

La description des milieux naturels, de leurs ressources végétales, du climat qui les conditionne et de leur occupation par l'homme, met bien en évidence les caractères sahéliens de la région étudiée, marquée par une forte aridité exacerbée par une longue saison sèche de neuf mois et par l'irrégularité des pluies qui influe aussi bien sur les évolutions géodynamiques, phytoécologiques et agropastorales des milieux que sur le mode vie des populations.

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

La mare d'Oursi est située dans l'Oudalan au nord du Burkina Faso. Son bassin versant s'étend entre les parallèles 14° 33' et 14° 41' nord et entre les méridiens 0° 26' et 0° 40' ouest (figure 1).

Ce lac pérenne, en années de pluviométrie normale, est accessible à partir de Ouagadougou (360 km) par deux itinéraires routiers non revêtus et de praticabilité parfois difficile : le premier passe par Kaya, Dori et Gorom-Gorom ; le second par Kongoussi, Djibo, Aribinda et Déou.

La zone d'étude englobe la totalité du bassin versant de la mare d'Oursi (263 km²) et s'étend plus ou moins au sud (jusqu'à Gorom-Gorom et Saouga) au nord-est (mares de Ganadawri et Yomboli, pâturages d'Eraf N'aman) ou à l'ouest (Déou-Bidi) selon que les différentes disciplines scientifiques ont poussé leurs investigations jusqu'aux limites des unités de paysages ou de la zone d'endodromie centrée sur la mare d'Oursi.

Le bassin versant de la mare d'Oursi reste cependant le cadre principal des études et observations de terrain ; c'est là qu'on a été implantés les dispositifs de mesures (bassins versants représentatifs, parcelles phytoagronomiques, champs de culture...) ; la diversité des situations rencontrées à l'intérieur de ce bassin versant offrant toutes les possibilités d'effectuer des observations représentatives de toute la région.

LES UNITÉS DE PAYSAGE

Le bassin versant de la mare d'Oursi repose sur un socle précambrien incliné faiblement vers le nord, barré par un cordon dunaire orienté d'est en ouest, typique de la morphologie sahélienne de la boucle du Niger. Ce cordon constitue la limite nord du bassin et offre un barrage naturel aux écoulements, créant la mare d'Oursi. Le même phénomène d'endoréisme se retrouve pour les mares voisines de Tin Edjar, à l'ouest, et de Yomboli, à l'est. Centrée sur le synclinal birrimien de Gouba (DELFOUR et JEANBRUN, 1970 ; PION, 1979), la géologie du bassin est dominée par une altération plus ou moins développée. Des reliefs de faible amplitude mais parfois vigoureux et d'origines variées, encadrent le bassin à l'ouest, au sud et à l'est :

- plateaux cuirassés ferrugineux de Gouba, Tchalol, Kouni-Kouni et Tazawat,
- granites en boules de Déou et affleurements de Gountouré,
- massifs de gabbros et localement de magnétite à Tin Edjar, Kolel et Warga.

Le paysage de la mare d'Oursi, d'apparence monotone et peu vigoureuse aux yeux d'un voyageur pressé, renferme en fait une étonnante diversité de milieux et de faciès écologiques, étudiés en détail par plusieurs équipes de chercheurs sous l'angle de leur spécialité, ainsi :

- JOLY, DEWOLF et RIOU (1980) distinguent plus de 20 faciès géomorphologiques,
- LEPRUN (1977) classe les sols en 17 unités,
- TOUTAIN (1976) décrit 10 grandes classes d'associations sol-végétation,
- LOINTIER et LORTIC (1984) isolent par classification multispectrale de données satellitaires 10 thèmes d'état de surface (carte 1 h.-t.).

Nous nous sommes appuyés sur ces classifications fort complexes et interdépendantes pour distinguer quatre grandes familles de paysages qui compartimentent cet ensemble :

- le système dunaire,
- les talwegs et les dépressions,
- les reliefs et les buttes,
- les grand glacis.

La description simplificatrice de ces unités rend compte schématiquement du fonctionnement de ces écosystèmes et de la perception qu'en permet la télédétection satellitaire. La classification par états de surface, pour des terrains généralement peu couverts, restitue en effet des groupements qui correspondent à ces quatre grands types de paysages. Chaque composante de ces paysages est décrite de façon détaillée par les auteurs cités ; nous en avons extrait les éléments qui dessinent leurs principales caractéristiques.

LE SYSTÈME DUNAIRE

Le grand cordon dunaire au nord du bassin versant de la mare d'Oursi correspond à un erg ancien fixé et plus ou moins pédogénésé, plaqué sur le socle précambrien. Fragile et soumis à une forte pression anthropique, ce système est par endroit remanié et dégradé jusqu'à revenir à l'état de dune vive (autour du village d'Oursi). Adossés aux buttes et reliefs, des sables éoliens forment assez fréquemment d'épais placages sableux sur piémont (Gouba, Tchalol, Warga, Kolel).

Les sols sont identifiés comme sols brun-rouge subarides sur sables éoliens pauvres en argile et limon (erg récent) ou comme sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur sur sable éolien (erg ancien).

Le système dunaire apparaît sur la carte 1 avec les thèmes 1 (sables vifs) et 8 (sables fixés). Ils couvrent 12 % de la superficie du bassin versant de la mare d'Oursi (*stricto sensu*).

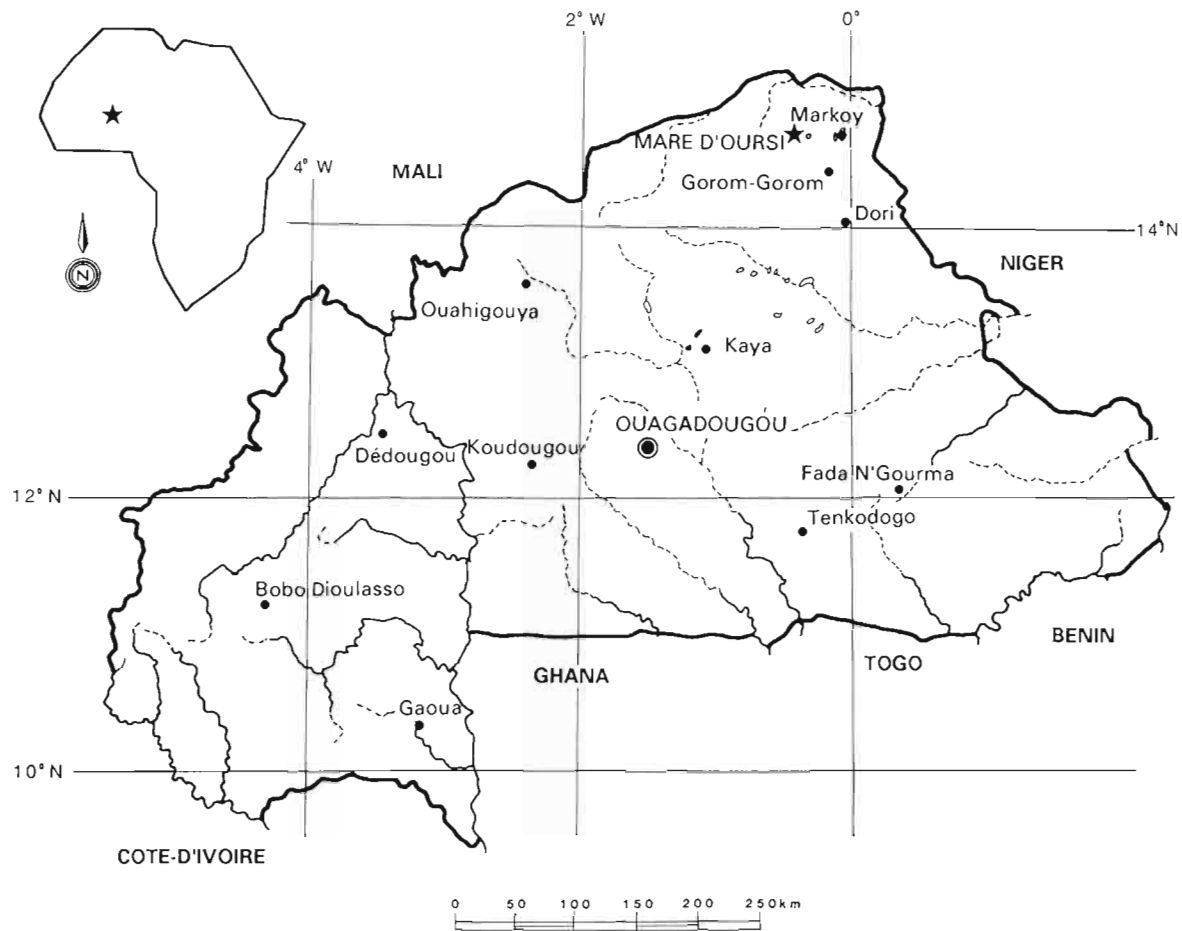


Figure 1 - La situation de la mare d'Oursi, Burkina Faso

Le ruissellement est très médiocre sur ces sols sableux et le réseau hydrographique inexistant. Sur l'erg ancien, on peut observer une alternance d'organisations superficielles distinctes : des plaques de sols nus recouverts d'une fine pellicule indurée et des recouvrements sableux. CHEVALLIER ET VALENTIN (1985) ont mis en évidence une différence de comportement à l'infiltration extrêmement importante d'une surface à l'autre.

