LES MATIERES EN SUSPENSION ET LA TURBIDITE DE L'EAU DANS LA RIVIERE LOT

par H. DECAMPS¹ et Th. CASANOVA-BATUT¹

1) La turbidité chronique de l'eau du Lot est due à la présence d'une suspension de particules minérales et organiques dont les diamètres varient de 1 à 20 μ m. Elle a surtout pour origine une transformation de la rivière pour la navigation (du 14^e au 19^e siècle) jointe à l'exploitation hydro-électrique actuelle.

2) Le rapport en poids: matière organique des algues/matière organique du complexe détritique/matière minérale peut passer de 1/2/3 en été à 1/20/90 en hiver. Pour la période étudiée, le matériel particulaire transporté a été évalué dans la partie moyenne de la rivière à des valeurs comprises entre 10 000 et 80 000 tonnes/an pour les matières minérales et entre 3 000 et 35 000 tonnes/an pour les matières organiques.

3) Les principales zones d'apport de matières minérales sont situées dans la partie amont du bassin versant, en région volcanique, ainsi qu'en deux affluents dont l'un subit d'importantes pollutions industrielles. L'influence des gravières est sensible dans la mesure où la fraction fine du sédiment est remise en suspension.

4) Les effets des crues diffèrent largement selon qu'elles ont pour origine l'amont du bassin versant, l'affluent le Dourdou, la basse vallée, ou les lâchers de barrages hydro-électriques. Souvent, diverses causes d'augmentation du débit coïncident ou se succèdent de manière rapprochée. Par suite, des masses d'eau différant entre elles par leur origine coexistent sur un même profil en long, ce qui se traduit par des teneurs en matières en suspension très variables.

5) Les grands réservoirs situés dans la partie amont sont des lieux privilégiés de développement d'algues. Ils provoquent en été un ensemencement de la rivière; dans celle-ci, la multiplication se fait d'autant mieux que le débit est faible. Un débit minimum d'étiage doit donc être respecté dans l'exploitation hydro-électrique de la rivière.

6) Afin de préciser leur rôle dans le fonctionnement de l'écosystème, les matières en suspension ont enfin été considérées dans leurs rapports avec les sédiments du fond d'une part, avec les éléments dissous d'autre part.

Suspended Materials and Turbidity of the River Lot.

1. The high turbidity of the Lot is due to the presence in suspension of mineral and organic particles, varying between 1-20 μ m in diameter. It is mainly due to changes for navigational purposes (from the 14th-19th centuries) together with present day hydroelectric developments.

2. The weight ratio : algal organic matter/detrital organic matter/mineral matter may change from 1 : 2 : 3 in summer to 1 : 20 : 90 in winter. During the period of study, the particulate material carried downstream in the middle reaches of the river was estimated to be between 10,000-80,000 tonnes/year for the mineral fraction and between 3,000-35,000 tonnes/year for the organic fraction.

1. Laboratoire d'Hydrobiologie (ERA 702 du C.N.R.S.), Université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne, 31077 Toulouse Cedex.

3. The principal sources of mineral matter are in the upper part of the drainage basin, which has volcanic rocks, and from two tributaries, one of which is heavily polluted by industrial wastes. The effects of gravel workings become apparent when the fine fraction of the sediment is restored to suspension.

4. The effects of floods differ largely according to their origin i.e. from the upper reaches of the drainage basin; from the Dourdou tributary; from the lower valley or from the releases of hydroelectric dams. Frequently, several causes of increased flow coincide or follow each other in close succession. Consequently large masses of water differing in their origins are found in the same longitudinal water profile of the river, indicated by the variable levels of material in suspension.

5. The large upstream reservoirs, ideally suited for phytoplankton growth in summer, provide the inocula for the river downstream, where growth is at a maximum under low flow. A minimum level of water at low flow should thus be maintained when the river is used for hydroelectricity.

6. Finally, in order to evaluate the role of suspended materials in the functioning of the ecosystem, their relationship with the bottom sediments and with dissolved elements is discussed.

INTRODUCTION

Les riverains de la partie inférieure du Lot rapportent que voici une trentaine d'année, une pièce de monnaie jetée dans l'eau était encore visible par plus de trois mètres de fond. Actuellement, dans cette même zone, les profondeurs moyennes de lecture du disque de Secchi sont le plus souvent voisines d'un mètre. La turbidité de l'eau a en effet considérablement augmenté sur l'ensemble de la rivière pendant ces dernières décades. Ce phénomène est à l'origine de l'opération « Lot, rivière claire », au cours de laquelle de nombreuses études ont été consacrées, en totalité ou en partie, aux teneurs en matières en suspension (Balland 1973, Bordes et al. 1973, Galharague et al. 1974, 1975 a, b, c, d, Dauta 1975, Dauta et al. 1975, Laur 1975, Nicot et Trolet 1975 a, b, Gagneur 1976, Massio 1976, Denat 1977, Casanova-Batut 1977).

L'objectif de ces études étaient de répondre à la question : comment rendre sa clarté à l'eau du Lot ? Pour cela, il était nécessaire de préciser la nature des matières en suspension et leurs origines, mais aussi le rôle de ces matières en suspension dans le fonctionnement de l'écosystème Lot. Un bilan des résultats ainsi obtenus est présenté dans cet article.

METHODES D'ETUDE

Plusieurs méthodes ont été employées pour évaluer la quantité, en nombre ou en poids, de matières en suspension : comptage au compteur Coulter (Galharague et al. 1975 a, b, c, d), filtration et séparation des matières minérales et organiques (Massio 1976, Décamps et al. 1976), comptages d'algues (Dauta 1975).

L'observation au microscope électronique à balayage (Casanova-Batut 1977) et l'analyse aux rayons X (Galharague et Giot 1974, Casanova-Batut 1977, Bordes et al. 1973) ont permis de préciser la nature des matières en suspension. Quant à la turbidité, elle a été mesurée, d'une part au disque de Secchi (Galharague et al. 1975 a, b, c, d), et d'autre part au turbidimètre Hach mod. 2100 A utilisant l'effet Tyndall : les résultats sont alors donnés en FTU.ASBC (Massio 1976, Décamps et al. 1976).

