

**BASES ÉCOLOGIQUES POUR UNE SPATIALISATION DES DONNÉES RECUEILLIES
DANS LE CADRE DE L'EXPERIENCE HAPEX-SAHEL**

Jean-Marc d'HERBES, Eric DELABRE et Maud LOIREAU

ORSTOM, Mission au Niger, BP 11416, Niamey, Niger

RÉSUMÉ

Les objectifs généraux du groupe d'étude « Ecologie et Végétation » consistent d'une part à fournir une typologie des différentes formes de végétation et des phytomasses correspondantes sur l'ensemble du degré carré et aux divers niveaux de perception requis par l'expérimentation générale HAPEX-Sahel, d'autre part à fournir le maximum d'information « sol » pour la validation des données de la télédétection spatiale. Les diverses démarches méthodologiques, correspondant aux différents aspects abordés, sont exposées et leur pertinence par rapport au plan général d'expérimentation discutée. Sont présentés les résultats préliminaires concernant deux thèmes majeurs : (1) la cartographie à deux échelles (1/50 000 et 1/200 000) respectivement du « Super-Site-Central-West » et du « Degré Carré », donnant la répartition des unités paysagères échantillonnées par HAPEX-Sahel (champs, jachères et brousse tigrée) et (2) une typologie structurale des jachères du Sahel nigérien.

ABSTRACT

The objectives of the " Ecology and Vegetation " studies are - 1) to produce a typology of the different vegetation units and phytomasses at the whole square degree scale and at the different perception levels required by the general experimental plan, and - 2) to produce a " ground information " for the validation of remote sensing data. The various methodologies corresponding to the different ecological studies are discussed according to the global aim of HAPEX-Sahel experiment. Preliminary results referring to the two major thematic studies are presented: 1) the cartography at two different scales (1/50 000 and 1/200 000) respectively of the " Central-West-Super-Site " and the " Square degree ", giving the spatial distribution of the land units sampled by HAPEX program (millet fields, fallow lands and " tiger bush " vegetation) and 2) a structural typology of the fallow lands of the Nigerian Sahel.

INTRODUCTION : OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Les objectifs fixés par le groupe « Ecologie et Végétation » dans le cadre du programme HAPEX-Sahel s'appuient sur les raisons mêmes du choix de la zone sahélienne comme zone expérimentale : grande homogénéité d'ensemble, faible nombre de types d'occupation du sol, conditions qui n'étaient pas réunies dans le cas de l'expérience précédente HAPEX-Mobilhy en Aquitaine.

De ce fait, seulement trois types d'occupation du sol ont été retenus pour l'instrumentation au sol durant la période d'observation intensive (15-08 au 30-09-92) : les « champs », les « jachères » et les « brousses tigrées ». L'environnement sahélien paraissant peu complexe, il suffisait de mesurer les flux énergétiques et hydriques sur trois échantillons pour chaque type d'occupation du sol et d'extrapoler à une maille atmosphérique (le « degré carré » de Niamey) à partir d'instruments aéroportés et de la télédétection satellitaire.

Le schéma d'ensemble répond en gros à cette conception un peu simplifiée de l'écologie sahélienne. Malheureusement, nous verrons que la définition même des objets mesurés n'est pas si simple, et est surtout très variable dans le temps, que ce soit au niveau saisonnier ou interannuel.

Il s'ensuit que la localisation spatiale et la reconnaissance par télédétection, à un moment donné, des unités d'occupation du sol en est rendue complexe. De plus, les modèles d'échanges entre la surface continentale et l'atmosphère, qui sont supposés dépendre de la proportion relative de ces unités au sol, n'ont qu'une validité éphémère : la variabilité dans le temps, due à la variabilité du régime pluviométrique et aux décisions anthropiques de changement d'affectation des parcelles, oblige dès le départ à concevoir une approche globale, par unités paysagères majeures à l'intérieure desquelles on peut alors définir une proportion probable d'unités d'occupation des terres à un instant donné.

Les objectifs des études en écologie ont alors été définis comme suit :

- 1) définition des unités élémentaires d'occupation du sol et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace. Caractérisation de leurs composants (recouvrement des différentes strates de végétation, états de surface du sol associés).
- 2) caractérisation des réponses spectrales des différents composants au sol (végétation, états de surface) et essai de reconnaissance de ces unités sur l'imagerie satellitaire.
- 3) définition d'unités paysagères majeures (unités « fonctionnelles ») par agglomération d'unités élémentaires, à partir de critères de terrain et à partir des critères numériques des scènes satellitaires à haute résolution spatiale.
- 4) cartographie par télédétection de la zone d'étude d'après cet ensemble de critères.

En fait, la cartographie à partir de l'imagerie satellitaire a précédé et suivi les autres étapes du programme d'ensemble : une première interprétation des images SPOT a permis de dégrossir le travail puis d'échantillonner sur l'ensemble de la zone pour affiner progressivement la restitution finale.

Nous exposerons ici les différents travaux réalisés pour répondre aux objectifs définis, en les présentant par grands thèmes et par niveaux de perception, de la station écologique (ou unité élémentaire d'occupation du sol ou encore « WAB » - *Wind Affected blob* des micro-météorologistes) à la région écologique (ici le degré carré), en passant par la sous-région, représentée dans notre cas par le « Supersite Central Est » (SSCE : 20 x 20 km).

Il faut noter que l'ensemble des activités rapportées ici dépassent largement le cadre strict du seul programme HAPEX. En fait, les préoccupations des études écologiques s'inscrivent plus spécialement dans le cadre du programme SALT (Savanes à Long Terme, *core project* du PIGB). Nous rendons compte cependant de la totalité des travaux en raison des points communs aux deux programmes, en particulier le souci de la spatialisation des mesures ponctuelles à des ensembles régionaux. Il faut cependant garder à l'esprit que le programme HAPEX recherche une calibration au sol, à un instant donné, des données numériques captées par les satellites, pour la construction de modèles de physique atmosphérique, alors que le programme SALT cherche à spatialiser des processus écologiques et s'inscrit délibérément sur le long terme.

PREMIÈRE PARTIE - APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRALE

1. LES UNITÉS D'OCCUPATION DES SOLS

1.1. Les champs

Un champ, au Sahel, n'est pas une unité stable dans le temps et est parfois difficile à distinguer d'une jachère. Cette difficulté tient à l'itinéraire technique suivi par les paysans autant qu'à l'imprévisibilité des précipitations.

Un champ, en saison sèche, est d'abord une surface défrichée (coupe ou brûlis des ligneux) pour une mise en culture ultérieure. La surface totale défrichée est en règle générale supérieure à la quantité effectivement semée (LOIREAU, 1993), le régime des précipitations de l'année et la main-d'œuvre disponible pour les travaux agricoles déterminant le devenir des champs. Il peut donc être semé, généralement en mil. Là encore, les précipitations conditionnent son avenir : il peut être semé plusieurs fois (jusqu'à huit fois en 1992 à Banizoumbou, sur le SSCE), suivant l'opiniâtreté du paysan, ou abandonné. Si le semis n'est pas satisfaisant, le champ entier ou les « trous » (zones sans levées de germination) peuvent ou non être comblés avec des semis de niébé. Le succès relatif va également dépendre d'un premier sarclage, généralement en juillet, puis d'un deuxième en août. Si le champ passe par toutes ces étapes avec succès, et résiste aux ravageurs, il peut finalement être récolté vers la mi-septembre. On trouve donc en septembre tous les intermédiaires entre un champ de mil pur, correctement nettoyé de ses mauvaises herbes et un champ qui n'a subi qu'une coupe d'arbuste préalable (en fait une petite jachère), en passant par des champs dont on ne connaît plus très bien la destination finale : fourragère (strate herbacée bien développée) ou autre (récolte par exemple des tiges d'*Andropogon gayanus*, herbacée pérenne en grosses touffes, pour la fabrication de nattes).

Bien évidemment, à ces différentes définitions du champ correspondent des fonctionnements bien distincts au niveau hydrologique : ruissellement et évapotranspiration dépendront de la nature du couvert végétal.

Un suivi saisonnier au sol, assorti d'une imagerie satellitaire multi-date, est nécessaire mais pas forcément suffisant, afin de lever les ambiguïtés dans la définition des unités « champ ».

1.2. Les jachères

La majorité des jachères de la zone de Niamey sont heureusement colonisées par une seule et même espèce ligneuse arbustive : *Guiera senegalensis*. Cette mono-dominance floristique dans la strate ligneuse est cependant accompagnée par une grande diversité de structures de la strate herbacée, annuelle ou pérenne. L'âge de la jachère détermine en partie la composition de cette strate, mais le régime des pluies favorise plus ou moins l'expression des différents groupes d'espèces. On assiste qui plus est, durant la saison, à une succession d'espèces se remplaçant sur la station.

Même au niveau de la strate ligneuse, de nombreuses structures peuvent être observées, en fonction de la densité et de la taille des individus (DELABRE, 1993). Une typologie « structurale » (caractérisation des différentes jachères d'après les recouvrements des différents constituants) associée à une typologie « dynamique » (compréhension des facteurs régissant la succession dans les formations post-culturales) a été jugée indispensable pour rendre compte de cette diversité.

Cependant, l'extrapolation de ces typologies à de vastes surfaces est compliquée par le fait que les capteurs satellitaires distinguent mal, voire pas du tout, la strate ligneuse à faible recouvrement (< 20 %), dont la réponse spectrale est absorbée par la strate herbacée et les sols nus

sous-jacents. On comprend mieux alors les énormes efforts réalisés dans le cadre du programme HAPEX par les équipes de San Diego State University pour tenter de reconnaître ces différentes strates, sur le Supersite Central West.

1.3. Les brousses tigrées

La brousse tigrée est formellement définie comme une alternance de bandes nues et de bandes boisées, donnant l'impression d'une peau de tigre, vue du ciel (CLOS-ARCEDEC, 1956), et correspondant à des processus hydrologiques bien définis (THIÉRY *et al*, 1994). Toutes les brousses sur les plateaux cuirassés ne sont cependant pas tigrées, loin s'en faut : le léger gradient de précipitations nord-sud (400 à 550 mm annuels) et les états de surface déterminant la nature et l'intensité du ruissellement sont à l'origine d'une diversité de structures correspondant là encore à des fonctionnements hydrologiques différents. On trouve donc des brousses diffuses, mouchetées, léopardées, ponctuées et tigrées (AMBOUTA, 1984), répondant à différents critères de pente et d'états de surface (DELBAERE 1994). Le problème de leur reconnaissance sur images satellitaires SPOT multi-spectral (résolution au sol 20 m minimum) est ardu, puisque la largeur des bandes boisées fait environ la même taille que le pixel moyen. Le passage par des images SPOT panchromatique (résolution 10 m) est nécessaire pour reconnaître et localiser ces différentes structures sur la zone d'étude.

