

# Dynamique des apports en nutriments azotés et phosphorés à la rivière Aveyron

E. Chauvet<sup>1</sup>

M. Prat<sup>2</sup>

J.N. Tourenq<sup>3</sup>

A partir de données physico-chimiques acquises sur le cours supérieur de l'Aveyron (octobre 79 à septembre 80), la nature des apports en nutriments azotés et phosphorés, leur localisation et le rôle auto-épurateur de certains tronçons sont mis en évidence.

## Dynamics of contributions of nitrogen and phosphorus to the river Aveyron.

From the start of the acquisition of physical-chemical data from the upper reaches of the Aveyron (October 1979 - September 1980), the nature of contributions of nitrogen and phosphorus nutrients, their location and the self-purifying role of certain sections are described.

Le cours supérieur de l'Aveyron (amont de Rodez) présente des signes manifestes d'eutrophisation. Si, même dans les zones lotiques, le phytoplancton est peu concerné par ce phénomène, le périphyton (essentiellement des Diatomées benthiques) et les macrophytes aquatiques traduisent, par leur important développement, une évolution en liaison avec l'apport de nutriments (Chauvet 1981).

Nous nous sommes efforcés dans ce travail de localiser et définir la nature des apports en nutriments le long du Haut-Aveyron et de ses affluents au cours d'un cycle annuel.

### 1. — Rivière étudiée

L'Aveyron est un affluent rive droite du Tarn. La région étudiée correspond au bassin supérieur de son cours, en amont de Rodez. Quinze stations de

mesure ont été choisies sur le cours principal et les affluents (figure 1).

Les affluents de la rive droite (le Merdans, la Serre) présentent une résistivité faible, un pH élevé, une alcalinité et une dureté calcique fortes et peu de silice. Ils s'opposent aux affluents de la rive gauche (la Verlenque, l'Olip, le Galtiès, la Loubière et la Briane) dont la résistivité est élevée, le pH plus faible, l'alcalinité et la dureté calcique faibles et la teneur en silice importante ; une teneur en silice et une résistivité beaucoup plus élevées caractérisent les stations O1, O2, G et surtout L. Ces différences sont dues à la nature géologique des sous-bassins versants drainés par ces affluents : globalement, le sud (affluents rive gauche) est un massif cristallin, alors que le nord (affluents rive droite) est constitué de causses calcaires.

### 2. — Méthodes

Les méthodes de dosage d'azote et de phosphore sont celles utilisées pour mettre en évidence dans les eaux, de faibles quantités de nutriments.

L'ammoniaque a été dosé selon la méthode au bleu-indophénol (de Dora Sheiner) avec une préci-

1. Centre d'Ecologie des Ressources Renouvelables (C.N.R.S.), 29, rue J. Marvig, 31055 Toulouse Cedex.

2. Institut de Mécanique des Fluides (I.A.), 2 rue Camichel, 31071 Toulouse Cedex.

3. Laboratoire d'Hydrobiologie, E.R.A. 702 du C.N.R.S., Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex.

sion de 2  $\mu\text{g.l}^{-1}$  d'azote ammoniacal; les nitrites, dosés selon la méthode de Griess, ont été décelés avec une précision de 0,2 à 2  $\mu\text{g.l}^{-1}$  d'azote nitreux; les nitrates ont été dosés selon la méthode au salicylate de sodium avec une précision de 2 à 10  $\mu\text{g.l}^{-1}$  d'azote nitrique. Les orthophosphates et le phosphore total dissous (après minéralisation en milieu

acide) ont été dosés selon la méthode de Stephens, avec une précision allant de 0,1 à 2  $\mu\text{g.l}^{-1}$  de phosphore.

Ces dosages d'azote et de phosphore, et les mesures de débit instantané correspondantes ont été effectuées mensuellement au niveau de chaque station (tableau I).

Tableau I. Mesures physico-chimiques réalisées aux 15 stations d'octobre 1979 à novembre 1980.