LES TALWEGS ET LES DÉPRESSIONS

Cette deuxième entité est constituée par les marigots et la mare d'Oursi elle-même. L'orientation générale du réseau hydrographique est sud-ouest, nord-est, avant de converger dans la mare.

Ces talwegs et dépressions sont des zones de concentration des écoulements dans un réseau de chenaux désordonnés. Le lit mineur des marigots généralement bien marqué à l'amont y disparaît progressivement vers l'aval et évolue vers des bas-fonds inondables.

Cette entité est caractérisée par des vertisols et des sols hydromorphes minéraux peu humifères. Ils sont vite saturés et retiennent mal l'eau dans les argiles gonflantes où apparaissent, en saison sèche, les surfaces à fentes de retrait larges et profondes souvent présentées - à tort - par les médias comme illustration significative de la sécheresse sahélienne.

Les talwegs et les dépressions apparaissent sur la carte 1 en thèmes 9 (végétation dense) et 10 (mare). Ils couvrent 21% de la superficie totale du bassin versant de la mare d'Oursi (y compris la mare elle-même).

L'eau s'infiltré mal dans ces sols imperméables après fermeture des nombreuses fentes dès les premières pluies. Les flaques qui stagnent dans les dépressions du réseau dégradé sont très vite reprises par évaporation.

LES BUTTES ET LES RELIEFS

Les reliefs, collines et buttes, sont issus soit de roches basiques (gabbros, dolérites), soit de roches granitiques, soit de paléosurfaces cuirassées, puis disséquées. Ils encadrent le bassin de la mare, mais, çà et là, apparaissent quelques pointements isolés (Taïma, Jalafanka).

Les altitudes, bien que modérées, sont les plus élevées de l'Oudalan et le massif de Tin Edjar qui culmine à 518 m domine de plus de 200 m la cuvette de la mare d'Oursi.

Les massifs de Kolel et de Tin Edjar, riches en magnétites, ont fait l'objet de plusieurs prospections minières vers 1970 qui n'ont pas donné de suite.

Les sols sont identifiés comme sols minéraux bruts climatiques d'érosion sur cuirasses ferrugineuses et sur roches diverses. Pour une approche géologique et pédologique, il faut rappeler le travail de PION (1979) sur le massif de Kolel.

La carte 1 des états de surface par télédétection présente ces reliefs et buttes en thèmes 2 (buttes), 3 (altérations de cuirasse) et 4 (blocs de roches diverses). Ils couvrent 8 % de la superficie du bassin de la mare.

Les pentes et les piémonts sont soumis à une forte dynamique d'érosion et de ravinement. Le ruissellement y est intense localement et se concentre assez rapidement en ravines dont le développement est modéré par la brièveté des versants. À l'échelle du massif, de nombreuses fractures dues aux altérations font qu'une grande partie de ce très fort ruissellement s'infiltré ponctuellement et la part qui parvient au réseau hydrographique de plaine atteint un pourcentage nettement moins élevé.

LES GRANDES ZONES DE GLACIS

Le terme très général de glacis est une notion topographique désignant des paysages à surface relativement plane et de faible pente. Il englobe une grande variété de matériaux, d'évolutions et de dynamiques des modelés.

En schématisant, on peut subdiviser ces zones en deux formations typiques : d'une part, celle liée aux cuirasses ferrugineuses (formations allochtones des géomorphologues) et d'autre part, celle liée aux affleurements rocheux (altérites autochtones). La végétation y est très inégalement répartie allant de la brousse dense (" mouchetée " selon son aspect sur les photographies aériennes -- le " bush " des anglo-saxons), à de grandes plaques de sol nu sur lesquelles se développent des bandes d'accumulation sableuse éolienne. Quelques baobabs (*Adansonia digitata*) disséminés donnent du relief à ces paysages monotones.

Cette séparation en deux familles ne recouvre pas la même réalité chez les géomorphologues et chez les pédologues.

La cartographie des états de surface (carte 1 h.-t.) ne sépare pas ces deux formations et la classification multispectrale distingue, pour ces glacis, les thèmes 5 (épandage gravillonnaire), 6 (arènes granitiques, sables grossiers) et 7 (pellicule indurée). Ils couvrent 59 % de la superficie totale du bassin versant de la mare d'Oursi.

FORMATION LIÉE AU CUIRASSES FERRUGINEUSES

Les sols sont identifiés comme sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur, en association à des sols gravillonnaires, ou comme sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches, concrétions et à l'horizon éluvial bien développé sur arène granitique à texture grossière.

Ces glacis sont peu perméables et l'hydrodynamique y est réglée par les organisations superficielles (COLLINET *et al.* 1980). Drainés par un réseau hydrographique en arête, les ruissellements sous forte averse se produisent le plus souvent en nappe. Sous pluies simulées, on note l'apparition du ruissellement pour des hauteurs de précipitations faibles (5 mm au plus), quelle que soit l'intensité de l'averse.

FORMATION LIÉE AUX AFFLEUREMENTS ROCHEUX

Les sols sont bruns subarides vertiques sur matériaux argileux issus de granites ou de roches basiques et de granites en association à des sols bruns subarides modaux hydromorphes et localement à des sols gravillonnaires. On y trouve également des sols sur arènes, répartis en auréoles autour des affleurements rocheux, plus ou moins recouverts de pellicules de battance selon l'importance de la végétation.

Le comportement hydrodynamique est assez semblable à celui des formations précédentes. On peut cependant noter la présence de micronappes perchées (moins de 2 mètres de profondeur), piégées dans des dépressions de la roche mère remontant assez près de la surface.

DIVERSITÉ ET EMBOÎTEMENT DES UNITÉS DE PAYSAGES

Une illustration parlante de la diversité des faciès géo-pédo-morphologiques et écologiques et de l'emboîtement des compartiments de paysages est donnée par la coupe schématique d'un transect sud-nord du bassin versant de la mare d'Oursi (figure 2) que l'on pourrait situer comme allant du sommet du massif de Kolel à la dune vive du village d'Oursi en passant par les pointements granitiques de Jalafanka.

Sous la coupe topographique, figurent les unités de sols et les formations végétales (d'après TOUTAIN, 1976) qui y sont associées ; ces formations sont décrites en détail au chapitre sur la végétation.

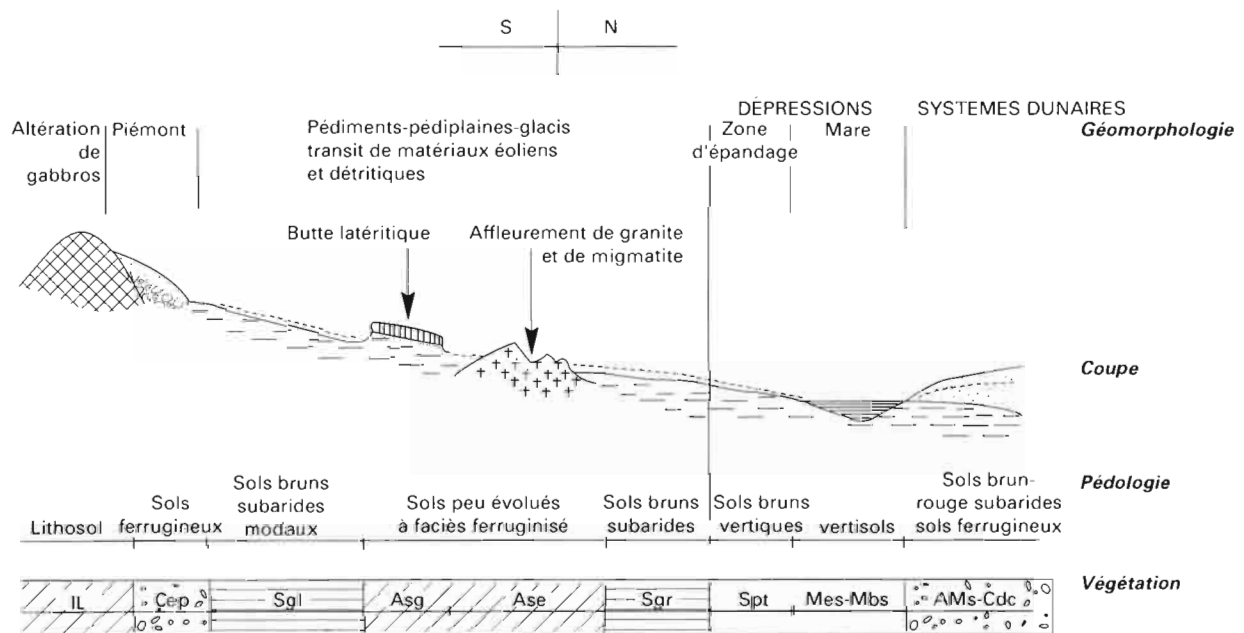


Figure 2 - Surface fonctionnelle actuelle du bassin de la mare d'Oursi et répartition des unités de sol et de végétation, le long d'un transect sud-nord (in GROUZIS, 1988).

