

Dynamique et productivité des ligneux dans la régénération des terres dégradées en milieu soudano-sahélien

F. G. HIEN*

Résumé

Les sols dégradés et encroûtés des régions soudano-sahéliennes ne peuvent être réhabilités que par une modification, artificielle, des termes du bilan hydrique. Ainsi, l'application de mesures de conservation des eaux et des sols dans une portion de forêt naturelle dégradée a permis de stimuler un développement spectaculaire des végétations herbacées et ligneuses. En accumulant le ruissellement grâce à des banquettes en terre, on a stimulé une germination abondante des ligneux, en particulier les espèces d'*Acacia* dont le nombre de plantules a dépassé par endroits 2700 par m². Malgré l'intense sélection naturelle liée notamment à la sécheresse, la densité des ligneux atteignait après 5 ans 9000 à 14000 arbustes par ha le long des banquettes, pour une production de biomasse foliaire de 14000 à 18000 kg.ha⁻¹. Le nombre d'espèces ligneuses spontanées est quant à lui passé de 8 après 2 ans de régénération à 14 trois ans après. Le paillage initial de l'espace inter-banquettes, en réduisant le ruissellement et les transports de semences vers l'amont des ouvrages, a favorisé autant l'installation des végétations herbacées que ligneuses. La densité et la production de biomasse foliaire dans cet espace étaient, après 5 ans, supérieures de 60 % à celles observées dans les espaces non paillés.

Mots-clés : CES, ligneux, germination, composition, croissance, biomasse, Burkina Faso.

Abstract

Degraded and crusted Sahelian soils can only be regenerated by modifying artificially the infiltration rate. Soil and water conservation measures applied to a degraded rangeland improved the availability of water and resulted in an important herbaceous and woody vegetation growth. Runoff and seeds accumulation along earthbunds triggered a high germination of *Acacia* species which density could exceed 2700 per m². In spite of natural selection by such densities and drought, the trees density still reached 9000 to 14000 per ha along the dikes after 5 years regeneration with a foliar production of 14000 to 18000 kg.ha⁻¹. The number of spontaneous woody species increased from 8 after 2 years to 14 at 5 years. Mulching the area between the dikes reduced runoff and seeds transfer and created conditions for both herbaceous and woody plants growth. So that, after 5 years, trees density and biomass production were 60 % higher than non-mulched areas.

Key words: S.W.C., woody plants, germination, composition, growth, biomass, Burkina Faso.

* Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA) station de Kamboinsé, B.P. 476, Ouagadougou, Burkina Faso



Introduction

Les espaces sylvo-pastoraux en zone soudano-sahélienne sont soumis à des processus de dégradation accélérés sous l'effet de facteurs physiques et anthropiques. Malgré l'importance de ces espaces dans les systèmes de production rurale, les projets de conservation ou de restauration des sols au Burkina Faso ont été jusqu'ici concentrés dans les espaces cultivés pour des besoins évidents de sécurité alimentaire à court terme. C'est en vue de tester des méthodes de régénération des terres sylvo-pastorales que des mesures de conservation des eaux et des sols ont été appliquées en 1990 sur des sols dénudés et encroûtés de la forêt classée de Yabo dans la région du Centre-Nord. L'amélioration des termes du bilan hydrique a déclenché des processus biologiques actifs caractérisés par un développement spectaculaire de la végétation herbacée et surtout ligneuse. Au-delà de la dynamique et de la production de la strate herbacée, des flux et du bilan des éléments nutritifs (N et P notamment) c'est le développement de la strate ligneuse qui est paru le plus remarquable. Après avoir suivi la germination et l'installation des espèces ligneuses au cours de la première année de régénération, des études quantitatives ont été répétées dans ces végétations après deux et cinq ans. La composition floristique, la dynamique structurale, la croissance et la production de biomasse foliaire et ligneuse ont été quantifiées. On a ainsi noté que entre 2 et 5 ans, les mesures de conservation des eaux et des sols (CES) ont contribué à un développement exponentiel de la production de biomasse des végétations ligneuses. La qualité des relations allométriques établies entre le diamètre à la base des arbustes et la biomasse aérienne sur pied suggèrent qu'il soit possible d'adapter les méthodes utilisées à l'évaluation quantitative des ressources fourragères ligneuses.