NATURE ET QUANTITES DE MATIERES TRANSPORTEES

Le matériel particulaire en suspension dans le Lot comprend une partie minérale et une partie organique. Cette dernière se subdivise en matière organique des algues et matière organique du complexe détritique (détritus et bactéries). Les teneurs moyennes varient largement au cours de l'année. Ainsi, d'après le tableau I, le rapport en poids : matière organique des algues/matière organique du complexe détritique/matières minérales peut passer de 1/2/3 en été à 1/20/90 en hiver. En volume, ce même rapport peut passer de 1/2/1 en été à 1/20/40 en hiver (en prenant une densité égale à 2,3 pour les matières minérales).

TABLEAU I. — Teneurs moyennes en matières minérales, matières organiques particulières non algales, et matières organiques des algues (moyenne et 95 % de l'intervalle de confiance) à différentes époques de l'année. Calculs réalisés à partir de 15 stations régulièrement réparties sur l'ensemble du Lot canalisé (d'après Massio 1976).

	Matières minérales (en mg/l)	Matières organiques particulières non algales ¹ (en mg/l)	Matières organiques des algues (en mg/l)
20.7.74	$3,54 \pm 1,04$	$1,49 \pm 0,67$	$0,48 \pm 0,38$
20.8.74	$1,85 \pm 0,75$	$1,18 \pm 0,60$	$0,69 \pm 0,46$
13.9.74	$3,23 \pm 0,99$	$1,83 \pm 0,75$	$0,49 \pm 0,39$
3.12.74	$1,40 \pm 0,65$	$1,25 \pm 0,62$	$0,15 \pm 0,21$
10.3.75	$16,74 \times 1,59$	$3,58 \pm 1,05$	$0,19 \pm 0,24$
14.5.75	$3,70 \pm 1,06$	$1,94 \pm 0,77$	$0,27 \pm 0,29$
22.7.75	$4,22 \pm 1,14$	$2,74 \pm 0,91$	$1,06 \pm 0,57$

1. Matières organiques du complexe détritique (détritus et micro-organismes).

L'observation des particules en suspension (*fig. 1*) révèle la présence, à côté des algues, de matériel argileux et siliceux. Les illites et chlorites sont fréquentes. Divers métaux ont été décelés à l'analyse aux rayons X.

FIG. 1. — Matières en suspension observées dans le Lot : photographies

au microscope électronique à balayage et interprétation.

La distribution de ces particules dans les diverses fractions granulométriques (Tableau II) traduit une nette prédominance des particules comprises entre 1 et 20 μm . Cette fraction, qui comprend la plus grande partie des algues du plancton, est celle dont l'influence sur la turbidité de l'eau est la plus forte.

TABLEAU II. — Matières en suspension (moyenne et 95 % de l'intervalle de confiance) mesurées au cours du déplacement d'une masse d'eau marquée en août 1975 : distribution des matières minérales et matières organiques dans les diverses fractions granulométriques et leur influence sur la turbidité.

Fractions granulométriques	Matières minérales (mg/l)	Matières organiques Détritrus et bactéries (mg/l)	Algues (mg/l)	Matières minérales et organiques (mg/l)	Turbidité (FTU)
$\varnothing > 32 \mu\text{m}$	$0,77 \pm 0,18$	$0,58 \pm 0,10$		$1,36 \pm 0,24$	$0,46 \pm 0,12$
$32 > \varnothing > 20$	$1,10 \pm 0,17$	$0,73 \pm 0,11$		$1,83 \pm 0,20$	$0,38 \pm 0,07$
$20 > \varnothing > 1$	$2,55 \pm 0,62$	$4,21 \pm 0,62$		$6,76 \pm 0,82$	$2,92 \pm 0,33$
$1 > \varnothing$					$0,62 \pm 0,22$
Total	$4,42 \pm 0,83$	$4,02 \pm 0,65$	$1,50 \pm 0,31$	$9,94 \pm 1,12$	$4,37 \pm 0,41$

A partir des données relevées et compte tenu des débits observés, les quantités moyennes de matériel particulaire transporté en 1974-1976 peuvent être grossièrement évaluées :

- à des valeurs comprises entre 6 000 et 65 000 tonnes/an pour les matières minérales et entre 1 000 et 33 000 tonnes/an pour les matières organiques, en ce qui concerne la région de Cajarç (fig. 2) ;
- à des valeurs comprises entre 10 000 et 80 000 tonnes/an pour les matières minérales et entre 3 000 et 35 000 tonnes/an pour les matières organiques, en ce qui concerne la région de Luzech (fig. 2).

ORIGINE DES PARTICULES MINÉRALES OBSERVÉES

Des particules fines sont disponibles en quantités importantes sur l'ensemble du bassin versant ; elles proviennent d'altérations récentes (quaternaire). L'affouillement des berges peut en outre remettre en suspension les particules déposées à la surface des alluvions. Selon le substratum d'origine, on distingue les limons brun-noirs des plateaux basaltiques, les arènes sableuses des pays granitiques, les silts micacés des pays schisteux, les argiles brun-rouges des Causses calcaires (Tourenq, Capblancq et Casanova 1978).

Sur les plateaux calcaires de la partie aval, l'absence presque totale de ruissellement limite le transport de particules vers la rivière. Par suite, les zones d'apports sont plutôt situées dans la partie amont du bassin versant, c'est-à-dire dans la zone du socle et des massifs volcaniques. Le ruissellement y est important quoique limité dans son effet par un couvert végétal abondant. Deux zones préférentielles d'apports prédominent : celle du bassin du Dourdou dans les grès et argiles rouges du Permien et celle du bassin du Riou-Mort, siège d'activités industrielles, dans le houiller et les micaschistes.

FIG. 2. — Carte du Lot.

Ces caractéristiques influencent la composition minéralogique des vases et des matières en suspension (Galharague et al. 1974). En effet, au confluent Lot-Truyère, la composition de la vase résulte du mélange de deux stocks minéralogiques identiques, avec du quartz, des plagioclases, des feldspaths potassiques et des micas pour les minéraux majeurs, de la kaolinite, des interstratifiés illite-smectites et des chlorites pour les minéraux argileux. Plus vers l'aval, en région encore cristalline, les apports locaux dus à la présence de massifs métamorphiques (augmentation des chlorites et disparition des illites-smectites) ou à l'influence du Riou-Mort, rejets importants de kaolinite et d'illite) s'estompent rapidement par homogénéisation des stocks dans les eaux de la rivière. A partir de Capdenac, le passage dans un pays essentiellement calcaire, à ruissellement superficiel faible, interrompt les apports. On constate alors une dégradation progressive des stocks minéraux existants : disparaissent d'abord les interstratifiés illites-smectites tandis que l'illite libre augmente ; puis, les feldspaths potassiques et les plagioclases disparaissent à leur tour ; enfin, la proportion de chlorite se réduit considérablement.