Sur ce transect de 5 km environ, on traverse successivement les unités décrites plus haut :

- relief de gabbros altérés sur une grande profondeur,
- placage sableux éolien, propice à la mise en culture mais fragile, sur un piémont d'altérations où se sont développés les sols ferrugineux,
- grand glacis de transit où s'ancrent quelques buttes témoins surmontées de leur cuirasse latéritique et des affleurements granitiques,
- glacis de transition où l'on passe insensiblement des sols bruns subarides aux sols bruns vertiques et où le ruissellement se concentre puis s'étale en un réseau de chenaux et de mouilles jusqu'à la mare dont la bordure sud se différencie nettement du glacis par sa végétation arborée et ses vertisols inondables alors que sa bordure nord est constituée par le long cordon dunaire support de bons pâturages et de céréaliculture.

Ces principales unités de paysages, elle-mêmes hétérogènes et subdivisibles en nombreuses combinaisons d'associations, seront le cadre de référence des études sur le fonctionnement et les potentialités de production des phytocénoses de la région.

LE CLIMAT

LE RÉGIME CLIMATIQUE

Le régime climatique de l'Oudalan est typiquement sahélien, conditionné par les oscillations annuelles du front intertropical (FIT) qui représente la zone de contact entre l'air sec continental au nord-est et l'air humide de la mousson au sud-ouest.

Le passage du FIT à la latitude d'Oursi s'effectue généralement vers la mi-mai et son retour vers le sud a lieu à la mi-septembre, ce qui détermine une saison des pluies de trois à quatre mois sujette à de fortes irrégularités. Dans la longue saison sèche de neuf mois, on peut distinguer trois périodes :

- une période humide et chaude de mi-septembre à mi-novembre caractérisée par une remontée des températures après les pluies et une humidité relative importante ;
- une période sèche et fraîche de novembre à février avec des minima inférieurs à 10 °C et une faible humidité ;
- une saison sèche et chaude de mars à juin avec des maxima supérieurs à 43 °C et une nette remontée de l'humidité accompagnant le passage du FIT.

Ce régime climatique simple est caractérisé par une assez forte irrégularité liée aux fluctuations des circulations atmosphériques d'altitude (jet d'Est africain, JE ; jet d'Est tropical, JTE et flux de mousson). Les observations faites à la station climatologique de Jalafanka ont permis une analyse détaillée des facteurs du climat (CHEVALLIER *et al.*, 1985).

LES DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

La station climatologique de Jalafanka est située à 310 m d'altitude, par 14° 37' N et 0° 29' W, sur un glacis très dégagé à proximité du campement central et de la piste pour avions légers construits pour l'étude de la mare d'Oursi.

Cette station climatologique est la plus septentrionale de tout le Burkina et ses données sont en fait représentatives également d'une bonne partie du Gourma malien.

Dans ce qui suit, nous présentons une synthèse des principaux facteurs susceptibles de décrire et de

caractériser l'environnement climatique de la mare d'Oursi. Il va de soi que la situation même de la station climatologique de Jalafanka (plateau bien dégagé modérément arboré) fait que, si elle est à notre avis représentative des conditions climatiques régionales moyennes, elle s'écarte en revanche sensiblement à la fois des conditions climatiques au voisinage de la mare (couvert arboré plus dense, vent réduit, humidité plus forte et amplitudes thermiques réduites) et de celles observées sur les reliefs et particulièrement sur les cuirasses (absence de couvert végétal, vent violent, air plus sec et amplitudes thermiques exacerbées).

LES TEMPÉRATURES

Le tableau des valeurs moyennes mensuelles des températures maximales et minimales journalières, des températures à 6 h, 12 h et 18 h TU et des températures moyennes mensuelles différencie la saison fraîche à forte amplitude diurne (novembre à février) de la saison chaude (mars à juin) ; la saison des pluies est plus fraîche mais avec moins d'amplitude diurne alors que l'intersaison centrée sur octobre marque une nette remontée de toutes les valeurs.

TABLEAU IV
Températures moyennes mesurées à la station climatologique de Jalafanka durant la période 1976-1983

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
T max.	31,3	33,9	37,1	40,4	40,8	38,3	34,9	33,9	36,4	38,6	35,1	31,6	35,9
T min.	15,1	17,5	21,4	25,6	27,6	25,8	23,8	23,3	24,1	23,9	19,2	15,3	21,8
T 6 h	16,5	19,1	23,3	27,0	29,3	27,7	25,7	24,7	25,2	25,4	20,4	16,7	23,5
T 12 h	28,5	30,8	34,3	38,1	38,0	35,1	32,2	31,2	33,5	36,1	33,2	29,4	33,5
T 18 h	27,4	31,0	34,3	37,6	37,9	35,8	32,6	30,9	32,7	34,1	30,9	27,3	32,8
T moy.	23,6	26,3	30,0	33,8	34,4	32,6	30,1	28,6	30,3	31,0	27,6	20,8	29,4

On retiendra que les valeurs extrêmes observées à Jalafanka ont été de 45,7 °C le 8 mai 1983 et 7,6 °C le 26 décembre 1977 et que les maxima se produisent vers 15 h et les minima après le lever du jour (7 h).

L'humidité

Nous avons relevé les valeurs moyennes mensuelles de la tension de vapeur d'eau sous abri et de l'humidité relative mesurées à Jalafanka de 1976 à 1983.

Il faut remarquer l'extrême sécheresse de l'air des mois de novembre à mars et même avril (environ

TABLEAU V
Tension de la vapeur d'eau et humidité relative mesurées à Jalafanka de 1976 à 1983

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
Tension vapeur d'eau en mb	7,3	7,7	7,5	9,9	18,5	20,8	23,1	24,4	23,0	15,5	8,0	7,3	14,5
Humidité relative en %	24,3	22,4	17,5	19,5	35,4	44,5	53,5	62,4	53,6	31,8	21,3	23,0	34,1

11 hPa) avec des valeurs extrêmes inférieures à 3 hPa, à peine significatives quand elles sont obtenues avec un psychromètre à ventilation naturelle.

On observe une remontée des tensions de vapeur d'eau en fin de saison sèche (avril, mai, juin) qui culminent pendant la saison des pluies où les humidités relatives le matin varient de 80 % à 95 % avec apparition de rosées, mais descendent à 50 % en milieu de journée. En saison sèche, l'humidité relative peut descendre en dessous de 5 % dans la journée et dépasse rarement 30 % le matin.

LE VENT

Le régime des vents au sol est très lié au régime de la mousson et deux directions d'origine du vent sont prépondérantes avec une remarquable stabilité d'une année à l'autre :

- la première au nord-est et à l'est correspond à l'harmattan de saison sèche de novembre à avril,
- la seconde au sud-ouest et à l'ouest est celle du flux d'air humide de la mousson et prévaut de mai à octobre.

Les mois les plus venteux sont presque toujours juin et juillet alors qu'octobre et novembre marquent la fin de la saison des pluies et l'inversion du régime prévalant avec des vents plus faibles.

TABLEAU VI
Vitesse moyenne mensuelle et annuelle du vent. Directions prédominantes

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
Vitesses moyennes (m.s ⁻¹) période 1976-1983	2,7	2,8	2,4	2,8	3,6	4,1	4,1	3,1	2,5	2,2	2,2	2,4	2,93
Direction prédominante en % des observations (en 1981)	NE-E 73	E-NE 74	NE-E 56	E-NE8 58	SW-W 47	SW-W 67	SW-W 66	SW-W 63	SW-W 59	E-NE 55	NE-E 83	NE-E 83	- -

Les valeurs moyennes du tableau VI masquent des irrégularités dans l'intensité du vent (plus forte moyenne journalière 7,9 m.s⁻¹ en juin 1980) et les phénomènes paroxysmiques accompagnant les tornades - sèches ou accompagnées de pluies - du début de l'hivernage, où des pointes de vitesse supérieures à 35 m.s⁻¹ pendant 15 minutes ont été enregistrées.

