

Étude hydrologique de l'Oum er R'bia (Maroc)

F. MONIOD

Maître de Recherches principal
au Bureau Central Hydrologique, Paris

RÉSUMÉ

L'Oum er R'bia est le plus grand fleuve marocain. Prenant ses sources dans l'Atlas, il traverse la grande plaine du Tadla, fertile mais aride, puis la région agricole des Doukkala, avant de se jeter dans l'océan. Depuis 1929 ce fleuve, source de richesses agricoles et énergétiques, a vu l'équipement hydraulique de son bassin se développer sans cesse. Les vastes projets dont il est actuellement l'objet se doivent d'être harmonieusement établis et nécessitent à ce propos que le régime hydrologique du fleuve soit bien connu. C'est en reconstituant les débits naturels de l'Oum er R'bia tout au long de son cours qu'apparaissent les caractéristiques hydrologiques de son régime, caractéristiques que l'extension des données à une période de 34 ans permet d'analyser par les méthodes statistiques. Les procédés employés pour reconstituer les débits naturels du fleuve et étendre les séries des débits mensuels sont décrits dans cet article qui conclue en notant l'influence qu'exercent les calcaires et les argiles de l'Atlas sur l'abondance des débits d'étiage et sur la qualité chimique des eaux.

ABSTRACT

Oum er R'bia is the main river of Morocco. From its springs in the Atlas Mountains down to the mouth in the Atlantic Ocean, it waters the large flatland of Tadla, a rich but arid plain, and the agricultural Doukkala's area. The hydraulic management of this river, a source of agricultural and energizing wealth, has been uncessingly developed since 1929. The important projects, now under studies, have to be toned together and require in that matter the hydrological regime of the river to be well known. Reconstituted all along the watercourse, the natural discharges show the hydrological characteristics which may be analysed by means of statistical methods, after the series of data have been extended for a period of 34 years. The operating process used for the reconstitution of the naturel river discharges and for the extension of the monthly discharges series are described in this paper which finally notes the effect the atlasic limestones and clays have upon the plenty of the minimum river flow and the chemical qualities of the water.

1. INTRODUCTION

L'irrigation est traditionnelle au Maroc. La source de richesse que constitue une rivière est à tel point reconnue que le grand fleuve marocain porte un nom significatif : la Mère du Printemps. Les plaines fertiles du Tadla et du Haouz, recouvertes par les alluvions arrachées à l'Atlas, sont arides puisque les précipitations qu'elles reçoivent ne totalisent pas 400 mm annuellement. La mise en valeur de ces périmètres passe donc d'abord par l'utilisation des richesses hydrauliques, par la création de réserves d'eau et de réseaux d'irrigation.

La « séguia », petite rigole creusée par les paysans, détourne une partie du débit de l'oued pour irriguer les champs. On la rencontre partout, mais d'autant plus fréquemment que les pluies sont rares : le réseau d'irrigation traditionnel de l'oued Tessaout, compte une cinquantaine de séguias qui desservent plus de 60 000 ha lorsque l'hydraulicité de l'année est satisfaisante.

L'équipement hydraulique moderne du bassin de l'Oum-Er-R'bia a commencé en 1929 avec l'usine hydro-électrique de Sidi-Saïd-Mââchou. Depuis 1935, le barrage de Kasba-Tadla permet d'irriguer les Beni-Amir et de produire de l'électricité à Kasba-Zidania. Depuis 1940, les usines d'Imfout et de Daourat produisent de l'énergie hydro-électrique et la plaine des Abda Doubkala reçoit de l'eau d'irrigation provenant de la retenue d'Imfout. Entre 1952 et 1955, le barrage de Bin-el-Ouidane fut mis en eau ; le complexe hydraulique de l'oued El-Abid fournit de l'électricité et permet l'irrigation des Beni-Moussa. En 1964, l'oued Tessaout fut partiellement capté

à Agadir-Bou-Acheiba, enfin, le barrage des Ait Aadel qui régularise l'oued Tessaout, fut mis en eau en 1970. D'importants projets sont actuellement à l'étude, qui viendront, à leur heure, compléter l'équipement hydraulique du bassin de l'Oum-Er-R'bia : le barrage d'Imiz d'Ilfane, celui de Dechra-El-Oued, celui de Sidi-Cheho et l'aménagement de l'oued Lakhdar. Ces projets, déjà avancés, ne peuvent pas être étudiés séparément : leur économie est liée au fonctionnement coordonné des ouvrages existants et de ceux qui sont prévus. Les projeteurs attendent donc des hydrologues qu'ils leur livrent rapidement l'ensemble des données de base leur permettant d'harmoniser l'aménagement de tout le bassin. Il n'est alors pas question d'entreprendre à cet effet de longues campagnes de mesures et d'observation mais il s'agit bien au contraire de rassembler toute la documentation actuellement existante et d'en tirer toute l'information demandée.

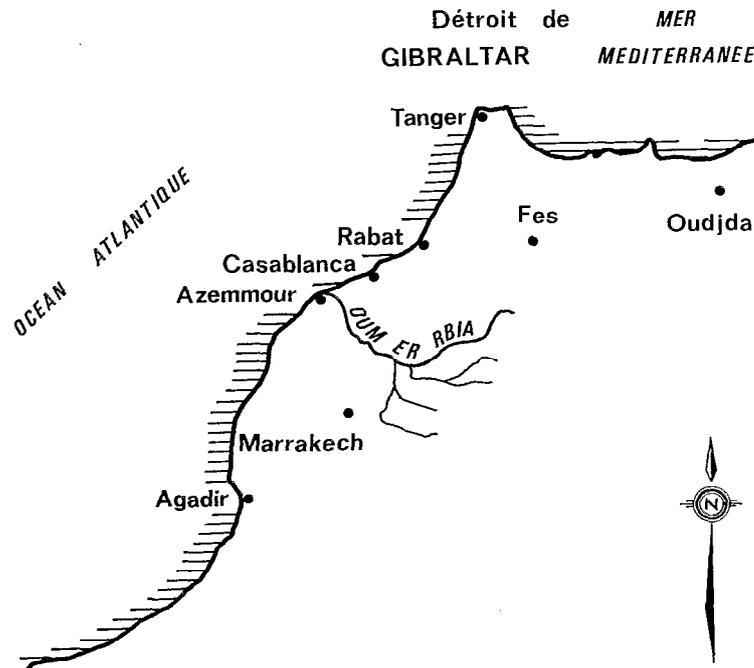


Fig. 1 — Plan de situation du bassin de l'Oum er R'bia au Maroc

Les documents qu'on pourra rassembler ne concernent que les résultats des mesures et des observations faites à des époques différentes, à des stades différents de l'équipement du bassin. Toutes ces observations, échelonnées dans le temps, ne sont donc pas homogènes car les phénomènes observés sont profondément influencés par la mise en service de tel ou tel ouvrage.

Pour constituer de longues séries de données homogènes, c'est-à-dire comparables, il est nécessaire de rapporter les données à un état permanent de l'équipement. On a choisi celui d'un équipement inexistant, ce qui nous conduit à reconstituer à partir des observations et des mesures de débits « réels » les débits « naturels » de l'Oum-Er-R'bia et de ses affluents, débits que l'on aurait pu effectivement enregistrer si aucun ouvrage d'hydraulique n'avait jamais été construit dans le bassin. L'étude hydrologique qui a été menée dans ce but en 1971 et 1972 a porté sur les quatre points suivants :

- l'inventaire complet des archives existant dans divers services concernés par l'équipement du bassin de l'Oum-Er-R'bia ;
- une étude critique de tous les renseignements recueillis pour leur valorisation ;
- l'élaboration des tableaux de débits et d'apports naturels reconstitués aux points utiles du bassin, compte tenu des utilisations ;
- une étude des crues en ces différents points.

Le présent article énonce les principaux résultats auxquels l'étude hydrologique a conduit, et décrit aussi les différents processus de calcul suivis pour reconstituer aussi exactement que possible les débits naturels du fleuve. Il met en outre l'accent sur les particularités du régime hydrologique qui sont apparues dans le haut bassin et qui touchent à l'hydrogéologie et à l'hydrochimie du Moyen Atlas.

2. LE COMPLEXE PHYSIQUE DU BASSIN

2.1. MORPHOLOGIE

La plaine du Tadla est le témoin d'un effondrement qui s'est produit entre la chaîne de l'Atlas et la Meseta marocaine. Cet effondrement est bordé à l'ouest par le massif primaire des Rehamna, au nord par le Plateau Central (Crétacé), à l'ouest et au sud par les plissements calcaires du Moyen Atlas.

Au Villafranchien, la plaine du Tadla était occupée par un vaste lac dont un vestige subsiste, Sedd-El-Mejnoun, au pied des Rehamna. Ce lac a trouvé un exutoire à Imfout en creusant une gorge profonde dans les roches primaires de la Meseta. Ainsi, l'Oum-Er-R'bia est né de la vidange d'un lac qui s'est ouvert un chemin jusqu'à la mer. Le lac du Tadla était alimenté par l'oued Lakhdar, l'oued El-Abid, l'oued Derna et un autre petit oued qui devait prendre ses sources à une quarantaine de kilomètres de Kasba-Tadla, dans la région qui domine Dechra-El-Oued. Le haut Oum-Er-R'bia actuel ainsi que les oueds Chbouka et Serou s'écoulaient probablement vers l'ouest-nord-ouest dans les bassins du Grou et du Bou-Regreg, tandis qu'au sud l'oued Tessaout coulait vers la plaine du Haouz pour contribuer à former le Tensift. Par érosion régressive, le petit oued de Kasba Tadla s'est approprié l'oued Serou puis l'Oum-Er-R'bia à son débouché du Massif calcaire. L'érosion continue actuellement son travail au profit de l'Oum-Er-R'bia en rongant le bord méridional de l'actuel plateau de Mrirt. En se formant, l'Oum-Er-R'bia, qui occupait le fond du lac, a entraîné l'oued El-Abid à Bzou, puis l'oued Lakhdar, puis l'oued Tessaout qui s'est détourné du Haouz à Agadir-Bou-Acheiba.