- 1: concentration en ammoniacale ( $\mu\text{g.l}^{-1}$  N-NH<sub>4</sub>);
- 2: concentration en nitrites ( $\mu\text{g.l}^{-1}$  N-NO<sub>2</sub>);
- 3: concentration en nitrates ( $\mu\text{g.l}^{-1}$  N-NO<sub>3</sub>);
- 4: concentration en orthophosphates ( $\mu\text{g.l}^{-1}$  P-PO<sub>4</sub>);
- 5: concentration en phosphore total dissous ( $\mu\text{g.l}^{-1}$  P);
- 6: débit instantané (l.s<sup>-1</sup>).

1												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
PH	n	0	10	8	196	12	5	14	0	0	30	20
V	n	0	4	81	395	6	5	7	50	31	70	0
N	n	3	36	358	177	0	n	n	n	n	n	n
NP	n	214	144	519	436	161	0	177	154	87	511	240
OP	n	20	17	0	83	20	0	0	5	126	48	18
OT	n	42	28	135	187	32	22	47	32	20	65	24
PD	n	34	0	17	50	16	32	5	10	40	83	52
PM	n	36	25	14	15	4	7	10	27	30	32	0
PS	n	87	7	12	12	12	0	7	2	10	11	10
GS	09	19	25	77	48	182	44	120	50	155	63	81
G	n	70	5	5	14	0	13	11	10	18	10	10
L	n	0	1	1	5	2	0	13	4	0	0	0
MG	n	0	16	24	0	53	31	20	30	30	75	54
B	n	7	6	84	4	70	7	6	79	61	151	12
NP	821	37	86	238	174	220	400	456	571	579	680	185

2												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
1	5	7	2,1	2,1	1,1	0,0	1,4	1,7	0	2,3	1,3	2,5
2	0,9	1,5	2,5	0,0	7	0,0	0,0	1,5	5	0	0,0	0
3	18,5	1,7	18,5	6,2	2,4	1,5	n	n	n	n	n	n
4	17,2	0,0	13,7	11,0	7,2	206,0	16,6	12,1	46,0	20,5	82,4	61,2
5	7,0	3,0	8,4	2,5	2,7	11,7	5,0	6,0	4,0	10,0	2,6	2,1
6	2,0	3,0	18,5	2,1	4,2	10,0	12,1	7,0	8,0	21,7	12,1	15,4
7	19,0	5,6	9,2	3,0	5,5	10,3	12,0	11,6	16,0	20,1	30,0	24,3
8	9,0	4,0	14,7	6,4	1,7	8,4	7,0	8,6	5,5	15,2	22,0	5,3
9	2,0	0	0,0	5,0	1,7	5,0	5,0	2,5	3,2	12,0	2,3	3,4
10	23,4	4,5	10,0	7,5	2,4	0,0	40,1	10,7	12,4	21,0	21,1	13,7
11	0,0	3,0	2,5	1,6	1,3	3	0,0	1,2	3	0,0	0,0	0,0
12	0,0	1,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	18,0	4,0	17,0	3,4	4,0	5,4	1,4	12,1	16,1	15,1	37,0	4,3
14	21,2	15,0	14,0	19,4	16,1	13,1	29,2	25,7	25,0	79,0	20,0	10,5
15	195,0	14,0	62,0	28,0	180,0	16,1	62,4	29,0	179,0	137,0	160,0	101,0

3												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
PH	1950	2554	2500	1303	3174	2502	3600	3000	3000	4400	4376	4363
V	1853	1230	1182	1223	1283	1240	756	1052	800	849	1011	931
N	3227	180	209	441	174	311	n	n	n	n	n	n
NP	2676	1326	1305	1413	1520	1670	1160	1315	1200	1300	1820	1487
OP	1410	813	820	1033	830	850	341	710	712	570	870	552
OT	1000	959	937	1152	1174	600	710	601	622	1150	1080	1101
PD	1451	1156	1150	1285	1260	1180	900	900	321	533	1270	1750
PM	1837	1396	1326	1250	1262	1293	630	683	780	690	1616	610
PS	1271	1314	1514	864	651	671	620	440	730	632	560	837
GS	2080	1250	1410	1810	1844	364	329	505	577	553	1445	900
G	605	304	350	330	451	372	471	374	355	435	641	740
L	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MG	1500	1611	1164	1181	1252	1451	1251	1451	1251	1451	1251	1451
B	2863	3576	3444	3020	2740	1205	2245	1814	1824	1852	1755	1805
NP	2200	2276	1762	1856	1856	1866	812	950	1364	1812	2681	1257