DURÉE D'INSOLATION ET RAYONNEMENT GLOBAL

Ces données sont obtenues par héliographe à boule et par le calcul (CHEVALLIER *et al.*, 1985) et présentées dans le tableau VII :

- S₀ et S sont les durées d'insolation maximale et observée en heures et en dixièmes,
- G₀ et G, le rayonnement solaire global maximal à l'entrée de l'atmosphère et celui calculé par la formule $G = G_0 (0,25 + 0,56 S/S_0)$.

ÉVAPORATION ET ÉVAPOTRANSPIRATION

Nous avons rassemblé dans le tableau VIII les valeurs moyennes, exprimées en millimètres par jour, des évaporations mesurées à l'évaporomètre de Piche, sur bac classe A et sur bac Colorado enterré de type ORSTOM, ainsi qu'une estimation de l'évaporation sur la mare d'Oursi (POUYAUD, 1985), toujours pour la même période de 1976 à 1983.

TABLEAU VII

Durée d'insolation et rayonnement global

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
S ₀ heures et 1/10	10,8	11,1	11,5	11,9	12,2	12,4	12,3	12,1	11,8	11,4	11,0	10,8	10,9
S heures et 1/10	9,4	9,6	8,6	8,4	8,7	8,1	8,0	8,5	8,6	9,4	9,6	9,3	8,9
G ₀ J.cm ⁻² .j ⁻¹	2 961	3 263	3 582	3 768	3 835	3 852	3 820	3 787	3 697	3 466	3 137	2 891	3 505
G J.cm ⁻² .j ⁻¹	2 179	2 353	2 409	2 443	2 502	2 390	2 381	2 448	2 413	2 463	2 331	2 104	2 375

TABLEAU VIII

Évaporations mesurées et calculées

Évaporation mm.j ⁻¹	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total annuel mm
Piche	15,9	17,8	18,6	19,2	13,4	10,1	7,4	5,6	7,5	12,2	15,7	15,7	4 891
Bac classe A	15,1	18,0	20,2	20,6	19,2	15,4	12,2	10,3	10,5	13,9	14,6	13,9	5 694
Bac Colorado	11,7	13,5	15,5	16,4	16,3	14,4	11,7	10,4	10,9	13,0	12,2	11,1	4 818
Mare d'Oursi	7,0	7,5	8,6	9,1	9,4	9,5	8,7	7,7	7,3	7,9	7,8	7,0	2 920

TABLEAU IX

Moyennes mensuelles interannuelles de l'ETP

ETP Penman en mm.j ⁻¹	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
pour un albedo = 0,05	7,1	8,2	8,7	9,7	10,3	9,7	8,7	7,9	8,0	8,6	7,7	6,6	8,54
pour un albedo = 0,15	6,4	7,4	7,9	8,9	9,4	8,9	7,9	7,2	7,3	7,7	7,0	6,0	7,77

Les différences notables entre ces diverses approximations de l'évaporation sont dues en partie aux appareils et méthodes de mesures et en partie à la situation de la station de Jalafanka (glacis très dégagé et venté hors de l'influence de la mare) et aux particularités de la mare d'Oursi couverte de végétation presque en toute saison (valeur retenues de l'albedo = 0,15).

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est estimée par la formule de Penman la mieux adaptée aux régions sahéliennes (POUYAUD, 1985 ; CHEVALLIER *et al.*, 1985).

La moyenne interannuelle de l'ETP, pour un albedo égal à 0,15 correspondant à une végétation clairsemée, s'élève à 2 836 mm et situe le caractère d'aridité de la région avec un maximum très marqué en avril-mai et un maximum secondaire en octobre.

LA PLUVIOMÉTRIE

C'est le paramètre le plus important et le mieux suivi pour caractériser le régime climatique.

Trois postes pluviométriques servent de référence pour caractériser le régime pluviométrique de la région de l'Oudalan, mais l'hétérogénéité spatiale des pluies ainsi que l'hétérogénéité des périodes d'observations et de la qualité des mesures ne permettent pas de chiffrer des valeurs et tendances régionales du régime pluviométrique ni de situer correctement les valeurs observées à Jalafanka de 1976 à

1983 dans une série chronologique homogène (un essai d'homogénéisation par la méthode du vecteur régional de HIEZ [1977] n'a donné aucun résultat). Ces trois postes sont :

- Gorom-Gorom, situé à 40 km au sud-est d'Oursi, observé à partir de 1955,
- Markoy, situé à 70 km au nord-est, observé depuis 1955,
- Dori, situé à 100 km au sud - sud-est, observé depuis 1920 ce qui en fait son intérêt malgré un régime de précipitations plus abondant.

PLUIES ANNUELLES ET MENSUELLES

Le tableau X présente les moyennes interannuelles des précipitations mensuelles et annuelles aux trois postes de référence et à Jalafanka sur leurs périodes respectives d'observations.

TABLEAU X

Moyenne interannuelle des précipitations aux trois postes de référence et à Jalafanka

Postes	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
Gorom-Gorom													
26 ans 1955-1981	0	0	1	4	18	68	124	158	67	12	1	0	462
Markoy													
26 ans 1955-1981	0	0	1	4	12	59	106	143	64	14	0	0	402
Dori													
61 ans 1920-1981	1	1	1	5	25	64	139	177	88	17	1	0	535
Jalafanka													
8 ans 1976-1983	0	0,2	2	5,2	24,3	54,6	96,6	123,7	54,4	16,6	0	0	378

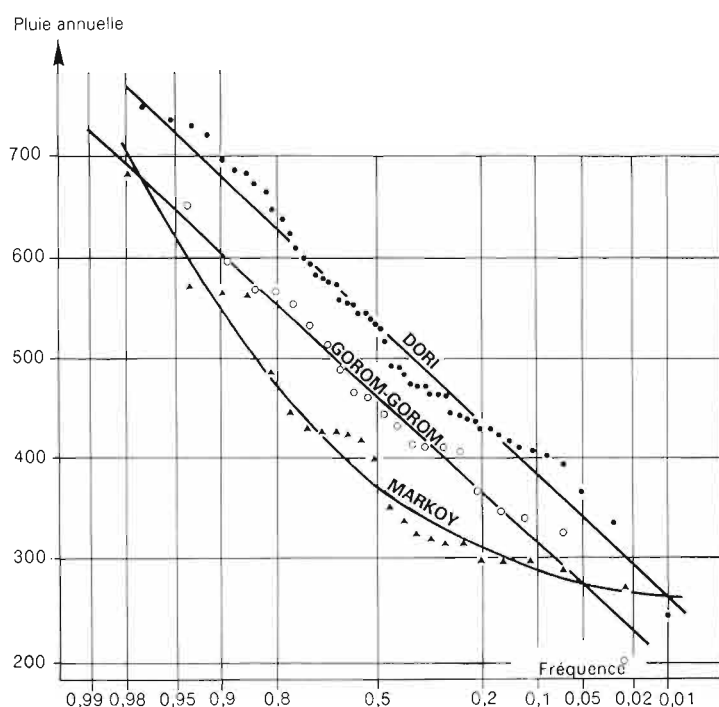


Figure 3 - Ajustement statistique des hauteurs de précipitations annuelles.

Il apparaît que la répartition mensuelle des pluies est très voisine pour les quatre postes avec une saison des pluies bien centrée sur les mois de juin à septembre avec un maximum en août.

On constate également que si les précipitations sont spatialement très hétérogènes, au point que les coefficients de corrélation des totaux pluviométriques annuels ne dépassent pas $r^2 = 0,42$, il existe une grande unité climatique régionale avec pour les trois postes de référence des écarts-types des échantillons de totaux annuels très voisins (respectivement 116 à Gorom-Gorom, 112 à Markoy et 118 à Dori) et une tendance homogène à une pluviométrie déficitaire depuis 1970 (coefficients de pluviosité inférieurs à 1 sauf en 1974 et 1978). Sans que l'on puisse reconstituer les observations antérieures à Jalafanka, on admettra que les ajustements statistiques effectués à Markoy avec une loi de PEARSON III donnent une bonne représentation du régime des pluies à Oursi (figure 3). Les valeurs de pluviométries mensuelle et annuelle correspondant à des fréquences remarquables sont indiquées au tableau XI.

