

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/l	NO ₂ ⁻ mg N/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	PO ₄ ⁻⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
85 M	1-10-75	22,9	9,3	0,02	0	0,3			212,97	7,4
86 M	2-10-	13	6,6	0,3	0	4,8	13,2	60		
87 M	3-10-	9,89	3,6	1	3,33	2,0				
88 M	6-	4,25	5,1	0,07	0,47	0,6	2,6	22,1	21,59	8
89 M	7-	4,21	5,3	0,05	0,16	1,1	2,2	20	22,10	7,7
90 M	8-	3,88	5,6	0	0,19	0,43	1,9	20,1	21,73	7,1
91 M	9-	3,83	5,6	0	0	0,45	1,5	20,2	21,45	7,3
92 M	10-	3,71	5,6	0	0	0,52	1,4	22,1	20,78	7,1
93 M	11-	3,46	5,6	0	0	0,3	1,6	26,3	19,38	6,6
94 M	12-	3,46	5,6	0	0	0,4	2,4	36,5	19,38	6,3
95 M	13-	7,44	4,8	0,05	0,7	1,25	10,4	23,2	35,34	6,5
00 M	14-	5,80	4	0,05	0,55	0,8	10,1	23,1	22,91	7,7
01 M	15-	5,64	4,1	0,15	0,32	0,4	5,2	21,1	22,84	8,9
02 M	16-	5,72	4,5	0,07	0,32	1,4	6	23,7	25,91	8,4
03 M	17-	4,88	4,7	0,1	0,16	0,7	3,3	20,9	22,94	8,5
04 M	18-	5,52	4,8	0,04	0,47	0,7	4	21,3	26,72	7,5
05 M	19-	5,08	6	0,02	0,39	0,7	1,4	20,6	30,48	7,9
06 M	20-	4,64	4,8	0,01	0,55	0,5	3,3	20,6	22,27	8,1
08 M	21-	5,08	5,1	0	0,32	0,3	1,3	20,1	25,91	7,4
09 M	22-	5	5,1	0	0,24	0,4	1,3	19,8	25,5	7,2
10 M	23-10-75	4,80	5	0	0,95	0,3	1,3	19,2	24	6,7
11 M	24-	4,64	5	0	0	0,3	1,4	18,8	24	7
12 M	25-	4,4	5	0	0,16	0,3	1,4	18	23,2	7,1
13 M	26-	4,46	5,1	0	0,08	0,4	1,4	17,3	22	7
14 M	27-	4,6	5,1	0	0,08	0,3	1,4	18,4	23,46	7
15 M	28-	4,6	5,1	0,03	0,47	0,2	1,3	17	23,46	6,5
16 M	4-11-75	2,89	4,7	0,05	0,39	0,2	1,3	18,1	13,64	7,5
17 M	5-	2,98	4,8	0,03	0,16	0,2	1,8	18,7	14,42	7
18 M	6-	3,07	4,8	0,04	0,47	0,2	1,7	19	14,86	7,4
19 M	7-	3,63	4,4	0,12	0,47	0,5	4	18,9	15,83	7,2