1.4. La spatialisation des données stationnelles

Le plan d'expérimentation du programme HAPEX-Sahel est basé sur la sélection de trois « Supersites » à l'intérieur desquels sont échantillonnées trois stations correspondant aux trois unités d'occupation du sol. La représentativité de ces quelques sites de mesure (9 à 10 sur l'ensemble du degré carré) n'est pas à rechercher, compte tenu de ce qui précède. Des mesures aéroportées sont destinées à donner des signaux sur les sites mesurés et à les extrapoler au reste de l'espace. L'extrapolation envisagée par les micro-météorologistes est fondée sur l'utilisation de l'imagerie satellitaire NOAA/AVHRR à haute résolution spectrale mais faible résolution spatiale (< 1 km). Étant donné les difficultés de reconnaissance des unités d'occupation du sol sur les images satellitaires à haute résolution spatiale, on peut se poser la question concernant les critères permettant d'appliquer tel ou tel modèle à ces différentes unités. Quoiqu'il en soit, l'écologie et la télédétection associée aux observations de terrain ont choisi de fournir les bases « naturalistes » d'un « scaling-up », de la station écologique à la région, en essayant de contourner les difficultés mentionnées plus haut.

2. LES THÈMES ET LES ÉCHELLES

2.1. Le niveau stationnel (100 m² à 1 km²)

Le niveau stationnel est pour nous représenté par le « WAB jachère » du SSCE, station écologique retenue par les micro-météorologistes pour la mesure des flux échangés entre la surface et l'atmosphère (MONTENY, 1993). Le champ de mil instrumenté du SSCE a été suivi par MONTENY lui-même ; la brousse tigrée n'a finalement pas fait l'objet de mesures micro-météorologiques sur le SSCE (contrairement aux autres sites, SSCW et SSS) en raison de la complexité de sa structure en deux phases (végétalisée et nue), bien qu'elle ait été suivie du point de vue hydrodynamique et phénologique par les collègues de l'ORSTOM (SEGHERI, GALLE & RAJOT, 1994).

Le WAB retenu est une jachère non cultivée (c'est-à-dire ni défrichée, ni semée, ni sarclée) depuis huit ans en 1992, sélectionnée pour sa relative homogénéité spatiale sur une distance compatible avec les équations utilisées par les micro-météorologues (« fetch » de plusieurs

centaines de mètres). La station elle-même a été localisée dans un rayon de 100 m autour du mât de mesure des flux. Des mesures d'humidité du sol ont été assurées par l'équipe de Sicot (*in* MONTENY *et al*, 1993) selon le dispositif adopté dans toutes les stations HAPEX.

Le traitement d'une photographie aérienne prise à partir d'un ULM et numérisée a permis de rendre compte de la structure générale de la station, en particulier de l'importance et de la distribution des taches de sol nu dues à la présence de termitières.

Un dispositif de mesures de la végétation a été mis en place afin de mesurer, sur un pas de temps mensuel en 1991 et décadaire en 1992, la variabilité stationnelle et l'évolution des paramètres intéressant les micro-météorologues : recouvrement et hauteur des deux strates, herbacée et ligneuse basse, indice foliaire par strate, composition spécifique de la strate herbacée.

Le dispositif de mesures au sol comprend 5 lignes de 20 m de points-quadrats (fine aiguille descendue verticalement dans la végétation enregistrant les contacts avec les organes végétaux pour chacune des espèces), lues sur un pas de 10 cm (soit $5 \times 200 = 1\,000$ unités échantillons), pour ce qui concerne la strate herbacée.

Les paramètres de la strate ligneuse basse (essentiellement *Guiera senegalensis*, accompagné de quelques *Combretum micranthum*), ont été mesurés sur quatre « quarts d'hectare » obtenus en imprimant une rotation à une corde de 28,20 m balayant les arbustes à échantillonner. Les paramètres mesurés pour l'ensemble des arbustes localisés dans ces quatre « quarts d'hectare » sont destinés à modéliser la croissance des arbustes à partir de schémas architecturaux : hauteur maximum, diamètres maximum et perpendiculaire, hauteur à laquelle est mesuré le diamètre maximum, diamètre à la base, nombre et diamètre des tiges. Des quantifications phénologiques sont réalisées à chaque mesure : elles sont basées sur l'attribution à chaque arbuste d'un « coefficient d'occupation spatiale » (densité relative de tiges par rapport à un maximum stationnel) et d'un coefficient de densité, par arbuste, du stade phénologique observé (foliaison, floraison, fructification et sénescence). Quelques arbustes choisis à l'extérieur de la station de mesure sont coupés et pesés en vert : les différents organes (feuilles et différentes tiges, troncs) sont séparés sur un sous-échantillon de chacun des arbustes et pesés en vert, séchés puis pesés. Un échantillon de feuilles est prélevé avant séchage, pesé en vert, la surface foliaire est mesurée au planimètre optique, puis l'échantillon est à son tour séché et pesé.

Les mesures ont été réalisées en 1991 par deux étudiants du DESS « aménagement et gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux des régions chaudes » de Paris XII-Créteil (BÂ, 1991 et TANDIA, 1991), en 1992 par deux étudiants de l'université de Niamey (BOUREIMA, 1993 et RABIOU, 1993).

2.2. Le niveau de la petite région (le supersite central est SSCE : 20 x 20 km)

2.2.1. La cartographie de l'occupation des terres par télédétection

Le premier niveau de spatialisation dans le cadre du programme HAPEX-Sahel est constitué par le Super-Site Central Est, petite région de 20 x 20 km comprenant quelques terroirs dont ceux de Banizoumbou et de Tondi Kiboro sur lesquels sont installés les WABs.

Le premier souci a évidemment été de pouvoir localiser les champs, les jachères et les « végétations naturelles » sur cet espace, puisque telle était la « porte d'entrée » de l'échantillonnage HAPEX, en même temps que de quantifier les recouvrements de végétation dans chacune de ces unités d'occupation du sol.

La cartographie de l'occupation des terres est *a priori* particulièrement bien adaptée à cette description du paysage. Elle consiste en effet à décrire les unités cartographiques en termes de **formations végétales** au sens de GODRON *et al* (1968), c'est-à-dire à partir des recouvrements des différentes strates de végétation, herbacée, ligneuse basse (arbustes < 2 m de hauteur) et ligneuse haute (> 2 m) ; des **espèces dominantes** (2 à 3 maximum, dominance physiologique ou en abondance) ; et du **degré d'artificialisation** de l'unité, qui exprime l'intensité de l'intervention humaine sur le milieu (classiquement notée de 1- formations « climaciques »- à 7- routes et constructions).

Nous rajouterons à ces observations, portant essentiellement sur la végétation, une quantification des recouvrements des **encroûtements superficiels** déterminant la redistribution de l'eau dans l'unité (CASENAVE et VALENTIN, 1989). De même, des notations concernant la **situation géomorphologique** de la station sont incluses dans le descriptif de l'unité.

La réalisation de la carte au 1/50 000 du Super-Site Central Est a donc consisté non seulement à situer les objets du paysage dans une représentation de l'espace, mais aussi à les décrire selon des critères analytiques de recouvrements des différents constituants.

La description du paysage à travers la cartographie des unités d'occupation des terres sur le Super-Site Central Est a ainsi été réalisée dans un double objectif :

- 1) pour servir de première base de spatialisation des données localisées, et tout particulièrement celles obtenues en 1992 sur les WABs du programme HAPEX-Sahel (2 champs de mil, 2 jachères, 1 station de végétation naturelle sur plateau cuirassé) à l'ensemble du Super-Site Central Est (SSCE) puis à l'ensemble du degré carré de Niamey.
- 2) pour servir de support et de système de référence à d'autres recherches éco-géographiques participant à l'étude de la dynamique du paysage (bilan entre prélèvements - pâturage, récolte de bois, défrichements - et production des systèmes écologiques).

La réalisation de la carte a privilégié une approche en plusieurs étapes (LOIREAU et d'HERBÈS, 1994) :

- = une étape de terrain, comportant la réalisation de huit transects de 2 à 4 km de longueur, positionnés sur les unités paysagères majeures du Super-Site Central Est à partir de l'analyse des photos aériennes et des compositions colorées obtenues de l'image SPOT d'octobre 1988. Ces transects ont été réalisés en juillet, en août et en septembre 1992, puis répétés en octobre 1993.
- = une étape de traitement d'images satellitaires SPOT, consistant en une classification supervisée, d'abord de l'image d'octobre 1992, puis en traitement multi-date à partir des images disponibles (octobre 1988, février et octobre 1991 ; juin, août, septembre et octobre 1992 ; novembre 1993).
- = une étape de mise en relation ultérieure des deux approches, terrain et télédétection, avec une vérification de la validité de l'extrapolation, des transects à l'ensemble de la petite région, en utilisant une couverture de photographies aériennes au 1/25 000 acquise en septembre 1992 par l'avion C-130 de la NASA.

Ces travaux ont été confiés à Maud LOIREAU (1993) dans le cadre d'un mémoire de DEA présenté à l'université Paul Valéry de Montpellier ; ils ont fait l'objet d'une présentation au colloque AGU (*American Geophysical Union*) à San Francisco en décembre 1993 (LOIREAU et d'HERBÈS, 1993), puis aux Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier (LOIREAU et d'HERBÈS, 1994). Les comptes numériques et la légende de la carte ont été versés à la banque de données HAPEX « HSIS » installée au LERTS à Toulouse.

2.2.2. Inventaire et typologie des jachères du Super-Site Central Est

Etant donné la variabilité spatiale et temporelle des jachères dans le Sahel nigérien, une étude a été lancée en 1991 et poursuivie en 1992 pour déterminer quels étaient les principaux facteurs régissant cette variabilité.