4												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
1	11,0	14,0	15,0	18,4	18,2	4,3	3,6	17,4	22,2	5,4	11,0	18,0
2	12,0	13,5	12,7	10,5	7,5	0,7	4,4	0,2	13,4	13,2	5,0	6,4
3	27,0	1,0	30,5	7,6	1,1	1	n	n	n	n	n	n
4	100,3	25,0	31,1	85,4	81,4	30,2	106,0	235,0	252,7	206,0	230,0	211,0
5	61,3	65,9	18,0	14,3	20,4	14,2	7,0	18,5	37,0	8,2	47,5	66,6
6	45,4	26,1	31,0	20,4	25,1	25,2	70,0	31,5	82,0	211,0	181,0	227,4
7	112,6	36,4	36,0	30,2	30,1	34,0	57,0	32,1	125,0	191,0	150,0	180,0
8	137,4	27,7	40,2	25,1	25,1	27,6	12,6	31,0	51,3	125,3	80,0	142,0
9	1,4	4,7	10,0	10,6	2,0	1,3	4	7	1,4	2,1	1,1	3,0
10	221,5	61,0	71,3	60,0	80,7	57,4	79,3	41,5	153,7	246,0	124,0	177,0
11	2,0	1,1	5	2,0	2,3	5	0	4,2	2,3	1,6	1,8	4,2
12	2,0	2,0	2,2	3,0	0,0	1,9	7	1,9	1,1	1,4	2,5	2,5
13	85,1	20,5	10,0	29,0	40,0	30,0	11,1	53,4	6,4	55,0	80,0	40,2
14	47,5	62,6	85,6	127,7	120,5	125,2	425,6	205,5	679,4	704,4	712,4	602,2
15	235,0	83,0	106,0	102,0	120,0	154,0	310,0	229,0	420,0	715,0	301,4	577,5

5												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
PH	18,3	21,5	16,4	28,6	10,2	6,0	8,5	12,0	9,5	18,0	16,5	13,7
V	47,2	13,0	39,3	26,4	10,2	10,3	7,1	17,1	15,4	10,7	12,2	12,1
N	12,5	7,4	7,2	22,0	4,4	2,3	4	4	0	0	0	0
NP	118,1	126,2	133,0	140,0	140,0	144,0	140,0	133,0	214,0	205,0	246,0	334,0
OP	51,4	26,1	22,3	30,4	31,1	17,0	22,5	17,0	24,0	25,7	60,3	70,6
OT	80,2	10,6	61,7	30,5	39,7	23,6	39,0	52,3	54,2	23,9	184,0	205,0
PD	1201,5	41,4	46,0	75,4	47,2	41,0	54,3	26,0	130,0	137,0	132,0	345,0
PM	112,5	76,2	65,3	74,4	31,4	29,0	28,0	40,7	55,0	54,9	114,7	142,2
PS	10,0	16,3	40,2	3,3	3,6	4,3	3,3	10,7	4,4	12,0	11,0	11,0
GS	132,0	132,0	145,0	11,0	73,4	140,0	135,0	81,7	247,0	330,0	150,0	351,0
G	12,1	16,3	17,6	5,7	5,0	3,2	5,7	5,5	7,2	11,7	8,2	10,0
L	0,0	1,0	3,0	3,0	6,0	5,0	2,0	2,0	6,0	3,0	6,0	5,0
MG	77,1	20,5	32,0	78,4	80,3	11,1	24,4	75,0	47,4	73,0	112,4	93,5
B	141,5	52,7	65,7	179,0	145,6	141,0	610,0	825,0	841,0	740,0	495,0	495,0
NP	187,0	154,0	134,4	144,6	140,3	150,3	130,0	137,0	191,0	247,0	427,0	727,0