TABLEAU 7 (b) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MEIARCHEZ

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/l	NO ₂ ⁻ mg N/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	PO ₄ ⁻⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
120 M	8-11-75	4,75	3,8	0,09	0,23	0,5	8	23,4	18	8,4
121 M	9-	3,81	4,3	0,02	0,03	0,35	3,3	19,7	16,38	7,5
122 M	10-	3,85	4,6	0,02	0,08	0	1,7	19,5	17,71	7,4
125 M	11-	3,34	4,8	0,03	0,08	1,15	1,5	18	16,07	7,1
126 M	12-	3,29	5	0,03	0,08	0,2	1,1	18,2	16,35	7,3
127 M	13-	3,34	5	0,02	0,08	0,15	1,1	18,1	16,7	7
128 M	14- (a+b)	3,25	4,7	0,01	<0,08	0,2	2,9	18	15,28	7,4
129 M	14- (c)	3,16	4,8	0,02	<0,08	0,3	2,8	18,1	15,17	7,8
130 M	15- (a)	3,16	4,7	0,02	0,16	0,25	0,8	17,8	14,85	7,7
131 M	15- (b)	3,43	4,1	0,01	0,51	0,85	1,1	14,8	14,06	7,4
132 M	15- (c)	4,48	4,7	0,15	<0,08	0,25	9,9	25,6	20,83	7,8
133 M	16- (a)	124	5,5	0,22	<0,08	0,9	8	24,7	682	7,3
134 M	16- (b)	135	10,8	0,05	0,08	0,45	4,7	38,8	1458	6,2
135 M	16- (c)	180	11,2	0,05	0,28	0,3	3,6	38,8	2016	6,6
136 M	17- (a)	88,4	11,8	0,04	0,16	0,35	2,9	40,2	1043,12	6,6
137 M	17- (b)	68	11	0,04	0,24	0,3	3,1	36,7	748	6,9
138 M	17- (c)	55,9	10,4	0,07	0,28	0,2	3,1	37,4	581,36	7,3
139 M	18- (a)	49,7	9,5	0,13	0,32	0,9	2,6	33,4	472,15	7,8
140 M	18- (b)	58,9	9,1	0,11	0,32	0,25	2,5	33,3	535,99	7,8
141 M	18- (c)	51,1	10	0,07	0,08	0,2	2,8	34,9	511	8,1
142 M	19- (a)	39	9,4	0,2	0,16	<0,1	2,5	34,5	336,6	7,8
143 M	19- (b)	33,2	7,9	0,62	0,16	<0,1	2,7	34,1	262,28	8,8
144 M	19- (c)	84	7,4	0,35	0,43	0,1	2,6	31	621,6	8,9
145 M	20- (a)	128	8,8	0,04	0,08	0,3	3,1	33,9	1126,4	8,7
146 M	20- (b)	117	11,2	0,03	0,12	0,45	3,1	38	1310,4	6,6
147 M	20- (c)	92,2	10,3	0,38	0,24	0,2	3,2	37,9	949,66	7,7
148 M	21-11-75	65	11,2	0,11	0,47	0,3			728	7,4
149 M	25-	14,5	6,5	0,03	0,47	0,2	1,9	25,4	93,81	6,3
150 M	26-	199,9	8,7	0,02	0,27	0,8	4,3	33,9	1745,12	6,4
151 M	27-	108,7	12	0,01	0,31	0,5	2,3	21,7	1304,4	6,5

TABLEAU 7 (c) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MELARCHEZ

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/1	NO ₂ ⁻ mg N/1	NH ₄ ⁺ mg N/1	PO ₄ ⁻⁻⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	¹⁵ N-NO ₃ ⁻
67 M	28-11-75	198,3	11	0,01	0,31	0,7	3,3	39,2	2181,3	6,4
68 M	29-	110	11,3	0	0,31	0,5	2,5	36,6	1243	6,6
69 M	30-	206,3	10,5	0	0,31	0,25	2,4	33,8	2166,15	6,9
70 M	1-12-	52,5	13	0	0,16	0,15	2,6	33,3	682,5	7,0
71 M	2- (b)	345	8	0,03	0,16	0,4	2,9	27,9	2749,65	6,7
72 M	2- (c)	336	10	0,02	0,16	0,85	3,3	33,1	3360	6,0
73 M	3- (a)	239	11	0,02	0,39	0,2	3,2	37,1	2629	6,4
74 M	3- (b)	158	11,5	0,01	0,12	0,35	2,9	37,6	1817	6,6
75 M	3- (c)	122	11,5	0	0,23	0,2	2,2	35,1	1403	6,3
76 M	4- (a)	101	11,5	0,01	0,16	0,2	0,9	14,1	1161,5	6,4
77 M	4- (c)	80	10,5	0,01	0,27	0,25	1,9	34,5	840	6,4
78 M	5-12-75	67,5	10	0	0,08	0,3	1,8	31,5	675	5,8
79 M	6-12-	56,6	9	0,01	0,19	0,25	1,6	20,6	509,4	6,7
80 M	7-12-	49,1	9	0,01	0,19	0,25	1,8	29,6	441,9	7,2
81 M	8-	40,6	8,7	0,01	0,23	0,3	1,8	29,4	353,22	8,8
87 M	9-	28,6	7,1	0	0,12	0	2,1	30,4	201,63	7,2
88 M	10-	24,1	6,2	0	0,16	0	2,3	28,2	149,42	7,5
89 M	11-	22,3	6,2	0	0,08	0	2,3	27,4	137,14	7,7
90 M	12-	20,5	5,2	0	0,08	0	2,3	26,2	106,6	7,8
91 M	13-	19,1	5,7	0	0,08	0	2,4	26,7	108,87	8
92 M	14-	17,4	5,5	0	0,08	0	2,2	22,9	95,7	8
93 M	15-	15,95	5,5	0	0,08	0,2	1,9	24,1	87,72	7,7
94 M	19-	8,60	5	0,04	0,16	0	1,8	22,8	42,65	
95 M	20-	8,04	4,7	0,03	0,12	0	1,6	21,5	37,94	7,5
96 M	21-	8,04	4,6	0,06	0,12	0,25	1,7	20,9	36,9	7,3
97 M	22-	8,62	4,4	0,06	0,12	0,4	3	22	38,27	7
98 M	23-	8,92	4,5	0,04	0,23	0,6	3,2	23,3	39,78	8,5
99 M	24-	9,49	4,4	0,07	0,12	0,2	2,8	22	42,04	7,6
100 M	25-	13,48	4,7	0,08	0,47	0,2	5,5	23,5	62,95	8,1
101 M	26-	17,56	4,1	0,04	0,39	0,2	5,2	25,5	71,29	9
102 M	27-	19,7	4,6	0,03	0,08	0	2,4	25,2	91,01	8,7

