

Le bilan hydrique annuel et son incidence sur la production de biomasse de la strate herbacée en milieu sahélien

A.M. SICOT

Chercheur ORSTOM, CRA de Toulouse-Auzeville,
B.P. 12, 31320 Castanet - Tolosan, France

Résumé.

Les valeurs fréquentielles des différents termes du bilan hydrique ont été calculées dans les parcours naturels représentatifs du bassin versant de la Mare d'Oursi, en Haute-Volta, à partir des données fréquentielles de pluviosité. Ces estimations présentent d'assez larges gammes de variation temporelle et spatiale découlant d'une part de la texture, d'autre part de la structure et du fonctionnement des écosystèmes. Elles permettent néanmoins de démontrer que l'eau est le principal facteur limitant de la croissance végétale et d'exprimer la biomasse de la strate herbacée linéairement en fonction de l'eau infiltrée dans le sol, la pluviosité totale ou de tout autre paramètre dérivant du bilan hydrique.

Summary.

From rainfall frequential data, frequential values for the different water balance's terms has been calculated in the representative natural pastures of the Mare d'Oursi's catchment area in the north of Upper Volta. In spite of their large scales of temporal and spatial variations it has been possible to demonstrate that water is the most important limiting factor of plant growth and express herbaceous biomass production as a liner fonction of infiltrated rainfall in the soil or actual evapotranspiration.

INTRODUCTION.

Un peu marginal par rapport au contexte de recherche et d'expérimentation purement agronomique qui domine dans ce colloque, la présente communication est basée sur le suivi écologique en milieu naturel et a pour objet de faire connaître les modalités et les normes du bilan hydrique annuel en zone sahélienne, ainsi que son incidence sur la production de biomasse herbacée.

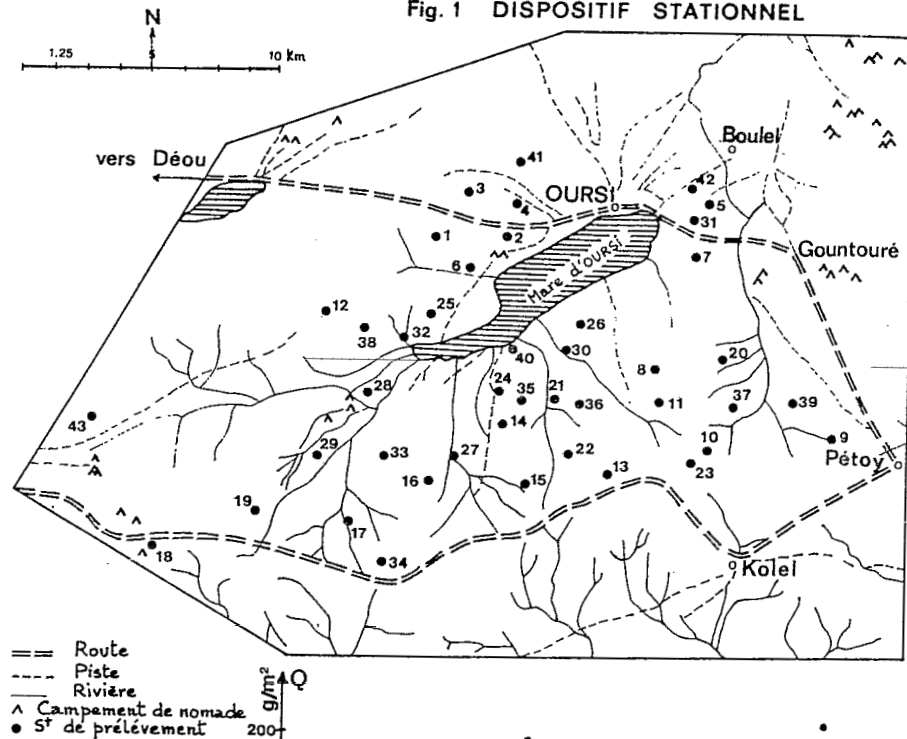
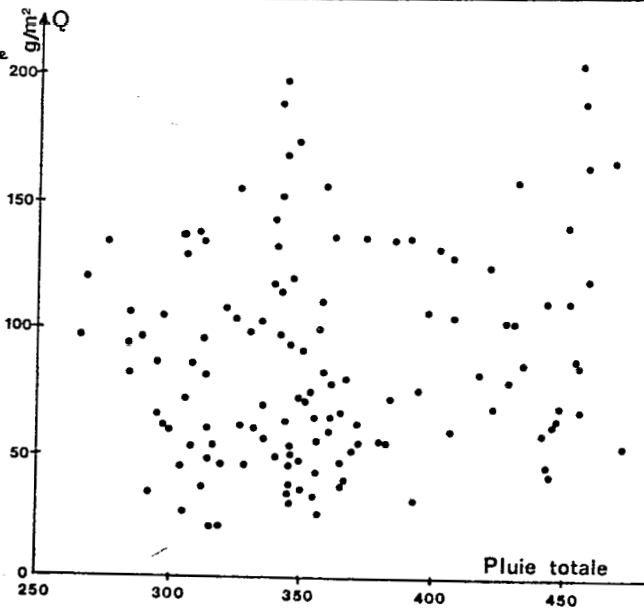
Une telle connaissance nous semble d'autant plus nécessaire que la persistance de l'aridité fait craindre pour l'immédiat des conséquences tout aussi dramatiques que celles de la sécheresse des années soixante dix.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 22.100 ex 1

