VARIATIONS DES TENEURS EN MATIERES MINERALES ET ORGANIQUES TRANSPORTEES DANS UNE RIVIERE CANALISEE, LE LOT

par H. DECAMPS¹, J.-C. MASSIO¹ et J.-C. DARCOS².

Le fonctionnement des barrages situés sur la partie amont du Lot et de son affluent la Truyère influence la qualité des eaux des parties moyenne et inférieure, ou Lot canalisé. Cette influence est analysée à l'aide d'un modèle mathématique des écoulements qui permet de préciser les origines des diverses masses d'eau circulant sur 235 km du Lot canalisé. Des profils amont-aval réalisés à différentes époques de l'année ont dégagé les principaux facteurs de variation des teneurs en matières minérales et organiques, dissoutes ou particulees, en suspension dans l'eau. Dans un ordre d'importance décroissante, ces facteurs sont la saison, la turbidité et la minéralisation de l'eau.

L'influence saisonnière est surtout due à la température de l'eau, principal facteur explicatif des variations de chlorophylle *a* dans un modèle de régression multiple. Elle est accentuée par la diminution des débits d'étiage lors de l'exploitation hydro-électrique de la rivière en été.

La turbidité est surtout liée à la présence de matières minérales. Les effets les plus importants et les plus durables vers l'aval sont dus aux crues du Dourdou, affluent drainant des terrains gréseux du permotrias. Les apports par ruissellement en période de pluie ont un effet moindre; ceux directement liés aux activités humaines — gravières et rejets divers — parfois importants, demeurent localisés. Pour des débits encore modérés, les lâchers des barrages provoquent la remise en suspension des sédiments non stabilisés. Les algues augmentent la turbidité principalement sous la forme de matière organique inerte mêlée à des matières minérales.

Les eaux provenant de la Truyère, moins minéralisées, se révèlent moins propices aux développements d'algues que celles du Lot amont. Cependant, la corrélation positive existant entre la conductivité et la température traduit l'importance des rejets urbains et industriels au cours de l'étiage d'été.

Variations in the levels of mineral and organic materials carried by a canalised river, the Lot.

The operation of dams in the upper reaches of the Lot and its tributary the Truyère affects the water quality of the middle and lower reaches of the river where the Lot is canalised. These effects were analysed with the help of a mathematical model of discharge and the model was used to determine the origins of different masses of water circulating in the 235 km — section of canalised river. Profiles taken down the river at different times of the year

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

2. Centre d'informatique, Université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne, 31077 Toulouse Cedex.

were used to determine the major changes in the levels of mineral matter, organic matter, dissolved and particulate matter, all carried in suspension in the water. The most important factors, in order of decreasing importance, are the time of the year (seasonal factor), the turbidity of the water and the mineralisation of the water.

Seasonal changes are chiefly due to water temperature which was the principal factor responsible for variations in chlorophyll *a* in a multiple regression model. This temperature effect is enhanced by the decreased flows at low water levels due to the use of the river in summer for hydro-electric purposes.

The turbidity of the water is closely associated with the presence of mineral matter. The most important and long lasting effects in the lower reaches are due to the floods of the Dourdou, a tributary draining the sandstone terrain of the Permo-trias. The contributions through run-off when it is raining have a smaller effect; and those due to human activity (gravel pits and various waste material) are occasionally important in localised areas. At even moderate flows, the discharges from the dams cause the unstable sediments to return to suspension. The algae increase the turbidity chiefly in the form of inert organic material mixed with mineral matter.

The water coming from the Truyère has a lower mineral content and is less favourable than the upper Lot for the development of algae. The positive correlation between conductivity and temperature shows the importance of urban and industrial waste materials during the low water levels of the summer.

INTRODUCTION

La teneur de l'eau en matières minérales et organiques varie largement entre l'amont et l'aval des rivières. L'importante bibliographie existant sur ce sujet a été commentée par HYNES (1970) et GOLTERMAN (1975). Il est par ailleurs bien connu que la présence de réservoirs artificiels sur une rivière peut transformer radicalement la qualité des eaux qui s'écoulent vers l'aval (NEEL 1963).

Les études antérieures réalisées sur le Lot ont permis d'observer, sur des profils en long de la rivière, des successions irrégulières de masses d'eau différant entre elles par la physico-chimie et le phytoplancton transporté (BORDES, LUCHETTA et ROCHARD 1973, DAUTA 1975). Il est apparu clairement que ces différences avaient le plus souvent pour origine, du moins en été, les manœuvres des barrages situés sur la partie amont du Lot et sur son affluent, la Truyère. Cependant, il était difficile d'interpréter les évolutions observées dans les parties moyenne et inférieure du Lot car les temps de parcours induits par le fonctionnement des barrages de l'amont demeuraient inconnus. Par la suite, un modèle mathématique des écoulements ayant été élaboré (SOGREAH 1975), il est devenu possible de connaître l'origine des masses d'eau circulant sur 235 km de rivière, entre Entraygues et Fumel.

