

L'inventaire des ressources en eau pour l'aménagement intégré du Bassin du Wabi Shebelle d'Éthiopie

D. BAUDUIN

Maitre de Recherches ORSTOM, chef de la Section Hydrologie-Hydrogéologie du projet du Wabi Shebelle

P. DUBREUIL

Directeur de Recherches ORSTOM, consultant du projet

RÉSUMÉ

En quatre ans une équipe franco-éthiopienne partant de presque rien a réussi à dresser un premier inventaire des ressources en eau du bassin du Wabi Shebelle et à mettre cet inventaire au service d'un plan d'aménagement régional, et ceci grâce à une stratégie originale des opérations de terrain. Le bassin du Wabi Shebelle couvre en Éthiopie presque 200 000 km² d'une étonnante variété géographique. Des hautes terres froides, pluvieuses, volcaniques et perméables donnent naissance à d'abondants cours d'eau pérennes qui s'encaissent par de profonds canyons pour traverser un vaste plateau calcaire inhabité; enfin ce sont des terres basses, chaudes, arides et imperméables au milieu desquelles se répand le Wabi Shebelle qui déborde dans de vastes plaines d'inondation.

Sous un climat de type équatorial à deux saisons des pluies, la formation et la nature des ressources en eau sont très variables.

Peu de ressources en eau souterraine véritablement exploitables dans le sud aride — l'Ogaden — ou elles sont soit localisées ou limitées, soit très profondes, sous plus de 200 m de gypses contaminant de leurs sels tous les aquifères calcaires.

Une ressource en eau superficielle abondante naît des hautes terres volcaniques qui, à elles seules, bien que ne couvrant que 20 à 25% de la superficie totale du bassin, contribuent à plus de 90% du module annuel du Wabi Shebelle : leur potentialité d'écoulement varie de 150 à 500 mm alors qu'elle n'est que de 10 mm sur le plateau calcaire et de 1 mm sur les gypses de l'Ogaden. La disponibilité résiduelle en étiage est encore plus différenciée : seuls les cours d'eau issus des terres volcaniques sont permanents et ils donnent de 0,4 à 0,6 l/s. km² de débit moyen d'étiage absolu.

La longue traversée de l'Ogaden (600 km) avec les inondations latérales réduit fortement la ressource : le module se réduit de 92 à 61 m³/s.

Les pertes par inondation dépendent évidemment de l'importance des apports, donc des crues, mais également du niveau de remplissage des plaines, donc de l'étiage antérieur. Durant cette traversée, les crues sont très amorties ; leur débit maximal peut être réduit de 60 à 80% : pour des pointes de 900 m³/s à l'entrée, on a jamais vu plus de 250 m³/s à la sortie. De vastes surfaces de sols fertiles ont été cartographiées dans cette région basse et pourraient être irriguées grâce aux eaux régularisées par des barrages construits en amont dans les canyons, malgré une forte charge solide transportée par les crues.

ABSTRACT

After a four years period, a french and ethiopian hydrological team has made the first general survey of the water resources in the Wabi Shebelle catchment, and has applied this survey to an integrated water management plan using an original strategy for the field operations. The Wabi Shebelle catchment covers about 200 000 km² in Ethiopia. The physiography of this catchment is quite interesting : perennial streams appear in cold, rainy, volcanic and pervious highlands; they go down to very deep canyons to cross a large limestone plateau without inhabitants; at last, the Wabi Shebelle river is coming into warm, arid and impervious lowlands where it spreads over its banks to big flooded areas.

Under an equatorial climate with two rainy seasons, the formation and the nature of water resources are very variable.

There are very few ground water resources in the arid south — the Ogaden region — where they are or insufficient or too deep, under more than 200 meters of gypsum, the salt of which contaminating all the limestone aquifers.

Superficial water resources is produced by volcanic highlands which only cover 20 to 25% of the basin catchment but which give more than 90% of the yearly yield of Wabi Shebelle river. A mean water balance shows that these volcanic highlands are contributing for 150 to 500 mm to the annual runoff, meanwhile the limestone plateau is only producing 10 mm and the Ogaden gypsum 1 mm. The low water resources during the larger dry season is more differenciated :

only the streams coming from volcanic highlands are perennial and they give about 0,4 to 0,6 l/s. km² as mean daily minimum discharge.

Along the Ogaden region — 600 km of distance — the Wabi Shebelle discharge is reduced by spreading in flooded areas : the mean annual discharge goes down from 92 to 71 m³/s and the mean minimum discharge from 11 to 6 m³/s. The losses due to overbanking are depending of the yield, more precisely of the floods and also of the water level in the plain, which is correlated with the previous minimum discharge.

Along the Ogaden region, the flood peaks of Wabi Shebelle are reduced of about 60 to 80% : maximum discharges of 900 m³/s at the input are no more than 250 m³/s at the output. In this lowland, we found a lot of rich soils which could be irrigated with regulated flow produced by dams to be built upstream in the canyon, in spite of a heavy bed load transportation during floods.

SOMMAIRE

1. *Objectifs et moyens, stratégie et résultats*
2. *Description géographique du bassin*
 - 2.1. Histoire géologique
 - 2.2. Provinces géomorphologiques
 - 2.3. Le réseau hydrographique
3. *Les éléments climatiques du bilan hydrique*
 - 3.1. Insolation et températures de l'air
 - 3.2. Humidité de l'air, vent et évaporation
 - 3.3. Régime pluvial
4. *Ressources en eau souterraine*
 - 4.1. Calcaires de Kebri-Dahar
 - 4.2. Calcaires de Mustahil
 - 4.3. Les alluvions fluviales
5. *Ressources en eau superficielle*
 - 5.1. Régime hydrologique
 - 5.2. Estimation et variabilité de la ressource globale annuelle
 - 5.3. Ressources disponibles en étiage
 - 5.4. Principales caractéristiques des crues
 - 5.5. Transports solides en suspension et éléments dissous
6. *Premières applications de la connaissance des ressources en eau au plan d'aménagement du bassin*
 - 6.1. Prédétermination des pertes par inondation en aval de Gode
 - 6.2. Influence des réservoirs projetés sur le bilan hydrique de la basse vallée

Dans le cadre d'un accord de coopération franco-éthiopien, une mission d'études a été constituée en 1967, après une reconnaissance préliminaire effectuée en 1965, entre les services techniques du Ministère des Ressources en eau d'Éthiopie et un groupement d'organismes d'études et de recherches français dont le BCEOM était le pilote et dans lequel l'ORSTOM assurait les études hydrologiques, hydrogéologiques, pédologiques et botaniques. Cette mission avait pour but, dans un délai de cinq ans, de dresser l'inventaire des ressources naturelles et humaines du bassin du Wabi Shebelle, couvrant quelques 200 000 km², et tenant compte des conditions économiques d'en déduire un plan d'aménagement intégré.

Les caractères presque inconnus du bassin à l'origine, les très difficiles conditions d'accès et le court délai imparti ont mis à rude épreuve l'imagination des responsables de la réussite du projet. Les renseignements recueillis sont indéniablement d'une étonnante richesse tant sur le plan de la connaissance scientifique que sur celui de la stratégie et de la méthodologie. Cet article envisage de présenter le bilan de ces résultats en ce qui concerne les ressources en eau.

1. OBJECTIFS ET MOYENS, STRATEGIE ET RESULTATS

Il fallait faire vite, donc localiser les points clés de la connaissance des ressources et des futurs aménagements. La reconnaissance préliminaire avait montré l'étonnante variété de la géographie du bassin : des hautes terres volcaniques et froides culminant à près de 4 000 m habitées et cultivées, où prenaient naissance tous les cours d'eau, un vaste plateau calcaire inhabité que les cours d'eau traversent au fond de profonds canyons, enfin une région chaude et semi désertique l'Ogaden au travers de laquelle s'épanouissait la basse vallée du Wabi Shebelle sujette

aux inondations, seule source d'eau notable et pérenne qui concentrait sur ses rives les nomades et leurs troupeaux. Deux objectifs de mise en valeur hydraulique apparaissaient évidents : introduire la culture irriguée intensive dans la basse vallée, produire de l'énergie électrique à la faveur des chutes qui précédaient l'encaissement du Wabi Shebelle dans le plateau calcaire.

Si l'on ajoute à ce bref descriptif deux autres traits géographiques saillants à savoir que le Wabi Shebelle, après un parcours d'environ 600 km dans l'Ogaden, pénètre en Somalie où il finit par se perdre sans atteindre l'Océan Indien, et que le seul accès facile à cette basse vallée est offert par la vallée jamais encaissée du Fafen, presque affluent de rive gauche qui se perd avant de rejoindre le Wabi, on peut aisément en déduire la liste des points clés du contrôle hydrologique : les chutes de Malka-Wakana en amont, le débouché dans la basse vallée (secteur de Hamero-Hedad), cette basse vallée elle-même là où les zones inondables dominant (bief de Kelafo à Mustahil), la sortie du territoire éthiopien (poste de Burkur) et le cours du Fafen.

Les moyens humains mis en œuvre comprenaient de 5 à 7 hydrologues français selon les périodes et un nombre au moins équivalent d'hydrométristes éthiopiens. L'environnement intellectuel était très favorable : cotoiement constant avec les pédologues ORSTOM, conseils de G. CASTANY du BRGM, consultant hydrogéologique, contacts étroits avec les spécialistes des aménagements hydroagricoles du BCEOM et les responsables EDF des études de barrage, enfin appui technique des topographes et cartographes de l'IGN. L'équipe hydrologique a ainsi pu valoriser au mieux ses informations hydroclimatologiques pour répondre aux questions des aménagistes.

Une stratégie originale a été élaborée pour atteindre les objectifs visés avec les moyens disponibles et compte tenu des contraintes matérielles représentées essentiellement par les difficultés de pénétration et de déplacement dans le bassin et par le très petit nombre de lieux habités en dehors des hautes terres. La stratégie classique de la campagne hydrologique aurait été inopérante, elle qui consiste à faire visiter les stations de mesures un maximum de fois dans un minimum de coût (temps et distance combinés) et aux moments optimaux, par des équipes hydro-métriques dotés de moyens automoteurs légers de déplacement. Devant cette impossibilité de se déplacer aisément, souvent et partout en véhicules, on a adopté une stratégie de la mobilité axée sur deux démarches opposées et extrêmes. D'une part des grosses opérations lourdes, véritables convois expéditionnaires, pour implanter les stations (travaux d'infrastructure) et pour amener à pied d'œuvre en début de saison une équipe hydrométrique en une station clé où elle séjournera toute ou presque toute une saison d'écoulement. D'autre part des missions éclairs par avion léger pour contrôler les stations et les équipes en place, ravitailler ou dépanner celles-ci. En combinant un nombre minimal de lourds et longs déplacements au sol avec un grand nombre de courtes et rapides missions par avion, on dispose d'une stratégie opérationnelle qui a permis de réaliser l'étalonnage complet par 1 160 jaugeages en trois ou quatre années (deux saisons de hautes eaux par an) et un contrôle régulier des 14 stations hydrométriques, 5 stations météorologiques et 48 postes pluviométriques.

Cette stratégie originale pour les campagnes de terrain allait de pair avec un souci de l'efficacité dans le traitement de l'information : recherche des documents anciens sur le bassin, collecte et transcription sur cartes perforées des données numériques anciennes et produites par la mission, application des programmes de calcul sur ordinateur de la programmable du Bureau Central Hydrologique de l'ORSTOM, développement des techniques d'extension des séries courtes de données pour la définition des moyennes hydropluviométriques et la simulation des aménagements projetés.

Avant l'année 1967, l'équipement hydrométrique du bassin se résumait à une échelle limnimétrique installée sur le pont de Kelafo dans la basse vallée. Les observations à cette échelle se sont limitées à des relevés hebdomadaires de 1957 à 1959. Trois jaugeages de moyennes eaux y ont été effectués par une mission yougoslave.

En 1967, avant l'arrivée de la Mission Française d'Etudes du Wabi Shebelle le Water Resources Department d'Ethiopie a mis en place trente-deux échelles limnimétriques sur le haut bassin en amont de Malka-Wakana et une échelle dans la basse vallée à Gode.

La plupart des échelles du haut bassin se trouvaient à l'exutoire de bassins d'une dimension très réduite et n'avaient donc qu'un intérêt très limité pour l'inventaire régional des ressources en eau. Quatre de ces échelles ont cependant été retenues pour l'étude générale du bassin.

Au total dix-sept stations limnimétriques ont été installées et des mesures de débit ont été effectuées à quatorze d'entre elles, entre 1967 et 1971 : huit stations s'échelonnent le long du Wabi Shebelle, deux concernent un petit affluent (Maribo) du haut bassin, deux les gros affluents Errer et Daketa qui arrivent juste à l'entrée de la basse vallée (secteur de Hamero-Hedad); les deux dernières intéressent le bassin du Fafen. A part les trois stations du secteur inhabité de Hamero-Hedad, toutes étaient contrôlées par un observateur résidant. Neuf stations étaient équipées d'un limnigraphe et quatre d'un téléphérique.

La stratégie opérationnelle décrite au début du chapitre a permis une obtention optimale de l'information hydrométrique.

Les mesures de débit ont été intensives en 1969, 1970 et 1971. Elles ont permis d'étalonner correctement sur le marnage observé la plupart des stations. Les extrapolations nécessaires pour traduire en débits les plus hautes eaux sont en général faibles, sauf pour les trois petites stations du haut bassin (Wabi Shebelle et Maribo). Le tableau 1 récapitule en un bilan global l'ensemble des résultats des étalonnages.

Et pourtant certains étalonnages ont présenté des difficultés.

TABLEAU 1

Bilan global des tarages des stations hydrométriques

Numéro	Rivière	Station	Nombre de jaugeages par année						Cote minimale observée (m)	Cote minimale de jaugeage (m)	Débit minimal mesuré (m ³ /s)	Cote maximale observée (m)	Cote maximale de jaugeage (m)	Débit maximal mesuré (m ³ /s)
			1967	1968	1969	1970	1971	1972						
1	Wabi Shebelle	Pont-route de Dodola	2	6	9		1	0,54	0,54	0,84	2,80	1,12	13,8	
2	Wabi Shebelle	Malka-Wakana	3	15	55		28	1	0,50	0,52	3,40	2,89	2,40	130
3	Wabi Shebelle	Lege-Hida			2	124	2	2	0,28	0,34	7,20	4,30	3,89	130
4	Wabi Shebelle	Hamero-Hedad		16	43	85	35		0,78	0,81	7,80	6,20	5,05	607
5	Wabi Shebelle	Imi			27	47	41		-0,09	-0,07	11,7	2,78	2,46	540
6	Wabi Shebelle	Gode		15	45	49	4		-0,49	-0,49	4,20	3,93	3,83	594
7	Wabi Shebelle	Kelafo			6	39	14		2,86	2,91	3,60	7,89	7,82	313
8	Wabi Shebelle	Burkur			42	44	2		-0,48	-0,19	7,00	5,89	5,88	243
9	Maribo	Pont-route de Dodola	2	6	15		3	1	0,50	0,52	0,10	2,25	1,35	10,3
10	Maribo	Confluent	2	4	12		3	1	0,62	0,62	0,38	2,76	1,58	25,3
11	Errer	Hamero-Hedad	1	10	7	73	12			-0,06	1,46	3,27	3,16	571
12	Daketa	Hamero-Hedad		3	1	34	42		0,16*	0,20	0,06	3,82	3,08	450
13	Jerer	Degahbour	3			21	48		de 0 à 0,57*	0,11	0,09	2,00	1,45	44,0
14	Fafen	Kebri-Dahar				18	36		0,42*	0,58	0,27	1,80	1,41	32,0

* Cessation de l'écoulement (rivière temporaire)

Dans la basse vallée, les stations de Imi, Kelafo et Burkur, toutes trois situées en amont de plaines d'inondation importantes, ont une relation hauteur-débit non univoque à cause de la variation de la pente de la ligne d'eau sous l'influence du degré de remplissage de ces plaines. N'ayant pas pu doter ces stations de deux limnigraphes, on a dû se contenter de tracer plusieurs courbes d'étalonnage variables selon l'état de remplissage des plaines et dont la précision devrait être de 7 à 10%.

D'autres stations étaient à fond instable. Outre Kelafo, ceci affectait surtout les cours d'eau à crues violentes, tels que l'Errer, le Daketa et le Jerer. Sur l'Errer, la cote varie de 10 à 20 cm pour un même débit dans la seule gamme des débits moyens, sur le Daketa l'écart est bien de 20 cm sur toute la gamme des débits; enfin la variation de la cote atteint 50 cm pour le Jerer quel que soit le débit.

Quant à l'information limnimétrique, elle est à peu près complète. Quelques lacunes sont à déplorer surtout aux stations à fond mobile où il fut parfois difficile d'éviter l'ensablement de la prise d'eau alimentant le limnigraphe. En règle générale, ces lacunes limitées à quelques dizaines de jours entre deux visites de contrôle ont pu être comblées, surtout le long du Wabi Shebelle par corrélations entre stations voisines.

On possède donc finalement entre 1967 et 1971 de trois à cinq années (pour la plupart) complètes de débits aux quatorze stations hydrométriques, selon la date de mise en fonctionnement. On possède également pour six de ces stations les résultats de mesures de transports solides en suspension (déterminés par prélèvements, décanation, séchage et pesée) et ceux concernant la composition chimique des eaux.

Parallèlement une étude hydrogéologique des terrains sédimentaires, surtout dans l'Ogaden a permis de dresser l'inventaire des puits, de suivre les variations de certaines nappes à l'aide de piézomètres, d'apprécier la qualité des eaux souterraines et de faire une première approche, après forages, des possibilités d'exploitation de la plus riche d'entre elles.

Les ressources en eau souterraines et superficielles résultant de ces inventaires 1967-1971 sont présentées après une description géographique et climatique du bassin.

2. DESCRIPTION GÉOGRAPHIQUE DU BASSIN

La présente étude intéresse la partie amont du bassin entièrement située en territoire éthiopien. Le bassin du Wabi Shebelle occupe en Ethiopie 190 000 km² soit les deux tiers du bassin total. Situé dans le sud-est de l'Ethiopie il couvre en partie les provinces de l'Arussi, du Bale et de l'Harar et s'inscrit entre les parallèles 9°30' N et 5° N et les méridiens 38°30' E et 45° E (carte de situation, figure 1).

Le bassin est limité à l'ouest par le bassin du Ganale, au nord-ouest par la dépression de la Rift Valley, au nord par le bassin de l'Awash et à l'est par une région désertique s'étendant jusqu'au Golfe d'Aden.

Les principaux documents cartographiques anciens se limitaient à :

- a) la carte aéronautique à l'échelle du 1/1 000 000 avec courbes de niveau équidistantes de 500 m;
- b) la carte au 1/500 000 de l'Est Africain établie par le War Office, en courbes de niveau dont l'équidistance est variable suivant les coupures;

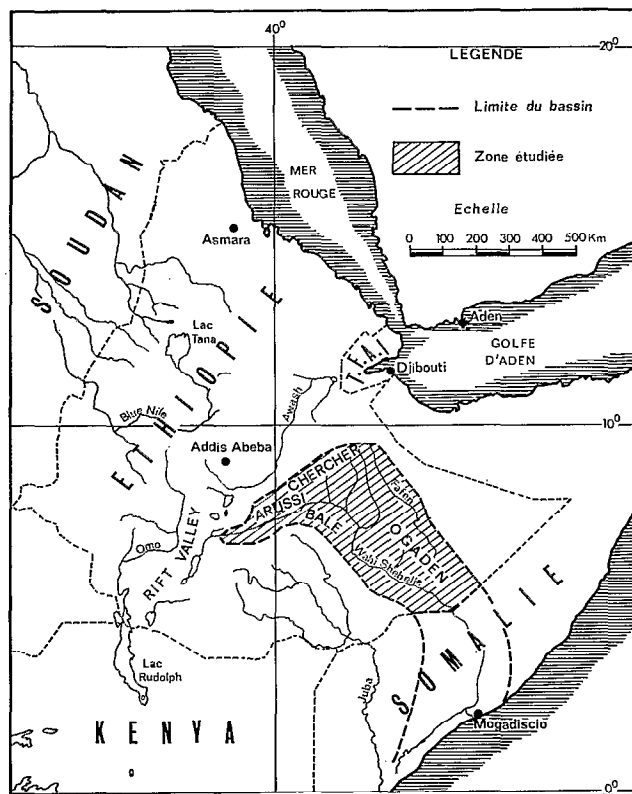


Fig. 1 — Carte de situation

c) la carte géologique de la corne de l'Afrique de Mohr (1968).

Tous ces documents à trop petite échelle sont de médiocre qualité tant en planimétrie qu'en altimétrie.

Pour répondre aux besoins, la section photo-interprétation a dressé à partir de la couverture aérienne au 1/50 000 exécutée par l'US Mapping Mission :

- trois fonds planimétriques de l'ensemble du bassin à l'échelle du 1/100 000, du 1/250 000 et du 1/1 000 000
- un fond planimétrique à l'échelle du 1/50 000 couvrant la basse vallée du Wabi Shebelle.

A partir de ces fonds planimétriques, les sections spécialisées ont dressé un certain nombre de cartes d'ensemble dont les plus importantes sont :

- une carte géologique au 1/1 000 000
- une carte hydrogéologique au 1/250 000 de l'Ogaden
- des cartes pédologiques au 1/250 000 et au 1/1 000 000
- une carte de la végétation au 1/1 000 000

C'est à partir de ces cartes et des rapports d'études y afférant que l'on va successivement rappeler l'histoire géologique du bassin, présenter les provinces géomorphologiques actuelles et décrire le réseau hydrographique.

2.1. HISTOIRE GÉOLOGIQUE

On distingue quatre grands types de formations :

- le socle précambrien formé de granites et de roches métamorphiques qui occupe 3% du bassin,
- les formations volcaniques miocènes du haut bassin qui couvrent 10% du bassin,
- les terrains sédimentaires du Secondaire qui occupent 82% de l'ensemble du bassin,
- les alluvions et colluvions quaternaires qui couvrent environ 5% du bassin.