Cote : B

Fig. 1 DISPOSITIF STATIONNEL

Fig. 2 Relation
BIOMASSE - PLUIE
TOTALE ANNUELLE

I. CADRE EXPERIMENTAL.

Les résultats qui vous sont exposés sont issus de l'étude intitulée : "Bilan hydrique et production végétale dans quelques écosystèmes sahéliens, représentatifs du bassin versant de la Mare d'Oursi, en Haute-Volta", une des principales opérations du "Projet Mare d'Oursi, programme pluridisciplinaire et institutionnel, initié par la DGRST afin de constituer un inventaire régional de données intégrées pour le développement.

Le bassin de la Mare d'Oursi, au nord de la Haute-Volta, est actuellement situé en plein Sahel, vers 14° de latitude nord et 0° de longitude. D'une superficie de 60.000 ha, il est très diversifié et hétérogène. La description du milieu naturel dépasserait le cadre de ce document. On se rapportera aux nombreux rapports du Projet : CLAUDE et al, GROUZIS, JOLY, DEWOLF et RIOU, LEPRUN, SICOT, TOUTAIN ...

Nous en rappelons néanmoins quelques propriétés hydro-pédologiques, importantes par leur incidence sur le bilan hydrique : différents milieux constitutifs; milieux rocheux, sableux, argileux, pédiments concrétionnés ..., rugosité superficielle du sol généralement bien développé, montmorillonite constituant les éléments fins à 80 % en moyenne, encroûtement par dessiccation de la surface du sol, compactage du profil ...

Le dispositif d'étude schématisé à la figure 1, comprend 43 sites d'observation et de mesures répartis selon des critères phytosociologiques et agropédologiques.

II. METHODES.

Les mesures ont d'abord visé l'estimation des différents termes du bilan hydrique annuel : Pluviosité P, ruissellement R, drainage D, fluctuation de la réserve hydrique du sol ΔS .

L'évapotranspiration réelle ETR est calculée d'après l'équation générale du bilan hydrique en milieu naturel :

$$P = R + D + \Delta S + ETR \quad (1)$$

Equation dans laquelle P et ETR sont positifs et les autres termes algébriques sont positifs, en cas de gain pour le profil et négatifs dans le cas contraire.

La pluviosité est mesurée à l'aide de pluviomètres totalisateurs et journaliers, ces derniers disposés à 1m du sol ou au sol avec grille anti-rebond.

Le ruissellement est estimé à partir de mesures hydrologiques (CLAUDE et al) sur bassins versants représentatifs de différents milieux.

