

Bilan hydrique dans la région du Pool (République du Congo)

Gaston Samba, M'baye Diop

La région du Pool est située au sud de la République du Congo, dans un espace compris entre 2° 41'S et 5° 00'S de latitude, et les méridiens 13° 50' E et 16° 10' E (figure 1). C'est une région de collines qui s'interposent, d'une part, entre le plateau des Cataractes au sud et les plateaux Batéké au nord et, d'autre part, entre les plaines développées plus à l'ouest par le fleuve Niari et la vallée drainée par le fleuve Congo à l'est. L'agriculture, exclusivement pluviale, y représente la seule ressource pour la majorité de la population. Des études climatologiques ont montré une importante variabilité spatio-temporelle des précipitations [1], difficile à interpréter pour des applications agricoles, de sorte que le bilan hydrique devient indispensable à une étude agro-climatologique. Au Pool, l'excès d'eau peut asphyxier les cultures quand le drainage se fait mal, tandis que les déficits créent des contraintes hydriques avec, dans les deux cas, une diminution des rendements des cultures. Le déficit d'alimentation hydrique, qu'on associe mal au milieu tropical humide, est bien réel dans le Pool [2]. Notre étude sur des bilans hydriques en milieu tropical humide constitue un point de départ pour l'optimisation du calendrier agricole.

G. Samba, M. Diop : Centre de recherches de climatologie, UPRESA 5080, CNRS « Climatologie de l'espace tropical », Université de Bourgogne, 6, bd Gabriel, 21000 Dijon, France.

Tirés à part : G. Samba

Données et méthodes

Les données climatiques mensuelles (précipitations, températures, insolation, etc.) utilisées ont été obtenues auprès de la direction de la Météorologie nationale du Congo, sur la période 1950-1991. Elles nous ont permis de calculer le bilan hydrique dont le principe repose sur la différence entre les entrées (précipitations) et les sorties (évaporation, écoulement, infiltration profonde et transpiration). Une estimation du bilan hydrique peut être obtenue à partir de la compa-

raison des valeurs d'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) [3] servant de base aux études agroclimatologiques [4] (encadré).

Bilans hydriques potentiels (BHP) mensuels

Du point de vue climatique, le bilan hydrique potentiel est la variable indica-

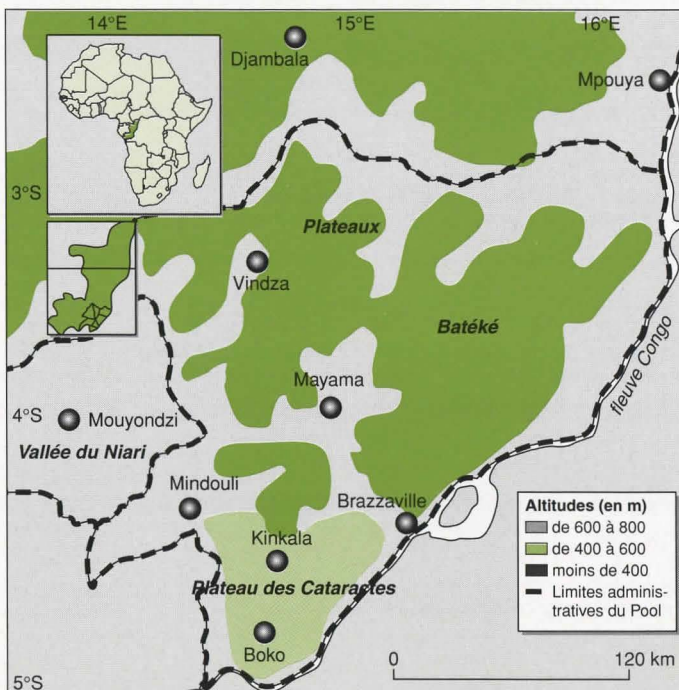


Figure 1. Localisation de la région du Pool : les grandes unités morphologiques et les différentes stations utilisées.

Figure 1. Location of Pool region : morphological features and stations used.

