

LE BASSIN DU ZOUMRI AU TIBESTI

par

Y. BRUNET-MORET

Ingénieur hydrologue à l'ORSTOM

Le TIBESTI est un massif montagneux, situé en plein Sahara entre les parallèles 19°30' et 22°30' N et les méridiens 15°30' et 19°30' E, qui jaillit brusquement des plaines et occupe une superficie double de celle des Pyrénées. Trois vallées principales le découpent profondément, communiquant à leurs têtes par des cols d'environ 1 500 m d'altitude : les vallées de l'enneri BARDAGUE descendant vers le Nord-Ouest, de l'enneri YEBBIGUE vers le Nord et de l'enneri MISKY vers le Sud.

Deux longues lignes de crêtes sont isolées par ces vallées : la crête qui borde à l'Est les vallées des enneris YEBBIGUE et MISKY culmine au Sud à l'EMI KOUSSI (3 350 m) et la crête qui borde à l'Ouest l'enneri MISKY et au Sud l'enneri BARDAGUE culmine en son milieu au TOUSSIDE (3 260 m).

Le massif du TIBESTI est composé principalement de formations volcaniques disposées sur des séries surtout gréseuses dont la plus récente est d'âge crétacé : les grès de Nubie. Les reliefs du massif ont été créés par un relèvement d'ensemble de la partie centrale du TIBESTI, dû à un bombement de grande envergure du substratum (1).

Au cours de ce bombement étalé sur de longues périodes, les principales failles et directions tectoniques sont apparues et ont pu se modifier à différentes époques, dont certaines sont assez récentes. Dans les dernières phases de cette tectonique sont apparues des manifestations volcaniques qui donnèrent de grands ensembles. Dans ces séries volcaniques, la coupe type, variable suivant les points par disparition d'un ou plusieurs éléments, est la suivante :

Séries volcaniques tertiaires :

- série noire inférieure basalto-andésitique,
- série claire inférieure rhyolitique, trachytique ou phonolitique,
- série noire intermédiaire basalto-andésitique,
- série claire supérieure rhyolitique, trachytique ou phonolitique,
- série noire des plateaux, essentiellement basaltique.

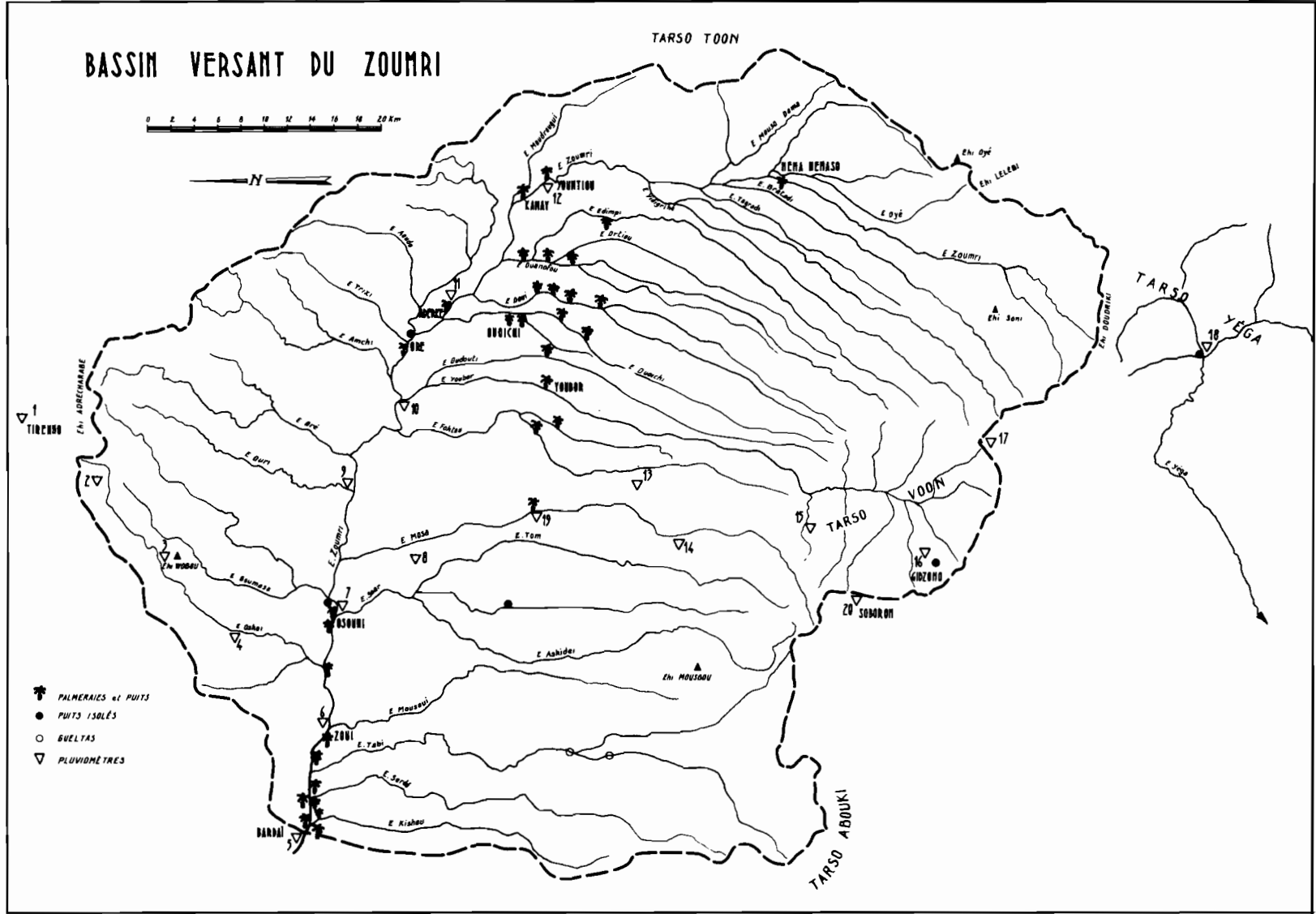
Séries volcaniques récentes quaternaires :

- épanchements basaltiques des tarsos, des pentes et des vallées, plusieurs venues intercalées avec des explosions et émissions de cinérites et ignimbrites (nuées ardentes),
- éruptions des volcans doréitiques (TOUSSIDE et TIMI),
- éruptions de petits puits basaltiques postérieurs aux explosions (fond du trou au natron).