Matériel et méthodes

Dans la forêt classée de Yabo (12°59'N - 1°30'W), 40 % de la superficie totale est constituée de sols dénudés et encroûtés. Dans cette zone où il pleut en moyenne 650 mm (1962-1994) les sols dominants sont de types ferrugineux tropicaux lessivés et bruns eutrophes ferruginisés, avec une profondeur pouvant dépasser 2 m le long du réseau hydrographique. Les mesures de CES ont consisté en des banquettes isohypses en terre de 35 cm de hauteur. Deux parcelles de 2 ha chacune ont été aménagées, l'une à l'aide de banquettes simples (Ba), l'autre associant aux banquettes le paillage des espaces inter-ouvrages (BaP). Schématiquement, ce dispositif crée une hétérogénéité dans le mouvement de l'eau et le bilan hydrique des sols qui résulte en trois situations distinctes (HIEN, 1995) :

- l'amont des banquettes (AM). Il accumule les eaux de ruissellement provenant de l'espace qui sépare chaque ouvrage de celui situé immédiatement vers l'amont. Cet endroit offre en premier les conditions de germination des semences en début d'hivernage et peut, à ce titre, être considéré comme le « nid de la régénération » ;

- l'aval des banquettes (AV). Situé immédiatement en aval de chaque ouvrage (jusqu'à 2 m environ), cet espace peut être influencé en surface par une érosion du corps de la banquette ; il bénéficie cependant en profondeur des écoulements hypodermiques latéraux liés à l'accumulation de l'eau en AM. Il est donc plus favorable aux végétations pérennes à enracinement profond ;

- L'espace inter-banquettes (IN). Portion la plus étendue des parcelles aménagées, cet espace fonctionne comme un impluvium dont le ruissellement alimente l'espace AM. A ce niveau, ce sont les phénomènes de surface (ruissellement et évapotranspiration) qui déterminent le plus le bilan hydrique.



Dans chaque parcelle (Ba et BaP), deux situations ont été considérées comme des sous-traitements différents au regard de leur influence sur le développement des végétations ligneuses : l'espace inter-banquettes (IN) et la zone amont (AM). Dans ces deux zones de chaque parcelle, des mesures et observations ont été conduites pendant les 5 années suivant le début des aménagements de CES. La germination et l'installation des végétations ligneuses ont été mesurées pendant la première année suivant les aménagements sur deux espèces dominantes des parcelles en régénération : *Acacia seyal* (Del.) et *Acacia senegal* (L.) Willd. Ainsi, on a relevé et suivi l'apparition des plantules dans les positions IN et AM à partir de la première grosse pluie. Puis à la période dite des « grandes pluies » (STROOSNIJDER et KONÉ, 1982), on a délimité dans chaque position, 4 micro-parcelles de 625 à 2500 cm² à l'intérieur desquelles on a suivi, par un comptage systématique et répété tous les 1 à 3 mois, l'évolution de la densité des jeunes pousses et leur mortalité pendant la première saison sèche. 3 à 5 sondages ont été effectués selon le même principe pour déterminer la profondeur d'enracinement des plantules à la fin de la saison des pluies.