Une campagne de 30 relevés de végétation a été réalisée en septembre 1991 sur un échantillon de jachères retenu d'après des critères d'âge d'abandon et de situation géomorphologique. Les paramètres mesurés concernaient essentiellement la végétation, herbacée et ligneuse, suivant les mêmes méthodes que celles utilisées pour le WAB.

Cette campagne a été reconduite en septembre 1992, en l'adaptant aux modifications d'affectation des parcelles survenues entre temps (remises en culture). 40 relevés ont été réalisés. Outre les paramètres concernant la végétation, des descriptions précises concernant les états de surface du sol et des prélèvements de sol pour analyse texturale, chimique et biologique ont été effectués. Les échantillons de sol ont été analysés par le laboratoire d'écologie de l'ENS Paris-Ulm. Enfin, des mesures radiométriques sur les principaux constituants stationnels (herbacées plus ou moins denses, ligneux et sols nus) ont été effectuées au moyen d'un radiomètre CIMEL 3 de simulation des capteurs SPOT.

L'étude sur les jachères (au niveau du SSCE comme à celui du degré carré - voir *infra*) a été conduite principalement par Eric DELABRE (1993) et a donné lieu à la rédaction d'un rapport de DESS réalisé à l'ENGREF de Montpellier.

Deux typologies distinctes ont été réalisées : la première, fondée sur les *caractéristiques structurales*, est destinée à la mise en relation avec les données satellitaires. Elle peut contribuer à constituer les bases de la spatialisation dans le cadre du programme HAPEX. La seconde a pour objectif de mettre en évidence les relations entre la *dynamique* du couvert végétal, les facteurs environnementaux et l'âge des jachères.

Le résultat de ces classifications a par ailleurs été exposé au colloque AGU (*American Geophysical Union*) à San Francisco en décembre 1993 (DELABRE et d'HERBÈS, 1993).

2.2.3. Inventaire et typologie des formations végétales de plateau

Devant la diversité des structures de végétation observées sur les plateaux latéritiques, une étude spécifique des conditions environnementales déterminant ces structures a été initiée en 1992, en complément d'études fonctionnelles portant sur quelques bandes d'une brousse tigrée bien structurée (alternance régulière de bandes de végétation et de sol nu). Elle a vu son plein développement en 1994 avec la réalisation d'un mémoire de stage traitant d'une part des relations entre pente des plateaux, états de surface et structures, d'autre part des possibilités de reconnaissance de formes de végétation par traitement numérique de photos aériennes scannées, d'image SPOT panchromatique (résolution 10 m) et de SPOT multispectral (résolution 20 m). Cette étude a porté sur l'ensemble des plateaux du SSCE (DELBAERE, 1994).

La méthodologie de terrain utilisée fait là encore appel à des transects, centripètes (des bordures aux centres des plateaux), avec détermination pour chaque unité traversée de la pente, mesurée à l'aide d'un niveau, des principaux états de surface conditionnant la nature et l'intensité du ruissellement, et du type de la formation végétale correspondante. Une trentaine de transects, de 500 m à quelques km de longueur, ont ainsi été traités.

Le traitement d'image a permis de tester le logiciel OASIS mis au point par l'équipe de GIRARD à l'INA-PG, et adapté à cette utilisation spécifique par FRANCOUAL (1994), dans le cadre d'un stage effectué à l'unité de traitement d'image de l'ORSTOM-AGRHYMET à Niamey.

L'objectif de l'ensemble de ces travaux sur la végétation des plateaux est triple :

- = classer l'ensemble des plateaux du degré carré en unités fonctionnelles du point de vue hydrologique et échanges avec l'atmosphère, afin de fournir une base raisonnable d'extrapolation des mesures au sol réalisées dans le cadre d'HAPEX-Sahel ;
- = valider sur un gradient pluviométrique les hypothèses ayant conduit à la proposition d'un modèle rendant compte de la genèse de la brousse tigrée, mis au point par THIÉRY, d'HERBÈS et VALENTIN (1994) ;
- = fournir aux forestiers des critères d'aménagement et de gestion adaptés au fonctionnement de ces formations particulières.

2.2.4. Les facteurs anthropiques responsables de la dynamique des paysages : défrichement, pâturage et récolte de bois

L'objectif du programme HAPEX au niveau international est d'évaluer la contribution et l'influence des grands biomes terrestres et océaniques à la circulation atmosphérique générale. L'étude de la modification de cette circulation dans le cadre des « changements globaux » est implicitement ou explicitement inscrite dans le programme. A ce titre, il est évident que les effets rétroactifs entre la modification de la nature du couvert végétal et le climat entrent pleinement dans la problématique générale. Cette évolution des états de surface est, à court et moyen termes, déterminée dans les zones arides et semi-arides, par l'impact des activités anthropiques. Celles-ci sont à leur tour influencées par les niveaux de production des ressources, en parallèle avec un accroissement de la population. Les systèmes d'exploitation des ressources se modifient progressivement pour répondre à cette évolution, initiant un cycle de rétroactivité entre utilisation de l'espace et disponibilité des ressources.

Par ailleurs, l'échantillonnage dans le cadre du programme HAPEX-Sahel privilégiant une approche par type d'occupation du sol (*land use*), il semblait nécessaire de se doter des moyens de prévoir l'évolution de cette occupation du sol, en étudiant les facteurs intervenant dans la modification de la nature et de la proportion des différentes unités paysagères.

Afin de quantifier les effets des activités anthropiques sur les unités paysagères du SSCE, une série d'études a donc été lancée en 1991 et s'est poursuivie avec des intensités variables jusqu'en 1994. Ces études concernent :

a) **La proportion de champs et de jachères**, ainsi que l'historique de la mise en culture des parcelles actuellement soumises à la rotation champ-jachère. D'abord sur photographies aériennes (couvertures des années 1950, 1975 et 1992), pour déterminer l'emprise globale de la zone cultivée sur les terroirs du SSCE, l'étude s'est ensuite attachée à préciser, sur des transects en rayon à partir de quelques villages installés plus ou moins anciennement, l'historique de l'utilisation de chacune des parcelles recoupées.

L'un des objectifs de cette analyse est de déterminer les relations entre les mises en culture et la structure du terroir en termes de proportion d'unités paysagères, en particulier d'après l'importance relative de terres facilement cultivables (sols sableux, légers). Ceci implique la superposition des informations cartographiques issues de la télédétection et des informations provenant des enquêtes sur le terrain, dans le cadre d'un système d'information géographique en cours de réalisation.

Un deuxième objectif est de déterminer l'évolution des temps moyens de jachère depuis 40 ans, et d'en déduire l'évolution prévisible de la couverture végétale moyenne dans l'avenir.

b) **L'impact du pâturage** sur les formations végétales naturelles (brousse sur plateaux) ou anthropisées (cultures et jachères). Les études comportent plusieurs niveaux emboîtés :

- au niveau de l'ensemble du SSCE, des comptages d'animaux sont réalisés aux points d'eau, tous les deux mois, par un observateur revenant deux jours dans le mois au même point. Les points d'eau sont ré-échantillonnés avant chaque période de comptage, afin de tenir compte de l'évolution des disponibilités en points d'abreuvement au cours des saisons (mares éphémères, temporaires, puisards, puits traditionnels, forages). L'information est complétée si nécessaire par des enquêtes auprès des bergers (généralement Peuls) et des chefs de village. L'objectif est d'obtenir une image évolutive au cours des saisons de l'effectif et de la nature du cheptel, ainsi que sa distribution sur l'ensemble du SSCE. Ces comptages ont été réalisés en 1992 et 1993.

- au niveau de trois terroirs, des suivis des circuits de pâturage de différents troupeaux (bovins ou petits ruminants) ont été réalisés, reportés sur la carte d'occupation des terres, afin de préciser par saison les unités paysagères les plus utilisées par les animaux. Le circuit comprend la mesure du temps passé sur chacune des unités traversées.

- au niveau des individus, durant le suivi des circuits de pâturage, quelques animaux font l'objet d'un suivi individuel pour la détermination des espèces ou groupes d'espèces les plus appréciés. La méthode de suivi fait appel à des enregistrements sur magnétophones des activités de l'animal avec mention des espèces touchées (d'HERBÈS, 1988) L'objectif de cette détermination est de quantifier au niveau des unités paysagères l'impact précis des activités animales au niveau spécifique afin de prédire l'évolution tant qualitative que quantitative de la production végétale.

Ces études concernant la densité et la répartition des animaux sur le site central, indépendamment des éclairages qu'elles apportent sur le fonctionnement des unités paysagères, ont eu des incidences appréciables sur des programmes connexes venus bénéficier de cette base de données : citons le programme « mares » (DESCONNETS *et al*, dans ce même volume), qui a pu orienter son échantillonnage en fonction des chiffres de fréquentation des points d'eau, et apprécier l'impact de l'abreuvement sur le bilan hydrologique de certaines mares suivies. Citons également le programme concernant l'azote atmosphérique, qui a pu profiter en partie de ce suivi animal pour spatialiser des données ponctuelles (Sophie GÉNÈRMONT, programme DECAFE). Mentionnons enfin l'arrivée en 1993 de l'ILCA (International Livestock Center for Africa) qui utilise une partie de l'information générée pour l'intégrer dans son programme d'étude des « transferts horizontaux de fertilité ».

c) **La quantification des prélèvements de bois** pour les usages domestiques. Au niveau du village de Banizoumbou en 1991 et 1992, puis de plusieurs autres implantations humaines en 1994, un suivi de la quantité de bois utilisée par les ménages a été réalisé, en confiant des balances et des cahiers à une dizaine d'enfants scolarisés (d'HERBÈS, 1988). Leur mission était de noter non seulement la quantité, mais aussi la nature, la provenance et la destination de tout le bois quotidiennement récolté et consommé dans leurs familles. La quantité de bois prélevée et vendue et exportée à titre commercial pour l'approvisionnement de Niamey est déduite des registres de contrôle tenus à l'entrée de la ville, qui semblent relativement fiables malgré l'inévitable fraude. Elle concerne surtout les formations végétales de plateau, alors que les prélèvements villageois se font en grande partie aux dépens des jachères, dans un rayon de 3 à 6 km autour des villages.

d) **Synthèse des informations** : le bilan paysager

L'ensemble des données, provenant soit de la quantification des ressources existantes, soit de la quantification des prélèvements, est destiné à alimenter un système d'information géographique, pour des superpositions et des croisements ultérieurs. Le SIG, actuellement en cours d'élaboration, intègre l'ensemble des données cartographiques réalisées sur le SSCE : pédologique, géomorphologique et états de surface. L'analyse des données doit conduire à un bilan paysager, permettant d'interpréter les formations végétales et les états de surface actuellement observés en fonction des deux séries de facteurs principaux régissant leur évolution : les précipitations et la redistribution de l'eau dans les unités paysagères, et les activités anthropiques.

