniellia oliveri*, *Securinega virosa*.

- **Caractéristiques du groupement**

Ce groupement caractérise les jachères sur sols argileux hydromorphes. Le couvert ligneux est variable et généralement diversifié (plus d'une quinzaine d'espèces par relevé). À ce groupement appartiennent certains faciès denses à *Terminalia avicennioides* ou *Pteleopsis suberosa*. Le recouvrement des graminées pérennes est souvent élevé. La strate herbacée a une composition floristique variable, mais se rattache à l'ensemble floristique des sols non gravillonnaires. Elle est d'ordinaire peu diversifiée comptant en moyenne moins d'une quinzaine d'espèces par relevé.

2.2.4. Végétation des jachères ou friches à *Dichrostachys cinerea* et *Securinega virosa*

- **Espèces préférantes**

Securinega virosa, *Hymenocardia acida*, *Guiera senegalensis*, *Grewia tenax*, *Dichrostachys cinerea*, *Sclerocarya birrea*.

- **Espèces fréquentes**

Butyrospermum paradoxum, *Guiera senegalensis*, *Grewia tenax*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia avicennioides*, *Securinega virosa*, *Dichrostachys cinerea*, *Annona senegalensis*, *Acacia dudgeoni*, *Diospyros mespiliformis*.

• **Caractéristiques du groupement**

Il s'agit de formations arbustives, fréquemment embuissonnées, au couvert ligneux parfois important sur sols argilo-limono-sableux devenant souvent argileux en profondeur (cf. aussi ZABRÉ, 1993, groupement IV). Le recouvrement des graminées pérennes est faible et le couvert herbacé généralement discontinu. Les espèces herbacées les plus fréquemment liées à ce groupement sont : *Pandiaka heudelotii*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon ascinodis*, *Schizachyrium sanguineum*, *Andropogon fastigiatus*, *Cassia mimosoides*, *Andropogon gayanus*, *Andropogon pseudapricus*, *Borreria radiata*, *Ctenium newtonii*, *Lepidagathis collina*, *Pennisetum polystachion*, *Fadogia agrestis*, *Borreria scabra*.

2.2.5. Végétation des friches ou jachères à *Pteleopsis suberosa* et *Annona senegalensis*

• **Espèces préférantes**

Annona senegalensis, *Gardenia erubescens*, *Pteleopsis suberosa*, *Lanea microcarpa*, *Vitex simplicifolia*, *Terminalia avicennioides*, *Parinari curatellifolia*.

• **Espèces fréquentes**

Butyrospermum paradoxum, *Terminalia avicennioides*, *Annona senegalensis*, *Pteleopsis suberosa*, *Combretum collinum*, *Gardenia erubescens*, *Lanea microcarpa*, *Guiera senegalensis*, *Grewia tenax*, *Piliostigma thonningii*, *Securidaca longepedunculata*, *Daniellia oliveri*, *Crossopteryx febrifuga*, *Gardenia ternifolia*, *Vitex simplicifolia*, *Nauclea latifolia*.

• **Caractéristiques du peuplement**

Il s'agit de formations arbustives venant sur des sols profonds sableux à sablo-argileux souvent hydro-morphes. Le peuplement ligneux y est généralement assez diversifié, le nombre d'espèces recensées en moyenne par relevé atteint la vingtaine. La strate herbacée est en revanche le plus souvent pauvre (une douzaine d'espèces en moyenne par relevé), le recouvrement des graminées pérennes est faible.

Les espèces les plus fréquentes sont *Borreria stachydea*, *Hibiscus asper*, *Cassia mimosoides*, *Andropogon gayanus*, *Andropogon fastigiatus*, *Andropogon pseudapricus*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon ascinodis* ainsi que *Crotalaria cephalotes*, *Stylosanthes mucronata*, *Setaria pallide-fusca*, *Tacca leontopetaloides*, *Triumfetta pentandra*.

L'importance des phorbes des parcours est à noter ; elle traduit la forte dégradation des pâturages dans les jachères sur substrat sableux.

2.2.6. Végétation des jachères herbeuses ou arbustives à *Piliostigma reticulatum*

• **Espèces préférantes**

Piliostigma reticulatum, *Maytenus senegalensis*.

• **Espèces fréquentes**

Butyrospermum paradoxum, *Terminalia avicennioides*, *Combretum collinum*, *Diospyros mespiliformis*, *Detarium microcarpum*, *Piliostigma thonningii*, *Annona senegalensis*, *Pteleopsis suberosa*, *Guiera senegalensis*, *Cochlospermum planchonii*, *Crossopteryx febrifuga*, *Dichrostachys cinerea*, *Maytenus senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*, *Saba senegalensis*.

• **Caractéristiques du groupement**

Il s'agit de jachères ou friches herbeuses, arbustives ou buissonneuses de couvert variable, mais souvent clair, sur sols non ou faiblement gravillonnaires, parfois peu profonds.

La composition floristique de la strate herbacée est très variable. *Pennisetum pedicellatum* y est l'espèce la plus constante, *Borreria stachydea*, *Andropogon pseudapricus*, *Andropogon ascinodis*, *Andropogon fastigiatus*, *Loudetia togoensis*, *Cassia mimosoides*, *Pandiaka heudelotii*, *Waltheria indica* s'y rencontrent aussi fréquemment. Les milieux de jachère d'âge moyen décrits par KIÉMA (1992) peuvent se rattacher à ce groupement.

2.3. GROUPEMENTS DES SOLS GRAVILLONNAIRES

2.3.1. **Espèces caractéristiques ou préférantes**

• **Espèces herbacées**

Diheteropogon hagerupii, *Andropogon tectorum*, *Cochlospermum planchonii*, *Lepidagathis collina*, *Pandiaka heudelotii*, *Loudetia simplex*, *Schizachyrium sanguineum*, *Ctenium elegans*, *Cochlospermum tinctorium*, *Jasminum pauciflorum*, *Polygala multiflora*, *Cissus doeringii*.

Par ailleurs, *Borreria pusilla* et *Loudetiopsis kerstingii* sont nettement inféodés aux cuirasses.

• **Espèces ligneuses**

Hexalobus monopetalus, *Bombax costatum*, *Opilia celtidifolia*, *Lannea velutina*, *Entada africana*, *Boswellia dalzielii*, *Sterculia setigera*, *Pericopsis laxiflora*, *Burkea africana*, *Combretum molle*, *Ostryoderris stuhlmannii*, *Combretum glutinosum*, *Ximenia americana*, *Combretum nigricans*, *Detarium microcarpum*, *Strychnos spinosa*, *Maytenus senegalensis*.

2.3.2. **Formations naturelles ou jachères anciennes arborées ou boisées – parfois forêt claire – à *Isoberlinia doka***

• **Espèces préférantes**

Strychnos innocua, *Prosopis africana*, *Isoberlinia doka*, *Diospyros mespiliformis*, *Pterocarpus erinaceus*, *Lannea acida*, *Ostryoderris stuhlmannii*, *Hexalobus monopetalus*, *Saba senegalensis* et localement, dans les ravines, *Oxytenanthera abyssinica*.

• **Espèces fréquentes**

Diospyros mespiliformis, *Cochlospermum planchonii*, *Daniellia oliveri*, *Butyrospermum paradoxum*, *Prosopis africana*, *Isoberlinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*, *Lannea acida*, *Saba senegalensis*, *Pteleopsis suberosa*, *Acacia dudgeoni*, *Gardenia erubescens*, *Parkia biglobosa*, *Oxytenanthera abyssinica*, *Strychnos innocua*, *Ostryoderris stuhlmannii*, *Hexalobus monopetalus*, *Detarium microcarpum*.

• **Caractéristiques du groupement**

Il correspond à des savanes arborées ou boisées, ou à des forêts claires, à peuplement ligneux diversifié (20 à 30 espèces en moyenne par relevé) qui constituent les formations les plus « naturelles » de la zone. C'est le groupement qui représente le mieux la forêt claire soudanienne, dont il donne cependant une image très dégradée. Il se rencontre le plus souvent sur des sols argileux ou argilo-gravillonnaires plus ou moins profonds, parfois hydromorphes, dans les zones les moins cultivées ou sur des jachères très anciennes ou encore dans des lieux naturellement protégés, comme les éboulis ou les endroits rocheux.

Le recouvrement des graminées pérennes y est généralement relativement élevé. Les principales espèces herbacées rencontrées sont : *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon ascinodis*, *Pandiaka heudelotii*, *Andropogon pseudapricus*, *Borreria radiata*, *Schizachyrium sanguineum*, *Ctenium newtonii*, *Borreria stachydea*, *Cassia mimosoides*, *Andropogon fastigiatus*, *Lepidagathis collina*, *Fadogia agrestis*, *Monocymbium ceresiiforme*.

Et pour les faciès les plus humides : *Andropogon gayanus*, *Wissadula amplissima* var. *rostrata*, *Kaempferia aethiopica*, *Triumfetta pentandra*, *Centrosema pubescens*.

Les faciès à *Isoberlinia doka* que décrit Kiéma au sein des « milieux peu perturbés sur sols non cuirassés » peuvent se rattacher à ce groupe.

2.3.3. **Savanes arbustives ou arborées à *Burkea africana***

• **Espèces préférantes**

Grewia bicolor, *Burkea africana*, *Lannea velutina*.

- **Espèces fréquentes**

Combretum glutinosum, *Cochlospermum planchonii*, *Butyrospermum paradoxum*, *Pteleopsis suberosa*, *Detarium microcarpum*, *Burkea africana*, *Lannea velutina*, *Prosopis africana*, *Lannea acida*, *Combretum collinum*, *Terminalia laxiflora*, *Terminalia avicennioides*, *Crossopteryx febrifuga*, *Annona senegalensis*, *Grewia bicolor*.

- **Caractéristiques du groupement**

Le groupement correspond à des formations naturelles sur des sols peu évolués, gravillonnaires peu profonds, impropres à l'agriculture, de physionomie diverse, arbustive, arborée ou même boisée.

Le couvert herbacé y est continu, mais le recouvrement des graminées pérennes est variable, il est principalement composé de : *Andropogon ascinodis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus*, *Loudetia togoensis*, *Andropogon fastigiatus*, *Borreria stachydea*, *Cassia mimosoides*, *Pandiaka heudelotii*, *Borreria radiata*.

2.3.4. Savanes arbustives à *Detarium microcarpum* et *Ozoroa insignis*

- **Espèces préférantes**

Ximenia americana, *Strychnos spinosa*, *Ozoroa insignis*, *Detarium microcarpum*.

- **Espèces fréquentes**

Detarium microcarpum, *Terminalia avicennioides*, *Combretum glutinosum*, *Annona senegalensis*, *Butyrospermum paradoxum*, *Cochlospermum planchonii*, *Pteleopsis suberosa*, *Gardenia erubescens*, *Ximenia americana*, *Ozoroa insignis*, *Parkia biglobosa*, *Combretum collinum*, *Piliostigma thonningii*, *Strychnos spinosa*, *Acacia macrostachya*.

- **Caractéristiques du groupement**

Ce groupement correspond à des formations le plus souvent arbustives, parfois cependant arborées ou boisées, venant sur des sols gravillonnaires–argileux peu ou moyennement profonds. La diversité du peuplement ligneux et son recouvrement sont très variables.

Le tapis herbacé est généralement continu et dominé par les espèces annuelles, sa composition floristique est très variable, les principales espèces rencontrées sont : *Pennisetum pedicellatum*, *Borreria stachydea*, *Andropogon pseudapricus*, *Andropogon gayanus*, *Andropogon fastigiatus*, *Cassia mimosoides*, *Pennisetum polystachion*, *Pandiaka heudelotii*, *Andropogon ascinodis*, *Waltheria indica*, *Borreria radiata*.

2.4. GROUPEMENTS DES FORMATIONS SUR CUIRASSES

2.4.1. Formations arbustives claires des rebords de cuirasse et buttes cuirassées

- **Espèces préférantes**

Acacia macrostachya, *Combretum micranthum*.

- **Principales espèces présentes**

Cochlospermum planchonii, *Detarium microcarpum*, *Combretum glutinosum*, *Combretum collinum*, *Acacia macrostachya*, *Guiera senegalensis*, *Grewia tenax*, *Gardenia erubescens*, *Gardenia ternifolia*.

- **Caractéristiques du groupement**

Ce groupement correspond à des formations arbustives claires, peu diversifiées venant sur des sols peu profonds, cuirassés. Le couvert herbacé est généralement discontinu et composé en majorité d'herbes annuelles.

Les espèces les plus fréquentes sont : *Andropogon ascinodis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus*, *Loudetia togoensis*, *Andropogon fastigiatus*, *Cassia mimosoides*, *Lepidagathis collina*, *Diheteropogon hagerupii*.

2.4.2. Formations herbeuses des cuirasses

• Espèces ligneuses les plus fréquentes

Combretum glutinosum, *Grewia tenax*, *Gardenia erubescens*, *Lansea velutina*, *Maytenus senegalensis*.

• Caractéristiques du groupement

Le peuplement ligneux est épars, la strate herbacée se compose typiquement de : *Borreria pusilla*, *Loudetiopsis kerstingii*, ainsi que de *Andropogon pseudapricus*, *Lepidagathis collina*, *Diheteropogon hagerupii*, *Loudetia simplex*, *Andropogon ascinodis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Cassia mimosoides*, *Pennisetum polystachion*, *Ctenium elegans*.

Des variantes de ces milieux à hydromorphie de surface sont décrits par KIÉMA (1992) aux alentours des villages de Natiyati et de Winna.

3. Données synthétiques sur la flore des formations savanicoles

3.1. SPECTRE BIOGÉOGRAPHIQUE

Il est intéressant de préciser la proportion des divers éléments géographiques qui composent la flore d'une région. Celle-ci est en effet constituée à la fois de groupes à distribution plus ou moins vaste et de groupes endémiques. Les espèces à large répartition, cosmopolites, pantropicales ou plurirégionales, sont le plus souvent des rudérales ou des espèces de milieux perturbés⁽¹⁾. C'est ainsi que, dans les groupements rudéraux, culturaux et messicoles, les plantes à large distribution dépassent en importance tous les autres groupes, comme le soulignent GERMAIN (1952) ou SCHNELL (1970). C'est ce que montrent aussi les travaux de DJIMADOUM (1993) sur la flore adventice des cultures à Bondoukui (fig. 11).

Une forte proportion d'espèces à large répartition peut donc être un indice de dégradation : la flore perd sa spécificité. Il y a diminution relative du nombre des espèces endémiques qui la caractérisent. C'est ainsi qu'à Bondoukui la proportion des espèces à large répartition, qui est de l'ordre de 25 à 28 % dans les formations les plus naturelles (cf. *supra* 2.3.2. et 2.3.4.), atteint 40 et 41 % dans les jachères (cf. *supra* 2.2.3. et 2.2.5.) et 70 % dans la flore adventice des cultures (fig. 11 et 12). La forte proportion des espèces à large répartition sur les zones cuirassées est à noter ; elle pourrait traduire un important appauvrissement floristique de ces milieux à Bondoukui.

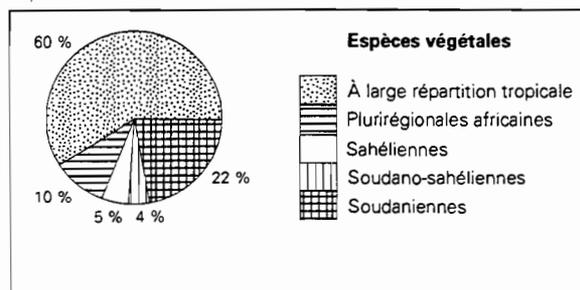


Figure 11. Spectre biogéographique des adventices des cultures de la région de Bondoukui (d'après les travaux de DJIMADOUM, 1993, adapté).

(1) Les espèces à large répartition se rencontrent aussi fréquemment chez les héliophytes et les plantes des milieux côtiers, mais ces groupes ne sont pas considérés ici.

Dans son ensemble, la flore des savanes de la région de Bondoukui est marquée par l'importance de la pression anthropique. Les espèces soudano-zambéziennes ⁽²⁾ y atteignent 63 % ; parmi elles, les espèces soudaniennes sont dominantes, mais il faut noter la pénétration d'éléments de régions climatiques plus sèches, soudano-sahéliennes (7 %) et sahéliennes (2 %) telles *Panicum laetum* et *Schoenefeldia gracilis*, typiques des milieux les plus perturbés.

À titre de comparaison, il faut signaler que les formations savaniques du parc de la Comoé en Côte d'Ivoire comportent 74,7 % de soudano-zambéziennes et 22,7 % d'espèces à large répartition (POILÉCOT, 1991), valeurs assez voisines de celles trouvées dans les formations les plus naturelles à Bondoukui où la proportion d'espèces soudano-zambéziennes est de 72 % dans les savanes boisées et de 75 % dans les savanes sur collines latéritiques (fig. 12).

3.2. SPECTRE BIOLOGIQUE

L'ensemble des formations savaniques de la région est dominé par les herbes annuelles qui représentent 32 % des espèces observées (fig. 13). Les plus forts pourcentages d'espèces annuelles se trouvent sur les cuirasses (46 %) et sur les jachères (36 et 29 %). Cette prépondérance du groupe des thérophytes se retrouve dans la plupart des savanes. Selon les données de GUINKO (1984), les thérophytes

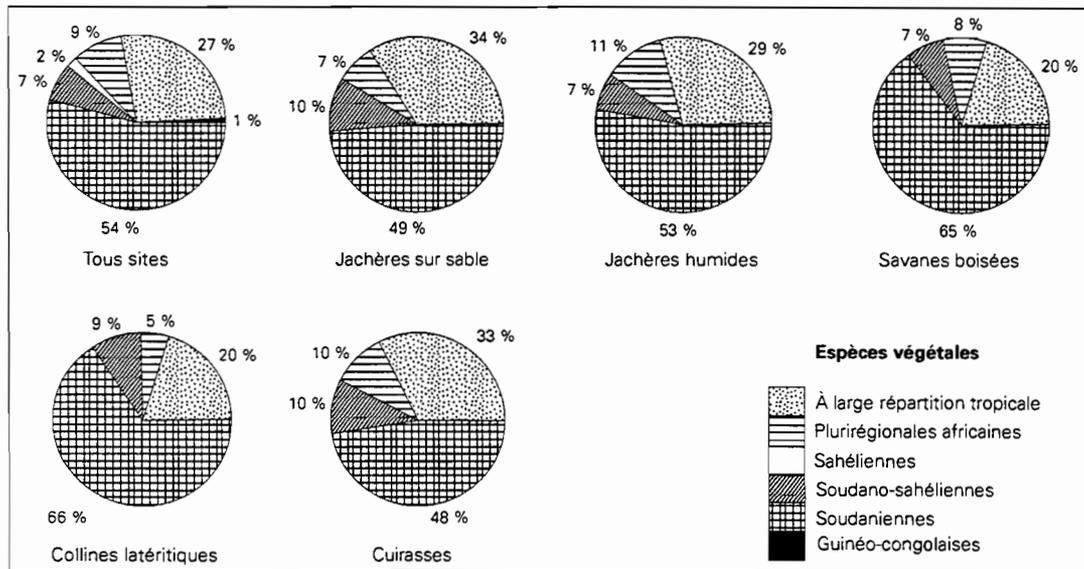


Figure 12. Spectres biogéographiques des principales formations savaniques de la région de Bondoukui.

(2) Cette dénomination fait référence à l'élément endémique de la région phytogéographique soudano-zambézienne au sens de LEBRUN (1947). Cette terminologie est usitée par la plupart des auteurs, tel GUINKO (1984) pour qui l'ensemble de la végétation du Burkina Faso appartient à cette phytochorie. Ce dernier auteur y distingue deux domaines, sahélien et soudanien, la région de Bondoukui appartenant selon sa terminologie au district ouest Volta noire du secteur soudanien méridional. Rappelons que WHITE (1986) a une position différente puisqu'il définit un centre d'endémisme régional soudanien et un centre d'endémisme régional zambézien.

Pour faciliter la comparaison avec la plupart des travaux antérieurs, nous gardons dans ce travail la dénomination « soudano-zambézienne » et y distinguons des espèces sahéliennes, soudano-sahéliennes (= sub-sahéliennes, au sens de Guinko) et soudaniennes.

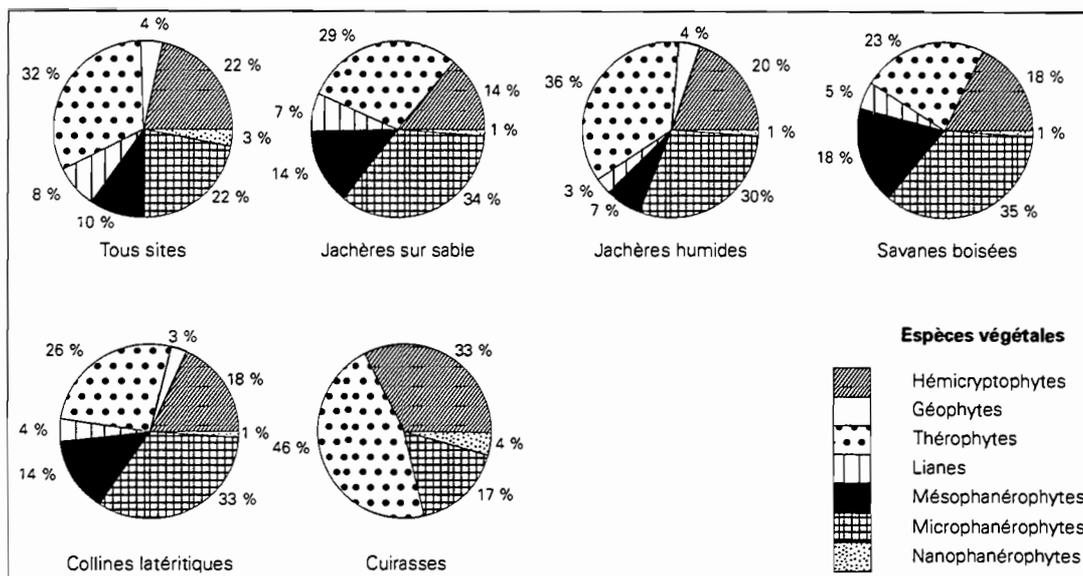
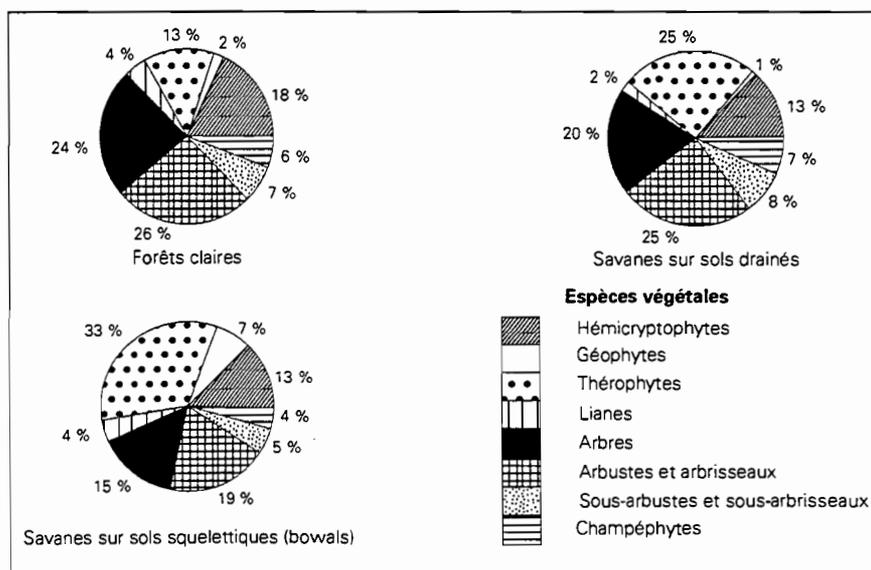


Figure 13. Spectres biologiques des principales formations savaniques de la région de Bondoukui.

constituent en effet le groupe le plus important des savanes soudaniennes sur sol drainé (25 %) ainsi que des savanes sur sols squelettiques (33 %) (fig. 14) ⁽³⁾. C'est aussi ce que montre POILÉCOT (1991) dans les savanes du parc de la Comoé où les thérophytes atteignent 43 % (fig. 15).

Figure 14. Spectres biologiques des principales formations végétales savaniques du Burkina Faso (d'après GUINKO, 1984, adapté).



(3) La figure 14 est réalisée à partir des données figurant dans le tableau 12, p. 242 de la thèse de GUINKO (1984).

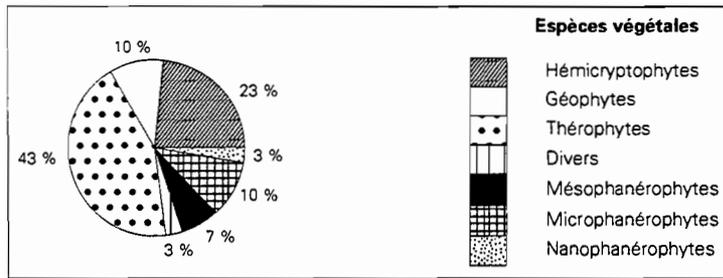


Figure 15.
Spectre biologique des savanes
du parc de la Comoé (Côte d'Ivoire)
(d'après POILÉCOT, 1991, adapté).

Rappelons que les spectres biologiques correspondent aux proportions en nombre d'espèces des différents groupes ; une représentation prenant en compte l'abondance ou la biomasse des espèces (cf. les spectres pondérés de CARLES, 1948 ou d'EMBERGER, 1966) donnerait une autre image. Dans les savanes soudanaises, ce sont en effet les graminées pérennes qui dominent la strate herbacée tant en recouvrement qu'en biomasse, la dominance des annuelles n'intervenant que dans les milieux dégradés ou dans les premiers stades de reconstitution des jachères.

Dans les savanes boisées les plus naturelles de Bondoukui, la proportion de phanérophytes, qui est de l'ordre de 54 %, est tout à fait semblable à la valeur donnée par GUINKO (*op. cit.*) pour les savanes soudanaises sur sols drainés du Burkina Faso. De même, la proportion des arbres, ou mésophanérophytes, est sensiblement identique dans les deux cas (18 et 20 %). La comparaison avec la forêt claire, où la proportion de phanérophytes est plus élevée, amène GUINKO (*op. cit.*, p. 202) à souligner l'action néfaste des défrichements et des feux (*sic*) sur la flore ligneuse. La proportion d'espèces ligneuses est en effet plus faible sur les jachères, mais la diminution concerne essentiellement les mésophanérophytes (fig. 13) ⁽⁴⁾.

Notons enfin que le spectre biologique des savanes sur collines latéritiques de Bondoukui est très semblable à celui des savanes sur sols squelettiques étudiées par Guinko, qui regroupent entre autres « les différentes étendues de plateaux et de collines basses à cuirasse latéritique subaffleurrante et affleurrante du domaine phytogéographique soudanien » (GUINKO, *op. cit.*, p. 203) ⁽⁵⁾.

3.3. SPECTRE TAXONOMIQUE

Comme dans toutes les formations savaniques soudanaises, trois groupes taxonomiques sont dominants chez les peuplements ligneux : les Légumineuses, les Combrétacées puis les Rubiacées. La part des Combrétacées augmente dans les milieux les plus anthropisés et les plus secs (jachères sur sables et collines latéritiques) alors que celle des Légumineuses diminue. Chez ces dernières, l'évolution des effectifs par famille se fait en faveur des Mimosacées et au détriment des Papilionacées (fig. 16). C'est aussi ce que montrent les données de Guinko (fig. 17). Rappelons que les savanes à Combrétacées sont considérées par différents auteurs comme des formes de dégradation de la forêt claire (LETOUZEY, 1968).

(4) On peut rappeler ici le travail de J. OUEDRAOGO (1985 et *in* DEVINEAU, 1986) dans la région de Niaogho, qui montre que, lors de la reconstitution du peuplement ligneux sur jachère, la diversification du peuplement mésophanérophytique se fait assez tardivement dans la succession ; le raccourcissement du temps de jachère est alors particulièrement néfaste pour cette fraction du peuplement ligneux. Ce point sera à vérifier pour la région de Bondoukui.

(5) Le groupe des chaméphytes n'apparaît pas dans les spectres biologiques qui ont été établis pour les formations végétales savaniques de Bondoukui. En effet, comme le remarque POILÉCOT (1991, p. 88), ceux-ci se comportent comme des hémicryptophytes dans des milieux régulièrement parcourus par les feux. C'est ainsi que nous avons placé dans cette dernière catégorie des espèces classées comme chaméphytes par Guinko, telles : *Cochlospermum planchonii*, *C. tinctorium*, *Sapium grahamii*, *Indigofera bracteolata*, *Fadogia agrestis*, *Waltheria indica*, etc.

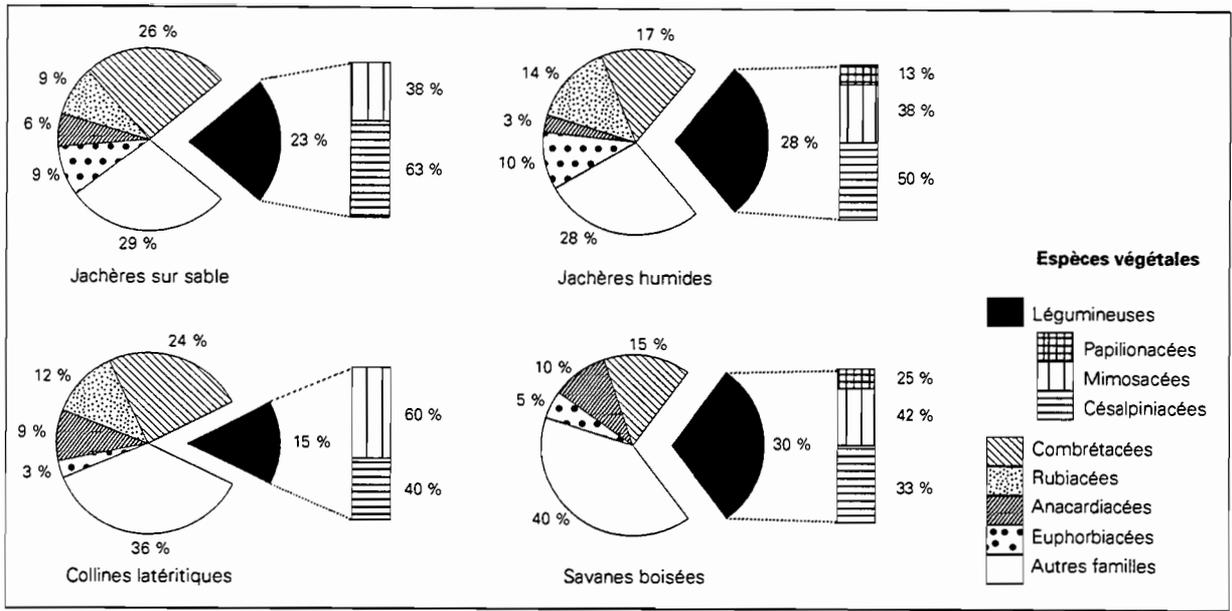


Figure 16. Spectres taxonomiques des ligneux des principales formations savaniques de la région de Bondoukui.