TABLEAU 7 (d) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MELARCHEZ

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/1	NO ₂ ⁻ mg N/1	NH ₄ ⁺ mg N/1	PO ₄ ⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
203 M	28-12-75	22,2	5,3	0,04	0	0	3,4	26,7	117,88	8,4
204 M	29-	21,4	5,7	0	0,12	0	1,8	25,9	121,98	8,1
206 M	30-	19,4	6,8	0,04	0,12	0,07	1,6	26,7	131,144	8,1
207 M	31-	18,6	6,3	0,05	0	0,15	1,5	26,9	116,25	7,6
208 M	1- 1-76	29,8	6,5	0,02	0,16	0,2	2	27,1	193,10	7,2
209 M	2- 1-	52,9	9,2	0,02	0,16	0	2,4	34	485,62	6,8
210 M	3-	42,7	8,2	0,02	0,12	0	1,9	34,6	349,29	7
211 M	4-	28	8	0,02	0	0	1,7	30,4	223,44	7,2
212 M	5-	26,4	7,7	0,02	0	0,3	1,7	29	202,75	7,4
213 M	6-	23,7	7,2	0,02	0,16	0,4	1,7	28,4	170,17	7,4
214 M	7-	21,8	7	0,01	0	0,2	2,2	21,4	152,38	8,3
215 M	8-	20,3	6,8	0,03	<0,08	0,15	1,7	27,2	137,43	8,2
216 M	9-	17,9	6,2	0,06	0,39	0,2	1,6	26	111,52	8
217 M	10-	19,7	6,2	0,06	<0,08	0,1	1,8	22,2	122,93	8
218 M	11-	35,3	6,8	0,04	<0,08	0,3	3,1	15,3	242	7,9
219 M	12-	39,2	8	0,02	0,51	0,2	2	30,3	312,82	7,2
224 M	13-	34,6	9,2	0,02	<0,04	0,1	1,7	31,9	319,70	7,1
225 M	14-	29,3	8,8	0,03	0,08	0,05	1,7	28,9	256,38	7,2
226 M	15-	23	8,2	0,02	0,12	<0,05	1,5	27	189,29	7,1
227 M	16-	20,6	7,7	0,01	0,12	0	1,6	26,9	159,44	7,5
228 M	17-	20	7,7	0,02	0,08	0,2	1,6	26,9	154,8	7,5
229 M	18-	19,5	7,5	0,01	0,08	0,25	1,5	25,5	146,06	7,4
230 M	19-	19	7,2	0,02	0,08	0,15	1,6	26,2	137,37	7,6
231 M	20-	22,4	7,5	0,01	0,08	0	1,8	26,5	167,78	
232 M	21-	23,9	7,7	0,02	0,06	0	2	27,6	184,75	7,4
233 M	22-	24,5	8,3	0,09	0	0	1,7	28,7	202,13	7,4
234 M	23-	34,3	8,2	0,02	0,08	0	2,1	30,5	282,29	7,2
235 M	24-	44,6	9	0,03	0,08	0	2,1	32,1	400,51	7,4
236 M	25-	35,8	9,4	0,02	0,04	0	1,8	32,3	335,8	7
237 M	26-	28,7	8,2	0,02	0,08	0,4	1,9	29,3	234,77	7,3