Le drainage dont la mesure directe est difficile et onéreuse est estimée à partir des équations de HENIN (1944) :

$$D = \gamma' p^3 / (1 + \gamma' p^2) \quad \gamma' = a \gamma, \quad \gamma = 1 / 0,15 T - 0,13 \quad (2)$$

P et D, la pluviosité et le drainage annuels, sont exprimés en mètre, T, la température en degré Celsius et a est une constante qui tient compte des caractéristiques édaphiques. Elle vaut respectivement 0,5, 1 et 2 en milieux argileux, limoneux et sableux.

Les valeurs calculées sont contrôlées par des essais ponctuels de drainage et des simulations sur modèles : FRANQUIN et FOREST (1977).

L'ETR ou son estimation est ensuite comparée à la phytomasse herbacée maximale (standing-crop maximal) correspondante.

Cette biomasse maximale de la strate herbacée est mesurée dans les parcours naturels en des sites de 2 à 4 km² de surface. Chaque site est caractérisé par la moyenne de 30 à 40 mesures élémentaires équidistantes exécutées le long de deux transects concourants, partageant en diagonale le site de la mesure. La mesure élémentaire est la biomasse récoltée dans une placette de 1m x 1m (SICOT 1976, LEVANG et GROUZIS, 1980).

La précision des mesures de biomasse varie de 7 - 13% en milieux sableux à 15 - 30% et plus en milieu argileux.

III. INTERPRETATION DES RESULTATS.

3.1. Le bilan hydrique et ses composantes.

3.1.1. La pluviosité annuelle.

On doit d'abord signaler un biais systématique des mesures standardisées à 1m de hauteur, par rapport aux mesures effectuées au sol, ceci dû aux vents tourbillonnaires accompagnant les averses orageuses sahéliennes, vents qui développent leur turbulence particulièrement autour des pluviomètres. On a :

$$P(\text{sol}) = (1 + a) P(1\text{m}) + b \quad r^2 = 0,90.$$

Les constantes a et b dépendent de l'environnement des pluviomètres : a varie de 0,2 à 0,6 et b reste négligeable par rapport au total. En moyenne :

$$P(\text{sol}) = 1,352 P(1\text{m}) - 1,0 \quad (3)$$

Les vents tourbillonnaires sont aussi responsables d'une très forte hétérogénéité de la distribution spatiale de la pluie : des écarts de 100 à 150 mm ont été relevés sur le total annuel de sites séparés de moins de 7 km. Cette hétérogénéité spatiale rend la pluviosité statistiquement indépendante d'un point à un autre et entrave le rapprochement de la pluviosité de celles des stations les plus proches, Gorom-Gorom et Markoye qui l'encadrent respectivement à 40 et 60 km de distance. Toutefois, en raison d'absence de discontinuités géophysiques pouvant occasionner des perturbations micro-climatiques notables, d'une corrél-

TABLEAU 1 : Régression ruissellement - pluie dans les bassins de DJALAFANKA et KOLEL, GONTOURE.

Bassin	Année	n	R	S	a	b
DJALAFANKA (Milieu argileux)	1977	16	0,93	+++	0,597	- 1,25
	1978	12	0,97	+++	0,642	- 3,75
	1979	16	0,96	+++	0,771	- 3,72
	1980	13	0,96	+++	0,518	- 1,90
	1981	19	0,86	+++	0,529	- 2,50
	Moy.	77	0,93	+++	0,603	- 2,38
KOLEL (Milieu rocheux)	1976	20	0,86	+++	0,445	- 3,73
	1977	16	0,64	+++	0,217	- 1,66
	1978	5	0,78	NS	0,082	- 0,82
	1979	12	0,83	++	0,191	- 0,95
	1980	9	0,93	+++	0,368	- 4,06
	1981	14	0,94	+++	0,430	- 2,95
Moy.	76	0,79	+++	0,335	- 2,90	
GONTOURE (Pédiment argilo-limoneux)	1976	19	0,90	+++	0,575	- 5,59
	1977	12	0,83	+++	0,569	- 7,50
	1978	17	0,86	+++	0,552	- 4,15
	1979	20	0,84	+++	0,359	- 2,36
	1980	16	0,92	+++	0,638	- 4,62
	Moy.	66	0,86	+++	0,526	- 4,06