En 1974-75, plusieurs campagnes de mesures ont donc été entreprises dans le but de préciser l'influence du fonctionnement des barrages de l'amont sur la qualité des eaux dans la partie canalisée

(moyenne et inférieure) du Lot. Nous présentons ici une analyse des différents profils ainsi réalisés et tentons de dégager les facteurs de la variation des teneurs en matières minérales et organiques, dissoutes et particulées, transportées par la rivière.

LA RIVIERE

Une description de la rivière ayant été publiée (DAUTA 1975), nous nous bornerons à résumer l'influence humaine sur les débits et la qualité de l'eau.

Sur le cours du Lot canalisé, 62 chaussées de navigation délimitent des biefs de longueurs et profondeurs variables, mais dont le niveau demeure toujours supérieur au niveau d'étiage naturel. Certaines de ces chaussées sont actuellement équipées d'usines hydro-électriques. En outre, quatre petits barrages ont été construits sur le Lot moyen et inférieur à Cajarc, Luzech, Villeneuve et le Temple (*fig. 1*). En amont d'Entraygues, confluence du Lot et de la Truyère, une série de barrages a été édifiée représentant une capacité de stockage de 22 M m³ sur le Lot et 830 M m³ sur la Truyère. Ces réservoirs contribuent à régulariser le cours du Lot et, pour certains d'entre eux à assurer la production d'électricité aux heures de consommation de pointe en n'effectuant des lâchers importants qu'à certains moments de la journée. Enfin, les ondes de débit sont remodelées, surtout à l'étiage, à cause des marnages effectués par une partie des usiniers installés sur le Lot moyen et inférieur.

Ainsi, à partir d'Entraygues, les masses d'eau changent-elles constamment de vitesse en fonction :

- des caractéristiques hydrauliques des biefs successifs,
- du rythme et de l'amplitude des lâchers au niveau des barrages du Lot amont et de la Truyère,
- des modalités de fonctionnement des usines du Lot moyen.

En été, 5 à 6 m³/s sont prélevés pour l'irrigation de la basse vallée, ce qui représente une ponction très importante étant donné les faibles débits d'étiage.

Des diverses formes de pollution représentées — agricole, urbaine et industrielle — la dernière est la plus sévère par suite de la présence d'industries agro-alimentaires dans la basse vallée, métallurgiques, chimiques et extractrices dans la région de Decazeville (SODETEG - AAVL 1976). Le Riou Mort qui draine le bassin houiller de Decazeville apporte une pollution importante, par des substances organiques, chimiques (surtout cadmium, zinc et manganèse) et des matières en suspension (20 tonnes/jour, BCEOM 1972).

FIG. 1. — Stations étudiées sur le Lot en aval d'Entraygues.

TABLEAU I. — Valeurs limites observées à chaque profil longitudinal sur l'ensemble des 16 stations.

	TEMP (°C)	TURB (FTU)	M.O. (mg/l)	M.M. (mg/l)	CHLORO (µg/l)	PHEO (µg/l)
20-21.VII.	17 -21	1,4 - 4,7	1,30-2,62	1,54- 5,25	0,18- 8,78	0 - 3,94
20.VIII.	19,5-24,5	1,4 - 4,8	0,90-3,46	0,64- 3,95	3,64- 8,74	0 -14,04
12-13.IX.	17,5-22	0,74- 8,4	0,50-6,27	0,36- 9,57	1,46-13,83	0 -13,73
3.XII.	6,5-10	3,90- 7,4	0,90-1,96	0,90- 9,97	0,36- 0,91	0,08- 2,27
10.III.	5 - 8,5	3,40-41	1,13-8,80	2,97-45,08	0 - 2,81	0 - 2,50
14.V.	8,5-13,5	2,20- 5,20	1,26-5,50	2,01- 5,32	1,27- 6,73	0,71- 4,23
22.VII.	19 -26	1,7 - 4,4	1,43-7,65	0,58-10,05	4 -32,40	0,57-39,09
	COND (µmhos)	ALCAL (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	N-NO ₃ (µg/l)	N-NO ₂ (µg/l)	P-PO ₄ (µg/l)
20.21.VII.	69-246	25,4-112,4	3,80-8,13	148-750	1,1-30,6	0 - 11,2
20.VIII.	146-339	48,8- 98,4	5,70-9,35	115-730	0 - 5,6	0 - 75
12-13.IX.	136-557	51,2-124	3,30-6,03	138-700	1,4-12,6	0 -102
3.XII.	88-222	40,8- 97,6	5,45-7,25	475-940	2 - 5,7	11,4- 40
10.III.	117-275	53,6-174,1	3,72-4,98	525-920	3,2- 8	12,4- 22,6
14.V.	136-209	59,4- 95,2	2,25-3,65	285-820	0,9- 3,2	0,5- 17,6
22.VII.	103-203	38,4- 80,8	0,85-6,25	0-375	4,3-15,4	0 - 14,4

Enfin, concernant les gravières, 27 installations fixes ont été recensées sur le cours du Lot (BRGM 1974). Elles provoquent une remise en suspension importante des particules les plus fines au niveau du dragage dans la rivière d'une part, au niveau du rejet des eaux de lavage d'autre part.