6												
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
PH	11,0	11,5	8,5	30,0	10,0	4,1	7,3	32	9	16	7	0
V	640	514	294	634	640	470	180	330	320	41	74	33
N	1531	300	276	250	531	231	0	0	0	0	0	0
NP	1150	1050	870	1210	870	700	500	500	800	1100	1100	1050
OP	1100	950	730	1100	870	370	450	275	320	130	20	0
OT	1100	950	730	1100	870	370	450	275	320	130	20	0
PD	2100	1610	1610	2710	1950	750	1050	525	510	390	100	0
PM	2500	2500	2600	4000	5100	1400	1800	1800	3450	1800	600	0
PS	2000	1900	2000	2200	2370	1470	1470	1470	420	420	301	261
GS	2100	710	910	4700	6210	6370	1610	1610	1610	1400	1400	1400
G	0	20	20	30	150	4	25	25	27	5	4	0
L	73	250	220	170	140	420						

### 3. — Résultats et discussion

#### a) Etude comparative des concentrations.

En A2, A5 et surtout A7, on observe de fortes concentrations en  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  et ortho- $\text{PO}_4$  (plus de  $100 \mu\text{g.l}^{-1}$  P). En A3, A4 et A6, on remarque une très nette diminution des teneurs par rapport aux stations précédentes, en particulier pour  $\text{NO}_2$ , ortho- $\text{PO}_4$  et P total dissous. Les concentrations sont sen-

siblement plus élevées en  $\text{O}_2$  qu'en  $\text{O}_1$ . Les teneurs en azote et phosphore de la Serre (S), du Galtiès (G) et de la Loubière (L) sont très faibles. La Briane (B) présente de fortes concentrations en  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ainsi que les plus fortes teneurs en phosphore du bassin.

A l'issue de cette analyse, on peut tracer une carte indiquant l'importance relative des teneurs en azote et en phosphore aux différentes stations d'étude (fig. 1).

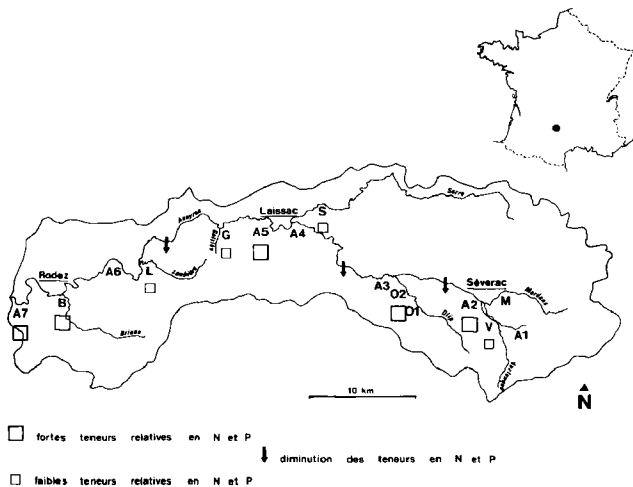


Fig. 1. Carte du haut-bassin de l'Aveyron indiquant l'importance relative des teneurs en azote et en phosphore aux différentes stations étudiées.

A1 l'Aveyron à sa source ; V la Verlanque ; M le Merdans ; A2 l'Aveyron à l'aval de Séverac ; o1 l'Olip à Recoules ; o2 l'olip à Varès ; A3 l'Aveyron à Bézonnes ; A4 l'Aveyron à Manson ; S la Serre à Coussergues ; A5 l'Aveyron à Laissac ; G le Galtiès ; L la Loubière ; A6 l'Aveyron à Roquette ; B la Briane au Monastère ; A7 l'Aveyron en aval de Rodez.

#### b) Etude des relations concentrations-débits.

D'après Manczak et Florczyk (1971) et Hall (1970), on peut résumer à trois cas simples les différents types de pollution d'une rivière (Belamie, 1978) :

- cours d'eau principalement pollué par les rejets ponctuels et constants proches de la station de

mesure ; la fonction  $C = f(Q)$  (avec, C : concentration et Q : débit) est décroissante et de type hyperbolique ;

- cours d'eau où le lessivage est prépondérant ; la fonction  $C = f(Q)$  est croissante et de divers types : linéaire, exponentielle, logarithmique ;

- cours d'eau moyennement pollué ; la fonction  $C = f(Q)$  est composite. L'apport en éléments fertilisants occasionné par les rejets (principal facteur de pollution pour les faibles débits) tend à être masqué par les apports dus au lessivage lorsque les débits augmentent.