Le volcanisme actuel est représenté par des sources chaudes et des volcans de boues à SOBOROM, des fumerolles au TOUSSIDE.

La région qui fait l'objet de cette note : bassin versant de l'enneri BARDAGUE arrêté à BARDAÏ, comprend des grès de Nubie de part et d'autre du cours inférieur (vallée du ZOUMRI). Ces grès sont massifs, à stratification entrecroisée, avec quelques niveaux argileux. L'érosion a dégagé, en leur milieu, quelques plaques de schistes antécambriens du tibestien supérieur. La plus grande partie du bassin est constituée de terrains volcaniques d'âges très divers provenant des grands volcans qui la bordent au Sud et à l'Est, d'appareils plus petits disséminés un peu partout et d'épanchements divers. L'ensemble est très complexe et l'érosion a encore compliqué la géologie de surface.

(1) Rapport d'exploration géologique et minière de WACRENIER, VINCENT et HUDELEY.



L'angle Sud-Ouest du bassin occupe une partie du Tarso ABOUKI, grand appareil volcanique complexe à caldera centrale d'effondrement (le terme « Tarso » est quelquefois traduit par plateau, mais si le Tarso est bien en altitude sa surface est chaotique). Le point culminant de la région, l'éhi TERKEÏ, est à 2 740 m.

Entre le Tarso ABOUKI et les grès de la vallée du ZOUMRI, la topographie est très complexe avec de petits appareils ayant donné des basaltes récents recouvrant des basaltes anciens ou des séries claires anciennes. Cette région est dominée par l'éhi MOUS-GOU (3 100 m), point culminant du bassin, neck trachytique.

A l'Est-Sud-Est du Tarso ABOUKI se trouve le Tarso VOON, grande caldera d'affaissement, elliptique (axes de 18 et 14 km), dont les bords culminent à 2 400 m. La dépression centrale est plane (altitude 1 950 m) et alluvionnaire, avec quatre petits volcans à demi démantelés, n'occupant qu'une très faible surface. Les flancs extérieurs du volcan sont recouverts, au Nord jusqu'aux grès de la vallée du ZOUMRI, à l'Est jusqu'au Tarso TOON, au Sud-Ouest jusqu'au Tarso YEGA, de cinérites et d'ignimbrites provenant peut-être également de ces deux derniers appareils. Le Tarso VOON semble être le volcan éteint depuis le moins de temps : au Nord-Ouest et au Nord, une venue de basaltes récents recouvre les cinérites, et les sources chaudes de Soborom se trouvent sur le bord externe Ouest de la caldera.

Au Sud-Est du Tarso VOON se trouve le Tarso YEGA (2 400 m), très grande caldera de diamètre maximal 20 km. Seul, son flanc Nord nous intéresse. Au Nord-Nord-Est du Tarso YEGA se trouve le Tarso TOON (2 625 m), caldera du même type mais n'ayant que 9 km de diamètre. Seul, le flanc Ouest de ce volcan nous intéresse. Les pentes de ces deux Tarsos et la ligne de crête qui les unit sont recouvertes des produits des trois séries volcaniques tertiaires, ainsi que le col de YOUNTIOU (1 400 m) qui unit la vallée du ZOUMRI à un affluent du YEBBIGUE.

Au Nord du ZOUMRI et du col de YOUNTIOU, la morphologie et la géologie sont très compliquées. Le Tarso OURARI s'étend sur la bordure Nord-Est du bassin, atteignant 2 000 m par endroits, caractérisé par d'épaisses coulées noires anciennes sans coulées claires interstratifiées, percées d'extrusions acides mais bien localisées sous forme d'aiguilles ou de dômes. Ces venues volcaniques recouvrent les grès de Nubie en de larges festons atteignant par endroits la vallée du ZOUMRI. Ailleurs, les grès s'étendent, non recouverts, jusqu'à une quinzaine de kilomètres au Nord de l'enneri.

En résumé :

- les schistes précambriens occupent 1 % de la surface du bassin,
- les grès de Nubie » 15 % »
- les séries volcaniques noires ou claires, anciennes ou récentes » 50 % »
- les cinérites et ignimbrites » 30 % »
- le sable de placage sur grès » 2 % »
- les alluvions quaternaires du Tarso VOON » 2 % »

L'histoire géologique du bassin a conditionné le réseau hydrographique qui, malgré le caractère désertique du TIBESTI et grâce aux fortes pentes, est très bien marqué. Les lits se présentent sous deux formes différentes : tout le long du ZOUMRI à l'aval du confluent de l'enneri MOUDROUGUI (à 69 km en amont de BARDAÏ), le lit majeur est large, quelquefois de 1 km, le lit mineur ou plutôt les lits mineurs serpentent dans les terrasses alluviales qu'ils ont entaillées. Le fond du lit mineur est de sables basaltiques et gréseux, la proportion des éléments noirs diminuant vers l'aval. On y trouve de gros galets et des graviers de toutes espèces volcaniques. Cependant, certains bancs gréseux ont été plus durs et le ZOUMRI les entaille sans lit majeur, le lit mineur unique coulant entre des falaises d'une cinquantaine de mètres de haut. La longueur totale de ces défilés doit faire environ 25 km.