La partie de la rivière située en aval d'Entraygues, c'est-à-dire de la confluence Lot-Truyère, est considérée dans ce travail. Les 16 stations étudiées (fig. 1) sont les suivantes : 1 Lot à Entraygues ; 2 Truyère à Entraygues ; 3 Aval Truyère ; 4 Aval Dourdou ; 5 Boisse Penchot ; 6 Cajarc amont ; 7 Cajarc barrage ; 8 La Toulzanie ; 9 Larroque des arcs ; 10 Douelle ; 11 Luzech barrage ; 12 Prayssac ; 13 Fumel ; 14 Saint-Sylvestre ; 15 Villeneuve ; 16 Le Temple.

La distance séparant les stations 1 et 16 est de 288 km.

METHODES

La conductivité (en μmhos à 20°C) a été obtenue à l'aide d'un résistivimètre Tacussel, l'alcalinité (en mg/l de CaCO_3) par neutralisation à l'acide sulfurique en présence d'indicateur BDH. La silice (en mg/l de SiO_2), les orthophosphates (en $\mu\text{g/l}$ de P) et les nitrates (en mg/l de N) ont été obtenus par spectrophotométrie.

La méthode suivie pour le dosage des pigments chlorophylliens est celle préconisée par GOLTERMAN (1969). La concentration du phytoplancton a été réalisée au moyen d'une centrifugeuse en continu Heraeus Junior 1500, les culots de centrifugation étant ensuite congelés à -18 et -29°C , pour assurer une bonne conservation et améliorer le processus d'extraction des pigments lors du dosage (surtout pour les algues à coupe gélatineuse). Les résultats obtenus sont exprimés en $\mu\text{g/l}$ de chlorophylle *a* et de phéophytine *a*.

La turbidité a été mesurée au turbidimètre Hach mod. 2100 A utilisant l'effet TYNDALL. Les résultats sont donnés en FTU. ASBC ($1 \text{ FTU.ASBC} = 0,0145 \text{ FTU.EBC} = 0,145 \text{ unités Jackson}$).

Jusqu'en septembre 1974, les matières en suspension ont été concentrées à l'aide d'une centrifugeuse en continu. Mais l'efficacité de cette méthode n'est pas totale : l'eau conserve à la sortie de la centrifugeuse 10 à 30 % de sa turbidité initiale. Cette fraction résiduelle est due à la présence de très fines particules (argiles, bactéries, quelques algues) et aux colloïdes. A partir de décembre 1974, les matières en suspension ont été filtrées sur filtres WHATMAN GFC en fibre de verre dont les diamètres de pores varient entre 0,5 et $1 \mu\text{m}$ (SHELDON et SUTCLIFFE 1969).

Les matières en suspension concentrées à partir d'une quantité d'eau connue ont été pesées après dessiccation à 105°C pour obtenir le poids sec. Le résidu, après passage dans un four à 550°C pendant 3 heures, a donné le poids du résidu non volatil. La différence entre poids sec et poids du résidu non volatil, ou perte au feu, est interprétée comme étant le résultat de l'oxydation des matières organiques, étant donné la faible proportion des matières minérales oxydables (surtout de CaCO_3) et de déchets industriels (débris de charbon par exemple). Le résidu non volatil est constitué par de la matière minérale et des cendres de la matière organique. La correction faite pour tenir compte de ces dernières étant faible par rapport aux autres sources d'erreur possibles, les données brutes ont été conservées. Le résidu non volatil a donc été assimilé à la matière minérale et la perte au feu à la matière organique.

Un modèle mathématique des écoulements (SOGREAH 1975) donne la relation exacte entre le débit du Lot et le temps de parcours de

l'eau entre un point et un autre, bief par bief, d'Entraygues à Fumel. Il s'agit d'un modèle purement convectif ne tenant pas compte de la diffusion, simplification qui ne semble entraîner que de faibles erreurs, du moins sur des distances courtes. Ce modèle a permis de suivre l'évolution des masses d'eau dans leur déplacement vers l'aval.

Le temps de transit d'Entraygues à Fumel a été calculé en utilisant les débits du Lot à Cahors. Etant donné le caractère même du modèle d'écoulement et la marge d'imprécision affectant la mesure du débit, les temps de transit calculés ont surtout une valeur indicative et servent à comparer les différents profils effectués. Cependant, les données issues du calcul se sont avérées exactes lorsqu'elles étaient comparées à l'évolution de certaines masses d'eau naturellement marquées (lâchers importants du Lot amont, crue du Dourdou...).

Dans les analyses suivantes, les paramètres relevés lors des sept profils amont-aval d'Entraygues au Temple ont fait l'objet d'une recherche de corrélations linéaires. Les corrélations significatives au seuil de 5 % ont été retenues dans les schémas :

Les abréviations utilisées dans les schémas sont les suivantes :

Alc : alcalinité	MS : matières en suspension
Ω : conductivité	MO : matières organiques
TEM : température	MOS : matières organiques en suspension
Tur : turbidité	MOD : matières organiques dissoutes
FTU : formazin turbidity unit	MM : matières minérales
Chl : chlorophylle <i>a</i>	MMS : matières minérales en suspension
Pheo : phéophytine <i>a</i>	
PT : pigments totaux	

ANALYSES DE PROFILS LONGITUDINAUX

7 profils longitudinaux ont été réalisés en 1974-75. Le tableau I résume les valeurs limites relevées sur le Lot.