Le socle précambrien apparaît au nord-est du bassin dans la région de Harar-Babile. Il est constitué de granites, de migmatites granitiques et de gneiss. Ce substratum cristallin est imperméable, cependant l'altération profonde a amené la formation d'épais dépôts colluviaux perméables, surtout développés à l'ouest du massif.

Les formations tertiaires dites série de Trapp résultent de l'activité volcanique de l'époque Miocène. Elles dominent les formations sédimentaires à l'ouest et au nord du bassin et sont constituées essentiellement de coulées basaltiques, de dépôts de cendres et de tufs volcaniques.

Les terrains sédimentaires Secondaires qui occupent plus des 4/5 du bassin peuvent être subdivisés en quatre grands ensembles, d'âge décroissant :

a) Les calcaires de Kebri-Dahar, affleurent sur plus de la moitié du bassin. Ils se situent entre les plateaux basaltiques formant la bordure nord et ouest du bassin et les séries gypseuses du sud.

La formation est constituée essentiellement de calcaires durs en bancs épais avec quelques intercalations marneuses, gypseuses et gréseuses. La structure monotone des formations plongeant vers le sud-est avec un pendage très faible de quelques degrés amène la formation de vastes plateaux entaillés profondément par le réseau hydrographique.

b) Les séries gypseuses occupent presque toute la partie méridionale du bassin. Leur extension maximale est limitée au nord par le parallèle 7°30' N. Ces formations sont constituées d'une alternance de marnes, d'argiles, de gypses, de dolomies et de bancs salins. Particulièrement tendres, elles sont très érodées et recouvertes d'un épais manteau d'altération imperméable.

c) Les calcaires de Mustahil recouvrent par place les séries gypseuses dans le sud du bassin. Ils forment un plateau continu au sud du Wabi Shebelle entre Gode et Mustahil et jusqu'à la limite ouest du bassin. Entre le Wabi Shebelle et le Fafen, ils constituent des plateaux isolés disséqués par l'érosion. Enfin à l'est du Fafen, ils forment un plateau continu mais souvent recouvert par les gypses de Ferfer et les grès de Jessoma.

Cette formation très peu épaisse (30 m environ) est constituée de bancs crayeux surmontés d'un banc dolomitique dur formant corniche.

d) Les formations gréseuses sont disséminées sur l'ensemble du bassin. On les trouve en plages plus ou moins importantes jusqu'au nord-est sous les coulées basaltiques de la formation de Trapp. Les affleurements les plus importants se trouvent situés à l'extrémité est du bassin où ils forment un plateau sur lequel passe la ligne de partage des eaux.

Ces formations constituées de grès grossiers sont très perméables.

Résultant de l'altération des terrains volcaniques cristallins et sédimentaires, les alluvions et colluvions quaternaires, sont un matériau argilo-sableux tendre plus ou moins perméable suivant les secteurs.

Ils sont parfois localisés dans les basses vallées du Wabi Shebelle et du Fafen et sur les formations gypseuses où ils forment des cuvettes dans lesquelles se rassemblent les eaux pluviales. Peu favorables au ruissellement et souvent inondables ces alluvions renferment des nappes souterraines en relation avec le réseau hydrographique.

2.2. PROVINCES GÉOMORPHOLOGIQUES

Le bassin du Wabi Shebelle culmine à l'altitude 4 200 m et descend jusqu'à l'altitude 150 m à la frontière somalienne. La morphologie du bassin, très étroitement liée à la nature du substratum géologique, présente des faciès très variés. Le relief permet également de situer géographiquement les provinces géomorphologiques avant de les décrire.

On ne peut donner qu'une vision approximative du relief du bassin, d'après la carte altimétrique au 1/500 000 du War Office (figure 2). L'examen de cette carte permet cependant d'apprécier les formes du relief correspondant aux grands ensembles morphologiques décrits précédemment. La courbe de niveau 2 000 m correspond à 200 m près à la limite d'extension méridionale de la zone volcanique. On peut voir qu'au-dessus de cette courbe les pentes correspondant aux massifs volcaniques sont très fortes. Au-dessous et jusque vers 700 m les pentes sont plus modérées : on se trouve alors sur le plateau calcaire qui descend progressivement vers le sud-est. En dessous, on se trouve sur les terrains gypseux dominés par la corniche calcaire de Mustahil : les pentes sont encore plus faibles.

Les tableaux 2 et 3 résument les différentes caractéristiques morphométriques des principaux bassins partiels contrôlés par des stations hydrométriques :

— Les bassins ont des indices de compacité assez médiocres, voisins pour la plupart de 1,50 traduisant des formes assez allongées. Pour le bassin du Wabi Shebelle, cela s'explique par la dissymétrie du réseau de drainage, les affluents étant beaucoup plus développés en rive gauche qu'en rive droite.

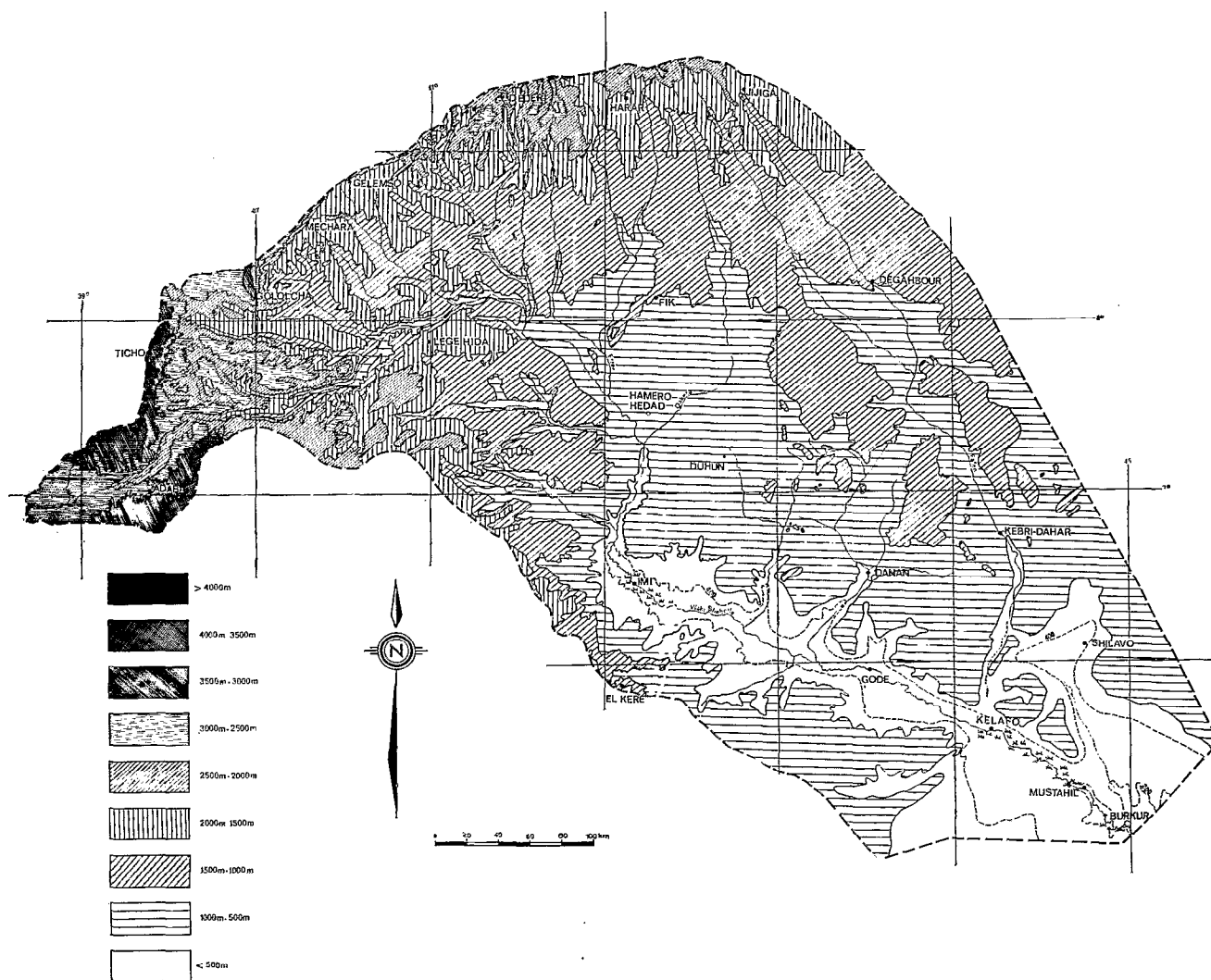


Fig. 2 — Relief du bassin

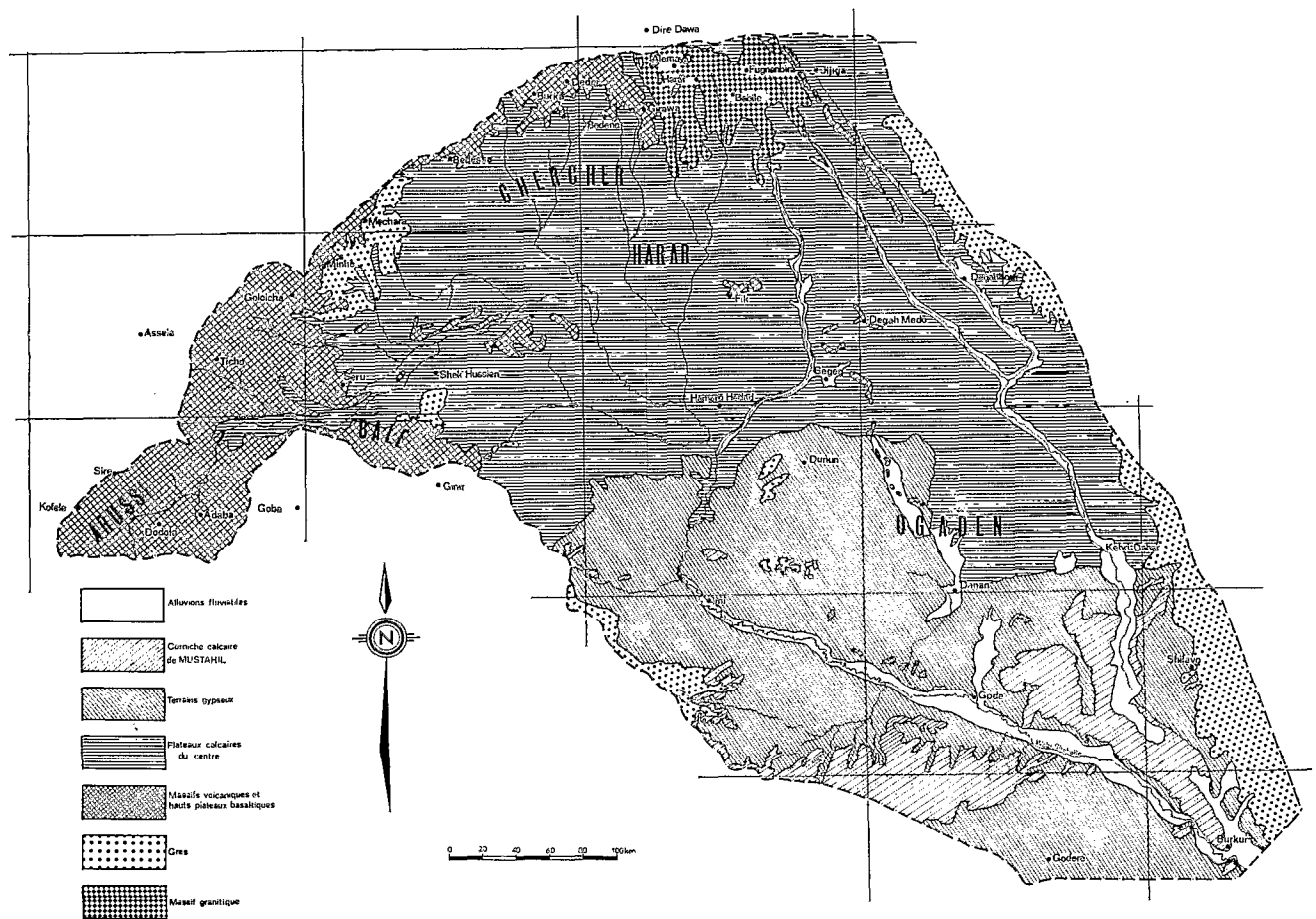


Fig. 3 — Esquisse de délimitation de provinces géomorphologiques

TABLEAU 2
CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES BASSINS

Bassin	Station	Surface (km ²)	Indice de compacité	Altitude			Pente moyenne (m/km)
				maximale (m)	minimale (m)	médiane (m)	
Wabi Shebelle	Malka-Wakana	5 290	1,31	4 100	2 300	2 950	14,0
Wabi Shebelle	Lege-Hida	21 500	1,64	4 100	750	2 360	9,0
Errer	Hamero-Hedad	14 200	1,21	3 400	720	1 220	15,2
Wabi Shebelle	Hamero-Hedad	64 450	1,39	4 100	550	1 560	6,0
Daketa	Hamero-Hedad	14 200	1,48	3 000	550	900	9,5
Wabi Shebelle	Imi	91 600	1,49	4 100	390	1 380	5,6
Wabi Shebelle	Gode	127 300	1,50	4 100	270	1 150	4,8
Wabi Shebelle	Kelafu	139 100	1,51	4 100	220	1 050	4,6
Wabi Shebelle	Burkur	144 000	1,57	4 100	190	1 010	4,4
Fafen	Kebri-Dahar	25 600	1,52	2 700	400	1 150	6,3

— Les pentes moyennes sont très fortes sur le haut bassin du Wabi Shebelle jusqu'à Hamero-Hedad et sur les bassins des affluents permanents. C'est là un facteur favorable à l'obtention de débits spécifiques de crue élevés. A l'aval du bassin, les pentes plus modérées demeurant encore assez fortes. Le bassin du Jerer offre des pentes moyennes également très fortes, supérieures à 6 m/km.

On décrit maintenant les sept provinces géomorphologiques en groupant les caractères du manteau d'altération, des sols et de la végétation qui les recouvre, tous caractères résultant de l'histoire géologique et climatique du bassin (figure 3).

TABLEAU 3
RÉPARTITION HYSOMÉTRIQUE PAR BASSIN EN %

Bassin	Station	> 4 000 m	3 500-4 000 m	3 000-3 500 m	2 500-3 000 m	2 000-2 500 m
Wabi Shebelle	Malka-Wakana	1	21,3	23,5	50	4
Errer	Hamero-Hedad			0,5	1	9
Wabi Shebelle	Hamero-Hedad	0,5	1,0	4,5	9	15
Daketa	Hamero-Hedad				0,3	0,2
Wabi Shebelle	Imi	0,25	0,75	3	7	10
Wabi Shebelle	Code	0,25	0,75	2,5	5	7
Wabi Shebelle	Burkur	0,25	0,25	2	4	7
Fafen	Kebri-Dahar					1,5

Bassin	Station	1 500-2 000 m	1 000-1 500 m	500-1 000 m	200-500 m
Errer	Hamero-Hedad	20	46	23,5	
Wabi Shebelle	Hamero-Hedad	24	35	11	
Daketa	Hamero-Hedad	3,8	34,7	61	
Wabi Shebelle	Imi	20	33,5	24	1,5
Wabi Shebelle	Code	15	29	32	8,5
Wabi Shebelle	Burkur	10	26,5	35	15
Fafen	Kebri-Dahar	12	55,5	31	

2.2.1. Les massifs et hauts plateaux basaltiques (pays de l'Arussi et du Chercher)

D'une altitude moyenne de 2 500 m ils forment l'encadrement occidental et septentrional du bassin sous la forme d'une ceinture large seulement de quelques dizaines de kilomètres. Les hauts plateaux basaltiques — surfaces tabulaires et collines ondulées — sont dominés par des massifs volcaniques érodés, à fortes pentes, formant ligne de crête et dont plusieurs sommets dépassent 4 000 m. On y trouve des andosols peu profonds, peu perméables et à forte capacité de rétention à l'ouest et au nord-ouest, tandis qu'au nord les sols brunifiés sont plus perméables mais avec une capacité de rétention plus faible. La forêt dense subsiste sur les pentes de ces anciens volcans (1% seulement du bassin).

Les dépôts de cendres très étendus à l'extrémité ouest du bassin ont une perméabilité très forte; l'infiltration importante dans ces cendres conduit à la formation de nappes phréatiques qui se manifestent par la présence de sources. Ces dépôts cendres favorisent le maintien de débits de base élevés sur la plupart des cours d'eau. Le Wabi Shebelle prend sa source dans ces formations, comme la plupart de ses affluents pérennes.

Ces dépôts sont recouverts de sols sableux très perméables sans capacité de rétention.

Le ruissellement subsiste cependant par suite de fortes pentes et de la pluviométrie élevée dans ces régions.

Les formations basaltiques forment de vastes plateaux imperméables où le ruissellement est relativement important.

Ces plateaux sont en effet recouverts de vertisols noirs argileux et profonds.

Ces sols absorbent bien les premières précipitations car ils présentent un réseau superficiel de fentes de retrait qui se forment pendant la saison sèche. Ils deviennent ensuite complètement imperméables et favorisent un ruissellement important. La capacité de rétention de ces sols est très forte.

Sur les tufs volcaniques de la plaine du Wabi Shebelle en amont de Malka-Wakana, on a des chernozems

argilo-sableux profonds à forte perméabilité sur lesquels la densité de drainage est élevée mais le ruissellement faible. Tous ces hauts plateaux, défrichés depuis longtemps, sont entièrement cultivés (céréales) par une population abondante; les collines couvertes d'un tapis herbacé servent au pâturage. Cette zone cultivée couvre 8% du bassin.

2.2.2. *Le massif granitique d'Harar*

Il prolonge à l'est la région basaltique et occupe une altitude comprise entre 2 000 et 3 000 m. C'est un massif très altéré, au relief varié (plateaux, collines douces et massifs en boules...). Le ruissellement y est intense d'autant plus que le manteau d'altération est réduit. Sur les glacis, se sont formés des sols ferrallitiques argilo-sableux à forte perméabilité et où l'érosion régressive est intense par manque de couvert végétal protecteur. Sur les chaos, à l'est, les sols colluviaux sont sableux, grossiers et perméables.

Quelques affluents à caractère torrentiel et semi-désertique y ont leur source : l'Errer et le Daketa qui se jettent dans le Wabi juste à l'amont de la basse vallée et le Fafen.

2.2.3. *Les plateaux calcaires du centre*

Ils occupent pratiquement tout le centre du bassin, au sud des régions basaltiques et granitiques précédentes. Ces plateaux ont une faible pente et descendent lentement vers le sud-est de 2 000 à 700 m d'altitude. Les cours d'eau les ont profondément entaillés et coulent au fond de canyons étroits, encaissés très profondément jusqu'à 900 m (cas du Wabi Shebelle dans son cours moyen près de Lege-Hida). On n'y a pas noté de phénomènes importants de karstification si ce n'est quelques cavernes et dépressions isolées.

Dans l'est du bassin, les calcaires plus morcelés ne se présentent plus sous la forme de plateaux mais de collines plus ou moins arrondies avec un épais manteau d'altération sur les pentes. Le ruissellement global dans ces régions est plus important que sur les plateaux. Les thalwegs sont moins profonds (Fafen et Jerer) et les plaines alluviales plus développées.

Sur les plateaux, les sols sont des vertisols calcaires noirs moyennement profonds, très développés entre Babile et Fik, dans les régions de Jijica et de Lege-Hida. Ils ont une perméabilité faible et un grand pouvoir de rétention mais étant donné l'absence de relief, ils produisent un ruissellement faible.

Sur les pentes abruptes de plateaux, ce sont des sols calci-magnésiques peu évolués d'érosion. Ces sols peu épais ont une capacité de rétention faible et favorisent un ruissellement intense.

Enfin, toujours sur les calcaires, il existe de larges zones correspondant à des épandages de colluvions gréseuses résultant de l'érosion et du transport des grès de Jessoma. Ces épandages sont très développés à la bordure ouest du bassin, dans la région de Shek-Hussien et au nord est du bassin entre Kebri-Beyah et Degahbour. Les sols y sont à différenciation calcaire à calcaire diffus, très perméables et à faible rétention.

En suivant l'altitude décroissante, au pied des plateaux basaltiques cultivés on trouve trois étages successifs de végétation :

a) la forêt basse qui s'étend grossièrement entre l'altitude 2 500 m et l'altitude 1 700 m. Cette forêt secondaire formée d'un grand nombre d'espèces caducifoliées est très fragmentaire et plus ou moins pénétrée par les cultures. Les cultures, nettement différentes des hauts plateaux, sont le maïs, le sorgho, le « tchat » et le caféier. Avec la pénétration humaine, les défrichements ont tendance à s'accélérer dans cette zone, qui représente environ 14% du bassin;

b) le fourré lâche riche en arbustes de 5 à 6 m de hauteur (acacias) couvre 10% du bassin, entre les cotes 1 700 et 1 200 m;

c) la steppe à fourré épineux, en dessous de 1 200 m, composée de maigres graminées et de buissons (1 à 2 m de haut) clairsemés.

Dans l'ensemble de ces plateaux dénudés ou mal couverts, l'infiltration vers les nappes profondes est favorisée par la faible pente, les fissures et diaclases de la roche.

2.2.4. *Les terrains gypseux du sud Ogaden*

Ils occupent pratiquement toute la partie sud sud-ouest du bassin. Ils se présentent en général en collines arrondies, peu élevées, très disséquées, avec une forme caractéristique en « cocardes ». Sur ces terrains tendres l'érosion intense a provoqué la formation de nombreuses cuvettes fermées dans lesquelles se rassemblent les eaux pluviales. Le réseau hydrographique, souvent de type endoréique est très développé car le ruissellement est notable sur le manteau d'altération imperméable. Tous les oueds atteignant la vallée du Wabi Shebelle se terminent par de vastes cônes de déjection attestant d'une érosion élevée. Les alluvions du Wabi Shebelle et du Fafen se développent très largement sur ces terrains.

Les sols à différenciation gypseuse, peu épais et peu perméables sont couverts de steppe à épineux.

2.2.5. *La corniche calcaire de Mustahil*

Vers le sud, les gypses de l'Ogaden sont protégés de l'érosion par un banc de calcaire dur formant corniche.