L'analyse des éléments en traces dans les vases du Lot confirme la localisation dans la partie amont des principales sources d'apports naturels. Les taux de tous les éléments régressent en effet vers l'aval quand on s'éloigne du confluent du Riou-Mort et l'importance des pollutions industrielles transmises par cet affluent apparaît clairement (Tableau III). Parmi les éléments principalement apportés par le

TABLEAU III. — Valeurs de quelques éléments en traces dans les vases du Lot et de son affluent le Riou-Mort¹.

	Le Lot 2 km en amont du confluent	Affluent le Riou Mort	Le Lot en aval du confluent ²		
			3 km	47 km	198 km
Mn	800	2 700	1 300	1 300	1 400
P	1 200	2 000	1 300	2 300	1 100
Ti	5 000	2 500	5 100	5 100	4 000
Li	100	50	80	80	60
V	120	120	120	250	160
Cr	90	230	120	110	450
Cu	100	580	280	200	100
Zn	350	23 600	6 200	6 000	2 900
Sr	100	220	160	140	90
Cd	5	450	210	180	40
Ba	700	2 200	2 600	1 600	600
W	500	4	380	200	12
Pb	120	1 600	820	600	600
Bi	70	< 10	50	30	< 10
Hg	< 0,3	36	9,5	6	2,1

1. Valeurs en ppm (mg kg⁻¹) d'après des analyses réalisées en spectrométrie d'émission à lecture directe en 1975 (Galharague et al., 1975 d).

2. Km en aval du confluent du Riou-Mort.

Riou-Mort, on note le zinc, le cuivre, le manganèse, le cadmium, le plomb, le strontium et le mercure. Parmi les éléments non apportés par le Riou-Mort, le wolfram et le bismuth proviennent de la mine de wolfram d'Engualès située à 8 km en aval d'Entraygues, le vanadium, le titane, le lithium et le baryum proviennent du bassin amont. Enfin, le chrome apparaît au niveau du Riou-Mort mais augmente également à la dernière station (198 km après le confluent), en aval de Fumel.

TURBIDITES OBSERVEES PENDANT L'ETE

La turbidité au disque de Secchi a été utilisée, comme méthode simple et rapide, pour obtenir un premier aperçu des matières en suspension sur l'ensemble de la rivière. Au cours de l'été 1975, des lectures du disque de Secchi ont été faites deux fois par semaine, en 25 stations réparties sur la moyenne et la basse vallée du Lot (Galharague et Trolet 1975 b). Les débits ont été estimés, pour chacune des stations de lectures, à partir des données fournies par 15 stations hydrométriques. Pour rester dans des conditions d'observation comparables, il n'a pas été tenu compte de deux crues d'affluents amont qui ont momentanément augmenté les turbidités pendant la période

des mesures. Au total, une gamme de débits allant de 10 à 90 m³/s a été considérée.

Les variations observées permettent de distinguer trois tronçons (fig. 3) :

FIG.3. — Profondeurs de lecture du disque de Secchi sur le cours du Lot pendant l'été 1975. Pour chaque station sont indiquées les valeurs minimale et maximale de la lecture du disque de Secchi ainsi que les moyennes sur 22 mesures. Les types 1, 2, 3 font référence à la relation existant entre la turbidité et le débit dans chaque station (voir fig. 4). Les tronçons I, II, III distinguent trois gammes de turbidité sur le cours de la rivière.

- un tronçon amont (I) dans lequel la turbidité augmente à peu près régulièrement jusqu'au km 253 ;
- un tronçon intermédiaire (II) dans lequel la turbidité varie dans une plage assez serrée ;

— un tronçon aval (III) à partir du km 390, dans lequel de grandes variations de turbidité peuvent être distinguées.

Certaines influences provoquent une augmentation de la turbidité (faibles profondeurs de lecture du disque de Secchi), par exemple l'apport des eaux du Riou-Mort au km 216, ou la présence d'une écluse au km 419. Inversement, les biefs les plus profonds, ou les réservoirs de l'aval, en particulier aux km 433 et 463 provoquent une

FIG. 4. — Types de relations existant entre la turbidité et le débit.

diminution de la turbidité (fortes profondeurs de lecture du disque de Secchi), à la suite de décantations.

Les variations de turbidité en fonction du débit, telles qu'elles ont été observées à chaque station, peuvent se ramener à trois types (fig. 4). Dans un premier type, les turbidités varient fortement entre 10 et 20 m³/s, puis tendent à augmenter pour les débits plus élevés. Les biefs profonds de l'aval et les réservoirs à courant ralenti correspondent à ce type 1 (fig. 3 et 4). Dans un second type, les plus faibles turbidités n'apparaissent qu'au-delà de 20 m³/s ; il s'agit de la plupart des stations appartenant aux tronçons amont et moyen (type 2 des figures 3 et 4). Enfin, dans un troisième type, la turbidité ne varie pas en fonction du débit ; la plupart des stations de ce type sont situées dans le tronçon aval.

INFLUENCE DES GRAVIERES

Une intense activité d'extraction des sables et graviers règne sur le Lot. Les alluvions de la vallée constituent en effet une ressource privilégiée étant donnée la qualité de leur matériau et la facilité d'exploitation offerte par le dragage en rivière. Au total, 35 installations ont été recensées le long du Lot.

Dans la plupart des cas, l'exploitation porte directement sur le lit de la rivière, plus rarement sur la plaine alluviale hors du lit. Une fois extrait, le matériau est lavé et classé dans des catégories granulaires commercialisées. Le volume global des produits ainsi commercialisés à partir d'extractions dans le Lot atteignait environ 1 million de m³ en 1972, pour des réserves estimées à 27 millions de m³ d'alluvions en rivière (les plus utilisés) et à 103 millions de m³ hors du lit (Galharague 1974).

Tel qu'il est pratiqué dans le Lot, le dragage entraîne une remise en suspension des sédiments les plus fins, en particulier de la fraction inférieure à 0,3 mm. Le rejet des eaux de lavage, chargées en fines, peut également augmenter la turbidité de la rivière en l'absence de bassins de décantation corrects. En certains secteurs, une extraction intensive a bouleversé le lit de la rivière et l'écoulement des eaux, favorisant l'affouillement des berges. Dans leur ensemble, ces effets contribuent à augmenter la quantité de matières en suspension.