Profil du 20-21 juillet 1974.

Conditions hydrauliques : la régulation du débit Lot + Truyère à 28 m³/s est effective à la station 1 à partir du 18 juillet (fig. 2B).

2A

2B

FIG. 2. — Débits mesurés sur le Lot. 2A : débits à Cajarc (station 7) entre mai 1974 et août 1975. 2B : débits quotidiens au cours de l'été 1974 (en haut : affluents le Dourdou et le Célé ; en bas : la Truyère et le Lot en amont d'Entraygues, le Lot à Cahors).

A ce débit, l'eau met en moyenne 12 jours pour parcourir la distance séparant les stations 1 à 13. La plus grande partie du Lot aval est donc encore influencée par la période antérieure au débit de la régulation.

Analyse statistique : la turbidité est corrélée aux matières minérales ($r = 0,75^{**}$) et organiques ($r = 0,74^{**}$) mais non aux pigments chlorophylliens. La teneur de ces derniers est d'ailleurs faible malgré une fixation assez sensible de l'azote par les algues. Cette fixation est traduite par une corrélation négative entre les nitrates et la chlorophylle ($r = -0,59^*$). Les corrélations au seuil de 5 % s'établissent comme suit :

Profil longitudinal (fig. 3) : les profils rendent bien compte de la corrélation existant entre la turbidité et les matières minérales et organiques. On observe une augmentation de la turbidité de la station 1 à la station 5, suivie d'un palier assez irrégulier jusqu'aux retenues de l'aval (stations 14, 15 et 16) dans lesquelles une décantation paraît s'opérer. L'augmentation de débit du 15 au 17 juillet du Lot en amont d'Entraygues (station 1), visible sur la figure 2B, se traduit sur le profil (fig. 3) par une augmentation de la conductivité au niveau de la station 7.

Profil du 20 août 1974.

Conditions hydrauliques : la régulation du débit est effective au niveau de la station 1 depuis le 17 août (fig. 2B), date à partir de laquelle la distance séparant les stations 1 et 13 est parcourue, en moyenne, en 26-27 jours. Du 8 au 16 août, alors que le débit de la Truyère restait constant, une succession de lâchers a perturbé l'écoulement du Lot, provoquant à Entraygues un débit moyen trois fois plus élevé pour le Lot que pour la Truyère (fig. 2B). Auparavant, le Dourdou avait présenté une légère crue le 31 juillet.

Analyse statistique : la turbidité est corrélée à toutes les formes de matières en suspension : matières minérales ($r = 0,69^{**}$), matières organiques ($r = 0,86^{**}$), chlorophylle ($r = 0,73^{**}$) et phéophytine ($r = 0,71^{**}$). Ces matières en suspension sont elles-mêmes corrélées entre elles comme l'indique le schéma suivant :

Profil longitudinal (fig. 4) : la turbidité est surtout élevée entre les stations 11 et 13, dans une zone où la teneur en pigments chlorophylliens est importante. Les stations dans lesquelles se trouvent de fortes concentrations en matières minérales (12 et 13) correspondent aux stations influencées par la crue du 31 juillet sur le Dourdou. La plus grande partie des masses d'eau qui se trouvent en aval de la station 13 sont parties de la station 1 au cours de la période de régulation du mois précédent d'où une légère baisse de la conductivité. Dans les trois dernières stations, les teneurs en matières minérales diminuent par rapport au mois de juillet. Quant aux algues, elles constituent une part prépondérante des matières organiques en suspension. Malgré l'allure des profils, la corrélation négative entre pigments et nitrates n'est pas significative.

Profil du 12 septembre 1974.

Conditions hydrauliques : après la période de régulation du mois d'août, une série de lâchers ont été réalisés sur le Lot amont fin août — début septembre (fig. 2B). Dans le même temps les débits ont augmenté rapidement à la suite d'orages sur le Dourdou et le Célé. L'ensemble des débits a ensuite été ramené à des valeurs plus faibles. Le 12 septembre ($13 \text{ m}^3/\text{s}$ à Cahors), la distance séparant les stations 1 à 13 est parcourue, en moyenne, en 24-25 jours.

FIG. 3. — Profils longitudinaux du 20-21 juillet 1974 (km comptés à partir d'En-traygues).

FIG. 4. — Profils longitudinaux du 20 août 1974.

FIG. 5. — Profils longitudinaux du 12 septembre 1974.

FIG. 6. — Profils longitudinaux du 3 décembre 1974.

FIG. 7. — Profils longitudinaux du 10 mars 1975.

FIG. 8. — Profils longitudinaux du 14 mai 1975.

Fig. 9. — Profils longitudinaux du 23 juillet 1975.

Analyse statistique : on notera les corrélations existant entre la turbidité et l'alcalinité ($r = 0,60^*$) traduisant l'influence des eaux en provenance du Dourdou, entre les matières minérales et la phéophytine ($r = 0,60^*$) ainsi qu'entre la conductivité et la chlorophylle ($r = 0,53^*$).