TABLEAU 7 (e) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MELARCHEZ

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/l	NO ₂ ⁻ mg N/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	PO ₄ ⁻⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
238 M	27- 1-76	29,8	8,4	0,02	0,16	0	1,8	29,2	249,72	7
239 M	28-	26,8	7,8	0,02	0,04	0	1,9	28,8	210,11	7,4
240 M	29-	24,2	7,9	0,31	0,54	1,25	2	27,4	190,21	7,2
241 M	30- 1-	18,9	7,6	0,02	<0,04	0,85	1,7	25,1	143,26	7,2
242 M	31-	16,9	7,2	0,03	0,12	0,4	1,7	22,8	121,17	7,5
243 M	1- 2-76	14,3	6,8	0,03	0,08	0,4	1,6	23,6	96,67	7,9
244 M	2-	12,1	6,6	0,04	0,2	0,4	1,9	23,3	79,38	7,5
247 M	3-	11,03	6,4	0,03	0	0,5	2,2	24,6	70,04	7,5
248 M	4-	11,36	6,4	0,02	0,08	0,4	2,3	24,5	73,05	7,8
249 M	5-	11,77	6,3	0,04	0,54	0,35	4	25	74,15	8,1
250 M	6-	11,53	6,3	0,02	0,43	0,38	4	25,2	72,99	6,6
251 M	7-	10,7	6	0,02	0,12	0,3	3	24	64,52	7,6
252 M	8- (a)	10,2	5,9	0,04	0,43	0,35	2,8	23	60,28	8,4
253 M	8- (b)	11,5	5,8	0,02	0,31	0,2	2,5	22,9	66,47	8
254 M	8- (c)	16,2	5,8	0,02	1,5	0,4	3	24,5	94,45	7,7
255 M	9- (a)	17,9	5,7	0,05	1,3	0,2	4,2	37	101,85	8
256 M	9- (b)	16,9	5,9	0,04	0,79	0,25	4,3	29,4	99,03	8,7
257 M	9- (c)	18,9	6,3	0,03	0,4	0,3	3,3	28,2	119,45	8,6
258 M	10- (a)	21,1	7,1	0,03	0	0,1	2	28,4	149,18	8,1
259 M	10- (b)	23,9	7,6	0,02	0,16	0	2	31,2	182,36	7,5
260 M	10- (c)	32,1	8	0,03	0,51	0,15	2,5	36,5	257,12	7,8
261 M	11- (a)	36,2	9	0,03	0,12	0,1	2,6	37,5	324,71	7,3
262 M	11- (b)	35,2	8,9	0,04	0,87	0	2,1	35,7	313,28	8,2
263 M	11- (c)	36,2	9,3	0,02	0	0,36	2,1	36,3	337,38	7,1
264 M	12- (a)	35,9	9,4	0,02	0	<0,1	2,1	36,9	338,54	7,7
265 M	12- (b)	34,2	9,5	0,03	0,67	<0,1	2,1	35	325,58	7,2
266 M	12- (c)	435	10,5	0,01	1,15	0,2	2,9	37,2	4545,75	6,1
267 M	13- (a)	1440	15,3	0,02	0	0,24	5,1	30,6	22003,2	4,7
273 M	17- 2-76	40,05	8,5	0,05	0,4	0,2	2,8	31,2	338,42	7
274	18-	38,1	8,6	0,02	0,04	<0,1	2,1	28,6	327,66	7,3