Certains affluents du ZOUMRI présentent, près de la confluence, un lit majeur large, mais sur une courte longueur ; d'une façon générale, ils sont comme le ZOUMRI à l'amont de l'enneri MOUDROUGUI : très encaissés, soit dans les falaises de grès, soit dans les produits volcaniques où ils réalisent de belles coupes géologiques quelquefois sur plusieurs centaines de mètres de hauteur. Les éboulis de pied de falaise sont presque inexistantes sauf dans certaines convexités. Le fond du lit suit sa pente, et la taille des éléments qui le composent : sables, graviers, galets, blocs, croît avec celle-ci.

Le cas du Tarso VOON est particulier et se rapproche de celui du Tarso YEGA. La caldera d'effondrement a été en partie comblée d'alluvions quaternaires, son fond est plat et les bases internes des murailles du cratère sont noyées sous des piedmonts à pente douce et ruissellement en nappe. Les enneris qui descendent des hauteurs avec des bassins versants suffisants ont donné des terrasses de galets qui s'avancent en étages sur le remplissage du fond. Il semble bien que la morphologie du Tarso VOON soit en complet remaniement : l'enneri de YOUBOR qui le draine est, à sa sortie, d'une forte pente et l'érosion régressive fait son œuvre.

De 12 km à l'amont de YOUNTIOU vers l'aval, le ZOOMRI n'est jamais coupé de chutes et de rapides, de même ses affluents sur 10 à 15 km à partir de la confluence, et ceci quelles que soient les couches traversées. Il semble que le niveau de base ait été autrefois relativement plus bas et que les enneris aient été surcreusés. Puis les lits ont été remblayés. Nous sommes à l'heure actuelle dans une période de déblaiement du ZOOMRI et de ses affluents : l'enneri semble s'être approfondi d'un bon mètre depuis 10 cm dans les gorges qui sont à 1 km en aval de BARDAÏ, de 2,5 à 3 m (traces très nettes sur les falaises) dans les gorges au confluent de l'enneri de YOUBOR, et de 1,5 m (traces très nettes et témoignages) au village de NEMA NEMASO.

Les points d'eau sont toujours associés aux enneris. Il y a de nombreuses petites gueltas de faible durée, moins de trois mois, et seulement deux gueltas que l'on peut considérer comme quasi permanentes parce qu'elles dureraient plus de deux ans et demi sur l'enneri TABI, vasques creusées dans les basaltes récents de 40 m² environ de superficie, mais profondes.

Il existe des puits, profonds d'au plus 6 m, dans la totalité des palmeraies qui se trouvent toutes soit dans le ZOOMRI, soit sur ses principaux affluents. En dehors des palmeraies, il n'existe que deux puits dans le ZOOMRI ; un puits sur l'enneri SOAR (doums, roseaux) et le puits de GIDZOH dans le Tarso VOON, creusé il y a quelques années par le groupe méhariste.

Dans quelques palmeraies, l'inféoflux revient en surface sur une certaine distance. C'est le cas, toute l'année, à BARDAÏ dans les gorges en aval du poste à ZOUI, à OSOUNI en connexion avec des bancs gréseux probables ; à FOKTOU, à OUANOFU et à NEMA NEMASO en connexion avec des tufs volcaniques. A BOURO, une petite source sort d'une terrasse alluviale. Le sous-écoulement revient en surface pendant un bon mois après le passage d'une crue à TIEBORO (grès), à KANAY et à YOUNTIOU (basaltes). Les débits ainsi visibles sont insignifiants et sauf, semble-t-il, le cas des tufs, l'eau est nettement chargée de natron qui, par suite de l'évaporation intense en été, donne des croûtes blanches sur le sol.

Les palmeraies sont situées sur les enneris qui ont un bassin versant important et bien développé dans les parties hautes du Sud du bassin du ZOOMRI. Les enneris TABI et SOAR (branche ASKIDEÏ) n'ont cependant pas de palmeraies, mais la présence de doums prouve la possibilité de planter. Une seule palmeraie se trouve dans une position curieuse : celle d'OÛOÏCHI sur un petit enneri dont le bassin versant est ridiculement petit à faible altitude et la vallée invraisemblablement développée par rapport aux enneris voisins de même bassin. Nous n'avons ni vu les photographies aériennes, ni eu le temps d'aller en amont chercher une explication sur le terrain (capture ?).

Les nappes d'inféoflux des enneris semblent ne pouvoir être réalimentées que par les crues. Les pluies qui tombent sur les parties basses du bassin où l'on trouve les points d'eau sont rares et faibles : la station pluviométrique de BARDAÏ existe depuis 1957. Les copies de relevés que nous possédons sont douteuses. Il semble qu'il n'ait pas plu en 1960 et 1961, mais nous sommes sûrs qu'il n'est tombé que 5 mm pendant la saison des pluies de 1962. La moyenne pluviométrique annuelle pourrait être comprise entre 10 et 25 mm, sans qu'il y ait de mois nettement favorisés. Par contre, il pleut tous les ans pendant les mois de juin à septembre sur les Tarsos du Sud à plus de 2 000 m d'altitude, et moins souvent sur les Tarsos du Nord. Exceptionnellement en 1961, il n'aurait pas plu au Tarso VOON.

Nous avons disposé, pour la saison des pluies, une vingtaine de totalisateurs, dont certains ont été malheureusement volés. Les seuls où nous ayons recueilli plus de 10 mm sont les plus élevés en altitude : ceux du puits de TIRENNO (13 mm, n° 1), du puits de GIDZOH (85 mm, n° 16), de la bordure Sud-Est du Tarso VOON (50 mm, n° 17), de SEBOROM (55 mm, n° 20). Après enquête, il semble que l'on doive considérer que les Tarsos aient reçu au moins autant qu'en année normale.