Différents paramètres requis pour l'évaluation du bilan hydrique

• Bilan hydrique

L'expression utilisée pour le calcul des bilans hydriques est [5] :

$$P - ETR - r - dr - dRU = 0$$

P : précipitation ; ETR : évapotranspiration réelle ; dRU : variation de la réserve utile du sol de chaque période de temps considérée ; r : ruissellement ; dr : drainage profond.

• Précipitations (P)

Les précipitations mesurées à partir d'un pluviomètre présentent l'avantage d'être estimées séparément des autres termes du bilan hydrique (ETP, ETR et RU du sol). Elles peuvent cependant être sujettes à des erreurs liées à la mesure par des personnes non qualifiées, au défaut ou au déplacement des pluviomètres, ou, encore, à une estimation pendant des périodes de trouble.

• Évapotranspiration réelle (ETR)

L'ETR est l'évaporation qui se produit effectivement au-dessus d'une couverture végétale, l'apport d'eau étant constitué par les seules précipitations. Elle est fonction de la quantité d'eau disponible, du pouvoir évaporant de l'air et de la capacité de rétention du sol. Dans le cas d'un sol bien alimenté en eau, l'ETR est supposée égale à l'ETP ; sinon $ETR = P - dRU$.

• Évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle est « l'association de l'évaporation de l'eau à partir de toutes surfaces et de la transpiration provenant des plantes [6] ». La fourniture d'eau au substratum terrestre doit être illimitée [7, 8]. L'ETP est mesurée sur des cases lysimétriques ou estimée par des formules mathématiques prenant en compte les variables climatiques (formules d'ajustement statistique empirique ou formules procédant par raisonnement physique).

La formule de Turc [9] se classe dans la première catégorie. Au Cameroun, elle sous-estime l'ETP à cause de la non-prise en compte du vent, surtout pour des périodes de l'année où la valeur de celui-ci est élevée [10]. Cependant, la vitesse du vent est relativement faible dans la région du Pool. La formule de Turc est adéquate en climat tropical [11] et, outre sa simplicité, elle « résiste à une application généralisée si l'on n'exige pas une très grande précision [12] » et permet de calculer l'ETP pour un grand nombre de stations. La formule de Turc s'avère alors adéquate pour donner une vue générale de l'évolution spatio-temporelle du bilan hydrique potentiel dans la région du Pool.

Les valeurs d'ETP, mesurées [12] et calculées à partir de la formule de Penman corrigée par la FAO et la Météorologie nationale du Congo et de la formule de Turc, sont identiques entre janvier et mai. Celles obtenues par la formule de Turc restent plus proches de l'ETP mesurée entre septembre et décembre (*figure 2*), ce qui suggère qu'elle peut être valablement utilisée dans la région du Pool. Dans le cas où l'humidité relative moyenne est supérieure à 50 % [8], Turc propose :

$$ETP = K \frac{t}{t + 15} [\lg a (0,18 + 0,62 \frac{h}{H}) + 50]$$

avec : K = 0,013 n (n : nombre de jours de la période considérée) ; t : température de l'air sous abri en °C de la période considérée ; lga : radiation solaire directe moyenne en l'absence d'atmosphère ; h : durée d'insolation effective en heures et 10^e ; H : durée astronomique moyenne du jour en heures et 10^e.

• Réserve utile (RU)

C'est la quantité d'eau du réservoir d'un sol pouvant être plus ou moins facilement utilisée par les racines d'une plante [13]. Sa valeur atteint 150 mm pour les sols argilo-sableux du secteur sud du Pool (Boko-Kinkala), contre 200 mm dans les sables des plateaux Batéké (M'pouya, Djambala et Brazzaville).