n = nombre d'écoulements de l'année
R = coefficient de corrélation
S = signification de R
NS non significatif
+ significatif à 95%
++ hautement significatif 99%
+++ très hautement significatif 999°/°°
a = coefficient de régression
b = terme constant

tion multiple (non significative à cause du petit nombre de mesures) entre les pluies enregistrées pendant les six années de mesures (1976-1981) et de corrélations extrêmement fortes mise en évidence en zone sahélienne sur des chroniques pluviométriques de longue durée par KOWAL et KASSAM (1977), la moyenne pluviométrique entre Markoye et Gorom-Gorom peut représenter valablement la pluviosité du bassin.

Les 56 valeurs des deux chroniques pluviométriques s'ajustent aussi bien à une loi gamma tronquée (paramètre de forme $x = 7,202$, d'échelle $s = 39,085$ et position $x_0 = 0$), qu'à une loi normale (moyenne $\bar{x} = 412$ et d'écart type $x = 113$).

Les valeurs fréquentielles à 1m et au sol sont données au tableau 2.

3.1.2. Le ruissellement.

A l'exception des sables dunaires, tous les milieux ruissellent en raison des fortes intensités des précipitations : 6 - 42 mm/h, avec des valeurs instantanées pouvant dépasser 120 mm/h en 5 minutes. La lame d'eau ruisselée annuellement est partout proportionnelle à la pluviosité.

Les coefficients de proportionnalité sont spécifiques aux caractéristiques hydro-pédologiques et phytosociologiques des différents milieux et varient annuellement avec la distribution de la pluie : tableaux 1 et 2.

Au niveau du bassin, la relation ruissellement-pluie se traduit par :

$$R = 0,40 P(1m) - 77,4 \quad r = 0,95 + \quad (4)$$

$$\text{soit } R = 0,30 P(\text{sol}) - 77,1 \quad (4')$$

3.1.3. Le drainage.

Le drainage estimé par les équations de HENIN dans les milieux représentatifs est reporté au tableau 2. Il est totalement négligeable en milieu argileux et peut aussi l'être, même dans les sables, dans la gamme des pluviosités observées.

3.1.4. L'eau du sol.

Le sol ne s'humecte pas uniformément en deçà de 60 cm et même moins en milieu argileux et en deçà de 200 cm en milieu sableux.

Le sol généralement plus sec que l'humidité au point de flétrissement en saison sèche n'atteint que rarement la capacité au champ durant les épisodes pluvieux, pendant lesquels il est engorgé en surface.

A la fin du cycle hydrologique, ΔS est quasi-nulle et il n'y a guère de report d'eau d'une année sur l'autre. S'agissant du cycle végétatif, on doit tenir compte des pluies tombées avant l'ouverture et après la fermeture du cycle, pluies qui ne participent pas à l'élaboration de la matière sèche.

TABLEAU 2 : BILAN HYDRIQUE ANNUEL FREQUENTIEL DANS LE BASSIN ET LES PRINCIPAUX MILIEUX REPRESENTATIFS.

Pluviosité	F	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
	1/F	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
P	218	236	266	294	330	412	512	576	632	692	742	
Ps	294	319	359	397	446	556	691	778	853	934	1002	
Milieu sableux	Pi	294	319	359	397	446	556	691	778	853	934	1002
	D	11	13	19	25	35	66	119	162	205	257	304
	ETR	284	305	340	371	410	490	572	616	648	677	698
Milieu argileux	R	129	140	158	175	197	246	306	345	379	415	445
	Pi	165	179	201	222	249	310	385	433	474	519	557
	D	0	1	1	1	2	3	6	9	11	15	18
	ETR	165	178	200	221	247	307	379	424	463	504	539
Milieu sablo-argileux	R	70	76	86	96	108	135	169	190	209	229	246
	Pi	224	243	273	301	338	421	522	588	644	705	756
	D	3	4	5	7	10	19	36	50	65	84	102
ETR	221	239	268	294	327	402	486	537	579	621	654	
Milieu argilo-limoneux	R	111	120	136	151	170	213	265	299	328	360	386
	Pi	183	199	223	246	276	344	426	479	525	574	616
	D	1	1	2	2	3	6	12	17	23	29	36
	ETR	183	197	221	244	273	337	414	461	502	545	580
Ensemble du bassin	R	9	16	28	39	54	86	126	151	174	197	217
	Pi	285	303	331	358	392	470	565	627	679	737	785
	D	5	6	8	10	13	22	38	51	64	80	96
	ETR	280	297	323	348	379	448	527	576	615	656	689

F = Fréquence.