Nous avons reçu très souvent, un jour sur deux lorsque nous étions à plus de 2 000 m d'altitude, des gouttes éparses ne mouillant pas le sol. Mais nous n'avons reçu qu'une seule pluie, le 23 juillet, au cours d'un déplacement dans le Tarso VOON : début de la pluie à 10 h 30, fin des intensités notables à 12 h, recueilli 19 mm. L'intensité maximale, vers 11 h, n'a pas dû dépasser 60 mm/h (estimation) et la traîne a duré de 12 h à 19 h 30 fournissant une hauteur de 10 mm. Les petits enneris du QUADRAR Sud et du Tarso VOON ont tous débité et eux seuls.

La saison des pluies 1962 a été particulièrement favorable, semble-t-il, à l'observation des crues et nous avons été favorisés par le sort puisque nous avons pu observer 6 crues : une dans le Tarso VOON, 3 à BARDAÏ, 1 à YOUNTIOU et 1 à NEMA NEMASO.

Nous n'étions pas équipés pour faire de bons jaugeages, cela eût été hors de prix, et nous ne croyons pas possible de faire de bonnes mesures dans les conditions d'écoulement des enneris du TIBESTI : les vitesses sont fortes et inégales, le battillage est très important, et les transports de sables, graviers, galets sont considérables : les chenaux principaux changent continuellement de forme et de place. Le jaugeage au wading est imprécis : profondément difficile à évaluer (remous sur la perche, affouillement dans le sable), vitesses imprécises (remous, chocs rapides des galets).

Nous avons effectué de nombreux levés de profils en travers, tant aux sections de jaugeages effectifs que là où les délaissés de crues étaient bien visibles, pour en déduire les débits par la formule de STRICKLER MANNING $u = K R^{1/2} i^{1/3}$, où

u est la vitesse moyenne dans la section,

R le rayon hydraulique,

i la pente de la ligne d'eau.

Les profondeurs étant toujours faibles par rapport aux largeurs, nous avons pris pour valeur de R celle de la profondeur moyenne.

Les eaux transportent en suspension tellement de petites particules arrachées aux cendres qu'elles sont jaune foncé et opaques sous une épaisseur de 1 cm. Ces particules se déposent sur les rives en formant après dessiccation un enduit jaune paille qui permet de déterminer la hauteur et la pente de la ligne d'eau du débit maximal de la crue, et l'on observe facilement les crues successives de débits décroissants.

Les débits que nous allons mentionner ne sont donc qu'approximatifs pour 1962 et encore plus approximatifs pour 1954 non seulement parce que les hauteurs atteintes ont été supérieures, mais aussi à cause du déblaiement probable des lits.

— L'enneri à BARDAÏ, B.V. de 4 050 km². L'enneri a coulé 3 fois à BARDAÏ en 1962, les 27, 28 et 29 juillet. La montée de la crue est rapide, le maximum dure peu de temps et la décrue est rapide. Trois jaugeages ont été effectués, dont un à 14,3 m³/s, donnant un K moyen de 55, avec une pente de 0,0028 :

— crue du 27 juillet : débit maximal 9 m³/s
volume écoulé 93.10³ m³

— crue du 28 juillet : débit maximal 32 m³/s
volume écoulé 620.10³ m³

— crue du 29 juillet : débit maximal 4 m³/s
volume écoulé 54.10³ m³

Il a coulé en fin janvier ou début février 1961 : la crue aurait été peu importante, débit maximal de l'ordre de 5 m³/s. Il aurait coulé pendant l'été de 1960 : crue inférieure à celle de 1961. Pas d'écoulement en 1959. Deux crues en 1958 : 23 août et 1^{er} septembre, de débit maximal non défini. Pas d'écoulement en 1957, 1956 et 1955, mais forte crue en 1954. D'après les hauteurs qui nous ont été indiquées (pas de délaissés visibles), le débit aurait pu être de l'ordre de 425 m³/s. Il y aurait eu une très forte crue en 1912 ou 1913, mais la hauteur indiquée semble très exagérée : elle conduirait à un débit de 7 900 m³/s.

Nous allons maintenant remonter l'enneri ZOUMRI en examinant chacun de ses affluents importants, c'est-à-dire de plus de 50 km² de bassin versant à la confluence.

— L'enneri KISHOU, affluent de la rive gauche, se jette à BARDAÏ, B.V. de 95 km², tout en longueur et n'atteignant pas des altitudes intéressantes. Il a coulé le 27 juillet 1962 avec un débit maximal de l'ordre de 0,1 m³/s et n'aurait pas coulé depuis 1954.

— L'enneri SERDE, affluent de la rive gauche, se jette à 3,5 km en amont de BARDAÏ, B.V. de 96 km². Même genre de bassin que celui de l'enneri KISHOU, avec la partie inférieure envahie par les sables. Il n'aurait pas coulé depuis 1954 et la crue aurait été faible cette année-là.

— L'enneri TABI, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 6 km en amont de BARDAÏ. Le bassin versant, élargi en altitude, draine les pentes Nord du Tarso ABOUKI. Il aurait coulé une première fois le 23 ou le 24 juillet 1962 atteignant tout juste le ZOOMRI, une seconde fois dans la nuit du 27 au 28 juillet (pente 0,0043 et $K = 52$) avec un débit maximal de 5 m³/s. Les traces de la crue de 1954, assez peu nettes, correspondent à un débit maximal de 130 m³/s.