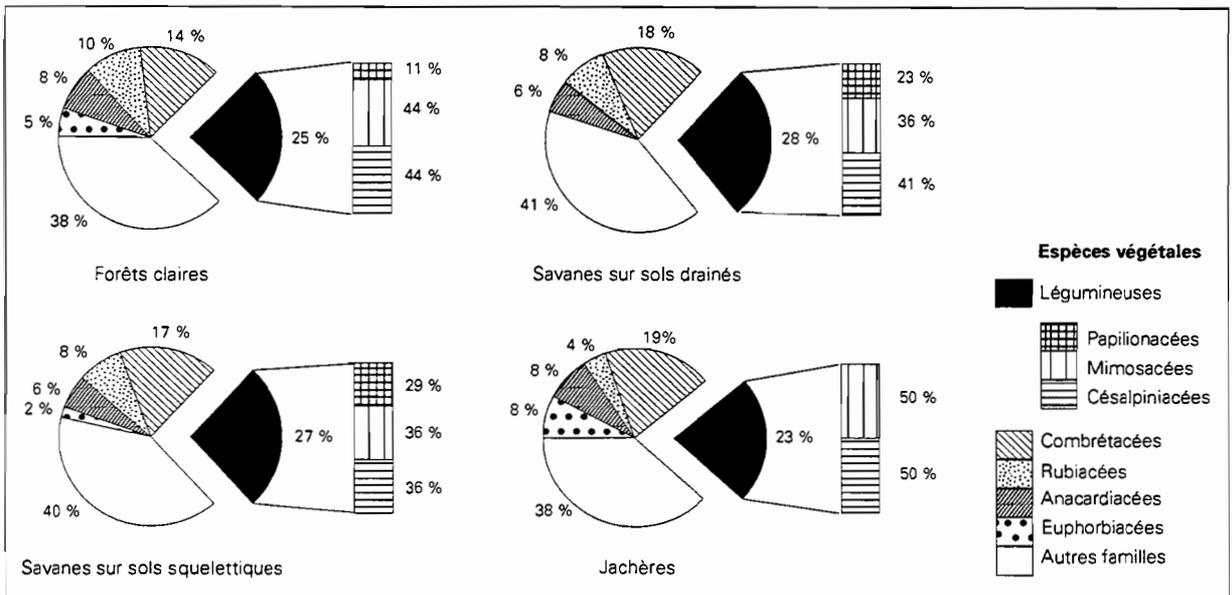


Figure 17. Spectres taxonomiques des ligneux des principales communautés végétales savaniques du Burkina Faso (d'après les travaux de GUINKO, 1984, adapté).

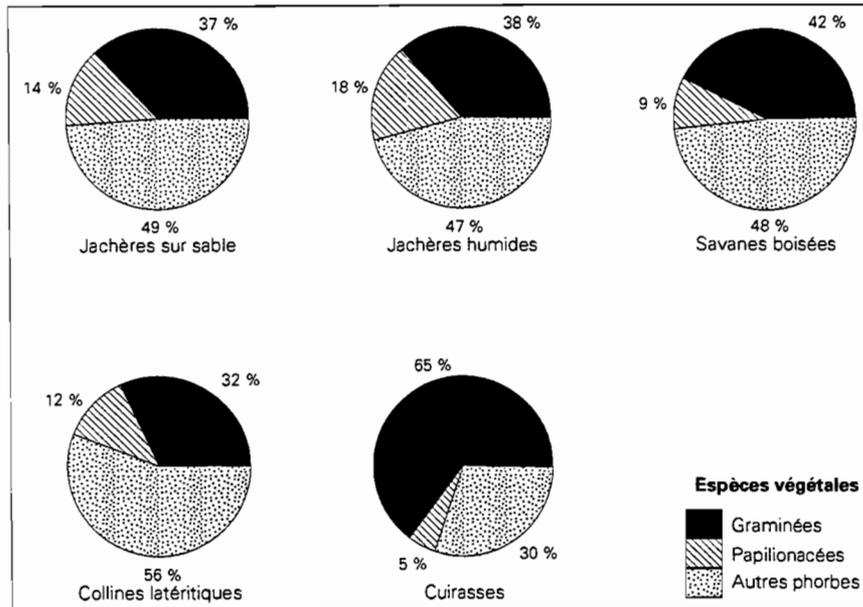


Figure 18. Spectres taxonomiques simplifiés des herbes des principales formations savaniques de la région de Bondoukui.

Chez les herbes où les Graminées dominent, la part des Papilionacées ⁽⁶⁾ est sensiblement plus importante dans les jachères, contrairement à ce qui est observé pour les peuplements ligneux (fig. 18).

4. Richesse spécifique

La richesse spécifique, ou nombre d'espèces présentes dans un milieu donné, est l'un des aspects de la diversité biologique ; le second aspect, l'équitabilité – que nous n'aborderons pas ici – prend en compte la proportion des individus des différentes espèces au sein des biocénoses.

La richesse spécifique est une notion simple, son utilisation dans la comparaison des biocénoses entre elles n'est cependant pas aisée, en particulier si l'on doit se fonder sur les travaux de différents auteurs. Elle dépend en effet notamment de l'aire prospectée et de la méthodologie d'inventaire qui varient beaucoup et sur lesquelles les auteurs donnent généralement peu de précisions. Par ailleurs, sa signification même varie selon l'échelle d'investigation, car, comme le souligne FRONTIER (1976), en changeant d'échelle, on change de phénomène.

À partir de l'inventaire de reconnaissance sur lequel se fonde ce travail, et qui rappelons-le a été réalisé entre septembre 1991 et février 1992, une première approche de la richesse spécifique des peuplements végétaux de la région de Bondoukui est possible.

Afin de mieux percevoir la signification des valeurs observées, nous avons tenté de les comparer aux données d'autres auteurs à deux échelles de perception, l'une locale, l'autre plus globale.

(6) Les relevés sur lesquels se fonde ce travail ayant été effectués de septembre à février, il est très vraisemblable que certaines espèces à cycle court aient pu échapper aux investigations. Il est probable que le nombre des Cypéracées et des Papilionacées notamment soit sensiblement sous-estimé.

Tableau I : Richesse floristique stationnelle pour différentes savanes d'Afrique de l'Ouest
(Savanes arbustives et arborées)

Localité	Latitude	Ligneux	Herbes	Graminées pérennes	Auteurs
Gampela	12° 25' N	30 (23-39)	61 (49-79)	4 (2-08)	ZOUNGRANA (1991) (1)
Tiogo	12° 15' N	30 (14-40)	31 (22-42)	3 (1-09)	ZOUNGRANA (1991) (2)
Bondoukui	11° 50' N	37 (26-49)	20 (09-32)	4 (1-08)	Présent travail (3)
Dinderesso	11° 10' N	38 (35-42)	30 (27-35)	11 (9-12)	ZOUNGRANA (1991) (4)
Nazinga	11° 01' N	37 (30-60)	60 (26-92)	11 (5-13)	FOURNIER (5)
Sideradougou	10° 41' N	28 (07-55)	18 (07-30)	7 (6-12)	ZOUNGRANA (1991) (6)
Ouango-Fitini	9° 35' N	17	21 (11-26)	8 (6-10)	FOURNIER (inédit)
Kawaha	9° 03' N	?	31	9	CÉSAR (1990) (7)
Badikaha	9° 01' N	?	34	9	CÉSAR (1990) (8)
Badikaha	9° 01' N	?	20	8	CÉSAR (1990) (9)
Comoé	8° 50' N	30 (03-53)	60 (39-87)	11 (5-18)	POILÉCOT (1991) (10)

En italique : plus petite et plus grande valeurs observées.- (1) Valeurs moyennes des stations 8 et 10 à 14 de l'auteur. - (2) Valeurs moyennes des stations 32 à 41 de l'auteur. - (3) Savanes arbustives et arborées, jachère, valeurs moyennes sur 60 relevés. - (4) Valeurs moyennes des stations 15 à 17 de l'auteur. - (5) Savanes arbustives et arborées, réserve de faune, valeurs moyennes sites 1, 2, 3, 4, 5 (FOURNIER, 1991) : relevés avec suivis phénologiques au cours de deux années successives. - (6) Valeurs moyennes des stations 18, 21 à 24, 26, 28, 29 de l'auteur. - (7) Savane arborée, site Ba (CÉSAR, 1991). - (8) Savane boisée, site Bb (CÉSAR, 1991). - (9) Jachère à *Andropogon gayanus* site K (CÉSAR, 1991). - (10) Savanes arbustives et arborées, parc national, réserve de faune, valeurs moyennes des sites A1, A2, A3, A5, A6, A7, A8, A9, A10, B2, B3, B5 (POILÉCOT, 1991).

Tableau II : Richesse floristique totale pour différentes savanes d'Afrique de l'Ouest
(Zones inondables et formations forestières fermées exclues)

Localité	Latitude	Ligneux	Herbes	Graminées pérennes	Auteurs
Gampela	12° 25' N	83	141	11	ZOUNGRANA (1991) (1)
Tiogo	12° 15' N	75	85	7	ZOUNGRANA (1991) (2)
Bondoukui	11° 50' N	84	179	26	Présent travail (3)
Léo	11° 20' N	93	162	25	TOUTAIN (1974) (4)
Samorogouan	11° 17' N	77	184	31	TOUTAIN (1979) (5)
Nazinga	11° 01' N	109	...	27	FOURNIER (inédit)
Sud soudanien	10° 41'-11° 10' N	110	119	32	ZOUNGRANA (1991) (6)
Diébougou	10° 33'-57' N	102	BURIE (1986) (7)
Daramandougou	10° 40' N	71	78*	29	TOUTAIN (8)
Comoé	8° 50' N	80	200	30	POILÉCOT (1991) (9)
Comoé	8° 50' N	82	302	39	POILÉCOT (10)

(1) Ensemble des espèces inventoriées sur les stations 8, 10, 11, 12, 13, 14 de l'auteur. - (2) Ensemble des espèces inventoriées sur les stations 32 à 41 de l'auteur. - (3) Valeurs obtenues à partir du sondage initial (voir texte). Les travaux plus intensifs réalisés postérieurement sur le site laissent penser que le nombre d'espèces ligneuses (arbres, arbustes, buissons) serait de l'ordre de la centaine. - (4) D'après la florule donnée en annexe, espèces des sols inondables, des berges, des cultures et des mares exclues. - (5) D'après la liste des espèces donnée en annexe, espèces des sols inondables, des berges, des cultures et des mares exclues. - (6) Ensemble des espèces inventoriées sur les stations 15 à 30 de l'auteur. - (7) D'après la liste d'inventaire floristique des 27 relevés effectués par l'auteur (annexe IV), espèces de galeries forestières et de forêt dense sèche exclues. - (8) D'après la liste des espèces donnée en annexe, espèces des sols inondables, des berges, des cultures et des mares exclues. - (9) Évalué d'après les données de Poilécot, espèces des savanes arborées et arbustives, ensemble des sites A1, A2, A3, A5, A6, A7, A8, A9, A10, B2, B3, B5 (POILÉCOT, 1991). - (10) Ensemble des formations savaniques, valeurs données par l'auteur : tableau 11, p. 150. - * Valeur très sous-estimée selon l'auteur.

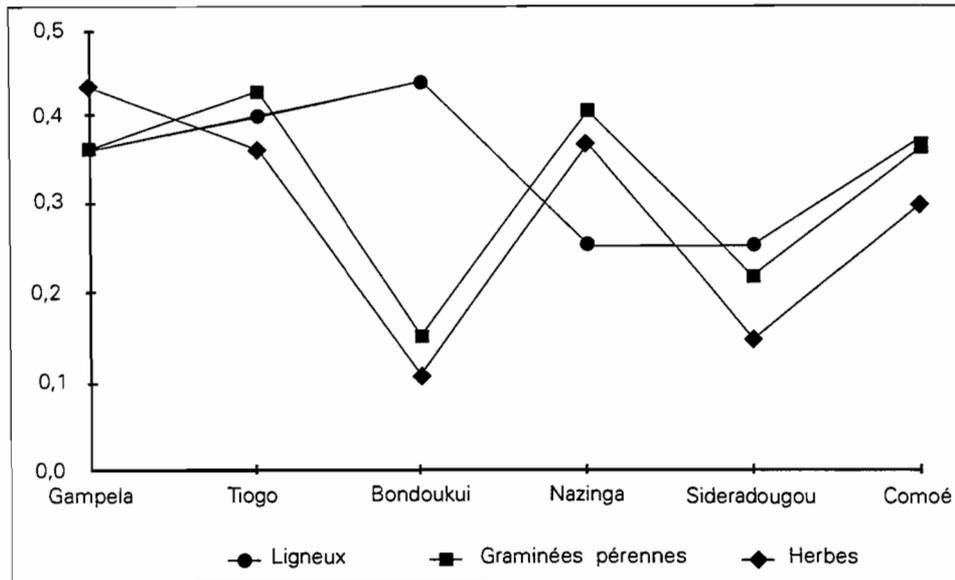


Figure 19. Rapport entre richesse spécifique stationnelle et richesse spécifique totale pour différents sites de savanes sur sols drainés (références : voir tableaux I et II).

La première échelle, celle de la station homogène, est commune à la plupart des auteurs, la variabilité provient surtout de la précision de l'inventaire. Les relevés peuvent correspondre, par exemple, à la période de développement maximal de la strate herbacée, comme dans le présent travail, ou au contraire à des relevés avec suivis phénologiques au cours d'une ou plusieurs années successives comme ceux réalisés par FOURNIER (1991) à Nazinga.

La seconde échelle correspond à un ensemble plus vaste, celui des formations savaniques sur sols drainés. Ici la comparaison avec d'autres travaux est plus délicate car elle implique le plus souvent une nouvelle interprétation des données des auteurs. Contrairement à la « station homogène », qui est une notion commune aux différents auteurs, cette échelle n'a en effet pas de définition implicite commune. Les limites de cet ensemble ne sont pas strictement définies et l'on hésitera parfois à y inclure telle ou telle formation légèrement hydromorphe par exemple. Les informations fournies par les divers auteurs ne permettent pas toujours de comparer les milieux avec la précision requise, d'autant que leurs relevés ont souvent été effectués en fonction d'objectifs variés.

Bien que sa précision soit moindre que celle obtenue pour la station homogène, nous avons cependant tenté la comparaison à cette échelle en ne gardant dans les données des auteurs étudiés que les espèces des savanes sur sols drainés et en excluant les espèces des formations inondables et des formations forestières fermées.

La richesse spécifique des peuplements ligneux des savanes sur sols drainés apparaît ainsi du même ordre de grandeur à Bondoukui que dans les autres sites soudaniens. Il faut néanmoins remarquer que les plus fortes richesses spécifiques totales se rencontrent aux alentours du 10^e parallèle (tabl. II) et que, par ailleurs, à Bondoukui comme à Nazinga ou à Dinderesso, les richesses stationnelles sont en moyenne sensiblement plus élevées que dans les stations les plus extrêmes du gradient (tabl. I).

La richesse spécifique totale des peuplements herbacés est relativement élevée à Bondoukui et du même ordre de grandeur que dans la plupart des stations soudaniennes ou sud-soudaniennes (tabl. II). Elle est plus faible dans les stations nord-soudaniennes (Tiogo et Gampela). La richesse stationnelle est en revanche relati-

vement faible à Bondoukui (tabl. I). Chez les graminées pérennes, la richesse totale apparente le site de Bondoukui à l'ensemble des sites soudaniens et sud-soudanien (tabl. II), alors que sa richesse stationnelle faible est comparable à celle observée dans les stations les plus septentrionales (tabl. I).

Une faible richesse spécifique locale opposée à une richesse totale relativement élevée semble donc être le caractère le plus marquant des peuplements herbacés de la région de Bondoukui (fig. 19). Elle traduit une structure en mosaïque avec une forte variabilité entre les éléments. Le peuplement ligneux donne en revanche une image inverse, qui traduit une plus grande homogénéisation de sa composition floristique.

Ces données appuient le point de vue déjà évoqué de César selon lequel les ligneux renseignent davantage sur l'état initial de la végétation et sur le passé agricole régional, tandis que les herbes rendent mieux compte des variations locales du milieu, édaphiques ou microclimatiques, ainsi que des activités humaines temporaires.

Les nombreux faciès d'herbes à faible richesse individuelle correspondent à divers stades de reconstitution, sur différents sols, dans la succession après culture, un petit groupe d'espèces en remplaçant un autre, ou encore à divers stades de dégradation des milieux pâturés. La richesse globale élevée des herbes peut ainsi s'expliquer par l'intrication de la flore des milieux encore relativement naturels renfermant les espèces typiques des régions soudaniennes avec celle des milieux fortement anthropisés où s'implantent plus ou moins temporairement des espèces de régions plus septentrionales, variables selon les conditions locales. La richesse floristique globale élevée en graminées pérennes de Bondoukui marque donc l'appartenance du site à la région phytogéographique soudanienne. Sa pauvreté moyenne locale en graminées pérennes à l'échelle du faciès traduit en revanche sa forte anthropisation.

Quelle est la signification d'une telle organisation ? Elle sera à rechercher dans des études plus précises de la diversité biologique et de son évolution sous l'influence des diverses actions anthropiques.

Troisième partie

CARTOGRAPHIE PRÉLIMINAIRE DE LA VÉGÉTATION ET DES SOLS

par J.-L. DEVINEAU et B. KALOGA

ANALYSE DES IMAGES SATELLITAIRES

1. Objectifs

L'analyse des images satellitaires qui a été réalisée a pour but de fournir une première cartographie fondée sur une typologie très générale des sols et de la végétation.

Elle vient en préliminaire à la mise en place des programmes d'écologie et d'agronomie qui doivent se dérouler sur la région de Bondoukou, en fournissant les premiers éléments de caractérisation et de stratification du milieu.

2. Méthodes

2.1. ANALYSE D'IMAGE

Deux images de la scène SPOT K049 J326 ont été analysées, l'une du 8 janvier 1989, l'autre du 7 juin 1990. Les données utilisées ne sont pas corrigées des effets atmosphériques.

L'analyse des images consiste à regrouper les pixels en fonction de leurs caractères radiométriques. Ce regroupement peut se faire soit par des méthodes de classification dites supervisées, soit par des méthodes de classification dites automatiques. Dans le cas de la première méthode, c'est l'opérateur qui, grâce à sa connaissance du terrain, identifie des zones homogènes correspondant aux différents thèmes à cartographier (zones d'entraînement). Il détermine les caractères radiométriques de ces zones, ce qui permet le regroupement des pixels de l'image en fonction de ces caractères. Pour être efficace, cette méthode exige une connaissance parfaite et aussi exhaustive que possible des différents thèmes. Les analyses supervisées sont en pratique surtout justifiées pour la cartographie d'objets ou de thèmes précis (champs de coton, de mil, etc.) pour lesquels on dispose de représentants clairement localisés.

Les méthodes non supervisées, fondées sur une analyse statistique de l'image, sont mieux adaptées à l'analyse globale d'une image.

C'est cette dernière méthode qui a été retenue dans ce travail ; l'analyse des images a été effectuée par la méthode des nuées dynamiques (ANDERBERG, 1973 ; DIDAY, 1972, 1975) à l'aide du logiciel Planète de l'Orstom. Le nombre maximal de classes (P) statistiquement significatives est déterminé par « la formule de décomposition d'histogrammes » : $P = 5 \log(n)$ (in ANDRIANASOLO, 1990).

Les classes obtenues sont ensuite interprétées en fonction de leurs caractéristiques radiométriques et de la connaissance du terrain (expertise et observations au sol). Des regroupements sont éventuellement effectués en fonction des typologies thématiques retenues.

Les classifications peuvent être réalisées et interprétées à l'aide des canaux d'origine S1, S2 et S3 ou à l'aide de néocanaux.

Les néocanaux utilisés ici sont :

- l'indice de brillance (IB) : $[(XS1^2 + XS2^2 + XS3^2)/3]^{0,5}$,
- l'indice de végétation (IVN) : $(S3-S2)/(S3+S2)$,
- l'indice de couleur (IC) : $(S2-S1)/(S2+S1)$,
- l'indice de rougeur de Madeira (IR) : $S2^2/S1^3$ (POUGET *et al.*, 1990).

MADEIRA (1993) a en effet montré que l'indice de rougeur est étroitement proportionnel au rapport hématite/goéthite.

Les analyses d'image ont porté sur deux classifications. La première, réalisée à partir des indices de végétation, de brillance et de couleur, a servi de base à la classification de la végétation et à la création des unités cartographiques. La seconde, fondée sur l'indice de brillance et l'indice de rougeur, a permis une interprétation plus précise des sols de chacune des unités cartographiques, sur le critère de leur couleur de surface en relation avec le rapport hématite/goëthite.

2.2. INTERPRÉTATION ET VALIDATION DES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES

Une première interprétation des unités a été faite à partir, d'une part, des observations effectuées lors de deux missions de reconnaissance réalisées l'une en octobre 1990 par J.-L. Devineau et G. Serpantié, l'autre en mars 1991 par B. Kaloga (dans le cadre du stage cartographie des sols par télédétection de MM. Semdé, Somé et Zoungrana) et, d'autre part, de divers documents cartographiques et de photographies aériennes à 1/50 000 (mission 81029 HV, 1981).

L'examen des photographies aériennes suffit pour confirmer la signification de certaines unités telles que les forêts ou les zones inondables.

Par ailleurs, pour que la cartographie des différents thèmes pédologiques soit possible par l'analyse des images satellitaires, il faut et il suffit que leur organisation dans l'espace se fasse en fonction des caractères radiométriques.

La présentation de la géomorphologie et des sols a montré que :

- *les caractères des sols* relèvent de l'héritage ferrallitique et de ses transformations ultérieures.

En ce qui concerne les matériaux meubles constitutifs des sols, les transformations de l'héritage ferrallitique consistent essentiellement en un effondrement de la stabilité de la structure. Les étapes de cette évolution sont jalonnées par un départ de l'hématite et le passage des sols rouges à des sols rouge pâle (dits de transition) puis rouge-jaune, jaune-rouge et enfin beiges hydromorphes (ferrugineux tropicaux).

L'indice de rougeur mis au point par MADEIRA (1993) permet de quantifier ce processus à l'échelle du paysage.

- *ces caractères* sont organisés de manière toposéquentielle dans le paysage, avec des caractères radiométriques bien différenciés.

Les lithosols sur cuirasse ferrugineuse du moyen glacis sont des sols sombres, moyennement rouges et parfois pierreux (pavage de pierres et cailloux) lorsqu'ils sont nus (« bowals » pierreux).

Ceux du complexe haut glacis-relief intermédiaire-surface éocène s'en distinguent parce qu'ils sont beaucoup plus riches en hématite (sols rouges et sombres lorsqu'ils sont nus).

Les sols hydromorphes à pseudogley sur matériau colluvio-alluvial argileux des plaines inférieures sont clairs (brillants) lorsqu'ils sont nus, et pas du tout rouges.

Les sols ferrugineux tropicaux appauvris sont moins clairs, plus ou moins rouges selon le degré de dégradation de l'héritage ferrallitique.

Les sols ferrallitiques nus sont brillants et très rouges.

Lorsque les sols ne sont pas nus, la végétation constitue parfois un bon caractère distinctif (cf. 1^{re} partie, 2. Résultats de la cartographie de la région de Solenzo).

On est donc dans le cas où « *l'expérience et les connaissances "exogènes" à l'image de l'utilisateur sont très performantes* » (KING, 1986), avec une quasi-validation de terrain constituée par les études de sols et la validation de l'étude des sols par télédétection faite au nord de la zone étudiée par MM. SEMDÉ, SOMÉ, ZOUNGRANA (1992) sous la direction de B. Kaloga.

Cependant, pour certaines unités, une étude plus détaillée de terrain s'est avérée nécessaire.

C'est pourquoi, en octobre-novembre 1991 et en février 1992, des relevés de terrain ont été effectués sur une soixantaine de parcelles repérées sur l'image satellitaire, pour caractériser les sols et la végétation des principales unités représentées sur le site de recherche de Bondoukui (quart sud-est de

la scène SPOT). Sur chaque parcelle, la flore (cf. 2^e partie) et la structure de la végétation (recouvrement ligneux et herbacé) ont été étudiées et des sondages pédologiques à la tarière effectués.

3. Résultats

3.1. CLASSIFICATION À PARTIR DE L'INDICE DE VÉGÉTATION, DE BRILLANCE ET DE COULEUR

3.1.1. Image de juin 1990

Une partition initiale en dix-huit classes a été réalisée à partir des indices de végétation, de brillance et de couleur.

Un premier regroupement a permis de définir douze unités cartographiques. Les regroupements sont effectués en fonction de la proximité radiométrique des classes et de l'interprétation thématique qu'il est possible d'en faire au vu des données de terrain et de l'organisation de l'image. L'unité cartographique 2 regroupe par exemple quatre classes représentant une séquence à granulométrie croissante du bas en haut de pente, allant de sols ferrugineux tropicaux appauvris de texture argileuse à des sols gravillonnaires-argileux (fig. 20 et 21).

3.1.2. Image de janvier 1989

La même procédure que pour l'image de juin a été suivie. Une partition en neuf classes a finalement été retenue pour l'ensemble du périmètre étudié (DEVINEAU *et al.*, 1991 ; fig. 22). L'importance des zones brûlées ne permet pas une bonne utilisation de l'image ; celle-ci a cependant été utilisée pour mettre en évidence les formations boisées denses et les formations herbeuses des zones inondables. La végétation de ces dernières reste en effet partiellement active en janvier où des repousses sont encore fréquentes, contrairement aux formations environnantes.

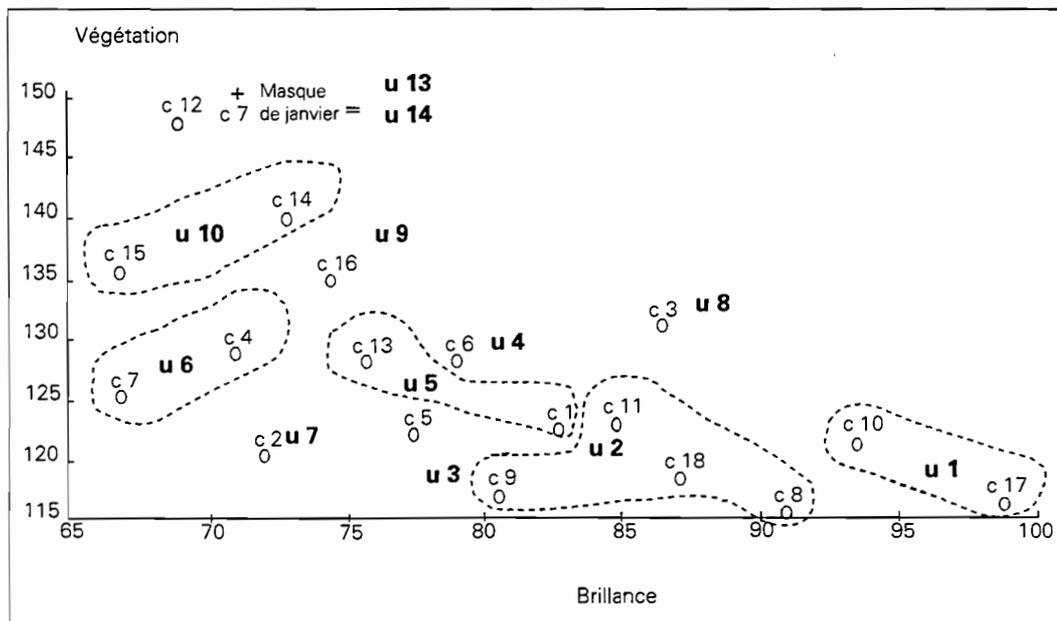


Figure 20. Distribution des classes de la partition d'origine de l'image de juin 1990 (C 1 à 18) en fonction des indices de brillance et de végétation et leurs regroupements en unités cartographiques.

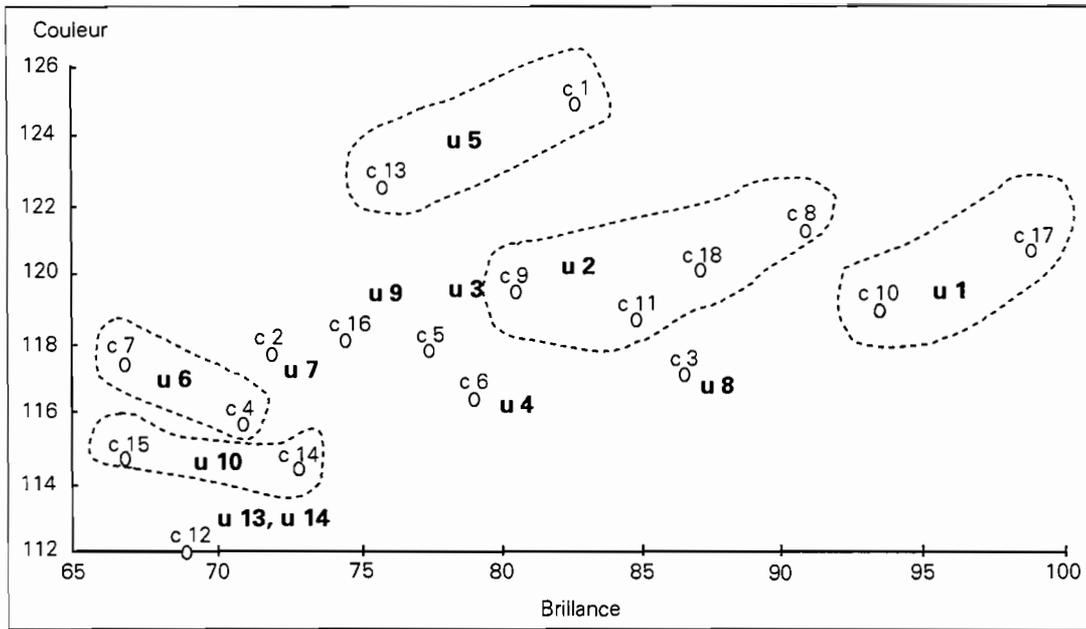


Figure 21. Distribution des classes de la partition d'origine de l'image de juin 1990 (C 1 à 18) en fonction des indices de brillance et de couleur et leurs regroupements en unités cartographiques.

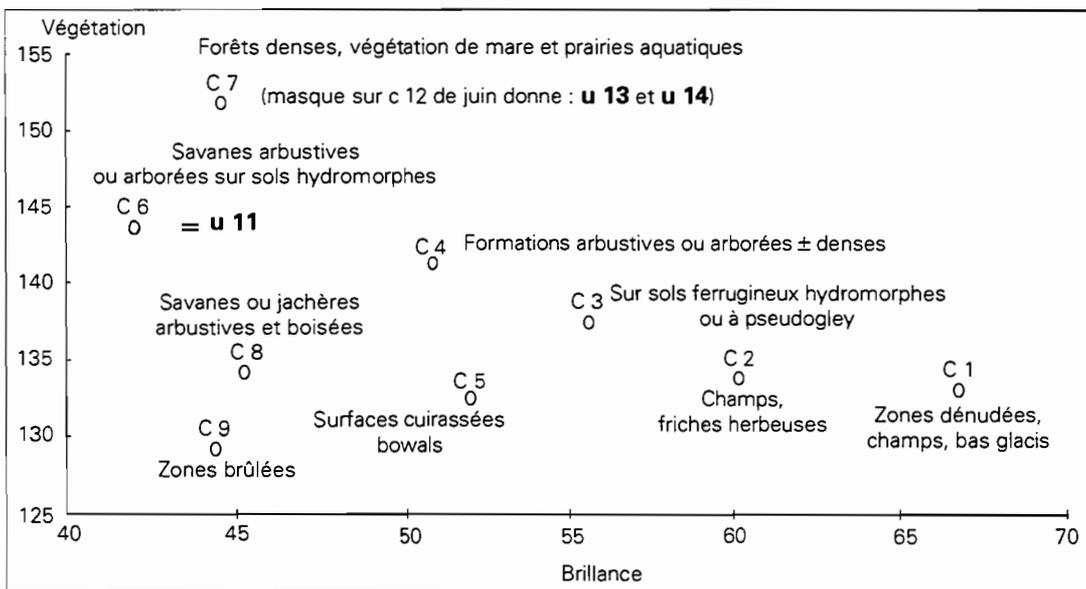


Figure 22. Distribution des classes de l'image de janvier 1989 (C 1 à 9) en fonction des indices de brillance et de végétation (U11, 13 et 14 = unités cartographiques finales).