TABLEAU 7 (f) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MELARCHEZ

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/1	NO ₂ ⁻ mg N/1	NH ₄ ⁺ mg N/1	PO ₄ ⁻⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
275	19- 2-76	35,2	8,8	0,02	0,04	0,1	2,3	29,8	308,00	7
276	20-	30,6	8,9	0,02	0,04	0,1	2,2	29,4	270,81	6,7
277	21-	28,3	8,6	0,03	0,04	0,1	2,2	28,2	243,36	6,8
278	22-	26,7	8,4	0,02	0	<0,1	2,1	28,8	222,95	
279	23-	22,3	7,9	0,03	0	0,2	2,5	28	175,06	6,8
280	24- (a)	21,4	7,8	0,01	0,2	0,15	2,4	25,3	165,85	6,8
283	24- (b+c)	20	5,5	0,03	0,16	0	2,2	25,6	109	7,9
284	25-	19,4	6,1	0,03	0,16	0,1			118,34	6,9
285	26-	19,5	6,5	0,03	0,16	0,15	2,7	26,3	126,75	7,6
286	27-	19,5	6,7	0,03	0,31	0,15	2,8	25,5	129,68	7,2
287	28-	18,2	6,8	0,04	0,27	0,2	2,9	26,6	123,76	7,3
288	29-	15,4	6,6	0,04	0,4	0,2			101,64	7,7
289	1- 3-76	13,9	6,5	0,05	0,66	0,4	3,6	24,8	90,35	8,2
290	2- 3-76	13,6	6,8	0,04	0,66	0,35			91,8	8
291	3-	12,5	6,8	0,03	0,16	0,55	2,6	24,8	85	7,7
292	4-	11,6	6,8	0,03	0,23	0,3			78,3	7,6
293	5-	10,8	6,8	0,02	0,27	0,3			72,9	
294	6-	10,4	6,8	0,03	0,27	0,4			70,2	
295	9-	6,76	6,9	0,02	0,12	0,35	1,6	19,1	46,37	6,6
296	10-	6,43	6,8	0	0,15	0,25	1,3	19,6	43,72	6,7
297	11-	7,19	6,6	0	2,2	0,20			47,45	7,4
298	12-	11	6,8	0,02	0,2	0,15	1,9	24,4	74,8	7,2
299	13-	11,3	6,2	0,04	3	0,65	6,1	25,6	69,61	
300	14- 3-76	10,7	6,2	0,06	0,66	0,35			65,81	7,5
301 M	15- 3-76	10,9	6,2	0,04	0,7	0,25			67,04	7,7
303 M	16-	11,2	6,3	0,1	0,27	0,27			70,56	7,5
304 M	17-	12,2	6,5	0,1	0,23	0,32			79,3	7,3
305 M	18-	19,63	6,6	0,07	0,14	0,45			129,75	8,2
306 M	19-	16,23	6,1	0,08	0,18	0,50			99,328	8
307 M	20-	13,6	6,2	0,04	0,12	0,37			83,78	8,2

TABLEAU 7 (g) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MELARCHEZ

N°	DATE	DEBIT l/s	NO ₃ ⁻ mg N/l	NO ₂ ⁻ mg N/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	PO ₄ ⁻⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻ mg N/5	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
308 M	21- 3-76	12,6	6,6	0,02	0,12	0,33			82,91	8,1
309 M	22-	12,7	6,4	0,03	0,27	0,35			80,90	8
310 M	23-	11,2	6,2	0,07	0,31	0,25			69,44	7,7
311 M	24-	8,81	6,2	0,03	0,08	0,30			54,36	7,7
312 M	25-	9,72	6	0,04	1,1	0,17			57,93	7,8
313 M	26-	10,8								7,4
314 M	27-	11,2								7,5
315 M	28-	10,23	5,8	0,05	0,31	0,40			59,64	8
316 M	29-	10,7	6	0,04	0,35	0,34			63,77	7,8
320 M	30-	10,23	5,6	0,07	0,27	0,2			57,60	8,2
321 M	31-	9,86	5,7	0,06	0,19	0,4			56,60	7,9
322 M	1- 4-76	9,15	5,9	0,03	0,12	0,2			53,53	7,7
323 M	2-	8,87	5,9	0,03	1,25	0,1			51,89	7,6
324 M	3-	8,21	5,5	0,06	0,16	0,4			48,77	7,5
325 M	4-	8,31	6,1	0,06	1,63	0,55			51,02	7,4
326 M	5-	7,41	5,2	0,08	1,25	0,7			38,83	7,4
327 M	6-	7,1	5	0,08	0	0,3			35,5	7,6
328 M	7-	6,96	5,7	0,04	0	0,6			39,53	7,5
329 M	8-	5,93	5,8	0,05	0	0,65			34,1	7
330 M	9-	5,68	5,6	0,33	0,62	0,8			31,75	7
331 M	10-	5,68	5,8	0,04	0	0,45			32,72	7,3
332 M	11- 4-76	6,17	5,4	0,04	0,62	0,55			33,07	7,2