Profil longitudinal (fig. 5) : la turbidité est dans l'ensemble plus élevée qu'au mois d'août par suite d'une augmentation des matières minérales en suspension. Inversement, les matières organiques et les pigments chlorophylliens sont en régression sur presque tout

le cours du Lot. La quantité importante de matières minérales en suspension à la station 9 est due à la présence d'une drague flottante en opération 200 m environ en amont du point de prélèvement. Les teneurs élevées des stations 12 et 13 ont la crue du Dourdou pour origine.

Cette turbidité ne semble pas avoir sévèrement entravé le développement des algues, bien que la proportion de phéophytine soit importante (corrélation positive entre matières minérales et phéophytine).

Aux trois dernières stations, on est donc en présence de masses d'eau parties d'Entraygues (station 1) au cours du mois d'août ; les teneurs en pigments y sont assez comparables aux maxima rencontrés durant la période de régulation du mois précédent, et la conductivité y est élevée.

Profil du 3 décembre 1974.

Conditions hydrauliques : la semaine précédant les mesures a été caractérisée par de très forts débits (fig. 2A). Le 27 novembre ont été ainsi relevés : 224 m³/s sur le Lot en amont d'Entraygues, 186 m³/s sur la Truyère, plus de 100 m³/s sur le Dourdou et 204 m³/s sur le Célé. Il s'en est suivi une crue exceptionnelle dans la zone aval : 725 m³/s en moyenne le 28 novembre à Cahors, avec un maximum de 765 m³/s. Le 3 décembre, la distance séparant les stations 1 et 13 est parcourue en 2 à 4 jours.

Analyse statistique : les corrélations observées traduisent l'accroissement régulier de la plupart des paramètres de l'amont vers l'aval (conductivité, nitrates, etc...).

Profil longitudinal (fig. 6) : il est difficile de distinguer l'origine des différents apports en raison des conditions exceptionnelles de débit mais la part due au ruissellement sur le bassin versant paraît très importante. La biomasse d'algues est très réduite. La turbidité due à cette crue demeure relativement faible. La valeur de 75 FTU relevée à Cahors le 28 novembre est déjà tombée à 19 FTU le 1^{er} décembre pour un débit encore très fort (420 m³/s). Le 3 décembre avec un débit moyen de 348 m³/s à Cahors, l'ensemble du Lot présente une turbidité modérée (fig. 6).

Profil du 10 mars 1975.

Conditions hydrauliques : le 8 mars au soir, une crue soudaine du Dourdou avait fait passer le débit de 11 à 110 m³/s en 7 heures, cette augmentation étant suivie d'une diminution rapide. En outre, en amont d'Entraygues (station 1), le Lot et la Truyère présentent une crue simultanée qui porte le débit de chacune de ces rivières à 100 m³/s à leur confluence ; cette crue culmine les 10 et 11 mars (fig. 2A). Le 10 mars, pour un débit de 221 m³/s à la station 7, la distance séparant les stations 1 à 3 est parcourue en moyenne en 2 à 4 jours.

Analyse statistique : un certain nombre de corrélations s'expliquent par les apports du Dourdou lors de la crue du 8 mars ; c'est le cas notamment des corrélations existant entre les orthophosphates et les nitrites ($r = 0,76^{**}$), la turbidité ($r = 0,71^{**}$), les matières organiques ($r = 0,73^{**}$) et les matières minérales ($r = 0,68^{**}$). Le schéma s'établit comme suit :

Profil longitudinal (fig. 7). L'évolution amont-aval de la turbidité est pratiquement calquée sur le régime hydraulique du Dourdou, ce qui montre clairement l'influence de cet affluent sur la qualité des eaux du Lot. La vitesse de propagation du pic de turbidité, relativement modérée, est de 180 km en 38 h, soit 4,7 km/h ou 1,3 m/s. Les teneurs en nitrates s'accroissent de l'amont vers l'aval en raison du lessivage du bassin versant (notamment des terrains agricoles), et d'une biodégradation assez importante, mise en évidence par des teneurs notables en nitrites. Le développement des algues est semblable à celui du mois de décembre.

Profil du 14 mai 1975.

Conditions hydrauliques : au cours de la période du 4 au 14 mai, le rapport Débit Lot amont/Débit Truyère passe de 1/5 à 5/2. Le

14 mai, le débit est de 82 m³/s à Cajarc. La distance séparant les stations 1 et 13 est parcourue en 5-6 jours.

Analyse statistique : les plus fortes corrélations positives observées relient la conductivité à l'alcalinité ($r = 0,98^{**}$), les matières minérales à la turbidité ($r = 0,81^{**}$). Les plus fortes corrélations négatives relient la silice à la conductivité ($r = -0,82^{**}$) et à l'alcalinité ($r = -0,87^{**}$).

Profil longitudinal (fig. 8) : la turbidité est assez faible par suite de l'absence d'apports importants en dehors de ceux du Riou Mort (en aval de la station 4) dont l'influence semble s'estomper rapidement. La biomasse algale augmente de l'amont vers l'aval. Les teneurs en nitrates sont variables. En raison des conditions hydrauliques pendant cette période, les maxima de conductivité et d'alcalinité se situent dans la partie médiane du Lot inférieur (prépondérance des eaux du Lot par rapport aux eaux de la Truyère).

Profil du 23 juillet 1975.