2.3. Le niveau régional (degré carré : 10^4 km²)

Les actions de recherche entreprises au niveau du degré carré sont directement orientées vers un objectif de spatialisation des données obtenues à l'échelle des WABs puis des « Supersites ». Il ne s'agit pas seulement d'une extrapolation, à de vastes surfaces, des résultats obtenus sur les stations élémentaires : la nature des processus, de même que la nature des documents disponibles, exige de procéder à des simplifications, des agglomérations d'unités qui gardent cependant un sens à l'échelle envisagée (ici 1/200 000).

Quatre sous-programmes ont été réalisés au niveau régional :

- 1 - la cartographie des états de surface à l'échelle 1/200 000 à l'aide des scènes satellitaires SPOT ;
- 2 - le suivi décadaire durant l'hivernage 1992 d'environ 100 points situés à proximité immédiate des pluviographes du réseau EPSAT, avec enregistrements des observations phénologiques et mesures radiométriques (CIMEL3) sur les principaux constituants stationnels (HASSANE, 1992 ; KOUBOURA, 1992 ; LASSINA, 1993) ;
- 3 - la réalisation de 30 relevés supplémentaires sur des jachères, complétant et enrichissant la typologie réalisée au niveau du SSCE (DELABRE, 1993 ; AHONON, 1993) ;
- 4 - la réalisation de transects sur des formations végétales de plateau différentes de celles mesurées sur le SSCE . L'inventaire de ces formations dépasse même au nord et au sud les limites du degré carré, afin de prendre en compte un gradient pluviométrique plus important.

Les méthodes utilisées pour l'ensemble de ces sous-programmes ne diffèrent pas de celles utilisées au niveau du SSCE.

Les cartographies ont été délivrées en 1992 (à partir des images 1988 ; COURAULT, d'HERBÈS et VALENTIN, 1990 ; COURAULT *et al*, 1991 ; d'HERBÈS *et al*, 1992) et en 1994 (d'HERBÈS, VALENTIN et MOUGENOT, 1994 ; d'HERBÈS et VALENTIN, en prép.) à la base de données HSIS au LERTS à Toulouse.

La « spatio-carte des états de surface du degré carré de Niamey » réalisée en 1992 est le résultat d'une classification supervisée directement effectuée sur l'ensemble des six images SPOT d'octobre 1988 nécessaires pour couvrir la zone d'étude, à partir de deux campagnes d'apprentissage puis de validation de terrain.

Les cartes remises à la base HSIS en 1994 sont le résultat de l'extrapolation de la carte 1/50 000 réalisée sur le site SSCE (LOIREAU et d'HERBÈS, 1993 ; 1994), adaptée au 1/200 000 à l'aide de la totalité des informations recueillies sur l'ensemble du degré carré.

Trois cartes ont été réalisées à partir de ces informations, correspondant à des niveaux de simplification croissants : la première carte comporte une classification en 16 classes, chacune accompagnée de données quantitatives précisant le recouvrement des différents constituants au sol (strates de végétation, états de surface) et livrant le résultat d'une modélisation des coefficients d'infiltration (ou de ruissellement) probable à l'échelle du pixel considéré (20 x 20 m). Ces 16 classes ont été regroupées en 9 classes puis en 6 classes, de manière à fournir une cartographie la plus proche possible des besoins des physiciens de l'atmosphère (d'HERBÈS et VALENTIN, en prép.).

Le reste des données est encore en cours de traitement à l'heure actuelle. Nous renvoyons le lecteur intéressé aux diverses sources d'information et publications mentionnées pour plus d'informations concernant les résultats.

DEUXIÈME PARTIE : QUELQUES RÉSULTATS

I. NIVEAU STATIONNEL

Le suivi décadaire durant l'hivernage 1992 a permis de déterminer un certain nombre de caractéristiques phyto-écologiques de la station « jachères » instrumentée pour les mesures micro-météorologiques et hydrologiques.

1.1. Caractéristiques stationnelles

La jachère choisie ne fait plus l'objet de défrichement depuis 9 ans en 1992.

Située à plusieurs kilomètres du village, elle appartient au « réservoir foncier » du terroir de Banizoumbou, mis en culture sporadiquement au gré des années pluviométriques et des disponibilités en main-d'œuvre. Le site n'est pas considéré comme très productif par les cultivateurs, qui considèrent que le sol reste « trop sec » en surface, limitant ainsi l'installation du mil.

Elle se situe sur une zone de dépôts éoliens anciens remaniés durant la période sèche la plus récente (20 000 - 12 000 ans), et conserve l'héritage d'un modelé dunaire : des dépressions interdunaires allongées, à populations de ligneux denses et hauts, entourent des zones sableuses aplanies au recouvrement ligneux plus faible.

Le recouvrement ligneux moyen sur l'ensemble de la station a été mesuré par la somme de la projection des couronnes des arbustes au sol : il atteint 17 % en 1992.

Les termitières aplanies marquent également la physionomie de la station. Des mesures effectuées sur images scannées, confirmées par des transects au sol, donnent un recouvrement de 20 % de zones de sol nu à croûtes d'érosion décourageant toute installation de la végétation, sous forme de taches aréolaires de 5 à 10 m de diamètre, pouvant s'anastomoser pour former des chemins préférentiels d'écoulement des eaux, sur de courtes distances.

La station est peu pâturée, comme en témoigne l'important matériel herbacé sec sur pied en fin de saison sèche. Elle fait par contre l'objet d'un prélèvement de bois régulier.

1.2. La strate ligneuse

Essentiellement constituée par *Guiera senegalensis* (306 individus/ha, 89 %), elle comprend également trois autres Combretacées : *Combretum micranthum* (27/ha, 7,8 %), *C. aculeatum* (2/ha) et *C. glutinosum* (1/ha). *Boscia senegalensis* (8/ha) complète l'inventaire, pour une population totale ligneuse de 344 individus/ha (BOUREIMA, 1993).

La répartition des tiges par classe de diamètre montre une nette dominance des tiges de diamètre > 4 cm, pour une surface terrière (somme des surfaces des sections de tiges par ha) de 5,7 m².

| | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|
| Classes de diamètre(cm) | 0-1 | 1-2 | 2-4 | > 4 |
| Surface terrière (m ² /ha) | 0,03 | 0,22 | 1,34 | 4,14 |

La hauteur moyenne des individus se situent autour de 2,50 m (49,4 % entre 2 et 3 m), avec une majorité d'individus de taille inférieure (0,5-1 m : 17,5 % ; 1-2 m : 32 %) et quelques individus de taille supérieure (3-4 m : 14,5 % ; 4 % > 4 m). Cette répartition rend compte de la dynamique du peuplement ligneux impliquant le recrutement de jeunes individus, issus de graines ou de multiplication végétative, très active chez *G. senegalensis*.

Le suivi saisonnier montre également une intense activité au niveau des rejets du *G. senegalensis*, phénomène qui explique en grande partie le succès de cet arbuste dans les jachères de l'ensemble de la zone : d'un total de 1 790 tiges par hectare en début de campagne (juin 1992), on aboutit à 3 856 tiges en fin de saison (octobre). Ces rejets disparaissent pour la plupart durant la saison sèche.

L'ensemble des paramètres mesurés durant la saison 1992 est en cours de traitement, pour être versé à la base HSIS.

1.2. La strate herbacée

Trente et une espèces herbacées ont été recensées sur la station durant l'hivernage 1992 : 10 graminées (Poacées : 9 annuelles et une pérenne), 7 légumineuses (Fabacées) et 14 autres espèces (tableau 1). Les graminées représentent 80 % du recouvrement total herbacé durant toute la saison, mais elles se succèdent néanmoins dans le temps de manière spectaculaire (figure 1) : la dynamique de la production herbacée s'en trouve évidemment affectée.

La saison est marquée par l'apparition de l'espèce dominante *Aristida mutabilis* qui trouve son maximum de développement fin août pour disparaître abruptement. Elle est relayée à ce moment-là par *Ctenium elegans*, haute graminée dépassant 1 m à maturité (épiaison), accompagnée à moindre titre par deux autres graminées, *Eragrostis elegans* et *Diheteropogon hagerupii*.

La biomasse mesurée à chaque décade n'est donc que le bilan net entre l'apparition et la disparition de ces différentes espèces. Cette biomasse atteint un maximum fin septembre (1 250 kg/ha). La quantité effectivement produite par la strate herbacée est largement supérieure, comme on peut l'estimer à travers la somme des accroissements de fréquence pour chaque espèce entre deux points de mesure (figure 2).

2. NIVEAU SECTORIEL (le Super Site Central Est)

2.1. L'utilisation des terres

La zone d'étude subit une évolution marquée depuis plusieurs décennies, passant progressivement d'une utilisation pastorale extensive dominante à une utilisation agro-pastorale, voire nettement agricole, orientée vers l'agriculture vivrière à base de la culture du mil et du niébé. Ceci apparaît clairement sur la figure 3, qui retrace l'évolution des surfaces soumises à l'agriculture (champs et jachères, de forme géométrique), à partir de l'analyse des photos aériennes des années 1950 (vol AOF), 1975 (vol IGN) et des images satellitaires de 1991. L'étude a porté sur les deux terroirs concernés par le programme Hapex sur le SSCE, Banizoumbou et Tondo Kiboro. Banizoumbou est un petit terroir (2 785 ha) comportant peu de plateaux, donc une forte proportion de sols aisément cultivables, alors que Tondi Kiboro a une surface double (5 975 ha) mais un pourcentage important de plateaux, eux-mêmes actuellement en cours de défrichement. L'espace cultivable se sature donc petit à petit, ce qui modifie graduellement les paysages dans le sens d'une aridification croissante (défrichement, encroûtement, baisse de fertilité, diminution de l'activité biologique, etc.). La conséquence en est que les modèles basés sur le type d'occupations des terres observés actuellement n'auront pas forcément de validité dans quelques années, la proportion des différents types d'occupation des terres modifiant la nature des flux horizontaux (hydrologie de surface, flux de matière et de gènes) et verticaux (flux énergétiques et hydriques modifiés par l'augmentation de sols nus).