La composition floristique et la densité des ligneux ont été déterminées au cours des 2^e et 5^e saisons des pluies suivant l'aménagement. L'inventaire floristique a été réalisé à l'aide de la méthode "Line Point Intercept" (LPI) et la densité quantifiée par la méthode du "Point Centered Quarter" ou PCQ (GOUNOT, 1969 ; BONHAM, 1989). La croissance des ligneux a été estimée au cours de la 3^e année en associant à la méthode PCQ des mesures systématiques du diamètre du tronc à la base et de la hauteur totale des arbustes ; c'est le diamètre à 20 cm au-dessus du sol qui a été mesuré conformément aux travaux de TOUTAIN *et al.* (1983) sur les ligneux sahéliens et de GROUZIS (1988) dans la région de la mare d'Oursi. Sur la base de l'inventaire floristique identifiant les deux espèces dominantes (70 à 80 % de la strate ligneuse), la production de biomasse ligneuse et foliaire a été estimée à partir de coupe suivie de récolte complète d'un échantillon de 5 arbustes d'*A. seyal* en 2^e année (de WIT, 1993) et d'un échantillon de 25 arbustes d'*A. seyal* et *Piliostigma reticulatum* (DC.) *Hochst* la 5^e année.

Dans le souci de limiter la destruction des végétations, l'échantillon de 25 arbustes a été réparti selon 7 classes de diamètre comprises entre 1 et 14 cm, valeur maximale observée. On a alors recherché par analyse graphique les relations entre le diamètre à la base et la biomasse d'une part et entre la biomasse foliaire et la biomasse ligneuse ou totale d'autre part. Appliquée aux données issues de la méthode PCQ, l'équation de régression ainsi obtenue a permis d'estimer la biomasse par unité de surface.

Résultats

La germination et l'installation des ligneux

La germination de *Acacia spp* a débuté la première année 10 jours après la première grosse pluie ; l'année d'après, elle est intervenue 4 jours après la première pluie. La germination a commencé d'abord en amont des banquettes et a gagné progressivement toutes les dépressions situées entre les banquettes. Elle s'est poursuivie pendant toute la saison des pluies, réapparaissant même en amont des banquettes après dés-saturation du sol ou dès que la biomasse herbacée a été coupée. Dans les micro-parcelles d'observation identifiées, la densité des plantules en pleine saison des pluies variait de 412 par m² sur les talus des banquettes à plus de 2700 dans les fossés AM (Tableau I).



Tableau I. Évolution de la densité de jeunes plantules d'*Acacia seyal* (n.m⁻²) au cours de la première année et taux de survie après la première saison sèche, en fonction de la position par rapport aux banquettes. Forêt classée de Yabo, Burkina Faso

Micro-parcelle d'observation	Plein hivernage (3/8/91)	Fin hivernage (2/10/91)	Saison sèche (16/12/91)	Début hivernage (18/6/92)	Taux de survie (%)
Amont 1	1 552	1 424	448	64	4,1
Amont 2	1 680	1 504	656	48	3
Amont 3	2 752	2 480	1 824	336	12,2
Amont 4	2 592	2 528	2 122	864	33,3
Talus diguette	412	412	294	0	0(*)
Inter-digue	1 710	1 530	860	0	0(*)

(*) : uniquement dans les micro-parcelles choisies

Ainsi, les semis de *A. seyal* ont été concentrés dans les zones d'accumulation du ruissellement tandis que *A. senegal* a germé de préférence sur les talus des banquettes, plus rarement en amont et dans l'espace IN. Le nombre de plantules vivantes observées dans les micro-parcelles au cours de la première saison sèche a évolué selon le tableau I. En amont des banquettes, 3 à 33 % des plantules de *A. seyal* ont survécu la première saison sèche, contre un taux voisin de 0 % sur les talus ou dans l'espace IN. Deux mois après la germination, la profondeur d'enracinement des jeunes pousses variait de 70 cm en AM à 80 cm sur les talus de banquettes. A la fin de l'hivernage, cinq mois après germination, elle était supérieure à 85 cm et 110 cm respectivement, tandis que dans l'espace IN, la profondeur racinaire moyenne était de 50 cm.

La dynamique floristique

L'inventaire a révélé au total 8 espèces spontanées la 2^e année et 14 trois ans après. Le nombre et l'importance relative des espèces ont varié non seulement selon le traitement initial de la parcelle (avec ou sans paillage) mais aussi avec l'âge du processus de régénération (tableau II).