Conditions hydrauliques : la période précédant la date du profil a été caractérisée par des débits élevés pour la saison mais présentant une nette tendance à la baisse. L'importance relative des apports du Lot et de la Truyère varie en permanence durant cette période. La distance séparant les stations 1 à 13 est parcourue en 11 jours (environ 55 m³/s).

Analyse statistique : les plus fortes corrélations positives relient les matières minérales aux matières organiques ($r = 0,93^{**}$) et à la

turbidité ($r = 0,82^{**}$), et les plus fortes corrélations négatives la silice aux matières minérales ($r = -0,83^{**}$) et aux matières organiques ($r = -0,83^{**}$).

Profil longitudinal (fig. 9) : la turbidité observée à partir de la station 9 est liée à la prolifération des algues, aux matières organiques et minérales ; cette prolifération entraîne un épuisement des sels nutritifs (nitrates et phosphates). Il lui est associé une augmentation des teneurs en matériaux détritiques de taille élevée (dont le diamètre est supérieur à $32\ \mu$). Cette fraction se maintient en suspension sous la forme d'agrégats hétérogènes comprenant des produits d'excrétion des algues et des bactéries, l'ensemble étant lié aux matières minérales qui servent de support. Une autre fraction de ce complexe provient des rejets agricoles, urbains et industriels. Des flocons de faible densité moyenne se forment ainsi et maintiennent les matières minérales en suspension. Ceci explique les fortes corrélations positives existant entre matières minérales, matières organiques et turbidité.

FACTEURS DE VARIATION

1. — Expression de la teneur en chlorophylle *a*.

Afin d'établir une expression de la teneur en chlorophylle *a* de l'eau de la rivière, 118 observations portant sur les 6 variables suivantes ont été utilisées :

TEM : température de l'eau (degré C)	m = 15,74	s = 6,61
MO : matières organiques (mg/l)	m = 2,40	s = 1,58
CHL : chlorophylle <i>a</i> (μ g/l)	m = 4,59	s = 4,95
N : N — NO ₃ (μ g/l)	m = 463,08	s = 196,67
TMAX : température maximale de l'air (degré C)	m = 19,62	s = 6,25
INS : durée d'insolation (h)	m = 6,84	s = 3,20

(m = moyenne ; s = écart-type).

Les matières organiques considérées sont les matières organiques totales, c'est-à-dire comprenant algues et complexe déritique. La température maximale de l'air et la durée d'insolation ont été relevées à Gourdon.

Une régression linéaire multiple a été appliquée dans le but de représenter la variable CHL (chlorophylle *a*) en fonction des autres variables. La procédure « pas à pas » a été employée (DAGET 1976).

L'équation exprimant le mieux la variation de chlorophylle *a* est la suivante :

$$\text{CHL} = -2,346 + 0,316 \text{ TEM} + 1,111 \text{ MO} - 0,005 \text{ N} + 0,237 \text{ INS}$$

Les coefficients de corrélation multiple, dans l'ordre de la procédure pas à pas, sont :

$$\text{TEM} \dots \dots \dots r = 0,644 \quad (r^2 = 44 \% ; F = 91,24)$$

$$\text{TEM} + \text{MO} \dots \dots \dots r = 0,777 \quad (r^2 = 63,3 \% ; F = 87,42)$$

$$\text{TEM} + \text{MO} + \text{N} \dots \dots \dots r = 0,803 \quad (r^2 = 64,4 \% ; F = 68,83)$$

$$\text{TEM} + \text{MO} + \text{N} + \text{INS} \dots \dots r = 0,810 \quad (r^2 = 65,6 \% ; F = 52,89)$$

Les valeurs de F sont toutes hautement significatives.

Pour décrire les variations de la chlorophylle *a*, les quatre variables (dans un ordre de signification décroissant) température, matières organiques, azote des nitrates et durée d'insolation rendent donc compte de 65,6 % de la variance totale lorsqu'elles sont introduites dans un modèle de régression linéaire.

2. — Analyse multivariée (fig. 10).

La matrice des données a été analysée en composantes principales. Cette matrice comprend 118 unités statistiques (7 profils amont-aval portant chacun sur 16 stations, avec 3 stations supplémentaires pour 2 des profils) et 15 variables (température TEM, turbidité TUR, matières organiques MO, matières minérales MM, chlorophylle *a* CHL, phéophytine PHE, pigments totaux PIG, conductivité OMG, alcalinité ALC, silice SIO, nitrates NO₃, nitrites NO₂, phosphates PO₄, température maximale de l'air TMA, durée d'insolation INS). L'analyse a été réalisée sur données réduites.

Les deux résumés graphiques (fig. 10) indiquent les positions des unités statistiques et des variables dans les plans des axes I et II d'une part, et I et III d'autre part. Les unités statistiques (stations) sont regroupées par profils amont-aval ; en outre, les tracés conduisant des stations amont vers les stations aval sont indiqués pour les mois de mars et de juillet 1975. Les variables (paramètres physico-chimiques) sont représentées par leurs symboles ; notons que les positions des points-variables expriment uniquement les corrélations avec les axes, dans le but de faciliter l'interprétation.