Il a donc paru important de préciser l'influence des gravières sur les teneurs en matières en suspension dans les eaux du Lot et divers tests ont été réalisés dans ce but (Galharague et Giot 1975). Ces tests ont porté sur deux types de situations. Le premier type, dans la partie non navigable du Lot, comprend trois exploitations réparties sur 4 km de rivière. Le matériau y est extrait à partir des rives, à la pelle méca-

nique, la dragline ou le godet râcleur. Le deuxième type, dans la partie navigable du Lot, comprend une drague flottante à chaîne de godets et l'installation de lavage correspondante sur la rive.

Dans la partie non navigable, au niveau des trois exploitations réparties sur 4 km, un profil transversal amont a été réalisé 350 m avant la première gravière, et un profil transversal aval 150 m après le rejet des eaux de lavage de la troisième gravière (Tableau IV). Il est clair que les teneurs en matières en suspension tendent à augmenter dans la zone d'extraction, mais on notera que les différences ne sont significatives que pour la fraction fine, inférieure à $20\ \mu\text{m}$: il s'agit de la partie influençant le plus la turbidité. Des prélèvements complémentaires ont par ailleurs indiqué une rapide atténuation, par décantation, de l'effet de ces gravières dans les 200 à 500 m vers l'aval. Pour les particules les plus grosses de la fraction fine, cette décantation est nette aux débits de $10\ \text{m}^3/\text{s}$ et de $27\ \text{m}^3/\text{s}$, mais elle n'apparaît pas aux débits plus élevés.

TABLEAU IV. — Comparaison des teneurs en matières en suspension en amont et en aval d'un groupe de gravières situé dans la partie non-navigable du Lot pour divers débits régularisés.

Débits m^3/s	Fraction supérieure à $20\ \mu\text{m}$ en mg/l^1			Fraction inférieure à $20\ \mu\text{m}$ en mm^3/l^2		
	amont ³	aval ³	test t ⁴	amont ³	aval ³	test t ⁴
10	1,81 (7)	1,69 (7)	NS	3,61 (8)	4,55 (8)	**
27	2,67 (6)	3,71 (7)	NS	3,45 (6)	4,81 (7)	*
30-65	3,0 (4)	2,8 (4)	NS	2,27 (4)	3,05 (4)	NS
Moyenne sur l'ensemble des relevés	2,39 (17)	2,72 (18)	NS	3,26 (18)	4,33 (19)	**

1. par pesée après tamisage ;

2. en volume d'une analyse au compteur Coulter. L'estimation en poids (mg/l), serait comprise entre $\times 1$, cas où seules existeraient des matières organiques (densité = 1) et $\times 2,3$, cas où seules existeraient des matières minérales ($d = 2,3$) ;

3. valeurs moyennes obtenues à partir de relevés effectués en surface et en profondeur dans l'axe de la rivière, en surface en rive droite, et en surface en rive gauche. Le nombre de relevés est indiqué entre parenthèses ;

4. différence entre les moyennes non significatives (NS), significative à $P0,05$ (*), significative à $P0,01$ (**).

Dans la partie navigable, certains prélèvements ont été effectués dans le sillage d'une drague et dans la traînée des eaux de lavage de l'installation (Tableau V), pour un débit compris entre 30 et $65\ \text{m}^3/\text{s}$.

TABLEAU V. — Evolution des teneurs en matières en suspension en aval d'une drague flottante et d'une installation de lavage placée dans le même sillage, toutes deux situées en rive droite dans la partie navigable du Lot (pour un débit de 30-65 m³/s).

Distances vers l'aval (en m)	Matières en suspension		Lecture du disque de Secchi	
	Fraction > à 20 μ m (en mg/l)	Fraction < à 20 μ m (en mm ³ /l)	dans sillage de la drague (rive droite)	hors sillage de la drague (rive gauche)
0	1,2	2,4	1,35	1,35
200 ¹	...	...	drague	...
300	6,0	4,2		0,80
500	6,1	3,2		1,10
600	3,0	3,1	1,25	1,45
1 300 ²	...	...	lavage	...
1 650	2,9	3,9		0,90
1 800	2,5	3,0		0,95
2 100	1,6	3,1		1,45

1. drague flottante en activité ;

2. installation de lavage en fonctionnement.

On constate une forte augmentation de la teneur de l'ensemble des matières en suspension immédiatement à l'aval de la drague. Après une nette diminution, le rejet des eaux de lavage, dans le même sillage, augmente surtout la teneur en fraction inférieure à 20 μ m. Cet effet tend ensuite à s'atténuer, mais les lectures du disque de Secchi indiquent encore, 500 m après l'installation, une différence nette entre les deux rives. Par ailleurs, dans cette même partie navigable du Lot, des comparaisons faites aux différents débits de 10 m³/s, 27 m³/s et 30-65 m³/s entre une section amont et une section située 350 à 500 m en aval de gravières n'ont pas révélé de différences significatives dans les teneurs en matières en suspension.

Il apparaît donc que l'essentiel des matières mises en suspension par chaque gravière se redépote sur une distance assez courte. Toutefois, cette conclusion doit être tempérée par les observations suivantes : 1) la fraction fine surtout mise en suspension a un effet marqué sur la turbidité de l'eau, 2) la distance selon laquelle se produit une décantation s'allonge aux débits plus importants, 3) par leur nombre total et, en certains endroits, par leur densité, les gravières peuvent avoir un effet d'ensemble non négligeable.

INFLUENCE DES CRUES

Les crues entraînent des accroissements de la turbidité par augmentation des matières en suspension. Cependant, les effets diffèrent largement selon l'origine de ces crues : amont du bassin versant, affluent le Dourdou, basse vallée, lâchers de barrage sur le Haut-Lot ou la

Truyère. Souvent ces diverses causes d'augmentation du débit coïncident ou se succèdent de manière rapprochée. Il en résulte une extrême variabilité dans les teneurs en matières minérales en suspension. Pour rendre compte de cette variabilité, nous présentons ici plusieurs profils en long du Lot différant entre eux par l'origine des augmentations du débit (Massio 1976).