Un deuxième levé a été effectué à 18 km en amont de la confluence avec le ZOOMRI : le débit maximal aurait été pour 1962 (pente 0,0035 et $K = 50$) de 23 m³/s. Une crue est passée à cette section le 15 août avec un débit maximal de l'ordre de 1 m³/s et l'écoulement, bu par les sables, s'est arrêté 4 km avant d'atteindre le ZOOMRI. Les délaissés les plus hauts, crue de 1954 probablement, correspondent à un débit de 380 m³/s.

— L'enneri MOUSOUI, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à ZOUÏ à 10 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 111 km² dans le genre de celui de l'enneri SERDE. Il n'aurait pas coulé depuis 1954 et les traces en sont invisibles à la confluence. Nous avons revu cet enneri à 10 km en amont de la confluence où les délaissés de la crue de 1954 correspondent à environ 100 m³/s.

— L'enneri OSKOÏ, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 16,5 km en amont de BARDAÏ, à TIEBORO. Bassin versant de 120 km², drainant la bordure Nord-Ouest du bassin du ZOOMRI. La partie la plus au Nord n'a pas donné d'écoulement en 1962 ; de petits affluents de la rive droite de l'enneri OSKOÏ ont coulé probablement le 28 juillet. A la confluence avec le ZOOMRI, le débit maximal serait de 0,7 m³/s pour 1962 (pente : 0,0046 et $K = 51$) et de 45 m³/s en 1954. L'enneri n'aurait pas coulé entre ces deux crues.

— L'enneri SOAR, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 21,5 km en amont de BARDAÏ, à OSOUNI. Cet enneri, formé par la jonction de trois enneris : ASKIDEÏ, SOAR et TOM à 7,5 km en amont d'OSOUNI, dans une zone de grès ensablés, draine une faible superficie de Tarsos élevés. Il n'aurait pas coulé depuis 1954, avec un débit maximal de l'ordre de 30 m³/s. L'enneri TOM a coulé en 1958 jusqu'au confluent de l'enneri SOAR.

— L'enneri ZOOMRI à OSOUNI, à 22 km en amont de BARDAÏ bassin de 2 805 km². Il y a coulé trois fois en 1962, comme à BARDAÏ : la plus forte crue (pente 0,0035 et $K = 53,5$) ayant un débit maximal de 38 m³/s. Les traces de la crue de 1954 correspondent à un débit de 580 m³/s et cette crue aurait balayé tous les gros tamaris qui se trouvaient dans le lit et emporté 3 000 palmiers. Des traces encore plus hautes, non datées, conduisent à 1 280 m³/s.

— L'enneri GOUASA, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 23,5 km en amont de BARDAÏ. B.V. de 168 km². Cet enneri draine une pente de hauteurs du Nord, mais presque tout ce bassin est à une altitude assez faible. Il n'a pas coulé depuis 1954 et les traces visibles indiquent un débit maximal de l'ordre de 100 m³/s.

— L'enneri MOSA, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 27 km en amont de BARDAÏ. Bassin de 193 km², très allongé, descendant du flanc extérieur Nord du Tarso VOON. Il n'a pas coulé en 1962, même pas dans les hauteurs semble-t-il. Les traces observées près du confluent, non datées, laissent supposer un débit maximal de l'ordre de 60 m³/s. A la palmeraie, à 19 km en amont du confluent, l'enneri n'a pas coulé depuis le début de 1961 (quelques centaines de litres/seconde de débit maximal) et coulerait tous les ans ou presque. La crue de 1954 aurait atteint un débit d'environ 300 m³/s.

— L'enneri OURI, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 33,5 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 57 km² à faible altitude. Il a coulé le 27 ou 28 juillet 1962 avec un débit maximal de quelques centaines de litres/seconde et vers le 15 août à quelques litres/seconde. Il aurait coulé un peu en 1958 et beaucoup plus en 1954.

— L'enneri ORE, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 37 km en amont de BARDAÏ. Bassin de 144 km² ayant une très faible partie en altitude. Il n'a pas coulé depuis 1954, débit maximal de l'ordre de 25 m³/s. De vieilles traces plus hautes pourraient correspondre à un débit de l'ordre de 250 m³/s.

— L'enneri FOKTOU, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 42,5 km en amont de BARDAÏ. Une très faible partie des 166 km² du bassin est à plus de 2 000 m

d'altitude. Cet enneri se partage en 2 bandes à 13 km du ZOOMRI : celle de l'Est porte la palmeraie de KOUMOU à 4 km du confluent, celle de l'Ouest, la palmeraie de FOKTOU à 2 km du confluent. L'enneri n'a pas coulé en 1962. Son dernier écoulement daterait de 1958 : quelques centaines de litres/seconde au confluent. D'après les traces, la crue de 1954 correspondait à environ 100 m³/s au confluent du ZOOMRI et à 150 m³/s à la palmeraie de FOKTOU.

— L'enneri de YOUBOR, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 46 km en amont de BARDAÏ, bassin versant de 368 km². Cet enneri, affluent le plus important, draine en particulier le Tarso VOON (bassin de 213 km²), il reçoit en rive droite, à 3 km du ZOOMRI, l'enneri d'ODOUXI qui porte la palmeraie du même nom à 15 km du ZOOMRI. La palmeraie de YOUBOR est sur l'enneri principal à 13 km du ZOOMRI.

— L'enneri de YOUBOR semble s'être déversé deux fois en 1962 dans le ZOOMRI, avec des débits maximaux de l'ordre de 50 m³/s la première fois et de 20 m³/s la deuxième fois (pente 0,0049 et K = 51). Des traces plus hautes et non datées conduisent à des débits de 115 et 500 m³/s.