Les trois premières valeurs propres, ainsi que les pourcentages de variance totale et pourcentages cumulés correspondants sont les suivants :

Valeurs propres	Pourcentages de variance	Pourcentages cumulés
5,06	33,75	33,75
3,19	21,28	55,03
1,87	12,48	67,50

FIG. 10. — Analyse en composantes principales des variations entre les stations. Position des stations et des variables physico-chimiques sur le plan des axes I et II (fig. 10A) et sur le plan des axes I et III (fig. 10B).

On observe sur les deux figures 10A et B le regroupement des stations aval du profil d'août 1974 et des stations du profil de juillet 1974 : l'eau se trouvant dans les stations aval en août était partie d'Entraygues pendant la régulation des débits du 18 au 30 juillet. On observe de même le regroupement des stations aval du profil de septembre 1974 et de certaines stations du profil d'août : les masses d'eau se trouvant en aval en septembre 1974 ont pour origine des eaux parties d'Entraygues lors de la période de régulation du 17 au 27 août.

La première composante s'interprète aisément : les variables TMA, TEM, INS, PIG et CHL (valeurs positives) et NO_3 (valeurs négatives) contribuent le plus à sa formation. Cet axe rend compte de la production d'algues et des facteurs intervenant le plus dans cette production. Pour des valeurs positives sur l'axe I, on trouve la majeure partie des profils d'été ; les autres profils sont situés intégralement du côté des valeurs négatives de l'axe I. On notera la différence existant entre les profils de juillet 1974 et 1975, essentiellement due aux conditions météorologiques.

La deuxième composante rend compte de la plus ou moins grande turbidité de l'eau. Les variables MO, MM et TUR contribuent le plus à sa formation. En mars 1975, l'évolution amont-aval (ligne fléchée) traduit l'existence d'un front de turbidité dû à une forte charge en matières minérales au niveau des stations 11 et 12 lors du passage d'une crue. En juillet 1975, la turbidité augmente à peu près régulièrement de l'amont vers l'aval par suite de l'augmentation des teneurs en algues. Les successions amont-aval pour les autres mois n'ont pas été représentées ; elles sont très variables par suite de la diversité des matières en suspension et de la complexité de leur évolution.

La troisième composante semble pouvoir être interprétée en termes de paramètres relatifs à la minéralisation de l'eau. Les variables OMG, SIO et ALC contribuent le plus à sa formation et c'est en fonction de ces variables que se distribuent les stations le long de cet axe.

DISCUSSION

Les principaux facteurs de variation entre stations, dans l'ordre d'importance décroissante donné par l'analyse en composantes principales, sont les suivants :

- le facteur saisonnier, comprenant la température et la durée d'insolation et comme conséquence biologique les teneurs en pigments chlorophylliens et en nitrates ;
- la turbidité, avec les variables matières minérales et organiques ;
- la minéralisation de l'eau : conductivité, alcalinité et silice.

L'influence des saisons observée par les premiers auteurs (KOFID 1908) est conforme à celle déjà décrite pour le Lot (DAUTA 1975) et pour de nombreuses autres rivières (HYNES 1970). On notera cependant l'importance de la température de l'eau par rapport aux autres facteurs (et notamment la durée d'insolation) pour expliquer les variations de chlorophylle *a* dans le modèle de régression multiple. Cette influence saisonnière est en fait accentuée par l'action humaine sur les débits.

La turbidité est surtout liée à la présence de matières minérales ; elle a diverses origines. Les plus fortes turbidités observées proviennent de crues sur le Dourdou (41 FTU à la station 12 le 8 mars),

FIG. 11. — Corrélations entre paramètres sur l'ensemble de la période étudiée.

affluent de la rive gauche drainant des terrains gréseux du permotrias. Sur le cours du Lot, cette turbidité se poursuit très loin vers l'aval et, selon les conditions hydrauliques, peut persister longtemps après la crue. En période de pluie, les apports dus au ruissellement tendent à augmenter régulièrement la turbidité vers l'aval mais ils ont une influence moindre (8 FTU à la station 16 le 3 décembre 1974). Les apports directement liés aux activités humaines — exploitation de gravières, rejets du Riou Mort — sont parfois importants (55 FTU sur le Riou Mort le 14 mai), mais demeurent localisés. Enfin, à la suite de périodes d'étiage, les lâchers de barrage de l'amont provoquent, pour des débits encore modérés, la remise en suspension des sédiments non stabilisés. Quant aux algues du phytoplancton, c'est essentiellement sous la forme de matière organique inerte mêlée à des détritiques et aux matières minérales qu'elles provoquent une augmentation de la turbidité.

La minéralisation de l'eau est la troisième cause de variation. A cet égard, le fonctionnement des barrages en amont d'Entraigues

est déterminant : les eaux en provenance de la Truyère, moins minéralisées, sont par exemple moins propices au développement des algues que celles du Lot amont.

Les corrélations observées entre les divers paramètres confirment ces interprétations. Ces corrélations, pour l'ensemble de la période d'étude, sont indiquées ci-dessus (*fig. 11*). La turbidité est importante en hiver, période au cours de laquelle les eaux sont fortement chargées en matières en suspension minérales ($r = 0,96^{**}$) et organiques ($r = 0,57^{**}$), ainsi qu'en sels nutritifs : nitrates ($r = 0,33^{**}$) et phosphates ($r = 0,19^{*}$). Compte-tenu de la nature des terrains et de la présence de grandes retenues sur la Truyère, la majeure partie des matières minérales provient des cours d'eau de la partie Sud-Est du bassin versant (Lot amont, Dourdou, Riou Mort).