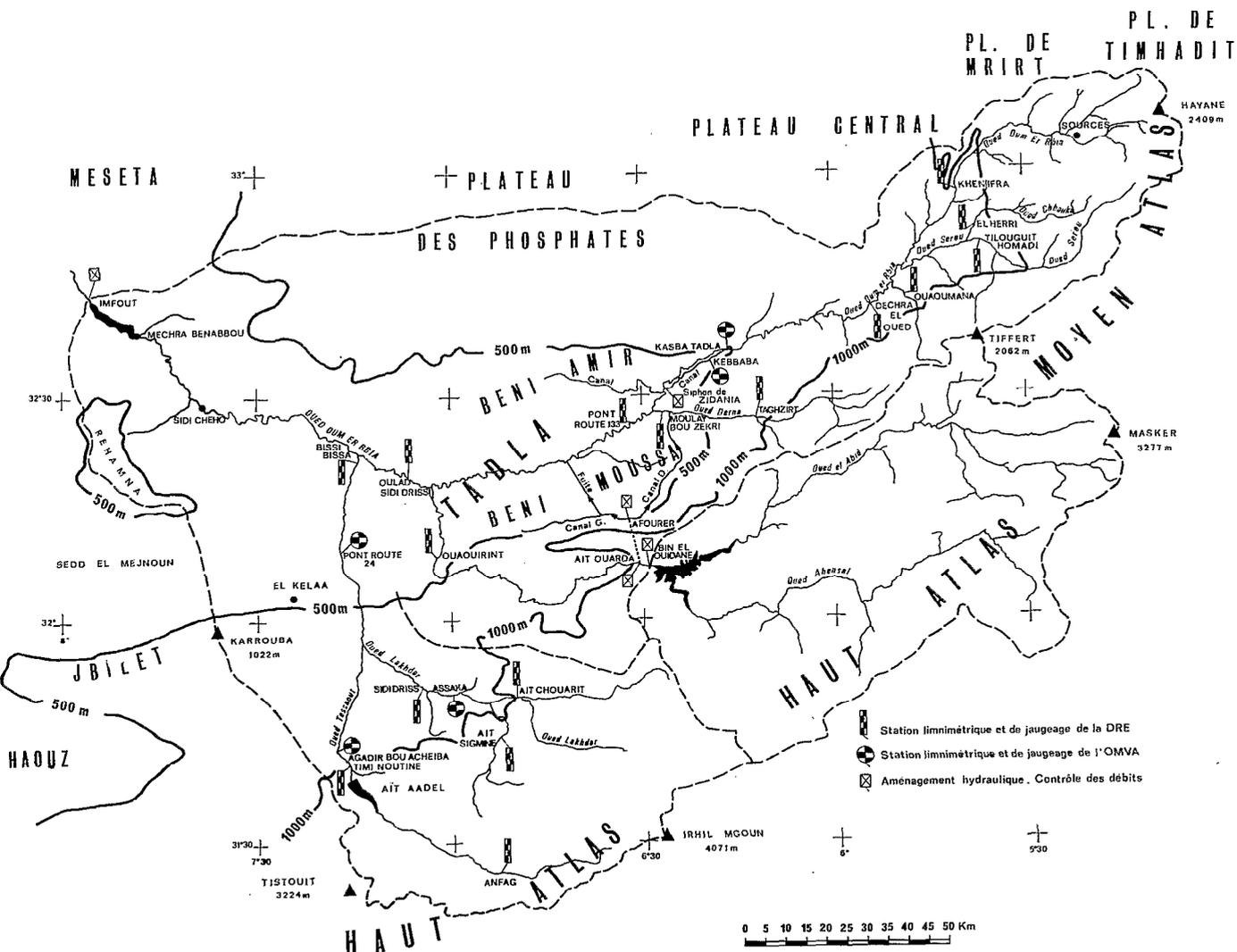


Fig. 2 — Bassin versant de l'Oum er R'bia. Carte du réseau hydrométrique

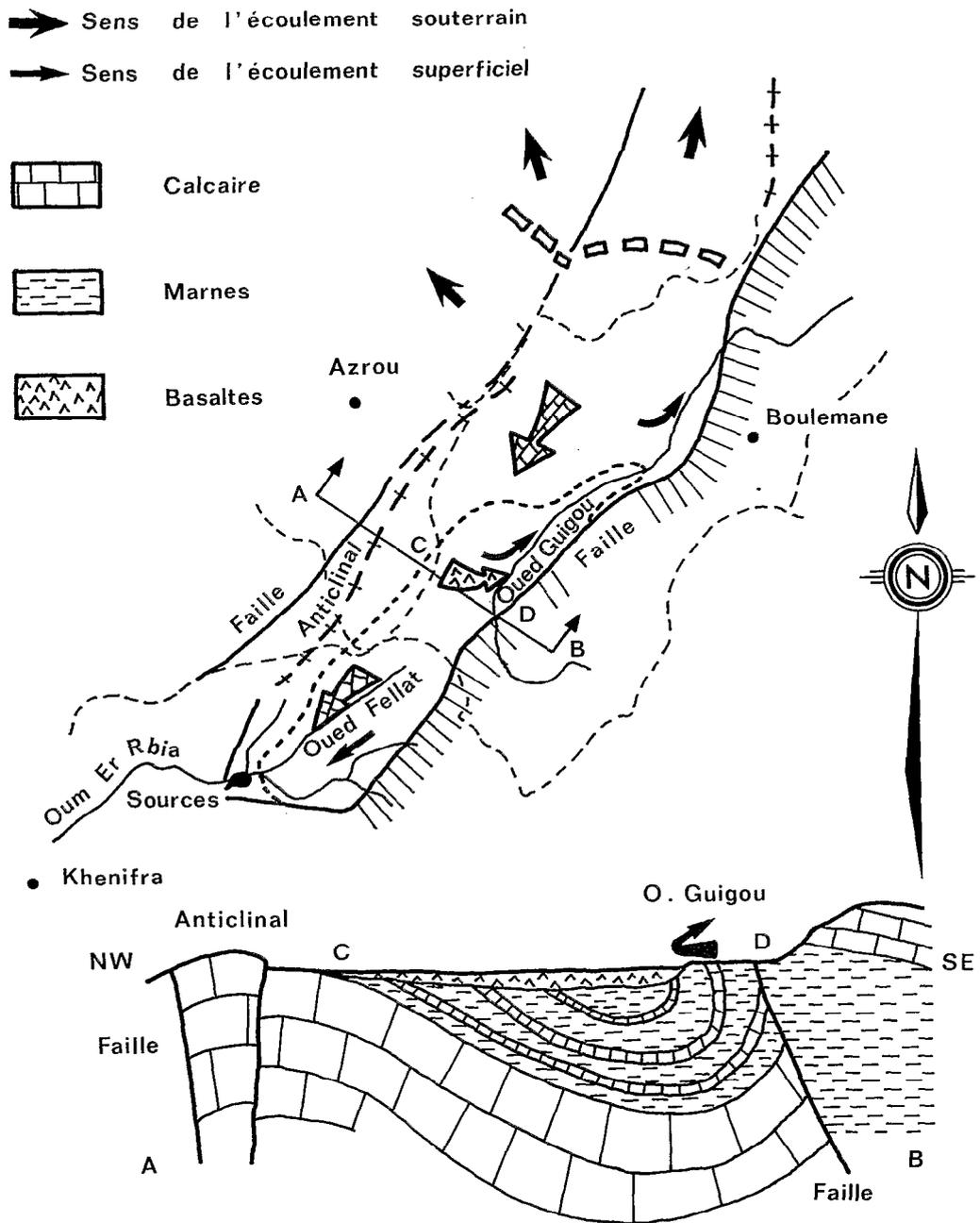


Fig. 3 — Croquis et coupe géologiques schématiques du plateau Timhadit

Actuellement, le bassin versant de l'Oum-Er-R'bia s'étend à Imfout sur 30 600 km², entre les altitudes 4 071 m (Irhil Mgoun) et 171 m (radier d'Imfout) et le quart de sa superficie est à une altitude inférieure à 500 m. L'altitude médiane du bassin n'est que de 870 m ; aussi peut-on dire qu'environ la moitié du bassin s'étend sur une zone montagneuse tandis que l'autre moitié est constituée de plaines et de plateaux. Le cours du fleuve décrit une vaste courbe d'est en ouest en passant par le sud et reçoit sur sa rive gauche plusieurs affluents qui descendent de l'Atlas comme l'oued El-Abid et l'oued Tessaout. Aucun affluent notable n'est à signaler sur l'autre rive ; les petits oueds qui descendent du Plateau des Phosphates se perdent généralement avant d'avoir rejoint le fleuve, et leur écoulement est intermittent. Le profil en long du fleuve a les caractéristiques d'une rivière jeune avec des

ruptures de pente provoquées par des barres rocheuses ou des coulées de basalte et une reprise de l'érosion en aval d'Imfout, dans la traversée de la Meseta primaire.

Les terrains qui occupent le bassin forment quatre groupes :

— les terrains primaires se rencontrent au pied du Moyen Atlas (schistes et quartzites), dans les Jbilet, et dans la Meseta. Ils sont peu perméables et les eaux qui pourtant en viennent sont peu abondantes et salées ;

— les terrains du Moyen et du Haut Atlas sont principalement calcaires. Le radier général et continu de ces deux massifs plissés est un substratum imperméable de basaltes doléritiques, recouvert de marnes et argiles salifères d'âge triasique. Les massifs sont composés de plusieurs centaines de mètres de calcaires dolomitiques, surmontés de calcaires du Domerien, très perméables. Suit le Lias supérieur (Dogger) imperméable, et les calcaires du Jurassique supérieur. Le massif liasique et jurassique du Haut Atlas est limité vers l'ouest par une ligne qui va de Bzou au Mgoun en passant par Demnate. A l'ouest de cette ligne, la transition se fait entre les calcaires et les roches cristallines du massif du Toubkal : on trouve en bordure des calcaires les basaltes doléritiques, puis le Permotrias continental et enfin les schistes et grès viseens, gothlandiens et ordoviciens ;

— la disposition profonde des dépôts du Tadra va du Quaternaire ancien jusqu'aux formations modernes. Au-dessus du banc de calcaires marneux formant radier, on trouve des lentilles de calcaires lacustres villafranchiens et quaternaires séparés par des terrains marneux beaucoup moins perméables. De vastes étendues de limons rouges du Quaternaire récent recouvrent le tout ;

— le Plateau des Phosphates est formé de couches subhorizontales de sédiments crétacés et éocènes, de l'Infracénomien au Lutétien.