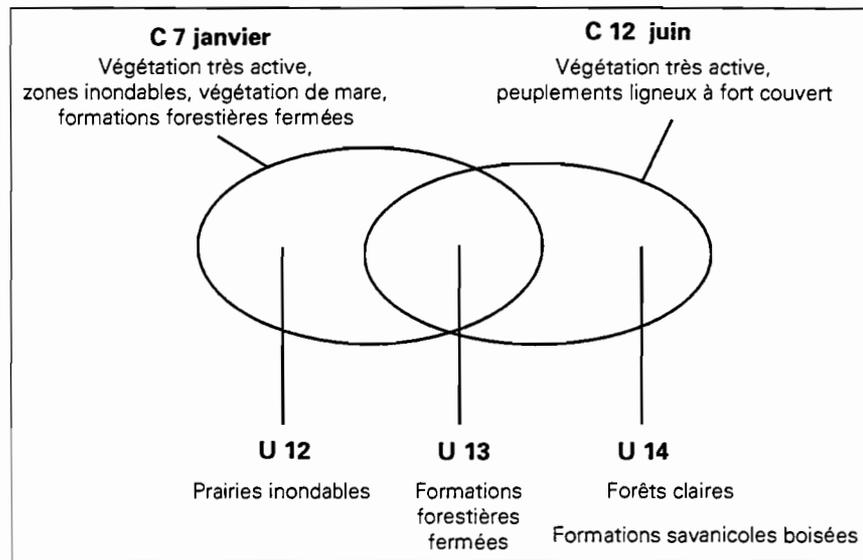
3.1.3. Image multidate (janvier 1989-juin 1990)

La classification finale a été réalisée à partir d'une combinaison des classifications de janvier et de juin. La classification de janvier a servi essentiellement à mettre en évidence les zones inondables, savanes arbustives et prairies sur sols hydromorphes alluviaux (unités 11 et 12), ainsi qu'à discriminer forêts denses et forêts claires (unités 13 et 14).

La superposition des classes ayant les plus forts indices de végétation en janvier et en juin a permis de différencier : les prairies inondables et végétation de mare (unité 12, végétation active en janvier, peu en juin), les formations forestières fermées (unité 13, végétation également active en janvier et en juin) et les forêts claires ou savanes densément boisées (unité 14, végétation active en juin, faiblement active en janvier) (fig. 23).

On arrive ainsi à l'individualisation de quatorze unités cartographiques.

Figure 23.
Création des unités
cartographiques 12, 13 et 14
à partir des classes C7
de janvier 1989 et C12
de juin 1990.



3.2. CLASSIFICATION À PARTIR DE L'INDICE DE BRILLANCE ET DE L'INDICE DE ROUGEUR

La présentation de la géomorphologie et des sols a montré l'importance des héritages ferrallitiques et de leurs transformations dans les caractères des sols, et l'organisation toposéquentielle de ces derniers dans le paysage.

L'indice de rougeur qui permet de suivre les différentes étapes de ces transformations doit donc être particulièrement adapté à la cartographie des sols de cette région.

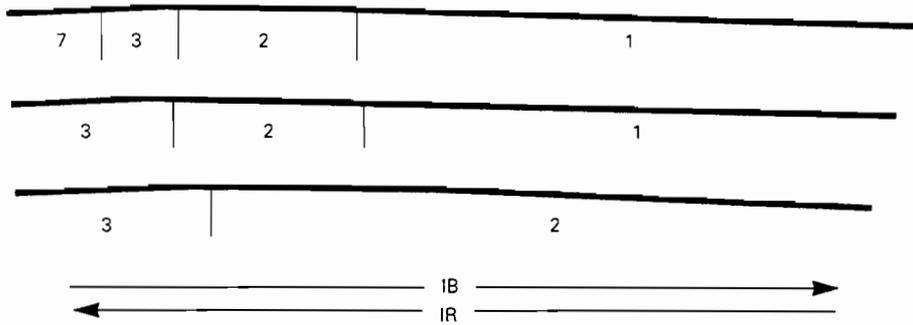
Cela est confirmé par l'analyse en composante principale des quatre néocanaux (indices de végétation, de brillance, de rougeur et de couleur) à étalement dynamique comparable. Celle-ci montre :

- une première composante qui explique 58 % de l'inertie du nuage et qui est déterminée par l'indice de végétation ($\cos^2\beta$ ou indice de corrélation = 0,778) s'opposant aux indices de brillance et de couleur cependant mal corrélés à l'axe ($\cos^2\beta$ respectifs : -0,441 et -0,475) ; la végétation est le premier facteur discriminant dans le paysage : les sols couverts s'opposent aux sols nus et brillants ;
- une deuxième composante qui explique 31 % de l'inertie du nuage et qui est déterminée par l'indice de rougeur ($\cos^2\beta = -0,788$) auquel est associé l'indice de couleur ($\cos^2\beta = -0,549$) : le premier facteur discriminant des sols nus est l'indice de rougeur ;

Nord-ouest



Centre-ouest



Sud-ouest

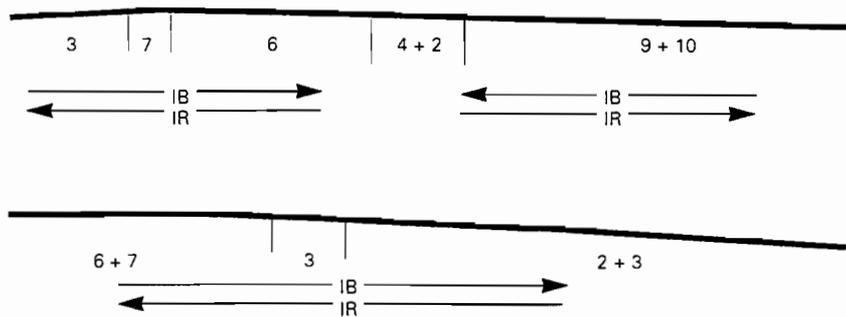


Figure 24. Organisation des unités radiométriques le long de quelques toposéquences pour différents secteurs de la carte.

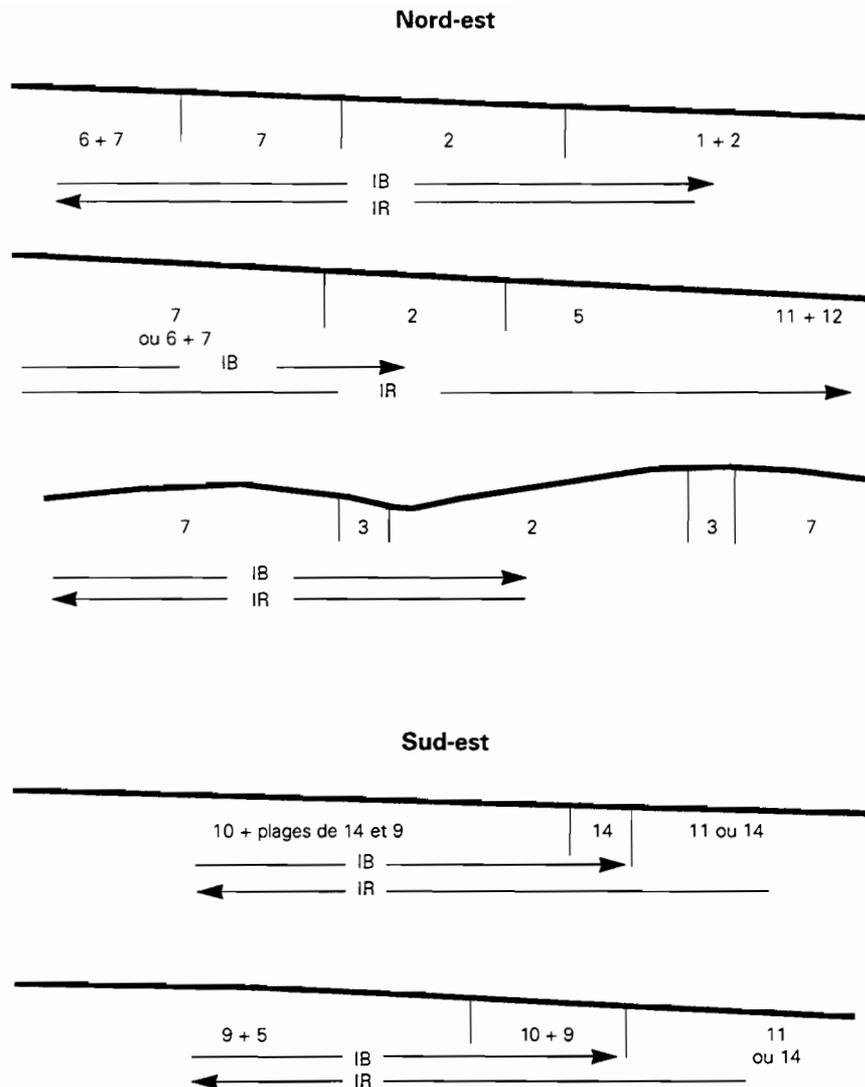


Figure 24. Organisation des unités radiométriques le long de quelques toposéquences pour différents secteurs de la carte (fin).

– une troisième composante qui n'explique plus que 10 % de l'inertie du nuage et qui est déterminée par l'indice de brillance ($\cos^2\beta = 0,9690$) associé à l'indice de végétation ($\cos^2\beta = 0,603$). Il s'agit d'une composante mineure déterminée par des sols à indice de brillance assez élevé, avec un indice de végétation également assez élevé ou moyen.

Par ailleurs, l'analyse de la carte des quatorze unités radiométriques obtenues par l'analyse de l'image multidate montre une organisation toposéquentielle avec indice de brillance et indice de rougeur décroissant vers les thalwegs (fig. 24).

Ces variations sont moins nettes quant à l'indice de couleur. D'autre part, dans la partie ouest, la croissance de l'indice de brillance n'est plus continue jusque dans les thalwegs, alors que la décroissance de l'indice de rougeur le reste sauf lorsqu'il s'agit de sols de mêmes types, mais se différenciant par le couvert végétal (exemple des unités 5, 9 et 10).

On a donc effectué une classification basée sur un découpage de l'indice de rougeur seul, puis des indices de rougeur et de brillance d'après leurs histogrammes.

L'indice de rougeur (IR) a été découpé en neuf classes (classification IR neuf classes : planche 1 hors texte). L'examen de la carte montre une organisation toposéquentielle quasi parfaite de l'indice de rougeur (fig. 25).

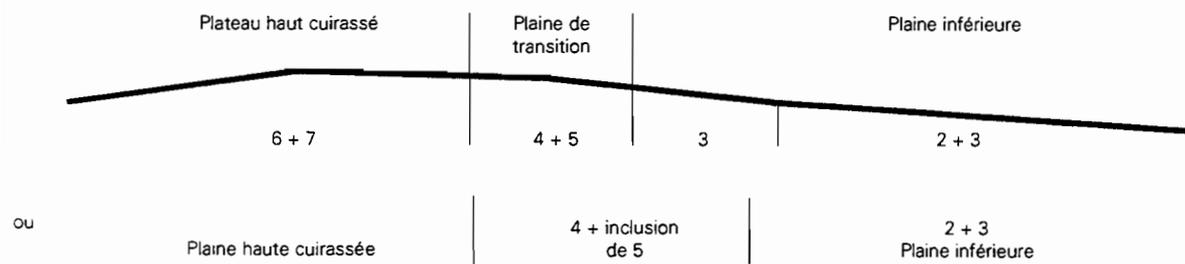


Figure 25 a. Domaine du complexe haut glacis- moyen glacis.

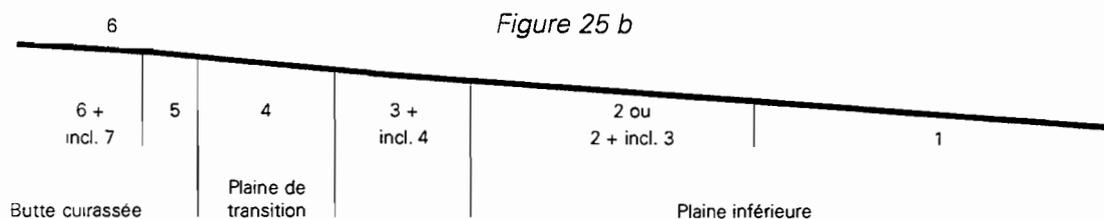


Figure 25 b

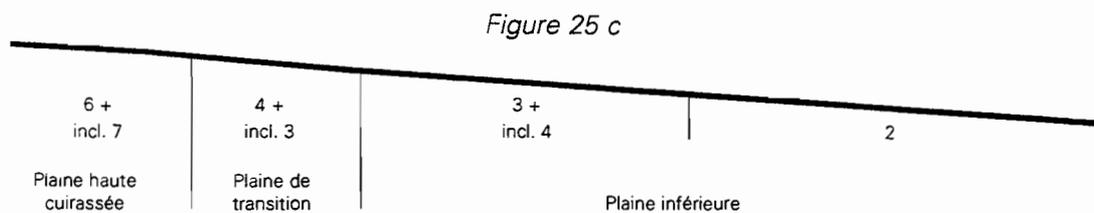


Figure 25 c



Figure 25 d

Figures 25 b, c et d. Domaine du complexe haut glacis-moyen glacis : des buttes cuirassées vers la plaine.

Figure 25. Organisation des unités radiométriques de la classification indice de rougeur neuf classes.

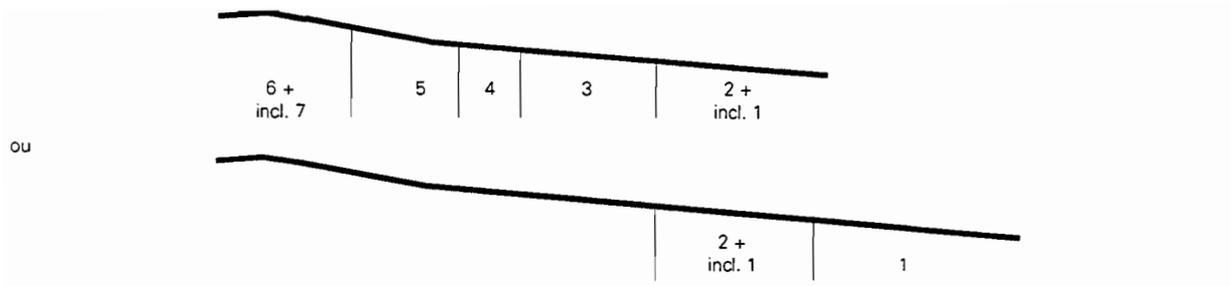


Figure 25 e. À partir des buttes cuirassées qui s'égrènent le long de la rive droite du Mouhoun.

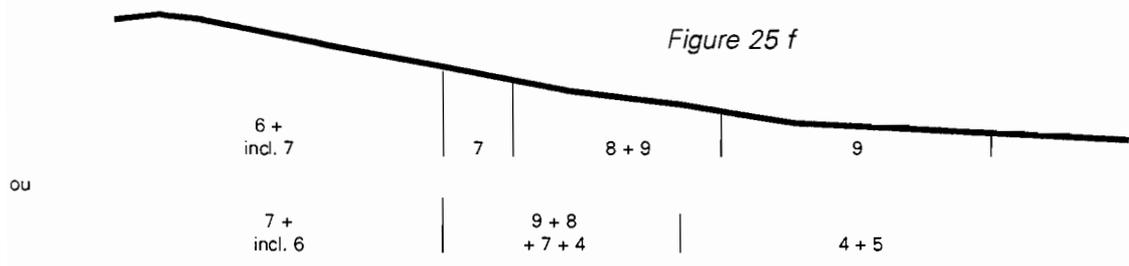


Figure 25 f



Figure 25 g



Figure 25 h

Figures 25 f, g et h. Domaine de prédominance du complexe haut glacis-relief pliocène.

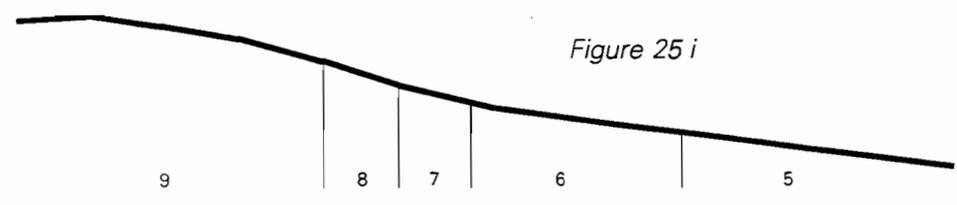


Figure 25 i

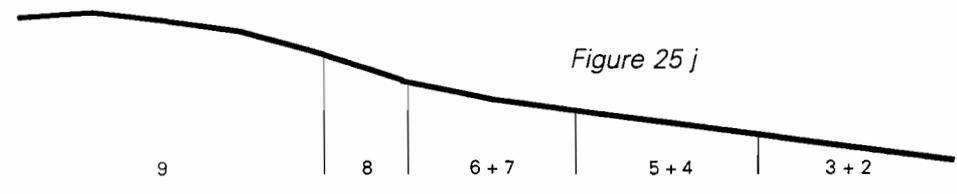


Figure 25 j

Figures 25 i et j. Domaine à larges ondulations.

Figure 25. Organisation des unités radiométriques de la classification indice de rougeur neuf classes (fin).

L'analyse en composantes principales des quatorze unités radiométriques obtenues par l'analyse de l'image multirate et des neuf unités obtenues par découpage de l'indice de rougeur montre qu'il y a proximité entre les unités des deux classifications à l'exception des classes 9-10 et 13-14 de la classification en quatorze classes. Ces classes correspondent :

- soit à des unités très hétérogènes mal définies par la classification en quatorze classes (unités 9 et 10) ;
- soit à des unités essentiellement différenciées par la végétation (unités 13 et 14).

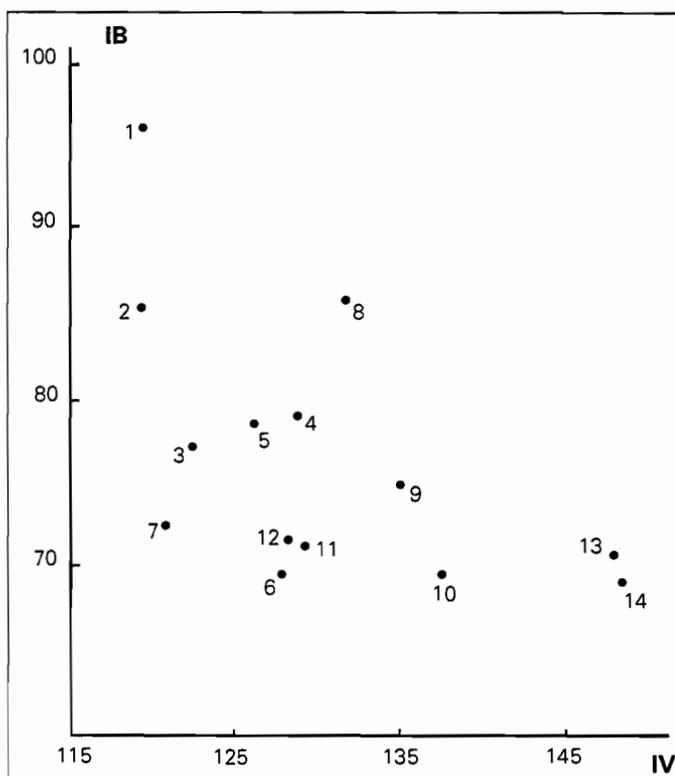
Dans la seconde classification, l'indice de rougeur a été découpé en cinq classes (sol pas rouge du tout, peu rouge, moyennement rouge, rouge, très rouge) et l'indice de brillance en deux classes (sol très brillant et brillant, moyennement brillant à peu brillant) (planche 2 hors texte).

CARACTÉRISTIQUES DES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES

Unité 1

Elle regroupe les classes radiométriques les plus brillantes (fig. 20, 21, 22 et 26). L'indice de végétation et l'indice de rougeur sont très faibles en juin. L'indice de végétation est également faible en janvier. Ce sont des sols nus, brillants et pas rouges en surface (classes 6 et 7 de la classification selon l'indice de rougeur et l'indice de brillance, classes 1 ou 1 + 2 de la classification selon l'indice de rougeur). Ils correspondent, par leur position topographique et leurs caractères radiométriques, aux sols hydromorphes à pseudogley sur matériau colluvio-alluvial argileux.

Figure 26.
Distribution des unités cartographiques en fonction de l'indice de brillance (IB) et de l'indice de végétation (IV).



Au début de juin, le couvert végétal est faible, les champs sont nus et la repousse sur les jachères herbeuses annuelles encore peu importante.

Le paysage est pour l'essentiel une savane dominée par le karité (cf. 2^e partie, 2.2.2. Végétation des jachères ou friches herbeuses), la strate arbustive est peu représentée (annexe j) et le recouvrement total excède rarement 20 %.

Unité 2

L'indice de brillance moyen est encore relativement élevé. L'indice de végétation est faible aussi bien en juin qu'en janvier, comme dans l'unité 1. Les deux unités ne se distinguent donc pas par la végétation. L'indice de rougeur est encore assez faible, mais nettement plus élevé que dans l'unité 1.

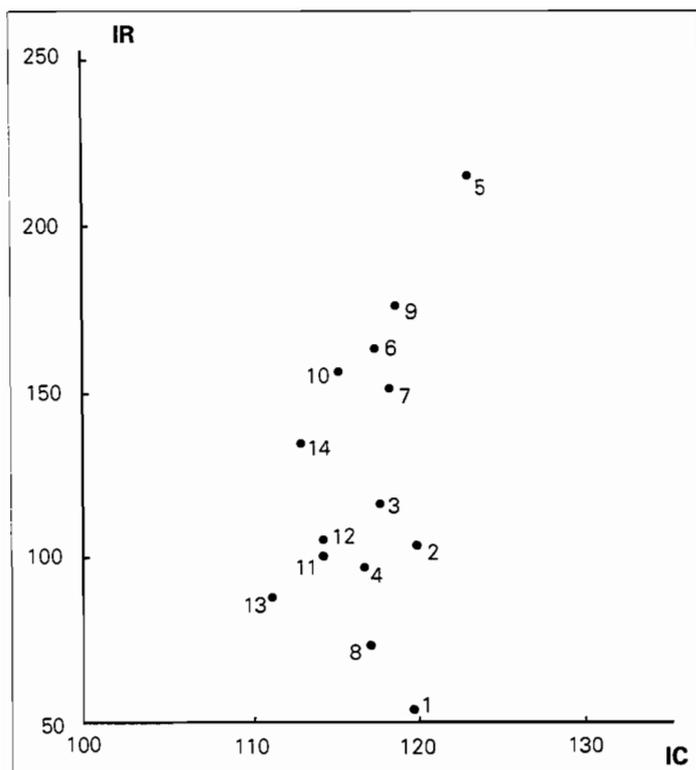


Figure 27.
Distribution des unités cartographiques
en fonction de l'indice de rougeur (IR)
et de l'indice de couleur (IC).

Il s'agit de sols brillants, peu à moyennement rouges en surface (classes 7 et 8 de la classification selon l'indice de rougeur et l'indice de brillance, classes 2 à 5 de celle selon l'indice de rougeur avec une organisation toposéquentielle le long de la pente : la classification selon l'indice de rougeur différencie mieux entre eux les sols qui constituent cette unité). Ils sont situés en amont de l'unité 1.

Par leurs caractères radiométriques et leur situation topographique, ils correspondent en aval aux sols ferrugineux tropicaux appauvris à pseudogley de profondeur (transition avec les sols de l'unité 1), et en amont aux sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau argilo-gravillonnaire ou gravillonnaire-argileux au-dessus de cuirasses ou carapaces anciennes avec épandage gravillonnaire pouvant subsister par plage en haut de pente (moindre brillance).

La végétation correspond à des savanes arborées claires (parc) dans les parties basses ou à des savanes arbustives claires, surmontées de quelques grands arbres (cf. 2^e partie, 2.2.2. et 2.2.5.), le recouvrement total du peuplement ligneux est faible, inférieur à 20 % (annexe k).

Unité 3

L'indice de brillance est moyen. L'indice de végétation est faible (un peu plus élevé que dans l'unité 2) en juin et en janvier. La végétation est une savane arbustive claire.

L'indice de rougeur est moyen. Ces sols occupent la plaine haute à l'amont des sols ferrugineux tropicaux appauvris. Ils sont peu brillants, moyennement à peu rouges ou parfois rouges (classes 2 à 4 de la classification selon les indices de rougeur et de brillance, 3 et 4 de celle selon l'indice de rougeur). Par leurs caractères radiométriques et leur position topographique, ils correspondent aux lithosols sur cuirasses ferrugineuses à faible recouvrement gravillonnaire (« bowal » pierreux et gravillonnaire du moyen glacis).

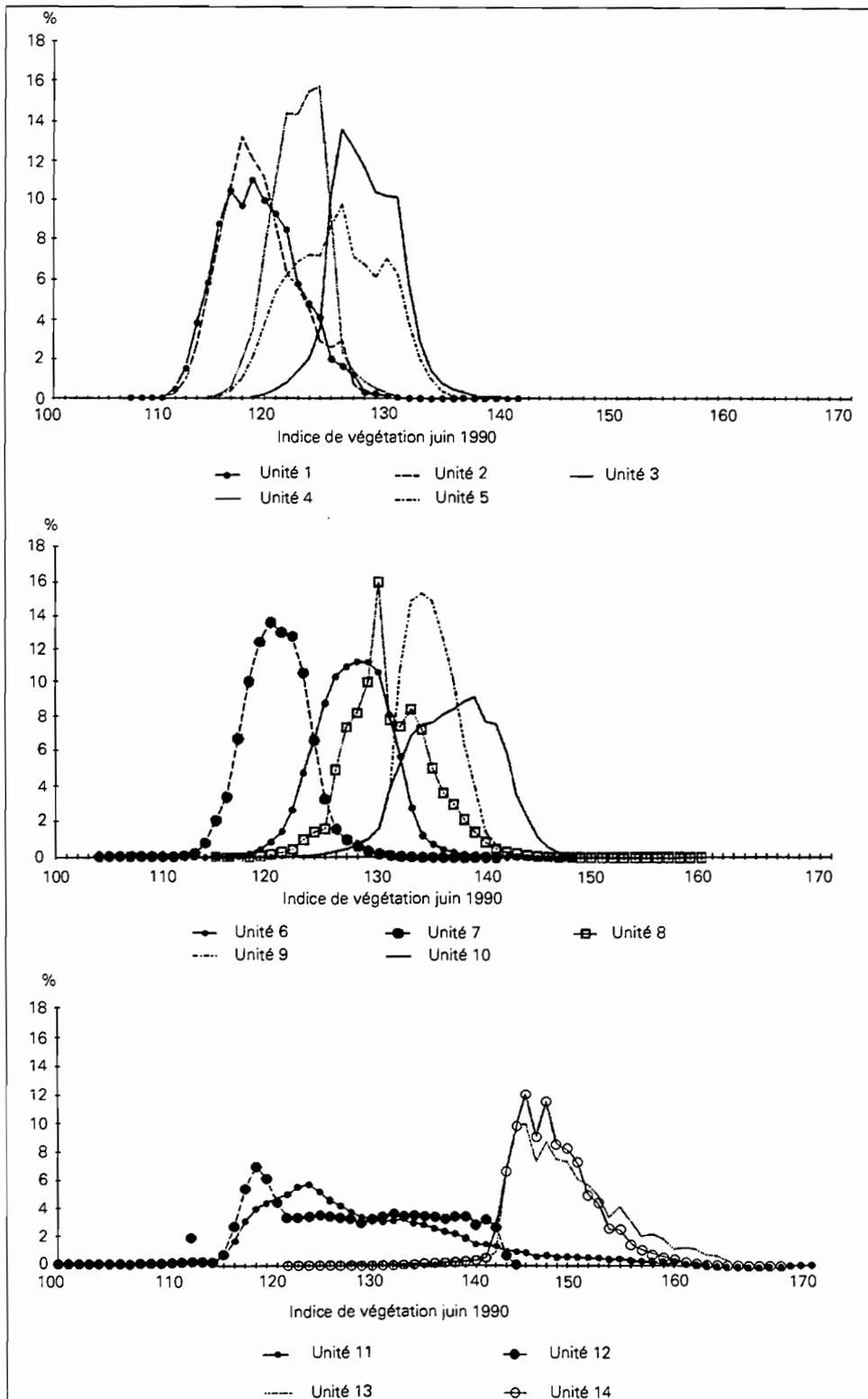


Figure 28. Distribution de l'indice de végétation pour chacune des unités cartographiques sur l'image de juin 1990.

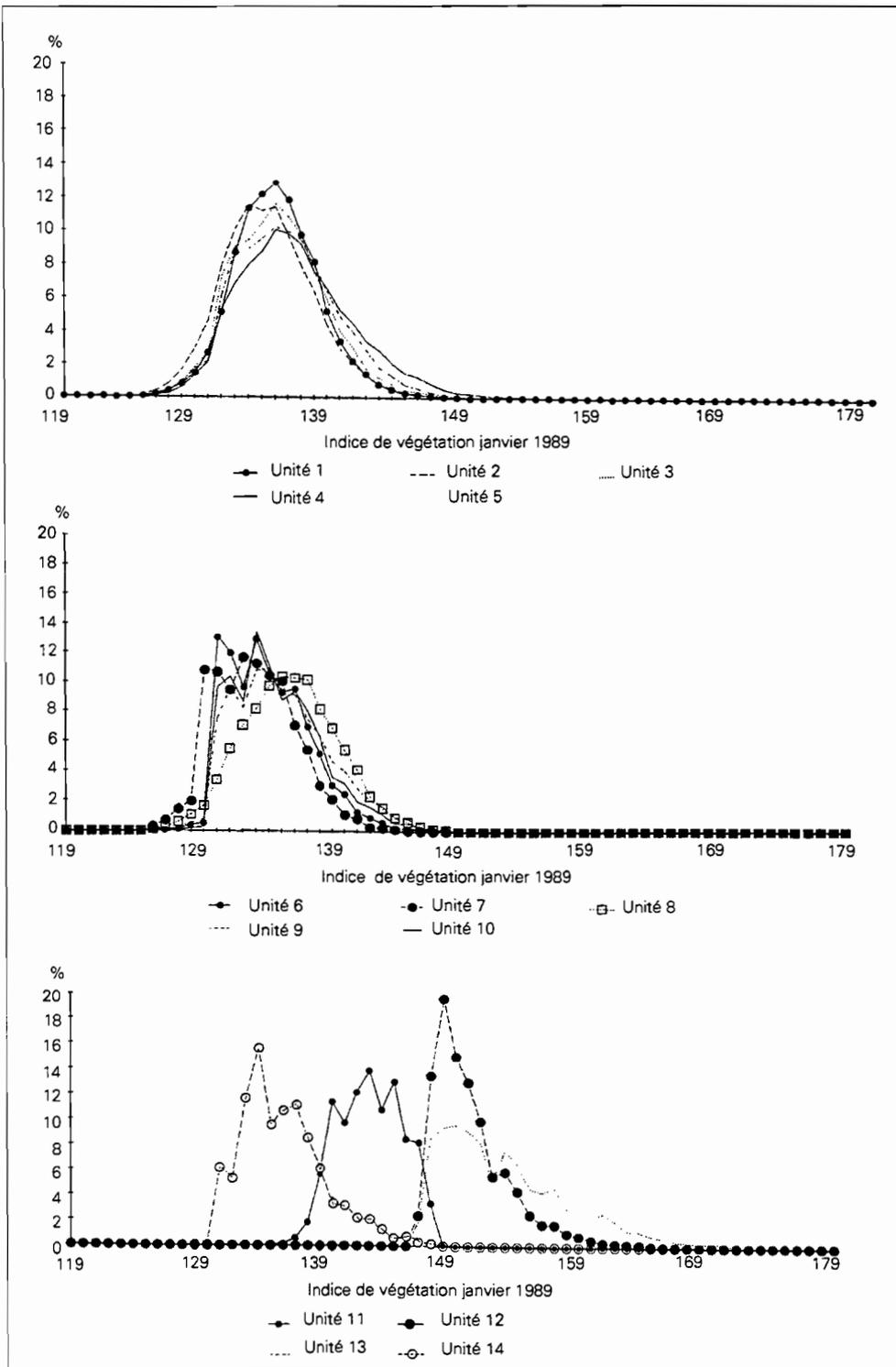


Figure 29. Distribution de l'indice de végétation pour chacune des unités cartographiques sur l'image de janvier 1989, zones brûlées exclues.