2.2. La cartographie des états de surface au 1/50 000

Nous ne ferons que reprendre ici les conclusions de l'étude présentée par ailleurs par LOIREAU et d'HERBÈS (1993 ; 1994), c'est-à-dire les principales caractéristiques de la carte du SSCE.

Le tableau 2 présente la légende de la carte d'occupation des terres au 1/50 000 du Supersite Central Est ainsi obtenue.

Les éléments les plus caractéristiques de chacune des classes apparaissent en caractères gras. Les taux de recouvrement sont codifiés selon les classes données dans le tableau 3. Les codes des espèces recensées au cours de la cartographie sont explicités en annexe 1.

Tableau 3. Codification des classes de recouvrement

| Classes de recouvrement (%) | [0-5[| [5-10[| [10-15[| [15-25[| [25-50[| [50-75[| [75-90[| [90-100[|
|-----------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Codes | 1 | 2 | 3-1 | 3-2 | 4 | 5 | 6 | 7 |

A titre d'exemple, H6L2 se lit donc de la façon suivante : 75 à 90 % d'herbacées et 5 à 10 % de ligneux (GODRON *et al*, 1968). La codification est la même pour les recouvrements des différents microhorizons affleurants.

L'examen de cette légende montre que, fin septembre 1992, les recouvrements herbacés ne sont jamais inférieurs à [25-50 %[, les recouvrements ligneux jamais supérieurs à [25-50 %[, les microhorizons affleurants sableux jamais inférieurs à [25-50 %[et les microhorizons affleurants argileux jamais supérieurs à [25-50 %[.

En ce qui concerne les unités paysagères décrites, cinq types des champs cultivés et six types de jachères sont distingués, plateaux et nuages exclus.

La distribution spatiale sur une surface totale de 63 088 ha est la suivante :

- Totalité des **jachères** : **53.8 %**
 - + avec recouvrement ligneux > 15 % : 30.6 %;
 - + avec recouvrement ligneux compris entre 10 et 15 % : 13.5 %;
 - + avec recouvrement ligneux < 10 % : 9.5 %.
- Totalité des **champs cultivés** : **24.4 %**
 - + avec un couvert herbacé dense : 19 %;
 - + avec un couvert herbacé faible : 5.3 %.
- Totalité des **plateaux** (et des nuages) : **19.8 %**

2.3. Discussion

La classification proposée ici est instantanée, c'est-à-dire qu'elle ne rend compte que d'un état des lieux de la mosaïque du paysage à un moment donné (fin de saison des pluies 1992).

Cependant, les unités cartographiques, telles qu'elles ont été situées et définies (à l'échelle de la parcelle) sur cette première carte d'occupation des terres en saison des pluies 1992, ont une grande mouvance intersaisonnière et interannuelle (voir première partie, §1.1).

Cette mobilité, ou variabilité temporelle des objets cartographiques, multiplie le nombre d'unités cartographiques différenciables à un moment donné.

Une analyse multidade est donc en cours pour rendre compte quantitativement et qualitativement de cette variabilité dans le temps. Pour ce faire, des images SPOT de 1988, 1990, 1991, 1992 (février, juin, août, septembre et octobre) et 1993 sont disponibles ainsi que des relevés de terrain réalisés en saison sèche 1991, en août 1992 et octobre 1993.

Ces difficultés d'identification des unités cartographiques seront également contournées lorsque seront discriminés non plus des parcelles, mais des ensembles de parcelles (unités paysagères majeures), avec une indication en pourcentage de ses différentes composantes (jachères/champs/végétation naturelle).

La carte, à l'heure actuelle, n'est en fait qu'une spatio-carte, autrement dit, son unité élémentaire reste le pixel. L'étape suivante consiste à réaliser une carte d'occupation des terres réelle, c'est-à-dire avec des ensembles cartographiques identifiés et délimités. Pour ce faire, il faut résoudre un problème méthodologique majeur : celui de la « moyenne » ou du transfert d'échelle. Le problème est lié à la télédétection (passage d'un ensemble de pixels SPOT à un pixel NOAA ?), mais aussi au caractère des éléments cartographiés. C'est l'objet d'un stage en cours (FRANCOUAL, 1994), dont l'objectif est de définir automatiquement des unités paysagères à l'aide du logiciel 'OASIS' créé à l'INA-PG : un ensemble de pixels sont rassemblés dans une classe d'ordre supérieur sur la base de critères de densité relative des pixels de différentes classes d'ordre inférieur.

L'usage immédiat de cette carte comme base de spatialisation des données localisées du programme HAPEX-SAHTEL est à considérer avec précaution suivant les remarques exposées ci-dessus. C'est sous sa forme numérique qu'elle sera nécessairement utilisée par les chercheurs participant au programme HAPEX désireux d'extrapoler et spatialiser leurs données. Les comptes numériques ont été, à cet effet, versés à HSIS début 1994. Une version sur support papier peut être obtenue sur demande au centre ORSTOM Niamey, unité télédétection.

Son utilisation dans la poursuite des travaux du groupe phyto-écologie de Niamey, dans le cadre du programme SALT, est multiple, en particulier pour :

- la quantification et la qualification des ressources sur le SSCE ; des mesures de biomasses effectuées en saison des pluies 1992 seront replacées sur la carte.
- la superposition de cartes thématiques « production » et « prélèvements » à différentes échelles.
- l'analyse spatiale des structures paysagères.

3. NIVEAU RÉGIONAL

3.1. Typologie des jachères du degré carré

72 jachères ont été échantillonnées sur le degré carré dont 40 sur le site central Est. Les mesures effectuées ont été rappelées dans le § 2.2.2. Les données ont fait l'objet d'un traitement statistique (classification ascendante hiérarchique, analyse des composantes principales) sous le logiciel ADDAD.

Les quelques résultats évoqués ici sont extraits du mémoire de DELABRE (1993) et de la présentation de DELABRE et d'HERBÈS (1993) au colloque AGU.

a) Il existe une forte liaison entre la durée de mise en jachère et la position dans la toposéquence. En effet, on peut observer une diminution du temps de repos le long de la toposéquence, entre 8 et 9 ans sur les jupes et moins de 5 ans dans les bas-fonds. Ce constat s'explique par les différences de productivité des milieux, en fait de la capacité de cicatrisation face à une perturbation (défrichement et mise en culture) influencée en grande partie par les conditions hydriques stationnelles.

b) La biomasse augmente le long d'un gradient d'âge (figure 4) ainsi que le long de la toposéquence (figure 5). Cependant, la liaison évoquée entre ces deux facteurs crée un biais dans l'échantillonnage. En effet, les stades les plus âgés se situent sur les positions hautes (jupes), expliquant ainsi en partie la chute de la courbe de la figure 4. L'autre facteur est l'exploitation de ces milieux, laissés plus longtemps en repos, pour l'approvisionnement en bois de feu.

c) Une typologie des jachères, fondée sur des critères de structure, a été proposée (tableau 4). Les descripteurs utilisés sont :

- Géo pour unité géomorphologique (1 : plateau ; 2 : jupe ; 3 : glacis ; 4 : bas-fond et 5 : dune),
- Age pour l'âge de la jachère (ici moyenne par classe, en année),
- Li pour le taux de recouvrement des ligneux (projection au sol des houppiers) exprimé en m²/ha,
- Her pour le taux de recouvrement des herbacées, obtenu par la méthode des points quadrats (exprimé en %),
- Hh pour la hauteur du tapis herbacé (exprimé en cm),
- Gt pour la surface terrière exprimé en m²/ha,
- Ero, ST1, ST2, ST3, ALG et DES pour le recouvrement des différents états de surface du sol définis par CASENAVE et VALENTIN (1989), exprimé en classes (1 : 0-10 %, 2 : 10-20, 3 : 20-30 %, 4 : 30-40 %, 5 : 40-50 %, 6 : 50-60 %, 7 : 60-70 %, 8 : 70-80 %, 9 : 80-90 % et 10 : 90-100 %).

Les résultats ont été simplifiés en six classes synthétiques qui apparaissent dans le tableau 4. On peut leur attribuer les correspondances suivantes en termes de dynamique successionnelle par type de milieu :

- 1 : stade jeune sur milieu peu dégradé,
- 2 : stade intermédiaire sur milieu favorable,
- 3 : stade intermédiaire sur milieu dégradé,
- 4 : stade âgé sur milieu favorable,
- 5 : stade âgé sur milieu dégradé,
- 6 : stade le plus âgé sur milieu fragile et très exploité.

Cette typologie a été utilisée pour affiner les classifications des images satellitaires, chacun des relevés étant soigneusement positionné sur les scènes SPOT acquises en septembre et octobre 1992. La précision des inventaires ainsi que les relevés radiométriques effectués sur chaque constituant stationnel permet d'envisager la construction et la validation d'indices de végétation au niveau de l'ensemble des six images SPOT couvrant le degré carré.

3.2. Cartographie des états de surface du degré carré de Niamey

Seule la dernière classification réalisée sur l'ensemble du degré carré sera présentée ici. Elle succède à une première classification réalisée en 1990 à partir des images SPOT d'octobre 1988 et versée à la base HSIS en 1992 (d'HERBÈS *et al*, 1992).

La carte des états de surface réalisée à partir des scènes satellitaires acquises en septembre 1992 a été réalisée en utilisant plusieurs sources d'information résumées dans les différentes communications présentées durant la période (COURAULT *et al*, 1990 ; 1991 ; d'HERBÈS *et al*, 1992 ; 1994 ; LOIREAU et d'HERBÈS, 1993 ; 1994).

La légende présentée dans le tableau 5 est le résultat d'une classification en 16 classes, pour lesquelles on s'est efforcé de donner des informations chiffrées concernant les recouvrements des différents constituants au sol, et d'en déduire un fonctionnement hydrologique superficiel (d'HERBÈS et VALENTIN, *submitted*). Cette classification a été simplifiée en 9 puis 6 classes informées de la même manière.

Là encore, les documents proposés sont le résultat de l'exploitation d'une partie seulement des travaux réalisés sur l'écologie des paysages du Sahel nigérien. Ne sont pas encore intégrés, en particulier, les résultats des travaux réalisés sur les formes de végétation contractées sur plateaux, dont l'étude du fonctionnement et la reconnaissance sur images satellitaires ont été initiées par DELBAERE (1994) et FRANCOUAL (1994).