Cette corniche constitue un plateau plus ou moins morcelé dominant les vallées du Wabi Shebelle et du Fafen, d'environ 80 m. Les pentes faibles sur ce plateau n'autorisent pas un important ruissellement.

On y trouve des sols à différenciation calcaire à amas et nodules, peu épais et à grande perméabilité; ils sont couverts aussi de la steppe à fourré d'épineux.

2.2.6. *Les plateaux gréseux de Jessoma*

Ils occupent l'extrême bordure orientale du bassin et apparaissent parfois ailleurs en petites surfaces. Ces plateaux tabulaires très perméables, sans pente, n'ont pas de réseau hydrographique et renferment des nappes phréatiques perchées. Ils sont recouverts de la steppe à épineux.

2.2.7. *Les alluvions quaternaires*

Ils occupent la basse vallée du Wabi Shebelle, celle du Fafen et les cuvettes d'épandage endoréïques de l'Ogaden gypseux. Les sols sont évidemment très hétérogènes.

Sur les alluvions de la basse vallée du Wabi Shebelle, on distingue trois grands types de sols :

— Les sols à différenciation gypseuse. Ils sont les plus répandus et occupent la plupart des plaines alluviales non soumises à l'inondation. Ils ont une texture sablo-argileuse ou sableuse et sont dans l'ensemble très perméables.

— Les sols hydromorphes non organiques. Ces sols caractérisent les zones inondables. On les trouve dans la région d'Imi et plus au sud entre Kelafo et Mustahil. Ils sont argileux et possèdent une faible perméabilité, ce qui explique le maintien de mares et de marécages permanents sur ces sols.

— Les vertisols et sols vertiques. Ces sols correspondent aux cônes de déjection des principaux affluents de l'Ogaden. Ils forment la bordure des sols à différenciation gypseuse précédemment cités. Très argileux, ces sols ont une faible perméabilité et une bonne capacité de rétention. Ils sont inondés temporairement par les apports de l'Ogaden.

Les sols sur alluvions du Fafen ont une texture très variable qui va des sables fins aux argiles. On rencontre des vertisols sur les cônes de déjection des affluents du Fafen et dans les cuvettes endoréïques où des mares temporaires se constituent en saison pluvieuse.

Sur tous ces sols, les épineux ont presque disparu et seul subsiste un maigre tapis herbacé en saison des pluies que détruit le surpâturage des troupeaux sauf là où les longues inondations ont maintenu une humidité du sol.

Les berges du Wabi Shebelle sont bordées par une galerie forestière qui atteint d'assez grandes surfaces dans la région d'Imi et au sud de Mustahil où la nappe est peu profonde.

Les zones couvertes par ces types de végétation occupent à peu près 5% du bassin. Les zones cultivées se limitent presque exclusivement à la région de Kelafo (irrigation par canaux ouverts en crue) et d'Imi (cultures de décrue). Elles tendent cependant à se développer.

De cet examen géomorphologique général, on peut tirer les conclusions suivantes sous l'angle de l'écoulement :

a) les vertisols dominent sur le haut bassin au nord de l'isohyète 500 mm. Ils recouvrent aussi bien les plateaux basaltiques que les formations calcaires. Ces sols très argileux se saturent en eau lors des premières pluies. Après quoi ils deviennent imperméables et favorisent un ruissellement intense. Ces sols devront permettre la formation de crues très aiguës à l'amont d'Hamero-Hedad;

b) les sols sur calcaires du bas Ogaden sont plus perméables. Ils sont d'autre part moins arrosés (moins de 500 mm). Le ruissellement sur ces sols sera modéré;

c) sur les gypses, les sols en général imperméables favorisent le ruissellement. Cependant la morphologie des terrains gypseux ainsi que l'aridité climatique ont amené la formation de bassins endoréïques fermés sans relation avec le réseau général. Les eaux de ruissellement se concentrent dans des cuvettes fermées où elles s'évaporent et s'infiltrant en créant des nappes souterraines locales. Les surfaces réellement actives, participant à l'alimentation du Wabi Shebelle sont faibles;

d) les sols sur cendres volcaniques du haut bassin très perméables sont favorables à l'existence d'un débit de base élevé sur le Wabi Shebelle.

On peut avoir une idée de l'influence du milieu sur le régime hydrologique en consultant le tableau 4 qui donne pour les principaux bassins contrôlés les pourcentages couverts par les grandes unités géologiques qui correspondent étroitement aux provinces géomorphologiques décrites.

On voit qu'à l'entrée dans la basse vallée, entre Hamero-Hedad et Imi, là où le Wabi Shebelle a son maximum

TABLEAU 4
REPARTITION GEOLOGIQUE PAR BASSIN EN %

Rivière	Station	Terrains volcaniques			Terrains cristallins	Terrains sédimentaires				Alluvions et Colluvions
		Cendres	Tufs	Basaltes		Calcaires de Kebri-Dahar	Gypses	Calcaires de Mustahil	Grès	
Wabi Shebelle	Malka-Wakana	19	21	60						
Errer	Hamero-Hedad			4	21	75				
Wabi Shebelle	Hamero-Hedad	2	2	26	4	62			4	
Daketa	Hamero-Hedad				7	91	2			
Wabi Shebelle	Imi	1	1	19	4	63	9	3		
Wabi Shebelle	Code	1	1	13	3	50	25	2	3	2
Wabi Shebelle	Burkur	1	1	12	3	45	28	4	3	3
Fafen	Kebri-Dahar				8	71			10	11

de potentiel en eau, le bassin comprend un quart de terres volcaniques et deux tiers de plateaux calcaires, tandis qu'à la sortie d'Ethiopie à Burkur les trois quarts du bassin sont en dessous de l'altitude 500 et la fraction volcanique est réduite à 14%, les terrains gypseux absents en amont atteignant maintenant 28%.

2.3. LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Le Wabi Shebelle prend sa source à l'extrémité occidentale du bassin dans les massifs de cendres volcaniques vers 2 800 m d'altitude. Il quitte la région des hauts plateaux à la faveur de deux chutes d'environ 40 m chacune, où se trouve le site de barrage de Malka-Wakana. Il s'encaisse immédiatement dans les plateaux calcaires et parcourt ainsi 600 km jusqu'à Kuldash, site de barrage à 30 km amont d'Imi où cesse à peu près le canyon. Avant ce parcours, orienté NNE-SSW, le Wabi Shebelle reçoit en rive gauche ses principaux affluents ayant une origine et un profil comparables aux siens : Ulul, Siyanan, Ungwata, Ramis.

Après la confluence du Ramis, il coule vers le sud et la profondeur du canyon décroît régulièrement. Il reçoit en rive gauche deux affluents issus du massif granitique : Errer et Daketa dont le premier seul est permanent.

Malgré l'imprécision des cartes altimétriques, on a estimé les pentes moyennes du profil hydrographique longitudinal du Wabi et de ses principaux affluents (cf. tableau 5).

Tous les cours d'eau issus des terrains basaltiques ont des pentes de 30 m/km en tête et qui restent toujours supérieures à 8 m/km à cause des rapides et chutes se succédant le long de leur lit.

Les affluents du massif granitique et ceux des terrains gypseux ont des pentes de 8 à 4 m/km.

Dans l'ensemble, le Wabi Shebelle a des pentes inférieures à celles de ses affluents, à surface drainée comparable.

A 30 km au nord d'Imi, le Wabi Shebelle sort de ses gorges et emprunte une nouvelle direction nord-nord-ouest-sud-est à peu près rectiligne jusqu'à la frontière. Cette direction semble imposée au cours d'eau par la présence d'une zone fracturée ayant provoqué la création d'un vaste fossé d'effondrement.

D'Imi à la frontière, le Wabi Shebelle coule dans une vaste plaine alluviale qui constitue la basse vallée. Sa pente extrêmement faible est comprise entre 0,25 et 0,35 m/km. Ses affluents intermittents, de type désertique, rejoignent rarement directement le fleuve mais se déversent dans la plaine alluviale. On note également dans cette partie du bassin couverte par les sédiments gypseux la nette dégradation du réseau hydrographique et la présence d'un endoréisme très prononcé. Beaucoup de rivières se terminent dans des cuvettes fermées où les eaux de ruissellement se perdent par infiltration et évaporation.

Au point de vue hydrographique la basse vallée peut être divisée en cinq grands biefs :

— De la sortie des gorges jusqu'à Kugno, la pente est faible, les berges sont peu élevées et peu stables, et l'alluvionnement important. Le Wabi Shebelle serpente dans ses alluvions et déborde en période de crues. Son cours instable recoupe fréquemment ses propres méandres.

— A partir de Kugno et jusqu'à 30 km à l'amont de Kelafo, le Wabi Shebelle s'enfoncé de plusieurs mètres dans ses alluvions et ne déborde plus. Les berges sont relativement stables.

— De Kelafo jusqu'à Mustahil, les berges du fleuve s'abaissent à nouveau, la pente du bief diminue (0,20 m/km). Le Wabi Shebelle se diversifie en plusieurs bras qui débordent dans de vastes plaines d'inondation.

- De Mustahil à Burkur, le Wabi Shebelle resserré par les collines calcaires, retrouve un lit bien marqué.
- A l'aval de Burkur, les berges s'abaissent à nouveau, les débordements se produisent en périodes de crues.

TABLEAU 5

PENTES MOYENNES DES PRINCIPAUX BIEFS DU WABI SHEBELLE

Cours d'eau	Bief	Longueur du bief (km)	Pente moyenne (m/km)
Wabi Shebelle	Amont de Malka-Wakana	130	5,4
	Malka-Wakana - Lege-Hida	230	5,0
	Lege-Hida - Hamero-Hedad	265	1,2
	Hamero-Hedad - Imi	125	0,56
	Imi - Gode	307	0,35
	Gode - Kelafo	100	0,27
	Kelafo - Burkur	129	0,32

Le Fafen draine un bassin endoréique de 42 000 km² sans connexion avec le Wabi Shebelle. Il prend naissance dans le massif granitique du Harar et coule en direction du sud-sud-est comme son principal affluent de rive droite, le Jerer né dans les calcaires. Leur pente de 5 m/km descend à 3 m/km après la confluence. Les tributaires s'épandent sans rejoindre le Fafen dans la plaine alluviale large alors de 6 km. Le Fafen se dégrade à son tour, après Kebri-Dahar traverse deux plaines d'épandage en formant de nombreux bras et finit par disparaître complètement dans une troisième plaine à la latitude de Mustahil mais sans pouvoir rejoindre le Wabi Shebelle.

3. LES ÉLÉMENTS CLIMATIQUES DU BILAN HYDRIQUE

Le bassin du Wabi Shebelle est soumis à un climat équatorial à saisons sèches et pluvieuses alternées et d'importance variable, la plus grande saison sèche coïncidant avec l'hiver boréal et la plus grande saison pluvieuse avec l'été boréal.

Ces variations saisonnières peuvent être expliquées schématiquement par les déplacements annuels du Front Intertropical ou FIT qui sépare l'air équatorial maritime (mousson) de l'air tropical continental, ces déplacements s'accompagnant de précipitations dans la zone de contact des deux masses d'air.

a) Au cours de l'hiver boréal, le FIT se trouve dans l'hémisphère sud; le bassin est sous l'influence des masses d'air continentales du nord-est en provenance des hautes pressions d'Égypte. Ce courant d'air froid d'origine désertique provoque la grande saison sèche.

b) A partir de mars, le FIT remonte dans l'hémisphère nord; le bassin est sous l'influence de l'air équatorial humide du sud-est (alizés en provenance de l'Océan Indien). Ce déplacement du FIT vers le nord amène la formation de la première saison des pluies plus ou moins décalée sur le bassin.

c) En mai, le FIT se stabilise, et on assiste à la petite saison sèche sur les hauts plateaux et à une saison sèche plus prolongée sur le sud du bassin.

d) A partir de juin et jusqu'en septembre, le FIT continue à progresser vers le nord; le bassin est envahi par les masses d'air humides du sud-ouest (mousson) qui donne naissance à la grande saison des pluies, sur les hauts plateaux.

e) En septembre, les hautes pressions d'Égypte retournent le FIT vers le sud, l'air continental sec du nord-est se rétablit sur le bassin. Le déplacement du FIT vers le sud amène la formation de la seconde saison des pluies (octobre-novembre) sur le sud du bassin.

Outre ces mouvements de masses d'air, la présence des hauts sommets volcaniques du nord contribue à créer une semi-aridité dans l'Ogaden qui est plutôt exceptionnelle sous 5° à 7° de latitude.

Les éléments climatiques du bilan hydrique sont connus à travers un ensemble de stations d'observations surtout concentrées sur les hautes terres habitées : 15 postes météorologiques dont 6 mis en place par la mission en 1968 (3 seulement sont en dessous de 700 m, tous les autres étant au-dessus de 1 400 m) et 69 postes pluviométriques dont 48 mis en place par la mission de 1968 à 1970 (10 seulement sur le total sont en dessous de 1 000 m).

3.1. INSOLATION ET TEMPÉRATURES DE L'AIR

La nébulosité augmente avec l'altitude. Si l'on compare les heures d'insolation annuelle aux heures de durée du jour, on constate que l'insolation représente environ 50 à 55% de la durée totale du jour en altitude et 70% au sud du bassin.

A l'échelle mensuelle, juillet est le mois le moins ensoleillé. La durée d'insolation pendant ce mois représente 35 à 55% de la durée du jour suivant l'altitude; décembre est le mois le plus ensoleillé (65 à 90% de la durée du jour).

La moyenne annuelle du nombre d'heures d'insolation dépasse 3 000 dans l'Ogaden (provinces gypseuses, de la corniche de Mustahil, des alluvions quaternaires) et tombe en dessous de 2 500 dans la province volcanique. Une illustration numérique du régime thermique est offerte dans le tableau 6 où sont représentées, pour cinq stations de la mission, les valeurs caractéristiques suivantes :

TABLEAU 6
TEMPÉRATURES EN °C
STATIONS CLIMATOLOGIQUES DE LA MISSION D'ÉTUDES DU WABI SHEBELLE

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
<i>Ticho (3 ans)</i>													
T moy	12,7	13,2	13,2	13,2	14,0	13,6	13,0	12,8	13,0	12,1	11,4	11,8	12,8
T max	19,8	20,9	19,6	20,0	20,7	20,8	19,6	19,0	19,3	19,0	19,4	20,7	19,9
T min	6,5	6,8	8,0	8,5	8,5	7,7	8,0	8,0	7,9	7,2	5,0	4,0	7,2
T max - T min	13,3	14,1	11,6	11,5	12,2	13,1	11,6	11,0	11,4	11,8	14,4	16,7	12,6
<i>Adaba (3 ans)</i>													
T moy	13,2	13,6	13,8	14,3	14,4	14,4	13,4	12,7	13,4	13,2	11,9	11,5	13,3
T max	22,5	23,4	22,2	22,3	23,2	23,3	20,7	19,9	20,7	20,9	21,7	22,5	22,0
T min	5,2	5,3	7,3	7,6	7,4	7,1	8,2	8,1	7,7	6,7	3,1	0,9	6,2
T max - T min	17,3	18,1	14,9	14,7	15,8	16,2	12,5	11,8	13,0	14,2	18,6	21,6	15,8
<i>Medagalola (3 ans)</i>													
T moy	20,6	21,8	21,0	21,7	21,3	20,9	20,7	20,9	20,8	20,4	19,9	19,9	20,8
T max	28,2	30,1	28,5	28,9	29,2	28,0	27,4	27,8	27,8	27,5	27,8	28,8	28,3
T min	15,2	14,6	16,0	17,0	16,2	16,1	15,5	15,5	15,1	15,5	13,5	13,0	15,3
T max - T min	13,0	15,5	12,5	11,9	13,0	11,9	11,9	12,3	12,7	12,0	14,3	15,8	13,0
<i>Hamero-Hedad (3 ans)</i>													
T moy	25,2	25,8	26,9	26,8	26,2	26,4	26,5	25,5	26,7	25,4	24,5	23,4	25,8
T max	33,9	34,5	34,2	34,1	32,8	32,2	31,5	31,9	33,6	33,0	33,2	33,5	33,2
T min	17,2	17,4	19,3	19,7	19,1	20,0	20,4	20,6	22,3	19,2	15,7	12,9	18,7
T max - T min	16,7	17,1	14,9	14,4	13,7	12,2	11,1	11,3	11,3	13,8	17,5	20,6	14,5
<i>Gode (3 ans)</i>													
T moy	28,6	28,8	29,8	29,7	28,6	28,2	27,8	27,8	28,6	27,5	27,1	27,4	28,6
T max	35,2	36,1	36,4	35,8	33,9	33,4	32,9	33,0	34,0	33,2	34,0	35,0	34,4
T min	23,5	22,5	24,0	24,6	24,1	23,6	23,4	23,4	23,4	23,4	21,3	20,8	23,1
T max - T min	11,7	13,6	12,4	11,2	9,8	9,8	9,5	9,6	10,6	9,8	12,7	14,2	11,3

T moy : température moyenne mensuelle et annuelle

T max : moyennes mensuelle et annuelle des températures maximales journalières

T min : moyennes mensuelle et annuelle des températures minimales journalières

T max-T min : écarts diurnes moyens mensuels et annuels

Ces stations sont respectivement représentatives des massifs volcaniques (Ticho, 2 980 m), des plateaux basaltiques (Adaba, 2 480 m), des plateaux calcaires avec fourré (Medagalola, 650 m), enfin de la basse vallée (Gode, 260 m).

La lecture du tableau 6 appelle les commentaires suivants :

a) le gradient thermique moyen annuel de décroissance est de 0,63 °C, par 100 m de dénivelée, avec quelques écarts au-dessus de 1 700 m dûs à l'orientation des stations vis-à-vis des versants montagneux;

b) la répartition mensuelle des températures moyennes montre deux maximums : le premier centré sur mai au-dessus de 1 700 m, sur mars en dessous, tandis que le second affecte septembre ou octobre;

c) les températures maximales culminent en fin de saison sèche — février ou mars — avec des valeurs de 20 à 35 °C selon l'altitude;

d) les températures minimales les plus basses sont en décembre et janvier, le thermomètre descendant souvent en dessous de 0 °C à des altitudes supérieures à 2 500 m.

3.2. HUMIDITÉ DE L'AIR, VENT ET ÉVAPORATION

L'humidité relative de l'air croît avec l'altitude. Au-dessus de 1 700 m elle présente un maximum d'août en pleine saison pluvieuse (70 à 95% selon l'heure du jour) et un minimum de fin de saison sèche en février ou mars (45 à 85% selon l'heure).

En dessous de 1 000 m, l'humidité accuse deux maximums à l'occasion des deux saisons pluvieuses, l'un en mai (50 à 80%) l'autre en octobre (50 à 85%) tandis que le minimum subsiste en février-mars, mais ici très accusé (25 à 75%).

Les directions des vents dominants suivent les mouvements des masses d'air : nord-est d'octobre-novembre à avril-mai, sud-ouest le reste de l'année.

Les vitesses du vent sont élevées; régulières sur les plateaux volcaniques (1,5 à 2 m/s toute l'année en moyenne au sol), elles croissent lorsque domine le secteur sud-ouest dans l'Ogaden (2 à 3 m/s, sauf de juin à août avec plus de 5 m/s).

Les mesures effectuées aux six stations de la mission sur bac de classe A donnent une idée de l'évaporation d'une nappe d'eau libre (tableau 7).

Les hauteurs annuelles évaporées décroissent très nettement avec l'augmentation d'altitude, sous l'influence des divers facteurs climatiques. L'écart entre valeurs maximales et minimales observées atteint 1 800 mm (1 411 mm d'évaporation annuelle à Ticho et 3 203 mm à Gode). A partir de ces résultats, on peut grossièrement estimer un gradient d'évaporation moyen sur le bassin égal à 70 mm par tranche de 100 m de dénivelée.

TABLEAU 7
ÉVAPORATION SUR BAC EN MM

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Adaba	147	149	165	155	168	154	118	118	127	148	165	179	1 793
Ticho	114	129	110	117	131	121	109	109	103	98	132	138	1 411
Girawa	195	173	152	134	162	121	102	109	99	121	152	181	1 701
Medagalola	189	189	184	195	158	150	138	145	148	142	169	188	1 995
Hamero-Hedad	270	260	301	264	226	243	257	270	288	208	222	251	3 060
Gode	336	325	343	271	254	310	349	375	363	242	262	323	3 203

Les variations mensuelles de l'intensité évaporatoire suivent les rythmes thermo-hygrométriques présentés ci-dessus : de 3,3 — 4,5 mm/j à 4,5 — 6,3 mm/j au-dessus de 1 400 m, et de 6,7 — 8,0 mm/j à 9,7 — 12,0 mm/j en dessous de cette altitude.

Sur une grande retenue artificielle, l'évaporation annuelle peut être estimée à 90-95% de celle sur bac pour les hautes terres (1 600 mm à Malka-Wakana) et à 80% pour la basse vallée (2 400 mm à l'entrée de celle-ci).

3.3. RÉGIME PLUVIAL

3.3.1. Hauteur annuelle de précipitations et répartition mensuelle

Afin de caractériser la hauteur annuelle de précipitations sur le bassin, on a rassemblé toute l'information disponible pour les postes comportant des périodes d'observation suffisamment longues. Mises à part les trois stations de Dire-Dawa, Harar et Bacaesa qui comportent une série de relevés antérieurs à 1938, la plupart des postes du Service Météorologique n'ont été ouverts qu'entre 1953 et 1956. D'autre part, tous les relevés présentent de graves lacunes et on ne dispose finalement que d'un échantillon très restreint qui couvre souvent des périodes fort différentes pour chaque saison. Afin d'étendre cet échantillon et de dégager une période commune, on a tenté de corrélérer les hauteurs annuelles observées aux postes présentant les séries les plus longues (Dire-Dawa, Bacaesa, Harar, Jijiga) avec les hauteurs annuelles de la station d'Addis-Abeba (61 années de relevés). Les corrélations obtenues sont peu significatives et ne permettent pas d'améliorer la connaissance de la pluviométrie interannuelle.

L'information disponible sur plus de cinq ans concerne 21 stations, la plupart au-dessus de 1 700 m, aucune n'étant située sur les plateaux calcaires du centre.