Profil du 4-7-1974 (72,5 m³/s à Cahors). — Après un étiage d'une douzaine de jours, on observe le 23 juin une augmentation du débit due à des lâchers réguliers sur la Truyère dont le débit passe de 3 à plus de 50 m³/s. L'eau de la Truyère elle-même est claire mais la turbidité est augmentée par une remise en suspension des matériaux déposés pendant la période antérieure d'étiage sur l'ensemble du Lot. Ceci se traduit par des teneurs élevées en matières minérales ($7,06 \pm 1,53$ mg/l) et organiques ($1,27 \pm 0,65$ mg/l). (Ce profil n'a pas été représenté sur la figure 5.)

Profil du 12-9-1974 (13 m³/s à Cahors). — Une série de lâchers du barrage de Golinac sur le Haut Lot, accompagnée d'orages sur les affluents le Dourdou et le Célé, perturbent les débits à la fin du mois d'août et au début du mois de septembre. Les débits diminuent ensuite régulièrement. Ces événements expliquent la présence d'une zone chargée en matières en suspension, assez bien localisée vers l'aval (fig. 5).

Profil du 3-12-1974 (348 m³/s à Cahors). — La semaine précédant le profil a été caractérisée par de fortes pluies sur l'ensemble du bassin ; ces pluies ont déterminé une crue exceptionnelle dans la zone aval (725 m³/s le 28-11-74 à Cahors). Sur le profil (fig. 5), les matières en suspension sont importantes mais ne correspondent pas à l'ampleur de la crue.

Profil du 10-3-1975 (199 m³/s à Cahors). — Le Dourdou passe soudainement de 11 à 110 m³/s le 8-3-75 et retombe à 20 m³/s le 10-3-75, jour pendant lequel la Truyère et le Haut Lot commencent une crue. Sur le profil, la turbidité est pratiquement calquée sur le régime du Dourdou qui a entraîné de fortes quantités de matières en suspension dans l'ensemble du Lot (fig. 5).

Profil du 14-5-1975 (144 m³/s à Cahors). — Les débits ont été maintenus à un niveau élevé les jours précédents. En l'absence d'autres apports, on note des teneurs élevées en matières minérales en suspension au confluent du Riou-Mort (fig. 5) mais, contrairement à l'influence du Dourdou observée dans le profil précédent, l'influence du Riou-Mort s'estompe assez rapidement.

Des masses d'eau différant entre elles par leur origine coexistent donc sur un même profil en long du Lot. Ceci se traduit par des teneurs en matières en suspension très variables. Deux zones d'apports privilégiés apparaissent, le Dourdou et le Riou-Mort, le premier

FIG. 5. — Profils en long observés entre Entraygues (km 178) et Le Temple (km 461) à quatre époques distinctes : matières minérales en trait plein, matières organiques particulées en tirets.

de ces affluents ayant un effet plus durable que le second sur l'ensemble du Lot. Les lâchers des barrages amont, même s'ils n'élèvent que faiblement les débits, jouent également un rôle important car ils remettent en suspension les sédiments déposés sur le fond aux périodes

des d'étiage. En ce sens, leur effet peut être plus important que des crues exceptionnelles sur la partie aval à la suite de fortes pluies.

RELATIONS ENTRE LE DEBIT, LA TURBIDITE ET LES MATIERES EN SUSPENSION

Les observations faites sur le Lot ont montré que les particules supérieures à 20 μm et inférieures à 2 μm n'affectaient que très faiblement la turbidité de l'eau. Ne sont donc reportés ici que les résultats concernant la fraction 2-20 μm dans laquelle se trouvent mêlées des particules organiques (algues et autres) et minérales. L'ensemble de ces particules est estimé, à partir d'analyses au compteur Coulter, soit en nombres, soit en volumes (Galharague et al. 1975 a, c). L'analyse a été conduite au cours de l'été, pour quatre débits régularisés à 10 m^3/s , 27 m^3/s , 30-65 m^3/s en 1974 et 16-19 m^3/s en 1975.

On constate (Tableau VI) que le débit solide des particules inférieures à 20 μm croît entre l'amont et l'aval de la zone navigable dans

TABLEAU VI. — Evolution du débit solide¹ de la fraction granulométrique inférieure à 20 μm (en $10^3 \text{ mm}^3/\text{s}$) dans la zone canalisée du Lot, entre le km 210 (amont) et le km 372 (aval).

Fraction granulométrique	10 m^3/s (2)		16-19 m^3/s (3)		27 m^3/s (2)	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval
0 à 2 μm	12	8	41	41	20	24
2 à 5 μm	9	57	18	37	20	54
5 à 8 μm	4	47	10	39	8	30
8 à 16 μm	8	24	18	25	20	40
16 à 20 μm	2	4	3	2	2	2
0 à 20 μm	35	140	90	144	70	150

1. évalué à partir des volumes d'échantillons « centre surface » en courant (Galharague et al., 1975 a, c);

2. valeurs obtenues sur un passage réalisé en 1974;

3. valeurs moyennes obtenues sur 3 passages en 1975.

le rapport de 1 à 4 pour 10 m^3/s et de 1 à 2 pour 16-19 m^3/s et 27 m^3/s . Dans le détail, l'essentiel de l'accroissement est réalisé dans l'intervalle granulométrique de 2 à 16 μm et, plus particulièrement, de 5 à 8 μm . Notons qu'une telle évolution n'a pas été observée au débit supérieur de 50 m^3/s . En l'absence d'apports entre l'amont et l'aval de la zone navigable, l'ensemble des observations ci-dessus s'explique par la prolifération des matières organiques et notamment des algues du phytoplancton aux débits les plus faibles.

La turbidité varie en fonction des quantités de particules (exprimées en nombres ou en volumes) comprises entre 2 et 20 μm (fig. 6). Pour de faibles débits (10 m^3/s et 16-19 m^3/s), les fortes turbidités ne sont atteintes que lors de très fortes augmentations du nombre de

FIG. 6. — Variation de la turbidité (profondeur de lecture du disque de Secchi) en fonction du nombre et du volume de particules comprises entre 2 et 20 μm à différents débits (d'après Galharague et al., 1975 a, c).

particules (de 200 à 450.10⁶/l) ou du volume de particules (de 4 à 10 mm^3/l). Si on compare les résultats obtenus à 10 et 16-19 m^3/s à ceux obtenus pour les débits les plus élevés, étant donné qu'aux faibles débits correspondent des particules surtout organiques et aux forts débits des particules minérales, il est évident qu'à nombre (ou à volume) de particules égal, le trouble produit par les particules minérales est plus important que celui produit par les particules organiques. On observe, en outre, que pour 16-19 m^3/s , le nombre de particules provoquant une turbidité donnée est moins important que pour 10 m^3/s . Il n'en est pas de même si on compare les volumes : ceci traduit une variation dans la taille des particules entre les mesures faites à 10 m^3/s et à 16-19 m^3/s .