Tableau II. Contribution spécifique (%) des principales espèces ligneuses spontanées apparues au cours des cinq premières années de régénération, selon le traitement de CES appliqué. Forêt classée de Yabo, Burkina Faso

Espèces dominantes	2 ^e année		5 ^e année	
	Ba	BaP	Ba	BaP
<i>Acacia seyal</i>	58,5	49	62,9	55,8
<i>Acacia senegal</i>	13,8	6,6	7,0	5,4
<i>Balanites aegyptiaca</i>	4,6	12	2,4	9,5
<i>Combretum aculeatum</i>			2,9	2,9
<i>Guiera senegalensis</i>			4,1	2,1
<i>Piliostigma reticulatum</i>	12,3	17,1	14,1	14,1
<i>Ziziphus mauritiana</i>				4,1
Nombre total d'espèces	8	8	14	13

Globalement, *Acacia seyal* et *Piliostigma reticulatum*, les deux espèces dominantes, ont vu leur importance relative maintenue ou augmentée, de même que *Guiera senegalensis*. On a même noté l'apparition d'une espèce ripicole, *Mitragyna inermis*, en amont des banquettes dans la parcelle Ba.

La dynamique structurale

On a observé un accroissement considérable de la densité ainsi que le montre le tableau III. Au début du processus de régénération (2 ans), la parcelle paillée (BaP) avait une densité de ligneux plus élevée que la parcelle non paillée (Ba) ; la tendance s'est inversée 3 ans plus tard, sauf dans l'espace IN où la parcelle BaP a conservé une densité plus élevée. En amont des banquettes en particulier, la densité des ligneux a été multipliée par 10 dans la parcelle Ba et par 3 dans la parcelle BaP.

Tableau III. Evolution de la densité des ligneux de plus d'un an, de la biomasse foliaire totale et de la biomasse foliaire moyenne par arbuste à la fin des 2^e et 5^e saison des pluies suivant le début de la régénération et selon le traitement initial de la parcelle. Forêt classée de Yabo, Burkina Faso. Le taux de recouvrement de la strate herbacée dans l'espace inter-banquettes à la même période est aussi mentionné.

Traitement	2 ^e année			5 ^e année		
	AM	IN	Moyenne parcelle	AM	IN	Moyenne parcelle
Banquettes simples (Ba)						
Densité (n.ha ⁻¹)	1 425	235	384	13 989	1 031	7 600
Biomasse foliaire (kg MS)	227	37,5	62	17 750	2 160	12 000
Biom. fol./individu (kg)			0,16	1,3	2,1	1,6
Couverture herbacée (%)		35			69	
Banquettes + paillage (BaP)						
Densité (n.ha ⁻¹)	2 497	955	1154	8 386	1 631	4 870
Biomasse foliaire (kg MS)	470	152	184	13 520	3 460	9 050
Biom. fol. /individu (kg)			0,16	1,6	2,1	1,9
Couverture herbacée (%)		73			86	

La répartition des ligneux par classes de diamètre est illustrée par la figure 1. A cinq ans, la strate ligneuse en amont des banquettes est dominée à 44 % pour BaP et 35 % pour Ba par des sujets de diamètre compris entre 2 et 5 cm, suivis des sujets de diamètre <2 cm (29 % et 33 % respectivement). Dans l'espace IN en revanche 43 % des ligneux ont un diamètre compris entre 2 et 5 cm dans la parcelle initialement paillée contre 26% pour la parcelle non paillée. En moyenne donc, la parcelle non paillée est dominée par les sujets de diamètre inférieur ou égal à 2 cm tandis que la parcelle initialement paillée est dominée par les individus de diamètre compris entre 2 et 5 cm (figure 1).