Les figures 2, 3, 4 et 5 donnent une représentation graphique des relations concentration-débit pour  $NH_4$ ,  $NO_3$ , ortho- $PO_4$  et P total dissous (les concentrations en ordonnée et les débits en abscisse sont exprimées en valeur relative).

Fig. 2. Relations concentration-débit pour l'ammoniaque (O : valeur manquante ; concentrations en ordonnée et débits en abscisse sont exprimés en valeur relative du maximum pour chaque station).

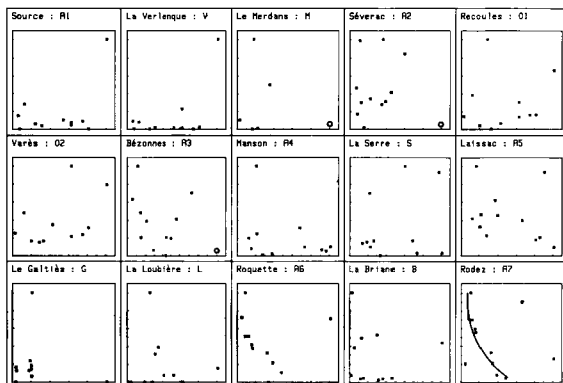
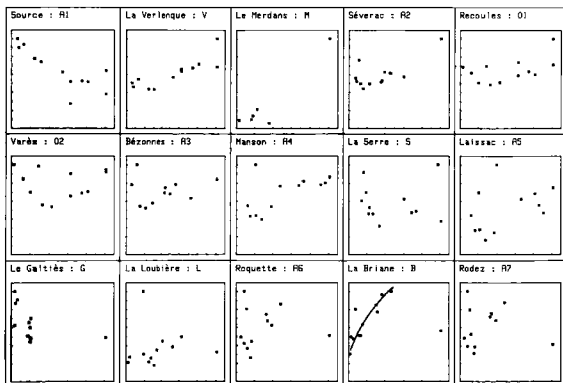


Fig. 3. Relations concentration-débit pour les nitrates (concentrations en ordonnée et débits en abscisse sont exprimés en valeur relative).



#### Rejets ponctuels :

L'examen des représentations graphiques de ces relations pour  $NH_4$ , ortho- $PO_4$  et P total dissous montre que :

- les stations A2, O2, A3 et A7 sont de façon très nette sous l'influence de rejets ponctuels. Ceci est particulièrement évident à la station A7 pour  $NH_4$  et aux stations A2 et O2 pour ortho- $PO_4$  et P total dissous, par exemple ;

Fig. 4. Relations concentration-débit pour les orthophosphates (concentrations en ordonnée et débit en abscisse sont exprimés en valeur relative).

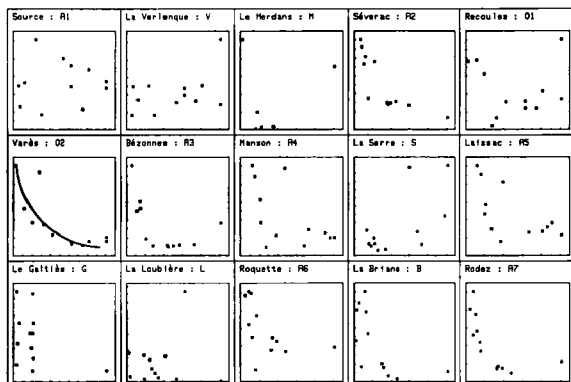
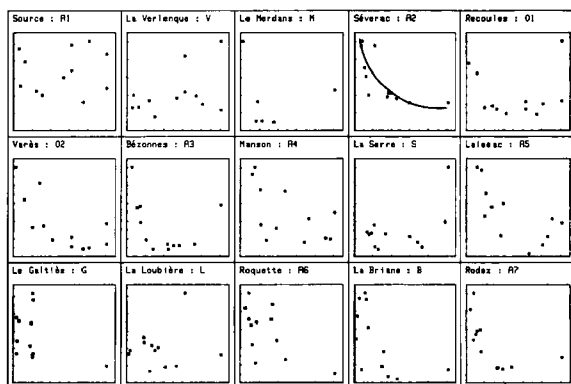


Fig. 5. Relations concentration-débit pour le phosphore total dissous (concentrations en ordonnée et débits en abscisse sont exprimés en valeur relative).