En conséquence, la partie montagneuse du bassin est composée de terrains perméables (oued Tessaout mis à part) dotés d'une puissante capacité de rétention, où l'infiltration est forte, le ruissellement superficiel faible, favorisant des écoulements du type karstique avec sources et resurgences. L'autre partie du bassin, à basse et moyenne altitude, est composée de terrains peu perméables, sauf localement, qui ne peuvent avoir qu'un rôle très modéré dans la régularisation des débits du fleuve.

2.2. ASPECTS DU CLIMAT

Le climat du Maroc est du type méditerranéen à influence océanique. Dans le bassin de l'Oum-Er-R'bia, cette influence se manifeste par le fait que les vents pluvieux sont de secteur ouest et que la hauteur des précipitations annuelles décroît quand on s'éloigne de la mer. Le climat devient aussi plus continental avec des températures maximales d'été très élevées et des températures minimales inférieures à celles qu'on enregistre sur la côte. Dans la région montagneuse, l'influence de l'altitude devient prépondérante et la pluviométrie croît à nouveau du pied aux sommets de l'Atlas (mais beaucoup moins au sud qu'au nord du bassin) tandis que les étés sont un peu moins torrides et les hivers beaucoup plus rigoureux. Les températures maximales d'été sont le fait d'un vent chaud et très sec de secteur sud (sirocco) ou de secteur est (chergui), qui atteint rarement l'océan où la brise de mer, fraîche, s'établit.

La température moyenne annuelle est de 20 °C environ dans le Tadra et de 10 °C vers 1 700 m d'altitude mais les écarts entre les températures extrêmes sont importants puisqu'on observe des gelées chaque hiver dans tout le bassin de l'Oum-Er-R'bia, tandis qu'en été le Tadra devient une « fournaise » lorsque souffle le chergui et que la température de l'air peut atteindre 48 °C. Les humidités relatives sont en moyenne assez basses, et l'évaporation est partout assez forte puisqu'on mesure sur le bac Colorado des lames d'eau évaporée souvent supérieures à 2 500 mm/an dont 75 mm en janvier (minimum) et 375 mm en juillet (maximum).

La région la mieux arrosée du bassin n'est pas la chaîne la plus élevée du Haut Atlas mais le Moyen Atlas et plus précisément le plateau d'Ajdîr où l'Oum-Er-R'bia prend ses sources : on y enregistre des précipitations de 1 000 à 1 200 mm par an en moyenne. Les versants exposés du Haut Atlas reçoivent en général de 800 à 1 000 mm ; ceux qui sont abrités ne reçoivent que 600 à 800 mm ; tandis que les vallées atlasiques ne reçoivent que 400 à 600 mm et parfois moins de 400 mm quand elles s'enfoncent profondément dans le massif. C'est donc surtout au Moyen Atlas, bien arrosé et formé de roches calcaires très perméables, que l'Oum-Er-R'bia doit son débit d'étiage. Dans la plaine du Tadra, la hauteur pluviométrique annuelle est pourtant inférieure à 400 mm et dépasse à peine 200 mm entre Mechra-Benabbou et El-Kelaa-des-Srarhna. Le bassin versant de l'Oum-Er-R'bia à Imfout (30 000 km²) reçoit environ 550 mm de pluie par an. La répartition saisonnière des pluies est assez homogène dans le bassin. Le corps de la saison des pluies s'étend d'octobre à avril. Les précipitations décroissent rapidement en mai et juin ; elles sont très faibles en juillet et août où l'on note en montagne des orages provoquant des chutes de pluie peu abondantes. Les coefficients mensuels de la pluviométrie sur l'ensemble du bassin sont en moyenne :

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
0,039	0,096	0,142	0,133	0,108	0,119	0,133	0,113	0,067	0,029	0,009	0,012	1,000

Ces précipitations ont lieu sous forme de pluie, de grêle parfois, et de neige. Il peut neiger de novembre à mai inclus au-dessus de 1 500 m, mais on observe chaque année des chutes de neige à 800 m d'altitude. Cette neige fond généralement assez vite, sauf au-dessus de 2 800 m où elle tient tout l'hiver. La rétention nivale affecte donc surtout les très hautes vallées du Haut Atlas (Tessaout) et intéresse moins du dixième de la superficie du bassin.

2.3. COUVERTURE VÉGÉTALE

Dans les plaines et sur les plateaux de basse altitude où la roche est souvent à nu, la végétation est du type steppique, herbeuse ou buissonneuse très clairsemée. Au-dessus de 800 m d'altitude, les pâturages puis les forêts apparaissent dans les régions bien arrosées. Les forêts sont constituées de chênes verts entre lesquels s'insèrent des bosquets de thuyas de berberie et de pins d'Alep, à plus haute altitude. Dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas calcaire, les forêts de cèdres s'étendent au-dessus de 1 800 m d'altitude. La « forêt » occupe finalement le quart de la superficie du bassin versant de l'Oum-Er-R'bia à Imfout, cependant son boisement est peu serré, son sous-bois peu fourni et le rôle qu'elle peut jouer dans le mécanisme de l'écoulement est d'autant moins évident qu'elle s'étend en grande partie sur des terrains calcaires très perméables.

Les terrains cultivés, en zone de piedmont ou en plaine (Tadla, plaine de la Tessaout, vallées atlasiques), sont si peu arrosés qu'il est nécessaire de les irriguer. Le ruissellement de surface y est limité par la faible pente et les façons culturales qui favorisent l'infiltration.

2.4. AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES

Nous ne décrivons ici, succinctement, que les ouvrages dont le fonctionnement modifie le régime naturel du fleuve ou de ses affluents, en tâchant d'être assez précis pour faciliter la compréhension des processus de calcul exposés plus loin.

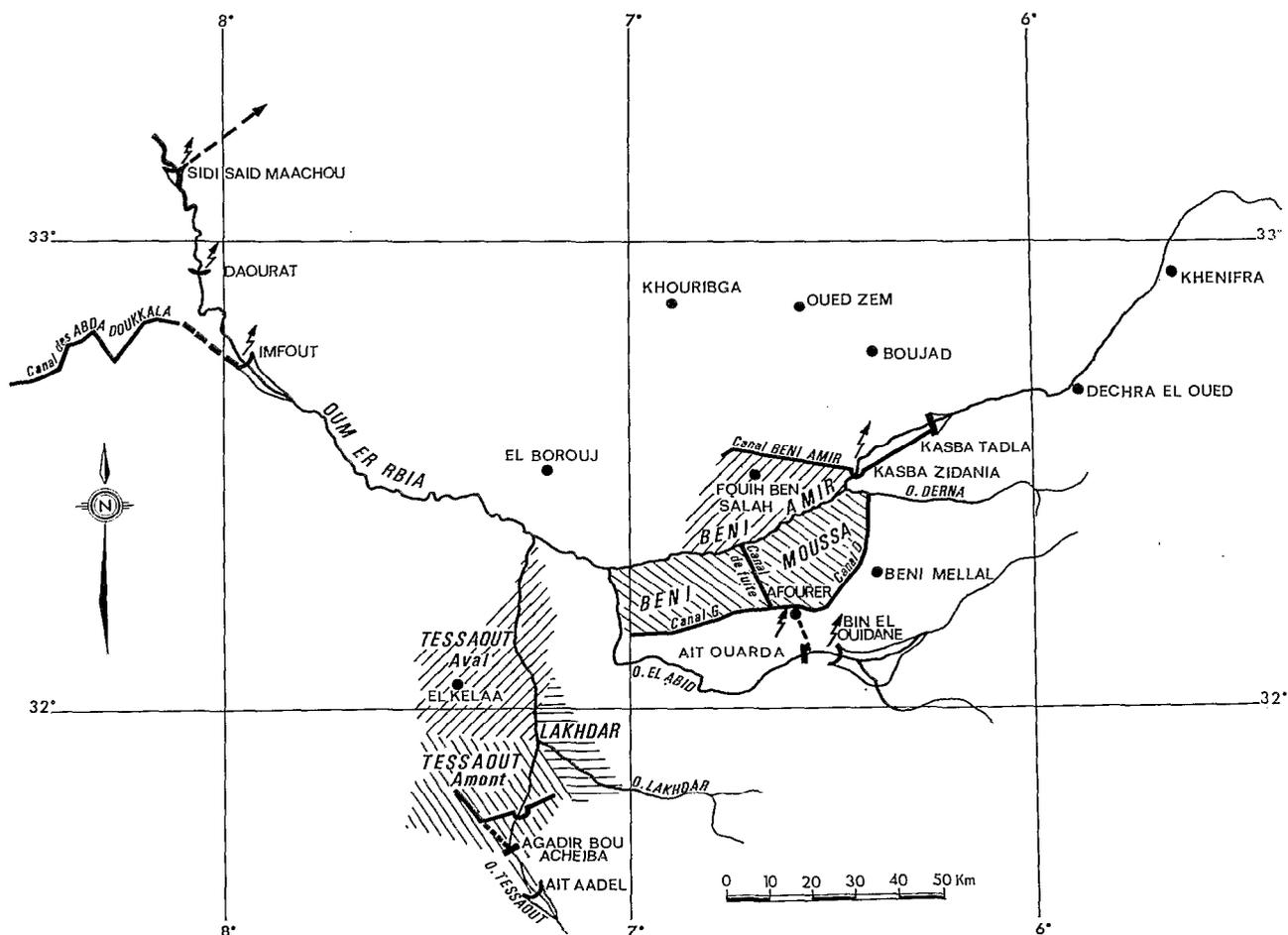


Fig. 4 — Croquis des aménagements hydrauliques du bassin de l'Oum er R'bia

2.4.1. Barrage de Kasba Tadla, usine de Kasba Zidania, irrigation des Beni Amir

A Kasba-Tadla, on a construit en 1935 un barrage poids, déversant sur toute sa longueur formant prise en rivière d'un canal latéral sis en rive gauche. L'ouvrage est équipé d'une vanne de passe à gravier et d'une vanne de chasse. L'entrée du canal est gardée par une vanne de tête. Le canal longe l'Oum-Er-R'bia en rive gauche sur 24,4 km. Il est de section trapézoïdale, bétonné, et peut débiter jusqu'à 20 m³/s. Il débouche à Kasba-Zidania dans un bassin de décantation actuellement envasé. De là, une première vanne donne accès à un siphon qui traverse le fleuve puis alimente le canal principal d'irrigation des Beni-Amir, en rive droite du fleuve. Une seconde vanne donne accès à la centrale hydroélectrique de Kasba-Zidania qui restitue au fleuve l'eau turbinée. Enfin, une petite vanne de chasse permet de vider le bassin de décantation. L'aménagement est destiné, en priorité, à l'irrigation des Beni-Amir. L'eau excédentaire captée à Kasba-Tadla est turbinée à Kasba-Zidania. Le canal principal d'irrigation, en rive droite, mesure 42 km de longueur, il est bétonné et peut débiter 12,5 m³/s ; il n'a pas d'exutoire actif. Par les canaux secondaires, tertiaires et quaternaires, l'eau est distribuée aux parcelles sur un périmètre de 25 000 ha, puis collectée par un réseau de drainage dont l'efficacité n'est pas parfaite. Le périmètre irrigué des Beni-Amir souffre de la remontée de la nappe phréatique et de sa salure.