L'évolution de la réserve est suivie selon un modèle d'épuisement progressif de la RU [3, 14].

$$\ln RU_t = \ln RU_0 - (aZ)$$

avec : ln : logarithme ; RU_t : état de la réserve à l'instant t, à la fin d'un mois ; RU₀ : réserve utile des sols atteinte à la fin de la saison humide en fonction du type des sols et de végétation ; Z : $\sum D_p$, D_p étant égale à P-ETP ; a : constante exprimée en fonction de la RU en mm (0,00505 pour RU de 200 ; 0,00632 pour RU de 1 500 ; 0,00824 pour RU de 125 ; 0,0104 pour RU de 100 ; 0,0141 pour RU de 75 et 0,0211 pour RU de 50).

Different parameters requested to evaluate water balance

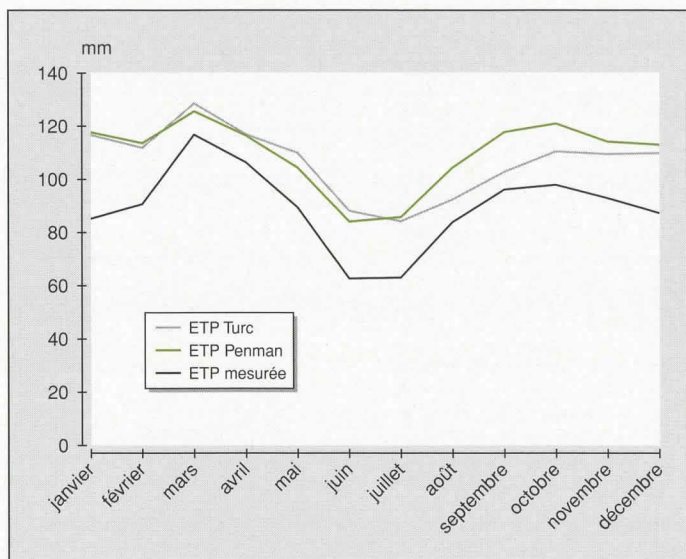


Figure 2. Comparaison de l'ETP mesurée (d'après Riou C. [12]) et de l'ETP calculée (par la FAO selon l'équation de Penman et par nous selon la formule de Turc).

Figure 2. Comparison of PET values measured and those calculated by FAO (using the Penman equation).

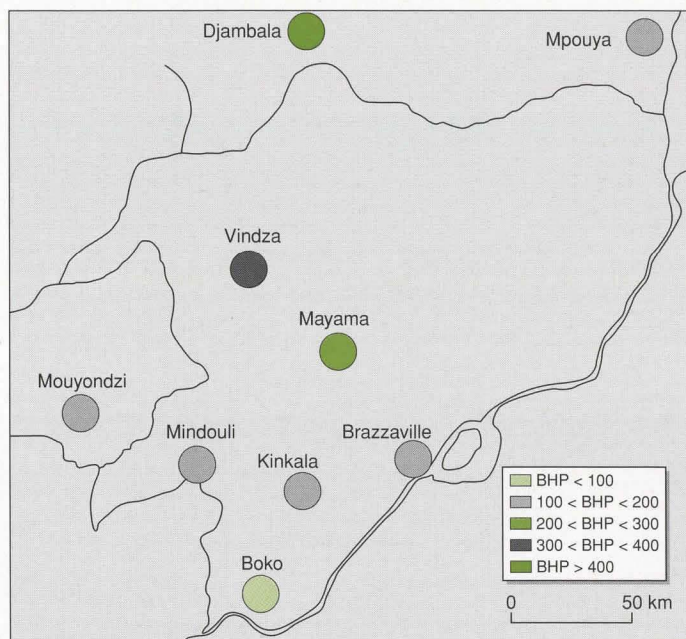


Figure 3. Bilan hydrique potentiel annuel de la région du Pool (en millimètres).

Figure 3. Yearly potential water balance in the Pool region (millimeters).

trice la plus pertinente du déficit hydrique [15]. Il est obtenu par la différence entre la pluie et l'ETP. L'analyse de la *figure 3* montre que le BHP est toujours excédentaire à l'échelle interannuelle ; toutefois, les excédents sont nettement plus faibles dans le Sud comparativement au Nord où les précipitations sont plus abondantes. Cette approche globale ne fait pas ressortir les nuances intermensuelles alors que, selon l'époque de l'année, le BHP peut être très différent (*figure 4*).