- les rejets ponctuels jouent un rôle important pour les stations A6, A5, A4 et B.

Rejets diffus :

L'examen visuel des relations concentration-débit pour  $\text{NO}_3$  montre que l'apport par lessivage est marqué pour les stations V, O1, A4, L et surtout B, et que ce mécanisme joue un rôle assez important pour les stations O2, A3 et A6.

#### Cas complexe :

La Serre, à la station S, est un exemple de rivière où la fonction  $C = f(Q)$  est composite. L'examen visuel de la relation  $(\text{NO}_3)\text{-}Q$  montre une grande dispersion des points, de même que la relation  $(\text{ortho-PO}_4)\text{-}Q$ . Il est donc impossible de distinguer un effet de dilution (rejet ponctuel) d'un effet de lessivage (rejet diffus).

À l'issue de cette deuxième analyse, on peut tracer une carte indiquant l'origine des apports (fig. 6).

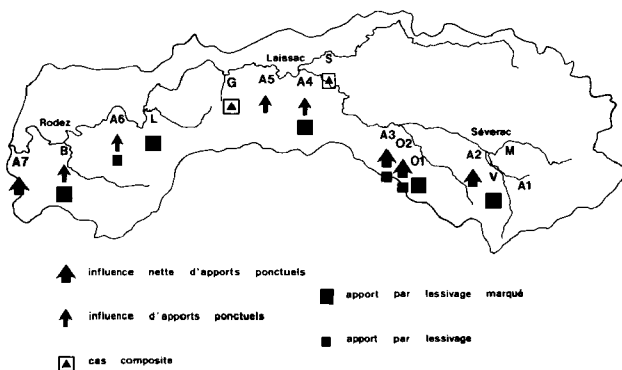


Fig. 6. Représentation schématique des types d'apports.

### c) Calcul des flux mensuels.

Les flux globaux ( $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ) parvenant à chaque station et dans chaque tronçon ont été calculés pour  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , ortho- $\text{PO}_4$  et P total dissous, chaque mois et dans l'hypothèse d'un régime permanent (tableau II).

Pour chaque station, on calcule donc les quantités :

$$\Phi_x^\alpha = Q_x \times C_x^\alpha$$

avec :  $\Phi_x^\alpha$  = flux en constituant  $\alpha$  à la station  $x$  ;

$Q_x$  = débit à la station  $x$  ;

$C_x^\alpha$  = concentration en constituant  $\alpha$  à la station  $x$

Pour chaque tronçon, on calcule la quantité R, différence entre deux flux consécutifs (si R est positif, il y a apport ; si R est négatif, il y a perte).

$$R_i^\alpha = \Phi_{i+1}^\alpha - \Phi_i^\alpha - \sum_{j=1}^n \Phi_j^\alpha = Q_{i+1} \times C_{i+1}^\alpha - Q_i \times C_i^\alpha - \sum_{j=1}^n \Phi_j^\alpha$$

Les stations  $i$  (amont) et  $i+1$  (aval) sont situées sur l'Aveyron, les  $n$  stations  $j$  sont situées sur les affluents entre  $i$  et  $i+1$ .

Ces calculs permettent l'étude de l'évolution spatiale et saisonnière de ces flux résiduels et leur comparaison avec les flux arrivant aux stations. D'une

manière générale, on constate une opposition entre les six premiers et les six derniers mois de l'étude ; les flux sont nettement plus faibles au printemps et en été, particulièrement ceux de nitrates, élément pour lequel les concentrations fortes sont associées aux débits élevés (hiver).