Cette forte variabilité des populations de particules rend très fluctuante la relation existant entre le débit et le nombre de particules. Il en est de même pour la qualité granulométrique : il est possible de distinguer trois types principaux d'histogrammes de fréquence, mais on ne peut les relier que très approximativement à certaines gammes

d'écoulement (fig. 7). Le type A, d'allure gaussienne, est ainsi observé dans la zone navigable pour un débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (développement de phytoplancton) ; le type B, avec un pic pour l'inférieur à $2 \mu\text{m}$, est observé dans la zone non-navigable pour les débits de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ et $27 \text{ m}^3/\text{s}$ (prédominance des argiles) ; le type C, histogramme plat sans prédominance des argiles, est observé sur l'ensemble du Lot pour un débit de $30\text{-}65 \text{ m}^3/\text{s}$.

FIG. 7. — Fractions granulométriques (en pourcentages) des particules en suspension comprises entre $1,6$ et $16 \mu\text{m}$. Exemples des trois types d'histogrammes de fréquences observées : (A) en zone navigable pour $10 \text{ m}^3/\text{s}$, (B) en zone non navigable pour 10 et $27 \text{ m}^3/\text{s}$, (C) sur l'ensemble du Lot pour $30\text{-}65 \text{ m}^3/\text{s}$ (d'après Galharague et al. 1975 a).

DETERMINATION D'UN DEBIT MINIMUM D'ETIAGE

En été, pour de faibles débits, on observe donc une augmentation des concentrations de matières en suspension, et par suite de la turbidité, entre l'amont et l'aval. Cette augmentation est d'autant plus nette que le débit est faible. C'est ainsi que le débit solide est multiplié par 4 entre l'amont et l'aval à $10 \text{ m}^3/\text{s}$, par 2 à $27 \text{ m}^3/\text{s}$ et qu'il demeure constant à $50\text{-}65 \text{ m}^3/\text{s}$ (Galharague et al. 1975 a). Les augmentations observées sont essentiellement dues aux algues (fig. 8).

Le développement de ces algues peut être schématisé comme suit. Les grands réservoirs situés sur la Truyère et le Haut Lot constituent des lieux privilégiés de développements d'algues. Au fil des lâchers d'eau, les réservoirs ensemencent les parties moyenne et basse de la rivière. Plus le débit est faible, plus les temps de transit sont longs et plus les algues prolifèrent, entraînant une augmentation de la turbidité.

Pour provoquer une réduction de cette turbidité, il convient de soutenir les débits d'étiage à un niveau tel qu'il ne permette pas un développement important des algues, sans toutefois atteindre des

FIG. 8. — Evolution au sein d'une masse d'eau suivie pendant 10 jours sur 52 km du Lot moyen au cours de l'été 1975. M.M.P. : matières minérales particulières ; M.O.D. : matière organique dissoute (Dauta et al. 1975).

débâts risquant de remettre en suspension les matières détritiques du fond. Il est apparu que deux secteurs devaient être distingués (Galharague et al. 1975 b, c). Dans la partie moyenne du Lot, un débit supérieur à 20 m³/s est nécessaire pour améliorer la turbidité ; par exemple, une amélioration a été observée pour 27 m³/s. Dans la partie basse, un débit compris entre 10 et 25 m³/s donnerait des valeurs de turbidité égales ou inférieures à celles obtenues avec un débit plus élevé.

Ces observations, compte tenu des contraintes de gestion des barrages hydro-électriques, ont conduit à proposer comme débit minimum à l'étiage un débit équivalent à 12 m³/s à Entraygues.

DYNAMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les matières particulaires en suspension doivent être considérées dans leurs rapports avec les sédiments du fond d'une part, avec les

Fig. 9. — Interactions au sein de la masse d'eau et influences observées au cours d'une expérience de marquage d'une masse d'eau suivie pendant 190 jours sur 52 km du Lot moyen (Dauta et al. 1975).

éléments dissous d'autre part. Ceci conduit à préciser leur rôle dans le fonctionnement de l'écosystème.

Les propriétés colloïdales d'une partie des matériaux transportés provoquent la formation de flocons semblables à ceux observés dans les estuaires (Bourcart et F. Bœuf 1942). Ces flocons comprennent des argiles, des matières humiques, diverses particules minérales et organiques. Ils peuvent évoluer au cours de leur transport, soit qu'ils se dissocient, soit qu'ils se reforment (Berthois 1961). Les excréments des algues, les rejets agricoles, urbains et industriels contribuent à leur formation. Les matières minérales et organiques en suspension ainsi étroitement mêlées sédimentent difficilement.

Sur le fond, les vitesses nécessaires à la mise en suspension des sédiments sont élevées. Les argiles et les matières organiques jouent en effet un rôle de ciment. Toutefois, lorsque l'érosion a commencé, la cohésion du sédiment paraît brusquement rompue et la mise en suspension peut être très rapide (Smith 1975). Dans le bief de Cajarc, l'un des plus étudiés à ce sujet, la vitesse critique entre les processus d'érosion et de sédimentation a été évaluée à 25 cm/s (Massio 1976). Or, pour un débit donné, il est possible de calculer à partir du modèle des écoulements (SOGREAH 1975), le pourcentage de rivière pour lequel la vitesse est supérieure à 25 cm/s. Les résultats sont les suivants :

Débits (m ³ /s)	Pourcentage de rivière canalisée pour lequel $v > 25$ cm/s
10	0
20	6
30	11
40	18
60	59
100	85

Si l'on admet que 25 cm/s constitue une vitesse critique entre les processus d'érosion et de sédimentation pour l'ensemble du Lot canalisé, on observe qu'à 60 m³/s, la majorité des biefs se trouvent en phase d'érosion.