En moyenne, la saison sèche, de juin à septembre, est déficitaire dans toute la

région (- 281 mm entre 1950 et 1991). Pour la même période, le plateau des Cataractes accuse un déficit de 312 mm. Pendant la première saison des pluies (*Ntomb*), les excédents du BHP sont faibles sur le plateau des Cataractes et élevés dans les régions septentrionales (plateaux Batéké). Alors que ces excédents diminuent sur le plateau des Cataractes en janvier/février, ils augmentent légèrement au cours de la saison de mars/mai (*Ndoolo*).

Les mois de novembre et d'avril sont excédentaires à la fréquence de 8 années sur 10 dans l'ensemble de la région, sauf

pour les stations de Brazzaville et M'pouya où le mois d'avril reste déficitaire. Les mois de mai à septembre, de janvier et de février sont toujours déficitaires. En revanche, à la fréquence de 2 années sur 10, le BHP est excédentaire entre octobre et mai, et déficitaire entre juin et septembre. Partout, la médiane et la moyenne sont excédentaires d'octobre à mai et déficitaires de juin à septembre. La station de Djambala (la plus arrosée avec 2 050 mm/an et l'une des plus fraîches) présente une situation exceptionnelle avec un bilan positif entre octobre et mai et négatif entre juin et août/septembre.

Il ressort de ces résultats que, bien qu'étant une région bien pourvue en eau, le Pool n'est pas épargné par la sécheresse, avec une forte occurrence de mois déficitaires à la fréquence de 8 années sur 10.

Déficience hydrique (DE)

De façon générale, dans la région du Pool, la période d'excédent hydrique concerne les mois d'octobre à mai, exception faite de Boko où cette période concerne les mois de novembre à avril. Le mois d'octobre marque le début de la recharge de la RU, et les mois de juin ou juillet le début de la sollicitation de celle-ci par l'évapotranspiration réelle. En fonction de la valeur de l'ETR et de l'ETP, on peut calculer la déficience hydrique ($DE = ETP - ETR$), qui est un indicateur permettant d'évaluer l'intensité de la sécheresse [16] dans un milieu réputé pour sa pluviométrie relativement abondante.

La *figure 5* représente la déficience hydrique mensuelle des différentes stations utilisées. À partir des indices de Mounier [3] auxquels nous avons apporté des ajustements statistiques, compte tenu du contexte climatique équatorial du Pool, nous avons défini :

- un mois de faible déficience : ($DE < 25$ mm/mois) où l'offre climatique ne satisfait plus la demande (déficit d'évaporation $ETR < ETP$) ;
- un mois sub-sec : ($25 \leq DE < 50$ mm/mois) au cours duquel commence la sollicitation de la réserve utile ; à ce seuil de déficience, l'épuisement de la réserve utile devient plus important ;

• un mois sec :

($50 \leq DE < 80$ mm/mois) où la réserve utile commence à atteindre ses valeurs minimales ; la sécheresse, très prononcée, se caractérise par des fentes de dessiccation sur le sol et une perte maximale de feuilles chez les arbres ;

• un mois hypersec :

($DE \geq 80$ mm/mois) où l'eau dans le sol est difficilement extraite par les racines des plantes.

La période d'octobre à mai étant caractérisée par un bilan hydrique potentiel positif, nous recherchons les périodes de déficience hydrique entre juin et septembre. L'analyse de la situation moyenne montre que les faibles déficiences sont observées pendant le mois de juin entre Djambala et Mindouli, tandis que la bordure orientale et méridionale de la région est sub-sèche, de même d'ailleurs que la vallée du Niari (figure 5).

Le mois de juillet est sub-sec partout, exception faite du Pool méridional et de M'pouya. Boko est hypersec ($DE = 98$ mm), alors que M'pouya et Kinkala sont secs ($DE = 63$ et 59 mm respectivement).

En août, une période sèche règne sur tout le Pool, Djambala restant toutefois sub-sec ($DE = 44$ mm).