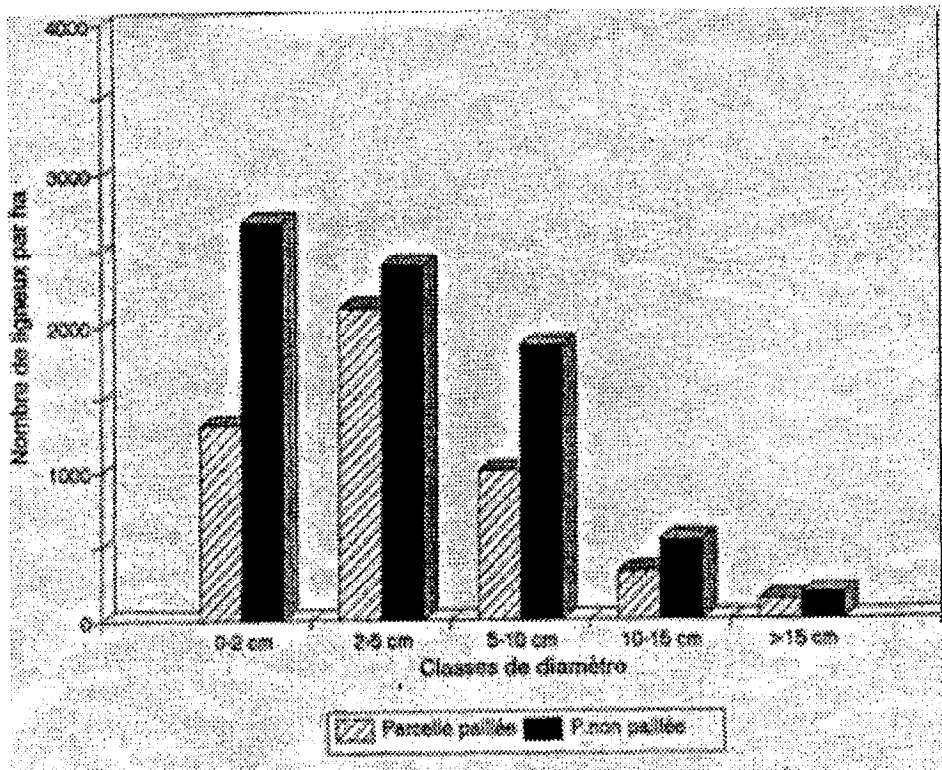


Figure 1. Répartition des végétations ligneuses par classes de diamètre et selon le traitement initial des parcelles, à la fin de la 5^e saison des pluies suivant le début du processus de régénération. Forêt classée de Yabo, Burkina Faso, 1995

La croissance et la productivité des ligneux

Les mesures effectuées sur 105 individus d'*Acacia seyal* de 1 à 3 ans ont montré qu'il y avait une relation linéaire entre la hauteur totale des arbustes H et le diamètre D à 20 cm au-dessus du sol (HIEN, 1995) : $H \text{ (m)} = 0,7 \times D \text{ (cm)}$ ($r = 0,86$). En revanche, la relation entre le diamètre à 20 cm du sol et la production de biomasse est passée d'un type linéaire pour *A.seyal* âgé de 1 à 2 ans à une forme exponentielle pour des formations mixtes à *A.seyal* et *P. reticulatum* de 1 à 5 ans (figure 2). De même, pour ces deux espèces, la relation entre biomasse ligneuse (Bl) et biomasse foliaire (Bf) était $Bl(\text{kg}) = 7 \times Bf(\text{kg}) - 1,77$ ($r = 0,93$). De la 2^e à la 5^e année, la production de biomasse foliaire en amont des banquettes a été multipliée par 29 dans la parcelle BaP et par 78 dans Ba. Dans l'espace IN, elle a été multipliée par 23 et 54 respectivement. Une analyse détaillée a montré que la production de biomasse foliaire en tant que proportion de la biomasse aérienne totale diminue avec la maturité des arbres : pour *A.seyal*, ce rapport est passé de 30 - 33 % pour les sujets de 1 an à 10 - 12 % pour les arbustes âgés de 5 ans. Pour *P. reticulatum*, il est passé respectivement de 33 - 35 % à 20 - 25 %.