Les cartes n'expriment donc qu'une étape des synthèses des connaissances qu'il est possible de représenter spatialement à l'échelle régionale. L'objectif final de l'ensemble des études mises en œuvre sur la zone d'études est de fournir un mode de représentation spatial qui puissent rendre compte à la fois des dynamiques spatiales et temporelles des unités paysagères.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHONON D., 1993, *Evolution de la structure ligneuse le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien*. Mémoire ingénieur agronome, université de Niamey : 30 p.
- AMBOUTA K.J.M., 1984, *Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest nigérien*. Thèse de docteur-ingénieur, université de Nancy : 116 p.
- BA M., 1991, *Etude des jachères de quelques terroirs du Sahel nigérien à Banizoumbou*. Mémoire de DESS « Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales », univ. Paris XII Val-de-Marne : 32 p. + annexes.
- CASENAVE A. & VALENTIN C., 1989, *Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration*. Ed. ORSTOM : 229 p.
- CLOS-ARCEDUC M., 1956, Etude sur photographies aériennes d'une formation végétale sahélienne : la brousse tigrée. *Bulletin de l'IFAN, série A, (7) 3*, 677-684.
- COURAULT D., D'HERBES J.M. & VALENTIN C., 1990, Caractérisation spectrale des principales organisations de la surface des sols du Niger. In J. POUGET ed. *Caractérisation et suivi des milieux terrestres en région aride et tropicale*. Compte rendu des II^e Journées de télédétection, Bondy, 4-6 décembre 1990. ORSTOM éditions, Paris : 39-47.
- COURAULT D., D'HERBES J.M., VALENTIN C. & REMY D., 1991, Etude de la variabilité spatiale du comportement hydrodynamique des sols au Niger à partir d'images satellitaires. *Proceedings of the 5th International Colloquium - Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*. Courchevel, France, 14-18 janvier 1991 : 601-604.
- DELABRE E., 1993, *Une typologie structurale des jachères à Guiera senegalensis du Sud-Ouest nigérien*. Mémoire DSPU, ENGREF, Montpellier « Formation forestière supérieure pour les régions chaudes », CIHEAM/IAMM, ORSTOM, Niamey : 56 p.
- DELABRE E. & D'HERBES J.M., 1993, *A typology of fallow lands over the Hapex-Sahel degree square*. Colloque AGU (American Geophysical Union), San Francisco, 6-10 décembre 1993.
- DELBAERE E., 1994, *Identification de la structure des écosystèmes forestiers contractés sahéliens par télédétection aérienne et satellitaire. Facteurs déterminant ces structures*. Mémoire fin d'études ISTOM, Cergy-Pontoise : 75 p.
- DESCONNETS J.C., LEBEL T. & TAUPIN J.D. (this issue), *Bilan hydrologique de surface durant la période de suivi à long terme de Hapex-Sahel à partir du suivi de mares temporaires sur une zone test de 600 km²*.
- DOUBOU K. M., 1992, *Télédétection de la production primaire d'une zone sahélienne : radiométrie au sol des différents états de surface*. Mémoire d'ingénieur, Centre régional de télédétection de Ouagadougou (CRTO) & ORSTOM, Niamey : 25 p. + annexes.

- FORMAN T.T.R. & GODRON M., 1981, Articles patches and structural components for a landscape ecology. *Biological Science*, 31: 733-740.
- FRANCOUAL T., 1994, *Etude des organisations d'un paysage sahélien en relation avec la dynamique temporelle et spatiale des états de surface par télédétection*. Mémoire ingénieur agronome, INA-Paris/grignon, Orstom, Niamey : 43 p.
- GODRON M., (1965), Application de la théorie de l'information à l'étude de l'homogénéité et de la structure de la végétation. *Oecologia Plantarum*, 1 : 187-197.
- GODRON M., DAGET P., EMBERGER L., LE FLOC'H E., POISSONET J., SAUVAGE C. & WACQUANT J.P., 1968, *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*. Editions du CNRS, Paris, 169 p.
- GONDARD P., 1988, *Des cartes, discours pour une méthode. Cartographie de l'utilisation actuelle des sols et des paysages végétaux dans les Andes équatoriennes*. Ed. ORSTOM, Collection « Etudes et Thèses » : 156 p.
- HASSANE A., 1992, *Comportement spectral des éléments dans les unités stables du degré carré de Niamey*. Mémoire d'ingénieur, Centre régional de télédétection de Ouagadougou (CRTO) & ORSTOM, Niamey : 35 p.
- D'HERBES J.M., 1988, *Analyse agro-écologique des systèmes de production pour le développement rural intégré des zones arides, Chili, IV^e Région. II - Deuxième partie : Recherche et développement dans les communautés agricoles*. Coopération UNESCO-MAB France-Chili/CEFE-CNRS/université du Chili : 255 p.
- D'HERBES J.M. & VALENTIN C., (en prép), Surface conditions of the Niamey region (Niger): spatial distribution, ecological and hydrological implications. (soumis à *J. of Hydrology*).
- D'HERBES J.M., COURAULT D., VALENTIN C. & TIMOUK F., 1992, *Spatio-carte des états de surface du degré carré de Niamey*. ORSTOM, HAPEX-Sahel Information System, LERTS, Toulouse : 1 carte.
- D'HERBES J.M., VALENTIN C. & MOUGENOT B., 1994, *Spatio-cartes des états de surface du degré carré de Niamey, échelle 1/200 000, scènes du 25 septembre 1992*. ORSTOM, HAPEX-Sahel Information System, LERTS, Toulouse : 3 cartes.
- HUETE A. (1986), Separation of soil plant spectral mixtures by factors analysis. *Rem. Sens. Env.*, 19, 237-251.
- KARIMOU B.H., 1992, *Dynamique saisonnière de la strate ligneuse le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien*. Mémoire d'ingénieur, fac. d'agronomie, univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 35 p. + annexes.
- LOIREAU M., 1993, *Dynamique d'un paysage sahélien au Niger. Bilan paysagé entre la production primaire et l'utilisation des ressources par les groupes sociaux. Caractérisation de l'espace et des ressources à l'aide de la télédétection spatiale haute résolution*. Mémoire de DEA « Espaces et Sociétés », univ. Paul Valéry, Dépt. de géographie humaine & ORSTOM, Niamey : 123 p.
- LOIREAU M. & D'HERBES J.M., 1993, *Mapping of land features over the Hapex-Sahel East Central Super Site*. Colloque AGU (American Geophysical Union), San Francisco, 6-10 décembre 1993.
- LOIREAU M. & D'HERBES J.M., 1994, *Cartographie des unités d'occupation des terres du Super Site Central Est (Banizoumbou) du programme Hapex-sahel*. X^e Journées hydrologiques de l'ORSTOM, 13-14-09-1994, Montpellier : 307-319.
- LONG G., 1974, *Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Tome I : principes généraux et méthodes*. Masson : 252 p.

- MONTENY B., GALLE S., TAUPIN J.D., BESSEMOULIN P. & CHANZY A., 1993, *Hapex-Sahel : East Central Super Site integrated study*. Colloque AGU (American Geophysical Union), San Francisco, 6-10 décembre 1993.
- OUATTARA L., 1992, *Etude des relations pluviométrie-phénologie-production dans la zone sud-ouest du Sahel nigérien*. Mémoire d'ingénieur, fac. d'agronomie, univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 40 + annexes.
- RABIOU M., 1993, *Dynamique saisonnière de la strate herbacée le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien*. Mémoire d'ingénieur, fac. d'agronomie, univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 44 + annexes.
- SEGHIERI J., GALLE S. & RAJOT J.L., 1994, *La brousse tigrée dans le sahel nigérien : étude de la cofluctuation du stock hydrique et de la végétation annuelle*. X^e Journées hydrologiques de l'ORSTOM, 13-14-09-1994, Montpellier : 509-541.
- TANDIA T., 1991, *Utilisation de l'espace et des ressources pastorales dans quelques terroirs villageois du Sahel nigérien*. Mémoire de DESS « Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales », univ. Paris XII Val-de-Marne : 29 p. + annexes.
- THIERY J., D'HERBES J.M. & VALENTIN C. (IN PRESS), A model simulating the genesis of banding patterns in Niger. *J. of Ecology* (avril 1995).

Tableau 1. Liste des espèces recensées, par décade, sur le WAB Jachère du Super Site Central Est durant l'hivernage 1992 (d'après RABIOU, 1993).

| FAMILLE | ESPECES | DECADES | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| POACEAE | <i>Aristida adscensionis</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Digitaria gayana</i> | | | | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Digitaria horizontalis</i> | | | | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Sporobolus</i> spp | | | | | | | * | * | * | * |
| | <i>Eragrostis tremula</i> | | | | | | * | * | * | * | * |
| | <i>Ctenium elegans</i> | | | | | | | | * | * | * |
| | <i>Diheterepogon hagerupii</i> | | | | | | | | | * | * |
| | <i>Dactyloctenium aegyptium</i> | | | | | | * | * | * | | |
| | <i>Andropogon gayanus</i> | | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Cenchrus biflorus</i> | | | | | * | * | * | * | * | * |
| FABACEAE | <i>Alysicarpus ovalifolius</i> | | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Cassia mimosoides</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Indigofera</i> spp | | | | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Ipomea involucrata</i> | | | | | | * | * | * | * | * |
| | <i>Ipomea vagans</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Tephrosia linearis</i> | | | | * | | | | | | |
| | <i>Zornia glochidiata</i> | | | | | * | * | * | * | * | * |
| CONVOLVULAC. | <i>Merremia pinnata</i> | * | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| COMMELINAC. | <i>Commelina forskalaei</i> | * | * | * | * | * | * | * | | | |
| CYPERACEAE | <i>Killinga squamulata</i> | | | | | | | * | * | | |
| | <i>Fimbristylis</i> spp | | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | <i>Cyperus rotundus</i> | | | | | | | | * | * | * |
| | <i>Spermacoce stachydae</i> | | | * | | * | * | * | * | * | |
| RUBIACEAE | <i>Mitracarpus scaber</i> | | | * | * | * | * | * | * | * | |
| LILIACEAE | <i>Dipcadi</i> spp | | * | | * | | | | | | |
| PEDALIACEAE | <i>Corchorus tridens</i> | | | | * | * | | | | | |
| | <i>Ceratotheca sesamoïdes</i> | | | | | | | * | | * | |
| EUPHORBIAC. | <i>Phyllanthus pentandrus</i> | | | | | | * | * | * | * | |
| | <i>Euphorbia aegyptia</i> | | | | | | | | * | * | |
| STERCULIAC. | <i>Waltheria indica</i> | | * | * | * | * | * | * | * | * | |
| CARYOPHYLL. | <i>Polycarpea</i> spp | | | | | | | | * | * | |

Nomenclature suivant B. PEYRE de FABRÈGUES, 1979 : « Lexique des plantes du Niger », IEMVT, INRAN.