1/F = Récurrence (an).

R = Ruissellement annuel (mm).

D = Drainage annuel (mm).

P = Pluie annuelle mesurée à 1m (mm)

Ps = Pluie annuelle mesurée au sol (mm).

Pi = Pluie annuelle infiltrée (mm).

ETR = Evapotranspiration annuelle (mm).

3.1.5. L'évapotranspiration.

L'évapotranspiration réelle est calculée d'après l'équation générale du bilan hydrique tronquée d'une manière spécifique suivant le milieu concerné :

Milieus sableux	ETR = P - D	R = 0	$\Delta S = 0$
Bas-fonds et impluvium	ETR = P + R - D		$\Delta S = 0$
Autres milieux	ETR = P - R - S		$\Delta S = 0$

Les résultats sont consignés dans le tableau 2. On relève :

- Le déficit par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle maximale (ETM) qui avoisinent respectivement 1300 - 1475mm, et 675-825mm durant le cycle végétatif,

- La variabilité de l'ETR suivant les différents milieux.

3.2. Incidence du bilan hydrique sur la production de biomasse herbacée.

3.2.1. Relation biomasse-pluie infiltrée dans le sol.

Bien que l'eau soit indispensable à la croissance et au développement de la plante, il n'y a aucune relation directe entre la biomasse végétale (Q) et les précipitations totales (cf. fig. 2).

La relation se situe au niveau des quantités d'eau infiltrées dans le sol (P_i) : quantités d'eau infiltrée pendant l'hivernage, durant le cycle végétatif.

Elles règlent la phénologie de la végétation (GROUZIS et SICOT, 1980) et déterminent la production de biomasse. Tous milieux confondus, la biomasse est corrélée à la pluie infiltrée (P_i) par la régression :

$$Q = 0,47 P_i (\text{Im}) - 31,9 \quad r = 0,57 \text{ ++++} \quad (5)$$

$$\text{soit } Q = 0,35 P_i (\text{sol}) - 32,2 \quad (\text{cf. fig.3}) \quad (5')$$

3.2.2. Relation biomasse-indice de satisfaction énergétique.

La corrélation ci-dessus, telle qu'elle est biaisée car, les biomasses en présence correspondent à des cycles végétatifs d'inégale longueur et à des demandes d'évapotranspiration différentes.

Une relation moins biaisée serait du type :

$$Q = K_i^n \times \left(\frac{F_i}{F_{i0}}\right) \times Q_0$$

La biomasse Q résultant des produits successifs de Q_0 , une biomasse potentielle, par les rapports (ou rendements) de facteurs écologiques F_i , dont l'optimum d'action se situe à F_{i0} .

Q_0 est réalisé pour tous les facteurs à l'optimum.