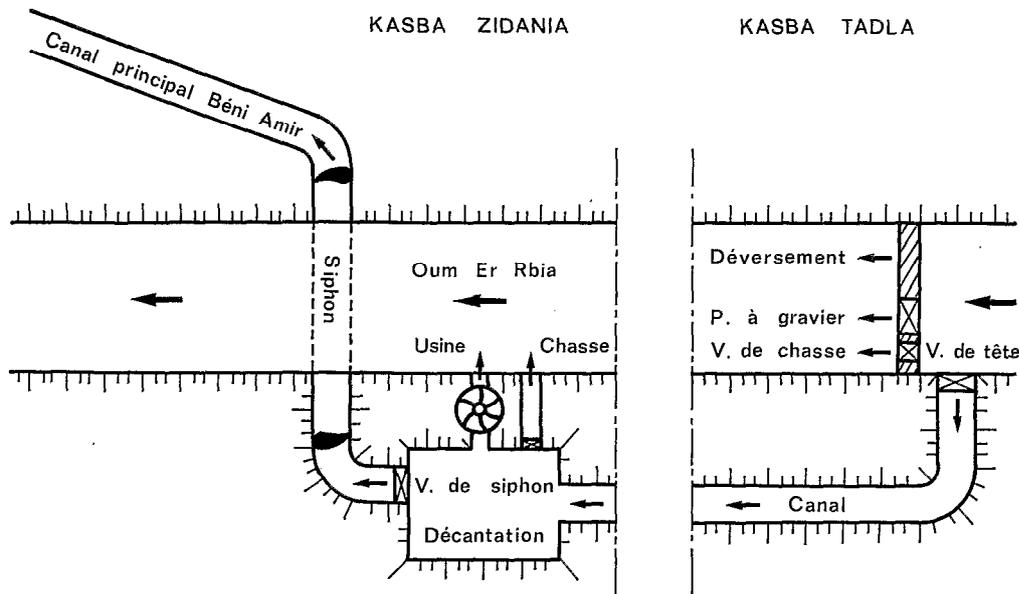


Fig. 5 — Plan schématique de l'aménagement de Kasba Tadla-Kasba Zidania

2.4.2. Réseau d'irrigation de l'oued Derna

Nous le citons pour mémoire car son importance est secondaire : il peut détourner de l'oued Derna, par quatre seguias principales, un débit voisin de 2,5 m³/s (peut-être davantage).

2.4.3. Complexe hydroélectrique de l'oued El-Abid

Une retenue de 1,5 milliard de mètres cubes fut créée en 1952 à Bin-el-Ouidane, derrière un barrage en voûte mince au pied duquel une centrale hydroélectrique turbine l'eau accumulée dans la retenue et la restitue à l'oued El-Abid. La prise d'eau des Aït Ouarda est située 3,5 km en aval de Bin-el-Ouidane. En rive droite de la prise d'eau (qui forme une petite retenue de 2,5 millions de mètres cubes) est logée la tête de la galerie souterraine d'Afourer qui peut débiter 48 m³/s. La conduite forcée qui la prolonge alimente la centrale d'Afourer qui restitue l'eau turbinée dans un bassin de rétention de 25 000 m³. Deux canaux s'en échappent, gardés par des vannes équilibrées qui partagent automatiquement le débit turbiné à Afourer entre les deux canaux. La capacité maximale du canal D allant vers l'est, est de 16 m³/s, celle du canal G allant vers l'ouest est de 32 m³/s. Les vannes à module, placés en tête des canaux secondaires sont alimentées à niveau constant grâce à une série de vannes automatiques échelonnées le long des canaux principaux. L'eau excédentaire, turbinée à Afourer et non utilisée par l'irrigation, est déversée par le canal D dans l'oued Derna et par le canal coursier dans l'Oum-Er-R'bia. L'extrémité occidentale

du canal G débouche dans l'oued El-Abid (cet aménagement est récent). Le périmètre irrigué des Beni-Moussa s'étend actuellement sur 65 000 ha ; il est en extension progressive tant par le canal D qui devrait finir par rejoindre le bassin de décantation de Kasba-Zidania, que par le canal G qui devrait traverser l'oued El-Abid et se diriger vers El-Kelaa.

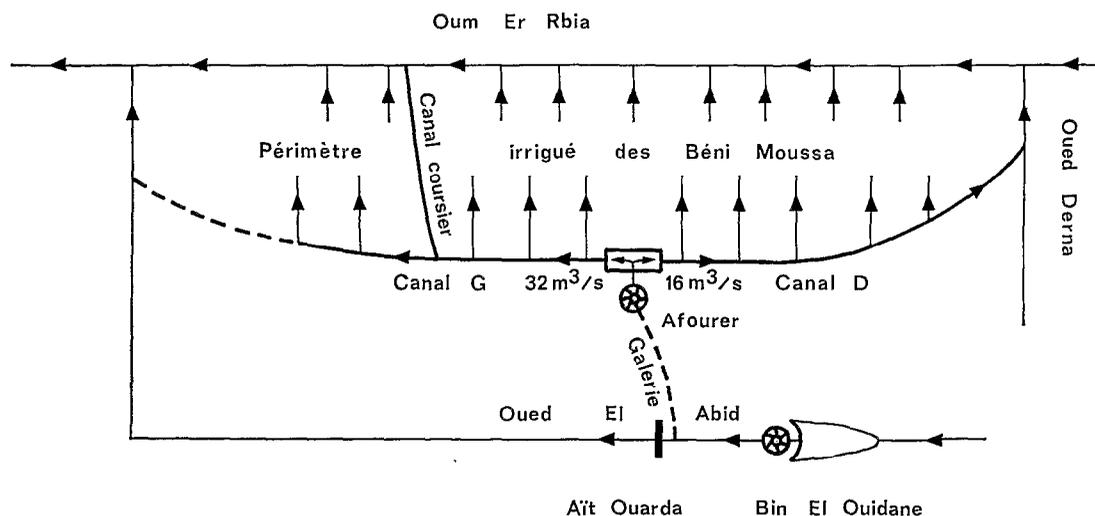


Fig. 6 — Schéma simplifié de l'aménagement de l'oued El-Abid

2.4.4. Aménagement de l'oued Tessaout

L'oued Tessaout est équipé d'un réseau traditionnel de séguias. On partage le secteur de la Tessaout en trois périmètres :

- le périmètre irrigué du Lakhdar, situé de part et d'autre de cet oued, entre Assaka et le confluent de la Tessaout (34 séguias) ;
- le périmètre de Tessaout Amont représentant le secteur compris entre Aït-Aadel et le confluent du Lakhdar (37 séguias) ;
- le périmètre de Tessaout Aval entre le confluent du Lakhdar et celui de l'Oum Er-R'bia (13 séguias).

A ce réseau traditionnel, se surimpose un réseau aménagé, actuellement en cours d'équipement comportant un barrage de régularisation à Aït-Aadel, d'une capacité de 200 millions de mètres cubes mis en eau en 1970, une prise d'eau à Agadir-Bou-Acheiba (1964) servant à alimenter convenablement la séguia Jdida, la séguia Sultania Amont et à conduire les eaux captées par galerie souterraine jusqu'au nœud de distribution du nouveau réseau alimentant plus efficacement les séguias traditionnelles qui tiennent lieu de canaux tertiaires et quaternaires. Les superficies irriguées de la Tessaout couvrent 67 000 ha en 1971 et, pour les satisfaire, les séguias prélèvent aux oueds Lakhdar et Tessaout un débit moyen de 12 m³/s qui n'est régularisable que depuis la mise en eau du barrage d'Aït-Aadel.

2.4.5. Imfout, Daourat et Sidi-Saïd-Maachou

Le barrage d'Imfout, exutoire du bassin versant étudié, a été construit entre 1939 et 1946. C'est un barrage poids qui crée, à la cote 190 m une retenue de 83 millions de mètres cubes actuellement envasée. Des vannes secteurs commandent un évacuateur de crue pouvant débiter 3 500 m³/s. L'usine hydroélectrique de basse chute se trouve au pied du barrage. L'eau turbinée est reprise à l'aval par l'usine de Daourat puis une dernière fois par l'usine de Sidi-Saïd-Maachou. Mais la vocation d'Imfout est également hydroagricole. Le périmètre irrigué des Doukkala est alimenté à partir d'Imfout par une galerie dont la capacité est actuellement de 48 m³/s. Le périmètre irrigué s'étend sur 30 000 ha.

Au total, la puissance hydroélectrique installée sur l'Oum-Er-R'bia et ses affluents s'élevait en 1971 à 300 MVA et la production annuelle à environ 900 GWh. Les surfaces irriguées par les séguias traditionnelles ou les canaux d'irrigation s'étendaient sur environ 185 000 ha.