Tableau 2. Légende de la carte des états de surface au 1/50 000 du Super Site Central Est (d'après LOIREAU et d'HERBÈS,1993)

| No Unité | OCCUPATION DU SOL | FORMATION VÉGÉTALE | SOL NU | | | SURFACE DU SOL | | | ESPECES DOMINANTES HERBACÉES LIGNEUSES | | GEOMORPHOLOGIE | SURFACE (ha) | |
|----------|---|----------------------------------|-------------|------|-------|-----------------------|------------|------|---|---------------------------|---|----------------------------|--------|
| 1 | Champs de mil | herbacée dense | H6 | L2 | < 25 | encroûtée sableuse | C3 S5 | LIT2 | mil/ ms, ii, ce | Gs, CG/ PR, AA, PA | système alluvial : bas-fonds, terrasses sur 2 et 3 ^e niveaux cuirassés | 12 012 764 | |
| 2 | Champs mil/niébé | herbacée claire | H4 | L1 | > 50 | sableuse | C2 S7 | | mil, niébé/ fib | Gs/ AA, DM | système alluvial : bas-fonds | 764 | |
| 3 | Champs de cultures associées ou polyculture | herbacée claire | H4 | L1 | > 50 | sableuse | C2 S7 | | mil, niébé, oseille/ ms, ii, iv, an | Gs, CG/ PR, AA, PA, As | dépôts sableux éoliens : mi-versant, bas de versant et modelés dunaires | 1 297 | |
| 4 | Champs de mil ou mil/niébé dominants | herbacée claire | H4 | L1 | > 50 | sableuse | C2 S7 | | mil, niébé/ oseille, fib | Gs/ AA, DM | dépôts sableux éoliens : mi-versant, bas de versant et modelés dunaires | 1 298 | |
| 5 | Champs de mil peu ou pas préparés (défriche, sarclage) | herbacée claire | H4 | L2 | > 50 | sableuse | C1 S7 | | ms, cb/ mil, an, ii, iv | Gs, CG/ AA | dépôts sableux éoliens mi-versant, bas de versant et modelés dunaires | 1 266 | |
| 6 | Jachères récentes pouvant être semées (mil) | herbacée assez dense | H5 | L1 | 25-50 | encroûtée | C5 S6 | | ms, mil, al, ii, cb | Gs/ CG, CM | dépôts sableux éoliens : versants peu pentus et dunes | 1 653 | |
| 7 | Jachères récentes ou peu anciennes | ligneuse claire herbacée | H5 | L3-1 | < 25 | sableuse encroûtée | C3 S6 | | diversifiée : ms, al, cb, wi, zg, cm, et | Gs, CG/ PR, PA | dépôts sableux éoliens sur terrasses alluviales ou versants | 5 252 | |
| 8 | Jachères récentes ou peu anciennes | ligneuse claire herbacée | H5 | L3-1 | 25-50 | sableuse encroûtée | C3 S6 | | ce/ al, cb, et, wi | Gs, CG/ PR, AA, PA, As | dépôts sableux éoliens sur terrasses alluviales ou versants | 3 258 | |
| 9 | Jachères récentes ou peu anciennes à fort couvert herbacé | herbacée dense | H6 | L2 | < 25 | sableuse encroûtée | C3 S6 | | diversifiée : wi, cb, ms, et, ii, iv | Gs, CG/ PR, AA, PA | dépôts sableux éoliens sur terrasses alluviales ou versants | 4 520 | |
| 10 | Jachères anciennes | ligneuse assez dense herbacée | H5 | L3-2 | < 25 | sableuse encroûtée | C3 S6 LIT1 | | diversifiée : al, ce, ms, cb, wi, ao, spe | Gs, CG/ PR, CN, CM, PA | dépôts sableux éoliens : versants peu pentus et dunes | 17 988 | |
| 11 | Jachères anciennes à fort couvert ligneux | ligneuse dense | H4 | L4 | < 25 | encroûtée | C4 S4 LIT2 | | très diversifiée : al, et, dg, ce, cm, iv, cb, wi, ms | Gs, CG/ CN, CM | dépôts sableux éoliens : versants peu pentus et dunes | 1 292 | |
| 12 | Plateaux non cultivés | | NON CLASSÉS | | | | | | | | | premier niveau cuirassé | 11 976 |
| 13 | Nuages | | NON CLASSÉS | | | | | | | | | | 502 |

Tableau 4. Résultats de la typologie des jachères du degré carré de Niamey (d'après DELABRE 1993).

| Classe | Géo | Age | Li | Her | Hh | Gt | Ero | ST1 | ST2 | ST3 | Alg | DES |
|--------|-----|----------|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 3-5 | 2 ans | 1 000 | 78 | 20 | 1,1 | 2 | 1 | 8 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 5-3 | 3-4 ans | 1 300 | 84 | 50 | 1,5 | 1 | 2 | 9 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 2-3 | 3-4 ans | 990 | 69 | 25 | 1,4 | 4 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 |
| 4 | 5-4 | 5 ans | 4 650 | 58 | 30 | 2,9 | 2 | 2 | 8 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 2-3 | > 5 ans | 1 260 | 74 | 20 | 1,7 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| 6 | 2 | > 10 ans | 570 | 58 | 15 | 1,1 | 2 | 2 | 8 | 1 | 1 | 1 |

Tableau 5. Légende de la spatio-carte des états de surface du degré carré de Niamey (images SPOT de septembre 1992).
Simplification en 16 classes (d'après d'HERBÈS VALENTIN et MOUGENOT, 1994).

| Couleur | N° d'unité | Caractéristiques générales dominantes | Encroûtement superficiel dominant | Végétation | | | Utilisation dominante |
|--------------|------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| | | | | type | recouvrement par strate | | |
| | | | | | ligneux (%) | herbacée (%) | |
| rouge vif | 1 | Végétation dense sur plateaux | LIT/ST1 alg | fourrés, bois | > 50 | | sylvo-pastorale |
| gris | 2 | Végétation claire sur plateaux | LIT/ST1 alg | fourrés | 20-50 | < 10 | sylvo-pastorale |
| vert clair | 3 | Sol nu sur plateaux | G/ERO | nulle | 0 | 0 | |
| bordeaux | 4 | Niveaux cuirassés secondaires | G/ERO/ST3 | steppe arbustive très claire | ≤ 10 | ≤ 15 | pâtures |
| bleu ciel | 5 | Hauts de versant Chanfreins | ERO | steppe arbustive très claire | ≤ 10 | < 5 | nulle |
| violet | 6 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2 | savane arbustive dense | 25-50 | 25-50 (≥ 7 ans) | jachère ancienne |
| marron foncé | 7 | Versants sableux Dunes | DES/ST2 | savane arbustive assez dense | 15-25 | 50-75 (≥ 7 ans) | jachère ancienne |
| vert foncé | 8 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2 | savane arbustive assez claire | 10-15 | > 75 | jachère ancienne à herbacée dense |
| bleu-vert | 9 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2 | savane arbustive herb. haut > 25cm | 10-15 50-75 | 50-75 | jachère peu anc. (3-7 ans) |
| vert gazon | 10 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2 | savane arbustive herb. bas < 25cm | 5-10 | 50-75 | jachère peu anc. (3-7 ans) |
| marron | 11 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2 | savane très claire herbacée dense | < 5 | 50-75 | jachère récente (≤ 3 ans) qqfois semé |
| marron clair | 12 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2/ST3 | mil | < 5 | 25-50 | champs |
| jaune | 13 | Dépôts sableux éoliens | DES/ST2 | mil/niébé | < 5 | 15-25 | champs |
| rose/mauve | 14 | Bas-fonds | DES/ST2 | mil/assez dense peu sarclé | < 5 | 50-75 | champs |
| blanc | 15 | Bas-fonds | DES/DEC | mil/ sorgho/niébé | < 5 | 15-25 | champs |
| bleu roi | 16 | Eau libre | | | | | |

LÉGENDE DES FIGURES

- Figure 1** Évolution des recouvrements des principales espèces graminéennes sur le WAB Jachère du Super Site Central Est durant l'hivernage 1992. On note en particulier le remplacement de *Aristida adscencionis* (aa) par *Ctenium elegans* (ce) durant le mois d'août, ainsi que l'apparition tardive de *Diheteropogon hagerupii* (dih) et de *Eragrostis tremula* (et). *Digitaria gayana* (dg) reste présente durant presque toute la saison (d'après BOUREIMA, 1993).
- Figure 2** Dynamique saisonnière de la production herbacée. En noir apparaissent les sommes des fréquences contacts des espèces, proportionnelles à la biomasse sur pied, en blanc le cumul des fréquences décadaires, exprimant la production cumulée sur la saison. La biomasse au pic de production correspondant à environ 1 250 kg MS/ha, la production cumulée sur la saison atteint 2,1t MS/ha (d'après RABIOU, 1993).
- Figure 3** Évolution des superficies soumises à l'emprise des cultures (champs et jachères) depuis 1950 à nos jours, dans les terroirs de Banizoumbou et de Tondi Kiboro, SSCE. A droite sont reportées les superficies totales des deux terroirs : Banizoumbou apparaît presque saturé par les mises en culture (> 75 %), Tondi Kiboro beaucoup moins (50 %), en raison d'une plus forte proportion de plateaux cuirassés (d'après BA, 1991).
- Figure 4** Évolution du phytovolume de l'arbuste moyen en fonction de l'âge de la jachère, calculé à partir de l'inventaire de 72 relevés sur l'ensemble du degré carré de Niamey (d'après DELABRE, 1993).
- Figure 5** Phytovolume de l'arbuste moyen en fonction de la position dans la toposéquence. La vitesse moyenne de récupération, traduite par la taille des arbustes, apparaît nettement plus rapide sur les cordons dunaires et dans les bas-fonds (d'après DELABRE, 1993).