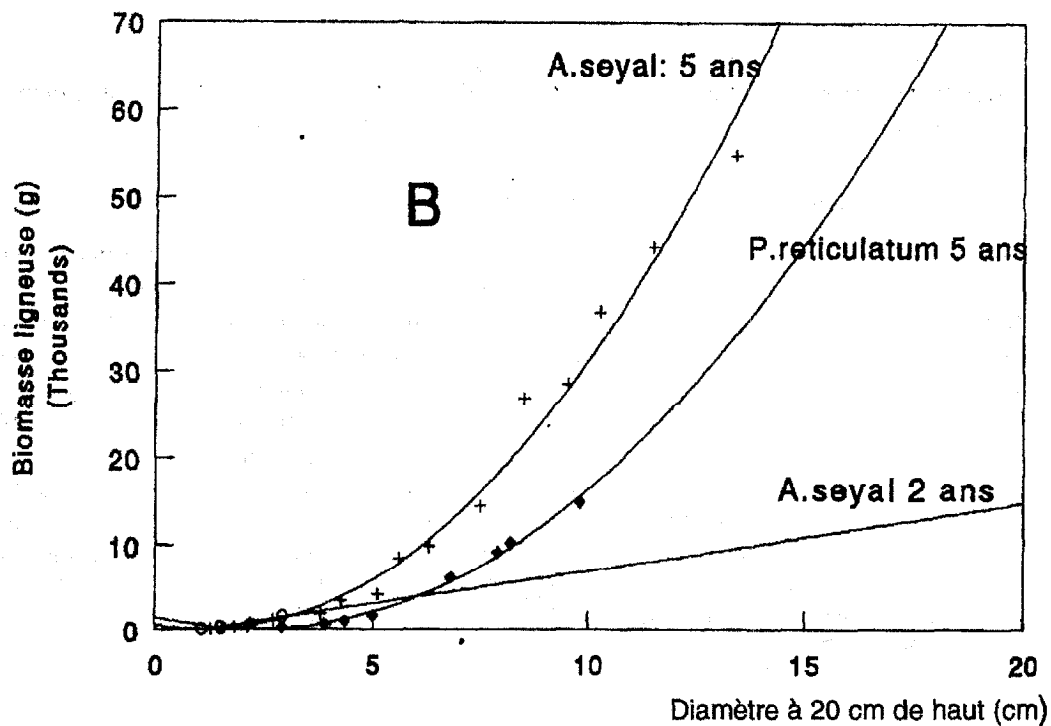
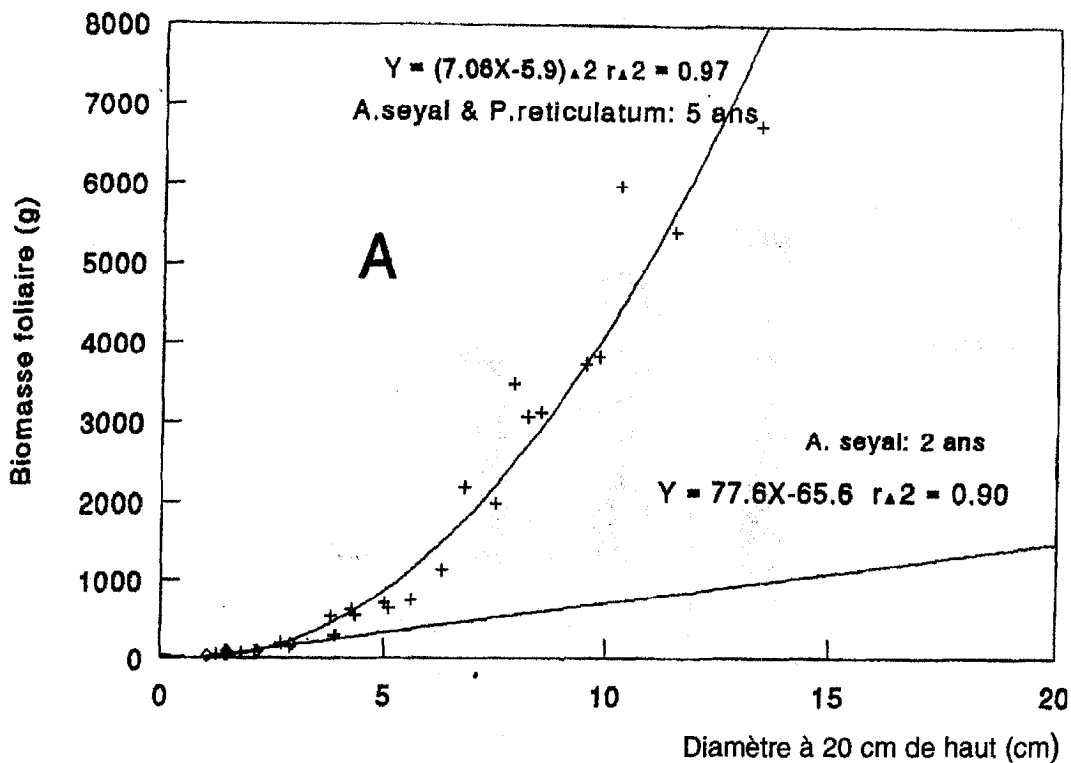