La figure 9 résume la dynamique des matières en suspension dans l'eau de la rivière. Les mécanismes qui provoquent la mise en suspension des matières minérales et organiques non algales s'opposent aux mécanismes qui provoquent la décantation des matières en suspension et l'augmentation de la biomasse d'algues. Les interactions au sein de la masse d'eau sont particulièrement nombreuses : les matières transportées, qu'elles soient particulières ou dissoutes, qu'elles soient minérales ou organiques, sont intimement liées. Aussi les matières

minérales en suspension jouent-elles un rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème. Par leur effet d'atténuation des radiations lumineuses dans l'eau, elles diminuent la prolifération des algues. Par leur teneur en minéraux argileux, elles adsorbent de nombreux composés chimiques, et notamment des nutriments azote et phosphore. Les profils verticaux de concentrations en phosphore des phosphates suggèrent l'existence d'une libération de l'ion PO_4 après sédimentation en milieu réducteur (Casanova-Batut 1977).

DISCUSSION

Le problème des matières en suspension du Lot est essentiellement lié au problème des débits. Le Lot est en effet une rivière aux étiages naturels très sévères : au confluent avec la Garonne, le débit du mois d'août tombe une année sur dix naturellement à moins de $9 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que le débit annuel dépasse $150 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un bassin versant de $11\,500 \text{ km}^2$ (SODETEG 1976). La construction de chaussées de navigation du XIV^{e} au XIX^{e} siècle a entraîné l'existence d'une succession de seuils et de biefs artificiels en aval d'Enraygues. Cet aménagement a eu pour effet de supprimer le lit d'étiage, d'augmenter le volume de la rivière et de réduire la vitesse du courant en été. Dans chacun des quelques 60 biefs ainsi créés se sont établies des zones de dépôt de sédiment et de développement d'algues planctoniques. Sur cette rivière ainsi transformée, les modifications de débit apportées par les grands barrages hydro-électriques du haut bassin ont en partie supprimé l'effet de chasse des crues de printemps. En juillet-août, ces grands barrages causent, sur des périodes de 5 à 10 jours, des diminutions des débits d'étiage qui ralentissent encore les vitesses du courant. De plus, les lâchers discontinus des derniers grands barrages de l'amont et des usines équipant les seuils de l'aval provoquent au cours de l'été des alternances de dépôt et de mise en suspension des sédiments les plus fins.

La turbidité chronique des eaux du Lot est ainsi due à la présence d'une suspension de particules minérales et organiques dont les diamètres sont compris entre 1 et $20 \mu\text{m}$.

Les particules minérales sont d'autant plus nombreuses que le débit est important. Les débits élevés correspondent en effet à une érosion et à une forte remise en suspension des sédiments. Il a été montré que ces matières en suspension avaient surtout pour origine le haut bassin du Lot. L'affluent le Dourdou constitue en outre une zone d'apport privilégiée. En effet, lors des fortes précipitations sur son bassin versant, le Dourdou charrie des quantités de matières solides très importantes, sans commune mesure avec son débit qui demeure relativement faible par rapport à celui du Lot. Ces apports du Dour-

du proviennent principalement de l'érosion d'argiles rouges du Permien par les eaux de ruissellement. Ils sont extrêmement spectaculaires puisqu'ils colorent le Lot en rouge jusqu'à l'évacuation des eaux dans la Garonne. L'affluent le Riou-Mort paraît avoir un effet plus localisé en ce qui concerne les concentrations totales en matières en suspension, mais ses apports d'éléments métalliques sont encore sensibles au niveau de Fumel, 198 km en aval du confluent Lot - Riou-Mort. Enfin, localement, la présence de gravières, le marnage d'une usine contribuent, surtout en été, à la mise en suspension des particules du fond.

Drague en fonctionnement en amont de Saint-Géry, dans la partie navigable du Lot (photo R. Delvert).

Les particules organiques comprennent des algues et le complexe des détritiques ; elles se développent surtout en été et sont d'autant plus importantes que le débit est faible. Il apparaît que les algues produites dès le printemps dans les réservoirs du Haut Lot et de la Truyèreensemencent de manière continue la partie inférieure ou Lot canalisé. Ce mécanisme d'inoculation a été également décrit en d'autres rivières (Talling et Rzoska 1967, Hammerton 1972, Moss 1977). Dans les parties moyenne et basse du Lot, lorsque l'ensoleillement est important et la température élevée, ces algues prolifèrent dès que les débits d'étiage sont faibles ; et ceci d'autant plus que les apports de nutriments sont souvent importants et le zooplancton inexistant. Le développement de ces algues est atténué par la présence de particules minérales en suspension, mais les produits d'excrétion et de décom-

position favorisent les croissances bactériennes et contribuent à augmenter la turbidité au cours de l'étiage. L'expérience de marquage réalisée en août 1975, pendant laquelle une masse d'eau a été suivie sur une cinquantaine de kilomètres, est significative à cet égard (fig. 8).

Ainsi, en période de hautes eaux, généralement de novembre à avril, les particules en suspension dans la rivière sont essentiellement minérales : une bonne corrélation existe alors entre le débit et les matières en suspension. Au contraire, en période de basses eaux, généralement de mai à octobre, des particules en suspension essentiellement organiques (algues et complexe détritique) sont mêlées à des particules minérales : aucune corrélation ne peut alors être décelée entre le débit et les matières en suspension, une diminution du débit ayant à la fois pour effet d'augmenter la teneur en phytoplancton et de diminuer la mise en suspension des sédiments.

L'ensemble des observations faites au cours des études montre que les débits d'étiage de la rivière sont beaucoup trop faibles. Ils favorisent le développement d'algues à une période critique pour la qualité de l'eau. C'est en effet en été qu'apparaissent les problèmes les plus graves au cours de stagnations successives, en présence d'un ensoleillement maximum et de températures élevées. Pour diminuer la turbidité estivale du Lot, il apparaît donc nécessaire de soutenir les débits d'étiage et de les régulariser en aval d'Entraygues. Un relèvement des débits d'étiage aurait pour effet d'augmenter les vitesses moyennes, de diminuer les temps de séjour des eaux dans les biefs successifs et d'abaisser les températures maximales. Ces mesures permettraient d'éviter d'une part la sédimentation des particules fines, et d'autre part la prolifération des algues. En ce qui concerne la régularisation des écoulements, il conviendrait d'éviter les marnages qui provoquent des pulsations de débits instantanés sur les cours moyen et inférieur du Lot et, par suite, des remises en suspension de particules minérales et organiques. Enfin, les observations portant sur l'influence du Riou-Mort sur le Lot ont montré l'urgence des mesures à prendre pour assainir les cours d'eau drainant le bassin de Decazeville.