Unité 4

L'indice de brillance est moyen bien qu'un peu plus élevé que dans l'unité 3. L'indice de végétation est moyen tant en janvier qu'en juin.

L'indice de rougeur est assez faible. Ces sols sont moyennement brillants et peu rouges en surface (classes 2 et 7, parfois 3 de la classification selon les indices de rougeur et de brillance, 2 de celle selon l'indice de rougeur). Ils sont essentiellement localisés dans le nord-ouest de la zone étudiée. Ils occupent dans le paysage la même position que les sols de l'unité 3 avec lesquels ils peuvent être associés. Ils se distinguent de ces derniers par une végétation plus fournie d'après l'indice de végétation.

Les réflectances dans le visible (S_1 et S_2) sont en effet les mêmes dans les deux unités cartographiques. Seule la réflectance dans le proche infrarouge (S_3) augmente dans l'unité 4 (fig. 31). La végétation est une savane arbustive, localement arborée ou boisée. Elle est donc plus fournie et plus active. Cela signifie un meilleur approvisionnement en eau : il s'agit de sols ferrugineux tropicaux indurés à carapace ferrugineuse de bas glacis, qui se distinguent des lithosols sur cuirasse ferrugineuse du moyen glacis par un pédoclimat plus humide ayant permis le cuirassement de bas glacis. La couleur peu rouge exclut en effet les sols sur matériau gravillonnaire profond au-dessus d'altérite ou de carapace ancienne.

Unité 5

Elle est très proche de l'unité 4 par l'indice de brillance et l'indice de végétation. Elle se distingue en revanche de cette dernière par un indice de rougeur très élevé (le plus élevé : principalement la classe 9 de la classification indice de rougeur, mais aussi les classes 8 à 6) dû à une réflectance nettement plus forte dans le rouge (S_2) alors qu'elle est faible dans le jaune-vert (S_1) et assez identique dans le proche infrarouge (S_3) (fig. 31). L'indice de couleur y est également le plus élevé. De fait, cette unité regroupe les deux classes de la partition initiale ayant l'indice de couleur le plus élevé (fig. 21 et 27). Il s'agit de sols assez brillants et très rouges.

L'indice de végétation, faible en janvier, est moyen en juin, mais avec un histogramme de distribution relativement « étalé » (regroupement de deux classes initiales à indice de végétation sensiblement différent). La végétation correspondante va du parc arboré sur champs à couvert faible à des savanes arbustives ou boisées claires, de composition floristique variable où le recouvrement ligneux ne dépasse pas 40 % (fig. 30 a, tabl. III, annexes h, i, j, k, n).

Cette unité est exclusivement localisée à l'est du Mouhoun, dans le domaine à prédominance du complexe haut glacis-relief pliocène-surface éocène et dans celui à larges ondulations convexes. Elle correspond à des sols brillants et rouges ou très rouges (classes 9 et 10 de la classification indice de rougeur - indice de brillance).

Les caractéristiques radiométriques et la position topographique (plaine entre les buttes cuirassées ou domaine à larges ondulations convexes) les désignent comme des sols ferrallitiques et des sols ferrugineux tropicaux appauvris modaux.

Unité 6

À cette unité correspondent une faible réflectance dans les trois canaux et l'indice de brillance le plus faible. L'indice de végétation moyen en juin est faible en janvier, mais alors avec un histogramme assez nettement bimodal (fig. 29).

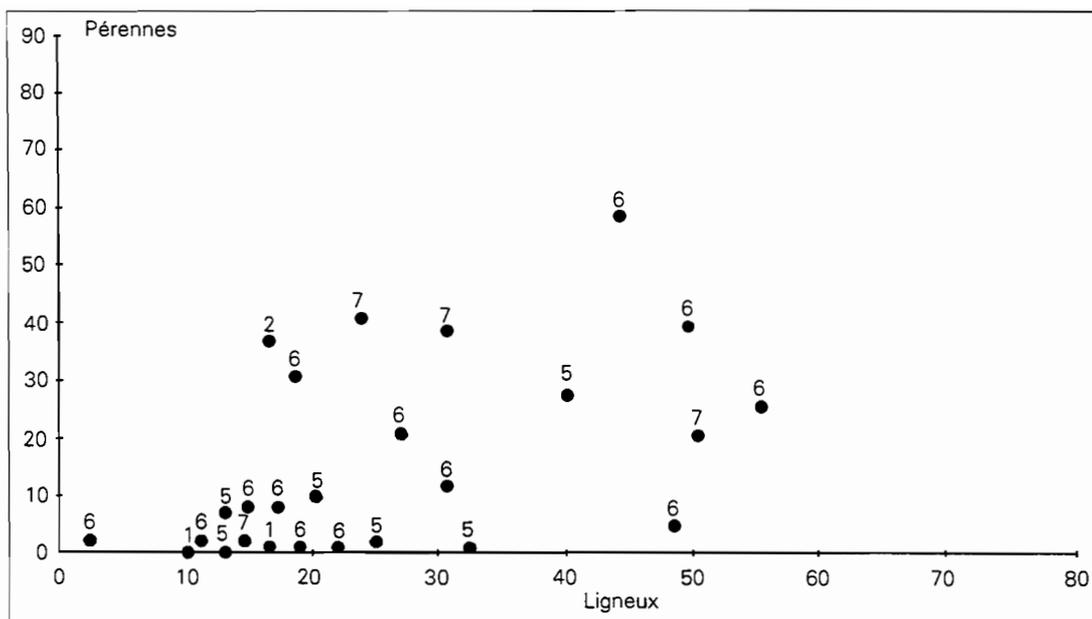


Figure 30 a. Unités des sols peu couverts en juin (U1 - U7).

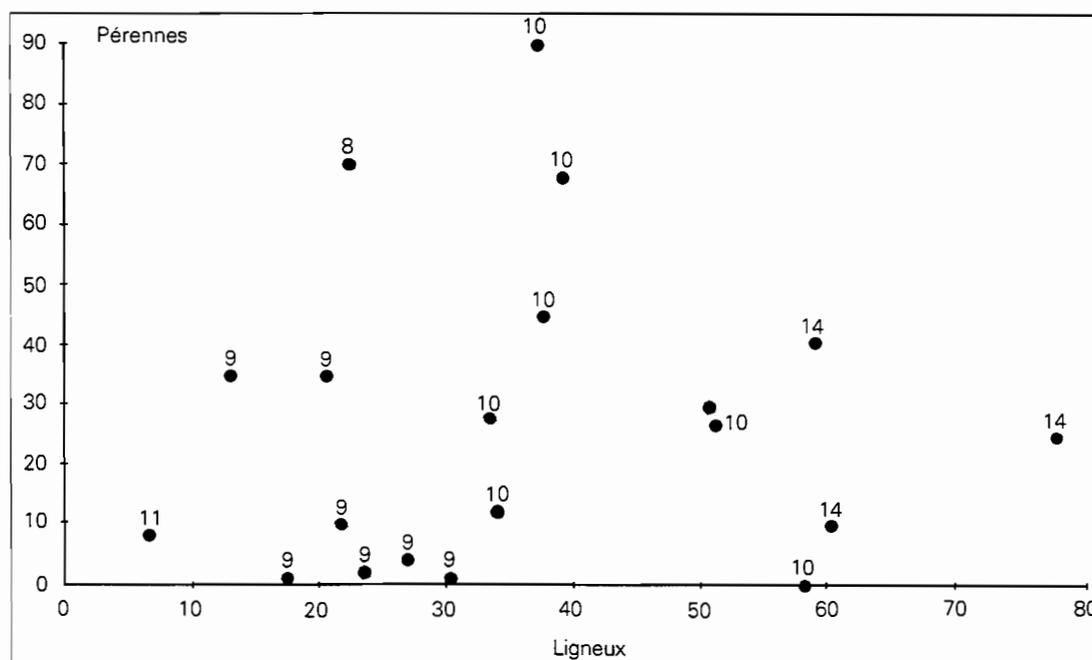


Figure 30 b. Unités à dominante de végétation (U8 - U14).

Figure 30. Distribution des unités cartographiques en fonction du recouvrement des ligneux et du recouvrement des graminées pérennes (estimés en octobre 1991).

**Tableau III : Fréquences observées sur le terrain
des différents types de sols dans les unités cartographiques**

Sols	Unités cartographiques									Total selon les sols
	1	2	5	6	7	8	9	10	14	
Sols hydromorphes à pseudogley	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Sols ferrugineux tropicaux lessivés	0	0	2	0	0	0	6	2	0	10
Sols ferrugineux tropicaux hydromorphes	0	4	2	0	0	2	6	13	10	37
Sols peu évolués lithosols	0	0	2	19	10	0	2	0	0	33
Sols peu évolués gravillonnaires	0	0	2	12	0	0	0	0	0	13
Sols ferrallitiques	0	0	2	0	0	0	2	0	0	4
<i>Total par unité cartographique</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>10</i>	<i>31</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>10</i>	<i>100</i>

L'indice de rougeur est assez élevé (classes 5 à 7 de la classification indice de rougeur), tandis que l'indice de couleur est moyen. Il s'agit de sols sombres et rouges (classes 3 à 4, plus rarement 5 de la classification indice de rougeur - indice de brillance). En fait, l'histogramme des valeurs montre une forte dispersion autour de la moyenne de 166 (50 à 250). La couleur va donc de peu rouge à très rouge (fig. 32).

Cette unité est située sur les buttes ou les hautes plaines cuirassées.

Par sa position topographique et ses caractères radiométriques, cette unité correspond à des sols sur matériaux gravillonnaires profonds au-dessus d'altérite ou de carapace anciennes. À l'ouest du Mouhoun, ce sont des sols gravillonnaires profonds au-dessus d'altérite ancienne qui peuvent être considérés comme des sols ferrallitiques ou des sols ferrugineux tropicaux appauvris selon l'évolution de l'héritage ferrallitique. Le caractère ferrallitique explique l'élévation de l'indice de rougeur par rapport à l'unité 3 constituée de lithosols sur cuirasse ferrugineuse (du moyen glaciaire) à faible recouvrement gravillonnaire.

À l'est du Mouhoun, ce sont des sols gravillonnaires au-dessus de carapace ancienne ou parfois de cuirasse ferrugineuse ou de grès ferruginisé.

La texture du matériau constitutif va de quasi exclusivement gravillonnaire (très gros gravillons ferrugineux) à argilo-gravillonnaire. On est dans le domaine du complexe haut glaciaire-relief pliocène, avec des gravillons et débris de cuirasse hérités du niveau pliocène et parfois éocène (cf. 1^{re} partie : Géomorphologie). La richesse en hématite de ces matériaux ferrallitiques explique les très fortes valeurs de l'indice de rougeur.

Les sols peuvent être considérés comme des sols ferrugineux tropicaux appauvris ou comme des sols peu évolués régosoliques (pour les textures essentiellement gravillonnaires).

L'épaisseur est très variable.

La végétation traduit cette hétérogénéité de l'unité. Elle correspond à une mosaïque de formations allant de la savane herbeuse à la savane boisée lorsque les sols sont plus profonds (fig. 30, annexe). À cette unité correspondent divers groupements floristiques des zones gravillonnaires et cuirassées : à *Isoberlinia doka*, à *Burkea africana* et *Grewia bicolor*, à *Detarium microcarpum* et *Ximania americana*, à *Acacia machrostachys* et *Combretum micranthum* (cf. 2^e partie, 2.3.2, 2.3.3 et 2.4.1). Elle recouvre une large gamme de formations végétales, diverses tant par leurs peuplements ligneux que par la nature de leur tapis herbacé (fig. 30 et tabl. IV).

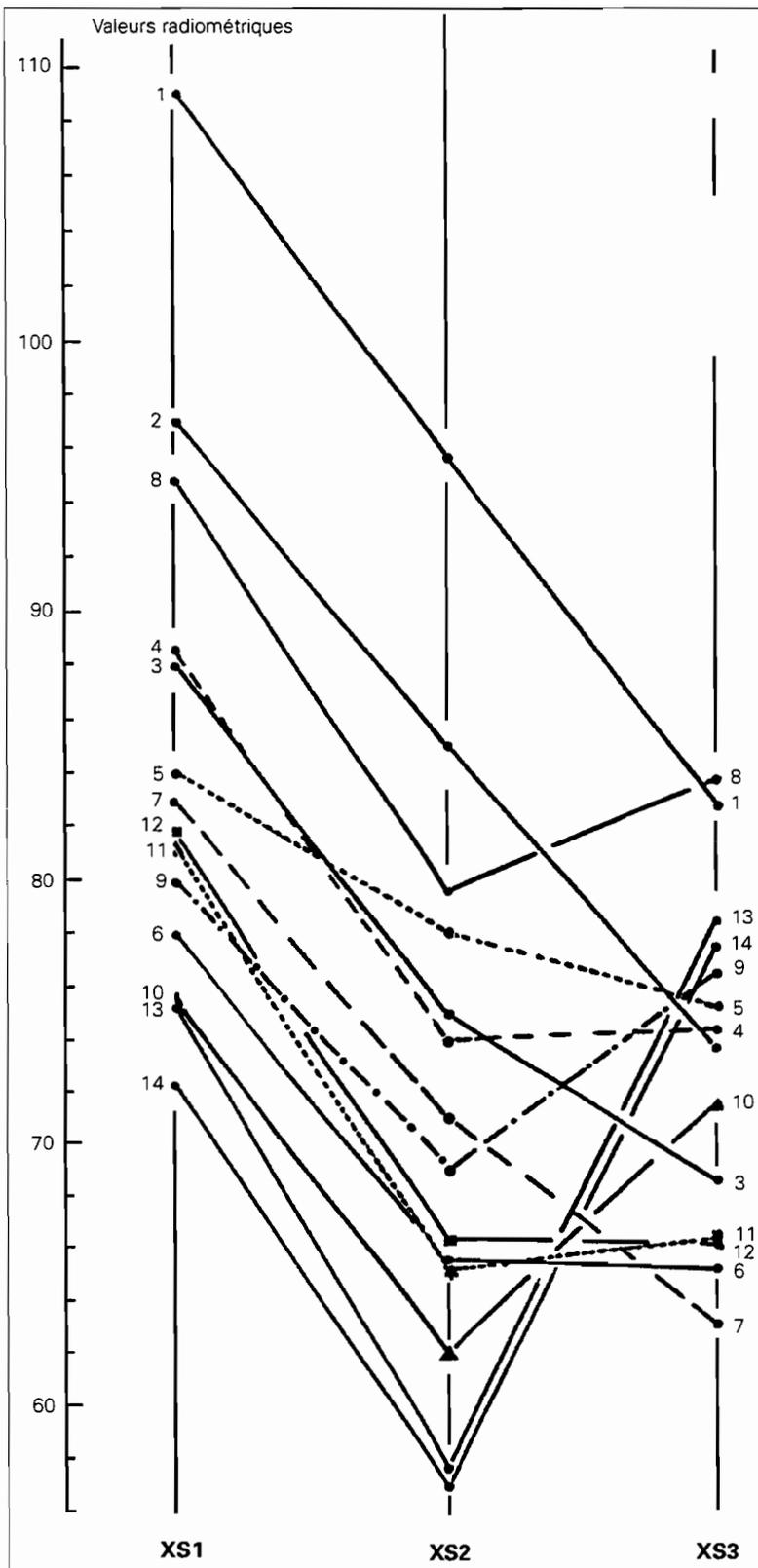


Figure 31.
Valeurs radiométriques
des quatorze unités cartographiques
dans les trois canaux d'origine.

**Tableau IV : Fréquences observées sur le terrain
des différents types de formations végétales dans les unités cartographiques**

Types de formations	Unités cartographiques										Total selon form.
	1	2	5	6	7	8	9	10	11	14	
Formation forestière, savane boisée dense	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	4
Savane arbustive basse dense	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	4
Savane arborée dense	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Savane boisée	0	0	0	4	0	0	0	2	0	4	10
Savane arborée	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	4
Savane arbustive	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	4
Savane arbustive basse	0	0	0	2	0	0	2	6	2	0	12
Savane arbustive haute	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	6
Savane boisée claire	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	6
Savane arborée claire	2	0	2	2	2	0	2	0	0	0	10
Savane arbustive basse claire	0	2	4	6	2	0	4	0	0	0	17
Savane arbustive claire	2	0	0	2	2	0	2	0	0	0	8
Savane arbustive haute claire	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	4
Savane buissonneuse claire	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	6
Savane herbeuse	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	6
<i>Total par unité cartographique</i>	4	2	12	29	8	2	17	13	6	8	100

Unité 7

Les indices de brillance et de végétation sont faibles en janvier comme en juin (fig. 20, 21, 25, 27 et 28). Cette unité regroupe les classes C2 et C13 de la classification initiale de juin qui correspondent à des indices de brillance faibles et à des indices de végétation très faibles ou moyens (fig. 20).

La valeur moyenne de l'indice de rougeur est encore assez élevée, bien qu'un peu plus faible que dans l'unité 6 (classes 5 à 7, parfois 4 et 3 ou 8 et 9 de la classification selon les indices de rougeur et de brillance). La dispersion des valeurs autour de la moyenne est forte, comme dans l'unité 6 (fig. 33).

L'unité 7 comportera donc, outre les sols sombres et moyennement rouges, des sols sombres et peu rouges, ainsi que des sols sombres et rouges (classes 3 et 4 de la classification selon les indices de rougeur et de brillance). Elle occupe deux types de position topographique :

- haute plaine cuirassée (moyen glacis) ;
- plaine alluviale le long du Mouhoun.

Les sols sombres et moyennement rouges correspondent :

- d'une part aux lithosols sur cuirasses ferrugineuses à faibles recouvrements limono-argileux hydromorphes (« bowal » à termitières champignons) associés à des lithosols sur cuirasses ferrugineuses à faibles recouvrements gravillonnaires ; la végétation est une savane herbeuse (sur les « bowal »), arbustive ou boisée à recouvrement ligneux faible (tabl. IV) ;
- d'autre part aux sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble (inondation temporaire) sur alluvions diverses, souvent argileuses.

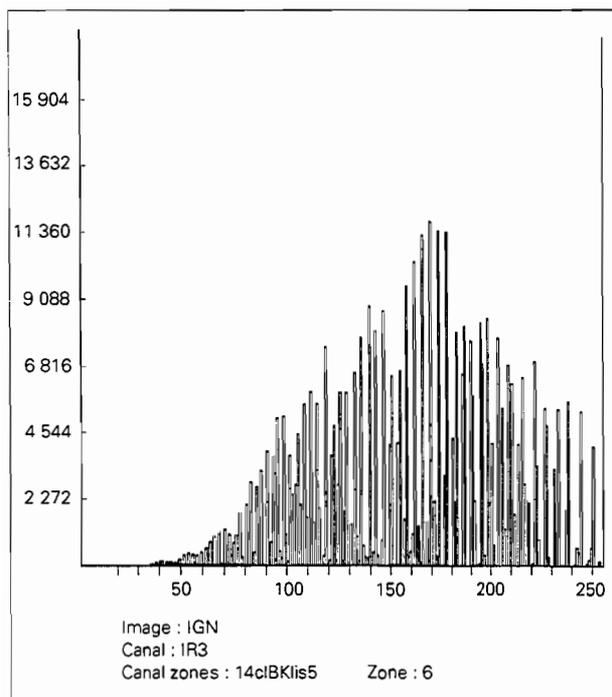


Figure 32. Distribution de l'indice de rougeur dans l'unité 6.

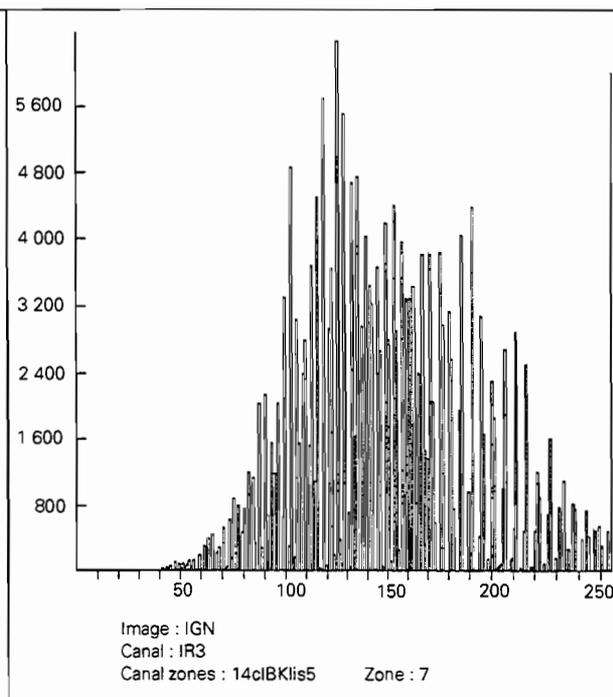


Figure 33. Distribution de l'indice de rougeur dans l'unité 7.

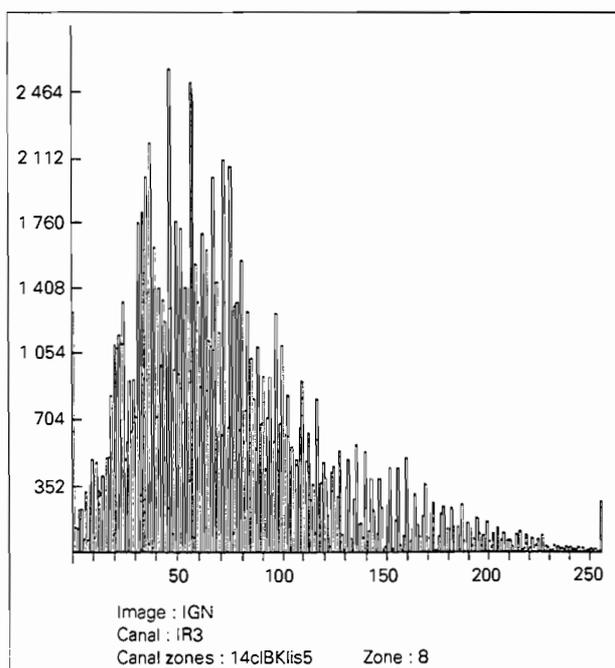


Figure 34.
Distribution de l'indice de rougeur dans l'unité 9.

Unité 8

L'indice de brillance est élevé alors que l'indice de végétation est moyen en juin et janvier (fig. 20, 21, 28 et 29). L'indice de rougeur est très faible (classes 2 et 1 de la classification selon l'indice de rougeur). Il s'agit de sols brillants et pas rouges (classes 7 principalement et 6 de la classification selon les indices de rougeur et de brillance).

Cette unité est essentiellement localisée dans la plaine basse de certains petits cours d'eau à l'est du Mouhoun, mais elle peut aussi être en association avec l'unité 1 dans la plaine inférieure. Dans le premier cas, il s'agit de sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble sur matériau limono-argileux à argileux de colmatage de bas-fonds. Le pseudogley apparaît dès la surface.

Dans le second cas, il s'agit des mêmes sols que dans l'unité 1, la diminution de l'indice de brillance étant imputable à la végétation : savane parc assez dense ou savanes ou jachères arbustives ou boisées à *Piliostigma thonningii*, *Dichrostachys cinerea* et *Terminalia* sp. (cf. 2^e partie, 2.2.3 et 2.2.4 ; annexes d, m ; tabl. IV).

Il faut cependant noter quelques exceptions à ce schéma, notamment à l'est du Mouhoun dans le domaine à larges ondulations convexes où l'unité 8 apparaît parfois hors de sa localisation la plus fréquente, la plaine basse des cours d'eau. Elle est alors associée à l'unité 9 avec laquelle existe un certain chevauchement radiométrique au niveau des sols les moins rouges et les plus brillants couverts par l'unité 9 (cf. tabl. III : Sols ferrugineux tropicaux hydromorphes).

Unité 9

L'indice de brillance est assez faible, l'indice de végétation moyen (un peu plus élevé que dans l'unité 8). La diminution de l'indice de brillance est imputable à la végétation.

La flore et la structure de la végétation qui correspond à cette unité sont très semblables à celles de l'unité 8. Il s'agit pour l'essentiel de savanes ou jachères arbustives ou boisées, sur sols ferrugineux tropicaux appauvris, à *Piliostigma thonningii*, *Dichrostachys cinerea*, *Pteleopsis suberosa* et *Terminalia* sp. (cf. 2^e partie, 2.2.3, 2.2.4 et 2.2.5). Le recouvrement ligneux y est de l'ordre de 20 à 30 % (fig. 30 b). L'indice de végétation de cette unité est plus élevé en juin, mais plus faible en janvier que celui de l'unité 8, l'activité de la végétation ligneuse étant plus forte en janvier sur les sols hydromorphes des bas glacis que sur les formations de plateau. La dispersion de l'indice de rougeur est forte (fig. 34) : classes 3 et 4 de la classification selon l'indice de rougeur à l'ouest du Mouhoun, 7 à 9 et parfois 6 et 7 à l'est. Cette unité se caractérise donc par ses indices de végétation et de brillance.

À l'ouest du Mouhoun, dans le domaine à prédominance des cuirasses quaternaires, elle correspond principalement à des sols peu brillants et moyennement rouges ou peu rouges. C'est ce que montre la classification en neuf classes selon l'indice de rougeur, où cette unité correspond soit à une association des classes 3 (dominante) et 4 localisée sur la haute plaine cuirassée, soit à la classe 2 localisée dans la plaine de transition entre la haute plaine cuirassée et la plaine inférieure occupée par l'unité 1 (fig. 35).

Lorsque l'unité 9 correspond à la classe 2 de la classification réalisée en fonction de la brillance et de la rougeur, le caractère discriminant de cette unité est la végétation.

Cette unité recouvre ainsi soit des sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau argilo-gravillonnaire ou gravillonnaire-argileux, dans la zone de remblai de la haute plaine cuirassée, soit des sols ferrugineux tropicaux indurés à carapace de bas glacis (cf. unité 4).

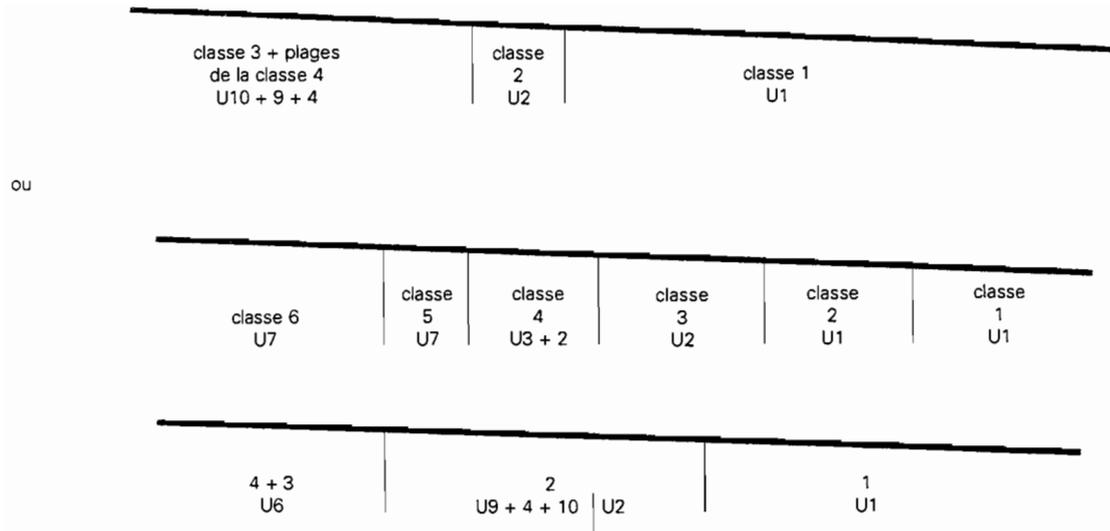


Figure 35. Localisation de l'unité 9 dans la classification IR 9 classes à l'ouest du Mouhoun.

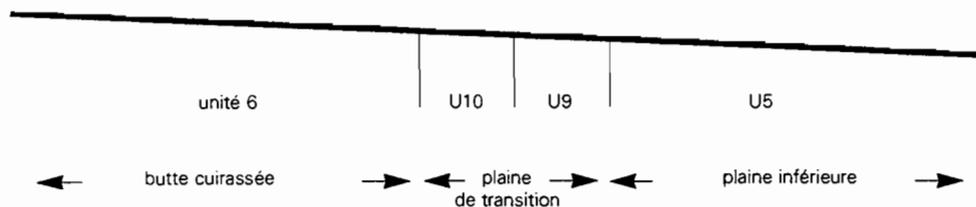


Figure 36. Localisation de l'unité 9 dans la moitié nord à l'est du Mouhoun.

L'unité 9 est peu représentée dans la moitié nord-est de l'image (fig. 36). Elle se trouve surtout dans la partie sud, dans la zone à larges ondulations, où elle partage le paysage avec l'unité 5, ou parsème de petites plages l'unité 10 sans hiérarchisation le long de la pente. Dans la classification réalisée avec l'indice de rougeur, le complexe unité 9 + 5 montre en revanche une organisation toposéquentielle très nette (fig. 37).

Il s'agit donc d'un ensemble où dominent les sols très rouges (ferrallitiques) avec, à l'aval, des sols moyennement rouges : sols ferrugineux tropicaux appauvris modaux ou hydromorphes de profondeur (tabl. III).

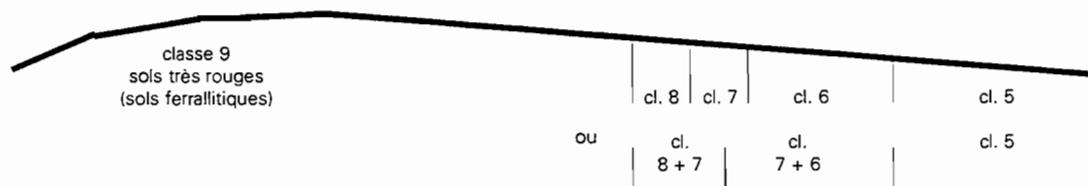


Figure 37. Organisation du complexe unités 9 + 5 dans la classification IR 9 classes.

Cela signifie que ce n'est pas la nature du sol qui différencie les unités 5 et 9, mais la végétation plus dense dans l'unité 9 : le regroupement des pixels en quatorze unités cartographiques, principalement déterminé par les indices de brillance et de végétation, rend mal compte de l'organisation des sols dans cette zone, à l'inverse de la classification selon l'indice de rougeur ou l'indice de rougeur et l'indice de brillance.

Unité 10

L'indice de brillance est assez faible en juin. L'indice de végétation est plus élevé que dans l'unité 9 et, comme dans cette dernière, il est faible en janvier. Cela correspond à l'importante défeuillaison des ligneux sur les formations de plateau en janvier. La végétation consiste en des savanes boisées ou arbustives assez denses, de composition floristique diverse, où le recouvrement ligneux atteint 30 à 50 %, le recouvrement des graminées pérennes est variable, mais peut atteindre des valeurs fortes (annexes a, b, f, g et fig. 30 b).

L'indice de rougeur encore assez élevé est cependant plus faible que pour l'unité 9.