— L'enneri d'ODOUXI a coulé trois fois à la palmeraie en 1962, une première fois le 26 juillet, et cette crue aurait juste atteint le ZOOMRI, une deuxième fois le 28 juillet avec un débit maximal de 20 m³/s (pente 0,0078 et K = 45) et la dernière fois, le 11 août, à quelques litres/seconde. Les délaissés de 1954 correspondent à un débit maximal de l'ordre de 140 m³/s et ce serait la plus forte crue connue depuis 50 ans.

— L'enneri de YOUBOR a coulé 5 fois à la palmeraie en 1962 : une première fois dans la nuit du 23 au 24 juillet (l'averse que nous avons reçue dans le Tarso VOON), la crue n'a pas dépassé la palmeraie. Une deuxième fois, le 27 ou le 28 juillet, la plus forte crue de 1962, d'un débit maximal de 55 m³/s (pente 0,0082 et K = 45). Les trois autres fois, les 3, 10 et 11 août, les crues n'ont pas dépassé la palmeraie. Il est probable que le deuxième écoulement ait comporté deux crues sans interruption du débit. Les délaissés de la crue de 1954 conduisent à un débit de l'ordre de 220 m³/s : il y a plus de 40 ans, on aurait vu une crue un peu plus forte.

Nous ne savons pas combien de fois l'enneri a coulé en 1962 à la sortie du Tarso VOON (27 km en amont de YOUBOR) : seules, deux traces récentes sont visibles. Les plus basses (10 ou 11 août ?) correspondent à un débit de 4 m³/s (pente 0,0042 et K = 52), les plus hautes (27 ou 28 juillet) à un débit de 140 m³/s. De vieilles traces, peu nettes car il pleut souvent à l'altitude du Tarso VOON, conduiraient à un débit maximal de l'ordre de 700 m³/s.

Le 23 juillet, nous avons assisté à la crue d'un petit affluent du Sud et du Tarso VOON. Bassin versant de 4,7 km², descendant en 5 km des hauteurs dans la caldera avec une dénivellée de l'ordre de 400 m dans les cendres. Intensité maximale de la pluie vers 11 h. L'enneri commence à couler à 11 h 50 dans ses deux lits mineurs (encaissés de 0,2 à 0,4 m sur une largeur de 2 à 4 m), en sort à 12 h 10, atteint son débit maximal à 12 h 25, remplissant tout le lit majeur de 50 m de large, encombré de touffes de « mou-gou » : les cailloux sont roulés, des touffes arrachées. Vitesse maximale de surface 3 m/s, débit estimé à 20 m³/s. A 13 h 45 seuls les lits mineurs débitent, à 17 h 30 l'écoulement est terminé.

— L'enneri ZOOMRI au confluent de l'enneri de YOUBOR à 46 km de BARDAÏ. Bassin versant de 1969 km² à l'aval, 1 601 km² à l'amont du confluent. Nous n'y avons pas observé de crue, mais nous y avons levé une section à l'aval et une section à l'amont, cette dernière étant bien plus régulière. A cette section-ci, nous n'avons trouvé qu'une seule trace pour les crues de fin juillet 1962 : débit maximal 40 m³/s (pente 0,0022 et K = 56) et des traces anciennes correspondant à 165 et 880 m³/s.

A la section aval (pente 0,0026 et K = 56), nous avons relevé des traces correspondant à 65 m³/s et 20 m³/s pour les crues de fin juillet et des traces anciennes, dont la plus haute n'est pas nette, donnant 170 et 650 m³/s.

Un écoulement de quelques centaines de litres/seconde de débit maximal est passé à ces deux sections le 9 ou le 10 août, les traces de cette crue disparaissent 4 km en aval du confluent de l'enneri de YOUBOR.

— L'enneri AMCHI, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 48,5 km en amont de BARDAÏ. Son bassin, de 98 km², est à une altitude faible. Il n'a pas coulé en 1962. Il aurait coulé un peu en 1958 et un peu plus en 1954.

— L'enneri TRIZI, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 51,5 km en amont de BARDAÏ. Bassin Versant de 48 km², allongé, à basse altitude. Aucune trace d'écoulement, aucun renseignement.

— L'enneri AOUODO, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 52,5 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 165 km² à basse altitude. Il n'a sûrement pas coulé depuis 1954 si les traces, peu nettes, correspondent à cette année. Les traces correspondraient à un débit maximal de 50 m³/s.

— L'enneri OOUÏCHI, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 56 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 85 km², très allongé, qui descend de la muraille Nord du Tarso VOON. Il arrose 4 palmeraies, la plus en aval est à 6,5 km du ZOOMRI, la suivante est OOUÏCHI dont nous avons déjà parlé, ensuite OOUÏDI à 10 km du ZOOMRI et la dernière est à 14 km.

Au confluent, l'enneri n'a coulé qu'une seule fois en 1962 avec un débit maximal de l'ordre de 5 m³/s. A OOUÏDI, il a coulé deux fois, deux jours de suite en fin juillet. La première fois avec un débit maximal de 16 m³/s (pente 0,0060 et K = 49) et la seconde, d'une centaine de litres/seconde. Il n'avait pas coulé depuis 1954 : débit maximal 190 m³/s, sauf une fois en 1958 : débit maximal d'une centaine de litres/seconde.

— L'enneri DOUÏ, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 60 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant très allongé de 126 km², qui descend du Nord-Est du Tarso VOON. Il arrose 4 palmeraies à 7 km, 8,5 km (DOUÏ), 10 km et la dernière à 13 km (BOURO) du ZOOMRI, au confluent de deux branches qui remontent jusqu'aux rebords du Tarso VOON. A la confluence avec le ZOOMRI, l'enneri n'a pas coulé en 1962. Il aurait coulé en 1954, pas de traces nettes. A BOURO, l'enneri de l'Est n'a pas coulé depuis 1954, celui de l'Ouest non plus sauf en fin juillet 1962. Un levé a été effectué juste à l'aval de ce confluent (pente 0,0056 et K = 50) donnant, pour le débit maximal de la crue de 1962 : 1,5 m³/s et pour celle de 1954 : 130 m³/s.