TABLEAU XI

Pluviométries mensuelle et annuelle aux trois postes de référence

Périodes de retour (années)	Années sèches				médianes	humides			
	50	20	10	5		2	5	10	20
Gorom-Gorom									
P. annuelles	230	276	317	367	462	557	606	647	693
mai	0	0	2	6	15	28	36	44	54
juin	5	13	22	33	61	98	122	146	176
juillet	46	57	69	85	122	161	182	199	218
août	61	75	88	106	148	205	243	279	325
septembre	10	18	26	36	61	95	117	139	166
Markoy									
P. annuelles	266	276	288	309	375	478	551	620	708
mai	0	0	1	2	8	20	31	42	57
juin	2	10	17	26	53	86	108	129	157
juillet	22	33	45	62	101	145	169	190	213
août	83	90	98	108	134	172	199	225	263
septembre	24	27	32	39	58	86	105	123	145
Dori									
P. annuelles	295	343	385	436	535	633	684	726	774
mai	0	1	2	5	17	41	59	77	102
juin	11	15	20	28	53	93	120	146	180
juillet	49	63	76	94	134	180	207	231	258
août	57	81	103	128	177	226	252	273	297
septembre	19	29	38	51	82	123	150	176	210

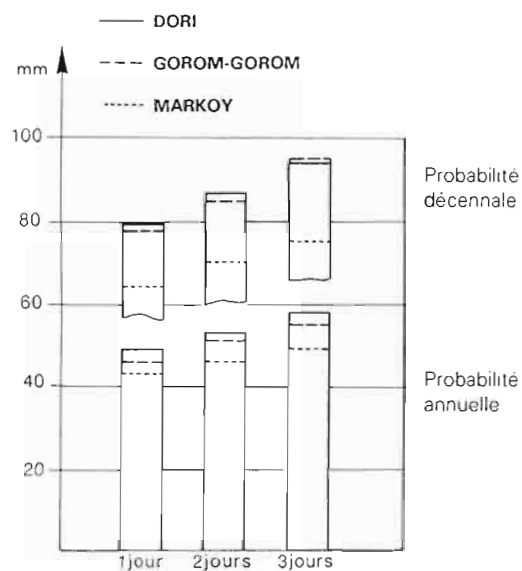
PLUIES JOURNALIÈRES

Il y a relativement peu de différence entre les hauteurs de pluie estimées pour un jour, deux jours et trois jours ; en effet, les épisodes pluvieux provoquant des pluies abondantes pendant plusieurs jours consécutifs sont rares au Sahel et l'hypothèse de l'averse tropicale unique identifiable à la pluie journalière sur 24 heures est la plupart du temps vérifiée (figure 4).

En simplifiant, trois grands types d'épisodes pluvieux peuvent être identifiés dans cette région climatique. On note que dans la plupart des cas, les fronts de précipitations arrivent du nord-est ou de l'est, beaucoup plus rarement de l'ouest, jamais du nord ou du sud.

1 - Les averses les plus violentes sont en général de courte durée et se produisent le plus souvent en début ou en fin de saison des pluies (mai, juin et septembre).

Figure 4 - Pluviométrie de un à trois jours consécutifs. Loi exponentielle généralisée.



Elles accompagnent le passage du front intertropical (FIT) qui oscille entre son avance vers le nord en début de mousson, puis son retour vers le sud à la fin de la saison des pluies. Les averses sont souvent précédées de vents de sable particulièrement spectaculaires (avril-mai-juin). Mais inversement, les vents de sable ne sont pas toujours suivis de précipitations notables. Ces tornades sont isolées et leur extension géographique est limitée.

- 2 - En milieu de saison des pluies (fin juillet-août), le FIT est installé et les lignes de grains s'étalant sur plusieurs centaines de kilomètres produisent des épisodes assez longs (plusieurs heures) d'intensité moyenne où se succèdent plusieurs corps d'averses. Ces " trains " d'averses peuvent s'observer sur un ou deux jours consécutifs.
- 3 - Enfin de petites pluies, fines et persistantes, particulièrement appréciées des agriculteurs, sont observées surtout en milieu de saison des pluies et exceptionnellement en dehors de la période d'hivernage. Ces averses ne sont jamais très importantes en volume.

FORMES D'AVERSES

Sur la figure 5 les hyétogrammes de différentes formes d'averses enregistrées au poste de Jalafanka illustrent les trois grands types de précipitations évoqués ci-dessus.

- 1 - La tornade du 22 septembre 1977 est particulièrement violente et représente bien les pluies de début et de fin de mousson.
- 2 - La succession d'averses des 29 et 30 juillet 1978 est typique des périodes pluvieuses de milieu de saison des pluies.
- 3 - La pluie régulière et continue des 2 et 3 juillet 1980 est représentative des précipitations homogènes de faible intensité très profitables aux cultures et aux pâturages (" pluie agronomique ").

Le tableau XII donne les caractéristiques des hauteurs de pluie journalière : on constate aux quatre stations une évolution très parallèle de tous les paramètres mais, de Dori à Markoy, l'aridité croissante du régime pluviométrique se manifeste par la diminution du nombre de jours de pluie, de l'importance des fortes pluies ($h > 10$ mm) et des valeurs maximales journalières estimées en fonction de leur période de retour.

Les valeurs notées pour Jalafanka se distinguent cependant par le fait que les observations mieux suivies prennent en compte toutes les pluies supérieures à 0,1 mm, ce qui n'est pas le cas aux trois autres stations où le nombre de jours de pluie est sûrement sous-estimé et également du fait que la période d'observation à Oursi (1976-1983) est entièrement comprise dans la période de sécheresse prolongée commencée en 1970. Ce qui nous amène à deux remarques importantes sur la représentativité des mesures et l'appréciation de la sécheresse.

TABLEAU XII

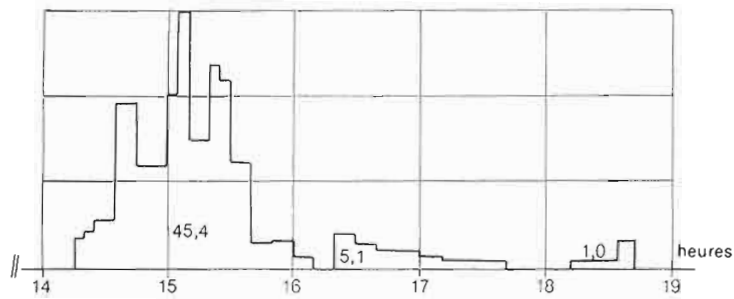
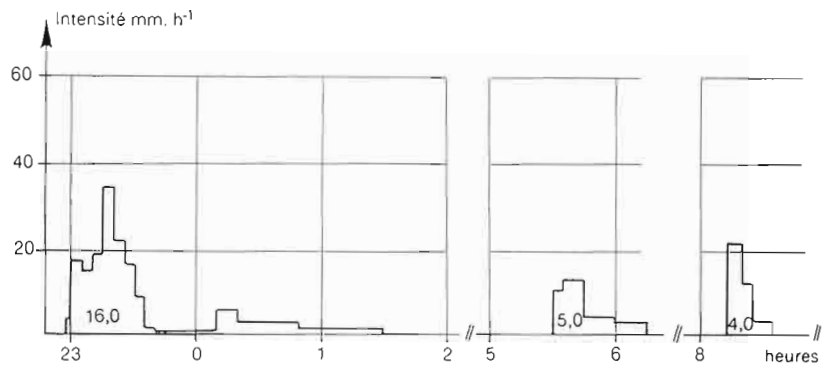
Hauteurs de pluie journalière aux trois postes de référence et à la station de Jalafanka

	Nombre de jours de pluie par an			Hauteur journalière de pluie				
	NJ _p	NJ _{p10}	NJ _{p40}	5 x 1	1/1	1/2	1/5	1/10
Gorom-Gorom	34	16	1,5	25,2	45,7	54,2	65,1	73,2
Markoy	33	11	1,3	24,9	42,9	49,7	58,0	64,0
Dori	47	18	2,0	27,9	49,2	58,3	70,3	79,3
Jalafanka	38	12	1,8	(20)	37,5	44,4	52,1	57,2

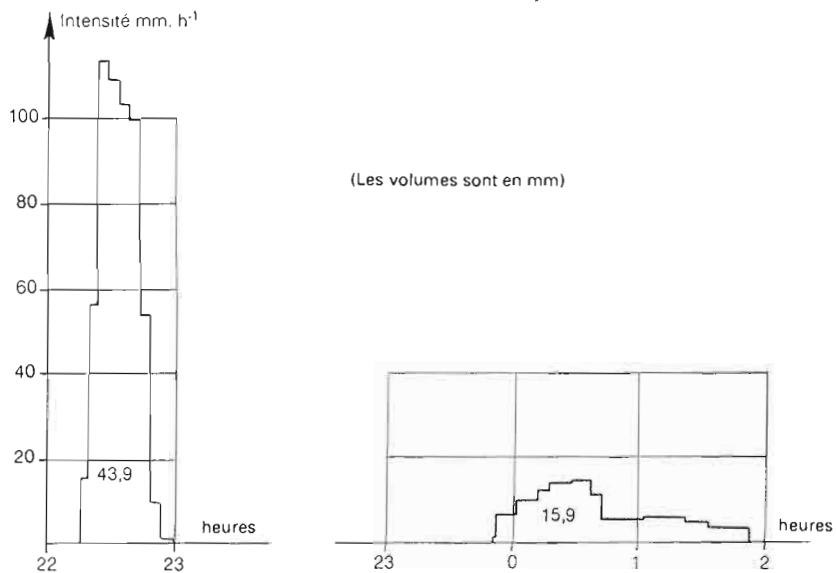
NJ_p : nombre moyen de jours de pluie > 0,1 mm. NJ_{p10} : nombre moyen de jours de pluie > 10 mm.