Dans la partie située à l'ouest du Mouhoun, l'unité 10 est très peu représentée et uniquement localisée dans l'extrême nord et l'extrême sud, et toujours en association étroite avec l'unité 9 (fig. 38).

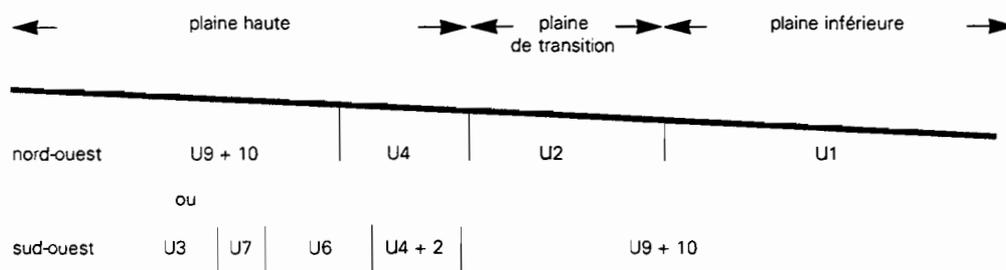


Figure 38. Localisation des unités 9 et 10 à l'ouest du Mouhoun.

Dans cette partie ouest, l'unité 10 comporte les mêmes types de sols que l'unité 9 mais avec une végétation plus dense (sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau argilo-gravillonnaire ou gravillonnaire-argileux). Dans la classification selon l'indice de rougeur, l'unité 10 correspond ici aux classes 2 et 1 (sols pas rouges en surface). La diminution de l'indice de rougeur par rapport à l'unité 3 est imputable à la végétation.

Dans la partie située à l'est du Mouhoun, l'unité 10 est peu représentée dans la moitié nord où elle est assez souvent associée à l'unité 9 qui la borde (fig. 39). Dans la classification selon l'indice de rougeur, elle correspond aux classes 6 et 7 (sols moyennement rouges et rouges en surface). Elle occupe la plaine de transition ou la plaine haute entre les buttes cuirassées : elle correspond, par sa position topographique et ses caractères radiométriques, à des sols gravillonnaires qui se distinguent de ceux de l'unité 6 par une végétation plus dense.

Cette unité est en revanche bien représentée au sud du parallèle 11° 50' où elle est prépondérante de la limite est de la zone d'étude au méridien 4° 3' W. Elle y est parsemée à l'est de petites plages de l'unité 14 dont nombre sont étirées selon les directions NO-SE et NE-SO qui sont celles des fractures et diaclasses orthogonales des grès : cela indique que la cuirasse a été démantelée jusqu'à la carapace ou l'altérite gréseuse.

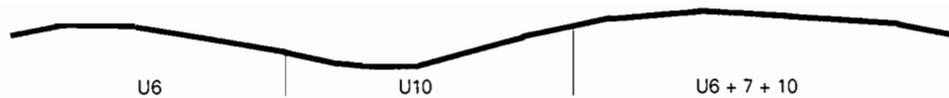


Figure 39. Localisation des unités 9 et 10 dans la moitié nord à l'est du Mouhoun.

Dans la classification par l'indice de rougeur, l'unité 10 correspond ici aux classes 5 et 4, puis très rapidement, en allant vers le Mouhoun, aux classes 5 + 4 + 3 (sols moyennement rouges à peu rouges) parsemées de nombreuses petites plages de classe 2 (sols pas rouges en surface), en organisation toposéquentielle. Il y a donc une forte dispersion de l'indice de rougeur qui rend mieux compte de la diversité des sols (tabl. III) :

- sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau argilo-gravillonnaire au-dessus de cuirasse ou carapace ancienne ;
- sols gravillonnaires au-dessus de carapace ancienne ou de grès ferruginisés (sols ferrugineux tropicaux ou sols peu évolués régosoliques pour les matériaux quasi exclusivement gravillonnaires) ;
- sols ferrugineux tropicaux hydromorphes et sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau limono-argilo-sableux.

L'organisation des sols selon l'indice de rougeur montre un gradient décroissant de la rougeur d'est en ouest, en direction du Mouhoun, en accord avec la carte à 1/500 000 de LEPRUN et MOREAU (1969) : on part des sols gravillonnaires au-dessus de carapace ou de grès ferruginisés vers les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes.

Unités 11 et 12

Elles se caractérisent par de forts indices de végétation en janvier qui leur confèrent alors une certaine homogénéité radiométrique. En juin, ces unités sont en revanche radiométriquement très hétérogènes (fig. 28 et 29). Elles correspondent à la végétation des plaines alluviales (savanes arbustives et prairies inondables) où la végétation est encore assez uniformément active en janvier, alors qu'en juin les traces des incendies tardifs qui affectent ces milieux jusqu'en mai sont encore présentes et que, par ailleurs, la repousse de la végétation n'y est que très partielle et souvent masquée par une importante masse d'herbes sèches là où les feux ne sont pas passés.

L'indice de brillance est faible de même que l'indice de rougeur. L'unité 11 est surtout localisée dans la plaine alluviale du Mouhoun dont elle occupe la majeure partie avec, en inclusions, les autres unités de cette plaine. Elle correspond principalement aux classes 2 et 3 (parfois 1 ou 4) de la classification selon l'indice de rougeur (sols pas ou peu rouges en surface). Mais on la retrouve aussi le long des cours des « marigots » secondaires, plus souvent limitée au lit majeur, mais avec parfois des plages plus importantes, notamment dans la moitié est de la zone d'étude où elle correspond aux classes 5 à 7 de la classification selon l'indice de rougeur (sols moyennement rouges et rouges en surface).

L'unité 12 est par contre peu représentée et essentiellement localisée dans la plaine alluviale du Mouhoun, en inclusions plus ou moins importantes dans l'unité 11. Elle correspond principalement aux classes 4 et parfois 3 et 2 de la classification selon l'indice de rougeur (sols peu rouges en surface).

Par leur position topographique et leurs caractères radiométriques, ces sols correspondent aux sols hydromorphes à pseudogley à taches et concrétions sur alluvions diverses, souvent argileuses.

En association avec ces sols, le lit du Mouhoun est ourlé de bandes plus ou moins étroites de sols des unités 2, 3, 7, 6 et 10. Ces unités n'ont pas ici les mêmes significations que dans les zones non alluvionnaires : il s'agit de sols sur alluvions diverses différenciés essentiellement par leur végétation.

Les unités 2 et 3 désignent des zones nues (érosion, cultures) sur les levées.

L'unité 3 correspond à des zones dénudées dans la plaine inondable (sols plus sombres).

L'unité 7 correspond à des zones dénudées dans la plaine inondable à hydromorphie plus persistante (sols sombres).

L'unité 6 désigne des jachères arbustives dans la plaine inondable.

Unité 13

Elle est très peu représentée et limitée à quelques minces plages bordant le Mouhoun. C'est également une unité différenciée par les caractères de sa végétation : indice de végétation élevé en juin comme en janvier (fig. 24, 28 et 29). Elle correspond à des formations forestières fermées semi-caducifoliées⁽¹⁾, constituées essentiellement par les forêts galeries du Mouhoun et de ses principaux affluents. L'indice de rougeur est faible (classe 2 ou 3 de la classification selon l'indice de rougeur : sols peu ou pas rouges en surface).

Il s'agit de levées non inondables à pseudogley de profondeur.

Unité 14

Elle est peu représentée et presque exclusivement localisée dans le quart sud-est de la zone d'étude en petites inclusions dans l'unité 10. L'étirement de nombre de ces inclusions dans le prolongement des collines haut glaciaire-relief pliocène, selon les directions NO-SE et NE-SO qui sont celles des fractures et diaclases orthogonales des grès, montre que la cuirasse a été alors démantelée jusqu'à la carapace ou l'altérite gréseuse : il s'agit de sols gravillonnaires au-dessus de carapace ou d'altérite gréseuse favorables au développement de la végétation arbustive et arborée.

Ailleurs, il s'agit de sols hydromorphes argileux.

La diminution de l'indice de rougeur est imputable à la végétation.

L'indice de brillance et l'indice de végétation sont les mêmes que pour l'unité 13 en juin. Par contre, l'indice de végétation est faible en janvier et comparable à celui des unités 9 et 10. Cela correspond à des formations ligneuses décidues : savanes densément boisées ou forêts claires à *Terminalia* sp. ou *Isoberlinia doka* (cf. 2^e partie, 2.2.3 et 2.3.2) dont le recouvrement ligneux dépasse 50 % (fig. 30 b, annexes a, b, d).

Lorsqu'elle existe, cette unité est toujours associée à l'unité 10. Elle est essentiellement localisée dans le quart sud-est de la zone étudiée, où elle parsème l'unité 10 de petites plages assez souvent orientées SE-NO (c'est-à-dire la direction d'empilement des grès). C'est aussi la direction d'une partie des marigots dans cette zone, avec des coudes à angle droit. Cette unité se trouve sur des sols variés argileux hydromorphes ou gravillonnaires profonds au-dessus d'altérites anciennes (tabl. III).

(1) Une partie seulement des arbres des forêts semi-caducifoliées perdent leurs feuilles en saison sèche – ou bien ils ne les perdent pas tous en même temps – de telle sorte qu'une part importante du peuplement ligneux reste foliée tout au long de la saison sèche.

CONCLUSION

Dans la région étudiée, l'organisation des sols dans le paysage en fonction des trois domaines géomorphologiques, constitués des haut, moyen et bas glacis, s'accompagne de celle des caractères radiométriques déterminés d'après les néocanaux indice de brillance, indice de végétation, indice de couleur et surtout indice de rougeur.

À cet égard, les neuf classes radiométriques retenues d'après l'indice de rougeur (cf. planche 1 hors texte) s'ordonnent parfaitement en fonction des trois domaines identifiés lors de la reconnaissance pédologique sur le terrain. On retrouve :

- **le domaine du complexe moyen glacis-haut glacis** (cuirasses quaternaires et leurs matériaux dérivés) qui présente les indices de rougeur les plus faibles (classes 1-2-3 très dominantes + classe 4) ;
- **le domaine du complexe haut glacis-relief intermédiaire-surface éocène** (et leurs matériaux dérivés) qui est caractérisé par la prédominance de l'hématite sur la goëthite, avec des indices de rougeur élevés (classes 6 et 7 très dominantes) ;
- **le domaine des associations sols ferrallitiques-sols ferrugineux tropicaux appauvris modaux** qui est constitué de matériaux brillants et à large dominance de l'hématite sur la goëthite, avec les indices de rougeur les plus élevés (classes 8 et 9 dominantes).

La comparaison de la planche 1 et de l'extrait de la carte pédologique à 1/500 000 (fig. 2) montre également la pertinence de la cartographie par télédétection.

Les vérifications faites au sol montrent aussi une bonne cohérence entre les unités obtenues et le couvert végétal.

Les résultats obtenus sont toutefois préliminaires. Comme cela a déjà été dit, l'objectif de cette étude est de définir le cadre général des recherches qui doivent se poursuivre sur le site et de fournir les éléments nécessaires à la stratification du milieu. Cela avec une information terrain nécessairement réduite au départ.

Ce travail confirme que deux éléments sont essentiels dans une telle approche.

Une bonne connaissance des propriétés radiométriques des surfaces et de leurs constituants est d'une part nécessaire, comme le montre l'intérêt de l'indice de rougeur mis au point par Madeira dans son étude sur les latosols brésiliens.

La connaissance des règles d'organisation et des processus fonctionnels généraux des milieux concernés est d'autre part indispensable. La démarche du pédologue le montre bien : les données radiométriques ne prennent toute leur signification que dans le contexte géomorphologique des sols qu'elles caractérisent.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET CONCLUSION

Quatre grands domaines composent la région étudiée en fonction de l'altitude :

- a - le complexe haut glacis-relief intermédiaire-surface éocène cuirassé ;
- b - le complexe moyen glacis-haut glacis cuirassé ;
- c - le complexe moyen glacis-bas glacis non cuirassé ;
- d - le complexe bas glacis-surface actuelle-plaine alluviale.

Ils correspondent à des situations représentatives des principaux types pédologiques, écologiques et d'occupation humaine rencontrés dans l'Ouest burkinabé. La région est donc variée. Elle permet l'étude comparative de l'impact des activités humaines agricoles, forestières et pastorales sur une large gamme de milieux ainsi que l'étude des contraintes que ceux-ci exercent sur ces activités.

L'analyse des images satellitaires a permis de reconnaître ces différents domaines et de préciser leur extension sur la zone d'étude. Elle a permis aussi de caractériser l'importance et l'organisation du couvert végétal pour chacun d'entre eux.

C'est ainsi que les domaines a et b constitués majoritairement de lithosols et de sols peu épais sur cuirasses et carapaces ferrugineuses se caractérisent par un faible couvert végétal (dominance des unités à faible indice de végétation). Les unités à couvert végétal plus important se trouvent quant à elles dans les domaines c et d des *associations* sols ferrallitiques-sols ferrugineux, constitués de sols meubles où les cuirasses sont fortement démantelées ou absentes.

En dehors de la plaine alluviale, ces deux derniers domaines ont été subdivisés en *deux ensembles* qui retiennent l'attention pour les travaux reliant écologie et agriculture. Il s'agit de la partie inférieure ou plaine d'une part et de la partie supérieure ou versant qui raccorde la plaine au moyen glacis d'autre part.

L'*ensemble inférieur* ou *plaine* supporte des « sols ferrugineux tropicaux appauvris à pseudogley de profondeur sur matériau colluvio-alluvial argileux » et des sols « hydromorphes à pseudogley structuré sur matériau colluvio-alluvial argileux ».

Selon LEPRUN et MOREAU (1969), *les sols ferrugineux de la plaine* se caractérisent par des fertilités moyennes à médiocres. Leurs caractéristiques physiques sont relativement peu favorables, drainage interne et richesse minérale sont limitants. L'eau des horizons profonds engorgés est néanmoins utilisable par les plantes après les dernières pluies, ce qui prolonge la période de végétation. *Pour les sols hydromorphes, l'engorgement est le principal facteur limitant.* Ces sols, difficiles pour l'agriculture traditionnelle, ont en revanche actuellement un intérêt agronomique certain. L'image satellitaire montre bien l'extension des cultures sur la quasi-totalité de ces terres. La végétation est réduite à un vaste parc à karité et néré qui domine des cultures et des jachères en majorité herbeuses ou à arbustes disséminés. Ce sont des terres relativement « neuves », car peu cultivées par le passé, mais les indices de dégradation de la flore sont déjà nets. Il y existe une relative pauvreté en espèces ligneuses et herbacées, et les espèces ubiquistes, les espèces de parcours et celles de milieux plus secs y sont importantes.

L'*ensemble supérieur* ou *versant* qui comporte de larges ondulations est caractérisé par des séquences de sols allant « des sols ferrallitiques faiblement et moyennement désaturés des hauts de pente aux sols ferrugineux tropicaux lessivés, appauvris, hydromorphes sur matériau sablo-argileux à argileux des bas de pente ». D'après LEPRUN et MOREAU (*op. cit.*), les sols ferrallitiques sont assez profonds, mais leur pauvreté chimique est le *principal facteur limitant*. Ils offrent une bonne pénétration aux racines et le drainage interne et externe y est bon. Les sols ferrugineux sont chimiquement moins pauvres, mais ils sont moins profonds et le drainage peut devenir limitant en bas de pente. Ces deux types de sols sont faciles à travailler et l'agriculture traditionnelle a pu s'y développer.

La végétation actuelle est une mosaïque de champs et de jachères arbustives ou arborées parfois âgées et assez densément couvertes. Il existe ainsi une forte variabilité entre les différents faciès de cette mosaïque qui correspondent aux divers stades de reconstitution des successions postculturales sur différents sols. Le caractère anthropique de la végétation se marque par une modification de la flore. La part des espèces à large répartition tropicale est augmentée par rapport aux milieux plus naturels ; des éléments de régions climatiques plus sèches sont présents, surtout dans les milieux les plus perturbés. La richesse floristique globale du milieu diffère cependant peu de celle des milieux non cultivés et non pâturés, tant pour les herbes que pour les arbres et arbustes. La richesse locale en herbes (à l'échelle de la station ou de la parcelle) est en revanche bien moindre. La physionomie de la végétation est également modifiée. Les ligneux sont souvent petits et denses. Les graminées pérennes sont fréquemment clairsemées, alors qu'elles dominent largement la strate herbacée dans les savanes typiques.

Ces deux ensembles s'opposent donc par leurs potentialités et surtout par l'utilisation actuelle et passée du milieu. Ils constituent deux états contrastés de l'utilisation humaine des sols et de la végétation. Le premier, où l'espace utile est maintenant saturé et la végétation réduite à un parc mais où l'occupation des terres est relativement récente, s'oppose au second, moins intensément mais longuement exploité, où la végétation est complexe et encore relativement riche.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERBERG (M.R.), 1973 — *Cluster Analysis for applications*. New York, Academic Press.
- ANDRIANASOLO (H.), 1990 — « Réduire l'incertitude sur une région rurale ». In : *Systèmes énergétiques et utilisation de l'espace*, Atelier Recherche opérationnelle et développement, Montpellier, 16-19 janvier 1990.
- AUBRÉVILLE (A.), 1949 — *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales.
- AUBRÉVILLE (A.), 1950 — *Flore forestière soudano-guinéenne A.O.F.-Cameroun-A.E.F.* Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 523 p.
- BOULET (R.), 1970 — La géomorphologie et les principaux types de sols en Haute-Volta septentrionale. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 8 (3) : 245-271.
- BOULVERT (Y.), 1980 — Végétation forestière des savanes centrafricaines. *Bois Forêts Trop.*, 191 : 21-45.
- BOUSQUET (R.), LEGRAND (J.-M.), 1966-1974 — *Carte géologique de Haute-Volta. Feuille de Houndé (1/200 000)*. Direction de la Géologie et des Mines.
- BRUZON (V.), 1990 — *Les savanes du nord de la Côte d'Ivoire. Mésologie et dynamisme : l'herbe, le feu et le pâturage*. Thèse doct., Géomorphologie et dynamique des milieux naturels, univ. Paris-VII, 301 p.
- BURIE (A.), 1986 — *Étude phytocéologique de toposéquences en relation avec l'occupation humaine de l'espace dans la région de Diébougou (Burkina Faso)*. Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du grade d'ingénieur agronome, Université libre de Bruxelles, 139 p. + annexes.
- CARLES (J.), 1948 — Le spectre biologique réel. *Bull. Soc. Bot. Fra.*, 95 : 340-343.
- CÉSAR (J.), 1978 — *Végétation, flore et valeur pastorale des savanes du parc national de la Comoé*. Bouaké, CRZ, 13, 54 p.
- CÉSAR (J.), 1990 — *La production biologique des savanes de Côte d'Ivoire et son utilisation par l'Homme*. Paris, IEMVT, 671 p.
- CHEVALLIER (A.), 1951 — Sur l'existence d'une forêt vierge sèche sur de grandes étendues aux confins des bassins de l'Oubangui, du Haut-Chari et du Nil (Bahr-el-Ghazal). *Rev. int. Bot. appl. Agric. trop.*, 31 : 135-136.
- CIEH, 1989 — Publication du Centre inter-africain d'études hydroliques.
- COLLECTIF (ouvrage collectif), 1989 — *Réserve de la biosphère de la mare aux Hippopotames. Étude préalable à un aménagement de la réserve et de sa zone périphérique*. Rapport ministère de l'Environnement et du Tourisme (Burkina Faso), Unesco-Mab, Engref, 111 p. + annexes.
- DEVEAU (P.), 1975 — *Contribution à l'étude écologique et phytosociologique de la végétation de la République centrafricaine*. Thèse de 3^e cycle, univ. Paris-Sud Orsay.
- DEVINEAU (J.-L.), 1986 — *Impact écologique de la recolonisation des zones libérées de l'Onchocercose dans les vallées burkinabé (Nazinon, Nakambé, Mouhoun, Bougouriba)*. Rapport final Orstom/OMS/OCP, Projet de lutte contre l'Onchocercose, multigr., 2 vol., 109 p. + 42 cartes.
- DEVINEAU (J.-L.), FOURNIER (A.), SERPANTIÉ (G.), 1991 — *Interrelations systèmes écologiques-systèmes agraires dans l'Ouest burkinabé. Projet de recherche. I. Rapport de mission d'identification de programme (Burkina Faso, 15-31 octobre 1990). II. Orientation des recherches à poursuivre*, multigr., 26 p. + annexes.
- DEVINEAU (J.-L.), GUILLAUMET (J.-L.), 1992 — Origine, nature et conservation des milieux naturels africains : le point de vue des botanistes. *Afrique contemporaine*, 161, (numéro spécial : L'environnement en Afrique) : 79-90

- DEVINEAU (J.-L.), SERPANTIÉ (G.), 1991 — « Paysages végétaux et systèmes agraires au Burkina Faso ». In : *Caractérisation et suivi des milieux terrestres en région arides et tropicales*, M. Pouget, éd. Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires : 373-383.
- DIDAY (E.), 1972 — *An introduction to the Dynamic Cluster Method*. METRA.
- DIDAY (E.), 1975 — Classification automatique séquentielle pour grands tableaux. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle*, B-1 : 29-61.
- DJIMADOUM (M.), 1993 — *Adventices des cultures dans la région de Bondoukui : étude de la flore, de l'écologie et de la nuisibilité*. Mémoire de fin d'études, IDR/Orstom, 91 p. + annexes.
- EMBERGER (L.), 1966 — Réflexions sur le spectre biologique de Raunkiaer. *Colloque Morph.* Montpellier, 1965, *Mém. Soc. Bot. Fra.* : 147-156.
- FOURNIER (A.), 1991 — *Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique*. Paris, Orstom, coll. Études et thèses, 312 p.
- FRONTIER (S.), 1976 — Utilisation des diagrammes rang-fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *J. Rech. Océanogr.*, 1 : 35-48.
- GAVAUD (M.), 1967 — Esquisse de l'histoire des sols du Niger centre et ouest méridional. *Bull. Asequa*, 14-15 : 24-27.
- GERMAIN (R.), 1952 — Les associations végétales de la plaine de la Ruzizi (Congo belge) en relation avec le milieu. *Publication Ineac, sér. sci.*, 52 : 1-321.
- GUINKO (S.), 1984 — *Végétation de la Haute-Volta*. Thèse doct., Sciences naturelles, univ. Bordeaux-III, 318 p. + annexes.
- HOFFMANN (O.), 1983 — *Recherche sur les transformations du milieu végétal dans le Nord-Est ivoirien : les pâturages en pays lobi*. Thèse de 3^e cycle, Géographie, univ. Bordeaux-III, 299 p. + annexes.
- HOFFMANN (O.), 1985 — *Pratiques pastorales et dynamique du couvert végétal en pays lobi (nord-est de la Côte d'Ivoire)*. Bondy, Orstom, 354 p.
- JONQUET (P.), 1963 — Remarques sur les formations sédimentaires ouest-voltaïques. Cartes à 1/200 000.
- KALOGA (B.), 1966 — Étude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge en Haute-Volta. 1^{re} partie : Le milieu naturel. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 4 (1) : 23-61.
- KALOGA (B.), 1969 — Étude de la pédogénèse sur les glacis soudaniens de Haute-Volta. *Bull. Ass. Sénégal. Et. Quatern. Ouest-Afric.*, Dakar, 22 : 19-23.
- KALOGA (B.), 1983 — *Le manteau kaolinique des plaines du centre-sud de la Haute-Volta. Dynamique et relation avec le manteau smectitique*. Thèse Strasbourg, 320 p., multigr. Paris, 1987, Orstom, coll. Études et thèses, 344 p.
- KALOGA (B.), 1986 — « L'évolution du pédoclimat au cours du Quaternaire dans les plaines du Centre-Sud du Burkina Faso ». In : *Symposium international Inqua-Asequa Les changements globaux en Afrique durant le Quaternaire passé-présent-futur*, Dakar, 21-28 avril 1986 : 221-225.
- KEAY (R.W.J.), 1952 — *Isoberlinia woodland in Nigeria and their flora*. *Lejeunia*, 16 : 17-26.
- KIÉMA (S.), 1992 — *Utilisation pastorale des jachères dans la région de Bondoukui (zone soudanienne, Burkina Faso)*. DESS, Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, univ. Paris-XII Val-de-Marne, UFR de sciences, 89 p. + annexes.
- KING (D.), 1986 — *Modélisation cartographique du comportement des sols basée sur la mise en valeur du marais de Rochefort*. Thèse doct.-ing., INAPG, 173 p. + annexes.

- LEBRUN (J.), 1947 — *Exploration du parc national Albert. Mission J. L., 1937-1938. I. La végétation de la plaine alluviale au sud du lac Édouard*. Bruxelles, Acad. roy. de Belgique, Inst. des parcs nationaux du Congo belge.
- LEPRUN (J.-C.), 1969 — *Évolution géomorphologique du Sourou et des bordures voltaïques*. Travaux Ét. et Rech. Maît. Géographie, fac. Lettres Dakar, 49 p., 2 cartes, 7 planches.
- LEPRUN (J.-C.), MOREAU (R.), 1969 — *Étude pédologique de la Haute-Volta. Région ouest-nord*. Dakar-Hann, centre Orstom, 341 p. ronéo + 1 carte à 1/500 000.
- LETOUZEY (R.), 1968 — *Étude phytogéographique du Cameroun*. Paris, Lechevalier, 511 p.
- MADEIRA (J.), 1993 — *Étude quantitative des relations constituants minéralogiques-réflectance diffuse des latosols brésiliens. Application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasilia)*. Paris, Orstom, coll. Études et thèses, 236 p.
- MICHEL (P.), 1959 — L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute-Gambie. Les rapports avec la prospection minière. *Rev. Géomorph. Dyn.*, 5-6 à 11-12 : 117-143.
- MICHEL (P.), 1969 — *Les bassins versants des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique*. Thèse, Lettres, Strasbourg et mém. Orstom, Paris, 1973, 63, 3 tomes, 752 p.
- QUEDRAOGO (J.), 1985 — *Contribution à l'étude du dynamisme des formations naturelles au Burkina : reconstitution des jachères dans la région de Kaïbo-Niaogho*. Mémoire de diplôme d'ingénieur des techniques de développement rural IDR/Orstom, univ. Ouagadougou, Burkina Faso, 61 p.
- QUEDRAOGO (M.), 1993 — *Écologie comparée de deux espèces graminéennes pérennes : Andropogon ascinodis C.B. Cl. ; Schizachyrium sanguineum (Retz) Alston dans la région de Bondoukui*. Mémoire de fin d'études, IDR/Orstom, 70 p. + annexes.
- QUEDRAOGO (P.M.), 1985 — *Étude de la relation herbe-arbre dans une savane naturelle soudanienne. Phytosociologie et phytomasse maximale dans divers faciès de savane plus ou moins dense de la réserve de Nazinga (Burkina Faso)*. Mémoire de diplôme d'ingénieur des techniques de développement rural, option élevage, univ. Ouagadougou, Burkina Faso, 91 p.
- PALAUZI (G.), 1958 — *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des formations primaires du Soudan méridional et en Haute-Volta*. Carte à 1/500 000.
- POILÉCOT (P.), 1991 — *Un écosystème de savane soudanienne : le parc national de la Comoé (Côte d'Ivoire)*. Note technique. Projet Unesco/Pnud IVO/87/0072, 346 p.
- POUGET (M.), MADEIRA (J.), LE FLOCH (E.), KAMALS (S.), 1990 — *Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région côtière nord-ouest de l'Égypte : application aux données satellitaires SPOT*. Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires : 27-38.
- RAKOTO (M.), ANDRIANASOLO (H.), MERING (C.), 1988 — *Guide de l'utilisateur de Planètes*. Bondy, Orstom, 130 p. multigr.
- SAGATZKY (J.), 1950 — *Notice explicative de la feuille de Bobo-Dioulasso-est*. Carte à 1/500 000.
- SCHNELL (R.), 1970 — *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux*. Paris, Gauthier-Villars, 2 vol., 951 p.
- SCHNELL (R.), 1976 — *La flore et la végétation de l'Afrique tropicale*. Paris, Gauthier-Villars, vol. 1 : 459 p. ; vol. 2 : 378 p.
- SEMDÉ (A.), SOMÉ (G.W.), ZOUNGRANA (A.), 1992 — *Cartographie des sols en zone tropicale par télé-détection. Région de Solenzo*. Bondy, Orstom ; LIA-unité de Télédétection, 88 p. + 8 pl. couleurs + 2 cartes à 1/80 000.

- TERRIBLE (M.), 1978 — *Végétation de la Haute-Volta au millionième. Carte et notice provisoires*. Bobo-Dioulasso.
- TERRIBLE (M.), 1984 — *Essai sur l'écologie et la sociologie d'arbres et d'arbustes de Haute-Volta*. Bobo-Dioulasso, librairie de la Savane.
- TOUTAIN (B.), 1974 — *Implantation d'un ranch d'embouche en Haute-Volta, région de Léo. Étude agrostologique préalable*. Maisons-Alfort, IEMVT, Études agrostologiques, 40, 195 p. + cartes.
- TOUTAIN (B.), 1979 a — *Premier ranch collectif de Samorogouan, Haute-Volta. Étude agrostologique*. Maisons-Alfort, IEMVT, Études agrostologiques, 53, 121 p. + carte.
- TOUTAIN (B.), 1979 b — *Étude agrostologique de la zone pastorale de Daramandougou, ORD de la Comoé (rép. de Haute-Volta)*. Maisons-Alfort, IEMVT, Études agrostologiques, 54, 82 p.+ carte.
- VOGT (J.), 1959 — Aspect de l'évolution morphologique récente de l'Ouest africain. *Ann. Géogr.*, 367 : 193-206.
- VOGT (J.), 1968 — *Étude de l'alluvionnement en Haute-Volta*. Rapport inédit BRGM 68 ABI 012 BOB, Arch. dir. géol. Mines, Haute-Volta.
- WALKER (B.H.), NOY-MEIR (I.), 1982 — « Aspects of the stability and resilience of savanna ecosystems ». *In : Ecology of tropical savannas*, Huntley B.J., Walker B.H., eds., Springer-Verlag : 556-590.
- WALTER (H.), 1971 — *Ecology of tropical and subtropical vegetation*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 539 p.
- WHITE (F.), 1986 — *La végétation de l'Afrique*. Orstom-Unesco, 384 p. + carte.
- ZABRÉ (S.), 1993 — *Biologie, écologie et structure des populations d'Isobertia doka Craib. and Stapf. dans la région de Bondoukui*. Mémoire de fin d'études, IDR/Orstom, 70 p. + annexes.
- ZOUNGRANA (I.), 1991 — *Recherches sur les aires pâturées du Burkina Faso*. Thèse doct., Sciences naturelles, univ. Bordeaux-III, 277 p. + annexes.