En septembre, la région se divise en deux grands ensembles homogènes : sur la moitié nord, le mois est sub-sec, alors qu'il est sec dans le sud. Boko demeure sub-sec en octobre, alors que le reste de la région a entamé un bilan hydrique potentiel positif.

À la fréquence de 8 années sur 10, on observe une faible déficience hydrique sur toute la région en juin (figure 5). En juillet, toute la région présente une DE comprise entre 25 et 50 mm. Seul l'extrême Sud a des valeurs plus élevées : Boko est hypersec ($DE = 90$ mm) et Kinkala sec ($DE = 55$ mm). Août est faiblement déficitaire à Djambala, subsec à M'pouya et sec dans tout le reste de la région. Septembre se caractérise par trois groupes spatiaux homogènes : au nord de Vindza, le bilan hydrique potentiel est positif, entre Vindza et Kinkala le mois est sub-sec, la zone située au sud de Kinkala devient sèche ($DE = 68$ mm à Boko) (figure 5).

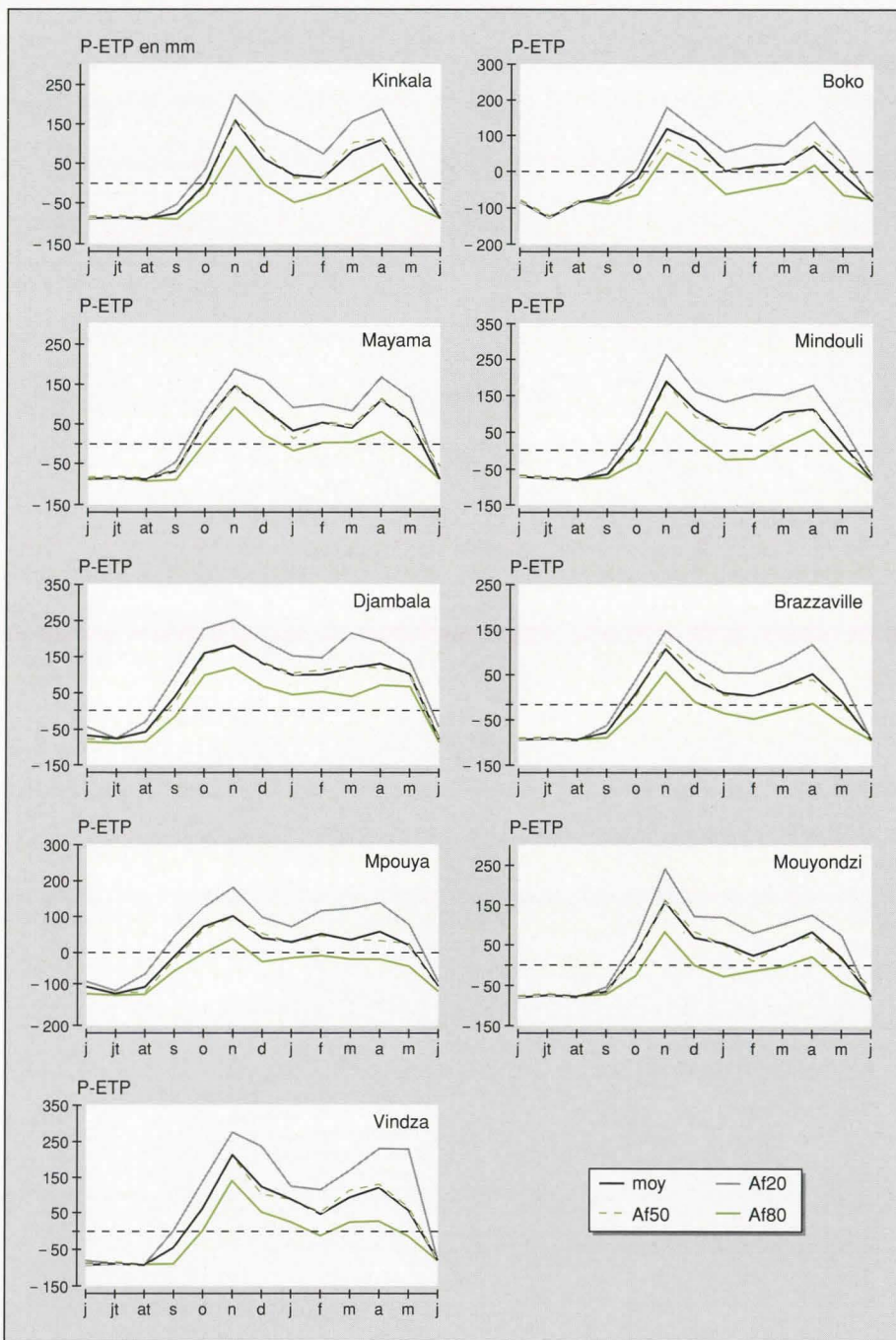


Figure 4. Évolution moyenne et fréquentielle du bilan hydrique potentiel mensuel au Pool ; moy : valeurs observées en moyenne ; Af20, Af50 et Af80 : valeurs observées respectivement à la fréquence de 20, 50 et 80 %.

Figure 4. Mean and frequency variations in the monthly potential water balance for the Pool region ; moy : means ; AF20, AF50 and AF80 : values obtained at 20%, 50% and 80% frequency, respectively.