Figure 2. Relations entre la biomasse foliaire (A), la biomasse ligneuse (B) et le diamètre à la base des deux espèces ligneuses dominantes : situation après 2 et 5 ans de régénération. Forêt classée de Yabo, Burkina Faso

Discussion

Les résultats ci-dessus indiquent que la germination et l'installation des espèces ligneuses se trouvent naturellement favorisées par les conditions d'humidité créées par les aménagements de CES. L'abondance de la germination en amont des banquettes s'explique par l'importance des transferts, par le ruissellement, des semences provenant des arbres adultes situés dans les environs des parcelles traitées. Si *Acacia seyal* s'installe mieux dans les zones d'accumulation du ruissellement, les semis de *A. senegal* et *P. reticulatum* eux ne semblent pas supporter l'inondation, même temporaire. La rapidité de germination observée chez *A. seyal* la deuxième année (4 jours après la première pluie) traduit l'efficacité du trempage des graines pendant la saison précédente, mais aussi leur apparente longévité. En effet, une telle rapidité de germination n'est observée en pépinière qu'après un pré-traitement de 5 minutes à l'acide sulfurique, suivi d'un trempage dans l'eau pendant 24 h. (BELEM, 1993). L'importance des densités initiales de germination justifie la forte mortalité au cours de la première saison sèche. Cependant, les profondeurs d'enracinement observées en fin d'hivernage indiquent que la sécheresse est le premier facteur de mortalité des plantules. BREMAN et KESSLER (1995) soulignent en effet que la profondeur de sol mouillée et la profondeur de la nappe sont des facteurs déterminants de la survie des espèces ligneuses. Les conditions d'humidité particulières ont influencé la composition des végétations ligneuses. L'apparition d'espèces ripicoles comme *Mitragyna inermis* en amont des banquettes illustre en effet les modifications du régime hydrique des sols liées à l'absorption quasi totale du ruissellement. Cependant, la réduction progressive des conditions d'humidité extrême en amont des banquettes liée au développement global du couvert végétal ainsi que la protection intégrale du site ont permis un doublement du nombre d'espèces entre la 2^e et la 5^e année.

L'évolution de la densité des ligneux montre que le paillage initial de l'espace inter-banquettes (BaP / IN) a favorisé autant l'installation des herbacées que des ligneux. Par la suite, l'accroissement du couvert végétal dans cet espace (tableau III) a contribué à freiner globalement le développement des ligneux en AM, en raison de la réduction du ruissellement et des transferts de semences. Les fortes densités en amont dans la parcelle Ba expliquent le niveau de la biomasse foliaire produite. En même temps, elles ont négativement influencé le développement des ligneux et la production de biomasse par individu (tableau III). En effet, au fur et à mesure que la densité augmente, les plantes ligneuses investissent plus de ressources (eau et éléments nutritifs) pour croître en hauteur au détriment de la production de biomasse par individu (CAMERON *et al.*, 1989 cités par BREMAN et KESSLER, 1995). De la 2^e à la 5^e année, la production de biomasse par individu a connu néanmoins un accroissement de type exponentiel (figure 2, tableau III), ce qui corrobore le constat de BREMAN et KESSLER (1995) selon lequel la biomasse aérienne des ligneux augmente de façon exponentielle dans la phase juvénile de croissance, plus modérément à la maturité pour approcher d'un maximum avec le vieillissement.