ANNEXES

ANNEXE DE LA DEUXIÈME PARTIE

FRÉQUENCE DES PRINCIPALES ESPÈCES DANS LES DIVERS GROUPEMENTS LIGNEUX

	G1	G4	G5	G6	G8	G7	G3	G9	G2	G10	Fréquence générale (%)
Espèces à large répartition											
<i>Butyrospermum paradoxum</i>	100	87	100	100	100	80	75	80	0	0	46
<i>Terminalia avicennioides</i>	67	80	71	100	83	20	100	60	0	0	39
<i>Combretum collinum</i>	100	47	43	100	83	40	50	60	75	0	33
<i>Cochlospermum planchonii</i>	67	53	29	33	50	80	63	80	100	0	33
<i>Daniellia oliveri</i>	0	53	43	67	33	80	38	20	25	0	24
<i>Crossopteryx febrifuga</i>	0	47	43	67	50	20	13	60	0	0	20
<i>Terminalia laxiflora</i>	33	67	14	33	0	40	13	60	0	0	19
Préférantes des sols argileux à sableux (non ou faiblement gravillonnaires)											
<i>Securidaca longepedunculata</i>	0	60	43	67	0	20	0	0	25	0	16
<i>Parinari curatellifolia</i>	0	33	14	33	0	0	25	0	0	0	9
<i>Cassia sieberiana</i>	0	13	29	33	0	0	13	0	0	0	6
Préférantes G1 : jachères herbeuses ou arborées (parc) à couvert ligneux faible sur sols hydromorphes											
<i>Parkia biglobosa</i>	100	7	29	33	0	60	50	0	0	0	14
<i>Nauclea latifolia</i>	67	0	0	67	0	0	0	0	0	0	4
Préférantes G4 : jachères arbustives à <i>Piliostigma thonningii</i> (sur sols argileux hydromorphes)											
<i>Piliostigma thonningii</i>	67	100	71	67	50	40	50	0	0	0	33
<i>Gardenia ternifolia</i>	0	73	29	67	17	40	0	40	50	0	22
<i>Swartzia madagascariensis</i>	0	20	14	0	0	0	0	0	0	0	4
Préférantes G5 : jachères à <i>Dichrostachys cinerea</i> et <i>Securinega virosa</i>											
<i>Grewia tenax</i>	0	13	100	67	33	40	13	40	75	50	22
<i>Guiera senegalensis</i>	0	73	100	67	50	20	38	0	75	0	30
<i>Securinega virosa</i>	0	53	71	33	0	0	0	0	0	0	14
<i>Dichrostachys cinerea</i>	0	47	71	33	50	0	0	20	0	0	17
<i>Sclerocarya birrea</i>	0	7	43	0	0	0	0	20	0	0	5
<i>Hymenocardia acida</i>	0	13	43	33	0	0	0	0	0	0	6
Préférantes G6 : jachères à <i>Pteleopsis suberosa</i> et <i>Annona senegalensis</i>											
<i>Lannea microcarpa</i>	33	0	0	100	0	0	38	0	25	0	8
<i>Gardenia erubescens</i>	0	27	43	100	33	60	63	40	50	50	25
<i>Pteleopsis suberosa</i>	33	73	43	100	50	60	63	80	0	0	33
<i>Annona senegalensis</i>	33	93	71	100	50	20	88	60	25	0	38
<i>Vitex simplicifolia</i>	33	7	14	67	0	20	0	0	0	0	6
Préférantes G8 : jachères à <i>Piliostigma reticulatum</i>											
<i>Piliostigma reticulatum</i>	0	7	14	0	50	0	0	0	0	0	5
<i>Maytenus senegalensis</i>	0	33	29	0	50	20	13	40	0	50	15

**FRÉQUENCE DES PRINCIPALES ESPÈCES
DANS LES DIVERS GROUPEMENTS LIGNEUX (fin)**

	G1	G4	G5	G6	G8	G7	G3	G9	G2	G10	Fréquence générale (%)
Caractéristiques ou préférantes des sols gravillonnaires											
<i>Combretum glutinosum</i>	0	0	43	0	33	0	100	100	75	100	23
<i>Bombax costatum</i>	0	0	0	0	0	40	38	20	0	0	6
<i>Combretum molle</i>	0	0	14	0	33	20	13	20	25	0	7
<i>Entada africana</i>	0	0	0	0	0	20	25	0	25	0	4
<i>Sterculia setigera</i>	0	0	0	0	0	20	25	20	0	0	4
<i>Opilia celtidifolia</i>	0	0	0	0	0	40	0	20	0	0	3
<i>Boswellia dalzielii</i>	0	0	0	0	0	20	13	20	0	0	3
<i>Pericopsis laxiflora</i>	0	0	0	0	17	20	0	20	0	0	3
Préférantes G7 : savanes à <i>Isoberlinia doka</i>											
<i>Diospyros mespiliformis</i>	0	20	57	33	83	100	13	20	0	0	20
<i>Saba senegalensis</i>	0	0	29	0	50	80	13	0	25	0	11
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	33	13	0	0	33	80	13	20	0	0	11
<i>Lannea acida</i>	0	13	14	33	33	80	0	60	0	0	13
<i>Isoberlinia doka</i>	0	33	14	33	17	80	13	20	0	0	14
<i>Prosopis africana</i>	0	60	14	0	0	80	13	60	25	0	19
<i>Oxytenanthera abyssinica</i>	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	3
<i>Strychnos innocua</i>	0	0	0	0	0	60	25	0	0	0	5
<i>Hexalobus monopetalus</i>	0	0	0	0	0	60	13	20	25	0	6
<i>Ostryoderris stuhlmannii</i>	0	13	0	0	0	60	0	20	0	0	6
<i>Acacia dudgeoni</i>	0	33	57	0	0	60	25	40	0	0	16
<i>Azelia africana</i>	0	0	14	0	0	20	13	0	0	0	3
<i>Tamarindus indica</i>	0	0	14	0	17	20	0	20	0	0	4
<i>Combretum nigricans</i>	0	7	14	0	0	20	13	20	0	0	5
Préférantes G3 : savanes à <i>Detarium microcarpum</i> et <i>Ozoroa insignis</i>											
<i>Ozoroa insignis</i>	0	47	43	33	67	60	100	80	75	0	33
<i>Detarium microcarpum</i>	0	20	0	33	33	0	63	20	25	0	13
<i>Ximenea americana</i>	0	20	0	33	33	20	63	20	0	0	13
<i>Strychnos spinosa</i>	0	40	14	0	0	40	50	20	25	0	15
Préférantes G9 : savanes à <i>Burkea africana</i>											
<i>Burkea africana</i>	0	7	0	0	0	40	0	80	0	0	7
<i>Lannea velutina</i>	0	0	0	0	17	40	13	80	0	50	9
<i>Grewia bicolor</i>	0	40	0	0	0	0	13	60	25	0	11
Groupe des formations sur cuirasses											
Préférantes G2 : formations arbustives claires des rebords de cuirasse											
<i>Acacia macrostachya</i>	0	20	0	33	0	20	50	0	75	0	12
<i>Combretum micranthum</i>	0	0	14	0	17	0	0	0	25	0	3
G10 : savanes herbeuses des bowals											
Compagnes diverses											
<i>Terminalia macroptera</i>	0	7	29	0	17	20	13	0	25	0	7
<i>Stereospermum kunthianum</i>	33	20	14	0	17	20	0	40	0	0	9
<i>Cadaba farinosa</i>	0	13	0	0	0	0	0	20	0	0	3
<i>Ziziphus mucronata</i>	0	0	29	0	17	0	0	0	0	0	3
<i>Cassia singueana</i>	33	7	0	0	33	0	0	0	0	0	4
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	0	7	14	0	17	0	13	20	0	0	5

**FRÉQUENCE DES PRINCIPALES ESPÈCES
DANS LES DIVERS GROUPEMENTS HERBACÉS**

	H10	H6	H5	H2	H8	H1	H7	H4	H3	H9	Fréquence générale (%)
Espèces constantes à large répartition											
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	50	100	89	86	86	50	100	83	100	67	48
<i>Andropogon pseudapricus</i>	0	75	78	100	86	50	100	50	100	100	43
<i>Borreria stachydea</i>	0	100	78	100	100	100	100	42	50	0	42
<i>Andropogon ascinodis</i>	50	25	33	100	29	67	100	75	100	67	37
<i>Cassia mimosoides</i>	0	25	56	86	71	83	75	58	25	67	35
<i>Andropogon fastigiatus</i>	0	50	44	86	57	83	50	67	50	33	34
<i>Andropogon gayanus</i>	100	50	78	57	100	50	25	58	0	33	34
<i>Pennisetum polystachion</i>	0	25	89	71	29	50	25	50	25	67	29
<i>Borreria radiata</i>	0	0	67	86	57	33	100	50	25	0	29
<i>Loudetia togoensis</i>	0	100	11	86	0	83	25	25	100	33	25
<i>Hibiscus asper</i>	0	75	56	29	71	100	0	17	0	33	24
<i>Indigofera dendroides</i>	0	0	67	29	43	17	50	25	50	33	20
<i>Aspilia</i> sp.	50	25	33	43	57	17	25	17	50	0	18
<i>Ctenium newtonii</i>	0	25	11	43	14	17	100	50	0	33	18
<i>Diheteropogon amplexans</i>	0	25	11	29	43	17	50	42	0	0	15
<i>Borreria scabra</i>	0	25	22	0	29	17	0	50	25	0	13
<i>Euphorbia convolvuloides</i>	0	0	33	14	57	0	25	0	0	0	9
<i>Euclasta condylotricha</i>	0	0	22	29	29	17	25	0	25	0	9
<i>Hyptis spicigera</i>	0	25	11	29	0	17	0	0	25	0	6
<i>Indigofera</i> sp.	0	0	11	14	43	17	0	0	0	0	6
Caractéristiques des sols argileux à sableux (non ou faiblement gravillonnaires)											
<i>Setaria pallide-fusca</i>	0	75	56	29	14	17	25	0	0	0	13
<i>Crotalaria cephalotes</i>	0	75	22	29	57	17	50	8	0	0	15
<i>Stylosanthes mucronata</i>	50	25	56	0	43	33	25	8	0	0	14
Préférantes des stations humides											
<i>Centrosema pubescens</i>	100	25	11	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Triumfetta pentandra</i>	100	0	11	0	14	33	0	0	0	0	6
<i>Wissadula amplis. var. rostrata</i>	100	75	22	14	0	0	25	8	25	0	11
<i>Kaempferia aethiopica</i>	100	50	33	43	57	0	25	0	25	0	16
<i>Chasmopodium caudatum</i>	50	0	0	0	29	0	0	0	0	0	3
<i>Desmodium gangeticum</i>	50	0	22	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Hackelochloa granularis</i>	50	0	0	29	0	0	0	0	0	0	3
<i>Crotalaria retusa</i>	50	25	0	0	0	17	0	0	0	0	3
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	50	0	33	14	0	0	0	0	0	0	5
<i>Sporobolus pyramidalis</i>	50	25	22	0	14	0	0	0	0	0	5
<i>Tacca leontopetaloides</i>	50	0	33	0	43	17	0	0	0	0	8
Préférantes des sols argileux et limono-argileux											
<i>Waltheria indica</i>	50	100	67	29	57	17	50	8	50	0	23
<i>Sida rhombifolia</i>	0	75	11	71	29	0	25	25	25	0	16
<i>Cymbopogon schoenanthus</i>	0	50	78	29	57	0	0	8	25	0	17
<i>Crotalaria mucronata</i>	0	50	22	14	0	0	25	0	0	0	6
<i>Mitracarpus scaber</i>	0	50	33	0	0	0	25	0	0	0	6
<i>Polycarpaea corymbosa</i>	0	25	11	43	0	0	0	8	0	0	6

**FRÉQUENCE DES PRINCIPALES ESPÈCES
DANS LES DIVERS GROUPEMENTS HERBACÉS (fin)**

	H10	H6	H5	H2	H8	H1	H7	H4	H3	H9	Fréquence générale (%)
<i>Sida cordifolia</i>	0	25	11	29	0	0	0	0	0	0	4
<i>Zornia glochidiata</i>	0	50	0	14	0	0	0	0	0	0	3
<i>Schoenefeldia gracilis</i>	0	0	11	29	0	0	0	8	0	0	4
<i>Indigofera capitata</i>	0	25	11	0	14	0	0	0	0	0	3
Préférantes des sols limono-sableux, sableux à sablo-gravillonnaires											
<i>Monocymbium cerasiiforme</i>	0	25	11	14	0	17	100	0	0	0	8
<i>Sapium grahamii</i>	0	0	0	14	29	33	50	0	0	0	7
<i>Michrochloa indica</i>	0	0	11	0	29	33	50	0	25	0	8
<i>Biophytum sp.</i>	0	0	11	0	57	0	50	17	0	0	9
<i>Polycarpaea linearifolia</i>	0	0	11	14	0	17	50	8	0	0	6
<i>Eragrostis tremula</i>	0	0	0	0	14	50	0	8	0	0	5
<i>Gladiolus klattianus</i>	0	0	0	0	29	0	25	0	0	0	3
<i>Fimbristylis hispida</i>	0	0	0	0	43	0	0	0	25	33	5
<i>Schizachyrium exile</i>	0	0	0	0	0	17	25	17	0	0	4
<i>Striga sp.</i>	0	0	0	0	0	33	0	8	0	0	3
<i>Indofera bracteolata</i>	0	0	0	0	0	33	0	25	0	0	5
<i>Polygala multiflora</i>	0	0	0	0	14	17	0	17	0	33	5
Caractéristiques des sols gravillonnaires											
<i>Diheteropogon hagerupii</i>	0	0	0	0	0	0	0	33	75	100	10
<i>Andropogon tectorum</i>	0	0	0	0	0	0	0	25	25	33	5
Préférantes sols gravillonnaires											
<i>Cochlospermum planchonii</i>	0	0	33	57	43	67	100	83	100	33	33
<i>Pandiaka heudelotii</i>	0	0	78	43	43	33	75	100	25	0	31
<i>Schizachyrium sanguineum</i>	0	0	11	43	43	50	75	75	0	33	23
<i>Cochlospermum tinctorium</i>	0	0	0	0	14	33	0	50	25	0	10
<i>Jasminum pauciflorum</i>	0	25	0	0	0	0	0	8	50	0	4
Caractéristiques des cuirasses											
<i>Borreria pusilla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	3
<i>Loudetiopsis kerstingii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	3
Préférantes des cuirasses											
<i>Loudetia simplex</i>	0	0	0	14	0	0	0	0	25		5
<i>Lepidagathis collina</i>	0	0	22	71	29	50	50	50	25	100	24
<i>Ctenium elegans</i>	0	0	0	14	14	17	50	17	0	67	9
Compagnes diverses											
<i>Tinnea barteri</i>	0	0	11	14	0	0	25	17	25	0	6
<i>Fadogia agrestis</i>	50	0	33	29	43	33	50	50	0	0	19
<i>Ipomea heterotricha</i>	0	0	0	14	14	0	0	8	0	0	3
<i>Tripogon minimus</i>	0	0	11	0	14	0	0	0	0	33	3
<i>Cissus doeringii</i>	0	25	0	0	0	0	0	8	25	0	3
<i>Cissus sp.</i>	0	25	0	14	0	0	0	0	0	33	3
<i>Crotalaria macrocalyx</i>	0	0	11	0	29	17	0	8	0	0	5
<i>Polycarpaea eriantha</i>	0	0	0	29	0	0	25	8	25	0	5
<i>Gutenbergia sp.</i>	50	0	0	14	0	0	50	0	25	0	5

ANNEXE DE LA TROISIÈME PARTIE

NOTE SUR L'ANALYSE DE LA STRUCTURE DE LA VÉGÉTATION ET SUR LA TERMINOLOGIE UTILISÉE

par J.-L. DEVINEAU

Lors d'une réunion de concertation sur la télédétection dans le cadre du programme SALT, en novembre 1992 à Toulouse, il est apparu nécessaire qu'une certaine standardisation intervienne dans la prise des données relatives à l'analyse du couvert végétal. Il a alors été convenu de se rapporter aux méthodes et principes mis en œuvre par le Centre d'études phytosociologiques et écologiques de Montpellier. Ceux-ci sont énoncés dans le code pour le *Relevé méthodique de la végétation et du milieu* (EMBERGER, 1968, 1983) auquel nous nous référons.

Il a été notamment convenu d'évaluer le recouvrement pour des limites fixes de strate. Pour l'étude des peuplements ligneux de la région de Bondoukui, nous avons retenu quatre classes parmi les dix proposées dans le code (*op. cit.*, 1983, p. 27) : inférieur à 2 m, de 2 à 4 m, de 4 à 8 m et supérieur à 8 m. On y retrouve les limites classiques entre nanophanérophytes (< 2 m), microphanérophytes (2-8 m) et mésophanérophytes (de 8 à 30 m). Les mégaphanérophytes (> 30 m) qui correspondent approximativement à la classe X du code sont absents des formations étudiées ; ils pourraient cependant être représentés dans la région par quelques individus dans certaines forêts galeries bien conservées. Nous n'avons pas non plus retenu, pour simplifier, la limite de 16 m car les individus de hauteur supérieure représentent une faible partie du couvert. Ils ne sont cependant pas absents et peuvent caractériser certains faciès (parcs ou forêts claires de belle venue) et indiquer des conditions écologiques ou historiques particulières. Cette strate pourrait être à considérer, comme le fait DESCOINGS (1973), par exemple dans des études plus fines ou dans d'autres régions. Il faut cependant remarquer qu'elle ne l'est généralement pas, comme en témoigne la définition des mésophanérophytes donnée ci-dessus ou encore la classification des savanes selon la nomenclature de Yangambi (TROCHAIN, 1957) qui ne retient que la limite de 8 m.

La caractérisation des formations végétales telle qu'elle est représentée dans le code est fondée pour l'essentiel sur le degré de recouvrement global des peuplements et sur celui des diverses strates.

Nous avons considéré, en gardant les limites proposées dans le code, six degrés d'ouverture relatifs à l'ensemble du couvert ligneux qui définissent six catégories de formations :

Fermées ou peu ouvertes	recouvrement global	supérieur à 75 %
Semi-ouvertes	"	de 50 à 75 %
Ouvertes	"	de 25 à 50 %
Très ouvertes	"	de 10 à 25 %
Extrêmement à totalement ouvertes	"	inférieur à 10 %

Dans chacune de ces catégories, la caractérisation de la formation se fait en fonction du degré de recouvrement de chacune des strates. On distinguera les formations « simples », où l'une des strates domine nettement (recouvrement relatif de la strate $[R_i^* = R_i \times 100 / (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)]$ supérieur ou égal à 50 %), des formations « complexes » où deux ou plusieurs strates codominent. Cette distinction est intéressante à maintenir car une formation simple correspond au cas de dominance d'un type fonctionnel ou biologique souvent caractéristique des propriétés du milieu.

Elle donne par ailleurs une information sur la répartition des masses végétales au sein du couvert qu'il peut être utile de connaître en télédétection.

La combinaison des différents critères présentés ci-dessus permet de réaliser une typologie des formations végétales, dont nous donnons pour la région de Bondoukui la correspondance avec la terminologie la plus couramment en usage.

Hormis les formations forestières sans couvert herbacé, ou à couvert herbacé non graminéen, de faible extension (forêts galeries, forêts sèches, fourrés...), les formations végétales de la région de Bondoukui sont pour l'essentiel des savanes. Ces dernières sont des formations herbeuses au sens de DESCOINGS (1973) ; elles se caractérisent par :

« – la présence, obligatoire, d'un tapis herbacé régulier, discontinu au niveau du sol, essentiellement composé de graminées et de Cypéracées annuelles ou pérennantes, de taille et de densité variables, auxquelles se mêlent, non obligatoirement et en proportion variable, mais faible relativement, d'autres plantes herbacées ;

– la présence, non obligatoire, d'un peuplement régulier de végétaux ligneux ou subligneux (buissons, arbustes, arbres, palmiers) de taille et de densité variables, pouvant influencer plus ou moins fortement la structure du peuplement graminéen sans jamais l'éliminer » (DESCOINGS, 1973).

La définition donnée à Yangambi précise que ces formations herbeuses comportent une strate herbacée continue et qu'elles sont ordinairement brûlées annuellement.

Pour décrire les formations simples (dominées nettement par une strate, *cf. supra*), nous avons gardé les dénominations de savane arborée et de savane arbustive proposées à Yangambi en distinguant cependant les savanes arbustives basses (strate dominante entre deux et quatre mètres) et les savanes arbustives hautes (strate dominante entre quatre et huit mètres). Le terme de buisson étant compris au sens large d'individu ligneux de moins de deux mètres de hauteur, équivalent de nanophanérophytes sans référence au caractère multicaule des individus. Cette acception est assez largement utilisée ; on retrouve par exemple l'équivalence buisson-nanophanérophytes dans la présentation que fait SCHNELL (1970) de la classification des types biologiques de Braun-Blanquet. DESCOINGS (*op. cit.*) retient aussi le terme de buisson pour les individus de moins de deux mètres de hauteur.

Nous classons aussi parmi les formations simples la forêt claire, où domine nettement la strate arborée.

Dans le cas de formations complexes, dominées par deux strates, la dénomination du type de savane se fera en associant les noms de deux strates, par exemple savane arbustive haute et arborée, savane arbustive basse et buissonneuse. Une savane dominée par les strates arbustives basse et haute sera nommée simplement savane arbustive.

Les formations complexes, où le couvert est réparti de façon relativement égale entre plusieurs strates, correspondent aux savanes boisées. Pour être conforme aux recommandations de Yangambi – tout en restant dans l'échelle de couvert retenue (*cf. supra*) – le terme de savane boisée ne s'appliquera qu'aux formations dont le couvert global dépasse 25 %.

Par ailleurs, afin de tenir compte du degré d'ouverture du couvert, nous distinguerons, autour du type moyen, d'une part des formations denses et d'autre part des formations claires.

Ces notions sont relatives. La forêt claire n'est claire qu'en référence au terme forêt, mais en référence à la savane il s'agit d'une savane arborée très dense. La savane boisée est généralement perçue comme une savane relativement dense, c'est ce qui ressort de la classification de Yangambi où les savanes boisées correspondent à des couverts supérieurs à 20 %, alors que les savanes sont classées arbustives ou arborées avec un couvert supérieur à 2 % seulement.

La classification de Yangambi retient comme limite supérieure pour le recouvrement ligneux des savanes herbeuses la valeur de 2 %. Cette valeur semble faible et peu compatible avec le degré de précision généralement atteint pour l'évaluation du recouvrement ; c'est pourquoi nous avons retenu

la valeur de 10 % correspondant aux formations extrêmement ou totalement ouvertes (*cf. supra*) pour caractériser les savanes herbeuses.

Certains faciès peuvent représenter des transitions entre deux types de formation ; il peut alors être utile de les nommer d'une manière distincte. C'est le cas de formations broussailleuses (forêt claire broussailleuse) décrites par WHITE (1986) comme des formes de transition entre la forêt claire et la formation buissonnante (*sensu* White).

Nous retiendrons le terme de savanes broussailleuses pour décrire les savanes arbustives et buissonneuses très denses (tableau ci-dessous). Elles représentent la transition entre la savane arbustive et le fourré, et correspondent au phénomène d'embroussaillage, révélateur – comme l'embuissonnement – de la transformation des formations savaniques et de la dégradation de leur couvert herbacé.

L'embroussaillage et l'embuissonnement sont des phénomènes souvent cités, notamment comme une conséquence du surpâturage, mais peu de travaux en donnent une définition précise en termes de recouvrement ou de densité. BRUZON (1990) considère comme embroussaillées des savanes arbustives dont le couvert est supérieur à 50 %. Pour HOFFMANN (1983), les savanes embroussaillées ont un recouvrement supérieur à 40 % et une hauteur inférieure à 3 m. Les formations décrites par MANSGAR (1995) à Bondoukui comme représentatives des formations embroussaillées de la région ont toutes un recouvrement ligneux supérieur à 50 %.

Il semble donc que l'on puisse considérer que les phénomènes d'embroussaillage et d'embuissonnement apparaissent avec les savanes arbustives et buissonneuses denses (tableau ci-dessous).

Il convient enfin de prendre en compte les caractéristiques du couvert herbacé.

Les critères à retenir sont d'une part le caractère graminéen ou non et d'autre part le degré d'ouverture de ce couvert. Rappelons que, dans une formation graminéenne, le tapis herbacé est dominé par les espèces dites « graminéennes » : Graminées et Cypéracées (DESCOINGS, 1973).

Contrairement au peuplement ligneux dont les caractéristiques architecturales sont observables tout au long de l'année, le peuplement herbacé ne peut être correctement décrit qu'au cours d'une courte période qui correspond à son stade de développement maximal. De ce fait, les critères relatifs au couvert herbacé sont d'utilisation moins aisée que ceux relatifs au peuplement ligneux dans la description des couverts végétaux, notamment lorsqu'il s'agit d'inventaires de reconnaissance dans le cadre de missions limitées dans le temps.

Néanmoins, la présence de graminées pérennes est toujours décelable quelle que soit la période d'observation, grâce à la persistance des bases des touffes qui constitue un critère physiologique facilement observable. Il est donc toujours possible de préciser si l'on a affaire à une savane à pérennes ou à annuelles (cas où les pérennes ne sont pas observées) et même d'évaluer le recouvrement basal des graminées pérennes. FOURNIER (1991) note que ce recouvrement diminue des savanes humides aux savanes sèches, les valeurs observées par cet auteur étant de l'ordre de 15 % dans les savanes humides de Côte d'Ivoire et de 8 % dans des savanes soudanaises du Burkina Faso.

Compte tenu de la signification dynamique et fonctionnelle de ces deux types biologiques herbacés dans les savanes (FOURNIER, *op. cit.*), mention devrait en être faite dans la dénomination des types physiologiques. On parlera par exemple d'une savane boisée à pérennes ou d'une savane buissonneuse claire à annuelles.

Il faut aussi remarquer que cette distinction peut avoir un intérêt en télédétection puisque annuelles et pérennes ont des phénologies sensiblement différentes.

L'évaluation du recouvrement du feuillage des herbacées doit en revanche être effectué au moment de la pleine foliation et le critère d'ouverture de la strate herbacée ne peut donc être pris en compte de façon systématique.

TYPLOGIE DES FORMATIONS VÉGÉTALES SAVANICOLES
Formations mixtes ligneuses et graminéennes ou graminéennes

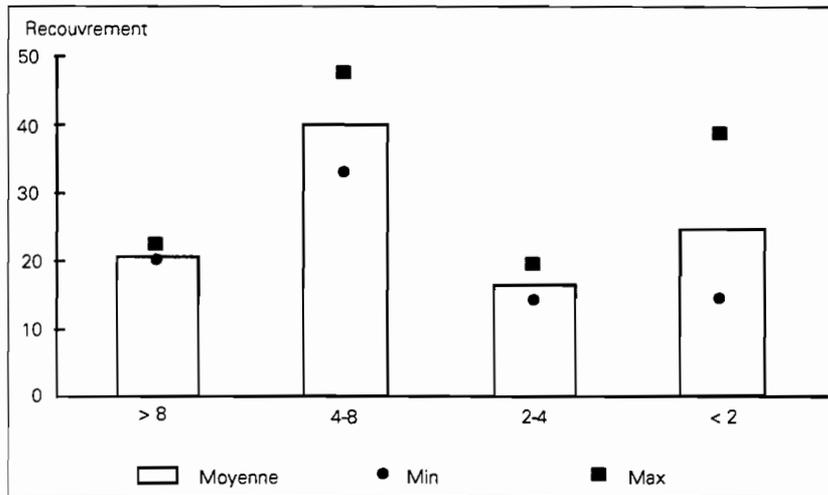
Recouvrement total du peuplement ligneux	Strate dominante	Dénomination
Formations peu ouvertes > 75 %	arborée arbustive haute arbustive basse sous-arbustive codominance*	forêt claire savane broussailleuse haute savane broussailleuse savane broussailleuse basse savane boisée dense
Formations semi-ouvertes 50-75 %	arborée arbustive haute arbustive basse sous-arbustive codominance	savane arborée dense savane arbustive haute dense savane arbustive basse dense savane buissonneuse dense savane boisée
Formations ouvertes 25-50 %	arborée arbustive haute arbustive basse sous-arbustive codominance	savane arborée savane arbustive haute savane arbustive basse savane buissonneuse savane boisée claire
Formations très ouvertes 10-25 %	arborée arbustive haute arbustive basse sous-arbustive codominance	savane arborée claire savane arbustive haute claire savane arbustive basse claire savane buissonneuse claire savane claire
Formations extrêmement à totalement ouvertes < 10 %		savane herbeuse

* S'il y a codominance de deux strates, la dénomination de la formation se fait en associant le nom de ces deux strates ; exemple : savane dense arborée et arbustive haute. S'il y a codominance des deux strates arbustives basse et haute, on parlera simplement de savane arbustive.

Références bibliographiques

- BRUZON (V.), 1990 — *Les savanes du nord de la Côte d'Ivoire. Mésologie et dynamisme : l'herbe, le feu et le pâturage*. Thèse de doct., Géomorphologie et dynamique des milieux naturels, univ. Paris-VII, 301 p.
- DESCOINGS (B.), 1973 — Les formations herbeuses africaines et les définitions de Yangambi considérées sous l'angle de la structure de la végétation. *Adansonia*, sér. 2., 13 (4) : 391-421.
- EMBERGER (L.) (éd.), 1983 — *Relevé méthodique de la végétation et du milieu. Code et transcription sur cartes perforées*. CNRS, 292 p.
- FOURNIER (A.), 1991 — *Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique*. Paris, Orstom, coll. Études et thèses, 312 p.
- HOFFMANN (O.), 1983 — *Recherche sur les transformations du milieu végétal dans le Nord-Est ivoirien : les pâturages en pays lobi*. Thèse de 3^e cycle, Géographie, univ. Bordeaux-III, 299 p. + annexes.
- MANSGAR (D.), 1995 — *L'embroussaillage des savanes de Bondoukui*. Mémoire de DEA, univ. Ouagadougou.
- SCHNELL (R.), 1970 — *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux*. Paris, Gauthier-Villars, 2 vol., 951 p.
- TROCHAIN (J.-L.), 1957 — Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. *Bull. Inst. Et. Centrafic.*, 13-14 : 55-93.
- WHITE (F.), 1986 — *La végétation de l'Afrique*. Orstom-Unesco, 384 p. + carte.

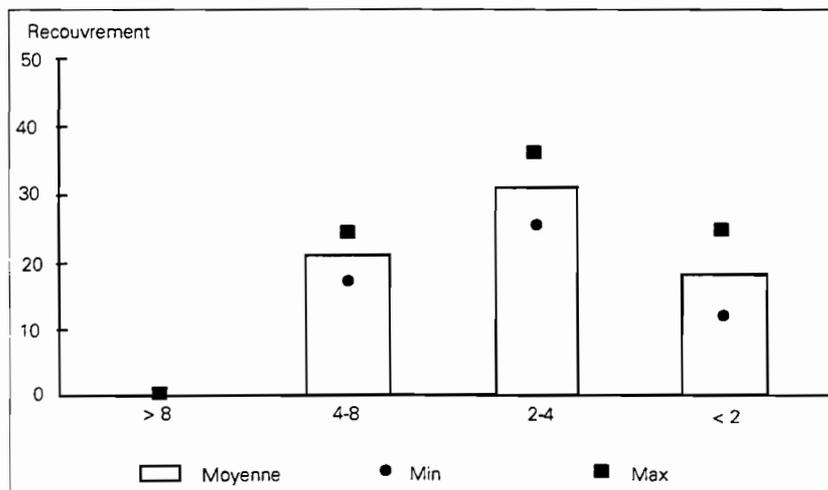
DISTRIBUTION DU RECOUVREMENT LIGNEUX PAR STRATE DANS LES PRINCIPAUX TYPES PHYSIONOMIQUES OBSERVÉS À BONDOUKUI



a : Savanes boisées denses

Unités cartographiques : 14, 10.

Recouvrement total moyen observé : 76 % (75-78)*. Deux observations.

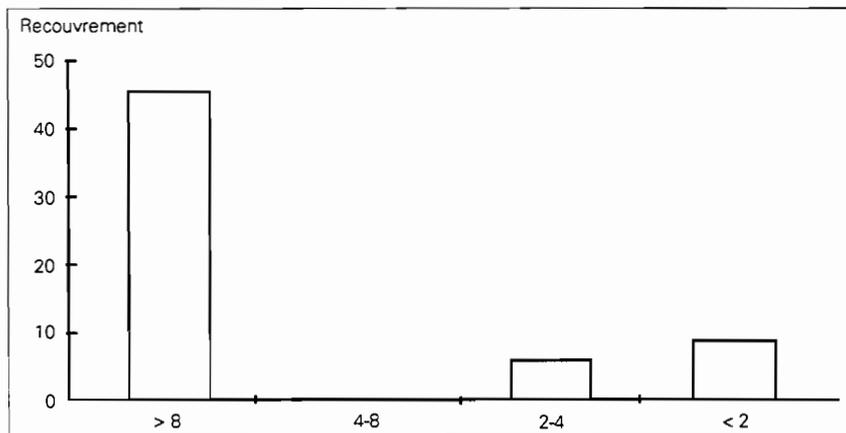


b : Savanes arbustives basses denses

Unités cartographiques : 10, 14.