Ces deux constatations en introduisent deux autres :

a) Le relief joue un rôle prépondérant sur la hauteur annuelle de précipitations. Il impose un gradient pluviométrique élevé sur l'ensemble du bassin. La hauteur annuelle de précipitations passe en effet de 1 900 mm sur les plus hauts sommets à 150 mm à l'extrémité sud de la basse vallée. La répartition des pluies essentiellement soumise au mouvement des masses d'air est également modifiée par la présence des reliefs montagneux. On passe graduellement d'une seule saison des pluies prolongée sur les sommets à deux courtes saisons des pluies bien distinctes au sud du bassin.

b) Etant donné la faible densité spatiale des postes pluviométriques sur le bassin et le caractère réduit des échantillons, il n'est pas possible de tracer un réseau d'isohyètes interannuel qui serait beaucoup trop imprécis. On a donc simplement divisé le bassin en grandes zones, chaque zone présentant des caractéristiques homogènes en hauteur annuelle et en répartition mensuelle.

Les cinq zones à pluviosité homogène sont représentées sur la figure 4. On décrit maintenant leurs caractéristiques et leur localisation.

— *Zone I.* — Elle occupe les grands massifs volcaniques et les hauts plateaux qui les entourent. Elle est représentée par la station de Bacaesa.

Suivant l'altitude et l'orientation des versants la hauteur pluviométrique moyenne varie entre 1 800 mm et 1 300 mm. Les pluies ont lieu sans interruption de mars à novembre. La petite saison sèche intermédiaire est pratiquement inexistante. Les mois de saison sèche sont décembre, janvier et février. C'est un régime pluvial de type tropical de montagne. C'est la zone de la forêt dense.

— *Zone II.* — Elle occupe tous les hauts plateaux basaltiques en-dessous de la zone I, à l'exception de la plaine du Guedeb qui est classée dans la zone III; la hauteur annuelle de précipitations est comprise entre 1 300 et 900 mm. Les précipitations se répartissent en deux saisons : une petite saison en mars, avril et mai et une seconde plus abondante en juillet, août, septembre et octobre. Ces deux saisons sont séparées par une petite saison sèche en mai ou juin. La grande saison sèche couvre quatre mois de novembre à février. Ce type de répartition est caractéristique du régime pluvial équatorial de transition boréal. C'est la zone des terres cultivées. Les stations représentatives sont Deder et Goba.

— *Zone III.* — Elle occupe la plaine du Guedeb (zone cultivée en amont de Malka-Wakana) qui par sa position entre les massifs montagneux forme un « trou » pluviométrique.

La hauteur annuelle de précipitation est comprise entre 900 et 700 mm. La répartition des précipitations est identique à celle de la zone II avec cependant une première saison des pluies moins abondante. Le régime est également de type équatorial de transition boréal. La station d'Adaba caractérise cette zone.

— *Zone IV.* — Elle fait suite vers le sud à la zone II et occupe la partie septentrionale du plateau calcaire ainsi que le massif granitique du Harar; le fourré et la steppe à épineux lui correspondent.

La hauteur annuelle de précipitations comprise entre 900 et 500 mm décroît avec l'altitude du nord vers le sud.

Les deux saisons des pluies sont séparées par une petite saison sèche centrée sur juin et qui a tendance à s'allonger en descendant vers le sud. Le régime pluvial est de type équatorial de transition boréal pour ce qui est de la répartition mensuelle, mais une tendance à l'aridité s'y manifeste quant à la hauteur de précipitations.

Harar et Jijiga en sont les stations caractéristiques.

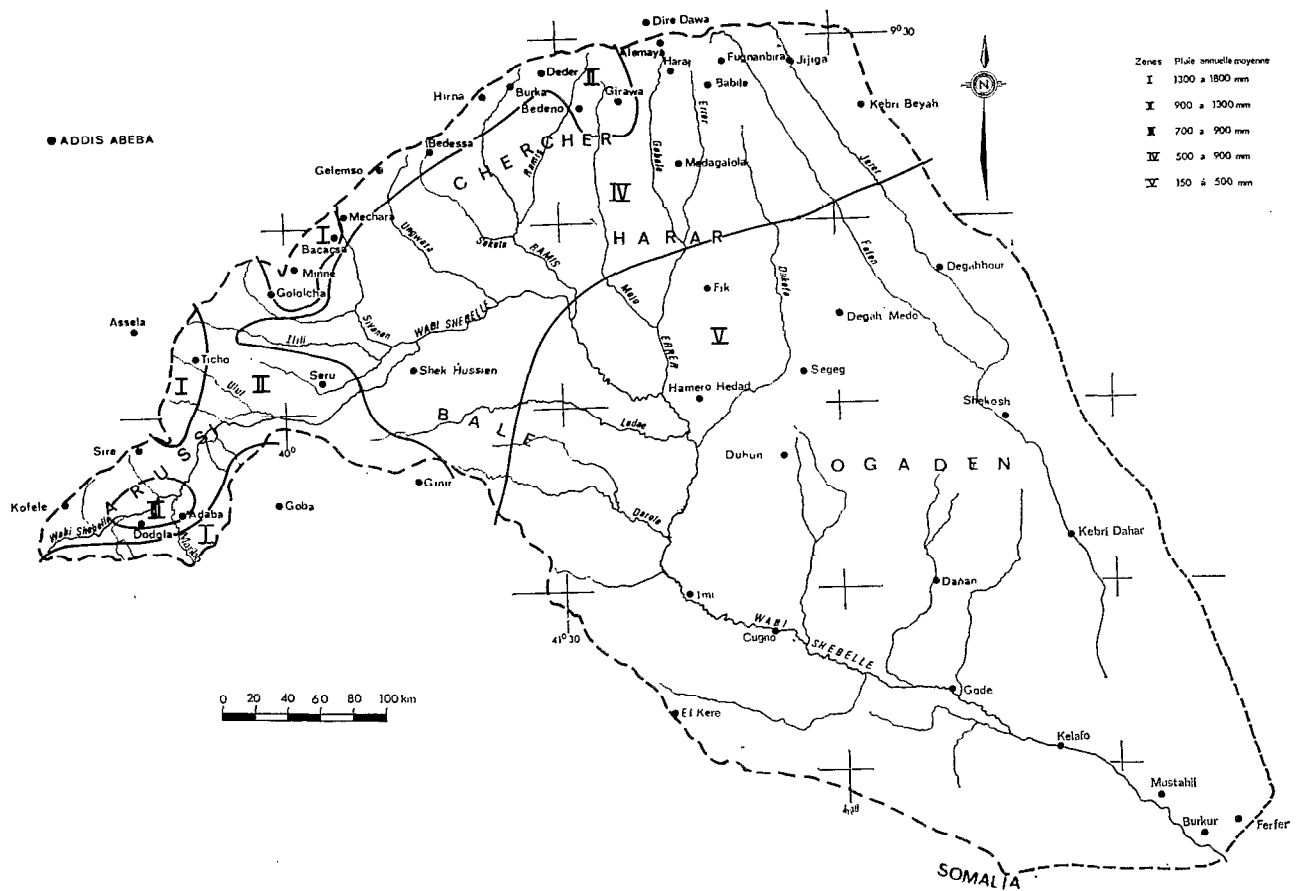


Fig. 4 — Zones de pluviosité homogène

— Zone V. — Elle occupe toute la région aride et steppique du sud du bassin.

La hauteur annuelle de précipitations comprise entre 500 et 150 mm décroît du nord au sud.

Les deux saisons des pluies plus courtes (deux mois chacune) sont d'égale abondance. Elles sont séparées par deux saisons sèches d'égale longueur. La première saison des pluies est toujours centrée sur avril comme sur le nord du bassin. La seconde saison des pluies beaucoup plus tardive est centrée sur octobre et novembre.

Ce type de répartition permet de classer cette zone comme soumise à un régime pluvial équatorial de type aride, dont les stations de Gode et Kebri-Dahar donnent une bonne représentation.

Le tableau suivant n° 8 donne les coefficients mensuels de précipitation en % du total annuel pour les stations caractéristiques des zones de pluviosité homogène.

TABLEAU 8
COEFFICIENTS MENSUELS DE PRÉCIPITATIONS EN % DU TOTAL ANNUEL

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P ann. (mm)
Bacacsa	2,3	3,4	8,0	11,3	15,1	10,4	12,1	10,9	11,8	7,4	5,8	1,5	1 730
Deder	2,5	2,6	7,5	12,8	4,3	8,9	19,2	21,6	16,0	3,2	1,2	0,2	1 083
Goba	1,4	3,4	3,3	16,8	10,7	4,5	11,3	15,0	10,4	11,1	9,8	2,3	914
Adaba	0,9	3,5	6,3	7,9	4,0	7,7	22,4	21,0	13,9	6,7	3,4	2,3	804
Harar	1,2	3,6	6,8	12,3	13,6	11,4	16,0	15,3	11,0	5,2	2,6	1,0	880
Jijiga	1,4	1,8	5,6	13,5	11,4	9,8	11,3	19,4	12,1	9,4	2,9	1,4	672
Kebri-Dahar	0,7	1,0	10,9	26,5	19,5	0	0,4	0,1	2,5	27,9	9,6	0,9	277
Gode	0	2,9	5,1	23,6	23,4	0,2	0	0	0	25,2	17,9	1,7	335

En résumé, les zones I et II qui n'intéressent que 15% du bassin, sont pourtant les seules qui reçoivent plus de 900 mm de pluie et qui fournissent en conséquence la plus grosse part à l'écoulement. Le Wabi Shebelle et ses affluents jusqu'à l'Errer y prennent leur source et sont abondants et permanents. Les zones IV et V ont une contribution modique et sporadique à l'écoulement; le Daketa et les autres affluents du cours inférieur du Wabi Shebelle sont temporaires.

L'année hydrologique étant prise de février à janvier, on a calculé les hauteurs moyennes précipitées lors des dernières années (1969-1970 à 1971-1972). Ceci a donné de 950 à 1 075 mm pour le Wabi Shebelle à Malka-Wakana, de 800 à 900 mm pour le bassin du Wabi Shebelle à Hamero-Hedad et de 400 à 500 mm pour ceux du Daketa et du Fafen, les valeurs moyennes pour le bassin à l'entrée de la basse vallée pouvant être ainsi estimées à 700-800 mm. Ces valeurs donnent une indication sur la pluviosité moyenne du bassin versant.

L'irrégularité interannuelle de cette pluviosité annuelle est difficile à préciser étant donné la courte longueur des échantillons. Une analyse statistique des séries de plus de 15 ans (Harar), montre qu'une loi de PEARSON III pourrait assez bien rendre compte de la variabilité du phénomène.

On peut se contenter d'en donner un aperçu à l'aide des coefficients de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne) des échantillons :

- 0,10 à 0,15 pour les zones I à III au régime peu variable
- 0,30 pour la zone IV au régime plus irrégulier
- 0,50 (?) pour la zone V à l'aridité marquée

Ainsi au cours d'une année décennale sèche pourrait-on avoir les hauteurs de précipitations suivantes : 1 340 mm à Bacacsa, 915 mm à Deder, 610 mm à Adaba, 585 mm à Harar, 445 mm à Jijiga et peut-être 100-150 mm en une station de la zone V.

3.3.2. Précipitations journalières

Les structures des précipitations sont différentes selon les zones. En altitude — zones I à III — les précipitations sont de type « mousson » à faibles intensités (moins de 50 mm/h) et longues durées (plusieurs heures), parfois entrecoupées d'averses orageuses courtes et intenses. Ces averses orageuses constituent le lot commun des pluies des zones IV et V : 30 minutes à 2 heures avec pointes dépassant 80 à 100 mm/h.

Les nombres moyens annuels de jours de pluie décroissent régulièrement de 200 jours dans la zone I à 30 jours dans la zone V en passant par 150 à 120 jours dans les zones II et III — avec diminution d'ouest en est — et enfin 70 à 100 jours dans la zone IV. Le tableau 9 montre la répartition mensuelle moyenne de ces jours de pluie.

TABLEAU 9
NOMBRE MOYEN MENSUEL ET ANNUEL DE JOURS DE PLUIE

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
<i>Zone II</i>													
Goba (Ouest)	3	5	10	16	13	12	16	18	20	16	13	4	146
Deder (Est)	3	4	8	13	6	10	17	18	16	5	3	1	104
<i>Zone III</i>													
Adaba	4	4	10	13	11	14	26	26	22	8	6	2	146
<i>Zone IV</i>													
Harar	2	4	6	11	11	11	15	17	15	6	3	1	102
Jijiga	2	2	5	10	9	8	10	13	12	4	3	1	79
<i>Zone V</i>													
Kebri-Dahar	0	0	1	7	4	0	0	0	1	8	3	1	25
Gode	0	1	2	7	4	0	0	0	0	8	5	1	29

Les hauteurs journalières de précipitations sont relativement plus importantes dans l'est qu'à l'ouest et dans les zones basses que dans les zones hautes. L'analyse statistique des séries d'observations à Addis-Abeba (25 ans) et à Jijiga (11 ans) stations respectivement caractéristiques des zones I, III et II ouest d'une part, II est, IV et V d'autre part, conjuguée avec l'examen des relevés maximaux récents permet d'avancer les estimations suivantes :

	I, III, II ouest	II est, IV, V
Précipitations en 24 h médiane	53 mm	62 mm
Précipitations en 24 h décennale	73 mm	85 mm

Le choix des stations de Jijiga et Addis Abeba provient de ce qu'elles sont les seules offrant plus de 10 ans complets de relevés journaliers disponibles. L'affectation aux zones de pluviosité a été faite en examinant tous les relevés disponibles, anciens et récents.

Les plus fortes précipitations maximales confirment cette affectation.

On peut mentionner :	116 mm à Gelemso	en 14 ans (zone II)
	100 mm à Adaba	en 13 ans (zone III)
	117 mm à Fugnanbira	en 16 ans (zone IV)
	90 mm à Kebri-Dahar	en 13 ans (zone V)

Dans le même ordre d'idées, les pluviogrammes de la Mission indiquent que les intensités croissent lorsque la pluviosité annuelle diminue, pour des hauteurs d'averses égales.

Il est intéressant de faire ressortir la particularité du régime pluvial des hauts plateaux d'Ethiopie où, contrairement à ce que l'on observe dans toute l'Afrique occidentale intertropicale, la hauteur de précipitations en 24 heures (ou au cours d'une averse) ne croît pas avec la hauteur annuelle de précipitations. Ceci est dû essentiellement à l'altitude. On retrouve cette influence localement dans l'ouest du Cameroun, comme ici, lorsque l'altitude dépasse 1 500 à 1 800 m (pays Bamileke, haut bassin du Mbam affluent de la Sanaga). Il serait intéressant de vérifier cette particularité dans les autres régions intertropicales à altitudes élevées (Afrique orientale, Cordillère des Andes...).

4. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

De la présentation des provinces géomorphologiques (cf. 2.2.) on peut éliminer les régions imperméables (massif granitique, gypses de l'Ogaden) pour concentrer les espérances en eau souterraine sur les autres provinces. Parmi celles-ci, il faut constituer deux groupes : celui des terrains volcaniques et celui des terrains sédimentaires.

Le premier groupe occupe les parties hautes du bassin, les plus arrosées. Les terrains volcaniques sont perméables et même très perméables; lorsqu'il s'agit de tufs et de cendres comme dans le bassin supérieur du Wabi Shebelle en amont de Malka-Wakana, on peut parler d'éponge gorgée d'eau qui sourd par les multiples sources alimentant généreusement les nombreux petits cours d'eau. La ressource en eau superficielle est alors surabondante (cf. chapitre 5) et il a paru d'un intérêt réduit de porter une attention particulière aux nappes qui la fournissent.

Tout autre est le constat d'analyse des terrains sédimentaires. Nettement moins arrosés (zones IV et V de pluviosité) ceux-ci sont néanmoins l'objet d'une infiltration suffisante pour constituer des réserves soit dans les calcaires, soit dans les alluvions. Que valent ces réserves ? Des reconnaissances de terrain ont permis de dresser un fichier des puits, de faire des analyses d'eau; des implantations de piézomètres ont permis de suivre les fluctuations de niveau; enfin des essais de pompage sur puits ou forages creusés à cet effet ont permis d'estimer les quantités exploitables.

Ces résultats peuvent être résumés pour les différents terrains aquifères : calcaires de Kebri-Dahar et de Mus-tahil, alluvions de vallées.

4.1. CALCAIRES DE KEBRI-DAHAR

Cette formation affleure sur une grande surface du bassin du Wabi Shebelle évaluée à 95 000 km². Elle y occupe toute la partie centrale et le nord-est formant un vaste plateau calcaire dans lequel le Wabi Shebelle et ses affluents s'encaissent profondément.

Ces calcaires occupent la région nord-est de l'Ogaden de part et d'autre du Fafen sur une bande d'environ 100 km de large. La limite sud de leurs affleurements est marquée par la ligne Kebri-Dahar — Danan. A l'ouest de Danan et au sud de la ligne Kebri-Dahar — Danan, ils sont recouverts par la formation gypseuse principale, dont l'épaisseur dépasse 250 m (forage de Gode) et même 300 m plus au sud.

Aucun forage de reconnaissance connu n'ayant recoupé entièrement ces calcaires, il est difficile de déterminer leur épaisseur avec précision. Les forages de Kebri-Dahar et de Shekosh nous montrent que les niveaux supérieurs à faciès plus lagunaire ont une épaisseur d'environ 150 mètres et les niveaux inférieurs et intermédiaires au moins 200 mètres. On aboutit ainsi à une puissance minimale de 350 mètres.

Attribuée au Jurassique supérieur (Kimméridgien-Portlandien) cette formation comporte à la base un faciès compact de calcaires blanc-jaunes en bancs stratifiés, peu fissurés, évoluant à la surface vers un faciès alterné de bancs calcaires, de marnes, d'argiles et de gypses.

Comme toutes les formations sédimentaires locales, les calcaires de Kebri-Dahar ont un pendage de quelques degrés (5 à 10°) vers le sud-est. Ils vont donc contenir une nappe alimentée par les pluies de la zone IV (500 à 900 mm/an) et qui devient captive quand les calcaires s'ennoient sous les gypses de l'Ogaden.

Malgré cette bonne alimentation (plateau à faible couvert végétal) cette nappe ne sera pas très importante parce qu'aucune trace de karstification n'a été notée, que les perméabilités sur carottes sont faibles (10^{-7} m/s), que les fissurations sont réduites et qu'enfin les intercalations de marnes y sont nombreuses.

La géochimie de la nappe est concordante avec ces observations lithologiques et hydrodynamiques. Les concentrations en sels élevées croissent du nord au sud de 3 à 5 g/l, les eaux chlorurées calciques et magnésiennes devenant sulfatées sodiques dans le sud, par suite de leur faible vitesse de circulation et de la présence accrue de marnes et gypses.

Bien que potentiellement la plus riche ressource en eau souterraine du centre et du sud du bassin, la nappe aquifère des calcaires de Kebri-Dahar n'est pas d'exploitation facile.

En effet, l'exploitation de la nappe nécessite des forages profonds captant la nappe sur une grande hauteur, donc assez coûteux. Elle ne se justifie que si les eaux exploitées sont d'une qualité suffisante pour l'alimentation domestique.

Sous le recouvrement de la formation gypseuse principale, l'exploitation de la nappe est à exclure car elle est très profonde et ses eaux sont très chargées en sels solubles (plus de 5 g/l). En outre, il y aurait obligation d'isoler les couches gypseuses supérieures qui contiennent des niveaux aquifères sursalés.

Dans la partie affleurante des calcaires de Kebri-Dahar, l'exploitation de la nappe peut être envisagée par forages profonds à la limite nord de l'Ogaden. La salinité des eaux encore élevée dans cette zone devrait cependant être voisine de 3 g/l.

Les forages devront pénétrer assez profondément sous le niveau piézométrique de la nappe afin d'obtenir des débits suffisants.

4.2. CALCAIRES DE MUSTAHIL

Datés du Barrémien-Albien, ces calcaires forment les surfaces structurales des plateaux morcelés entre Wabi Shebelle et Fafen, au sud de la ligne Gode- Kebri-Dahar. Leur puissance voisine 30 m. Il s'agit de calcaires marneux et crayeux couverts d'un banc dolomitique dur, de 8 à 10 m, formant la corniche des plateaux de l'Ogaden.

Le bassin d'alimentation, peu étendu, est souvent recouvert par les terrains gypseux imperméables. En outre, les précipitations dans cette région sont peu abondantes (300 à 100 mm) et très irrégulières. L'alimentation directe de la nappe par les précipitations est donc exclue. Celle-ci s'effectue au niveau des cuvettes d'épandage localisées, à l'exutoire de petits bassins hydrologiques endoréiques. Les eaux de ruissellement s'y accumulent, s'infiltrant et sont drainées par les calcaires dolomitiques fissurés sous-jacents qui peuvent ainsi renfermer un aquifère permanent.

Cependant, compte tenu de leur épaisseur réduite et de leur alimentation faible et irrégulière, ces calcaires ne peuvent contenir qu'un aquifère pauvre et sans réserves importantes.

Les fluctuations des niveaux piézométriques sont importantes et suivent de près les chutes de pluies ; on trouve la nappe en moyenne à 4 m en fin de saison pluvieuse et à 12 m en fin de saison sèche. Elle sert à l'abreuvement des troupeaux.

Les caractères géochimiques sont très variables d'un lieu à l'autre, selon la nature du recouvrement, et dans le temps. Certaines eaux sont sulfatées calciques à 2 — 3 g/l, d'autres comparables atteignent 3 à 5 g/l.

En conclusion, l'aquifère de Mustahil est mal alimenté, et de faibles réserves ; ses eaux salées peuvent néanmoins servir à abreuver le bétail par des captages superficiels améliorés à développer de préférence dans les zones d'épandage des eaux de ruissellement.

4.3. LES ALLUVIONS FLUVIATILES

Corollaire des mouvements tectoniques internes ayant amené la formation de la Rift Valley à l'époque Miocène, une fracturation d'orientation NW-SE constituant petit fossé d'effondrement a permis au Wabi Shebelle d'y déposer ses alluvions sur lesquels il coule maintenant dans sa basse vallée.

Le Fafen coule dans une vallée de formation identique.