NJ_{p40} : nombre moyen de jours de pluie > 40 mm.

Hauteur de pluie journalière : 5 x 1 = dépassée 5 fois par an, 1/1 = dépassée 1 fois par an, 1/5 = dépassée 1 fois en 5 ans.



Succession d'averses des 29 et 30 juillet 1978



Averse du 22 septembre 1977

Averse des 2 et 3 juillet 1980

Figure 5 - Les différentes formes d'averses à Jalafanka

REPRÉSENTATIVITÉ DES DONNÉES ; PLUIE AU SOL

La comparaison entre la pluie mesurée à un mètre conformément aux normes de l'Organisation météorologique mondiale et la pluie mesurée dans le seau d'un pluviomètre Snowdon muni d'une grille anti-rejaillissements et dont la bague réceptrice se trouve au niveau du sol, fait apparaître une différence très importante. On établit une bonne corrélation entre ces deux valeurs à la station de Jalafanka sur la période d'observation (1977-1981, 139 averses supérieures à 1 mm) :

$$P62 = 1,43.P61 - 1,80$$

avec $r^2 = 0,98$

avec P62, pluie mesurée au pluviomètre Snowdon
et P61, pluie mesurée au pluviomètre " à lecture directe ".

Cela donne un écart de 39 % pour une hauteur de pluie journalière de fréquence annuelle (45,7 mm).

La question de la représentativité des mesures pluviométriques classiques est donc posée : le volume de la précipitation qui intervient dans le bilan hydrique du bassin versant est en effet celui qui parvient au sol. L'interception par la végétation semble tout à fait annexe dans le cas particulier d'Oursi.

La mesure de la pluie à 1 m est sans doute faussée par l'influence du vent qui établit autour du seau, considéré comme un obstacle aérodynamique, une zone tourbillonnaire modifiant le trajet des gouttes de pluie. Outre la hauteur de précipitation, l'intensité de l'averse est une grandeur mesurable concernée par ce phénomène. La vitesse horizontale du vent devrait être le paramètre explicatif, mais pour l'instant les tentatives de corrélation quantitatives ne sont guère convaincantes, car non significatives.

COMMENT SITUER LA PÉRIODE DE SÉCHERESSE ACTUELLE ?

Nous avons signalé que les indices de pluviosité des trois stations de référence sont tous inférieurs à 1 depuis 1970 et donc que la sécheresse climatique perdure depuis 18 ans au moins ; mais quelle est la signification de cette persistance et la valeur d'un indice basé sur une valeur moyenne établie sur une période variable pour chaque station ?

À la recherche d'éléments de réponse à cette question, HUBERT et CARBONNEL (1986) constatent tout d'abord que les hypothèses habituelles de stationnarité et d'indépendance des séries pluviométriques sont incompatibles avec les phénomènes de persistance mis en évidence dès 1975 par BRUNET-MORET et ROCHE. L'hypothèse de non stationnarité des séries pluviométriques est mise en évidence par les tests de LEE et HEGHINIAN (1977) et de PETTITT (1979) applicables aux totaux pluviométriques annuels mais aussi à d'autres paramètres descriptifs du régime pluviométrique tels que les fractions pluviométriques résultant des pluies journalières classées, le nombre de jours de pluie et la répartition temporelle des épisodes pluvieux pendant la saison des pluies. Ces tests, appliqués à un nombre important de stations sahéliennes de longue durée, mettent en évidence une rupture dans ces séries, nette et généralisée dans toute l'Afrique de l'Ouest située avec un maximum de probabilité en 1969-1970.

Reprenant cette méthodologie pour sept stations du Burkina Faso, GROUZIS, ALBERGEL et CARBONNEL (1989) font en fait apparaître :

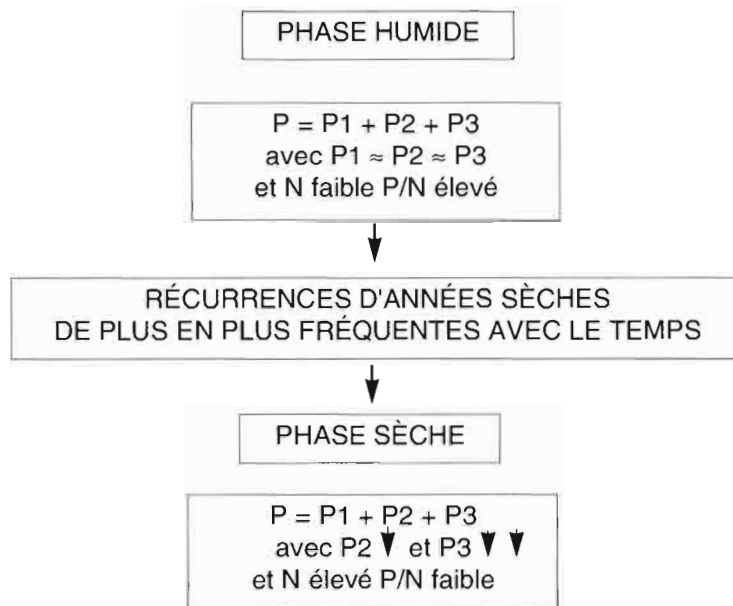
- de 1930 à 1949, une période à pluviométrie proche de la moyenne,
- de 1950 à 1968, des années successives largement excédentaires,
- depuis 1969, un net déficit pluviométrique.

Cette même évolution est évidente sur les fractions pluviométriques définies comme :

- P1 = somme des $P_j < 20$ mm,
 - P2 = somme des P_j comprises entre 20 et 40 mm,
 - P3 = somme des P_j supérieures à 40 mm,
- avec donc P par an = P1 + P2 + P3.

On observe une bonne stabilité de la fraction P1 et une décroissance continue de P2 et surtout de P3 qui explique à elle seule 55 % de la variation de P par an.

Le passage d'une phase humide à une phase sèche se fait selon le schéma suivant :



avec P : pluviométrie annuelle ; P1, P2, P3 : fractions pluviométriques ; N : nombre de jours de pluies.

Ces évolutions mises en évidence pour Dori sont certainement applicables à Gorom-Gorom et à Markoy où les séries d'observations trop courtes ne permettent pas cette analyse ; étant donné l'homogénéité du régime climatique sur la région, il ne fait pas de doute que la zone de la mare d'Oursi est incluse également dans ces processus. La période d'observation à Jalafanka de 1976 à 1983 se situe au sein d'une phase climatique de sécheresse persistante, formellement mise en évidence mais pas encore modélisable statistiquement. De nombreux auteurs pensent que *c'est à grande échelle qu'il faut rechercher les mécanismes responsables de ces changements climatiques* au niveau d'anomalies dans les systèmes de circulation océanique et des flux de haute atmosphère qui expliqueraient par ailleurs d'autres phénomènes " aberrants " observés depuis plus d'une décennie sur le globe.

À l'heure actuelle nous n'avons pas les moyens de modéliser les processus aléatoires qui semblent régir les équilibres des flux atmosphériques et océaniques et donc de prédire ces changements climatiques... mais il est permis de conclure que *l'évolution climatique au Sabel depuis le début du siècle n'a pas été continue et encore moins cyclique mais a évolué vers une aridification à travers une série de paliers successifs interprétables comme une succession d'états d'équilibre du bilan énergétique régional* (HUBERT et CARBONNEL, 1989).

LES EAUX DE SURFACE

Le bassin versant de la mare d'Oursi couvre une superficie de 263 km². Un cordon dunaire orienté d'est en ouest constitue la limite nord du bassin et offre un barrage naturel aux écoulements, créant ainsi la mare d'Oursi.