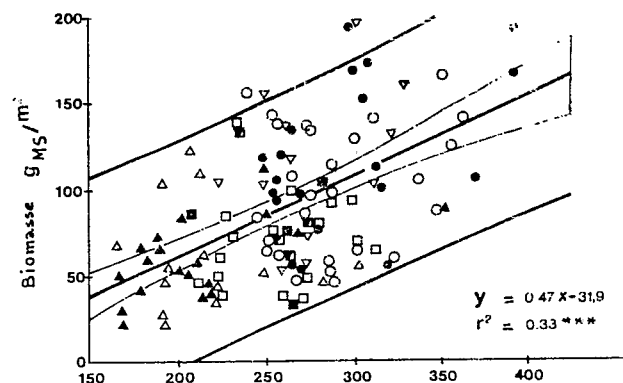


Fig. 3 RELATION ENTRE LA PHYTOMASSE HERBACÉE ET L'EAU INFILTREE POUR LES ANNEES 1976 1977 1978 et 1980

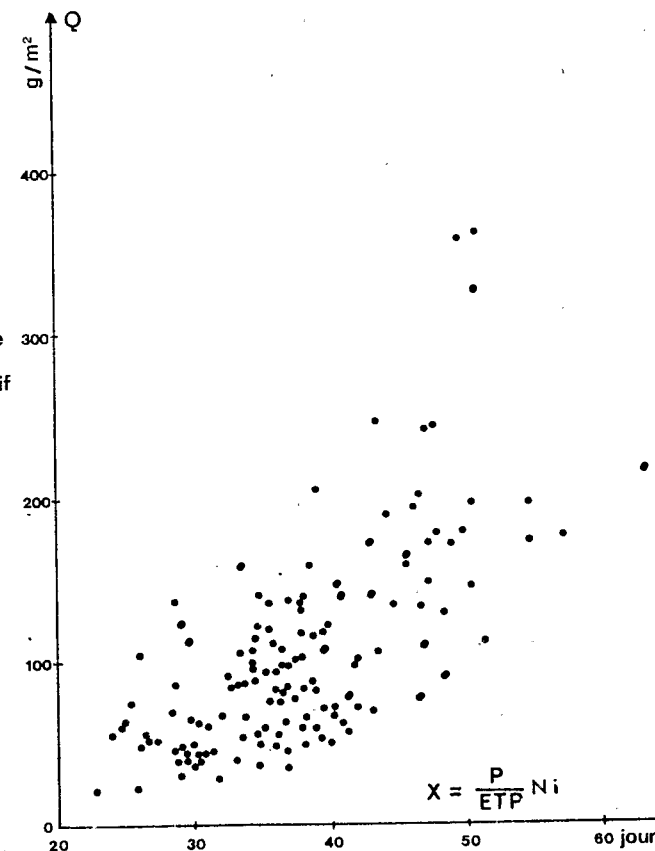


Fig. 4 Relation BIOMASSE - INDICE de consommation hydrique au-cours du cycle végétatif

En prenant en compte l'évapotranspiration et la longueur du cycle N, on aurait :

$$Q = \frac{ETR}{ETP} \times \frac{N_i}{N_0} \times Q_0 \quad \frac{P_i}{ETP} \times \frac{N_i}{N_0} \times Q_0$$

Comme N_0 n'est pas connu et peut-être considéré à ce niveau d'intégration comme constant, on s'est arrêté au paramètre :

$$X = \frac{P_i}{ETP} \times N_i, \text{ qui est un indice de satisfaction moyenne de l'ETP cumulée sur l'ensemble du cycle.}$$

On a (figure 4) :

$$Q = 2,88 x - 6,48 \quad \text{avec } r \gg 0,70+++$$

3.2.3. Relation biomasse-pluie moyenne sur l'ensemble du bassin.

Cette relation biomasse-indice de satisfaction de l'évapotranspiration potentielle sur le cycle, n'a d'autre but que d'estimer la rigidité de la liaison biomasse-bilan hydrique.

Dans la pratique, on lui préfère une relation moins précise mais plus accessible. La relation biomasse-hauteur pluviométrique moyenne sur l'ensemble du bassin explicitée à partir de la fonction moyenne de ruissellement : (4) ou (4') et qui se traduit par :

$$Q = 0,216 P_m (1m) + 13,5 \quad r = 0,57+++$$

Les valeurs fréquentielles de la biomasse sont consignées au Tableau 3.

Tableau 3 : Valeurs fréquentielles de la biomasse herbacée d'après la pluviosité du Tableau 2.

F	1/F an	Biomasse 9.M ⁻² (MS)	F	1/F an	Biomasse 9.M ⁻² (MS)
0,01	100	61	0,99	100	197
0,02	50	65	0,98	50	163
0,05	20	71	0,95	20	150
0,10	10	77	0,90	10	138
0,20	5	85	0,80	5	124
0,50	2	102	0,50	2	102

IV. DISCUSSION.

Les chroniques pluviométriques disponibles étant trop courtes, (l'analyse de leur variance indique que 120-125 ans sont nécessaires pour approcher les valeurs normales à 5% près), il n'a pas été possible de pratiquer d'analyse chronologique. Autrement dit, on ne peut pas faire de prévision de pluviosité en temps réel.