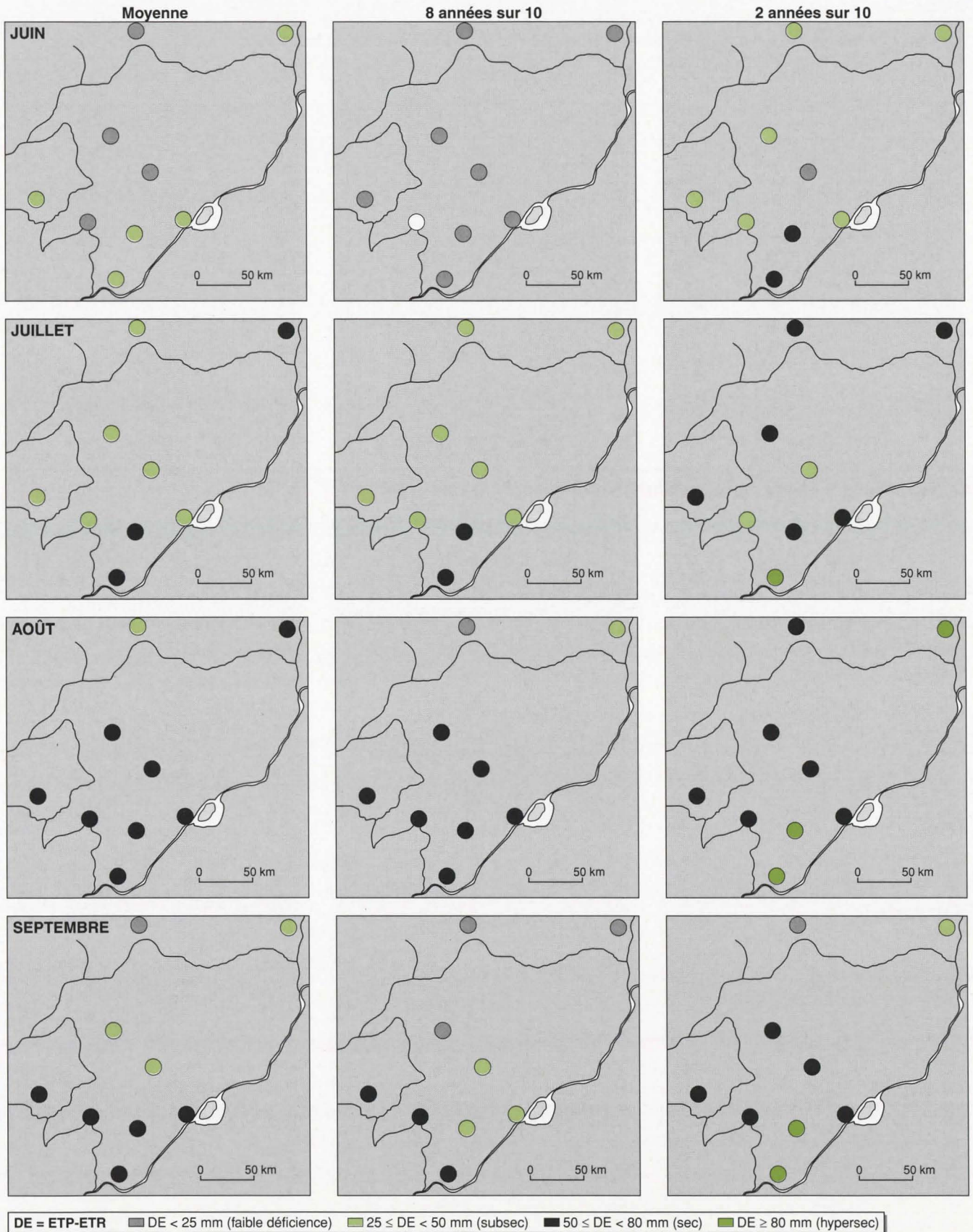
Conclusion

L'approche du bilan hydrique montre l'existence d'une période de déficit

hydrique dans la région du Pool avec l'accroissement des déficits hydriques et le raccourcissement de la période excédentaire 8 années sur 10, le risque de déficit étant plus élevé entre janvier et février

Figure 5. Variabilité spatiale de la déficience hydrique au Pool.Pool.

Figure 5. Spatial water deficit variability in the Pool region.



Tableau

Précipitations mensuelles et évapotranspiration (ETP) moyennes en mm (1951-1990)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Brazzaville	P	149	136	173	194	117	6	2	4	33	141	251	179
	ETP	117	112	129	117	109	84	85	93	103	111	110	110
Boko	P	113	127	144	183	94	3	0	4	30	87	225	192
	ETP	113	108	123	110	104	83	133	86	96	106	105	106
Kinkala	P	134	125	212	230	114	4	1	2	25	110	267	176
	ETP	114	111	127	116	108	91	86	89	98	106	108	109
Mindouli	P	172	163	226	226	112	8	2	1	20	122	286	216
	ETP	107	104	122	111	97	78	75	80	85	96	99	101
Mouyondzi	P	163	129	172	196	118	3	1	2	20	122	253	170
	ETP	107	104	122	111	96	78	75	81	85	96	99	100