Le dispositif expérimental mis en place pour l'étude hydrologique de la mare d'Oursi (CHEVALLIER *et al.*, 1985) comprend sept bassins versants représentatifs dont six appartiennent au bassin versant de

la mare, le septième lui étant contigu. Les critères qui ont présidé au choix sont dans l'ordre : la représentativité, la classe de superficie, les conditions matérielles d'installation d'une station hydrométrique et l'accessibilité. La carte 1 présente les limites et la situation géographique de ces bassins ; leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau XIII.

TABLEAU XIII
Caractéristiques des bassins versants étudiés

	Superficie (km ²)	Altitude maximale (m)	Altitude exutoire (m)
Oursi	263	501	295
Outardes	16,5	448	303
Polaka	9,14	402	339
Tchalol	9,28	402	332
Taïma	105	414	305
Jalafanka	0,809	322	310
Kolel	1,05	451	334
Gountouré	24,6	345	304

Les deux petits bassins versants de Jalafanka et Kolel ont été choisis en raison de leur représentativité, pour le premier, d'un glacis dont la formation est liée aux cuirasses, pour le second, d'un massif de gabbros particulièrement accidenté et couvert de roches décomposées en boules (PION, 1979).

Le bassin versant de Gountouré, qui ne fait pas partie du bassin de la mare d'Oursi, mais qui lui est contigu, peut être considéré comme caractéristique des glacis de formation liée aux très nombreux affleurements de rocher sain avec une grande partie de la surface constituée d'arènes couvertes localement par des pellicules de battance.

Le bassin de Tchalol est lui aussi de composition simple, partagé entre le paysage de buttes passablement dégradées et le glacis ferrugineux à surface fortement gravillonnaire qui en est la continuité logique.

Les bassins d'Outardes et de Polaka sont plus complexes, présentant l'un et l'autre des formations de glacis à l'aval (pour Outardes, c'est une formation allochtone et pour Polaka une formation autochtone), mais avec un amont de buttes et reliefs et un piémont sableux. En terme d'hydrodynamique, on observe sur ces deux bassins une organisation dans le sens d'une imperméabilisation croissante des sols de l'amont vers l'aval où les formations de bas-fond prennent une importance non négligeable.

Le bassin versant de Taïma reproduit assez fidèlement les caractéristiques du bassin complet de la mare d'Oursi et permet surtout le contrôle du principal tributaire de cette mare.

La répartition sur chacun des bassins des quatre grandes familles de paysage est donnée dans le tableau XIV.

TABLEAU XIV
Répartition des surfaces respectives (en %)

	Système dunaire	Talwegs et dépressions	Buttes et reliefs	Grands glacis
Oursi	12	21	8	59
Outardes	0	25	19	56
Polaka	18	6	16	60
Tchalol	1	8	44	47
Taïma	8	16	10	66
Jalafanka	0	0	0	100
Kolel	0	0	100	0
Gountouré	8	5	0	87

LES ÉCOULEMENTS : LAMES ÉCOULÉES ET COEFFICIENTS D'ÉCOULEMENT

L'exutoire de chacun des bassins versants, ainsi que le plan d'eau de la mare d'Oursi, est équipé d'un dispositif de mesure permettant de suivre en continu la variation des hauteurs d'eau et de réaliser des mesures de débit permettant l'étalonnage des stations. Tous les écoulements ont été enregistrés de façon correcte, mis à part quelques fins de crues rendues imprécises soit à cause de l'envasement, soit à cause de variations du fond de lit de la rivière.

Comme partout en zone sahélienne, l'essentiel de l'écoulement sur les bassins versants de la mare d'Oursi provient du ruissellement pendant la crue et l'immédiate après-crue. On ne peut donc pas parler d'écoulement de base, à l'exception peut-être, lors de rares périodes particulièrement humides, de bassins versants déjà relativement importants tel celui de Taïma. Les notions classiques de modules mensuels et annuels sont dans ce contexte sans grande signification physique.

Les écoulements se produisent tous entre les mois d'avril et d'octobre et il n'a jamais été observé d'écoulement notable en dehors de cette période (excepté en mars 1979 où le personnel d'observation et les enregistreurs n'étaient malheureusement pas opérationnels).

TABLEAU XV

Lames ruisselées (en mm) et coefficients de ruissellement (en %) annuels des bassins versants de la mare d'Oursi

Années	1976	1977	1978	1979	1980	1981	valeurs interannuelles
Outardes	65,0 18,2 %	106,9 22,2 %	63,0 17,8 %	38,0 14,6 %	81,1 25,5 %		20,0 %
Polaka	44,0 14,9 %	66,9 17,4 %	42,6 10,1 %	33,6 9,4 %	71,5 21,1 %		14,4 %
Tchalol	106,6 36,9 %	106,3 26,8 %	55,5 15,1 %	80,6 22,8 %	115,1 33,2 %		26,5 %
Taïma	31,2 11,5 %	58,7 14,1 %	36,3 11,1 %	44,6 15,1 %	70,1 21,7 %		14,8 %
Jalafanka		201,3 44,6 %	116,1 30,2 %	125,4 35,3 %	140,3 40,7 %	108,7 30,8 %	36,6 %
Kolel	60,7 14,3 %	53,7 12,5 %	11,1 3,4 %	21,1 7,2 %	43,7 15,4 %	79,2 20,6 %	12,6 %
Gountouré	77,6 22,0 %	112,0 28,2 %	61,0 21,3 %	31,0 12,8 %	115,8 37,0 %		25,0 %

Le tableau XV rassemble les lames annuelles écoulées et les coefficients d'écoulement correspondants (rapport de la lame annuelle au cumul annuel de la pluviométrie moyenne sur le bassin versant) pour chacun des bassins versants.

La comparaison des valeurs moyennes interannuelles de la lame écoulée ou des coefficients d'écoulement permet un classement de l'aptitude à l'écoulement des différents bassins qui se révèle n'être pas seulement fonction de leur superficie.

La comparaison de ces données avec celles proposées par RODIER (1975) dans son évaluation de l'écoulement annuel au Sahel conduit à des conclusions nettes et intéressantes. Pour cette comparaison, il convient de partir pour les bassins de la mare d'Oursi d'une hauteur de précipitation annuelle médiane de 400 mm (chiffre légèrement supérieur à celui observé sur la période d'observation) et il est nécessaire de procéder à des corrections de surface pour ramener les observations aux surfaces de référence proposées par RODIER.

Ces corrections faites, on constate :

- Les sols argileux de Jalafanka présentent une lame écoulée annuelle médiane de 148 mm (pour une précipitation de 400 mm), alors que les sols argileux de Dianiniadié (Sébikotane, Sénégal) et de Gagara Ouest (Burkina Faso) produisent respectivement des lames écoulées annuelles de 56 et de 72 mm, soit moitié moins. Même si les pentes sont un peu différentes, Jalafanka est donc un remarquable exemple de sols argileux ruisselant très bien. Son écoulement est à classer immédiatement après celui des alluvions argileuses de Galmi (Niger) qui, avec 160 mm, est le record connu.
- Les gabbros décomposés en boules et fissurés de Kolel présentent pour 400 mm un écoulement de 49 mm (coefficient d'écoulement de 12,3 %), alors que Abou Goulem (Tchad), bassin considéré comme perméable, a un coefficient de 8 % pour une surface ramenée à 1 km² avec une lame écoulée de 32 mm.
- Le ruissellement sur Gountouré est tout à fait remarquable dans la série des bassins sur granite, puisqu'il produit environ 100 mm par an sous 400 mm au lieu des 25 mm pour le Barlo (Tchad) ramené à 25 km². Ce ruissellement justifierait de désigner ce bassin comme un des bassins types sur granite, caractérisé par un substratum granitique sain, avec une multitude de dépressions peu profondes à remplissage de matériaux perméables.
- Le bassin de Tchalog avec une lame écoulée de 106 mm sur roches diverses (dolérites, basalte, schistes et quartzites) se classe à peu près dans la même situation que celui de Gountouré par rapport aux autres bassins du Sahel, mais la pente y joue un rôle non négligeable à l'échelle annuelle. De manière absolue, on doit ranger les bassins analogues à ceux de Tchalog, Gountouré et Outardes parmi ceux qui ont les plus forts écoulements annuels du Sahel.

LE BILAN DE LA MARE D'OURSIS

L'hydrologie de la mare d'Oursi est typique de la zone climatique sahélienne puisqu'on y retrouve toutes les difficultés attachées classiquement aux termes du bilan hydrique et à leur estimation.