TABLEAU 7 (h) : RESULTATS A L'EXUTOIRE DE MELARCHEZ

- En été :

Pour le mois d'août, on a enregistré des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ très positives (13,7 ‰ pour le 8 août). Ces valeurs se singularisent nettement et doivent être considérées à part.

- En saison humide :

Les valeurs de la composition isotopique oscillent entre 4,7 ‰ et 9,2 ‰. Les valeurs les plus basses sont encore obtenues pour les pointes de crues (correspondant à des flux en nitrates importants).

Les valeurs élevées correspondent à des flux en nitrates faibles.

Après les pics positifs ou négatifs, la composition isotopique revient toujours à une valeur voisine de 7 ‰ ("niveau isotopique de base").

II - LES NITRATES

Les concentrations extrêmes enregistrées sont 2,7 et 15,3 mg N/l. Les flux en nitrates sont présentés pour mieux se rendre compte des quantités exportées par la rivière.

Les pics de nitrates correspondent parfaitement aux pointes de crues. La relation entre les concentrations en nitrates (mg N/l) et le débit liquide Q (l/s) peut s'écrire :

$$\text{CN} - \text{NO}_3^- = 3,2 \text{ Log } Q + 3$$

$$(r = 0,82 \text{ pour } 223 \text{ couples})$$

Pour la crue du 13 février 1976 on a enregistré la plus forte concentration en nitrates (15,3 mg N/l correspondant au plus fort débit (1 440 l/s), mais aussi à la valeur la plus basse de la composition isotopique (4,7 ‰).

A titre de comparaison, nous rappelons que la crue du 12 avril 1972 (la plus forte crue de la période 1971-1972, et la plus proche de l'épandage des engrais), transporte un nitrate dont le delta est de 1,4 ‰ (MARIOTTI et al., 1975).

III - LES NITRITES

Ils existent généralement à l'état de traces mais peuvent atteindre occasionnellement des concentrations élevées (1 mg N/l pour le 3 octobre). Leur distribution

n'est pas toujours nette, cependant on peut remarquer qu'après les pointes de crues il y a des pics de nitrites qui s'opposent aux pics de nitrates. On peut penser à l'existence d'une brève phase réductrice dans le sol suivant l'inhibition par la pluie.

IV - L'AMMONIUM

La présence des ions NH_4^+ est plus fréquente. Leurs concentrations peuvent être importantes (3 mg N/l pour le 13 mars). Leur distribution est plutôt aléatoire. Il sera intéressant d'essayer de relier l'apparition de NH_4^+ avec des pollutions de type organique domestique ou agricole.

V - LE POTASSIUM

Les teneurs en K^+ peuvent atteindre des valeurs importantes (13,2 mg/l). Sachant que le cycle du potassium est très court à cause de son adsorption sur les argiles, on peut penser que les concentrations abondantes en potassium témoignent essentiellement de pollutions domestiques.

Mais l'origine fertilisante n'est pas exclue surtout lorsqu'il est accompagné de phosphates.

VI - LES CHLORURES

Les chlorures, très solubles, sont l'élément qui varie le plus (entre 2,9 et 60 mg/l). Les fortes concentrations correspondent généralement aux périodes de crues.

VII - LES PHOSPHATES

La plupart du temps, ils ne sont présents qu'à l'état de traces. Cependant, de fortes concentrations ont été enregistrées (4,8 mg $\text{PO}_4^{=}$ /l pour le 2 octobre).

B - INTERPRETATION DES RESULTATS

I - NIVEAU ISOTOPIQUE DE BASE

Le niveau isotopique de base autour de + 7 ‰, soumis semble-t-il à une fluctuation saisonnière, correspond à la composition isotopique des nitrates de l'eau

véhiculée par la rivière en période d'étiage relatif donc à celle de la nappe.