Toutes ces alluvions sont d'époque Quaternaire. Des lignes transversales de piézomètres installées à Gode, Kelafo et Mustahil ont montré comme il fallait s'y attendre l'hétérogénéité de ces alluvions constituées d'alternances de limon, d'argiles et de sables.

L'épaisseur dépasse toujours 30 m. Réparties en grandes plaines le long des cours inférieurs, ces alluvions affleurent sur environ 3 000 km² (Wabi Shebelle) et 2 000 km² (Fafen).

On trouve à côté des grandes vallées des alluvions de dépôts locaux de l'Ogaden, dus à des transports à faible distance, soit des limons sableux à croûtes calcaires, soit des limons gypseux tantôt en cuvettes endoréiques, tantôt en cônes de déjection d'affluents temporaires.

Deux à trois années d'observations des niveaux piézométriques permettent d'estimer l'importance et le mécanisme de la nappe des alluvions du Wabi-Shebelle.

Très argileuses et très hétérogènes, ces alluvions ne peuvent constituer un réservoir important.

Ce réservoir ne bénéficie d'une alimentation notable que dans les zones de débordement du fleuve, c'est-à-dire dans la vaste cuvette qui s'étend de Kelafo à Mustahil et à un degré moindre dans la cuvette d'Imi. En dehors de ces zones soumises à l'inondation, la nappe est peu alimentée et conserve un niveau piézométrique constant équilibré par le fleuve. Seules quelques zones sont alimentées par déversements d'oueds. Mais ces apports n'influencent pas le niveau piézométrique général de la nappe par suite de la mauvaise transmissivité des alluvions. Il semble également que l'écoulement de la nappe soit très faible.

Plus la nappe est alimentée par d'abondantes inondations, moins ses eaux sont chargées. La teneur en sels dissous peut ainsi passer de 3,8 g/l (Gode) à 1,5 g/l (Mustahil). Le faciès géochimique est à peu près homogène : sulfaté sodique avec taux de chlore important (200 à 500 mg/l de Cl⁻).

Contrairement à la vallée du Wabi Shebelle, celle du Fafen est jalonnée de nombreux puits superficiels, souvent même édifiés dans le lit même, servant aux besoins pastoraux. La nappe alluviale est peu profonde et alimentée essentiellement par les crues du Fafen, donc de manière très irrégulière d'une année sur l'autre. La transmissivité est très faible, comme dans les alluvions du Wabi Shebelle.

Les eaux de la nappe peu chargées après les crues se concentrent en saison sèche jusqu'à atteindre des teneurs en sels dissous de 3 à 9 g/l. Le faciès géochimique est sulfaté sodique et magnésien avec taux de chlorures croissant en saison sèche.

Quoique faible réserve et de médiocre qualité, l'aquifère des alluvions du Fafen est apte à satisfaire les besoins pastoraux locaux.

Les alluvions des cuvettes d'épandage sont encore plus pauvres en eau d'une qualité plus médiocre.

* *
* *

En conclusion, on doit dresser un bilan assez restrictif des espérances que les terrains sédimentaires laissent entrevoir. Ils sont tous peu ou mal alimentés et contaminés par les gypses de l'Ogaden qui leur donnent une salure accrue. On trouve en effet dans cette puissante formation semi-imperméable des passages calcaires aquifères contenant des eaux à 20 et 40 g/l. Même le réservoir important des calcaires de Kebri-Dahar n'échappe pas à cette contamination dans le sud de l'Ogaden. Il n'est cependant pas inconcevable que ce dernier réservoir soit exploitable malgré sa profondeur. Des campagnes géophysiques et des forages complémentaires pourraient éclaircir ce point.

En définitive, la seule richesse souterraine palpable actuellement vient des terrains volcaniques et assure d'abondants étiages aux cours d'eau qui y naissent.

5. RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLE

Le régime hydrologique reflète assez fidèlement celui des précipitations pour ce qui est de la répartition mensuelle. L'abondance de l'écoulement aussi mais l'influence du relief et de la géomorphologie viennent ici renforcer celle de la pluviosité de telle sorte que l'on assiste à une variabilité énorme de la ressource dans l'espace, ce qui donne une particularité certaine au bassin du Wabi Shebelle. Rarement, en effet passe-t-on aussi vite dans les régions inter-tropicales de zones élevées, pluvieuses, froides et perméables à d'autres zones basses, arides, chaudes et imperméables après avoir traversé comme un *no man's land* ou un « causeuse » à la faveur de profonds canyons s'allongeant sur plusieurs centaines de kilomètres les vastes plateaux du centre reposant sur les calcaires de Kebri-Dahar. Autant de mondes différents et étrangers créant de violents contrastes dans les ressources en eau superficielles.

5.1. RÉGIME HYDROLOGIQUE

Il est comme celui des précipitations de type équatorial à deux saisons de hautes eaux. Mais la répartition mensuelle des débits est légèrement déformée par rapport à celle des précipitations étant donné l'hystérésis de la réponse et l'effet cumulatif caractéristique des transformations pluies-débits. On peut s'en rendre compte avec le tableau 10 montrant les coefficients mensuels de débits des principales stations, et si on le compare au tableau 8 (cf. 3.3.1) qui contenait les mêmes coefficients pour les précipitations.

Enfin la durée de parcours de l'écoulement et l'action des plaines d'inondation de la basse vallée vont accentuer le retard de la répartition mensuelle des débits par rapports aux pluies et vont écraser les valeurs extrêmes.

Le régime du haut Wabi Shebelle à Malka-Wakana est le suivant :

- première saison de hautes eaux de mars à mai, avec un maximum centré sur avril (9,3%) ;
- petite saison de basses eaux en juin ;

TABLEAU 10
COEFFICIENTS MENSUELS DE DÉBIT (EN %)
(VALEURS MOYENNES)

Stations	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
<i>Le Wabi Shebelle</i>												
Malka-Wakana	3,1	5,8	9,3	6,2	3,9	12,5	24,4	16,9	9,6	4,5	1,9	1,9
Hamero-Hedad	2,6	4,2	9,8	9,4	4,0	7,2	17,3	18,2	13,2	7,7	4,2	2,2
Gode	1,9	3,6	11,3	11,1	3,5	6,1	15,8	16,6	15,8	9,1	3,6	1,6
Burkur	1,3	3,0	5,5	14,9	5,5	4,2	11,6	17,6	16,3	12,0	6,3	1,8
<i>Les affluents du Wabi Shebelle</i>												
Errer	2,9	6,6	12,8	15,5	6,2	4,4	12,1	17,1	11,3	4,6	3,3	3,2
Daketa	0	9,4	30,9	37,7	3,2	0	0	4,9	12,6	1,3	0	0
<i>Le Fafen</i>												
Kebri-Dahar	0	6,7	22,2	48,1	2,2	0,1	0	1,9	13,4	5,4	0	0

Nota — Les coefficients de débits maximaux correspondant aux deux saisons des pluies sont en italiques.

- deuxième saison de hautes eaux de juillet à octobre avec un maximum centré sur août (24,4%) ;
- étiage de novembre à février.

— Entre Malka-Wakana et Hamero-Hedad, les apports des grands affluents en provenance du Chercher, modifient la position du second maximum en le déplaçant vers septembre (18,2%). La montée de la crue et par voie de conséquence la décrue de la seconde saison sont plus tardives.

— Entre Hamero-Hedad et Gode, les plaines d'inondation de la région d'Imi ainsi que les apports tardifs du Daketa et des affluents de l'Ogaden ont pour effet d'amortir l'hydrogramme et d'allonger les périodes des hautes eaux.

La première saison de hautes eaux est plus abondante que précédemment avec deux mois de hautes eaux en avril (11,3 %) et mai (11,1%).

La seconde saison de hautes eaux a trois mois à peu près équivalents : août (15,8%) septembre (16,6%) et octobre (15,8%).

— Les plaines d'inondation situées entre Gode et Burkur ont pour effet de retarder l'apparition des deux maximums : le premier a lieu en mai (14,9%), le second en septembre (17,6%) et octobre (16,3%). D'autre part, par suite de la restitution de l'eau emmagasinée dans les plaines d'inondation, la décrue est plus lente.

Le régime des affluents du Wabi Shebelle jusqu'à l'Errer inclus est comparable à celui du fleuve dans ses différents biès supérieur et moyen, tous ces cours d'eau étant pérennes puisque issus des terrains volcaniques.

A partir du Daketa et pour tous les autres affluents en aval ainsi que pour le Fafen, la naissance en terrain granitique ou calcaire se solde par une cessation de l'écoulement en saison sèche. On a donc deux saisons d'écoulement courtes, la première, la plus abondante, centrée sur mai (40%), la seconde centrée sur octobre (13%), et ces saisons d'écoulement ne sont généralement pas permanentes mais formées de crues brèves séparées de maigres parfois avec arrêt d'écoulement. Ainsi le Fafen à Kebri-Dahar présente (sur 4 années d'observations) un nombre moyen annuel de 6 crues dont la durée moyenne varie de 20 (1^{re} saison) à 9 jours (2^e saison), c'est-à-dire qu'il y a environ 90 jours d'écoulement par an en moyenne, dont 60 lors de la seule 1^{re} saison.

Le régime hydrologique du Wabi Shebelle peut être représenté graphiquement par les courbes des débits moyens mensuels pour diverses — 25, 50 et 75% — fréquences au dépassement (cf. fig. 5). On peut ainsi apprécier

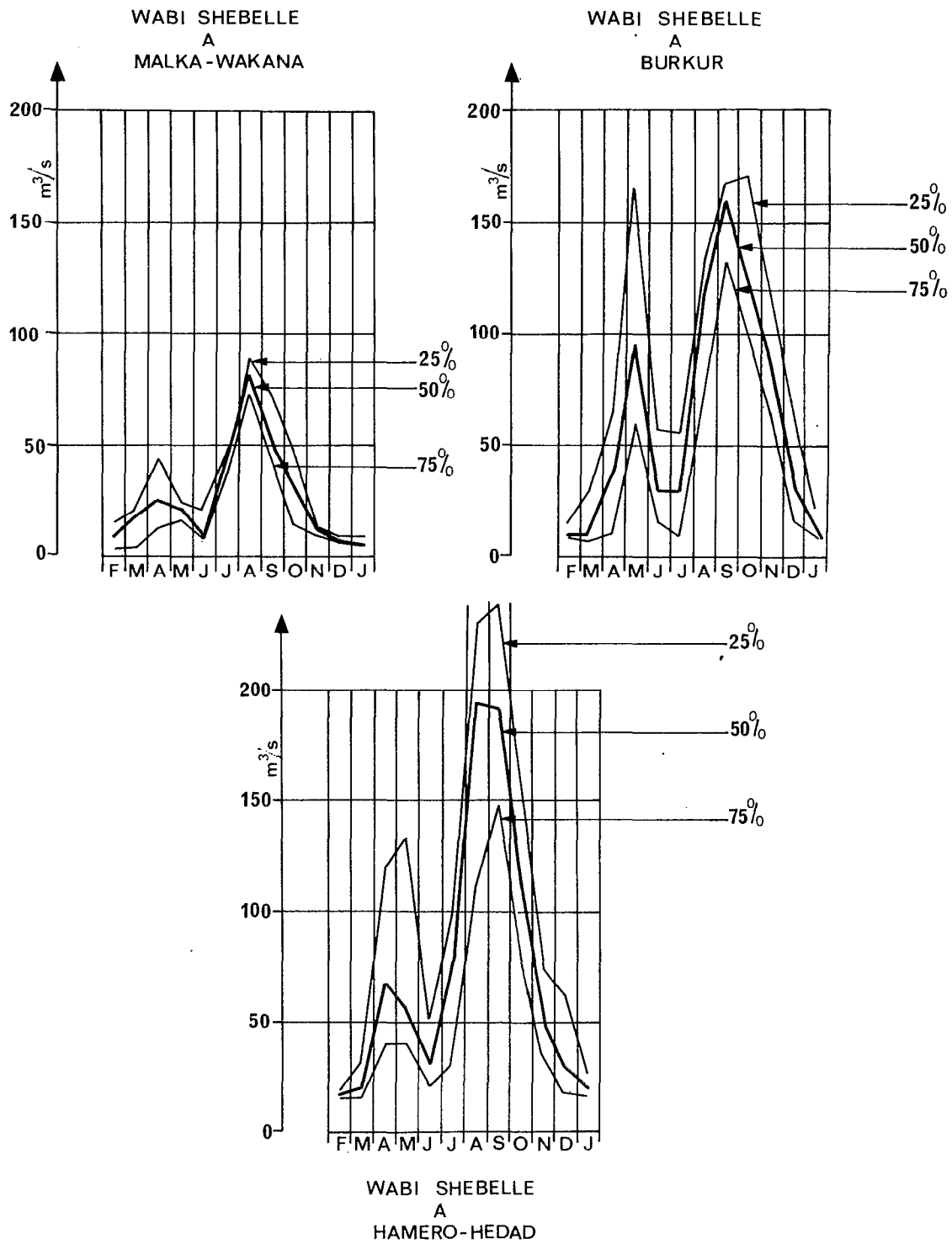


Fig. 5 — Débits moyens mensuels d'après leur fréquence au dépassement

outre l'évolution d'amont en aval de la répartition mensuelle des débits leurs vraies valeurs et les écarts inter-annuels. Rien qu'à l'aide des trois stations de Malka-Wakana, de Hamero-Hedad et de Burkur on peut noter d'une part la forte régularité des écoulements sur les hautes terres volcaniques par contraste avec le reste du bassin et l'effet amortisseur des plaines d'inondation sur les débits de hautes eaux entre l'entrée et la sortie de la basse vallée.

Enfin les dernières images évocatrices des contrastes du régime hydrologique, sont offertes par l'examen de l'hydrogramme des débits journaliers successifs :

— une variation régulière tant en montée qu'en descente à Malka-Wakana (régime des hautes terres volcaniques) ;

— une succession en dents de scie de crues séparées par un maigre étiage (Error) ou pas d'écoulement (Daketa, Fafen...) pour les affluents avec peu ou sans terres volcaniques ;

— une superposition des dents de scie sur la base régulière d'origine volcanique le long du Wabi Shebelle, d'Hamero-Hedad à Gode (régime composé des deux précédents) ;

— une variation régulière retrouvée à Burkur après les pertes par débordements.

Pour clore sur une note quantitative ce paragraphe descriptif du régime hydrologique et avant de présenter les diverses facettes des ressources disponibles, on donne les débits mensuels observés durant quelques années aux principales stations dans le tableau 11.

TABLEAU 11
WABI SHEBELLE A MALKA-WAKANA (5 290 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1968-1969	15,6	21,1	68,5	32,8	20,3	43,9	74,3	43,0	23,2	9,64	5,89	9,49	30,7
1969-1970	17,7	40,5	19,2	22,3	9,39	43,2	89,3	50,2	14,0	6,62	4,97	8,50	27,3
1970-1971	5,16	29,3	31,0	16,4	6,63	28,7	99,8	74,2	34,5	10,8	4,61	4,65	29,0
1971-1972	4,05	4,55	12,9	22,7	25,9	57,5	90,2	52,3	47,3	12,4	7,27	5,48	28,8

WABI SHEBELLE A HAMERO-HEDAD (64 450 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1968-1969	(47,1)	86,2	371	193	119	136	242	164	100	66,1	37,5	29,1	(133)
1969-1970	102	187	108	160	46,3	119	240	160	47,4	32,6	14,5	25,9	104
1970-1971	18,6	178	120	(81,3)	(22,6)	78,7	317	228	132	48,8	17,3	12,9	(105)
1971-1972	10,8	16,3	70,1	(110)	(70,0)	118	202	155	98,5	74,2	24,8	19,9	(81,6)

WABI SHEBELLE A GODE (127 300 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1968-1969	59,2	(88,0)	(362)	232	112	104	213	136	99,0	65,5	39,6	19,1	127
1969-1970	54,2	188	103	179	36,4	95,1	215	164	69,3	45,6	14,0	16,1	98,8
1970-1971	22,0	170	207	126	25,5	54,6	294	242	180	68,9	18,0	11,5	119
1971-1972	8,77	7,54	88,6	129	78,9	124	192	171	132	88,4	28,6	14,1	89,0

TABLEAU 11 (suite)
 WABI SHEBELLE A BURKUR (144 000 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1969-1970	29,4	134	115	151	40,7	64,0	148	166	82,4	41,7	14,7	9,68	83,3
1970-1971	21,3	76,4	115	166	26,3	30,0	142	226	171	91,4	17,7	9,71	91,4
1971-1972	6,46	3,76	56,6	96,9	60,0	94,0	122	160	114	76,1	29,8	12,1	69,6

ERRER A HAMERO-HEDAD (14 200 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1970-1971	167	5,97	10,1	9,01	2,66	2,33	8,62	13,7	8,68	2,28	1,98	1,95	5,76
1971-1972	1,71	1,83	5,08	9,42	4,73	2,96	5,71	5,57	4,67	3,13	1,99	1,82	4,15

DAKETA A HAMERO-HEDAD (14 200 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1969-1970	0,09	0,09	1,07	(4,00)		0	0	0	(3,70)	(2,00)	0	2,06	(> 1,10)
1970-1971	0	(8,20)	(25,0)	(21,4)	(0,00)	0	0	4,81	13,8	0,06	0	0	(6,10)
1971-1972	0	(2,21)	0,04	20,2	3,53	0	0	0,59	0,06	1,36	0	0	3,10

FAFEN A KEBRI-DAHAR (25 600 km²)

Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	
1969-1970	0	0,10	0	5,47	0	0	0	0	0,19	1,44	0	0	0,61
1970-1971	0	1,85	5,47	4,30	0,04	0	0	0,30	1,75	0,04	0	0	1,15
1971-1972	0	0	1,05	4,32	0,59	0,03	0	0,26	1,98	0,12	0	0	0,70

5.2. ESTIMATION ET VARIABILITÉ DE LA RESSOURCE GLOBALE ANNUELLE

Les données hydrologiques observées ne couvrent en moyenne que trois années, et dans les meilleurs cas six années. Elles sont donc insuffisantes pour caractériser les éléments en année moyenne et permettre une étude statistique des modules. D'autre part (cf. 3.3.1), les données pluviométriques disponibles sont beaucoup trop imprécises et limitées dans l'espace pour pouvoir permettre une extension valable de la période d'observation à l'aide de corrélations hydropluviométriques.

Afin d'améliorer nos connaissances sur les modules et leur variabilité, on a cherché à établir des liaisons, avec des stations situées hors du bassin, pour lesquelles on dispose de périodes d'observation plus longues.

Il y a en effet des relevés anciens sur le Wabi Shebelle en Somalie et l'on aurait pu penser trouver une bonne liaison entre les écoulements aux diverses stations le long de ce fleuve. Il en est ainsi sauf pour le haut bassin à l'amont de Malka-Wakana qui, situé sur les hautes terres pluvieuses, est en réalité soumis à un régime de précipitations plus proche de celui du reste des hauts plateaux éthiopiens que de celui du bassin du Wabi Shebelle.

Il a donc fallu en conséquence chercher des informations sur les bassins hydrographiques voisins situés sur les hauts plateaux : Awash et Blue Nile.

5.2.1. Sur les hautes terres volcaniques

A Malka-Wakana, station représentative de cette région, les 6 modules observés varient de 22 à 30,7 m³/s autour d'une moyenne de 27,7 m³/s, et un écart-type de 2,91 (coefficient de variation de 0,11).

Pour situer l'hydraulicité de ce faible échantillon, on a corrélé les débits mensuels observés avec ceux de l'Awash à Hertale (34 000 km², 7 ans de relevés, $r = 0,92$). Une série de 2 corrélations entre Hertale et Kessie sur le Blue Nile (65 000 km², $r = 0,94$, 14 ans de relevés), puis entre Kessie et Roseires également sur le Blue Nile (52 ans de relevés, $r = 0,57$) a permis de constater la similitude des hydraulicités entre les échantillons de Hertale et de Roseires et de modifier légèrement en conséquence celle de l'échantillon de Malka-Wakana.

On adopte finalement une moyenne de 27,5 soit 5,2 l/s.km² ou 867 millions de m³.

L'ajustement statistique des modules à Kessie et Roseires conduit à des lois Gamma incomplètes avec des coefficients de variation de 0,25 et 0,19.

Ces coefficients de variation sont certainement beaucoup trop forts pour Malka-Wakana, car les stations concernées sont à l'exutoire de bassins comportant de larges zones où l'écoulement de type sahélien est très irrégulier. Ce n'est pas le cas du bassin de Malka-Wakana, dont la plupart des rivières ont un régime permanent.

Il n'est pas douteux que le régime de Malka-Wakana est assez régulier en raison de la nature perméable du bassin composé en grande partie de cendres et de tufs volcaniques qui favorisent le maintien d'un débit de base élevé, et de la répartition des pluies en deux saisons distinctes.

On adopte pour Malka-Wakana, une valeur de 0,12 sur laquelle on peut faire l'hypothèse d'une distribution gaussienne des modules. Les modules de récurrence décennale sont alors de 23,3 et de 31,7 m³/s. Il est intéressant de noter que la grande sécheresse du sud du Sahara correspond en Ethiopie à l'année hydrologique 1972-1973 pour laquelle un module de 22 m³/s observé équivaut donc à une récurrence légèrement supérieure à 10 ans.

Pour estimer la ressource globale annuelle sur les hautes terres volcaniques, on a utilisé toutes les observations aux trois stations secondaires sans négliger que par soustractions entre deux stations pouvaient être calculés les apports de bassins intermédiaires de caractères physiques parfois originaux.

On a ainsi dressé cinq ensembles de bilans hydriques mensuels qui montrent :

a) des ressemblances quant à la régularité de l'écoulement due à la grande perméabilité des cendres volcaniques et au régime homogène des pluies (bonne répartition dans l'espace, faibles intensités) ;

b) des divergences quant à l'abondance pouvant aller de 3 à 10 l/s.km² ou de 10 à 40% de coefficient d'écoulement surtout à cause de la pluviosité.