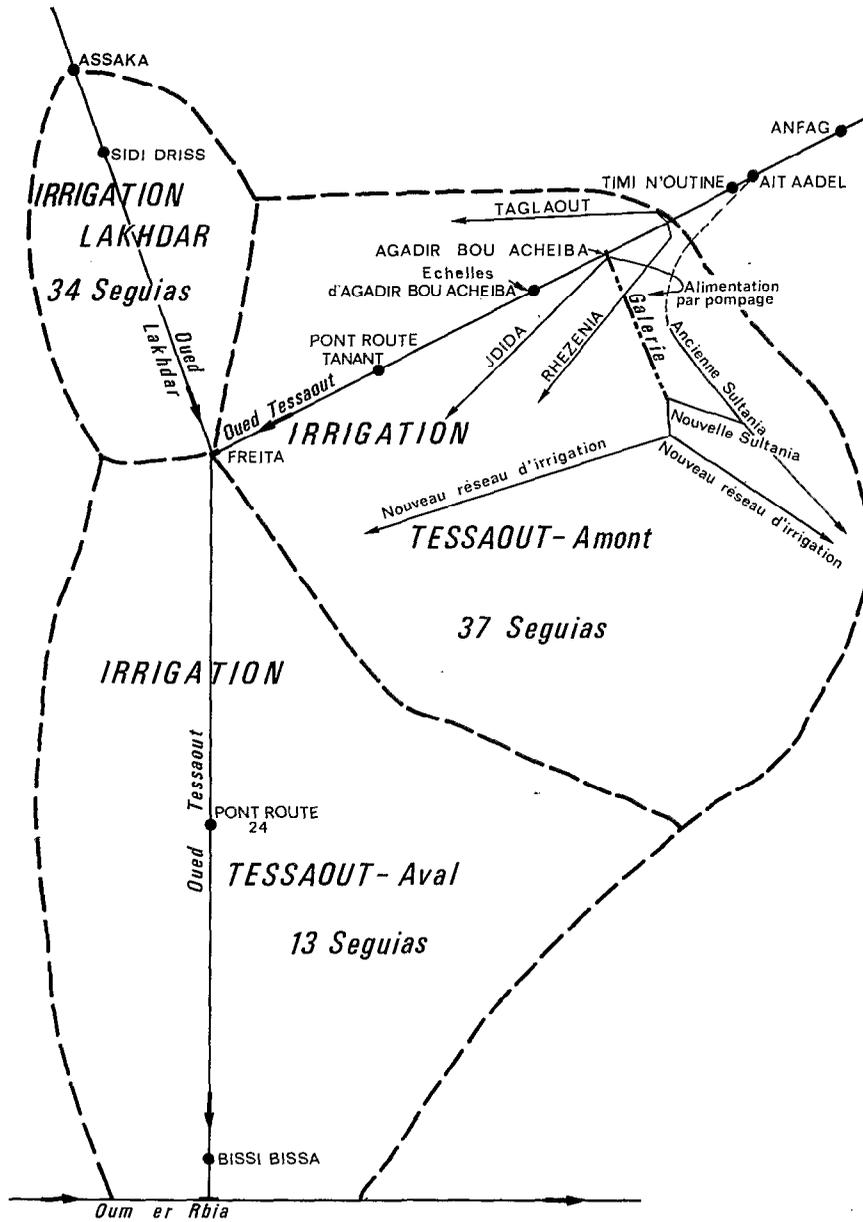


Fig. 7 — Schéma des périmètres irrigués de l'oued Tessaout

3. RECONSTITUTION DES DÉBITS NATURELS (DÉBITS MOYENS MENSUELS)

En amont de Kasba-Tadla, le bassin n'est pas aménagé ; par conséquent, les débits que l'on observe à Khenifra et à Dechra-El-Oued sont des débits naturels.

3.1. OUM-ER-R' BIA A KASBA-TADLA

Les observations faites à Kasba-Tadla portent uniquement sur la cote du plan d'eau de la retenue et la profondeur de l'eau dans le canal de dérivation ainsi que sur un petit nombre de manœuvres de vannes de chasse et de passe à gravier. La retenue étant de dimension négligeable, on écrit que le débit de l'Oum-Er-R'bia est égal au débit déversé augmenté du débit évacué par les vannes, augmenté du débit dérivé dans le canal.

3.1.1. *Débit déversé*

Compte tenu des dimensions de l'ouvrage et du type d'écoulement sur un seuil épais horizontal, dénoyé, on adopte la formule :

$$Q_1 = 0,394 \cdot l \cdot H \sqrt{2gH} \quad \text{ou encore} \quad Q_1 = 328 H^{3/2}$$

3.1.2. *Débit des vannes*

Leur débit est donné par la formule $q = 0,7 \cdot s \cdot \sqrt{2gh}$. Seule une liste de toutes les manœuvres de vannes permettrait de connaître à chaque instant les valeurs des sections d'ouverture. Or, cette liste n'existe pas. En compulsant les archives et en interrogeant le gardien du barrage, on a cependant pu établir qu'en gros, les vannes restent fermées lorsque la cote du plan d'eau est inférieure à 0,40 m. Lorsque la cote atteint 0,50 m, la vanne de chasse est ouverte d'un mètre et n'est plus manœuvrée. Vers la cote 0,58 m, on commence à manœuvrer la vanne de passe à gravier. Lorsque la cote atteint 1,25 m, la vanne est grande ouverte et le reste, son ouverture est alors de 3 m.

Compte tenu de la largeur constante des vannes, on considère donc que leur débit est lié à la cote du plan d'eau par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} 0,40 < H < 0,50 \quad Q_2 &= 46,5(H - 0,4) \sqrt{6,27 - 4H} \\ 0,50 < H < 0,58 \quad Q_2 &= 4,65 \sqrt{H + 3,77} \\ 0,58 < H < 1,25 \quad Q_2 &= 4,65 \sqrt{H + 3,77} + 69,4 (H - 0,58) \sqrt{5,59 - 1,28H} \\ H > 1,25 \quad Q_2 &= 4,65 \sqrt{H + 3,77} + 4,65 \sqrt{H + 2,77} \end{aligned}$$

3.1.3. *Débit du canal de dérivation*

Les échelles limnimétriques de Kebbaba donnent la profondeur d'eau dans le canal. Le débit est fourni par la formule de Bazin :

$$Q_3 = S \frac{87}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{R \cdot i} \quad \text{avec} \quad n = 0,5$$

Il serait évidemment nécessaire de jauger le débit du canal pour apprécier la validité de cette formule.

Le débit naturel de l'Oum-Er-R'bia à Kasba-Tadla est donc :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

En résumé, le traitement des données hydrométriques disponibles produit les débits moyens journaliers de l'Oum-Er-R'bia à Kasba-Tadla depuis le 1^{er} janvier 1937 et les débits moyens mensuels et annuels depuis septembre 1936.

Le débit turbiné à Kasba-Zidania rejoint le fleuve mais celui qui franchit le siphon (et dont la valeur est fournie tous les jours en fonction de l'ouverture de la vanne de siphon) s'en va irriguer les Beni-Amir. Seule, une partie de cette eau finira par rejoindre le fleuve, bien en aval, à travers la nappe phréatique et le réseau de drainage.

3.2. REJETS DU CANAL D DANS L'OUED DERNA ET DU CANAL DE FUITE DANS L'OUUM-ER-R'BIA

Les vannes qui équipent les canaux primaires du périmètre des Beni-Moussa sont automatiques et se règlent constamment sur le débit à évacuer du bassin d'Afourer et à distribuer aux parcelles irriguées. Les documents dont on dispose contiennent les quantités d'eau prélevées pour les besoins de l'irrigation au canal D et au canal G. On connaît la capacité maximale de ces canaux : 16 et 32 m³/s.

En calculant aussi souvent que cela était possible les valeurs minimales et maximales admissibles du débit rejeté dans l'oued Derna, à l'extrémité du canal D, on a délimité sur un graphique une zone à travers laquelle on a tracé une courbe qui pourrait représenter la loi de fonctionnement du débouché du canal d'après le débit excédentaire turbiné à Afourer. Pour des raisons de commodité, on a donné à cette courbe la forme parabolique. Son équation est :

$$Q_s = Q_x (6,9 Q_x + 2) 10^{-3}$$

où Q_s est le débit de sortie du canal D rejeté dans l'oued Derna et Q_x le débit excédentaire à Afourer = turbiné — besoins d'irrigation.

Il n'est nullement besoin d'insister sur le caractère approximatif des résultats auxquels conduit ce procédé qui, pourtant, tient compte au mieux des caractéristiques techniques des ouvrages et des conditions de leur exploitation.

Le débit de sortie du canal de fuite est évidemment $Q_x - Q_s$.

Ces calculs sont effectués sur les débits moyens mensuels depuis septembre 1955.

3.3. OUM-ER-R'BLA AU PONT ROUTE 133

Ce pont franchit l'Oum-Er-R'bia en aval de Kasba-Zidania et en aval presque immédiat du confluent de l'oued Derna. Une station limnimétrique s'y trouve installée depuis septembre 1963. Les débits qu'on y observe depuis lors, doivent être diminués des apports artificiels du canal D dans l'oued Derna et augmentés du prélèvement fait par le canal des Beni-Amir pour représenter les débits naturels de l'Oum-Er-R'bia en cette section. Du moment que les deux périmètres irrigués des Beni-Amir et Moussa s'étendent de part et d'autre du fleuve en aval de la station, celle-ci ne contrôle pas les débits de drainage de ces périmètres. Donc :

$$Q_{nat} = Q_{réel} + \text{irrigation Beni-Amir} - \text{rejet du canal D dans oued Derna}$$

Faute de connaître les débits prélevés par les séguias de l'oued Derna, on ne peut en tenir compte pour calculer le débit naturel de l'Oum-Er-R'bia au Pont Route 133, mais il s'agit là de quantités assez faibles.

3.4. OUED EL-ABID A BIN-EL-OUIDANE

En tenant compte des volumes turbinés, évacués, stockés, évaporés dans la retenue et du débit des fuites, l'O.N.E. calcule les débits moyens journaliers de l'oued El-Abid à Bin-el-Ouidane à partir des relevés de l'échelle placée dans la retenue, des courbes de production de la centrale, de la courbe de capacité de la retenue, et des valeurs de l'évaporation. Les débits naturels de l'oued El-Abid à Bin-el-Ouidane sont donc bien connus depuis 1953.

3.5. OUED EL-ABID A OUAOUIRINT

La station est située sur l'oued El-Abid, en aval de tout le système de dérivation et en amont du confluent de l'Oum-Er-R'bia. Les observations qui y ont été faites, plus ou moins régulièrement de 1924 à 1953, conduisent directement aux débits naturels de l'oued qui n'était pas encore aménagé. Par contre, les observations qui ont été reprises à partir de 1967 ne conduisent qu'au débit réel de l'oued à Ouaouirint, débit très différent de ce qu'il serait, naturellement, sans l'aménagement de Bin-el-Ouidane et d'Aït-Ouarda.