D'après les hypothèses interprétatives citées plus haut, il s'agirait de nitrates produits naturellement dans le sol, dans le cycle de l'azote.

Pour tester cette hypothèse, nous avons analysé les eaux de drainage d'une parcelle expérimentale à Boissy-le-Châtel, et l'eau de la nappe atteinte dans un puits.

1 - Drainage de la parcelle de Boissy-le-Châtel

a/ Introduction

La station de Boissy-le-Châtel, appartenant au C. T. G. R. E. F., a réalisé l'implantation d'une parcelle conçue pour étudier l'influence du drainage.

Cette station est située à proximité immédiate du bassin de Melarchez. La figure 22 montre le schéma des dispositifs expérimentaux de cette parcelle de 615 m².

Le sol est limoneux, faiblement lessivé, avec faible hydromorphie. L'étanchéité de la parcelle a été testée.

Enfin, depuis juin 1972 la parcelle fonctionne naturellement. Elle ne reçoit aucun apport de fertilisants : les nitrates obtenus au drainage de cette parcelle ont donc une origine naturelle, biosynthétique.

b/ Caractéristiques

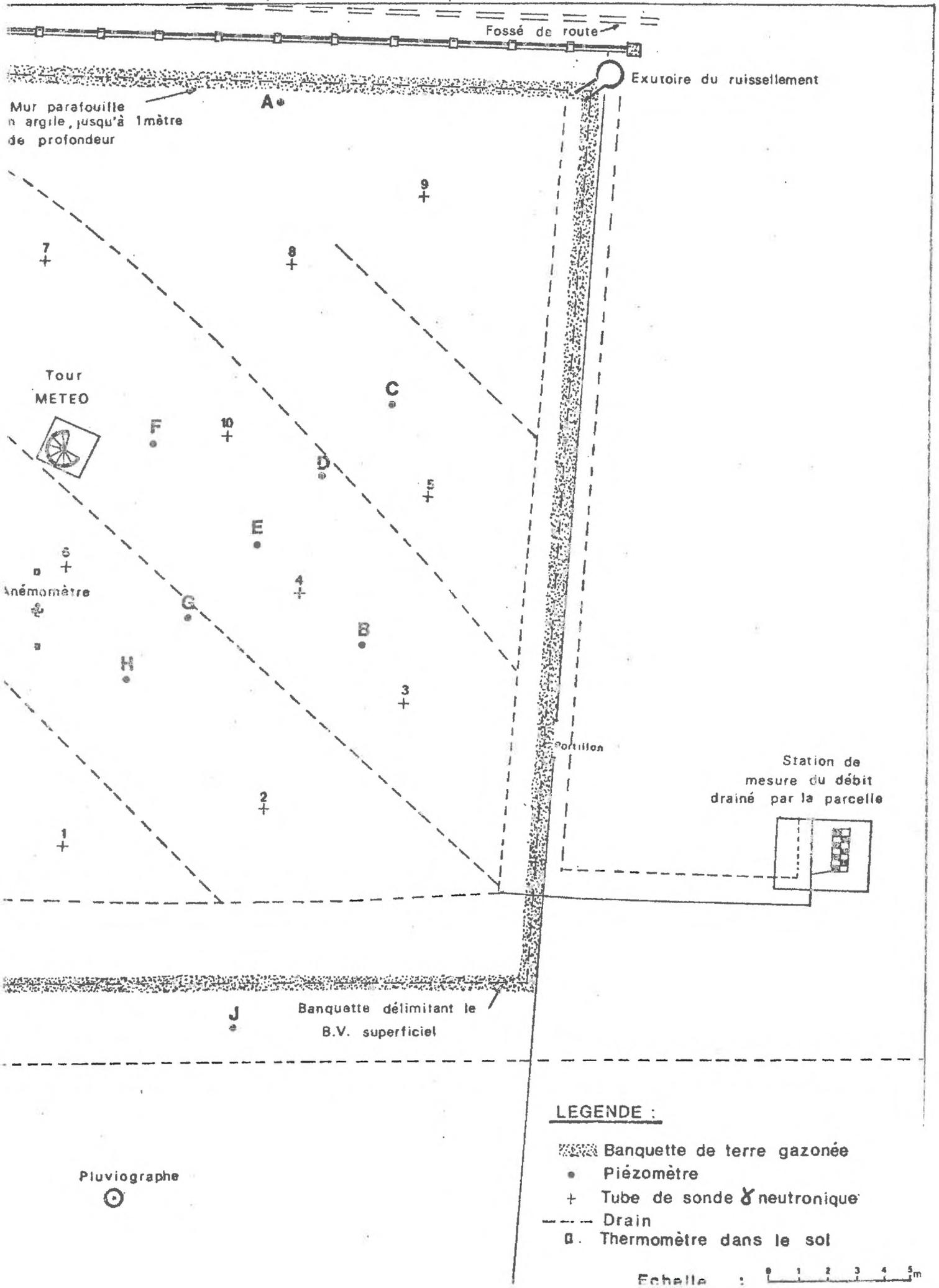
On a pu avoir des prélèvements d'octobre 1975 à février 1976. Les résultats sont consignés dans le tableau 8.