- R1 et R6 sont positifs pour les quatre éléments considérés et fortement corrélés, respectivement avec A2 et avec A7 ;
- R2 est presque toujours négatif pour les quatre éléments ;
- R3 est positif pour  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$  ; pour le phosphore, R3 est positif de novembre à mars et négatif ou très faible d'avril à septembre ;
- R4 est positif pour ortho- $\text{PO}_4$  et P total dissous ; pour  $\text{NO}_3$ , R4 est négatif au printemps et en été et positif en automne et en hiver ;
- R5 est positif pour  $\text{NO}_3$ , négatif pour les autres éléments.

Ceci confirme le caractère ponctuel des apports de nutriments au niveau des stations A2 (Séverac), A5 (Laissac) et A7 (Rodez). Par ailleurs, un phénomène de « perte » de nutriments est mis en évidence sur certains tronçons : en particulier, les flux d'azote et de phosphore se révèlent négatifs tout au long de l'année sur R2, sur R5 (ammoniaque, phosphore), et au printemps et en été sur R3 (phosphore) et R4 (nitrates).



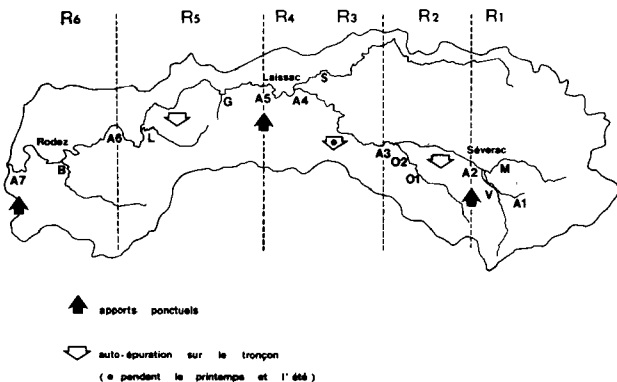


Fig. 7. Localisation des apports essentiels et des phénomènes d'autoépuration.

affluents la Verlenque, le Galtiès, la Loubière). (3) L'effet des zones cultivées sur la charge en nutriments se manifeste sur la Briane; cet effet se trouve cependant partiellement masqué par l'existence de rejets ponctuels. (4) Certains tronçons de l'Aveyron et de quelques affluents (la Serre) ont un rôle auto-épurateur (phénomènes de dénitrification bactérienne). (5) Les trois localités les plus importantes du bassin versant (Séverac, Laissac et surtout Rodez) sont à l'origine d'importantes pollutions ponctuelles.

#### Travaux cités

Belamie (R.). 1978. — Transfert des fertilisants vers les eaux de surface dans un petit bassin versant agricole. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20 : 1503-1508.

- Casey (H.). 1977. — Origin and variation of nitrate-nitrogen in the chalk springs, streams and rivers in Dorset, and its utilisation by higher plants. *Prog. Wat. Tech.*, 8 (4/5) : 225-235.
- Chauvet (E.). 1981. — Eutrophisation du Haut-Aveyron. *Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Toulouse* : 97 p.
- Hall (R.). 1970. — Dissolved solids discharge relationships 1 - mixing models. *Wat. Res. Research*, 6 (3) : 845-850.
- Hill (A.R.). 1979. — Denitrification in the nitrogen budget of a river ecosystem. *Nature*, 281 : 291-292.
- Kaushik (N.K.), Robinson (J.B.), Stammers (W.N.) & Whiteley (H.R.). 1981. — Aspects of nitrogen transport and transformation in headwater streams. In: *Perspectives in Running Water Ecology*, Lock M.A. & Williams D.D. (eds), *Plenum Press, New York* : 113-139.
- Manczak (H.) & Florczyk (H.). 1971. — Interpretation of results from studies of pollution of surface flowing water. *Water Research*, 5 (8) : 575-584.
- Robinson (J.B.), Whiteley (H.R.), Stammers (W.N.), Kaushik (N.K.) & Sain (P.). 1979. — The fate of nitrate in small streams and its management implications. In: *Best management practices for agriculture and silviculture*. Proceedings of the 10th Annual Cornell Agricultural Waste Management Conference. R.C. Loehr, D.J. Haith, M.F. Walter and C.S. Martin (eds), 1978. Ann Arbor Sci. Publishers Inc., Ann Arbor, M.I.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un programme P.I.R.E.N. financé par l'Agence Financière de Bassin Adour-Garonne (convention n° E/09/79).