En ce qui concerne les relations allométriques entre le diamètre à 20 cm du sol et la biomasse foliaire (en grammes), nos résultats semblent confirmer les observations de CLAUDE *et al.* (1991) dans les végétations de la zone d'Oursi. Pour ces auteurs en effet, si cette relation est linéaire pour des espèces comme *Acacia laeta*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca* et *Combretum aculeatum* mais sigmoïdale pour *Acacia seyal*, l'influence des facteurs du milieu ne permet pas de la généraliser ; ce qui nécessite d'établir pour chaque zone d'étude, voire pour chaque station écologique, une relation spécifique. En revanche, les relations linéaires obtenues dans notre cas entre biomasse foliaire d'une part, biomasse ligneuse ou biomasse aérienne totale d'autre part paraissent davantage liées à la phase actuelle de croissance (1 à 5 ans) des végétations étudiées. BREMAN et KESSLER (1995) estiment en effet qu'il n'existe pas de relation linéaire entre la production de biomasse totale et la production foliaire.

Toutefois, nos observations confirment le fait que les plantes immatures ont le ratio production foliaire/production de biomasse aérienne le plus élevé; ratio qui diminue avec la maturité des arbres même s'il y a un accroissement de la production absolue de biomasse foliaire.

En conclusion, les mesures de CES utilisées pour régénérer les terres dégradées ont eu un effet remarquable sur l'installation et le développement des végétations ligneuses. Ce développement spectaculaire a conféré aux ligneux un rôle de stabilisation rapide des processus physiques et biologiques de réhabilitation des terrains aménagés. En particulier, la qualité des résultats obtenus des méthodes de quantification de la productivité des ligneux suggère qu'il soit possible de les adapter, sous des formes non destructives ou semi destructives et à plus grande échelle, à l'évaluation quantitative des ressources fourragères ligneuses sur pied.

Références bibliographiques

BELEM B., 1993. Détermination du stade optimal de repiquage de *Acacia seyal* Del., *Acacia raddiana* Savi et *Balanites aegyptiaca* (Lin.) Del. C.N.S.F. Ouagadougou (Burkina Faso) 8p.

BREMAN, H. and KESSLER J.J., 1995. Woody plants in Agro-Ecosystems of semi arid regions with an emphasis on the Sahelian Countries. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 340p.

BONHAM D. C., 1989. Measurements for terrestrial vegetations. Willey Intern. Publishers, USA, 338p.

CLAUDE J., GROUZIS M. et MILLEVILLE P. (eds), 1991. Un espace sahélien, la mare d'Oursi Burkina Faso. Editions de l'ORSTOM, Paris. 241p.

GOUNOT M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Editions Masson & Cie, Paris, 314p.

GROUZIS M., 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Editions ORSTOM, Paris, 336p.

HIEN G.F., 1995. La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel: une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Tropical Resources Management Papers N° 7. Université Agronomique de Wageningen (Pays Bas), 223p.

STROONSIJDER L. et KONÉ D., 1982. Le bilan d'eau du sol in Penning de Vries et Djiteye (eds). La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle: 133-165. PUDOC, Wageningen.

TOUTAIN B., BORTOLI L., DULIEU D., FORGIARNI G., MENAUT J.C., PIOT J. 1983. Espèces ligneuses et herbacées dans les écosystèmes pâturés sahéliens de Haute Volta. ACC GRIZA (LAT). GERDAT, 124p.

WIT de A., 1993. Effet du bilan hydrique sur la croissance de *Acacia seyal*. Antenne Sahélienne UAW. Ouagadougou, 41p.