Des résultats obtenus sur des chroniques similaires de plus longue durée, il ressort qu'il n'y a pas de tendance générale statistiquement significative de la pluviosité annuelle, c'est-à-dire pas d'évolution à long terme, mais des évolutions cycliques localisées sur des périodes particulières, cycles apparemment pas très marqués parce que pas toujours perçus : LAMBERGEON (1981).

Mais leur existence, ainsi que leur durée moyenne de 30 ans, ont parfaitement été démontrées par cet auteur. Ces résultats tout en relativisant nos données fréquentielles leur apportent une certaine confortation car, étant établis sur 28 ans, ils sont probablement proches des valeurs normales.

S'agissant des autres termes du bilan hydrique, il est à noter que les relations qui permettent de les estimer sont des relations stochastiques globales qui présentent à la fois des variations temporelles et spatiales d'ordre macroscopique ou stationnel, découlant de la texture de la station et d'ordre intra-stationnel, résultant plutôt de la structure et du fonctionnement du milieu : hétérogénéité spatiale des pluies, redistribution des eaux par le microrelief superficiel du sol, fentes de retrait, écoulements hypodermiques et accumulations au contact de la roche-mère, évapotranspiration différentielle de phytocénoses ponctuelles...

Cette hétérogénéité de tout ordre, génératrice d'imprécision qui entâche les estimations des données de bilan hydrique ou les mesures de biomasse se répercute sur la liaison biomasse-pluie ou biomasse indice de satisfaction de l'ETP. Il est par suite assez remarquable de pouvoir mettre en évidence des corrélations avec des coefficients de détermination de 50% dans ces conditions, (biomasse à 10-30% de précision). C'est dire l'intensité de la limitation imposée à la production de biomasse par l'aridité, limitation dont toute l'étendue ne s'apprécie que sur des périodes plus courtes (échelle décadaire) pendant lesquelles l'effet de la distribution des pluies et des stress hydriques est plus perceptible.

L'eau n'est pas pour autant le seul facteur limitant de la production primaire. L'action du sol se signale par une efficacité de l'eau infiltrée (pente de la droite ou coefficient de régression) variable suivant les milieux : 0,62-0,73 g. m⁻²/mm de pluie dans les sables, 0,27 g. m⁻²/mm de pluie dans les glacis argileux. Par ailleurs, tous les sols sont plus ou moins carencés en azote et en phosphore, ce qui joint aux faibles quantités de pluie, se traduit généralement sous forme de subcarences sur la production de biomasse. Dans la figure 4, les points supérieurs détachés du reste, mais fortement corrélés à l'indice X, (r² = 0,95) dénotent ainsi des conditions édaphiques (nutritionnelles sans doute) favorables conduisant à des biomasses relativement plus élevées.

Les quelques valeurs regroupées ci-après positionnent nos résultats par rapport aux efficacités trouvées pour les précipitations

totales en zone sahélienne, au nord et au sud du Sahara. Notons, sans trop insister, qu'elles sont de même ordre car, ces efficacités de pluies totales globalisent des efficacités particulières qui en dernière analyse découlent elles-mêmes de compositions et d'organisations édaphiques et phytosociologiques diversifiées assez mal connues

Tableau 4 - Efficacité ($\text{Kg. ha}^{-1}, \text{mm.}^{-1}$) comparée de la pluie en zone sahélienne.

Auteurs	Année	Production/pluie
DIARRA, BREMAN	1975	2,4
LE HOUEROU, HOSTE	1977	2,58
CORNET	1981	3,3
BILLE	1977	3
SICOT, GROUZIS	1981	2,16

V. CONCLUSION.

A partir de chroniques pluviométriques tout juste suffisantes pour permettre une analyse fréquentielle, il a été possible de quantifier les modalités des processus hydrodynamiques et les différents termes du bilan hydrique dans le bassin versant de la Mare d'Oursi, situé en pleine zone sahélienne. Ces phénomènes et estimations présentent des fluctuations spatio-temporelles de grande amplitude et sont de ce fait fortement entachés d'incertitude.