TRAVAUX CITES

- BALLAND (P.). 1973. — Etude de la relation existant entre le débit et les matières en suspension sur la rivière Lot à Port-d'Agrès (Aveyron). *C.T.G.R.E.F., Etudes et Documents*, n 1-73 : 31 p.
- BERTHOIS (L.). 1961. — Observation directe des particules sédimentaires fines dans l'eau. *Rev. Géog. physique et Géol. dynamique* 4, (11) : 39-42.
- BORDES (J. M.), LUCCHETTA (J. C.) et ROCHARD (M.). 1973. — Etude d'un écosystème d'eau courante : le Lot. *Thèse 3^e cycle, Toulouse* : 152 p.
- BOURCART (J.) et FRANCIS-BŒUF (C.). 1942. — La vase, *Hermann et Cie, Paris* : 67 p.

- CASANOVA-BATUT (Th.). 1977. — Etude préliminaire en vue de la modélisation de l'écosystème Lot. *Thèse de spécialité, Toulouse* : 109 p.
- DAUTA (A.). 1975. — Etude du phytoplancton du Lot. *Thèse 3^e cycle, Toulouse* : 107 p.
- DAUTA (A.), DÉCAMPS (H.), DENAT (D.), GALHARAGUE (J.), GIOT (D.), MASSIO (J. C.) et TROLET (J. L.). 1975. — Etude de la turbidité et des matières en suspension dans les eaux du Lot et de leurs relations avec les écoulements. 3. — Evolution des matières en suspension et de la turbidité dans une masse d'eau marquée. *Rapport B.R.G.M.* : 75 S.G.N. 388 M.P.Y., 31 p., 31 planches.
- DÉCAMPS (H.), MASSIO (J.-C.) et DARCOIS (J.-C.). 1976. — Variations des teneurs en matières minérales et organiques transportées dans une rivière canalisée, le Lot. *Annls Limnol.*, 12 (3) : 215-237.
- DENAT (D.). 1977. — Etude de la production primaire dans le réservoir de Cajarc (Lot). *Thèse 3^e cycle, Toulouse* : 94 p.
- GAGNEUR (J.). 1976. — Etude des Diptères du Lot et étude de la retenue de Cajarc. *Thèse 3^e cycle, Toulouse* : 189 p.
- GALHARAGUE (J.). 1974. — Exploitation des sables et graviers de la vallée du Lot. *Rapport B.R.G.M.* : 74 S.G.N. 239 M.P.Y., 30 p.
- GALHARAGUE (J.) et GIOT (D.). 1974. — Etude des matières en suspension dans les eaux du Lot et de leurs relations avec les écoulements. 1^{re} partie : résultats des études qualitatives. *Rapport B.R.G.M.* : 74 S.G.N. 392 M.P.Y., 33 p., 2 annexes, 8 planches.
- GALHARAGUE (J.) et GIOT (D.). 1975 a. — Etude des matières en suspension dans les eaux du Lot et de leurs relations avec les écoulements. 2^e partie : résultats des études quantitatives. *Rapport B.R.G.M.* : 75 S.G.N. 154 M.P.Y., 44 p., 6 annexes, 21 planches.
- GALHARAGUE (J.) et TROLET (J. L.). 1975 b. — Etude de la turbidité et des matières en suspension dans les eaux du Lot et de leurs relations avec les écoulements. 1. — Suivi de la turbidité dans les eaux du Lot et liaison avec le débit. *Rapport B.R.G.M.* : 75 S.G.N. 386 M.P.Y., 17 p., 33 planches.
- GALHARAGUE (J.), GIOT (D.) et TROLET (J. L.). 1975 c. — Etude de la turbidité et des matières en suspension dans les eaux du Lot et de leurs relations avec les écoulements. 2. Evolution des profils en long de Saint-Parthem à Castelfranc à différents débits régularisés. *Rapport B.R.G.M.* : 75 S.G.N. 387 M.P.Y., 12 p., 16 planches.
- GALHARAGUE (J.), GIOT (D.) et TROLET (J. L.). 1975 d. — Etude de la turbidité et des matières en suspension dans les eaux du Lot et de leurs relations avec les écoulements. 4. Etude des éléments en traces dans les vases pendant l'été 1975. *Rapport B.R.G.M.* : 75 S.G.N. 389 M.P.Y., 6 p., 7 planches.
- HAMMERTON (D.). 1972. — The Nile River — a case history. In *River Ecology and Man*, ed. by R. T. OGLESBY, C. A. CARLSON et J. A. McCANN : 171-214.
- LAUR (C.). 1975. — Etude faunistique du Lot et étude du sédiment de la retenue de Cambeyrac (Truyère). *Thèse 3^e cycle, Toulouse* : 122 p.
- MASSIO (J. C.). 1976. — Facteurs d'évolution des matières en suspension minérales et organiques dans les eaux du Lot. *Thèse 3^e cycle, Toulouse* : 146 p.
- MOSS (B.). 1977. — Conservation problems in the Norfolk broads and rivers of East Anglia, England — Phytoplankton, boats and the causes of turbidity. *Biol. Conserv.*, 12 : 95-114.
- NICOT (R.) et TROLET (J. L.). 1975 a. — L'érosion dans le bassin du Dourdou. *D.D. A. du Lot, Cahors* : 15 p.
- NICOT (R.) et TROLET (J. L.). 1975 b. — Observations sur le Lot d'Entraygues à Aiguillon en été 1974. *D.D.A. Lot, Cahors* : 12 p.
- SMITH (I. R.). 1975. — Turbulence in lakes and rivers. *Freshwater Biological Association n° 29* : 79 p.
- S.O.D.E.T.E.G. 1976. — Propositions pour un schéma d'aménagement hydraulique de la vallée du Lot : 123 p.

- S.O.G.R.E.A.H. 1975. — Etiages du Lot, étude sur modèle mathématique de l'exploitation des usines. *Document n° 11792*.
- TALLING (J. F.) et RZÓSKA (J.). 1967. — The development of plankton in relation to hydrological regime in the Blue Nile. *J. Ecol.* 55 : 637-662.
- TOURENQ (J. N.), CAPBLANCQ (J.) et CASANOVA (H.). 1978. — Bassin versant et hydrologie de la rivière Lot. *Annls Limnol.*, 14 (1-2) : 9-23.