On a adopté des conclusions globales, peut-être un peu grossières, mais qu'il serait déraisonnable de vouloir raffiner, à savoir qu'à la zone de pluviosité I correspondrait un écoulement moyen de 500 mm pour une pluviosité de 1 500 mm et que pour la zone de pluviosité II les mêmes termes étaient de 150 mm pour 1 150 mm (valeurs confirmées par l'analyse du bassin intermédiaire entre Malka-Wakana et Lege-Hida la station qui lui fait suite le long du Wabi).

5.2.2. Le long du Wabi Shebelle

Afin d'estimer les modules interannuels sur le moyen bassin, et dans la basse vallée du Wabi Shebelle, nous avons utilisé les seize années d'observations disponibles sur le Wabi Shebelle à Belet-Uen (de 1952 à 1969 excepté 1953 et 1960), station située en Somalie à 40 km de la frontière et à environ 70 km en aval de la station de Burkur.

Cet échantillon de modules dont les valeurs extrêmes sont 34,5 et 101 m³/s suit une loi Gamma incomplète de moyenne égale à 66,7 m³/s et d'écart-type égal à 23,1 m³/s (coefficient de variation de 0,35).

On a ensuite procédé par corrélations inter-postes d'aval en amont sur les débits mensuels communs pour constituer des échantillons homogènes de 18 années aux stations d'Ethiopie (1952-1971 sauf 1963 et 1960 non observés à Belet-Uen).

On a tout d'abord une corrélation très serrée avec Burkur, situé justement à la frontière : $Q_{\text{Burkur}} = 1,06 Q_{\text{Belet-Uen}}$.

Nous avons examiné la liaison entre les débits mensuels à Belet-Uen et à Gode. Celle-ci est assez lâche, ce qui était prévisible à cause de l'influence des plaines d'inondation situées entre les deux stations. La meilleure liaison a été obtenue en corrélant les débits mensuels de Gode avec ceux observés à Belet-Uen, compte tenu d'un décalage de 15 jours. Cette liaison qui s'appuie sur 22 couples de points peut être décomposée en deux droites de régression linéaire d'équation suivantes (fig. 6) :

Pour les débits mensuels inférieurs à 100 m³/s à Belet-Uen

$$Q_{\text{Gode}} = 1,1 Q_{\text{(Belet-Uen + 15 j)}} + 3$$

Pour les débits mensuels supérieurs à 100 m³/s à Belet-Uen

$$Q_{\text{Gode}} = 1,8 Q_{\text{(Belet-Uen + 15 j)}} - 76$$

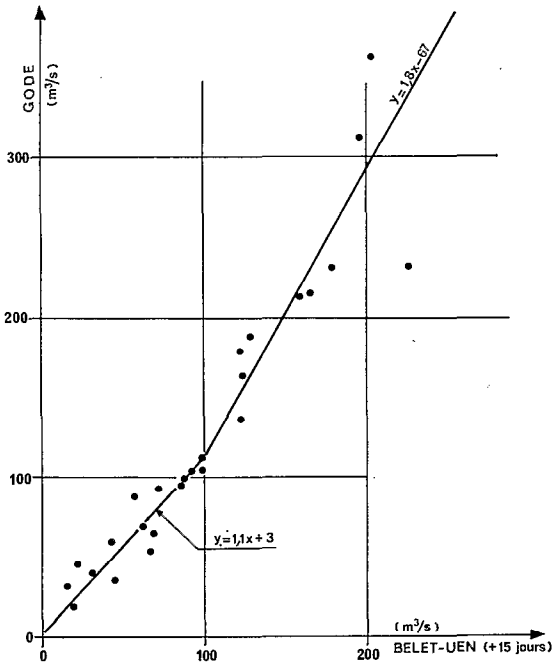


Fig. 6 — Corrélation entre les débits mensuels à Belet-Uen et Gode

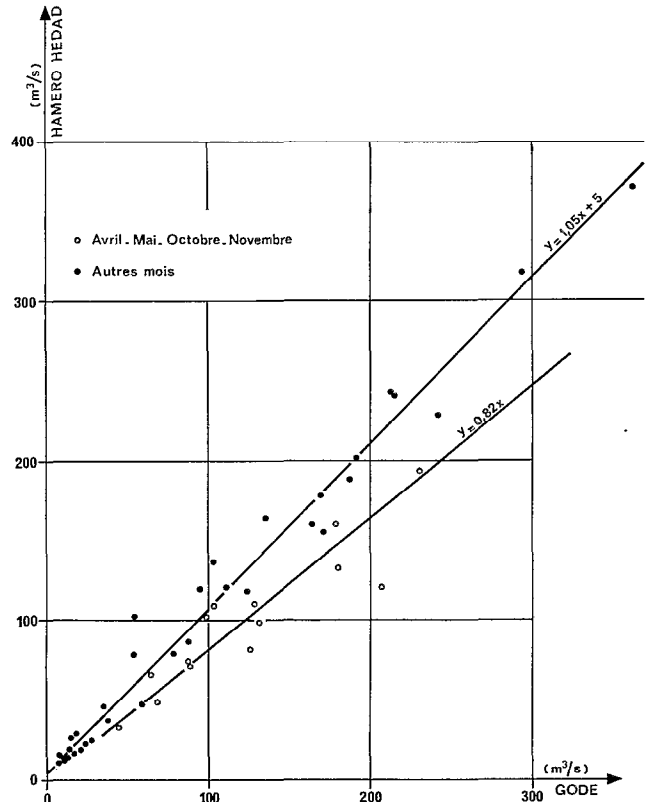


Fig. 7 — Corrélation entre les débits mensuels à Gode et Hamero-Hedad

La cassure de la liaison s'explique par le jeu des inondations : au-dessus d'un débit mensuel d'environ 113 m³/s à Gode le gradient des pertes devient beaucoup plus élevé que ce qu'il était précédemment.

Entre Gode et Hamero-Hedad, la liaison revêt deux aspects selon qu'il pleut ou non dans l'Ogaden. S'il ne pleut pas, il y a des pertes et l'équation de régression est :

$$Q_{\text{Hamero-Hedad}} = 1,05 Q_{\text{Gode}} + 5$$

S'il pleut et bien que l'on soit en zone V semi-aride, les oueds torrentiels renversent la tendance faisant le débit à Gode plus grand qu'en amont :

$$Q_{\text{Hamero-Hedad}} = 0,82 Q_{\text{Gode}}$$

Cette seconde liaison est valable en avril-mai et octobre-novembre (cf. fig. 7). Enfin, encore plus amont, on trouve :

$$Q \text{ Lege-Hida} = 0,88 Q \text{ Hamero-Hedad} - 9,1$$

Le tableau 12 ci-après donne les valeurs moyennes des modules sur 18 ans à toutes ces stations et une idée de l'irrégularité interannuelle des apports qui sembleraient bien suivre une loi de Goodrich.

TABLEAU 12
MODULES REMARQUABLES DU WABI SHEBELLE

	Volume moyen 10 ⁶ m ³	Module moyen m ³ /s l/s.km ²		Modules décennaux (m ³ /s) sec humide		Cv
LEGE-HIDA	2 085	66,1	3,10	40	92	0,30
HAMERO-HEDAD	2,700	85,6	1,33	49	124	0,36
GODE	2 747	87,1	0,68	48	127	0,37
BURKUR	2 230	70,7	0,49	41	101	0,34

Les valeurs autres que moyennes, données ici sont évidemment des estimations cohérentes certes mais qu'il faut considérer avec prudence étant donné la forte réduction de variance introduite par le système de corrélations utilisé.

On a vérifié que les moyennes estimées pour Malka-Wakana à partir de l'Awash et du Blue Nile et pour le reste du bassin de Belet-Uen étaient homogènes, les périodes de référence paraissant d'hydraulicité équivalente aux stations anciennes et de pluviosité également équivalente à Addis-Abeba, poste situé à la charnière de tous ces bassins.

5.2.3. Essai de synthèse cartographique

Des observations faites sur l'Errer, le Daketa et le Fafen confrontées aux précipitations recueillies, on a pu se faire une idée très approximative des apports moyens possibles de ces cours d'eau, les deux premiers à leur confluence au Wabi Shebelle près d'Hamero-Hedad, le dernier à Kebri-Dahar ; on aboutit aux chiffres suivants :

Errer	5	m ³ /s soit 0,35 l/s.km ²
Daketa	4	m ³ /s soit 0,28 l/s.km ²
Fafen	0,70	m ³ /s soit 0,03 l/s.km ²

Il est difficile d'apprécier quantitativement l'irrégularité interannuelle de ces cours d'eau. Si l'Errer ne doit pas avoir un coefficient de variation bien supérieur à ceux du Wabi Shebelle (entre 0,35 et 0,40), Daketa et Fafen par contre doivent atteindre des valeurs au moins doubles, mais le risque d'absence d'écoulement peut cependant être considéré comme assez improbable.

En procédant comme sur les hautes terres volcaniques, à savoir par analyse des bilans hydriques annuels des bassins observés et des bassins intermédiaires obtenus par soustraction, on peut tenter une estimation de la ressource globale des autres régions : zone de précipitation IV occidentale, assez arrosée et calcaire, zone de précipitation IV orientale, moins arrosée, granitique et calcaire, enfin zone V semi-aride surtout sur gypses.

On assiste ainsi à l'inexorable baisse du coefficient annuel d'écoulement 15% à Malka-Wakana, 10% à Lege-Hida (donc 8% entre les deux), 6% à Hamero-Hedad, 2% sur l'Errer et le Daketa, 0,25% sur le Fafen...

La décroissance des ressources régionales est encore plus accentuée si l'on se souvient que tous les bassins jusqu'à l'Errer drainent un haut bassin volcanique où le coefficient d'écoulement est au moins de 15%.

On en a déduit les bilans hydriques moyens représentatifs de zones :

IV ouest	12 mm d'écoulement pour 800 mm de pluie soit 1,5%
IV est	8 mm d'écoulement pour 600 mm de pluie soit 1,3%
V	1 mm d'écoulement pour 350 mm de pluie soit 0,3%

On a enfin pensé qu'une représentation cartographique schématisée serait la plus suggestive pour mettre en lumière la disparité des ressources globales annuelles en eau superficielles selon les provinces pluvieuses et géomorphologiques considérées.

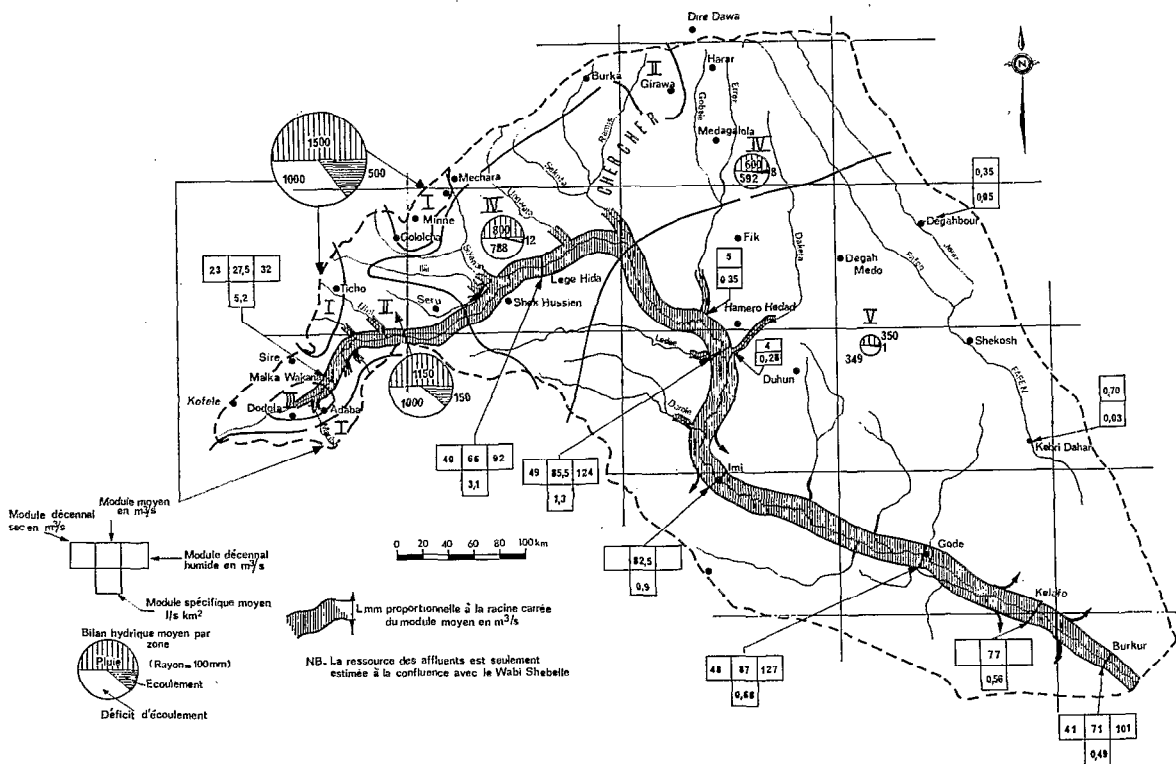


Fig. 8 — Carte schématique de la ressource annuelle globale en eau superficielle

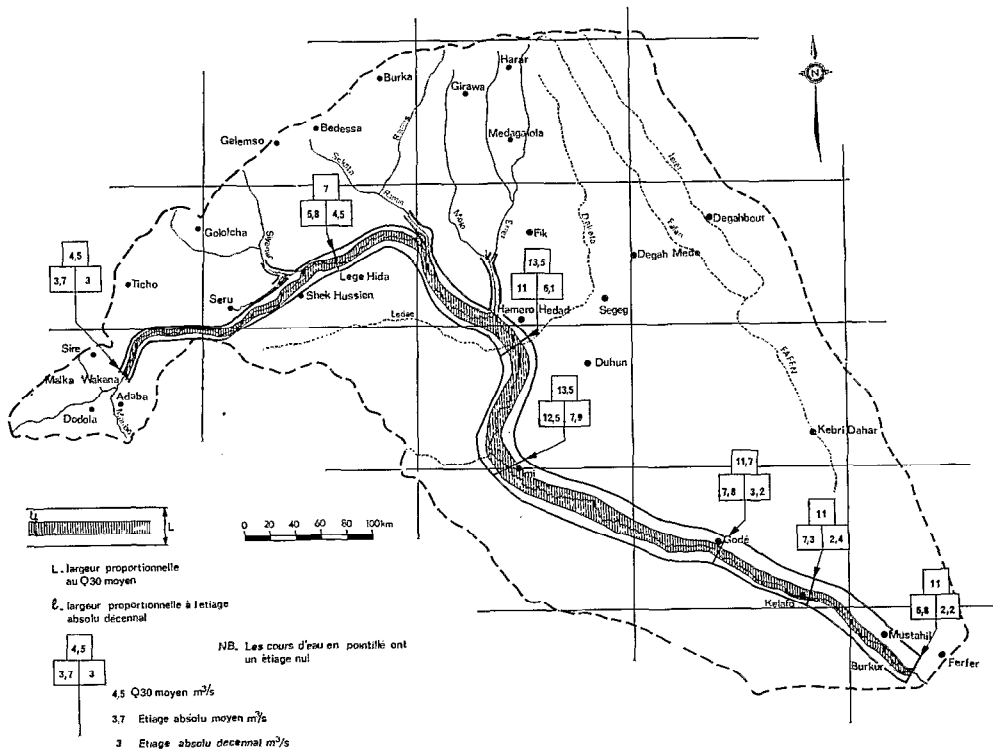


Fig. 9 — Carte schématique des étiages du Wabi Shebelle

La figure 8 offre en conséquence :

- a) les bilans hydriques annuels moyens régionaux symbolisés par des sphères de diamètre proportionnel à la pluie ;
- b) une largeur fictive des cours d'eau symbolisant le module moyen le long du Wabi Shebelle et des biefs terminaux des affluents ;
- c) une étiquette numérique affichant le module moyen en m^3/s encadré de ses valeurs de retour décennal et en $l/s.km^2$ aux stations contrôlées.

En dehors des valeurs étiquetées, les symboles régionaux sont évidemment le fruit d'une extrapolation géographique qui ne prétend avoir qu'une valeur indicative.

Mais que cette figure est riche d'enseignements et quel saisissant raccourci du phénomène hydrologique n'offre-t-elle pas !

On y voit le Wabi Shebelle naître, déjà gros à Malka-Wakana de 30% environ de son module maximal, à l'issue d'une minuscule éponge de cendres volcaniques gorgée d'eau, mettre plus de 500 km pour atteindre ce maximum (92 m^3/s à l'entrée de la basse vallée) du module moyen puis se vider ensuite sur 500 autres km du quart de sa substance pour retomber à quelques 70 m^3/s soit guère plus qu'à Lege-Hida !

On y voit également qu'aucun affluent si ce n'est peut-être le Siyanan n'est capable d'apporter plus de 10 m^3/s .

On y constate enfin l'extraordinaire disparité des potentialités régionales d'écoulement : 500 contre 1 entre les sommets volcaniques et l'Ogaden aride. La disproportion est telle que les terres volcaniques et gréseuses correspondant aux zones pluvieuses I, II et III qui représentent 25% du bassin à l'entrée de la basse vallée et 20% du bassin à Burkur contribuent cependant pour plus de 90% à l'écoulement passant en ces deux points.

5.3. RESSOURCE DISPONIBLE EN ÉTIAGE

Si la ressource globale annuelle est nécessaire à l'élaboration d'un plan d'aménagement du bassin par construction de réservoir, toute utilisation des eaux à l'état naturel avant ce plan repose sur la connaissance de la disponibilité résiduelle en basses eaux.

Il n'y a tout d'abord de disponibilité que sur les cours d'eau permanents, le Wabi Shebelle et ses affluents d'amont jusqu'à l'Errer inclus, c'est-à-dire ceux qui drainent les terrains volcaniques ou gréseux des zones pluvieuses I, II et III.

Le régime hydrologique est tel qu'il y a un étiage secondaire entre les saisons des pluies de printemps et d'automne et un étiage principal lors de la longue saison sèche d'hiver.

La date d'apparition de l'étiage secondaire est assez bien située : fin mai à mi-juin pour le bassin supérieur en amont de Malka-Wakana, juin pour le bassin moyen entre Malka-Wakana et la basse vallée, fin juin à mi-juillet pour celle-ci. La valeur de cet étiage secondaire est double de celle de l'étiage absolu hivernal dans le bassin supérieur, triple et quadruple plus en aval.

L'étiage principal se produit après une période de tarissement homogène tout au moins le long du Wabi Shebelle puisque le coefficient a de l'équation $Q = Q_0 e^{-at}$ égal 0,012 à Malka-Wakana se conserve pratiquement jusqu'à l'entrée de la basse vallée ; les restitutions des plaines inondables lui enlèvent toute signification à l'aval.

La date des étiages absolus est très variable d'une année à l'autre. Cette date dépend de la date d'apparition de la première saison des pluies sur les hauts plateaux qui est liée à la montée vers le nord du front intertropical (FIT).

Sur le haut bassin elle est comprise pour la période observée entre la fin décembre et le début du mois de mars. Dans la basse vallée elle est comprise entre le 15 décembre et le début du mois d'avril.

Les étiages du haut bassin, bien arrosé, dépendent de la pluviosité locale, aussi se produisent-ils à des dates variables dans les divers sous-bassins.

A partir de Hamero-Hedad l'absence d'alimentation réduit le problème d'étiage à une simple propagation d'écoulement. Celle-ci n'est pas très simple à analyser sur deux ou trois années, mais on peut s'en faire une idée avec l'étiage sévère de 1970-1971 dont la durée de propagation totale a été de 17 jours entre Hamero-Hedad et Burkur soit pour 650 km environ 35 à 40 km par jour ou 0,40m/s.

On a rassemblé dans le tableau 13 toutes les valeurs caractéristiques des étiages observés aux principales stations : le débit d'étiage absolu (Q_{min}), le débit maximal des 10 jours consécutifs les plus faibles (Q_{10}) et le débit maximal des 30 jours consécutifs les plus faibles (Q_{30}).

L'échantillon des six étiages à Malka-Wakana présente une très grande régularité. La valeur du débit d'étiage absolu est liée uniquement à la durée de la saison sèche. L'étiage le plus élevé observé en 1968-1969 (4,62 m^3/s) correspond à une saison sèche effective extraordinairement courte n'ayant duré qu'un mois. L'étiage le plus faible observé en 1970-1971 (3,01 m^3/s) correspond à une très longue saison sèche de trois mois et demi se prolongeant jusqu'au début du mois de mars. D'après les observations pluviométriques, il apparaît que la saison sèche a une

TABLEAU 13

DÉBITS CARACTÉRISTIQUES D'ÉTIAGE en m³/s

Station	Année	Date	Q min	Q 10	Q 30
<i>Wabi Shebelle</i> Malka-Wakana	1967-1968	31- 1-1968	3,90	4,13	4,37
	1968-1969	27-12-1968	4,62	5,12	7,45
	1969-1970	21- 2-1970	3,90	4,37	4,62
	1970-1971	6- 3-1971	3,01	3,23	3,67
	1971-1972	1- 2-1972	4,37	4,62	7,10
	1972-1973			3,67	
Lege-Hida	1970-1971	15- 3-1971	5,21	5,21	6,57
	1971-1972	29- 1-1972	6,30	(7,60)	(13,6)
Hamero-Hedad	1968-1969	15- 2-1969	19,5	24,8	34,8
	1969-1970	13- 1-1970	11,1	11,5	13,5
	1970-1971	17- 3-1971	7,59	7,92	10,6
Imi	1969-1970	14- 1-1970	12,4	12,6	13,4
	1970-1971	19- 3-1971	9,84	10,0	10,9
Gode	1967-1968	10- 2-1968	21,8	23,5	31,2
	1968-1969	20- 2-1969	12,3	18,4	22,1
	1969-1970	20- 1-1970	7,77	8,50	11,7
	1970-1971	29- 3-1971	4,01	4,28	6,72
	1971-1972			(9,00)	(14,8)
Kelafo	1967-1968	15- 2-1968	18,8		
	1968-1969	20- 2-1969	10,6	(15,8)	(18,0)
	1969-1970	23- 1-1970	7,26	7,89	10,9
	1970-1971	30- 3-1971	3,01	3,31	5,31
Burkur	1968-1969	22- 2-1969	17,1	(19,9)	(24,0)
	1969-1970	25- 1-1970	6,80	7,70	11,4
	1970-1971	3- 4-1971	2,71	3,18	4,47
<i>Affluents</i> Errer à Hamero-Hedad	1968-1969	1- 2-1969	2,70	2,70	2,70
	1969-1970	17- 2-1970	1,60	1,62	1,70
	1970-1971	1- 5-1971	1,40	1,41	1,60

durée moyenne de 75 jours (du 15 novembre au 31 janvier). On peut donc admettre que le débit moyen minimal d'étiage à Malka-Wakana est de l'ordre de 3,75 m³/s (environ 0,7 l/s.km²).