— L'enneri OUANOFOU, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 64 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant allongé de 224 km², descendant de la muraille Est du Tarso VOON. En remontant l'enneri, nous trouvons d'abord la palmeraie de OUANOFOU qui s'étend sur 2 km et à l'extrémité amont de cette palmeraie, à 2,5 km du ZOOMRI se jette un affluent : l'enneri d'EDIMPI sur lequel se trouve la palmeraie d'EDIMPI (Bassin versant 64 km², à 13 km du ZOOMRI). En amont de ce confluent, l'enneri d'OUANOFOU arrose la palmeraie de YENTAR, reçoit l'enneri ORTIOU (4,5 km du ZOOMRI) et arrose la palmeraie d'ORTIOU (6 km du ZOOMRI). Il existe, dans la palmeraie d'OUANOFOU, un petit barrage de 20 m de long sur 1,5 m de hauteur maximale captant, pour l'irrigation des jardins, l'inféoflux qui vient en surface.

En 1962, l'enneri d'EDIMPI a coulé jusqu'au ZOOMRI, probablement le 27 juillet, et la petite crue a suffi pour faire une brèche dans le barrage. Les traces de cette crue, près du confluent avec le ZOOMRI, correspondent à un débit maximal estimé à 1 m³/s. A ce point, les traces de la crue de 1934 ne sont pas visibles. L'enneri OUANOFOU aurait également rejoint le ZOOMRI en 1958, avec un débit nettement supérieur à celui de 1962.

Sur l'enneri EDIMPI, à l'amont de sa confluence avec l'enneri OUANOFOU, les délaissés de la crue de 1962 correspondent (pente 0,0065 et K = 47) à 2,5 m³/s, à 25 m³/s pour celle de 1958 et à 180 m³/s pour celle de 1954. Ce dernier chiffre est certainement surestimé car la section choisie devrait être noyée dans le remous de submersion de la palmeraie. A EDIMPI (pente 0,0068 et K = 47), les délaissés de la crue de 1962 correspondent à 8 m³/s. Nous n'avons pu voir d'autres traces, ni avoir de renseignements.

Sur l'enneri OUANOFOU, à l'amont de la palmeraie et en aval de YERTAR (pente 0,006 mal définie et K = 47), les traces de la crue de 1958 correspondent à 3,3 m³/s et celles de la crue de 1954 à 170 m³/s. En 1962, l'enneri a coulé dans les hauts, mais l'écoulement s'est arrêté juste à l'aval de la palmeraie d'ORTIOU.

— L'enneri MOUDROUGUI, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 69 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 58 km² à très basse altitude. Il n'a pas coulé en 1962, et aurait coulé en 1954. Aucunes traces.

— L'enneri ZOOMRI à YOUNTIOU, à 73 km de BARDAÏ. Bassin versant de 739 km². Deux jaugeages, le plus fort à 1,8 m³/s.

L'enneri a coulé six fois en 1962 (pente 0,0054 et K = 50) :

- le 26 juillet, débit maximal de l'ordre de 15 m³/s ?, traces effacées,
- le 27 juillet, débit maximal de l'ordre de 150 m³/s,
- le 28 juillet, débit maximal de l'ordre de 25 m³/s,
- le 7 août, débit maximal de l'ordre de 3,7 m³/s, volume écoulé : 86.10³ m³.
- le 9 août, débit maximal de l'ordre de 15 m³/s,
- le 18 août, débit maximal de l'ordre de 3,7 m³/s.

La palmeraie a été abîmée par la crue de 1954 qui, d'après les délaissés, aurait atteint 650 m³/s. Des traces encore plus hautes, de date inconnue, correspondent à 1 000 m³/s.

— L'enneri YIDIGRIKE, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 84,5 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant très allongé de 127 km², venant du Sud-Est du Tarso VOON. Il aurait atteint trois fois le ZOOMRI en 1962 à des dates peu précises : la première fois avec un débit maximal faible en fin juillet, la deuxième fois quelques jours plus tard avec un débit maximal de 18 m³/s (pente 0,0054 et K = 50), la troisième fois, dès le 18 août, avec un débit de 1,1 m³/s. Les traces les plus hautes — crue de 1954 ? — correspondent à un débit de 120 m³/s.

— L'enneri MOUŞO DAMA, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 90 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 72 km² drainant les pentes abruptes du Sud-Ouest du Tarso TOON. Il semble n'avoir coulé jusqu'au ZOOMRI que deux fois en 1962 : fin juillet, débit estimé 0,5 m³/s et mi-août 0,1 m³/s.

— L'enneri BRATADI, affluent de la rive gauche, rejoint le ZOOMRI à 91 km en amont de BARDAÏ. Bassin versant de 56 km² très allongé descendant de la frontière Sud. En 1962, il aurait atteint trois fois le ZOOMRI aux mêmes dates que l'enneri YIDIGRIKE. Le débit le plus fort a été estimé à 20 m³/s.

— L'enneri OYE, affluent de la rive droite, rejoint le ZOOMRI à 95,5 km en amont de BARDAÏ. Bassin de 120 km². Cet enneri draine la caldera de l'ehi OYE et une partie de la frontière Sud-Est. Il aurait atteint trois fois le ZOOMRI en 1962 à des dates imprécises : les deux premières fois avec un débit maximal de l'ordre de 20 m³/s, la dernière de l'ordre de 1 m³/s.