Le bassin versant intermédiaire de l'oued El-Abid entre Bin-el-Ouidane et Ouaouirint apporte à l'oued un débit égal d'une part à la différence entre les débits naturels à ces deux stations et d'autre part à la différence entre le débit réel à Ouaouirint et le débit restitué à l'oued aux Aït-Ouarda. (Trois km sans affluents séparent seulement les Aït-Ouarda de Bin-el-Ouidane). Aussi peut-on écrire :

$$Q_{nat} OUA = Q_{nat} BIN + Q_{réel} OUA - Q_{évac} AIT$$

A l'aide des états hebdomadaires dressés par le contrôle des ressources hydrauliques du complexe de l'oued El-Abid, on peut calculer les débits moyens mensuels restitués au lit de l'oued aux Aït-Ouarda, et les débits dérivés dans la plaine du Tadla par la galerie d'Afourer à partir du mois de septembre 1955. Les débits naturels à Ouaouirint peuvent donc être établis pendant la période qui précède la mise en eau du barrage de Bin-el-Ouidane, et de 1968 à 1970.

3.6. OUM-ER-R'BLA A OULAD SIDI DRISS

La station, observée depuis 1968, se trouve sur l'Oum-Er-R'bia entre les confluent de l'oued El-Abid et de l'oued Tessaout. Le débit naturel à Oulad-Sidi-Driss s'obtient en ajoutant au débit réel les quantités d'eau utilisées par les cultures irriguées des périmètres des Beni-Amir et Beni-Moussa, puis les quantités d'eau stockées et évaporées dans la retenue de Bin-el-Ouidane. Il est entendu que, ce faisant, on considère que le processus « irrigation-drainage » s'exécute sans retard apparent de l'écoulement. C'est une hypothèse simplificatrice dont l'approximation est largement suffisante.

Les quantités d'eau amenées aux parcelles irriguées sont connues. Une partie est utilisée par les plantes et le sol puis dissipée par évapotranspiration. L'autre partie rejoint par divers chemins la nappe phréatique, les drains et finalement l'Oum-Er-R'bia. La proportion de l'une et l'autre de ces parties n'est pas connue. Le rapport de la quantité d'eau dissipée à la quantité d'eau fournie est un nombre compris entre 0 et 1 qui est sans doute plus élevé en été qu'en hiver, comme l'évaporation. On a donc arbitrairement fixé sa valeur moyenne annuelle à 0,5 avec un minimum de 0,4 en hiver et un maximum de 0,6 en été. Soit r la valeur de ce rapport, nous avons posé :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
r	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5

La somme des quantités d'eau stockée et évaporée dans la retenue de Bin-el-Ouidane est représentée par la différence entre les apports naturels et le débit de sortie du barrage. Celui-ci, à très peu de chose près, est égal à la somme des débits dérivés sur Afouerer et de ceux qui sont restitués à l'oued El-Abid aux Aït-Ouarda.

En définitive, le débit naturel de l'Oum-Er-R'bia à Oulad-Sidi-Driss se calcule grâce à l'égalité suivante :

$$Q_{nat} = Q_{réel} + Q_{nat\ BIN} - (Q_{évac\ AIT} + Q_{dériv\ AFOURER}) + r$$
 (irrigation Beni-Amir + irrigation Beni Moussa)

Les données d'observation permettent de faire ce calcul pour les 25 valeurs mensuelles du débit de décembre 1968 à décembre 1970.

3.7. OUED TESSAOUT A BISSI-BISSA

La station se situe à proximité du confluent de l'oued Tessaout et de l'Oum-Er-R'bia. Les quantités d'eau mesurées à Bissi-Bissa représentent ce que les nombreuses séguias, en amont n'ont pas soustrait au débit naturel de l'oued. Cela n'est pas rigoureusement vrai car l'eau distribuée aux champs contribue à l'alimentation de la nappe phréatique que draine la rivière. Mais cet effet secondaire ne peut pas être chiffré. Il faut garder présent à l'esprit que le réseau traditionnel des séguias n'est pas doublé d'un réseau de drainage, que le débit prélevé par une séguia est toujours intégralement distribué aux terres irriguées, que la plupart des séguias sont en terre et qu'il s'y produit des pertes en eau captée considérables, qu'enfin, une partie importante de l'eau captée irrigue des champs situés en dehors du bassin versant de l'oued Tessaout. Cela dit, en négligeant le débit de retour éventuel à la rivière, on considère que les eaux dérivées sont définitivement soustraites à l'écoulement. En d'autres termes, le débit naturel de l'oued Tessaout à Bissi-Bissa est égal au débit réel augmenté de la somme des débits de toutes les séguias.

$$Q_{nat} = Q_{réel} + Q_{séguias}$$

Les comptes rendus hebdomadaires des gardes des eaux fournissent les dates des jaugeages des séguias et leurs débits. Ces jaugeages se font au flotteur, en mesurant la vitesse superficielle et la profondeur, tous les 10 cm, d'une rive à l'autre de la séguia. Le coefficient de réduction du débit adopté est uniformément égal à 0,8. Une mesure comparative faite au moulinet et au flotteur a donné 270 l/s au moulinet et 217 l/s au flotteur. La cadence de ces jaugeages, pour chaque séguia, varie de 3 à 25 par mois. Le débit d'une séguia est assez régulier, contrairement à celui d'un ruisseau naturel, et le débit moyen mensuel calculé par moyenne arithmétique des mesures est assez significatif. Il suffit ensuite d'additionner mois par mois les débits de toutes les séguias pour obtenir les débits moyens mensuels d'irrigation des périmètres de Tessaout Lakhdar. Les documents rassemblés ont permis de déterminer ces débits d'irrigation de 1947 à 1970.

Signalons que de nombreux éléments nécessaires à l'exécution du calcul du débit naturel font défaut et qu'on est obligé d'avoir recours à des artifices pour y suppléer, car la station de Bissi-Bissa n'est observée que depuis 1963.

3.8. OUM-ER-R'BIA A IMFOUT

Le débit naturel de l'Oum-Er-R'bia à Imfout est obtenu en faisant la somme du débit réel, des pertes par irrigations des Beni-Amir, des Beni-Moussa et des périmètres de Tessaout-Lakhdar, du stockage et de l'évaporation dans la retenue de Bin-el-Ouidane. Compte tenu de l'évaluation du coefficient r autant pour les périmètres des Beni-Amir et des Beni-Moussa ($r = 0,5$ en moyenne) que pour ceux de Tessaout-Lakhdar ($r = 1$), on peut écrire :

$$Q_{nat} = Q_{réel} + Q_{nat\ BIN} - (Q_{évac\ AIT} + Q_{dériv\ AFOURER}) + r \text{ (irrigation Beni-Amir + irrigation Beni-Moussa)} + \text{irrigation Tessaout + irrigation Lakhdar}$$

Les débits réels de l'Oum-Er-R'bia à Imfout sont connus depuis janvier 1941.

4. EXTENSION DES SÉRIES DE DÉBITS NATURELS (DÉBITS MOYENS MENSUELS)

Le but à atteindre est de constituer des séries homogènes de débits moyens mensuels naturels, relatifs à une même période aussi longue que possible dans tout le bassin de l'Oum-Er-R'bia. La station de Kasha-Tadla, où l'on connaît les débits depuis 1936 est choisie pour station de base. On étendra donc à la période 1936-1970 la série

des débits naturels en chacune des stations. On ne peut utiliser qu'accessoirement les renseignements pluviométriques car, en majorité, ils ne recouvrent pas une période sensiblement plus longue puisque le réseau des postes pluviométriques ne s'est développé qu'à partir de 1948.

On pourrait craindre que l'imprécision des débits naturels de l'Oum-Er-R'bia à Kasba-Tadla n'entraîne une inexactitude plus grande encore des données étendues par corrélation aux autres stations. Il faut voir toutefois que les erreurs qui entachent les résultats obtenus à Kasba-Tadla proviennent surtout de l'emploi des formules de débit des vannes, du canal et du déversoir. Ce sont donc des erreurs systématiques qui n'affectent pas l'étroitesse des corrélations établies entre cette station et une autre. En outre, la bonne stabilité de la station de Kasba-Tadla garantit l'homogénéité des données, qualité nécessaire des éléments auxquels on a choisi de se référer.

Les nombreuses corrélations que nous sommes amenés à utiliser sont toutes établies graphiquement. L'emploi de formes analytiques donnerait l'illusion d'une rigueur que ne justifieraient ni le phénomène physique ni la façon parfois approximative dont les quantités à corréler ont été déterminées.

4.1. OUM-ER-R'BIA A KHENIFRA (1 086 km²) ET A DECHRA-EL-OUED (3 330 km²)

Les débits qu'on observe en ces deux stations en amont de Kasba-Tadla, sont des débits naturels. A l'aide des observations des 9 années communes, on établit graphiquement la corrélation qui existe entre les débits mensuels. Cette corrélation est utilisée pour compléter les données de la période 1952-1970. On établit graphiquement une deuxième corrélation entre les débits de ces 18 années à Dechra-El-Oued et ceux qui leur correspondent à Kasba-Tadla. Cette seconde corrélation permet d'étendre de 1952 à 1936 les débits à Dechra-El-Oued. A cette nouvelle série, on fait correspondre son homologue à Khenifra en utilisant la première corrélation.

4.2. OUM-ER-R'BIA AU PONT ROUTE 133 (6 710 km²)

Alors que les débits réels de l'Oum-Er-R'bia au pont ne sont pas comparables à ceux de Kasba-Tadla à cause des irrigations dans les Beni-Amir et des apports artificiels dans l'oued Derna par le canal D d'Afourer, les débits naturels calculés au pont sont comparables à ceux qui, en amont, se présentent à Kasba-Tadla. Sept années (1963-1970) d'observations communes permettent de tracer une courbe moyenne de corrélation entre les débits moyens mensuels. Cette corrélation permet d'étendre de 1963 à 1936 les débits naturels de l'Oum-Er-R'bia au Pont Route 133.

4.3. OUED EL-ABID A BIN-EL-OUIDANE (6 470 km²) ET A OUAOUIRINT (7 840 km²)

Entre 1967 et 1970 on dispose à la fois des débits naturels à Bin-el-Ouidane et à Ouaouirint. La corrélation qui existe entre ces deux séries de valeurs est très serrée et n'est pas linéaire. On l'utilise pour étendre à la période 1953-1967 les débits naturels de l'oued El-Abid à Ouaouirint. La question se pose alors de savoir s'il est raisonnable d'adjoindre à cette série celle des débits établis avant 1953 à Ouaouirint. L'ancienne et la nouvelle station ayant été installées à proximité l'une de l'autre, l'objection qu'on pourrait faire ne s'appuyerait que sur d'éventuelles différences entre les méthodes d'exploitation utilisées aux deux stations. La méthode des doubles masses appliquée à la pluviométrie au poste d'Azilal et aux modules naturels à Ouaouirint n'a pas fait apparaître de cassure particulière à la droite des valeurs cumulées au voisinage de l'année 1952. Aussi estime-t-on justifiée la constitution d'une seule série de débits naturels à Ouaouirint, de 1924 à 1970, série dont les valeurs ne sont complètes qu'à partir de 1930. En utilisant à rebours la corrélation précédente, on étend de 1952 à 1930 la série des débits naturels de l'oued El-Abid à Bin-el-Ouidane.