Le renforcement des étiages entre Malka-Wakana et Lege-Hida est très faible. En 1970-1971 (étiage sévère), le débit d'étiage à Lege-Hida n'est supérieur à celui de Malka-Wakana que de 2,2 m³/s. En 1971-1972, il lui est supérieur de 1,9 m³/s. On peut donc admettre que le débit moyen minimal d'étiage à Lege-Hida est de l'ordre de 5,80 m³/s (soit 0,27 l/s.km²). L'appoint de 2 m³/s du bassin intermédiaire (Ulul, Siyanan...) n'équivaldrait qu'à 0,12 l/s.km².

Si l'on veut estimer la potentialité spécifique de la seule partie utile de ce bassin intermédiaire, on ne doit considérer que les terrains volcaniques et gréseux qui n'occupent que 4 000 km² environ, ce qui donne alors 0,50 l/s.km². La différence avec le bassin de Malka-Wakana peut être due au fait que celui-ci est plus favorisé parce qu'il draine les tufs et les cendres plus perméables que les basaltes et les grès qui occupent le bassin intermédiaire (composé essentiellement par les affluents Ulul et Siyanan).

Quant à l'Errer, dernier témoin mesuré, on peut par analogie sur la sévérité relative des années estimer approximativement son étiage absolu comme égal à 1,6 — 1,8 m³/s. Cet étiage est relativement abondant si l'on remarque que les terrains volcaniques et granitiques (moins perméables) ne couvrent que 3 500 km²; un drainage partiel de l'aquifère du calcaire de Kebri-Dahar n'est pas à exclure ici.

Pour le Wabi Shebelle à partir d'Hamero-Hedad, l'étiage produit de l'amont peut seulement diminuer ou augmenter en fonction des liaisons fleuve — plaine inondable — nappe fluviale. On a donc procédé comme pour les modules par analyse statistique de l'échantillon disponible à Belet-Uen puis par corrélation poste à poste d'aval en amont. Les résultats obtenus sont évidemment moins précis qu'avec les modules et l'on trouve des valeurs d'étiage moyen à $\pm 20\%$ près environ. Ces valeurs sont dans le tableau 14.

TABLEAU 14
ETIAGES DU WABI SHEBELLE (m³/s)

Station	Valeurs moyennes		Etiage absolu décennal
	Etiage absolu	Q 30 jours	
Malka-Wakana	3,75	4,50	3,00
Lege-Hida	5,80	7,00	4,50
Hamero-Hedad	11,0	13,5	6,10
Imi	12,5	13,5	7,90
Gode	7,80	11,7	3,20
Kelafo	7,30	11,0	2,40
Burkur	6,80	11,0	2,20

Pour l'étiage décennal, l'estimation est plus rudimentaire. On a appliqué une réduction de 20% à l'étiage observé en 1970-1971, car telle est la réduction notée à Belet-Uen entre ce même étiage et la valeur décennale tirée de l'ajustement statistique.

De tous ces résultats, on peut tirer quelques conclusions :

a) la croissance de l'étiage absolu de Lege-Hida à Hamero-Hedad soit 5,20 m³/s est due à l'Ungwata et au Ramis (affluents en amont de l'Errer) pour environ 3,50 m³/s. Ces deux affluents drainent environ 9000 km² de terrains volcaniques et gréseux peut-être moins arrosés que ceux des bassins du Siyanan, de l'Ulul et du propre Wabi supérieur, d'où une contribution spécifique de la fraction efficace du bassin réduite à 0,40 l/s.km² ;

b) l'étiage augmente légèrement entre Hamero-Hedad et Imi par suite de la réalimentation du fleuve par une nappe alluviale rechargée lors des inondations dans les plaines latérales ;

c) l'étiage décroît nettement entre Imi et Gode par suite de l'évaporation et de l'infiltration de 4 à 4,5 m³/s pour les étiages absolus c'est-à-dire sur 300 km de parcours d'environ 15 l/s au kilomètre. La diminution de l'étiage se poursuit vers l'aval mais à un taux trois fois moindre car il y a une compensation partielle due ici aussi à la restitution des eaux accumulées dans les plaines inondées. Cette décroissance est très atténuée et presque négligeable pour le débit de 30 jours (Q 30) grâce à l'action modératrice des plaines d'inondation.

La conclusion générale concernant la disponibilité résiduelle en étiage est encore plus contrastée que pour la ressource annuelle globale : elle n'existe qu'en provenance des terres volcaniques, gréseuses et granitiques d'altitude bien arrosées (plus de 800 mm/an) qui donnent de 0,7 à 0,4 l/s.km² suivant leur perméabilité et leur alimentation. Cette disponibilité, fournie à 35% en moyenne et à 50% en année sèche par le bassin de Malka-Wakana, atteint son maximum à l'entrée de la basse vallée le long de laquelle elle va s'amenuiser et d'autant plus que l'hydraulicité est sévère. A l'extrémité de la basse vallée, en année décennale, le débit serait inférieur à celui de Malka-Wakana.

La carte 9, traitée dans le même esprit que la carte 8, schématise la ressource disponible en étiage.

5.4. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES CRUES

L'intérêt de la connaissance des crues pour l'édification de tout ouvrage d'art hydraulique nous conduit à examiner la genèse et la nature des crues, puis à présenter les maximums observés, enfin à estimer les valeurs de retour décennal.

5.4.1. Genèse et nature

Les conditions de formation des crues, c'est-à-dire régime des pluies et nature des terrains, permettent de faire aisément apparaître deux familles : celle des crues originaires des hautes terres volcaniques pluvieuses et celle des zones calcaires, granitiques et gypseuses moins arrosées. A la première famille appartiennent des crues longues

et molles qui domineront tout le cours du Wabi Shebelle ; à la seconde famille on peut rattacher les crues brutales et courtes des affluents à partir de l'Errer dont les intumescences se superposent dans le Wabi à l'onde de base (d'origine volcanique) avant d'être absorbées et amorties en quelques dizaines de kilomètres, leur contribution en volume étant relativement modique.

Suivons tout d'abord la genèse des crues de la première famille.

Les crues importantes qui peuvent être considérées comme issues d'un ruissellement généralisé surviennent à l'occasion d'une phase pluvieuse d'une durée moyenne de dix jours et ayant un total précipité supérieur à 80 mm.

Le hyétogramme de cet épisode pluvieux n'a pas une forme bien définie, mais il comprend toujours un maximum de deux ou trois jours consécutifs de fortes précipitations. Le total de ce maximum est supérieur à 60 mm. La position de ce maximum est variable. Il peut apparaître au début, au centre, ou à la fin de cet épisode.

Pour qu'une telle phase pluvieuse donne naissance à une très forte crue, il faut que la saturation préalable des terrains soit assurée. On constate en effet que les crues les plus fortes observées pendant la première saison des pluies ont lieu en général en avril, alors que les précipitations commencent en février. De même, lors de la seconde saison des pluies, les crues les plus fortes se produisent entre les mois d'août et d'octobre, alors que les précipitations débutent en juillet.

Les crues de la première saison des pluies et les crues tardives d'octobre sont en général provoquées par des épisodes orageux intenses, bien individualisés. Elles ont des formes assez aiguës avec des temps de montée brefs (2 à 5 jours suivant la surface du bassin) et des temps de base voisins de 14 jours.

Les crues de juillet, août et septembre sont provoquées par des précipitations de mousson peu intenses mais intéressant l'ensemble du bassin. Elles ont en général des formes plus molles. Les maximums qui apparaissent au cœur de la saison des pluies sont consécutifs à un épisode pluvieux plus intense.

On observe de telles crues aussi bien à Malka-Wakana qu'à Lege-Hida c'est-à-dire qu'elles sont le fait de tous les cours d'eau descendant des hautes terres bien arrosées.

La comparaison des hydrogrammes de crue entre Lege-Hida et Hamero-Hedad montre que les crues du bassin intermédiaire n'ont que peu d'influence sur les pointes de crue enregistrées à Hamero-Hedad. Les crues de l'Errer sont presque complètement amorties dans le lit du Wabi Shebelle, entre les deux stations pourtant seulement distantes de quelques dizaines de kilomètres. Par exemple la crue maximale enregistrée sur l'Errer le 25 avril 1970 (556 m³/s) n'a entraîné qu'une augmentation de 50 m³/s du débit du Wabi Shebelle à Hamero-Hedad. On peut donc considérer que les formes des hydrogrammes de crue du Wabi Shebelle à Hamero-Hedad seront comparables à celles de Lege-Hida, avec toutefois un léger amortissement des pointes de crues dans le lit du Wabi Shebelle.

Deux types de crues sont observés :

— les crues de la première saison des pluies (de mars à mai) et les crues tardives de novembre provoquées par des phases pluvieuses à caractère orageux bien individualisées dans le temps et assez localisées. Ces crues très aiguës ont un temps de montée assez rapide de trois à cinq jours ;

— les crues de la seconde saison des pluies (de juillet à octobre) provoquées par des épisodes pluvieux plus réguliers et bien généralisés sur les hauts plateaux. Ces crues ont lieu au cœur d'une période de hautes eaux et ont en général des formes plus molles que les crues précédentes.

Les crues de la seconde famille se forment sur tous les terrains non volcaniques du bassin et surtout dans l'est et le sud lorsque le régime des précipitations (zone IV est et zone V) tend à l'aridité et comprend plus de pluies courtes et intenses que de longs épisodes peu intenses.

Ainsi les crues de l'Errer et du Daketa sont-elles consécutives à une phase pluvieuse de 3 jours contenant une averse à forte intensité et dont l'impact au sol est assez localisé. La crue résultante est de forme aiguë à temps de montée de 30 minutes à 3 heures (Errer) ou 5 heures (Daketa) et à temps de décrue de 4 — 12 heures (Errer) ou de 36 à 48 heures (Daketa). Un écoulement retardé de quelques m³/s durant plusieurs jours suit chaque crue. Ces crues ont des volumes très modestes. Elles se produisent de mars à novembre sur l'Errer ; sur le Daketa on peut en avoir de février à novembre avec une plus forte probabilité en avril — mai et septembre — octobre.

On trouve des crues comparables à celles du Daketa sur tous les cours d'eau temporaires de l'Ogaden comme dans le bassin du Fafen mais elles sont encore plus rares, plus localisées et d'importantes plus modestes. On se souvient cependant (par. 5.2.2. fig. 7) que ces crues dans l'Ogaden contribuent à renforcer le débit à Gode par rapport à celui d'Hamero-Hedad.

Dans la basse vallée justement, en aval d'Hamero-Hedad, il n'y a plus à proprement parler de formation ni de famille de crues mais la simple propagation d'une onde de crue polygénique.

Au sortir de ses gorges du nord d'Imi jusqu'à Kugno, le régime du Wabi Shebelle est perturbé par la présence de plaines d'inondation. Ces plaines inondables, souvent constituées par les anciens méandres du Wabi Shebelle, s'étendent sur environ 300 km². Sur ces 300 km², 60 km² sont inondés régulièrement le reste n'est inondé que lors des fortes crues. Les inondations ne se produisent que pendant les périodes de hautes eaux et leur importance varie en fonction des hauteurs atteintes par les crues, au-dessus d'un seuil correspondant environ à 200 — 300 m³/s à Imi.

La présence d'une longue crue continue au-dessus du seuil de débordement n'augmente pas sensiblement les pertes, l'excès d'eau devant s'écouler dans les plaines et retourner au lit du fleuve tandis que les débordements de courte durée seraient définitivement perdus. Ceci n'est qu'une hypothèse qu'il est difficile de vérifier avec les chiffres disponibles.

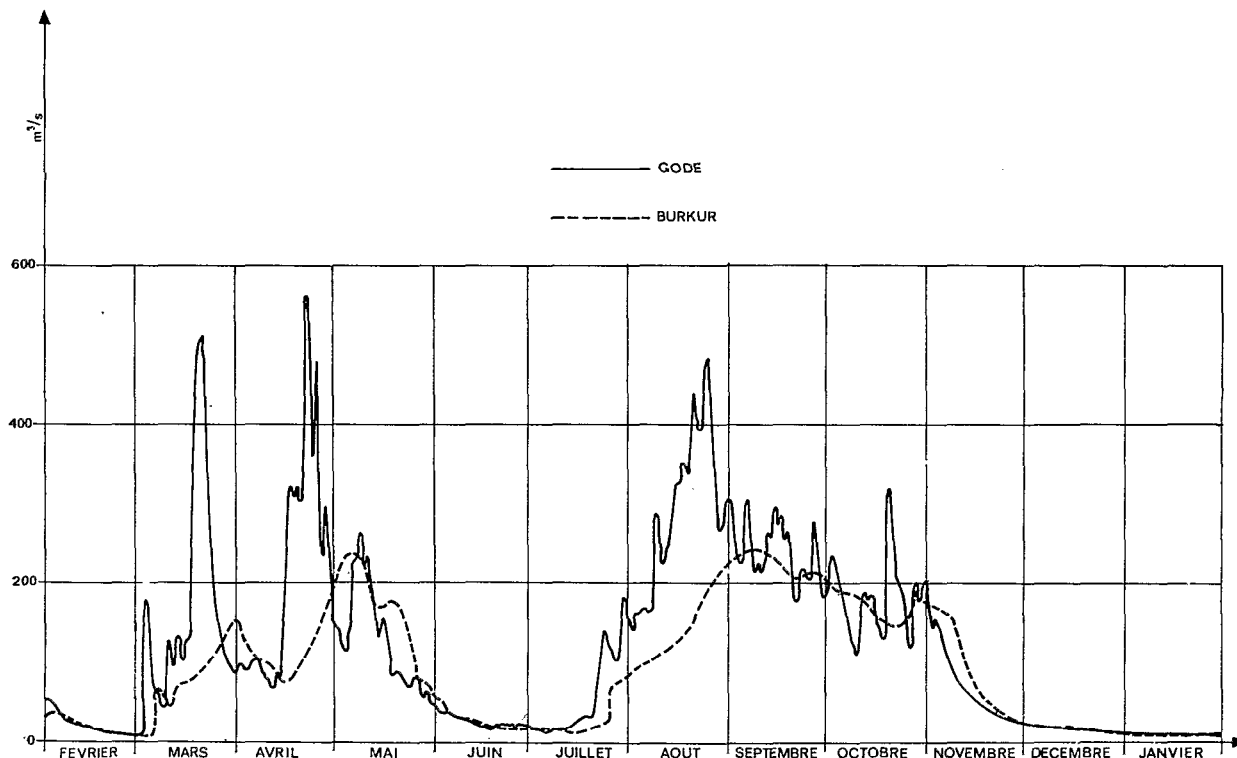


Fig. 10 — Influence des plaines d'inondation sur l'hydrogramme de crue entre Gode et Burkur (année 1970-71)

De Kugno à Gode, le Wabi Shebelle est encaissé de plusieurs mètres dans les terrains gypseux et ne déborde pratiquement pas. On peut penser que l'excédent est resté dans les plaines d'Imi et que le fleuve coule tout au plus à pleins bords.

Entre Gode et Burkur, les apports sont pratiquement inexistantes : la pluviométrie est très faible (de 150 à 300 mm) et la plupart des affluents qui drainent le bassin ne rejoignent pas directement le fleuve mais se déversent en épandages dans la plaine alluviale ou dans des cuvettes endoréïques fermées.

Le régime du Wabi Shebelle est modifié profondément par les vastes plaines d'inondation qui s'étendent sur environ 600 km² entre Kelafo et Mustahil. Environ 140 km² de ces plaines sont en eau toute l'année et constituent un marécage permanent.

Ces plaines d'inondation ont un double effet :

— elles provoquent une régularisation de l'écoulement en laminant les pointes de crue (cf. fig. 10 exemple de l'année 1970-1971) ;

— elles prélèvent une partie importante du débit entrant à Gode. Les eaux s'y déversant participent à l'alimentation de la nappe souterraine ou sont reprises par l'évaporation.

Les pertes les plus importantes se produisent pendant les crues et elles sont suivies de phases de restitution lente de la plaine vers le fleuve.

TABLEAU 15

	Date	Maximums observés		Crue decennale	
		m ³ /s	l/s.km ²	m ³ /s	l/s.km ²
<i>a) Stations du Wabi Shebelle</i>					
Malka-Wakana	7-10-1968	228	43,1	300	58,0
Lege-Hida	17- 3-1970	717	33,3	1 100	51,0
Hamero-Hedad	11- 4-1968	894	13,9	1 250	20,0
Imi	6- 5-1971	877	9,60	950	10,4
Gode	12-10-1967	608	4,80	750	5,90
Kelafo	24- 4-1969	322	2,30	380	2,70
Burkur	9- 9-1970	244	1,70	350	2,40
<i>b) Autres cours d'eau</i>					
Errer	25- 4-1970	556	39,1	1 000	70,0
Daketa	6- 5-1971	834	58,7	1 400	100
Fafen	8- 5-1969	65,0	2,50	80,0	3,10

5.4.2. Maximums observés et valeurs décennales estimées

Le tableau 15 récapitule toutes les données numériques intéressantes sur les fortes crues.

En ce qui concerne les maximums observés plusieurs constatations peuvent être faites :

a) il n'y a pas eu coïncidence des crues maximales si ce n'est celle du Daketa qui se répercute à Imi malgré un amortissement déjà notable. Ceci caractérise un polygénisme qui est cependant limité. En effet seul le haut bassin de Malka-Wakana a des crues différentes, surtout en importance parfois en date, vis-à-vis de celles du cours moyen. A partir de Lege-Hida, il y a à peu près coïncidence : la crue de 1968 n'a été observée qu'à Hamero-Hedad tandis que celle de 1970 (1^{er} rang à Lege-Hida) occupe le 2^e rang à Hamero-Hedad (750 m³/s) et à Imi (732 m³/s).

Dans la basse vallée l'état de remplissage des plaines d'inondation influe sur l'amortissement de la pointe de crue, ce qui explique la non-coïncidence apparente du tableau 15.

Les temps moyens de parcours des maximums des crues entre Imi et Burkur sont les suivants :

Bief Imi — Gode : 2 jours

» Gode — Kelafo : 1 jour

» Kelafo — Burkur : 8 à 15 jours suivant la hauteur de la crue

Entre Imi et Gode, l'amortissement des pointes de crues est de l'ordre de 10 à 15% en moyenne. Après Gode les crues sont considérablement écrêtées dans les plaines d'inondation. L'amortissement de la pointe de crue semble croître avec la valeur de celle-ci et tendre vers 40% entre Gode et Kelafo et à nouveau 40% entre Kelafo et Burkur.

La réduction totale de la pointe de crue depuis Imi jusqu'à Burkur pourrait atteindre au maximum 60 à 80% selon l'importance de la crue et la saison à laquelle celle-ci se produit ; la réduction devrait être d'autant plus limitée que les plaines d'inondation sont remplies.

b) les débits spécifiques sont modérés pour les crues de la famille volcanique ; ils sont plus élevés pour l'Errer et le Daketa mais comparativement plus faibles pour le Fafen où déjà intervient la tendance à l'aridité et à l'endoréisme (il en serait de même pour les oueds de l'Ogaden).

En ce qui concerne les crues décennales, leur estimation découle de l'application de deux techniques : la transformation pluie-débit et la corrélation entre stations.

La première technique a été appliquée à Malka-Wakana et à tous les affluents. L'examen de l'information pluviométrique régionale a permis de définir un hyétogramme d'épisode pluvieux à caractère décennal et l'analyse des événements observés a fourni la forme des crues et le coefficient de ruissellement nécessaires pour transformer l'épisode pluvieux en débits.

On a ainsi retenu pour Malka-Wakana un épisode pluvieux de 10 jours totalisant 130 mm, engendrant 20% de lame excédentaire donc d'écoulement donnant lieu à une crue de 16 jours. Au contraire pour le Daketa, l'épisode pluvieux de 3 jours totalise 120 mm ponctuels et seulement 40 mm sur l'ensemble du bassin (très fort abattement dû au caractère localisé des orages sur un bassin allongé) et n'engendre que 10% de lame excédentaire.

La technique des corrélations a été appliquée au Wabi Shebelle en remontant depuis Belet-Uen. La mise en œuvre assez compliquée peut être ainsi résumée :

a) corrélation serrée entre maximums à Belet-Uen et Burkur

$$Q_{\text{Burkur}} = 0,98 Q_{\text{Belet-Uen}} + 19 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

b) ajustement d'un modèle de propagation de Muskingum entre Gode et Burkur, après réduction de 25% des débits à Gode pour tenir compte des pertes par débordements (1) ; modèle répondant à l'équation :

$$Q_t \text{ Burkur} = 0,0082 Q_t \text{ Gode} + 0,405 Q_i \text{ Gode} + 0,5868 Q_i \text{ Burkur}$$

dans laquelle Q_i et Q_t sont les débits initiaux et finaux aux instants i et $i + 1$; l'intervalle de temps entre i et $i + 1$ est de 5 jours, le temps de propagation de 12 jours

c) application aux crues de Burkur du modèle précédant inversé pour générer une série de crues à Gode

d) corrélations à partir de Burkur pour Kelafo et d'Hamero-Hedad pour Imi et Lege-Hida

Les échantillons de crues de Belet-Uen et de Burkur s'ajustent bien sur une loi Gamma incomplète. Les crues décennales aux autres stations sont évidemment des estimations à environ 20% près.