Recouvrement total moyen observé : 55 % (51-59). Deux observations.

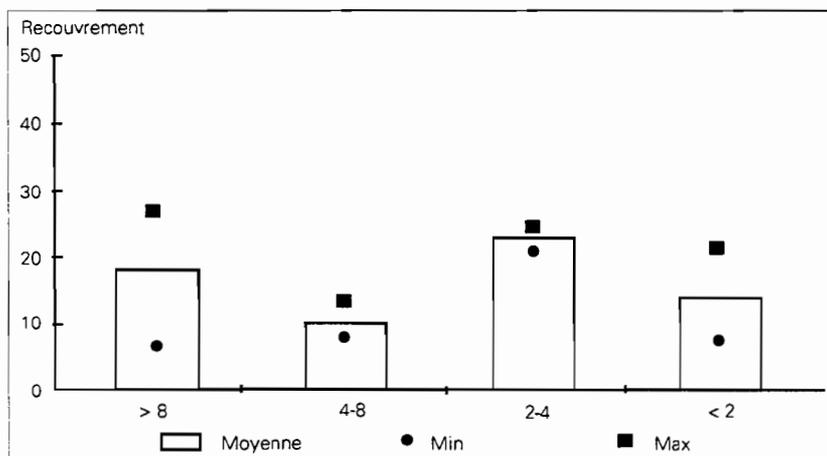
* Entre parenthèses, valeurs minimale et maximale observées.



c : Savanes arborées denses

Unités cartographiques : 6.

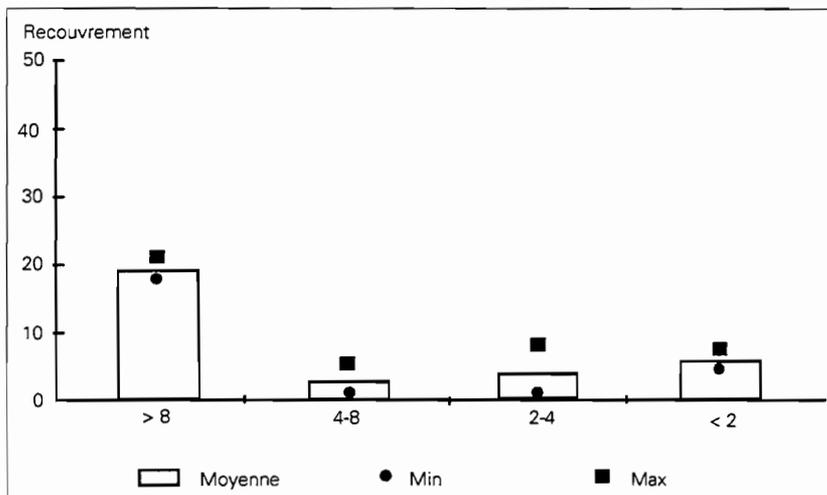
Recouvrement total moyen observé : 50 %. Une observation.



d : Savanes boisées

Unités cartographiques : 6, 8, 14.

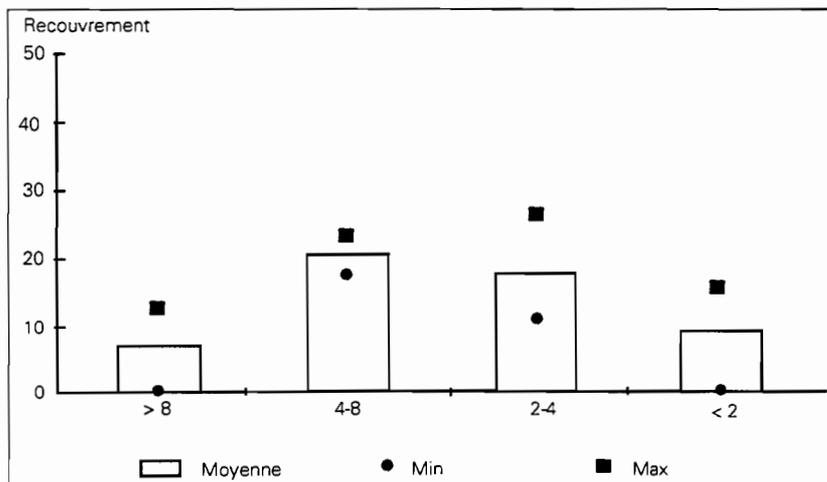
Recouvrement total moyen observé : 56 % (50-61). Six observations.



e : **Savanes arborées**

Unités cartographiques : 16, 9.

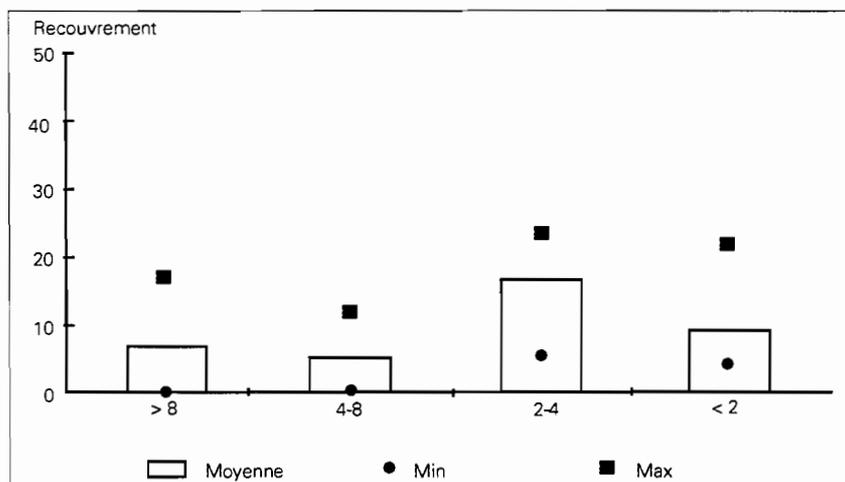
Recouvrement total moyen observé : 29 % (28-30). Deux observations.



f : **Savanes arbustives**

Unités cartographiques : 6, 10.

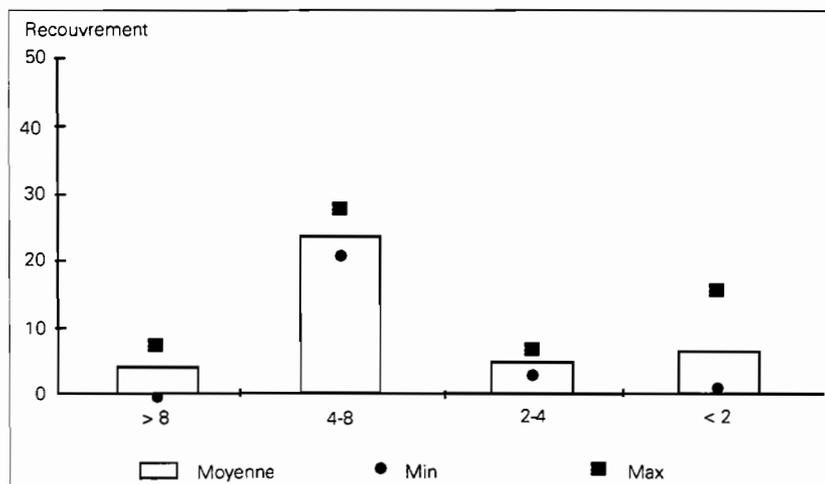
Recouvrement total moyen observé : 43 % (37-49). Deux observations.



g : Savanes arbustives basses

Unités cartographiques : 6, 9, 10, 11.

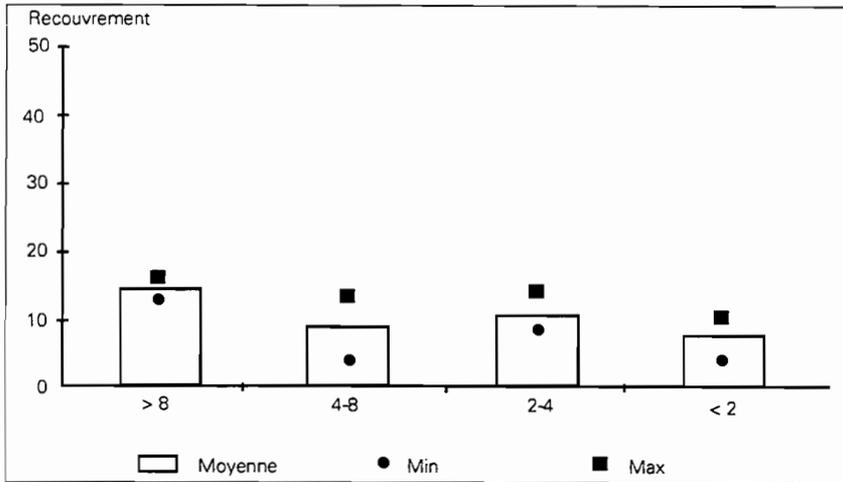
Recouvrement total moyen observé : 34 % (25-44). Six observations.



h : Savanes arbustives hautes

Unités cartographiques : 5, 7, 9.

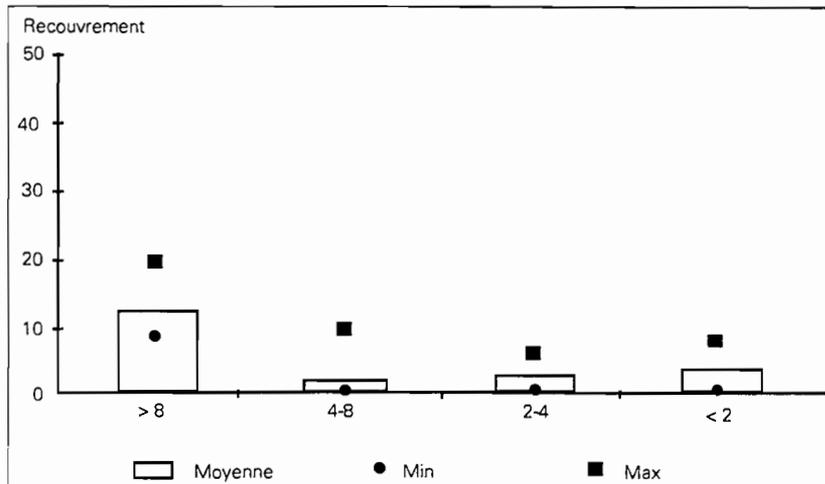
Recouvrement total moyen observé : 33 % (27-40). Trois observations.



i : Savanes boisées claires

Unités cartographiques : 5, 6, 9.

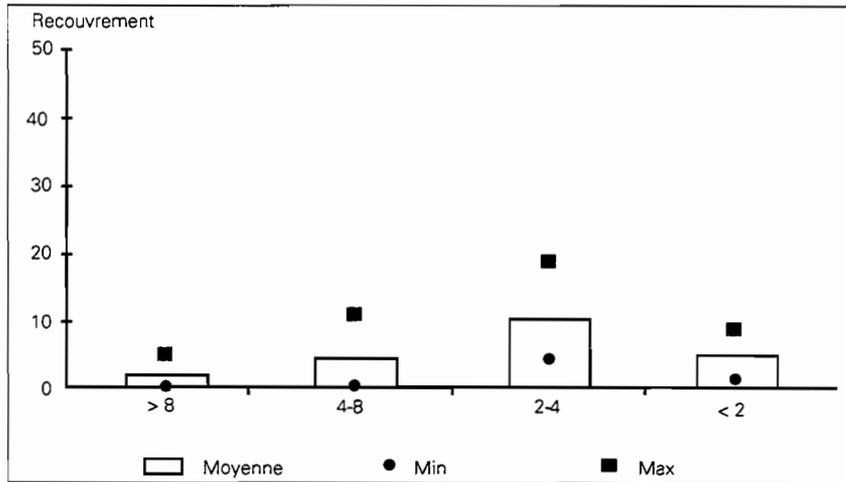
Recouvrement total moyen observé : 34 % (31-39). Trois observations.



j : Savanes arborées claires

Unités cartographiques : 1, 5, 6, 7, 9.

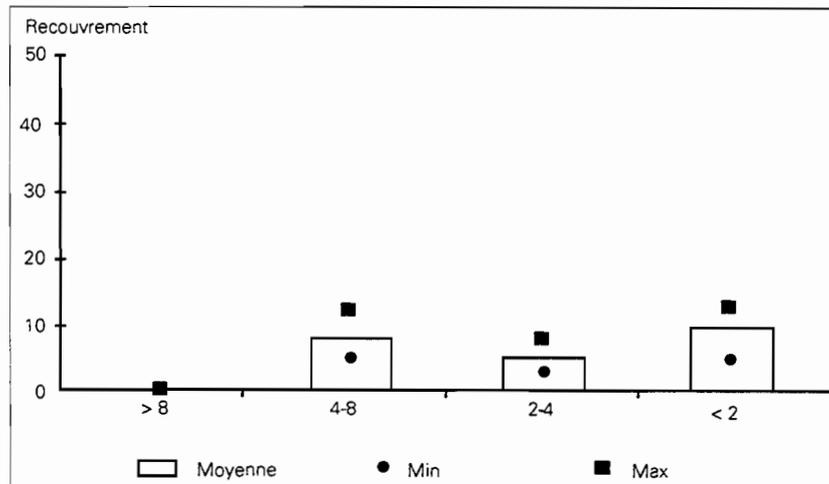
Recouvrement total moyen observé : 18 % (12-23). Cinq observations.



k : Savanes arbustives basses claires

Unités cartographiques : 2, 5, 6, 7, 9.

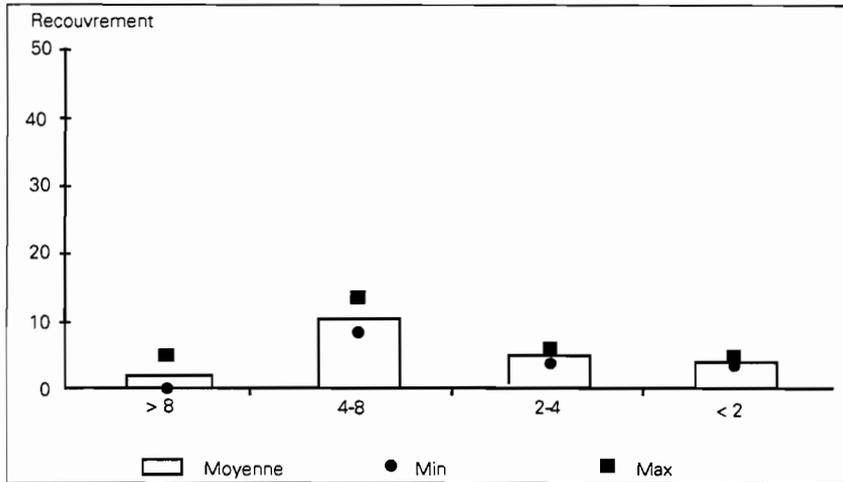
Recouvrement total moyen observé : 19 % (13-24). Neuf observations.



l : Savanes arbustives claires

Unités cartographiques : 1, 6, 7, 9.

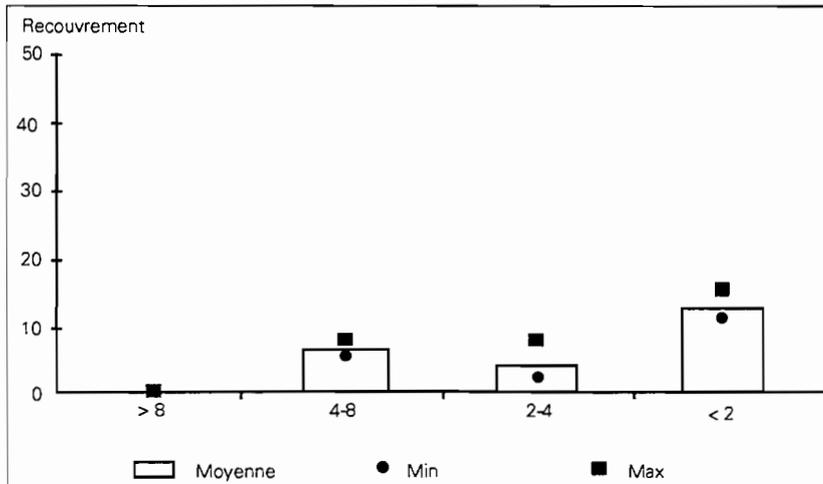
Recouvrement total moyen observé : 19 % (12-24). Quatre observations.



m : **Savanes arbustives hautes claires**

Unités cartographiques : 6, 8.

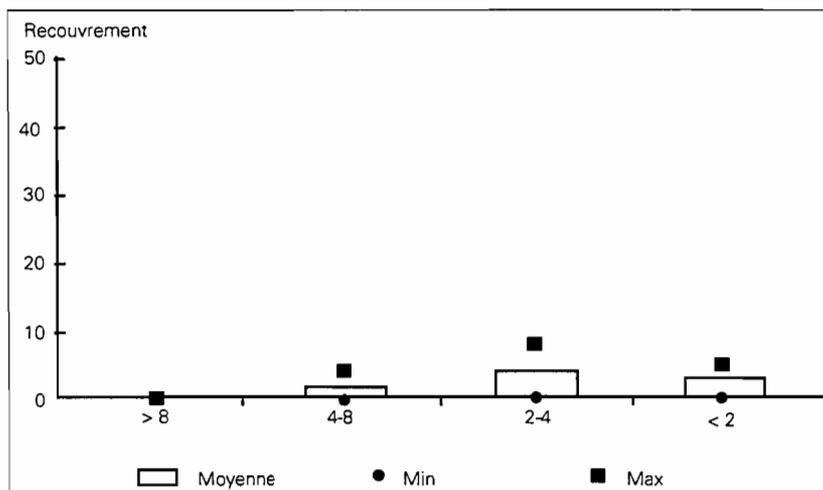
Recouvrement total moyen observé : 17 % (11-23). Deux observations.



n : **Savanes buissonneuses claires**

Unités cartographiques : 5, 6, 9.

Recouvrement total moyen observé : 21 % (19-24). Trois observations.



o : **Savanes herbeuses**

Unités cartographiques : 6, 11.

Recouvrement total moyen observé : 6 % (2-9). Trois observations.

RÉSUMÉ

Ce document comporte trois parties.

1. Les sols par B. KALOGA

Cette première partie est une présentation générale des sols et des facteurs de la pédogenèse. Le climat de la région de Bondoukou (Ouest burkinabé) est sahélo-soudanais (au sens d'Aubréville), la pluviosité moyenne annuelle varie de 850 mm (Solenzo) à 920 mm (Ouarkoye). Le substratum géologique est constitué de formations sédimentaires infracambriennes et paléozoïques ainsi que d'alluvions récentes quaternaires. Le schéma géomorphologique est celui d'un système de glacis cuirassés polygéniques plus ou moins profondément entaillés par le réseau hydrographique, avec une plaine colluvio-alluviale puis alluviale le long des grands axes de drainage. Les principaux types de sols rencontrés sont des lithosols associés à des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou à des sols peu évolués sur matériau gravillonnaire, des sols hydromorphes à pseudogley, ainsi que des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes. Dans la partie sud-ouest de la région étudiée, on observe une association de sols ferrugineux tropicaux hydromorphes sur matériau sablo-argileux à argileux et de sols ferrallitiques sur matériau argilo-sableux.

2. La flore et la végétation par J.-L. DEVINEAU et A. FOURNIER

Cette deuxième partie présente la flore et la végétation d'un point de vue phytogéographique. La région de Bondoukou appartient au centre d'endémisme soudanien selon WHITE (1986) et se situe dans la partie nord d'extension des forêts claires à *Isoberlinia doka*. La végétation et les paysages sont fortement modifiés par l'homme. Les espèces ligneuses les plus fréquentes sont *Butyrospermum paradoxum*, *Terminalia avicennioides*, *Pteleopsis suberosa*, *Combretum collinum*, *Terminalia laxiflora*, *Crossopteryx febrifuga* et *Daniellia oliveri*, alors que les herbes les plus communes sont *Pennisetum pedicellatum*, *Pennisetum polystachion*, *Andropogon ascinodis*, *Andropogon pseudapricus* et *Andropogon fastigiatus*. Sur les sols gravillonnaires incultes se rencontrent des savanes boisées à *Isoberlinia doka* ou *Burkea africana* ainsi que des savanes arbustives à *Detarium microcarpum*. Les groupements liés aux cuirasses correspondent à des mosaïques de bosquets à *Acacia macrostachya* et *Combretum micranthum* et de savanes herbeuses à *Loudetiopsis kerstingii* et *Borreria pusilla*. Sur les sols propices à l'agriculture, la végétation est principalement constituée de jachères. La végétation des zones les plus intensivement cultivées du bas glacis est principalement constituée par un parc à *Butyrospermum paradoxum* et par des jachères herbeuses.

Ailleurs se rencontrent des jachères arbustives parmi lesquelles quatre groupements sont décrits : jachères à *Piliostigma thonningii*, à *Dichrostachys cinerea* et *Securinea virosa*, à *Pteleopsis suberosa* et *Annona senegalensis* et à *Piliostigma reticulatum*.

La flore des savanes de Bondoukou est dominée par les espèces soudano-zambéziennes. Les espèces à large répartition représentent 25 à 28 % de la flore des formations les plus naturelles ; elles atteignent 40 % dans les jachères et constituent 70 % de la flore adventice des cultures.

Les herbes annuelles dominent la strate herbacée où elles sont en plus forte proportion sur les cuirasses et les jachères. Les phanéropytes représentent 54 % de la flore, cette proportion étant moindre sur les jachères où les mésophanéropytes sont moins abondants.

La flore ligneuse est dominée par les Légumineuses, les Combrétacées et les Rubiacées, comme c'est généralement le cas dans les savanes soudaniennes. Dans les endroits les plus secs ou les plus perturbés par l'homme, la proportion des Combrétacées est plus élevée ; c'est aussi le cas pour les Mimosacées alors que la proportion des Papilionacées est plus faible. Dans la strate herbacée, les Graminées dominent, mais la part des Papilionacées augmente dans les jachères.

La richesse spécifique à Bondoukui est comparée à celle d'autres savanes, d'une part à une échelle locale (celle de la station), d'autre part à une échelle plus globale (celle de l'ensemble des savanes sur sol drainé d'un même site). La richesse spécifique globale des herbacées, qui est relativement élevée, est comparable à celle des autres sites soudaniens et sud-soudaniens, alors que la richesse locale, qui est faible, est comparable à celle des sites nord-soudaniens. Cela traduit une structure en mosaïque avec une forte variabilité entre les éléments. La richesse spécifique des ligneux est également comparable à celle des autres sites soudaniens, mais les peuplements ligneux sont moins variables que les peuplements herbacés.

3. Cartographie préliminaire des sols et de la végétation par télédétection par J.-L. DEVINEAU et B. KALOGA

Cette troisième partie est fondée sur l'analyse de deux images SPOT du 8 janvier 1989 et du 7 juin 1990 correspondant à la scène KJ 049-326.

L'analyse de l'image est de type non supervisé et la signification des classes a été déterminée *a posteriori*. Les classifications ont été réalisées grâce au logiciel Planète de l'Orstom par la méthode des nuées dynamiques. L'indice de brillance $[(XS1^2 + XS2^2 + XS3^2)/3]^{0,5}$, l'indice de végétation $(XS3 - XS2)/(XS3 + XS2)$ et l'indice de couleur $(XS2 - XS1)/(XS2 + XS1)$ ont été utilisés pour classer l'image de juin comme celle de janvier. Cette dernière est utile pour discriminer les forêts et les zones inondables dont la végétation est encore active, mais elle convient mal pour le reste du territoire car trop de zones ont été brûlées. L'intérêt de l'image de juin est opposé, elle convient bien pour l'étude de l'ensemble du site sauf pour la plaine alluviale inondable. Quatorze unités cartographiques ont été créées en superposant les classifications des deux dates et en regroupant les classes obtenues en fonction de leur signification thématique. L'indice de rougeur $IR = XS2^2/XS1^3$ a été aussi utilisé pour interpréter les unités cartographiques en fonction des caractéristiques de couleur des sols. La moyenne ainsi que les autres paramètres de distribution de l'indice ont été calculés pour chaque unité cartographique et, par ailleurs, une classification de l'image de juin en fonction des indices de brillance et de rougeur a été réalisée. L'indice de rougeur, qui est proportionnel au rapport hématite/gœthite (MADEIRA, 1993), apparaît effectivement comme un meilleur indicateur de rougeur que l'indice de couleur et traduit bien les séquences de sol. Les analyses de terrain ont ensuite permis de caractériser chaque unité cartographique par ses sols, la composition floristique et la structure de sa végétation.

Mots clés : savanes soudaniennes, sols, végétation, phytogéographie, diversité spécifique, jachères, télédétection, cartographie.

ABSTRACT

Soils and vegetation in Bondoukui area (west of Burkina Faso)

This document consists of three parts.

1. Soils by B. KALOGA

This first part is a general presentation of soils and factors acting on their genesis. The climate of the Bondoukui area (west of Burkina Faso) is sahelo-sudanian (sensu Aubréville) with mean annual precipitation varying in the area from 850 mm (Solenzo) to 920 mm (Ouarkoye).

The geological substratum consists of sandstone infracambrian and paleozoic sedimentary formations, and of recent quaternary alluvium. The geomorphological pattern is a system of polygenic glacial with hardpan more or less strongly dissected by the hydrographic system with a colluvio-alluvial then alluvial plain along the main drainage axis.

Main soils are stony soils associated with tropical leached ferruginous soils or with little developed soils on gravel material; hydromorphic soils with pseudogley and hydromorphic tropical ferruginous soils. In the South-West of the area an association with hydromorphic tropical ferruginous soils on sandy-clay to clay material and « ferralitic » soils on sandy-clay material is observed.

2. Flora and vegetation by J.-L. DEVINEAU and A. FOURNIER

This second part deals with flora and vegetation from a phytogeographical point of view. According to WHITE (1986) Bondoukui area belongs to the northern part of the Isoberlinia doka woodland zone of the Sudanian region. Vegetation and landscapes are highly disturbed by man. The most frequent tree species are Butyrospermum paradoxum, Terminalia avicennioides, Pteleopsis suberosa, Combretum collinum, Terminalia laxiflora, Crossopteryx febrifuga and Daniellia oliveri whereas the most common herbaceous species are Pennisetum pedicellatum, Pennisetum polystachion, Andropogon ascinodis, Andropogon pseudapricus and Andropogon fastigiatus. On gravelly uncultivable soils Isoberlinia doka or Burkea africana woodlands such as Detarium microcarpum low tree savannas are observed. On stony soils, patches of Acacia macrostachya – Combretum micranthum thickets and Loudetiopsis kerstingii - Borreria pusilla grasslands occur. On agricultural propitious soils fallows mainly constitute the vegetation. The most intensively cultivated area of the « low glacia » is mainly constituted by a Butyrospermum paradoxum parkland with herbaceous fallows. Elsewhere shrubby or low tree fallows occur. Among them four groups are described and their floristic composition is given. They are : Piliostigma thonningii, Dichrostachys cinerea – Securinega virosa, Pteleopsis suberosa – Annona senegalensis and Piliostigma reticulatum fallows.

At Bondoukui the savanna flora is dominated by the Sudano-zambeian species. Widely distributed species represent 25 to 28 % of the flora in the most natural formations, they reach 40 % in fallows and constitute 70 % of the weeds flora. Annual grasses dominate the herbaceous layer, their proportion is higher on hardpan and fallows. Phanerophytes represent 54 % of the flora, this proportion is lower on fallows where mesophanerophytes are less abundant.

The tree flora is dominated by Leguminosae, Combretaceae and Rubiaceae as generally observed in Sudanian savannas. Nevertheless the proportion of Combretaceae is higher in the driest areas or in those most affected by man, such is also the case for Mimosaceae whereas Papilionaceae proportion is lower. In the herbaceous layer Poaceae dominate, but Papilionaceae proportion increases in fallows.

The species richness at Bondoukui is compared to that of other savannas, first at a local scale (station) and secondly at a more global scale (all the savannas on drained soils for a site). Herbs global specific richness, which is relatively high, is similar to that of Sudanian and south-Sudanian sites whereas local richness, which is low, is similar to that of north-Sudanian sites. This results in a highly variable patchy pattern. Tree species richness is also similar to that of other Sudanian sites but trees communities are less variable than herbaceous ones

3. Preliminary mapping of soils and vegetation by remote sensing by J.-L. DEVINEAU and B. KALOGA

This third part is based on the analysis of two SPOT views from January 08 1989 and from June 07 1990 whose KJ coordinates on the SPOT frame are 049-326.

As this study is a preliminary survey, image analysis was made by unsupervised method and signification of clusters was determined a posteriori. The image classification was achieved with the Orstom « Planète » Software by the Dynamic Clusters Method.

Brightness index – $[(XS1^2 + XS2^2 + XS3^2)/3]^{0,5}$ –, Vegetation index – $(XS3 - XS2/XS3 + XS2)$ – and Color index – $(XS2 - XS1/XS2 + XS1)$ – were first used to classify both the January and the June view. January view is useful to distinguish forests or lands liable to flooding whose greenness is still perceived, but it is inappropriate for other land classification, as too many areas are burned. June view interest is opposite: it is very useful for the study of the entire site except for the alluvial valley. Fourteen mapping units were created from the superimposition of classes of the two classifications and grouping of them according to their thematic meaning. The Redness index – $IR = XS2^2/XS1^3$ – was also used for the interpretation of mapping units regarding soil color characteristics. The mean value and other parameters of the index distribution have been calculated for each mapping unit and a classification of the June image with redness and brightness index was achieved. The Redness index, which is proportional to the hematite-goethite ratio (MADEIRA, 1993) is effectively a better indicator of redness than the color index and provides good representations of soil sequences.

After field analysis each mapping unit has been characterized by its soils and by the structure and the floristical composition of its vegetation.

Keywords : Sudanian savannas, soils, vegetation, phytogeography, species, diversity, fallows remote sensing, cartography.