En été, les apports d'eau de la Truyère sont importants alors que ceux du bassin versant aval sont faibles. Or, les eaux de la Truyère sont caractérisées par une alcalinité et une conductivité faibles. A la période pendant laquelle la température de l'eau est la plus élevée, l'ensemble du Lot tend donc à présenter de faibles alcalinité et conductivité. Ces deux derniers paramètres ne devraient donc pas être en corrélation positive avec la température. C'est ce qu'on observe pour l'alcalinité. Mais la conductivité se trouve au contraire corrélée à la température ($r = 0,38^{**}$); en fait, cette corrélation rend compte de l'importance au cours de l'étiage estival des apports non liés au bassin versant naturel (rejets urbains et surtout industriels). La silice est corrélée à la température ($r = 0,23^{**}$). Elle présente en effet un maximum en été du fait de l'importance des apports de la Truyère et d'une moindre mobilisation par les diatomées dont les populations déclinent dès la fin du printemps (DAUTA 1976). Enfin, la matière organique est corrélée aux pigments chlorophylliens d'une part (pigments totaux : $r = 0,55^{**}$; chlorophylle : $r = 0,47^{**}$; phéophytine : $r = 0,41^{**}$) et d'autre part aux nitrites ($r = 0,34^{**}$) : ceci rend compte de la double origine de la matière organique totale considérée dans ce travail (algues d'une part, complexe détritique d'autre part).

Les corrélations négatives existant entre la température et la turbidité ($r = -0,37^{**}$) et la température et les matières minérales ($r = -0,41^{**}$) confirment l'influence des crues d'hiver sur la turbidité. L'opposition des nitrates à la température ($r = -0,52^{**}$), aux matières organiques ($r = -0,19^{**}$) et aux pigments totaux ($r = -0,57^{**}$) rend compte de la diminution estivale des nitrates par suite du développement des algues. Enfin, les corrélations négatives entre la silice et les matières minérales ($r = -0,20^{*}$) et organiques ($r = -0,32^{**}$) sont dues à la faible charge en matières en suspension des eaux provenant de la Truyère, riches en silice.

La variation des teneurs en matières minérales et organiques transportées par le Lot est donc largement influencée par l'homme. Cependant, même si elle s'exerce surtout par l'intermédiaire des débits, cette influence prend des formes complexes ; elle ne saurait être corrigée que par la mise en œuvre et la coordination d'actions diverses et multiples.

TRAVAUX CITÉS

- B.C.E.O.M. (Bureau Central d'étude pour les équipements d'Outre-Mer). 1972. — Avant-projet d'assainissement de la région de Decazeville.
- BORDES (J. M.), LUCHETTA (J. C.) et ROCHARD (M.). 1973. — Etude d'un écosystème d'eau courante : le Lot. *Thèse 3^e cycle Sciences. Toulouse*, 152 p.
- B.R.G.M. 1974. — Exploitation des sables et graviers de la vallée du Lot. *Service Géologique régional Midi-Pyrénées. 74 SGN 239 MPY. Toulouse*, 30 p.
- DAGET (J.). 1976. — *Les modèles mathématiques en écologie*, Masson, Paris, 172 p.
- DAUTA (A.). 1975. — Etude du phytoplancton du Lot. *Annls Limnol.*, 11 (3) : 219-238.
- GOLTERMAN (H. L.). 1969. — *Methods for chemical analysis of freshwaters*. Blackwell, 188 p.
- GOLTERMAN (H. L.). 1975. — *Chemistry in River Ecology*. B. A. WHITTON (ed) : 39-80.
- HYNES (H. B. N.). 1970. — *The ecology of running waters*. Liverpool University Press, 555 p.
- KOFOID (C. A.). 1908. — The plancton of the Illinois River, 1894-1899, With introductory notes upon the hydrography of the Illinois River and its Basin. Part II. Constituent organisms and their seasonal distribution. *Bull. Ill. St. Lab. Nat. Hist.*, 8 : 2-360.
- MASSIO (J. C.). 1976. — Facteurs d'évolution des matières en suspension minérales et organiques dans les eaux du Lot. *Thèse 3^eème cycle Sciences. Toulouse*, 146 p.
- NEEL (J. K.). 1963. — Impact of reservoirs. *Limnology in North America* (ed. D. G. FREY). Madison : 575-593.
- SHELDON (R. W.) et SUTCLIFFE (W. H.). 1969. — Retention of marine particles by screens and filters. *Limnol. Oceanog.*, 14 : 141-144.
- S.O.D.E.T.E.G. — A.A.V.L. (Association pour l'Aménagement de la Vallée du Lot). 1976. — Propositions pour un schéma d'aménagement hydraulique de la vallée du Lot, 123 p. + 4 cartes.
- S.O.G.R.E.A.H. 1975. — Etiages du Lot moyen. Etude sur modèle mathématique de l'exploitation des usines. Document 11 792.