4.4. OUM-ER-R'BIA A OULAD-SIDI-DRISS (18 520 km²)

Le débit naturel qui passerait à la station de Oulad-Sidi-Driss, qu'on ne peut calculer qu'à partir de décembre 1968, serait composé en grande partie du débit naturel passant sous le pont de la route 133, augmenté du débit naturel de l'oued El-Abid à Ouaouirint, car les 4 000 km² du bassin intermédiaire sont peu arrosés et ne participent pas beaucoup à l'écoulement. On peut constater graphiquement à l'aide des seules 25 valeurs dont on dispose, que la corrélation obtenue est assez étroite. Comme les débits naturels au pont ont été établis depuis 1936 et qu'à Ouaouirint on les connaît depuis 1930, on peut étendre de 1968 à 1936 la série des débits naturels mensuels de l'Oum-Er-R'bia à Oulad-Sidi-Driss.

4.5. OUED TESSAOUT A BISSI-BISSA (5 870 km²)

Ici le problème est complexe car les éléments de référence sont peu sûrs. Depuis 1948, des observations assez succinctes permettent d'avoir une idée du débit réel de l'oued Tessaout au pont de la route 24, c'est-à-dire à une quinzaine de kilomètres en amont de Bissi-Bissa. Une corrélation établie graphiquement entre les débits réels moyens

mensuels de 1963 à 1970 en ces deux stations, permet de connaître approximativement le débit réel de l'oued Tessaout à Bissi-Bissa de 1948 à 1962. Comme on peut disposer du débit des séguias pendant cette période, on peut aussi connaître approximativement le débit naturel de l'oued à Bissi-Bissa, de 1948 à 1962.

De 1941 à 1947, les références font encore plus défaut. La branche amont de l'oued Tessaout est observée à Agadir-Bou-Acheiba où des jaugeages au flotteur presque quotidiens donnent une idée du débit naturel de la rivière, quand on y associe le débit des premières séguias. L'oued Lakhdar, avant de confluer avec l'oued Tessaout, est observé de la même façon à Assaka. On peut estimer qu'une grande partie du débit de la rivière à Bissi-Bissa s'obtient en additionnant les débits des oueds Tessaout et Lakhdar à Agadir-Bou-Acheiba et à Assaka. La corrélation qu'on établit pendant la période 1963-1970 entre les débits naturels à Bissi-Bissa et la somme des débits naturels à Agadir et à Assaka est assez lâche mais on l'utilise pourtant pour donner une estimation du débit naturel à Bissi-Bissa entre 1941 et 1947.

4.6. OUM-ER-R'BLIA A IMFOUT (30 600 km²)

Les débits naturels de l'Oum-Er-R'bia à Imfout ont été établis de 1941 à 1970. Il convient d'étendre cette série de 1936 à 1941 pour conserver la même période de référence. La différence des débits naturels à Imfout et à Oulad-Sidi-Driss représente les apports du bassin versant intermédiaire composé principalement de celui de l'oued Tessaout. On a pensé que ce bassin intermédiaire avait un régime d'écoulement comparable à celui de son voisin l'oued El-Abid à Ouaoourint. On a donc corrélé les débits de l'oued El-Abid avec la différence des débits naturels à Imfout et à Oulad-Sidi-Driss, en travaillant sur les modules naturels de la période 1941-1970. Le coefficient de corrélation linéaire, calculé, a pour valeur 0,889, ce qui est assez satisfaisant. On déduit donc du module annuel à Ouaoourint la quantité qu'il faut ajouter au module à Oulad-Sidi-Driss pour obtenir le module à Imfout. L'erreur relative que l'on commettra sera faible si l'on déduit la répartition mensuelle des débits à Imfout de celle que l'on connaît à Oulad-Sidi-Driss. On peut ainsi donner une estimation des débits naturels mensuels de l'Oum-Er-R'bia à Imfout de 1936 à 1941.

4.7. CONTROLE DES DÉBITS NATURELS

On a pu constater dans ce qui précède que les débits naturels à Imfout, Oulad-Sidi-Driss et Bissi-Bissa ont été calculés, entre 1941 et 1970, de façon indépendante. Tandis que les débits naturels à Imfout sont directement issus des débits réels observés, l'extension des données à Oulad-Sidi-Driss et à Bissi-Bissa s'est faite à l'aide d'une suite de corrélations établies graphiquement. Pour permettre de porter un jugement sur la validité des extensions de données effectuées, il est utile de comparer les valeurs du débit naturel à Imfout à celles que l'on obtient en ajoutant aux débits de l'Oum-Er-R'bia à Oulad-Sidi-Driss ceux de la Tessaout à Bissi-Bissa, car on peut a priori négliger les apports ou les pertes intermédiaires.

Dans le cas où l'on se propose de vérifier l'équation de continuité hydraulique dans un système fluvial, il faut écarter les manifestations de l'effet saisonnier car elles entraînent une covariation de pure coïncidence. On y parvient en établissant mois par mois les corrélations linéaires entre les débits moyens mensuels à comparer. Les résultats de cette opération appliquée à l'Oum-Er-R'bia entre 1941 et 1970 sont les suivants :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
IF	50,8	60,5	90,3	118	152	181	228	225	153	89,5	54,9	45,9	119
S	52,2	58,5	89,3	115	150	178	227	225	155	89,5	55,7	48,0	119
C	0,944	0,956	0,990	0,994	0,995	0,995	0,994	0,990	0,991	0,990	0,977	0,995	0,995

où IF est le débit naturel moyen, en m³/s, à Imfout de 1941 à 1970,

S la somme des débits naturels moyens à Oulad Sidi Driss et Bissi Bissa,

C le coefficient mensuel et annuel de corrélation linéaire.

La similitude des débits moyens et la valeur élevée du coefficient de corrélation montrent que l'équation de continuité est respectée de façon satisfaisante, et que les extensions de données effectuées de proche en proche depuis la station de Kasba-Tadla, ont donné en moyenne de bons résultats.

5. CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCOULEMENT

La constitution de séries homogènes de débits naturels de l'Oum-Er-R'bia et de ses affluents de l'amont à l'aval du bassin est un premier pas dans l'étude du régime hydrologique du fleuve. Une opération similaire effectuée sur les précipitations permettrait de dresser les bilans partiels et globaux de l'écoulement, et d'en étudier les variations. Les données pluviométriques de base sont malheureusement insuffisantes à cet effet.

5.1. VALEURS INTERANNUELLES DU DÉBIT

Les valeurs interannuelles calculées sur 34 ans (1936-37 à 1969-70) des débits naturels moyens mensuels sont les suivantes, tant pour l'Oum-Er-R'bia que pour ses deux principaux affluents, les oueds El-Abid et Tessaout.

OUM ER R'BIA (m³/s)

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Mod
Khenifra	12,1	13,3	15,6	21,1	25,0	27,4	27,6	23,7	17,4	14,1	12,3	11,6	18,4
Dechra el Oued	16,3	18,7	24,9	39,6	47,1	54,5	53,5	43,2	27,6	20,1	16,3	15,3	31,3
Kasba Tadla	20,0	23,5	30,9	48,2	58,6	64,9	66,1	54,1	35,0	25,2	20,2	18,5	38,6
Pt Rte 133	22,4	25,7	34,7	56,3	69,4	76,6	79,0	63,0	38,6	28,0	23,0	21,4	44,7
Oulad Sidi Driss	37,3	43,7	63,9	90,2	116	145	178	168	109	62,9	40,7	34,9	90,4
Imfout	49,7	62,7	89,9	117	145	179	219	217	145	85,7	52,8	44,4	117

OUED EL ABID (m³/s)

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Mod
Bin el Ouidane	11,6	13,3	22,7	26,3	38,0	57,7	86,5	93,2	59,6	27,1	14,0	11,0	38,3

OUED TESSAOUT (m³/s)

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Mod
Bissi Bissa	13,6	18,4	25,5	23,5	28,0	31,9	39,9	49,9	40,2	22,5	13,0	10,9	26,4

Le bassin versant de l'Oum-Er-R'bia à Kasba-Tadla mesure 4 310 km², celui de l'oued El-Abid à Bin-el-Ouidane 6 470 km². Les modules en ces deux stations sont à peu près égaux. Les débits de hautes eaux sont dans le même rapport que les superficies, mais il est remarquable que les étiages de l'oued El-Abid sont bien plus sévères que ceux de l'Oum-Er-R'bia : 1,7 l/s.km² contre 4,3 l/s.km² en août. En remontant l'Oum-Er-R'bia, le débit spécifique d'étiage ne fait qu'augmenter : 4,6 l/s.km² à Dechra-El-Oued et 10,7 l/s.km² à Khenifra. Les réserves souterraines contenues dans le massif calcaire du Moyen Atlas assurent donc en bonne partie le débit d'étiage de l'Oum-Er-R'bia. En particulier, 25% du débit d'étiage à Imfout (30 600 km²) proviennent du haut bassin du fleuve (1 086 km²).

5.2. BILANS D'ÉCOULEMENT

La densité des postes pluviométriques et leur ancienneté ne permettent de calculer les hauteurs moyennes de précipitations annuelles que sur le haut bassin, en amont de Kasba-Zidania, et seulement à partir de 1952. Les débits naturels du fleuve ayant été déterminés en ces stations pendant la période indiquée, on peut dresser les bilans d'écoulement à Khenifra, Dechra-El-Oued et Kasba-Tadla. Les valeurs interannuelles des caractéristiques de ces bilans sont les suivantes, exprimées en millimètres :

	Pluviométrie	Lame écoulée	Déficit	Coefficient d'écoulement
Khenifra	952	573	379	0,60
Dechra el Oued	858	330	528	0,38
Kasba Tadla	832	310	522	0,37

Elles mettent en évidence l'importance de l'écoulement dans la partie la plus haute du bassin. En outre, si l'on rattache la hauteur de la lame d'eau écoulée à Khenifra, aux précipitations de l'année et à celles des années précédentes, on trouve que la relation :

$$L = 0,544P + 0,160 P_{-1} + 0,040P_{-2} - 132$$

donne des valeurs de L qui ne s'écartent que de 5% en moyenne des valeurs observées. On voit donc, là aussi, le rôle important du massif calcaire qui restitue lentement l'eau emmagasinée. S'il la restitue selon une loi de débit exponentielle inverse du temps, son temps caractéristique de tarissement $\left(\frac{1}{\alpha}\right)$ atteint 263 jours.