Vindza	P	187	144	199	120	157	16	4	6	48	169	311	217
	ETP	105	102	112	106	102	97	95	97	94	97	96	97
M'pouya	P	150	166	169	178	146	28	8	36	112	190	212	162
	ETP	122	114	128	122	120	120	123	129	118	120	112	117
Djambala	P	203	200	230	237	202	29	14	39	135	257	277	232
	ETP	104	102	113	106	102	98	97	97	94	97	95	96

Monthly rainfall and mean potential evapotranspiration (PET) (1951-1990)

sur la période 1950-1991. Les plateaux Batéké ont un bilan hydrique plus favorable, contrairement au plateau des Cataractes où les déficits sont plus fréquents et plus longs.

La déficience hydrique est faible sur l'ensemble du Pool en juin, mais entre juillet et septembre, 8 années sur 10, la déficience peut être élevée, notamment sur le plateau des Cataractes et dans le sud des plateaux Batéké.

Le présent travail étant fondé sur une comparaison P/ETP, une estimation

excessive de l'ETP dans la formule de Turc [9] (*encadré*) modifierait le bilan hydrique dans le sens de l'aridité. Nos résultats doivent donc être considérés comme fournissant une vue générale de l'évolution spatio-temporelle du bilan hydrique de la région de Pool.