- *Apports par ruissellement.* On doit distinguer les apports du système hydrographique établi (marigot sud-ouest principalement) des apports directs par ruissellement en nappe de la périphérie de la mare. Cette distinction restera en fait très subjective puisque ces deux types d'apport sont aussi inaccessibles à la mesure l'un que l'autre. Les mesures à Taïma (105 km²) donnent pourtant une assez bonne approche des apports à la mare par le marigot sud-ouest principal et celles de Jalafanka, malgré la faible surface de ce bassin versant, sont représentatives des écoulements des piémonts sud et sud-est.
- *Apports pluviométriques.* On sait que les quantités de pluies tombant sur la mare d'Oursi, ou son voisinage immédiat, participent en totalité au bilan hydrologique.
- *Pertes par évaporation.* Les mesures directes d'évaporation ne sont pas très fiables et il est préférable d'estimer les évaporations de la mare à partir du calcul de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Penman qui, sous réserve de certaines adaptations, peut très bien être appliquée au Sahel comme l'ont montré les études du lac de Bam (POUYAUD, 1985).
- *Pertes par infiltration.* La première caractéristique des sols de la mare d'Oursi est leur manque d'homogénéité. Pourtant les piétinements de l'abondant bétail, l'apport d'argile et de matière organique paraîtraient avoir dû relativement bien imperméabiliser ce fond de mare, au moins en ce qui concerne la partie habituellement recouverte par les eaux. Mais des lentilles sableuses, plus ou moins étendues et épaisses, subsistent partout et surtout au nord de la mare au voisinage du cordon

dunaire d'Oursi. Ces lentilles sont le siège d'une infiltration notable, limitée toutefois par la saturation de ces volumes, eux-mêmes limités. Il faut cependant y voir un phénomène localisé en quelques points plutôt qu'une nappe continue s'enfonçant sous les dunes d'Oursi, hypothèse que confirme les résultats anarchiques des observations piézométriques.

Sur ces bases, le tableau XVI donne les valeurs annuelles du bilan hydrologique pour la période 1976-1983. Une modélisation du remplissage et de la vidange de la mare d'Oursi a été réalisée en utilisant des techniques nouvelles, la simulation de pluie et la télédétection satellitaire, associée à un modèle déterministe distribué pluie-débit (GIRARD, 1982).

TABLEAU XVI
Bilan hydrologique annuel du bassin versant de la mare d'Oursi

Année	Volume d'apports (10 ³ .m ³)	Lame écoulee (mm)	Pluie moyenne (mm)	Coefficient d'écoulement (%)
1976	26,5	101	[400]	[25,2]
1977	26,0	98,9	481	23,2
1978	15,3	58,2	358	16,3
1979	10,8	41,1	322	13,0
1980	17,1	65,0	308	21,0
1981	19,6	74,5	337	22,1
1982	19,4	73,8	382*	19,3*
1983	7,3	27,8	204*	13,6*

[] : valeurs estimées

* : les valeurs de pluie moyenne sont celles mesurées à la station climatologique de Jalafanka.

Le principe général de cette modélisation est le suivant (CHEVALLIER *et al.*, 1986) : une fonction de production d'écoulement est établie pour des entités morphologiques caractérisées par leur état de surface à partir des observations expérimentales obtenues à l'aide d'un petit simulateur de pluies sur des parcelles de 1 m² (CHEVALLIER, 1982). La cartographie de ces états de surface est réalisée automatiquement par une analyse multispectrale de la " scène " fournie par le satellite d'observation de la terre Landsat. Les caractéristiques physiographiques obtenues sont introduites avec la fonction de production correspondante dans le modèle distribué pour l'évaluation des apports au pas de temps journalier.

La figure 6 présente une comparaison entre l'observation et le résultat de la modélisation pour les années 1978 à 1980. Une

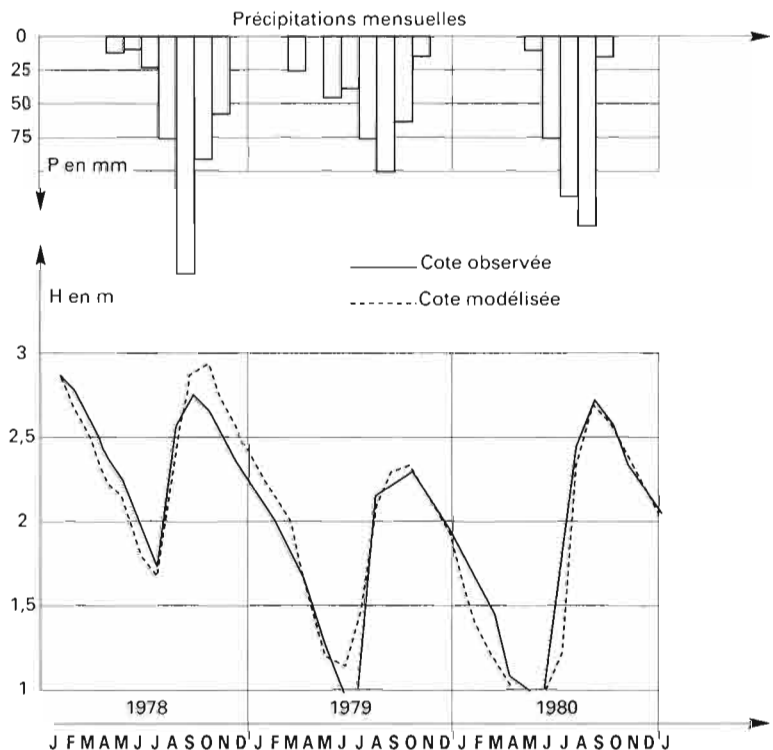


Figure 6 - Les niveaux de la mare d'Oursi (1978-1980) : comparaison de l'observation et du résultat de la modélisation.

tentative de simulation pour des situations extrêmes a donné des résultats intéressants (figure 7). Elle a consisté à appliquer le modèle à une succession de trois années pluviométriques fictives (cinquantennale humide, moyenne et centennale sèche). Dans l'hypothèse humide, on s'aperçoit que le niveau de la mare est susceptible de dépasser la cote de 300 mètres qui correspond approximativement au débordement par-dessus le cordon dunaire. Dans l'hypothèse moyenne, les oscillations du niveau de la mare tendent vers un équilibre qui se situe entre les cotes 296,5 et 298,3 mètres. Dans l'hypothèse sèche, la figure parle d'elle-même. La mare s'assèche de février à juillet (on peut noter que les variations observées en 1983-84 sont à peine meilleures que celles données dans le cas extrême de simulation).

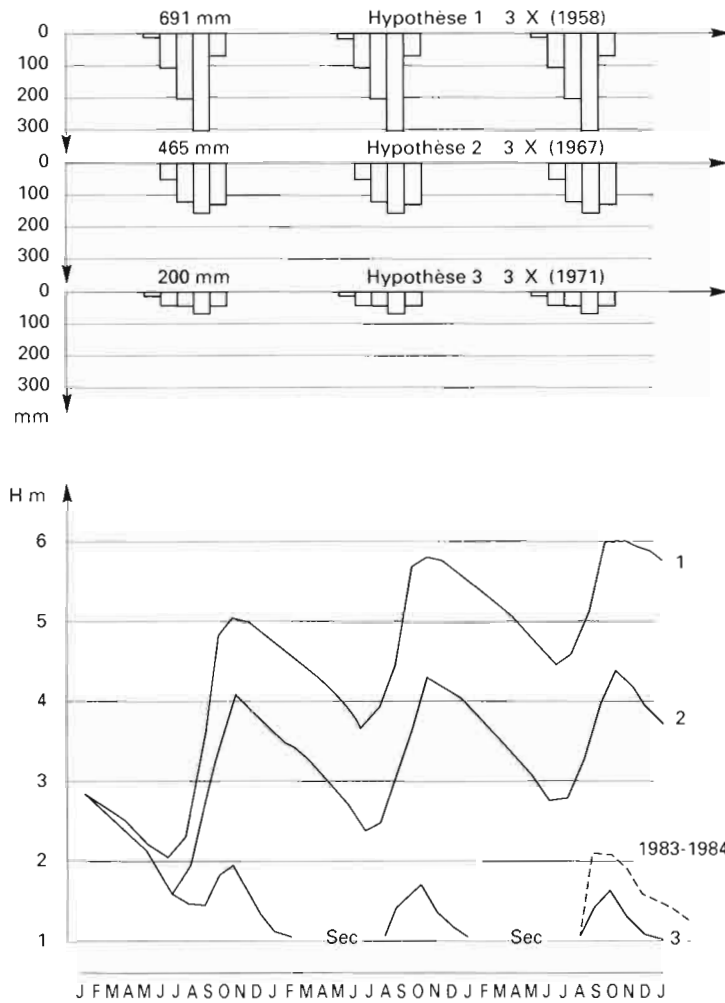


Figure 7 - Les niveaux de la mare d'Oursi simulés pour différentes hypothèses de pluviométries extrême et moyenne.