Elles permettent néanmoins d'explicitier l'intense limitation imposée à la production primaire par le facteur hydrique, limitation qui peut s'exprimer à cette échelle par une régression linéaire entre la biomasse de la strate herbacée et la pluie infiltrée dans le sol ou tout autre indice approximant la satisfaction de la demande d'évapotranspiration. Le modèle de production de biomasse simplifié qui en découle, s'avère suffisant pour rationaliser les actions à entreprendre d'urgence dans cette zone qui subit les rigueurs de l'aridité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- BILLE (J.C.) - 1977 - Végétation et productivité de 5 sites sahéliens au Sénégal.
Doc. Tech. Div. Sc. ILCA, Addis-Abeba, 25 p. ronéo.
- CLAUDE (J.) et al. - 1978-1981 - Etude hydrologique de sept bassins versants alimentant la Mare d'Oursi.
Rapports de Camp. 1976-1981.
- CORNET (A.) - 1981 - Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliens au Sénégal.
Thèse doc. ing. U.S.T.L., Montpellier, 353 p.
- DIARRA (L.), BREMAN - 1975 - Influence de la pluviométrie sur la production des pâturages.
Actes col. Bamako (Mali) Invent. et cart. des pâturages trop. afric., 3-8 mars 1975, 171-174.
- FRANQUIN (P.), FOREST (F.) - 1977 - Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique.
Agron. Trop., 23, 1, 7-11.
- GROUZIS (M.) - 1979 - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute-Volta).
DGRST-ORSTOM, 59 p., 15 tabl., 17 fig.
- GROUZIS (M.), SICOT (M.) - 1980 - Une étude phénologique de population d'espèces ligneuses sahéliennes. Influence de quelques facteurs écologiques.
Com. Symp. sur les fourrages ligneux en Afrique. Addis-Abeba, 8-12 avril 1980, 11 p., fig.
- HENIN (S.) - 1944 - in A. DEMOLON. Dynamique du sol, 1966.
- JOLY (F.), DEWOLF (Y.), RIOU (G.) - 1980 - Le bassin de la Mare d'Oursi. Etude géomorphologique et géodynamique. Contraintes naturelles.
Univ. Paris VII, 65 p. + 1 carte.
- KOWAL (T.M.), KASSAM (A.H.) - 1977 - The agricultural ecology of Savanna, a study of Savanna of West Africa Oxford.
Oxford University Press.
- LAMBERGEON (D.) - 1981 - Possibilités de déterminer des probabilités de sécheresse et de les utiliser pour prendre des décisions.
12 p., multigr.
- LE HOUEROU (H.N.), HOSTE (G.H.) - 1977 - Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean Basin and in African Sahelo-sudanian zone.
J. of rangeland management. 30, 3, 181-189
- LEPRUN (J.C.) - 1977 - Esquisse pédologique à 1/50.000 des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols.
DGRST-ORSTOM, 53 p., 1 carte h.t.
- LEVANG (P.), GROUZIS (M.) - 1980 - Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la Mare d'Oursi Haute-Volta.
Acta Oecologia/oecol. Plant. vol. 1, (15), n° 3; 231-244.
- SICOT (M.) - 1980 - Déterminisme de la biomasse et des immobilisations minérales de la strate herbacée dans les parcours naturels sahéliens.
Cah. ORSTOM, Sér. Biol. 42, 9-24.

- SICOT (M.), GROUZIS (M.) - 1981 - Pluviométrie et production des pâturages naturels sahéliens. Etude méthodologique de la production fréquentielle du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta).
ORSTOM-Ouagadourigou, Rapp. multigr. 33 p.
- TOUTAIN (B.) - 1976 - Notice de la carte des ressources fourragères au 1/50.000.
DGRST-LEMVT, 61 p., graph., 1 carte H.T.