En perspective, la détermination des périodes déficitaires ou excédentaires et la mise en évidence de leur intensité peuvent être intéressantes dans la conduite des travaux agricoles et la gestion des bas-fonds pour les aménagements ruraux ■

Références

1. Maloba Makanga JD, Samba G. Organisation pluviométrique de l'espace Congo-Gabon. *Sécheresse* 1997 ; 8 : 39-45.
2. Samba-Kimbata MJ. Les contraintes bioclimatiques dans la région du Pool au Congo. *Publication de l'Association internationale de climatologie* 1992 ; 5 : 125-32.
3. Mounier J. *Données quantitatives : bilan hydrique, bilan hydrologique ; dynamique de l'eau et télédétection QA 94*, 1994 : 133-57.
4. Statyer RO. The use of soil water balance relationships in agroclimatology. Méthodes agroclimatologiques. In : *Actes du colloque de Reading*, UNESCO, Paris, 1968 : 73-87.
5. Fraquin P. Analyse agroclimatique en régions tropicales. Méthode des intersections et période fréquentielle de végétation. *Agron Trop* 1973 ; 6-7 : 665-82.
6. Chang JH. Étude de l'évapotranspiration et du bilan hydrique. *Erdkunde Dtsch* 1965 ; 19 : 41-150.
7. Pédélaborde P. Les bilans hydriques. *Cahiers de géographie du Québec* 1968 ; 12 : 5-23.
8. Brochet P, Gerbier N. *L'évapotranspiration : aspect agroclimatologique, évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle*. Monographie n° 65 de la Météorologie nationale, Paris, 1974 ; 97 p.
9. Turc L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Ann Agron* 1961 ; 12 : 13-51.
10. Lecarpentier C. L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. *Ann Géogr* 1975 ; 463 : 257-74 et 464 : 385-413.

Summary

Water balance in the Pool region (Republic of the Congo)

G. Samba, M. Diop

A water balance analysis (1951-1990) revealed that water deficit is a real problem in the Congolese equatorial area. On average, the potential water balance was found to be negative during the dry season in the whole Pool region (southern Congo), while positive values were noted during the first rainy season. In 8 years out of 10, positive values were recorded at Brazzaville and M'pouya stations, whereas the water balance was negative in all other regions. The water deficit patterns in September differed in subarid northern areas and arid southern areas. Our results highlighted the spatial and temporal distribution of the water potential, which be useful for should enhancing management of lowlands and the cropping calendar.

Cahiers Agricultures 2000 ; 9 : 47-53.

Résumé

Sur la période 1951-1990, le bilan hydrique potentiel est négatif en moyenne pendant la saison sèche de juin à septembre dans toute la région du Pool, située au sud de la République du Congo, alors que des valeurs positives sont observées au cours de la première saison des pluies. Pour 8 années sur 10, les stations de Brazzaville et de M'pouya affichent un bilan négatif, alors que tout le reste du pays connaît un bilan positif. L'évolution de la déficience hydrique pendant le mois de septembre permet de distinguer la moitié du nord (où le mois de subsec) de la moitié sud (où il est sec). Nos résultats précisent la répartition spatiale du potentiel hydrique et devraient permettre une meilleure gestion des bas-fonds ainsi que du calendrier agricole.

11. Santiago A, Suchel JB. Les bilans hydriques au Cameroun : essai de synthèse cartographique. *Cahier du Centre de recherches de climatologie de Dijon* 1990 ; 13 : 105-38.

12. Riou C. *La détermination de l'évaporation. Application à l'Afrique centrale*. Mémoire de l'ORSTOM, n° 80, Paris, 1975 ; 230 p.

13. Jacquart C, Choissel E. Un modèle de bilan hydrique simplifié à deux réservoirs utilisable en agrométéorologie. *La Météorologie* 1995 ; 8^e série : 29-44.

14. Thornthwaite CW, Mather JR. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Concerton (New Jersey) : Drexel Institute of technology, 1957 ; 311 p.

15. Choissel E. L'analyse spatiale du bilan hydrique en agroclimatologie. *La Météorologie* 1992 ; 8^e série : 31-42.

16. Dubreuil V. La sécheresse dans la France de l'Ouest : une contrainte climatique trop souvent oubliée. *Sécheresse* 1997 ; 8 : 47-55.