Comme pour les ressources annuelles et de basses eaux, on a présenté la crue décennale sur une carte de synthèse (fig. 11) dont l'examen appelle les commentaires suivants :

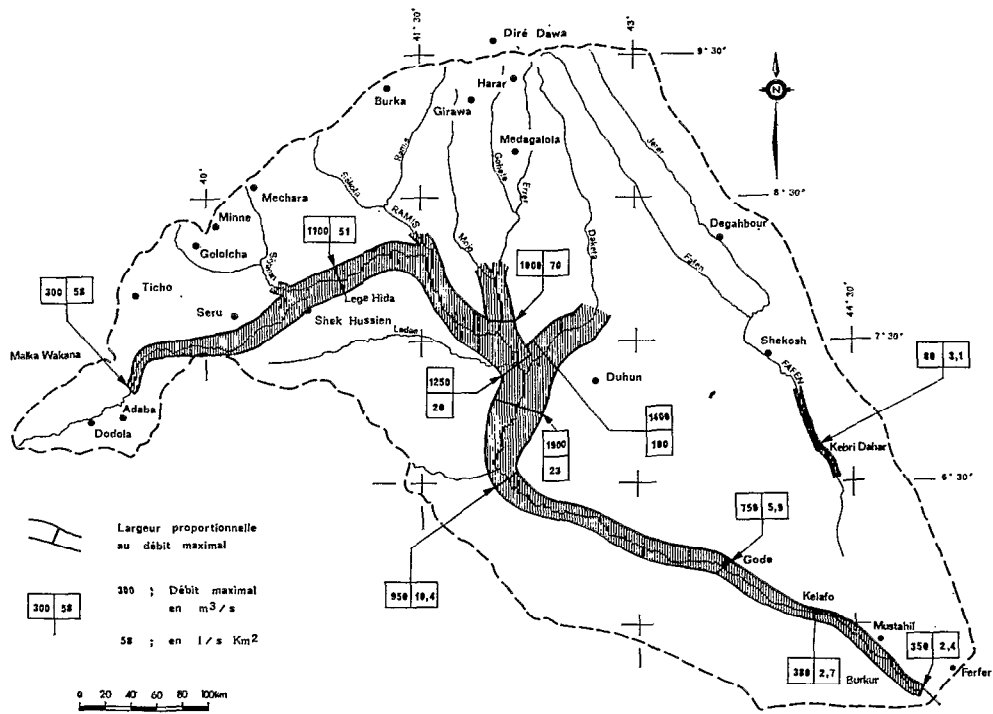


Fig. 11 — Carte schématique de la crue décennale le long du Wabi Shebelle

— l'abondance spécifique des crues des hautes terres est surtout le fait des affluents drainant la zone I la plus arrosée, c'est-à-dire Ulul et Siyanan, ce qui conduit à faire de Lege-Hida le point où se manifeste le mieux la puissance de ces crues, qui ne croît plus que modérément en aval ; le maximum décennal passe de 1 100 à 1 280 m³/s de Lege-Hida à Hamero-Hedad ;

(1) Il s'agit d'une réduction s'appliquant au volume total et non à la pointe qui, on l'a vu plus haut, est atténuée de 40 à 80%

— la confluence Wabi Shebelle — Daketa comme pour module et étiage est le bief le plus important mais ici le phénomène est exacerbé par la violence du Daketa au point qu'en cas de coïncidence des maximums (faiblement probable mais non impossible) il y aurait entre ce confluent et la sortie du canyon doublement de la pointe de crue. C'est d'ailleurs dans ce bief crucial qu'est prévu un ouvrage régulateur (cf. 6.2). On pense cependant que si la dite coïncidence est possible, elle ne se manifeste pas avec des crues de même fréquence sur chaque cours d'eau lorsque les événements deviennent rares et qu'ainsi il est plus plausible de retenir une simple augmentation de 50% de la crue décennale (coïncidence d'une crue médiane du Daketa sur la crue décennale du Wabi) ;

— dès l'entrée dans la basse vallée c'est l'amortissement des pointes déjà notable à Imi, et à nouveau important en aval de Gode de sorte que le débit maximal décennal sortant d'Ethiopie n'excède pas celui de Malka-Wakana ;

— si l'on compare les débits spécifiques de crue décennale pour environ 15 000 km² on note que par rapport au Wabi Shebelle (environ 55 l/s.km²) l'Errer représente 24% de plus, le Daketa 80%, mais par contre le Fafen est 5 fois plus faible ; la tendance aux orages intenses augmente la violence des pointes tandis que la tendance à l'aridité, quand elle domine, écrase ces mêmes pointes.

5.5. TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION ET ÉLÉMENTS DISSOUS

Des prélèvements systématiques de 10 litres ont été effectués en divers points des profils en travers et pour divers débits aux principales stations hydrométriques. Une évaluation des transports solides en suspension en a été déduite. D'autres prélèvements effectués concomitamment ont permis d'estimer la teneur en sels dissous.

5.5.1. Transports solides

La nature des facteurs du régime hydrologique est telle que l'on trouve les terrains les plus perméables (volcaniques) donner naissance aux débits les plus abondants et les terrains les plus imperméables (gypseux) engendrer les débits les moins abondants. Comme la susceptibilité à l'érosion est liée au ruissellement et donc au degré d'imperméabilité des terrains, on a d'autant plus de transports solides que les débits s'amenuisent dans le bassin du Wabi Shebelle. C'est au niveau des turbidités ou concentrations moyennes que les contrastes sont les plus excessifs comme on peut en juger dans le tableau 16 donnant les valeurs extrêmes mesurées.

TABLEAU 16

Emplacement	Turbidités extrêmes mesurées en g/m ³
— Malka-Wakana	20 à 300
— Hamero-Hedad	15 à 38 000
— Gode	10 à 71 000
— Burkur	maximum de 400
— Daketa	maximum de 61 300
— Fafen	maximum de 170 000

Si l'on écarte les turbidités à l'étiage alors que les eaux proviennent de la seule vidange des nappes des terrains volcaniques et sont donc claires (10 à 20 g/m³) on a au niveau des maximums relevés lors des crues un écart de 1 à 130 entre les contributions des terrains volcaniques et des terrains calcaires et granitiques (Wabi à Hamero-Hedad), l'écart passant à 1 contre 230 lorsque les gypses interviennent (Gode) et même 1 contre 560 pour le Fafen (gypses et calcaires très érodibles sous régime d'averses intenses).

Bien évidemment l'effet de décantation des plaines d'inondation, masqué à Gode pour ce qui est de celles du secteur d'Imi, est prépondérant dans le bief Kelafo-Mustahil et les turbidités à Burkur sont presque réduites à ce qu'elles étaient à la sortie des hautes terres volcaniques.

On a pu établir des liaisons entre débit solide et débit liquide variables selon la période de l'année, montrant comme toujours que la charge turbide est plus accentuée lors des premières crues de la première saison des pluies.

Les quantités annuelles transportées en suspension ont été déduites de ces liaisons. Le tableau 17 suivant fournit une estimation des poids moyens annuels transportés et de l'érosion spécifique correspondante.

Tableau 17
Quantités transportées par suspension

Station	Poids annuel moyen (tonnes)	Erosion spécifique (t/km ²)
Malka-Wakana	110 000	21
Hamero-Hedad	8 000 000	124
Gode	15 000 000	118
Burkur	750 000	5,3
Daketa	5 000 000	350,
Fafen	2 500 000	98

La variabilité interannuelle du poids transporté paraît faible à Malka-Wakana (faible turbidité, régime régulier), mais elle croît avec celle du régime d'écoulement. Les maximums observés à Hamero-Hedad par exemple sur 4 ans sont égaux à 5,9 et 20,6 millions de tonnes ; l'écart est de 1 à 3 ici et à Gode également ; il n'est pas exclu qu'il soit supérieur sur les affluents temporaires.

L'érosion spécifique est évidemment maximale pour le Daketa qui apporte à la basse vallée du Wabi Shebelle 60% de ce que lui apporte le fleuve lui-même.

La dégradation des sols reste intense dans la basse vallée puisque la quantité transportée croît encore un peu à Gode par rapport à la somme Wabi + Daketa à l'entrée.

Environ 95% des transports solides, soit 14 millions de tonnes, se déposent dans les plaines d'inondation du secteur Kelafo-Mustahil. Avec une densité de 1,5 ce poids équivaut à un volume de sédiments de près de 9 millions de m³. Dans l'éventualité d'un réservoir de régularisation à l'entrée de la basse vallée, une grande partie de ces sédiments s'y déposerait ainsi que ceux fournis par le charriage de fond et qui très approximativement doivent être en quantité du même ordre de grandeur.

5.5.2. *Eléments dissous*

En toutes stations la teneur totale en sels dissous, ou salure globale, croît lorsque le débit diminue c'est-à-dire lorsque les eaux de vidange des nappes deviennent prépondérantes.

A Malka-Wakana, la salure reste modérée et s'inscrit entre 50 et 170 mg/l, elle correspond à un faciès bicarbonaté calcique. Le long du Wabi Shebelle dans la basse vallée, la salure globale est plus élevée : environ 300 mg/l en crue d'origine amont (terrains volcaniques, calcaires, granitiques) mais près de 1 500 mg/l pour les crues locales de lessivage des gypses. En étiage, la salure croît d'amont en aval puisque le débit diminue par influences composées de l'évaporation et des contacts avec la nappe alluviale, elle passe ainsi de 500 mg/l à l'entrée de la basse vallée jusqu'à 650 mg/l à Burkur. Le faciès chimique passe du bicarbonaté calcique en crue d'origine amont au sulfaté calcique lors des crues sur gypses ou des étiages.

Les échanges avec la nappe alluviale sont heureusement lents, car celle-ci a des salures de 3 à 6 fois supérieures et même plus si l'on pense à la nappe salée des gypses (à 40 g/l) comme on l'a vu au chapitre 4.

6. PREMIÈRES APPLICATIONS DE LA CONNAISSANCE DES RESSOURCES EN EAU AU PLAN D'AMÉNAGEMENT DU BASSIN

La coïncidence de ressources maximales en eau superficielle à l'entrée de la basse vallée et de terres aptes à la culture irriguée dans celle-ci fait de la mise en valeur par irrigation de cette basse vallée, à partir d'un ouvrage réservoir implanté à l'entrée, l'objectif prioritaire évident. L'utilisation des chutes de Malka-Wakana pour la production d'énergie électrique constitue un objectif parallèle tout aussi évident, étant donné l'abondance et la régularité de l'écoulement en ce lieu et la faible distance des centres consommateurs des hauts plateaux. La simulation de ces deux aménagements permet d'apprécier leur influence sur le régime hydrologique de la basse vallée. Il paraît bon au préalable de rappeler ce qu'est celui-ci et comment l'on peut prévoir l'importance des inondations qui constituent le phénomène majeur de la basse vallée.

6.1. PRÉDÉTERMINATION DES PERTES PAR INONDATION EN AVAL DE GODE

C'est effectivement en aval de Gode que se produisent les pertes par inondation les plus importantes en volume. On a déjà noté la réduction du module moyen qui tombe de 83,6 à 70,7 m³/s à Burkur (cf. 5.2.2.), celle du volume de crue qui est de 25% environ, enfin celle des débits maximaux de crue qui varie entre 40 et 80% (cf. 5.4.2).

Une étude plus approfondie des pertes dans ce bief, effectuée sur les volumes par tranches de 5 jours, conduit aux résultats suivants

Année	Ecoulement à Gode		Ecoulement à Burkur		Pertes entre Gode et Burkur	
	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s
1969-1970	3 116	98,8	2 627	83,3	489	15,5
1970-1971	3 753	119	2 883	91,4	870	27,6
1971-1972	2 807	89,0	2 195	69,6	612	19,4

On notera que le volume des pertes n'est pas proportionnel au volume entrant dans les plaines d'inondation. Ces dernières jouent en fait un rôle complexe de régularisation interannuelle, le volume des pertes n'étant pas seulement lié aux débits entrant dans les plaines mais également à l'état de remplissage de ces plaines à la fin de la saison sèche. On comprend aisément que plus la période d'étiage aura été courte moins les plaines se seront vidées par évaporation et infiltration, et à volume entrant égal, moins les pertes seront fortes.

Si on examine les années observées, on s'aperçoit que l'année 1969-1970 a eu les pertes les plus faibles bien que son module soit assez élevé (98,8 m³/s) à Gode. L'année 1968-1969 qui la précède a été très abondante (127 m³/s à Gode) et a été suivie d'un étiage très court d'un mois. Les plaines sont donc encore relativement pleines en début de saison et les pertes sont modérées.

L'année 1970-1971 a eu des pertes importantes : le module à Gode est fort (119 m³/s) et l'étiage précédent a duré trois mois, donc les plaines d'inondation étaient relativement vides.

Enfin l'année 1971-1972 suit une très longue saison sèche de quatre mois. Les apports faibles (89 m³/s à Gode) trouvent une plaine vide. Les pertes sont élevées.

On peut donc considérer que les pertes entre Gode et Burkur sont une fonction croissante des apports à Gode, d'autant plus intense que l'étiage précédent aura été sévère à Gode. En prenant comme témoin d'étiage le débit maximal des dix jours consécutifs les plus faibles, ou Q_{10} , on vérifie que cette variable explique bien l'écart à la courbe liant les pertes au module à Gode.

On a finalement représenté le régime des pertes sur la figure 12 en fonction du module à Gode pour trois situations statistiques différentes de l'étiage antérieur (Q_{10}) : la moyenne et les occurrences décennales. On peut voir qu'en année moyenne, pour un module de 87 m³/s à Gode les pertes en amont de Burkur seront de 550 millions de m³ (environ 17 m³/s pour un étiage antérieur moyen $Q_{10} = 8,4$ m³/s) mais pourront atteindre 630 millions de m³ si l'étiage est décennal sec ($Q_{10} = 3,5$ m³/s) ou se limiter à 470 millions de m³ s'il est décennal humide ($Q_{10} = 13,3$ m³/s). On peut encore dire qu'en année moyenne les pertes seront de 550 millions de m³ à 80 millions de m³ près (soit + 15%) dans un intervalle de confiance à 80% (20% de probabilité d'occurrence d'étiages extérieurs à la bande entre déciles). Le gradient d'influence de l'étiage est d'environ 16 millions de m³ par m³/s. On supposera que cette influence de l'étiage reste du même ordre pour des modules différents de la moyenne, mais pas trop.

Ces pertes en année moyenne représentent 20% de l'apport à Gode si l'étiage est moyen (de 17 à 23% avec les déciles de l'étiage Q_{10}). Elles devraient croître en proportion pour des années abondantes à Gode, et décroître de même lors d'années sèches.

On remarquera que les pertes ainsi calculées correspondent assez bien à ce que l'on pourrait attendre du bilan évaporatoire sommaire sur les zones à inondation permanente entre Kelafo et Mustahil. On trouve en effet 350 millions de m³ sur 140 km² avec un taux annuel de 2,50 m correspondant à une nappe d'eau libre.

Pour passer de cette prédétermination des pertes à une prévision faite à quelques mois d'avance, il faudrait pouvoir estimer le module à Gode d'après l'écoulement de la 1^{re} saison des pluies ce qui permettrait une prévision émise dès juillet, par exemple, puisque le terme correctif, représenté par Q_{10} , est connu dès mars.

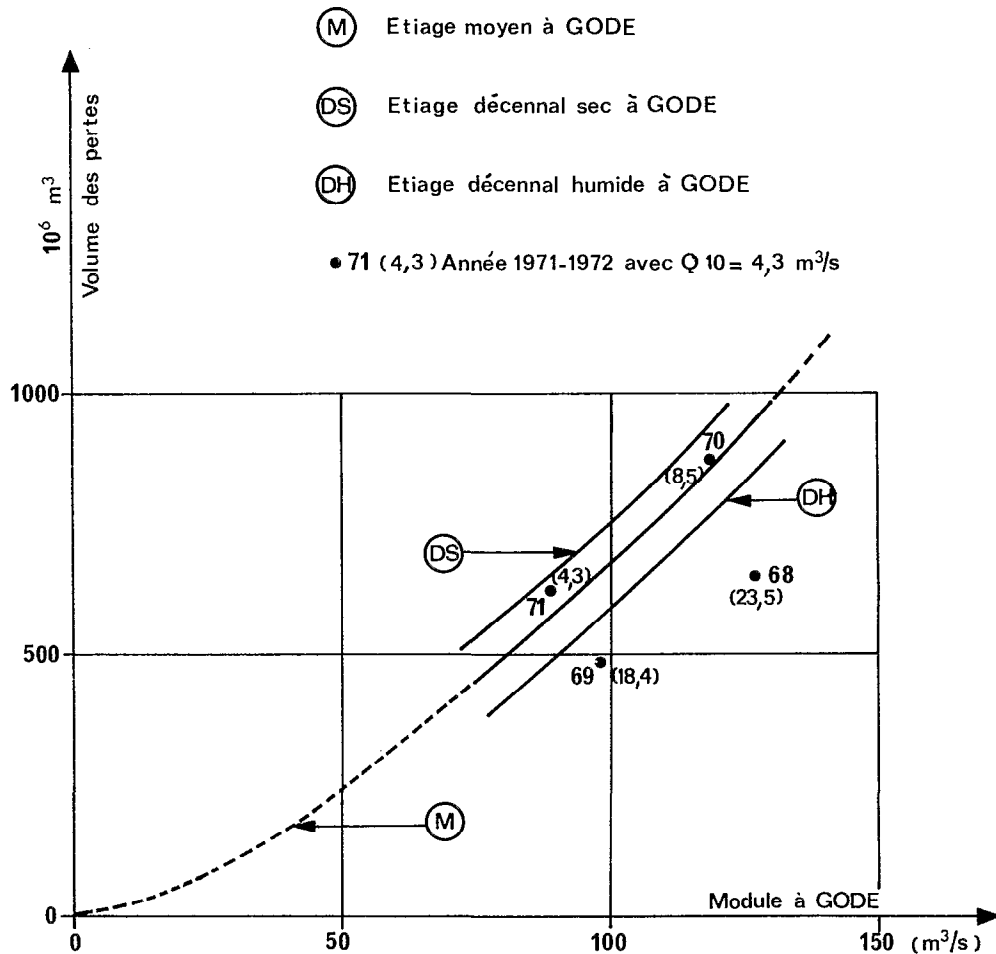


Fig. 12 — Pertes dues aux inondations entre Gode et Burkur

6.2. INFLUENCE DES RÉSERVOIRS PROJETÉS SUR LE BILAN HYDRIQUE MOYEN DE LA BASSE VALLÉE

Les études des réservoirs projetés ont été menées par Electricité de France (EDF-DAFECO) à partir des données hydrologiques élaborées présentées ci-dessus (cf. chapitre 5) et adaptées aux simulations de fonctionnement des dits réservoirs.

Un réservoir à Malka-Wakana avec une capacité de 500 millions de m^3 pourrait régulariser le débit à $24,5 \text{ m}^3/\text{s}$ c'est-à-dire à 89% du module moyen. On admet qu'à un tel débit les pertes par infiltration et évaporation ne sont pas différentes de celles observées lors de l'étiage naturel dans la basse vallée. On peut donc en déduire par exemple que l'étiage absolu moyen y serait augmenté d'environ $20 \text{ m}^3/\text{s}$ atteignant ainsi $31 \text{ m}^3/\text{s}$ à Hamero-Hedad et $28 \text{ m}^3/\text{s}$ à Gode (cf. les valeurs du tableau 14).

En revanche, les pertes par évaporation sur le plan d'eau du réservoir seraient seulement de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, et l'influence sur la réduction du débit de pointe de crue en aval serait elle très modeste étant donné la faible part que prend le bassin de Malka-Wakana dans la formation des crues d'aval.

Tout autre serait l'influence d'un réservoir à l'entrée de la basse vallée qui, à la capacité maximale possible compte tenu des conditions topographiques, pourrait régulariser $73,5 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 80% du module moyen évalué à $91,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (par addition des modules du Wabi à Hamero-Hedad soit $85,6 \text{ m}^3/\text{s}$, du Daketa soit $4 \text{ m}^3/\text{s}$, et de la zone locale en aval de la confluence du Daketa soit $2 \text{ m}^3/\text{s}$). Le débit régularisable servirait essentiellement à l'irrigation mais également au maintien d'un débit minimal admissible dans le Wabi Shebelle.

Le bilan hydrologique de la basse vallée serait alors fortement modifié. Auparavant, il pouvait être résumé en trois chiffres : pertes en année moyenne de 20,9 m³/s entre l'entrée de cette basse vallée (module de 91,6 m³/s) et Burkur (module de 70,7 m³/s), pertes en étiage absolu de 4 m³/s, réduites à 2,5 m³/s sur 30 jours (cf. valeurs du Q₃₀ dans le tableau 13).

Après, les pertes en étiage pourraient se maintenir au même niveau et se manifester aux dépens du débit régulé, mais les pertes annuelles dues essentiellement à l'infiltration et à l'évaporation dans les plaines inondées seraient remplacées par une perte nette d'environ 5,50 m³/s par évaporation sur le plan d'eau du réservoir (la zone est aride et le pouvoir évaporant élevé, cf. 3.2.) et une perte par inondation sûrement réduite, et qui ne pourrait s'alimenter qu'aux dépens des débits déversés par le réservoir, égaux à environ 11,5 m³/s et peut-être aussi aux dépens du débit minimal admissible. Bien que cette dernière perte par inondation ne puisse être aisément chiffrée, il semble que les pertes totales seront inférieures à ce qu'elles étaient en régime naturel.

LISTE DES DOCUMENTS CONSULTÉS

Serv. Hydrologique ORSTOM — « Projet du Wabi Shebelle. Etude Hydrologique ». France, Ministère des Affaires Etrangères, BCEOM-IGN-ORSTOM et Ethiopie, Ministère des Ressources en Eau. Rapport multigr. en français. Paris. octobre 1973.

Serv. Hydrologique ORSTOM — « Projet du Wabi Shebelle. Carte géologique au 1/1 000 000 et notice explicative ». France, Ministère des Affaires Etrangères, BCEOM-IGN-ORSTOM et Ethiopie, Ministère des Ressources en Eau. Rapport multigr. en français. Paris. Septembre 1972. Carte en cours d'impression.

Serv. Hydrologique ORSTOM — « Projet du Wabi Shebelle. Etude hydrogéologique de l'Ogaden ». France, Ministère des Affaires Etrangères, BCEOM-IGN-ORSTOM et Ethiopie, Ministère des Ressources en Eau. Rapport multigr. en français. Paris, Décembre 1972.