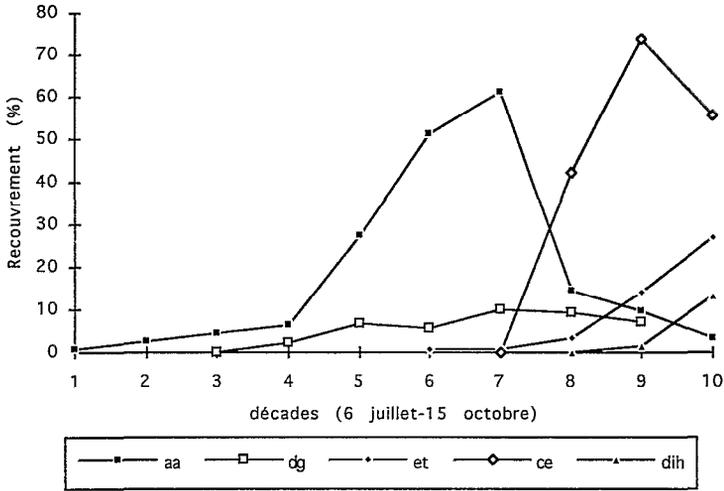


Figure 1. Évolution des recouvrements des principales espèces graminéennes sur le WAB Jachère du Super Site Central Est durant l'hivernage 1992. On note en particulier le remplacement de *Aristida adscencionis* (aa) par *Ctenium elegans* (ce) durant le mois d'août, ainsi que l'apparition tardive de *Diheteropogon hagerupii* (dih) et de *Eragrostis tremula* (et). *Digitaria gayana* (dg) reste présente durant presque toute la saison (d'après BOUREIMA, 1993).

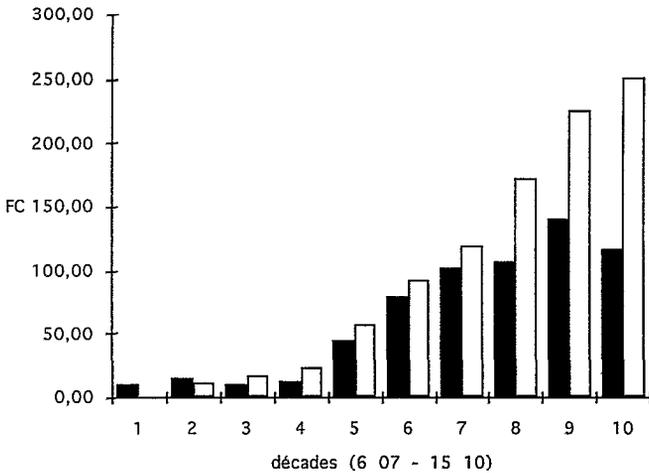


Figure 2. Dynamique saisonnière de la production herbacée. En noir apparaissent les sommes des fréquences contacts des espèces, proportionnelles à la biomasse sur pied, en blanc le cumul des fréquences décadaires, exprimant la production cumulée sur la saison. La biomasse au pic de production correspondant à environ 1 250 kg MS/ha, la production cumulée sur la saison atteint 2,1t MS/ha (d'après ΡΑΒΙΟΥ, 1993).

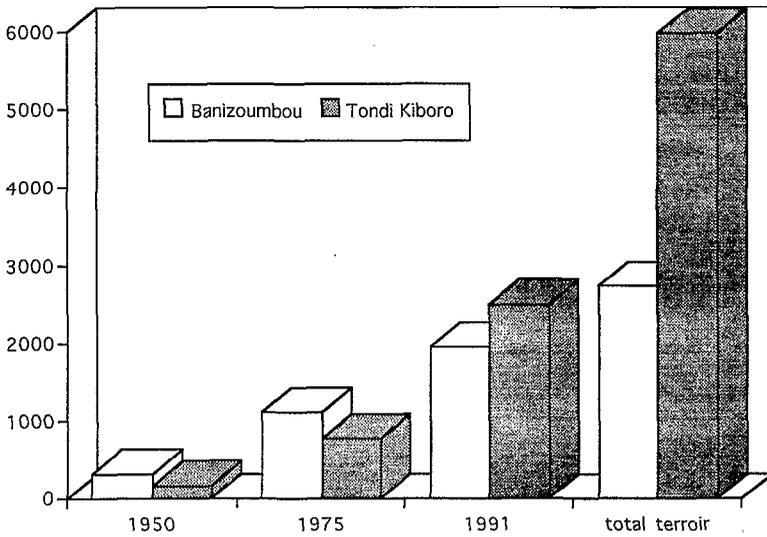


Figure 3. Évolution des superficies soumises à l'emprise des cultures (champs et jachères) depuis 1950 à nos jours, dans les terroirs de Banizoumbou et de Tondi Kiboro, SSCE. A droite sont reportées les superficies totales des deux terroirs : Banizoumbou apparaît presque saturé par les mises en culture (> 75%), Tondi Kiboro beaucoup moins (50 %), en raison d'une plus forte proportion de plateaux cuirassés (d'après BA, 1991).

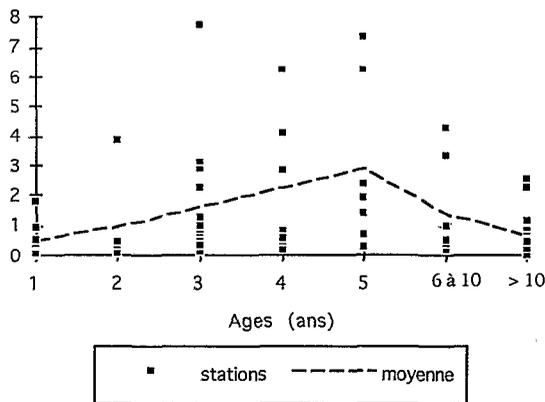


Figure 4. Évolution du phytovolume de l'arbuste moyen en fonction de l'âge de la jachère, calculé à partir de l'inventaire de 72 relevés sur l'ensemble du degré carré de Niamey (d'après DELABRE, 1993).

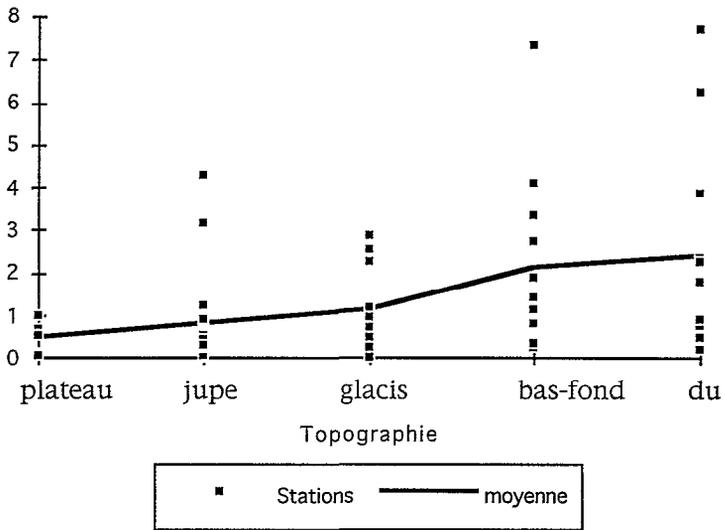


Figure 5. Phytovolume de l'arbuste moyen en fonction de la position dans la toposéquence. La vitesse moyenne de récupération, traduite par la taille des arbustes, apparaît nettement plus rapide sur les cordons dunaires et dans les bas-fonds (d'après DELABRE, 1993).

ANNEXE 1

LISTE DES ESPÈCES DE LA CARTE D'OCCUPATION
DES TERRES DU SSCE AU 1/50 000

| Code | Nom latin | Nomenclature (1) |
|------|--------------------------------|--------------------------|
| AA | <i>Acacia albida</i> | Del. |
| AX | <i>Acacia ataxacantha</i> | DC |
| AN | <i>Acacia nilotica</i> | (L.) Willd. |
| an | <i>Andropogon gayanus</i> | Kunth. |
| aa | <i>Aristida adscensionis</i> | L. |
| al | <i>Aristida longiflora</i> | Sch. et Thon. |
| am | <i>Aristida mutabilis</i> | Trin. |
| ag | <i>Aristida pallida</i> | Steud. |
| Al | <i>Azadirachta indica</i> | A. juss. |
| br | <i>Borreria radiata</i> | DC. |
| Ba | <i>Boscia angustifolia</i> | A. Rich. |
| Bs | <i>Boscia senegalensis</i> | (Pers.) Lam. |
| cm | <i>Cassia mimosoïdes</i> | L. |
| CS | <i>Cassia sieberiana</i> | DC |
| cb | <i>Cenchrus biflorus</i> | Roxb. |
| ch | <i>Chrozophora broccchiana</i> | Vis. |
| CG | <i>Combretum glutinosum</i> | Perr. |
| Cm | <i>Combretum micrantum</i> | G. Don. |
| CN | <i>Combretum nigricans</i> | Lepr. ex Guill. et Perr. |
| ce | <i>Ctenium elegans</i> | Kunth. |
| et | <i>Eragrostis tremula</i> | Hochst. |
| Ga | <i>Gardenia sokotensis</i> | Hutch. |
| Gs | <i>Guiera senegalensis</i> | J.F. Gmel. |
| HT | <i>Hyphaene thebaïca</i> | Mart. |
| jt | <i>Jacquemontia tamnifolia</i> | Vahl. |
| ms | <i>Mitracarpus scaber</i> | Zucc. |
| PR | <i>Piliostigma reticulatum</i> | (DC.) Hochst. |
| PA | <i>Prosopis africana</i> | (G. et Perr.) Taub. |
| se | <i>Schizachyrium exile</i> | Stapf. |
| sg | <i>Schoenefeldia gracilis</i> | Kunth. |
| SB | <i>Sclerocarya birrea</i> | (A. Rich.) Hochst. |
| wi | <i>Waltheria indica</i> | L. |
| zg | <i>Zornia glochidiata</i> | Reichb. |

(1) D'après J. BERHAUT, Flore du Sénégal, Editions CLAIRAFRIQUE, Dakar.