En définitive, par la valeur élevée du coefficient d'écoulement et par l'abondance du débit d'étiage et des réserves souterraines, on est enclin à penser que les « sources de l'Oum-Er-R'bia » et l'oued Fellat s'alimentent à un bassin hydrogéologique plus vaste que le bassin versant topographique. Les hydrogéologues estiment qu'environ 850 km² du plateau de Timhadit (qui s'étend au nord-est du bassin) font partie du bassin hydrogéologique de l'Oum-Er-R'bia. L'oued Guigou qui draine ce plateau en surface, entre dans le système hydrographique de l'oued Sebou, mais ne collecte qu'une faible partie des précipitations qui s'abattent sur ces calcaires.

Si l'on estime à 1 150 mm la hauteur moyenne annuelle des précipitations et à 650 mm les pertes par évaporation et par évapotranspiration sur le plateau, la lame d'eau disponible à l'infiltration et à l'écoulement est de 500 mm. Faute de données plus précises, on admet que la moitié de ce volume d'eau s'infiltré et alimente les sources de l'Oum-Er-R'bia, tandis que l'autre moitié s'écoule en surface par l'oued Guigou. Le volume infiltré, étendu sur la superficie du bassin versant à Khenifra représente une lame d'eau de :

$$\frac{250 \times 850}{1\ 086} = 196 \text{ mm}$$

La lame d'eau théorique écoulée à Khenifra (573 mm) se composerait donc de la lame d'eau effectivement produite sur le bassin (377 mm) et des apports provenant des infiltrations dans le calcaire du plateau de Timhadit (196 mm). En se limitant aux frontières topographiques du bassin, le déficit d'écoulement s'élèverait à $952 - 377 = 575$ mm et le coefficient d'écoulement à $\frac{377}{952} = 0,40$.

Pour le bassin versant à Dechra-El-Oued, le déficit d'écoulement s'élèverait à $858 - 266 = 592$ mm et le coefficient d'écoulement à $\frac{266}{858} = 0,31$.

Enfin, pour le bassin versant à Kasba-Tadla, le déficit d'écoulement serait $832 - 261 = 571$ mm et le coefficient d'écoulement : $\frac{261}{832} = 0,31$.

Les valeurs propres aux bassins topographiques seuls, seraient plus significatives que les premières, et plus homogènes. Leur précision dépend pourtant de la connaissance qu'on peut avoir du régime hydrologique de l'oued Guigou.

	Pluviométrie	Lame écoulée	Déficit	Coefficient d'écoulement
Plateau Timhadit	1 150 (?)	500 (?)	650 (?)	0,44 (?)
Khenifra (Topo)	952	377	575	0,40
Dechra (Topo)	858	266	592	0,31
Kasba Tadla (Topo)	832	261	571	0,31

Ainsi, on peut estimer à 200 millions de mètres cubes environ les apports complémentaires au bassin de l'Oum-Er-R'bia, apports qui entrent sans doute pour une bonne part dans les termes $0,160P_{-1}$ et $0,040P_{-2}$ de l'expression donnant la lame d'eau écoulée à Khenifra et augmentant de près de $7 \text{ m}^3/\text{s}$ le module du fleuve.

5.3. ANALYSE STATISTIQUE DES MODULES DE L'OUM-ER-R'BIA

L'ajustement de plusieurs lois de distribution statistique aux échantillons de modules naturels de l'Oum-Er-R'bia et de l'oued El-Abid a conduit à retenir la loi Gamma Incomplète à Kasba-Tadla et la loi Log-normale à Bin-el-Ouidane et à Imfout. L'ajustement de ces lois donnent les débits suivants, aux fréquences caractéristiques.

	Fréquences								
	0,001	0,010	0,020	0,100	0,500	0,900	0,980	0,990	0,999
Kasba Tadla (Oum Er R'bia)	124	93	84	61	35	22	18	18	16
Bin El Ouidane (oued El Abid)	192	122	104	67	32	16	11	10	7
Imfout (Oum Er R'bia)	412	292	259	184	108	66	51	47	38

L'année 1962-63 a été l'une des plus abondantes et l'année 1944-45 l'une des plus sèches pendant la période de référence. Le module calculé ces deux années-là aux stations importantes, a pour fréquence :

	1962-63		1944-45	
	Débit (m^3/s)	Fréquence	Débit (m^3/s)	Fréquence
Kasba Tadla	81,5	0,0234	17,1	0,994
Bin El Ouidane	84,7	0,0448	11,8	0,976
Imfout	249	0,0245	42,5	0,996

On constate que l'année 1962-63 a été très abondante mais non exceptionnelle puisque son temps de retour est de l'ordre de 40 ans à Imfout, tandis que l'année 1944-45 a été extrêmement sèche, avec un temps de retour théorique de 250 ans à Imfout. L'oued El-Abid accuse beaucoup moins ce caractère de rareté.

5.4. ANALYSE DES CRUES

L'observation des crues de l'Oum-Er-R'bia et de ses affluents est très incomplète. Les débits réels de pointe (en m^3/s) les plus élevés ont été observés en décembre 1963 et en janvier 1970 dans le haut bassin.

	Khenifra	Dechra El Oued	Kasba Tadla	Bin El Ouidane	Imfout
Décembre 1963	420	1 440	1 920	1 250	3 200
Janvier 1970	503	1 403	1 920	550	1 670

En décembre 1963, le débit de pointe à Imfout a été évalué à 3 200 m³/s, mais le barrage de Bin-el-Ouidane a emmagasiné près de 200 millions de mètres cubes à son passage. La reconstitution des crues naturelles de l'Oum-Er-R'bia à Imfout est donc très délicate à partir de 1952. On manque de données pour le faire systématiquement mais, pour la crue de 1963, on a pu évaluer à 3 850 m³/s le débit de pointe qui serait passé à Imfout si la retenue de Bin-el-Ouidane n'avait pas existé.

Les échantillons de faible taille qu'on a pu constituer à Khenifra, Dechra-El-Oued et Imfout, aussi bien pour le débit maximal instantané que pour le débit moyen maximal en 6 heures, 12 heures, 24 heures, 2 jours, etc., ont conduit, après ajustement de la loi de distribution statistique de GUMBEL, à fixer les caractéristiques des crues dites « de projet » aux sites de Imiz-d'Ilfane (Khenifra), Dechra-El-Oued et Sidi-Cheho (Imfout) :

Site	Débit de pointe (m ³ /s)	Débit moyen maximal pendant								Volume total (millions de m ³)
		6 h	12 h	24 h	48 h	3 j	4 j	5 j	6 j	
Imiz	1 500	1 450	1 350	1 180	1 000		720			300
Dechra	3 500	3 400	3 050	2 650	2 100		1 550			700
Sidi Cheho	6 000			5 850	5 450	4 850	4 140	3 660	3 280	2 200

6. CONCLUSION

L'étude hydrologique de l'Oum-Er-R'bia a conduit à un certain nombre de résultats dont quelques-uns sont rapportés dans cet article. Le premier intérêt d'une étude de cette sorte réside probablement dans la constitution des séries de 34 ans de débits moyens mensuels naturels de l'amont à l'aval du fleuve et sur ses principaux affluents. Elles définissent correctement les caractères principaux du régime du fleuve tout au long de son cours, avec les variations saisonnières et interannuelles du débit. De telles séries, issues des données brutes existantes, peuvent désormais alimenter un modèle de simulation du fonctionnement hydraulique du bassin de l'Oum-Er-R'bia dans le cadre de son aménagement actuel et futur.

Prévu pour servir en premier lieu la mise en valeur agricole de la région, l'aménagement de l'Oum-Er-R'bia concerne le stockage puis la distribution de l'eau en quantité et en qualité convenables. Or, à 1 300 m d'altitude, au contact des calcaires liasiques du Moyen Atlas et des argiles salifères triasiques, un nombre important de petites sources d'eau très salée se jettent dans l'Oum-Er-R'bia qui vient de jaillir au pied de la falaise calcaire du Khedoud. Ces sels dissous sont composés surtout de chlorures (75%) et de bicarbonates (19%), de sodium (74%), de calcium (15%) et de magnésium (11%).

La concentration du sel dans l'eau de l'Oum-Er-R'bia à Khenifra comme à Dechra-El-Oued, varie en sens inverse du débit. Elle varie de 500 mg/l à 1 700 mg/l à Khenifra lorsque le débit décroît de 100 m³/s à 8 m³/s, et de 400 mg/l à 1 700 mg/l à Dechra-El-Oued lorsque le débit décroît de 250 m³/s à 10 m³/s. Entre ces limites, on peut admettre que la concentration C varie avec le débit Q comme :

$$C = a \log \frac{b}{Q}$$

Il en résulte que les irrigations d'été (en période d'étiage) des Beni-Amir déversent environ 1 730 tonnes/jour de sel sur le périmètre. Une grande partie de ce sel dissous est évacuée par le réseau de drainage. Mais une autre partie est retenue dans la nappe. Dans les secteurs amont et oriental du périmètre des Beni-Amir, l'équilibre hydrochimique de la nappe phréatique est à peu près atteint avec une profondeur de la nappe supérieure à 2 m et une teneur en chlore de l'ordre de 1 g/l. Mais dans le secteur aval, l'état hydrochimique de la nappe est en évolution permanente, avec un enrichissement très prononcé de la teneur en chlore (6,4 g/l) et une profondeur de plus en plus faible du niveau de la nappe (dont les pertes en eau par évapotranspiration sont amplifiées). L'insuffisance du drainage est responsable de cet état. En exploitant davantage les ressources hydrauliques de l'Oum-Er-R'bia et de ses affluents, il y a également lieu de lutter contre l'accroissement de la salinité des nappes dans les périmètres irrigués, en rendant plus efficaces les réseaux de drainage et en diluant dans de l'eau plus douce les eaux trop salées de l'été.

BIBLIOGRAPHIE

MONIOD (F.), ROCHE (M.) – 1972 – Etude hydrologique de l'Oum-Er-R'bia. SOFRELEC, O.R.S.T.O.M., Paris, 132 p. multigr., 60 fig., 300 tabl.