LISTE DES FIGURES

	Page
1. Localisation de la zone d'étude	7
2. Extrait de la carte pédologique de la Haute-Volta à 1/500 000	12
3. Répartition des sols de l'unité 2	13
4. Répartition des sols de l'unité 3	14
5. Répartition des sols de l'unité 4	14
6. Répartition des sols de l'unité 5	16
7. Toposéquences moyen glacis-surface actuelle	17
8. Toposéquences haut glacis-moyen glacis-surface actuelle	20 à 22
9. Toposéquence synthétique du domaine haut glacis-relief pliocène-surface éocène	23
10. Carte des territoires phytogéographiques du Burkina Faso	30
11. Spectre biogéographique des adventices des cultures de la région de Bondoukui	39
12. Spectres biogéographiques des principales formations savaniques de la région de Bondoukui	40
13. Spectres biologiques des principales formations savaniques de la région de Bondoukui	41
14. Spectres biologiques des principales formations végétales savaniques du Burkina Faso	41
15. Spectre biologique des savanes du parc de la Comoé (Côte d'Ivoire)	42
16. Spectres taxonomiques des ligneux des principales formations savaniques de la région de Bondoukui	43
17. Spectres taxonomiques des ligneux des principales communautés végétales savaniques du Burkina Faso	43
18. Spectres taxonomiques simplifiés des herbes des principales formations savaniques de la région de Bondoukui	44
19. Rapport entre richesse spécifique stationnelle et richesse spécifique totale pour différents sites de savanes sur sols drainés	46
20. Distribution des classes de la partition d'origine de l'image de juin 1990 en fonction des indices de brillance et de végétation	53
21. Distribution des classes de la partition d'origine de l'image de juin 1990 en fonction des indices de brillance et de couleur	54
22. Distribution des classes de l'image de janvier 1989 en fonction des indices de brillance et de végétation	54
23. Création des unités cartographiques 12, 13 et 14 à partir des classes C7 de janvier 1989 et C12 de juin 1990	55
24. Organisation des unités radiométriques le long de quelques toposéquences pour différents secteurs de la carte	56-57
25. Organisation des unités radiométriques de la classification indice de rougeur 9 classes	58-59
26. Distribution des unités cartographiques en fonction de l'indice de brillance et de l'indice de végétation	61

	Page
27. Distribution des unités cartographiques en fonction de l'indice de rougeur et de l'indice de couleur	62
28. Distribution de l'indice de végétation pour chacune des unités cartographiques sur l'image de juin 1990	63
29. Distribution de l'indice de végétation pour chacune des unités cartographiques sur l'image de janvier 1989	64
30. Distribution des unités cartographiques en fonction du recouvrement des ligneux et du recouvrement des graminées pérennes	66
31. Valeurs radiométriques des 14 unités cartographiques dans les trois canaux d'origine	68
32. Distribution de l'indice de rougeur dans l'unité 6	69
33. Distribution de l'indice de rougeur dans l'unité 7	69
34. Distribution de l'indice de rougeur dans l'unité 9	69
35. Localisation de l'unité 9 dans la classification IR 9 classes à l'ouest du Mouhoun	72
36. Localisation de l'unité 9 dans la moitié nord à l'est du Mouhoun	72
37. Organisation du complexe unités 9 + 5 dans la classification IR 9 classes	72
38. Localisation des unités 9 et 10 à l'ouest du Mouhoun	73
39. Localisation des unités 9 et 10 dans la moitié nord à l'est du Mouhoun	74

LISTE DES TABLEAUX

	Page
I. Richesse floristique stationnelle pour différentes savanes de l'Afrique de l'Ouest	45
II. Richesse floristique totale pour différentes savanes de l'Afrique de l'Ouest	45
III. Fréquences observées sur le terrain des différents types de sols dans les unités cartographiques	67
IV. Fréquences observées sur le terrain des différents types de formations végétales dans les unités cartographiques	69

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	3
Première partie LES SOLS	
LES FACTEURS DE LA PÉDOGENÈSE	3
1. Localisation géographique	7
2. Climat	7
3. Géologie	8
4. Géomorphologie	8
4.1. Le cadre géomorphologique	8
4.2. Caractérisation des différents niveaux	9
4.2.1. <i>La surface éocène</i>	9
4.2.2. <i>Le relief intermédiaire</i>	9
4.2.3. <i>Les niveaux quaternaires</i>	9
4.3. Conclusion	10
L'ÉTUDE DES SOLS	
1. Les résultats de la carte pédologique de reconnaissance à 1/500 000	11
1.1. Les sols hydromorphes minéraux à pseudogley à taches et concrétions sur alluvions à textures variées, souvent argileuses et souvent inondables	11
1.2. Les sols hydromorphes minéraux à pseudogley à taches et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux, associés à des sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire ...	11
1.3. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris à taches et concrétions sur matériau argilo-sableux, associés à des sols peu évolués sur matériau gravillonnaire et des lithosols (cuirasse ferrugineuse)	13
1.4. Les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes sur matériau sablo-argileux à argileux, associés à des sols hydromorphes à pseudogley à taches et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux	14
1.5. Les sols peu évolués sur matériau gravillonnaire (au-dessus de cuirasses ou parfois de carapaces ferrugineuses), associés à des lithosols (cuirasses ferrugineuses)	15
1.6. Les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes sur matériau sablo-argileux à argileux, associés à des sols ferrallitiques faiblement et moyennement désaturés	15
2. Les résultats de la cartographie de la région de Solenzo (mars 1991)	16
2.1. Le domaine du complexe moyen glaciaire-haut glaciaire (cuirasses quaternaires)	16
2.1.1. <i>Les séquences moyen glaciaire-surface actuelle</i>	16
2.1.2. <i>Les séquences haut glaciaire-surface actuelle ou haut glaciaire-moyen glaciaire-surface actuelle</i>	20
2.2. Le domaine à prépondérance du complexe haut glaciaire-relief intermédiaire-surface éocène ... Les séquences relief intermédiaire-haut glaciaire-surface actuelle	23
2.3. Le domaine à larges ondulations	25
2.4. Conclusion	26

Deuxième partie
FLORE ET VÉGÉTATION

GÉNÉRALITÉS	29
1. Caractéristiques phytogéographiques de la région de Bondoukui	29
1.1. Une zone de transition phytogéographique	29
1.2. Une végétation et des paysages modifiés de longue date par l'action de l'homme	29
2. Rappel sur la structure et le fonctionnement des savanes : strate herbeuse et strate herbacée, un équilibre dynamique	32
LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX DE LA RÉGION DE BONDOUKUI	33
1. Principales formations végétales	33
2. Composition floristique des formations végétales savanicoles	34
2.1. Nature des données et méthode d'étude	34
2.2. Groupements des sols non gravillonnaires à dominante sableuse ou argileuse	34
2.2.1. <i>Espèces caractéristiques ou préférantes</i>	34
2.2.2. <i>Végétation des jachères ou friches herbeuses ou arborées (parc) à couvert ligneux faible sur sols hydromorphes</i>	35
2.2.3. <i>Végétation des jachères ou friches arbustives à Piliostigma thonningii</i>	35
2.2.4. <i>Végétation des jachères ou friches à Dichrostachys cinerea et Securinega virosa</i>	35
2.2.5. <i>Végétation des friches ou jachères à Pteleopsis suberosa et Annona senegalensis</i>	36
2.2.6. <i>Végétation des jachères herbeuses ou arbustives à Piliostigma reticulatum</i>	36
2.3. Groupements des sols gravillonnaires	37
2.3.1. <i>Espèces caractéristiques ou préférantes</i>	37
2.3.2. <i>Formations naturelles ou jachères anciennes arborées ou boisées – parfois forêt claire – à Isoberlinia doka</i>	37
2.3.3. <i>Savanes arbustives ou arborées à Burkea africana</i>	37
2.3.4. <i>Savanes arbustives à Detarium microcarpum et Ozoroa insignis</i>	38
2.4. Groupements des formations sur cuirasses	38
2.4.1. <i>Formations arbustives claires des rebords de cuirasse et buttes cuirassées</i>	38
2.4.2. <i>Formations herbeuses des cuirasses</i>	39
3. Données synthétiques sur la flore des formations savanicoles	39
3.1. Spectre biogéographique	39
3.2. Spectre biologique	40
3.3. Spectre taxonomique	42
4. Richesse spécifique	44

Troisième partie
CARTOGRAPHIE PRÉLIMINAIRE DE LA VÉGÉTATION ET DES SOLS

ANALYSE DES IMAGES SATELLITAIRES	51
1. Objectifs	51

	Page
2. Méthodes	51
2.1. Analyse d'image	51
2.2. Interprétation et validation des unités cartographiques	52
3. Résultats	53
3.1. Classification à partir de l'indice de végétation, de brillance et de couleur	53
3.1.1. Image de juin 1990	53
3.1.2. Image de janvier 1989	53
3.1.3. Image multidate (janvier 1989-juin 1990)	55
3.2. Classification à partir de l'indice de brillance et de l'indice de rougeur	55
CARACTÉRISTIQUES DES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES	61
Unité 1	61
Unité 2	61
Unité 3	62
Unité 4	65
Unité 5	65
Unité 6	65
Unité 7	69
Unité 8	71
Unité 9	71
Unité 10	73
Unités 11 et 12	74
Unité 13	75
Unité 14	75
CONCLUSION	76

SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

ANNEXE DE LA DEUXIÈME PARTIE	89
Fréquence des principales espèces dans les divers groupements ligneux	89
Fréquence des principales espèces dans les divers groupements herbacés	91
ANNEXE DE LA TROISIÈME PARTIE	93
Note sur l'analyse de la structure de la végétation et sur la terminologie utilisée	93
Typologie des formations végétales savanicoles	96
Distribution du recouvrement ligneux par strate dans les principaux types physionomiques observés à Bondoukui	97

	Page
RÉSUMÉ	105
ABSTRACT	107
LISTE DES FIGURES	109
LISTE DES TABLEAUX	111

TABLE DES MATIÈRES

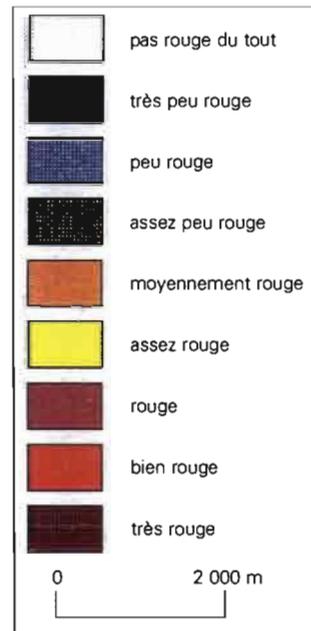
PLANCHES HORS-TEXTE

1. Classification indice de rougeur (neuf classes)
2. Classification indice de brillance-indice de rougeur (dix classes)
- 3 a. Domaine du complexe moyen glacis-haut glacis (cuirasses quaternaires)
- 3 b. Domaine du complexe haut glacis-relief intermédiaire-surface éocène

PLANCHES
hors-texte

PLANCHE 1

Classification indice de brillance-indice de rougeur (neuf classes)



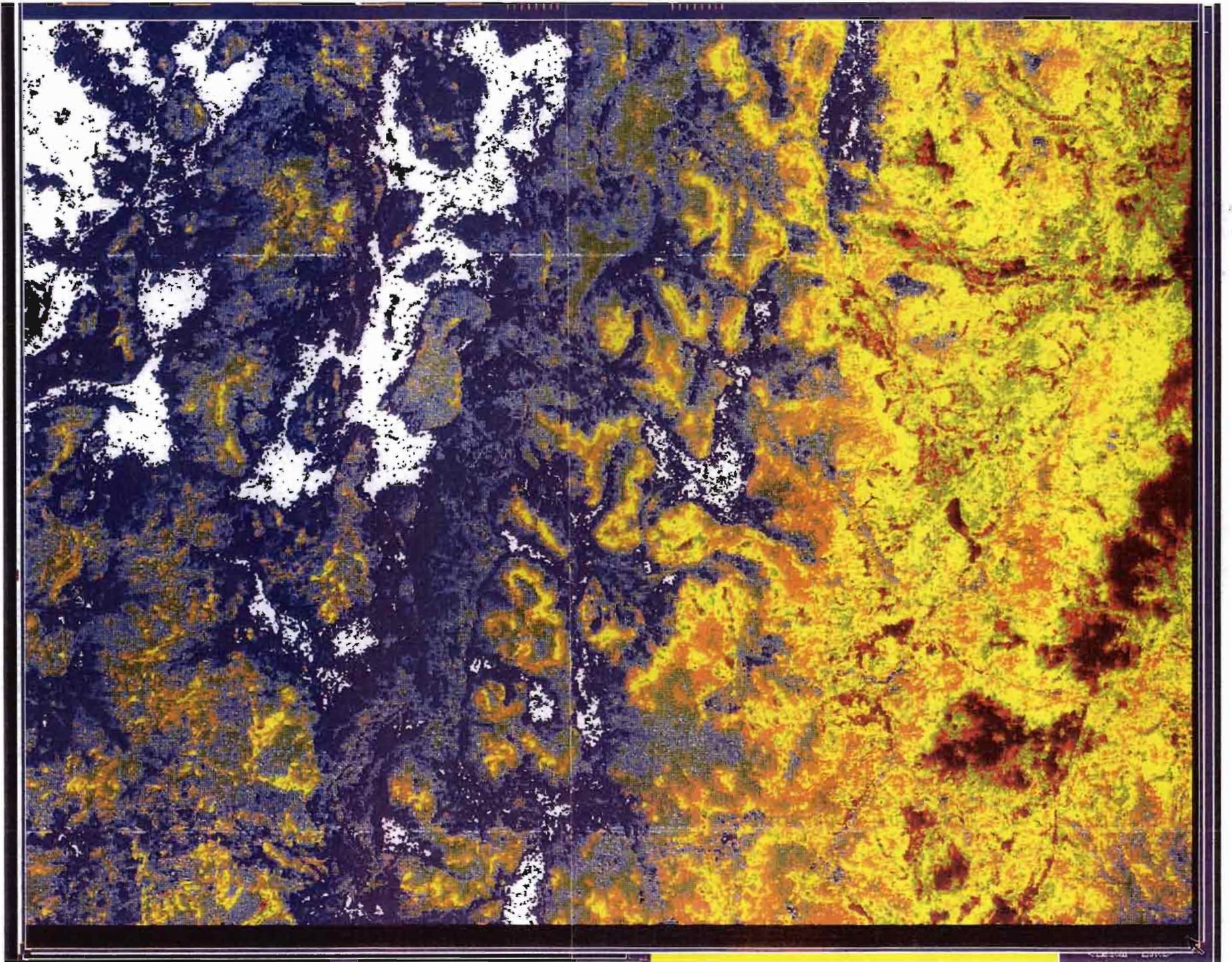
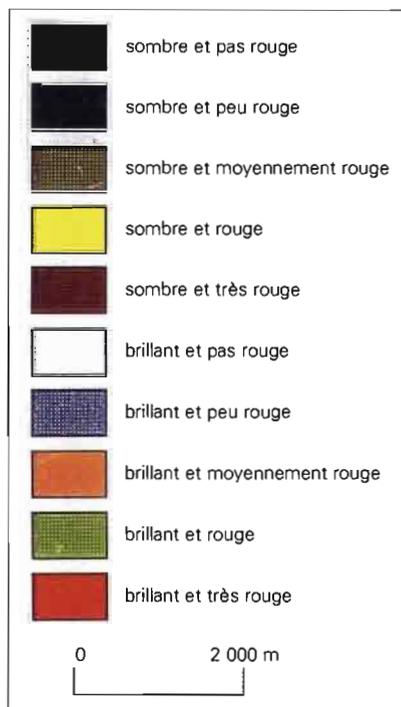


PLANCHE 2

Classification indice de brillance-indice de rougeur (dix classes)



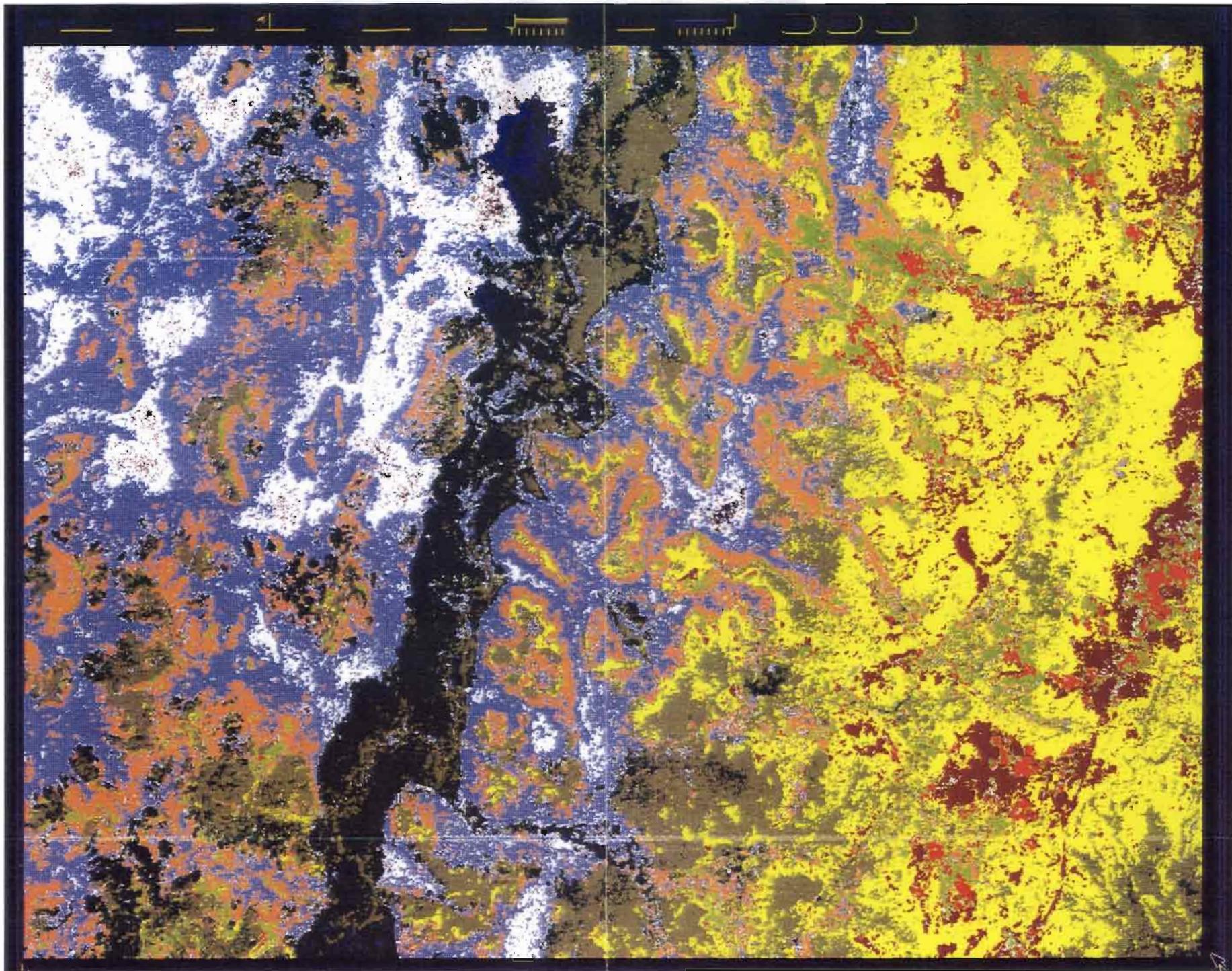
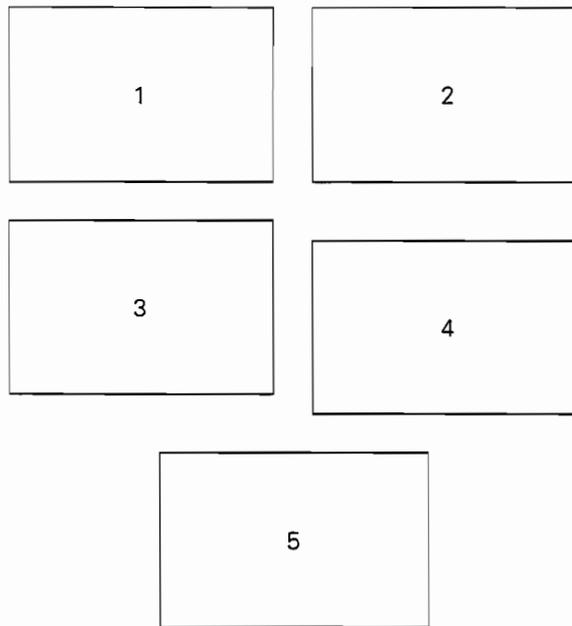


PLANCHE 3



Domaine du complexe moyen glacis-haut glacis (cuirasses quaternaires)

Lithosols sur cuirasse ferrugineuse

- 1 - Surface du sol plus ou moins gravillonnaire avec pavage plus ou moins intense de gros cailloux et pierre de cuirasse.
- 2 - Gros gravillons ferrugineux enchâssés dans une croûte de battance à aspect damé.
- 3 - Croûte de décantation dans les microdépressions.

Plaine inférieure (sols hydromorphes à pseudogley structurés sur matériau colluvio-alluvial argileux)

- 4 - Paysage type (savane arbustive sur jachère ancienne).

Domaine du complexe haut glacis-relief intermédiaire-surface éocène

- 5 - Vue d'un plateau cuirassé à partir de la plaine inférieure.

Photos : Bokar Kaloga.



LES SOLS ET LA VÉGÉTATION DE LA RÉGION DE BONDOUKUI (OUEST BURKINABÉ)
Présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (SPOT)
J.-L. Devineau, A. Fournier et B. Kaloga[†]

Échelle : 1/85 000

Classes radiométriques des sols à faible couvert végétal ⁽¹⁾

© Orstom éditions, 1997

Classe	Radiométrie			Sols	Végétation
	Indice	Janvier	Juin		
1	IVN ⁽²⁾ Brillance ⁽³⁾ Couleur ⁽⁴⁾ Rougeur	très faible très élevé très élevé	très faible très élevé élevé très faible	Sols hydromorphes à pseudogley sur matériau argileux colluvio-alluvial. Surface actuelle, remblai.	Zones dénudées ou peu couvertes. Zones érodées ou champs nus.
2	IVN Brillance Couleur Rougeur	très faible élevé très élevé	très faible élevé élevé faible	Sols ferrugineux tropicaux appauvris à pseudogley de profondeur sur matériau argileux colluvio-alluvial. Haut de pente de la surface actuelle.	Zones peu couvertes, localement dénudées. Zones érodées, champs nus. Savane arbustive très claire à <i>Terminalia avicennioides</i> (bas de pente), <i>Detarium microcarpum</i> (haut de pente), <i>Combretum glutinosum</i> ...
3	IVN Brillance Couleur Rougeur	très faible faible élevé	très faible faible élevé moyen	Lithosols sur cuirasses ferrugineuses à faible recouvrement gravillonnaire. Moyen glacis.	Zones peu couvertes. Savanes arbustives peu denses.
4	IVN Brillance Couleur Rougeur	faible moyen élevé	faible faible moyen moyen	Sols ferrugineux tropicaux indurés à carapace ferrugineuse de bas glacis.	Formations arbustives ou arborées claires à <i>Detarium microcarpum</i> , <i>Combretum nigricans</i> , localement à <i>Isobertia doka</i> et <i>Burkea africana</i> .
5	IVN Brillance Couleur Rougeur	faible moyen très élevé	faible faible très élevé très élevé	Sols ferrallitiques et sols ferrugineux à tropicaux appauvris modaux sur matériau sablo-argileux dérivé de grès.	Formations arbustives ou arborées peu denses à <i>Combretum</i> spp., <i>Acacia macrostachya</i> , <i>Butyrospermum paradoxum</i> ...
6	IVN Brillance Couleur Rougeur	très faible très faible moyen	faible très faible moyen assez élevé	Sols ferrallitiques ou sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau gravillonnaire au-dessus d'altérite ou de carapace ancienne. Complexe haut glacis, surface pliocène.	Formations arbustives à <i>Detarium microcarpum</i> , <i>Combretum micranthum</i> , <i>Acacia macrostachya</i> .
7	IVN Brillance Couleur Rougeur	très faible très faible élevé	très faible très faible élevé assez élevé	Lithosols sur cuirasse ferrugineuse à faible recouvrement limono-argileux (bowals à termitières champignons) ou sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble sur alluvions diverses souvent argileuses (plaine d'inondation le long du Mouhoun).	Zones dénudées ou à couvert herbacé plus ou moins dense en saison pluvieuse. Zones dénudées, champs nus... des vallées alluviales.

Classes radiométriques à dominante de végétation ⁽¹⁾

Classe	Radiométrie			Sols	Végétation
	Indice	Janvier	Juin		
8	IVN Brillance Couleur Rougeur	faible élevé très élevé	moyen élevé moyen très faible	Associés à 1 : mêmes sols que celui-ci. Plaine basse de petits cours d'eau : sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble sur matériau limono-argileux à argileux de colmatage de bas-fonds.	Jachères arbustives ou arborées. Savanes à <i>Terminalia avicennioides</i> . Parc arboré.
9	IVN Brillance Couleur Rougeur	faible faible élevé	moyen faible élevé élevé	À l'ouest du Mouhoun : sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau gravillonnaire-argileux ou argilo-gravillonnaire. Sols ferrugineux tropicaux indurés à carapace de bas glacis (mêmes sols que 4). À l'est du Mouhoun : mêmes sols que 5.	Savane arbustive ou arborée. Recouvrement moyen à assez dense.
10	IVN Brillance Couleur Rougeur	très faible très faible moyen	élevé très faible moyen assez élevé	À l'ouest du Mouhoun : mêmes sols que 9. À l'est du Mouhoun : mêmes sols que 6.	Savane arborée assez dense. Forêt claire à <i>Isobertia doka</i> , <i>Burkea africana</i> et <i>Azelia africana</i> .
11	IVN Brillance Couleur Rougeur	moyen très faible faible	moyen très faible faible faible	Sols hydromorphes à pseudogley à taches et concrétions sur alluvions diverses souvent argileuses.	Savane arbustive ou arborée claire à <i>Terminalia macroptera</i> , <i>Piliostigma thonningii</i> et <i>Mitragyna inermis</i> (dans les lieux les plus humides).
12	IVN Brillance Couleur Rougeur	très élevé très faible faible	faible très faible faible faible	Mêmes sols que 11.	Prairie inondable.
13	IVN Brillance Couleur Rougeur	très élevé très faible très faible	très élevé très faible faible faible	Sols à pseudogley de profondeur sur bourrelets alluviaux non inondables.	Formations arborées denses. Forêts ripicoles, forêts galeries.
14	IVN Brillance Couleur Rougeur	faible très faible moyen	très élevé très faible très faible moyen	Sols ferrallitiques ou sols ferrugineux tropicaux appauvris sur matériau gravillonnaire profond au-dessus d'altérite de grès.	Savanes arborées ou forêts claires à couvert dense à <i>Isobertia doka</i> ou <i>Terminalia</i> spp.

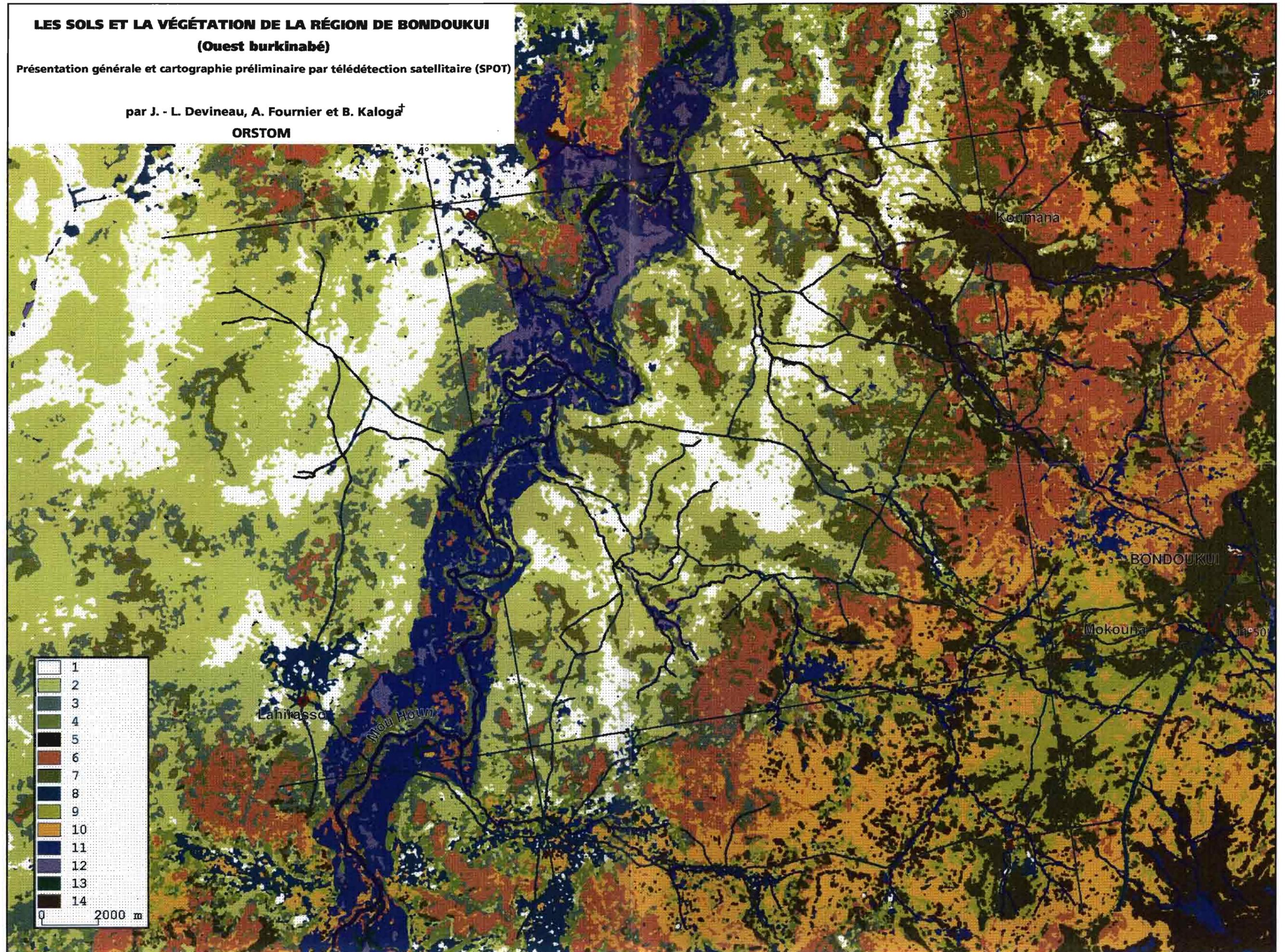
(1) En janvier et en juin.
(2) Indice de végétation normalisé : $(XS3 - XS2)/(XS3 + XS2)$.
(3) Indice de brillance : $(XS3^2 + XS2^2 + XS1^2)^{0,5}$.
(4) Indice de couleur : $(XS2 - XS1)/(XS2 + XS1)$.

LES SOLS ET LA VÉGÉTATION DE LA RÉGION DE BONDOUKUI (Ouest burkinabé)

Présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (SPOT)

par J. - L. Devineau, A. Fournier et B. Kaloga[†]

ORSTOM



Maquette et mise en page : Marie-Odile Schnepf
Imprimerie : Polen, Carpentras
Dépôt légal : octobre 1997

Depuis 1991, un programme de recherche initié par l'Orstom en relation avec le Centre national de la recherche scientifique et technologique burkinabé (CNRST) se déroule sur le site de Bondoukui, dans l'ouest du Burkina Faso.

La région de Bondoukui regroupe les principaux types pédologiques, écologiques et d'occupation humaine de l'Ouest burkinabé. Elle se prête à l'étude comparative de l'impact des activités humaines (agricoles, forestières et pastorales) sur une large gamme de milieux ainsi qu'à la connaissance des contraintes qui leur sont liées.

L'objectif du présent ouvrage est de fournir aux chercheurs ou aux étudiants menant des recherches sur le site les éléments de caractérisation du milieu et d'en dégager les principaux niveaux d'organisation.

Dans une première partie, B. Kaloga présente la répartition, les propriétés physico-chimiques et les potentialités culturelles des différents types de sols, en fonction des différents niveaux morphologiques.

Dans la seconde partie, J.-L. Devineau et A. Fournier présentent les caractéristiques générales de la végétation de la zone d'étude. La diversité des communautés végétales rencontrées est analysée tant du point de vue de leur richesse spécifique que de leur variabilité taxinomique, biomorphologique ou chorologique.

L'analyse des données satellitaires, qui est présentée dans la troisième partie par J.-L. Devineau et B. Kaloga, met en évidence l'organisation des différents domaines géomorphologiques dans la zone d'étude et permet de caractériser la densité et l'organisation du couvert végétal pour chacun d'entre eux.

ORSTOM éditions

211, rue La Fayette
F-75480 Paris cedex 10

Diffusion

32, avenue Henri Varagnat
F-93143 Bondy Cedex

Prix : 60 FF t.t.c.

ISBN : 2-7099-1371-2