— L'enneri ZOOMRI à NEMA NEMASO, à 97 km de BARDAÏ. Bassin versant de 206 km², drainant les sommets les plus au Sud du bassin et en grande partie au-dessus de 2 000 m. Deux jaugeages, le plus fort à 0,75 m³/s. L'enneri a coulé neuf fois en 1962 (pente 0,0052 et K = 50) :

— le 23 juillet, débit maximal	4,5 m ³ /s ?	, n'a pas atteint YOUNTIOU,
— le 26 — —	2 —	?, traces effacées,
— le 27 — —	80 —	, (passée à BARDAÏ le 28),
— le 28 — —	38 —	
— le 7 août	16 —	
— le 9 — —	26 —	, volume écoulé 330.10 ⁹ m ³ .
— le 14 — —	2 —	?, n'a pas atteint YOUNTIOU,
— le 18 — —	7,5 —	
— le 22 — —	0,5 —	, n'a pas atteint YOUNTIOU.

L'enneri coule pratiquement tous les ans à NEMA NEMASO. Les délaissés dits de 1954 correspondent à un débit de 420 m³/s, et l'on nous a indiqué une hauteur supérieure, d'une crue ancienne, correspondant à un débit de 600 m³/s.

Nous ne saurions trop insister sur l'imprécision des débits que nous avons annoncés dans les pages précédentes.

Les hauteurs qui nous ont servi sont presque toujours celles des délaissés de crues : elles sont, dans bien des cas, un peu surestimées à cause du batillage inconnu. Ces hauteurs, pour les crues anciennes, ne peuvent tenir compte de l'approfondissement très probable des lits et peuvent être quelquefois très surestimées pour cette raison.

Les coefficients K de la formule de STRICKLER MANNING peuvent paraître un peu élevés. Ils ont été choisis en fonction de quelques mauvais jaugeages effectués. Là où nous avons créé des sections, les lits sont assez réguliers, plafond sableux comprenant quelques galets, très rarement de gros blocs. Les pentes annoncées ne doivent pas être trop erronées : elles ont été prises de part et d'autre de la section levée sur des distances totales de plus de 100 m, en rive droite et en rive gauche.

Les coefficients K peuvent être surestimés dans le calcul des débits des fortes crues à cause de la charge transportée par l'enneri : les fortes pluies doivent balayer en une seule fois les débris de gélivation créés sur les Tarsos au cours des nombreux hivers successifs pendant lesquels il gèle fort chaque nuit et dégèle chaque jour.

La plupart des dates que nous donnons sont douteuses, obtenues par renseignements plus de trois jours après les passages des crues. Les heures que l'on nous a indiquées sont également douteuses. Cependant, il semble que le maximum de la crue se propage dans le ZOOMRI à environ 6,8 km/h de NEMA NEMASO à YOUNTIOU, section où

la pente moyenne doit être d'environ 0,005 sur 24 km, et à environ 6,1 km/h de YOUNTIOU à BARDAÏ, section où la pente moyenne doit être d'environ 0,003 sur 73 km. Le temps de concentration à NEMA NEMASO serait d'environ six heures pour une longueur moyenne du réseau de 35 km environ jusqu'au point du chevelu hydrographique.

L'infiltration dans le lit mineur est considérable. Nous n'avons qu'une seule crue pour laquelle nous puissions donner un chiffre : celle qui est passée à NEMA NEMASO le 9 août et qui s'est arrêtée 55 km plus loin. Il semble qu'aucun affluent n'est venu le relayer ; et à quelques kilomètres en aval de YOUNTIOU, le débit maximal ne remplissait plus le lit mineur du ZOUMRI. Le volume passé à NEMA NEMASO étant de 330.10^3 m^3 environ, l'absorption par les sables a été de l'ordre de 6 m^3 par mètre linéaire du lit bien que celui-ci fût déjà humidifié par les crues précédentes. Il ne nous semble pas invraisemblable que pour la première crue de l'année, si elle est forte, cette absorption monte à 20 m^3 et plus par mètre linéaire, l'évaporation restant négligeable pendant la durée de la crue. Les réserves de la nappe d'inféroflux se reconstituent rapidement à chaque écoulement. L'évaporation dans les sables du lit est très forte au début lorsque le niveau de la nappe affleure celui des sables et devient tout à fait négligeable lorsque la nappe est à un mètre sous les sables. La vitesse de circulation de l'inféroflux est très faible, si bien que les réserves utilisables sont très grandes. Nous ne pouvons les chiffrer.

Nous ne pensons pas que les grès puissent former un magasin considérable malgré leur étendue. Il y a des millénaires qu'il ne pleut pratiquement jamais sur la zone des grès, et ils ne peuvent être alimentés en eau que par l'enneri. Par contre, nous croyons que le magasin constitué par les cendres est très important ; ces cendres d'un coefficient de porosité de 33 % occupent une surface considérable : 30 % de celle du bassin, et notamment plus de la moitié de la superficie qui se trouve à plus de 2 000 m d'altitude, sur des épaisseurs de plusieurs centaines de mètres. La circulation de l'eau y est certainement très lente. Il est probable que les réserves des cendres se renouvellent actuellement en altitude par infiltration, bien que l'évaporation et la capillarité jouent un rôle contraire.

Le lecteur a pu relever des contradictions entre les valeurs que nous donnons pour les débits maximaux en différents points. Nous avons préféré écrire ce qui se déduisait des observations et des renseignements sans chercher à corriger, car nous ne savons pas ce qui doit être considéré comme mauvais. Cela ne facilite pas une détermination, même très approximative, des débits maximaux à prendre en considération pour des crues de fréquence rare. L'année 1962 a été peut-être forte, sûrement pas exceptionnelle comme l'année 1954. Nous n'avons pas de notion sur les écoulements transités en année moyenne ou médiane.