La figure 23 montre l'évolution des eaux de drainage sur une période relativement continue. Sur cette même figure nous avons tracé les caractéristiques des pluies relevées à la station, à titre de comparaison.

- les débits : Pour la période étudiée, le débit maximum était de 75,5 ml/s enregistré le 16 novembre. Mais on peut atteindre des valeurs plus importantes : par exemple le 30 septembre le débit était

Fig 22 : B.V. de L'ORGEVAL

Dispositifs expérimentaux de la parcelle drainée de 615m²
(Situation début 1973)



LEGENDE :

- Banquette de terre gazonée
- Piézomètre
- + Tube de sonde γ neutronique
- - - Drain
- Thermomètre dans le sol

Echelle : 0 1 2 3 4 5m

N°	DATE	DEBIT ml/s	NO ₃ ⁻ mg N/l	NO ₂ ⁻ mg N/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	PO ₄ ⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	FNO ₃ ⁻	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
96 D	2-10-75	3,73	2,7	0	0	<0,10	0,4	9,4	10,07	}7,7
97 D	3-10-	1,21	2,9	0	0	0,3	0,2	6,7	3,51	
51 D	16-11-	75,5	2,4	0,03	0,03	0,2	0,7	11,3	181,2	5,6
52 D	17-11-	25,1	1,6	0	0,08	0	0,7	10,7	40,16	}6,6
53 D	18-11-	14,5	0,8	0	0,08	0	0,6	4,9	10,88	
54 D	19-11-	9,42	0,9	0	0,12	0	0,8	7,6	8,01	}6,1
55 D	20-11-	31,9	0,8	0	0	0	0,8	7	25,20	
56 D	21-11-	127	0,9	0	0	0	0,3	7,9	10,80	}6,6
57 D	22-11-	5,9	0,9	0	0,08	0	0,4	9,9	5,13	
58 D	23-11-	3,84	0,9	0	0,23	0	0,8	25,8	3,46	}6,7
59 D	26-11-	61,5	0,6	0,01	0,04	0,3	0,4	6,7	36,9	
50 D	27-11-	31,8	0,8	0	0,03	0	1	6	25,44	}6,5
51 D	28-11-	34,3	0,7	0	0,08	0	0,9	3,4	24,01	
52 D	29-11-	18,9	0,8	0	0,20	0	0,9	7,3	15,12	}7,5
53 D	30-11-	10,2	0,8	0	0,04	0,2	0,3	11,2	8,47	
52 D	1-12-75	6,03	3,3	0	0	0	0,9	7,2	20,02	}9,3
53 D	2-12-	42,6	2	0	0,43	0	0,6	5,9	86,9	
54 D	3-12-	25	2,9	0	0	0	1,1	8,2	73	6,3
0 D	2- 1-76	8,24	1,4	0	0,43	0	0,5	10,8	11,54	}7,9
1 D	3- 1-76	5,75	3,6	0	0,20	0	0,4	11,5	20,7	

TABLEAU 8 : ANALYSES DES EAUX DE DRAINAGE DE BOISSY-LE-CHATEL

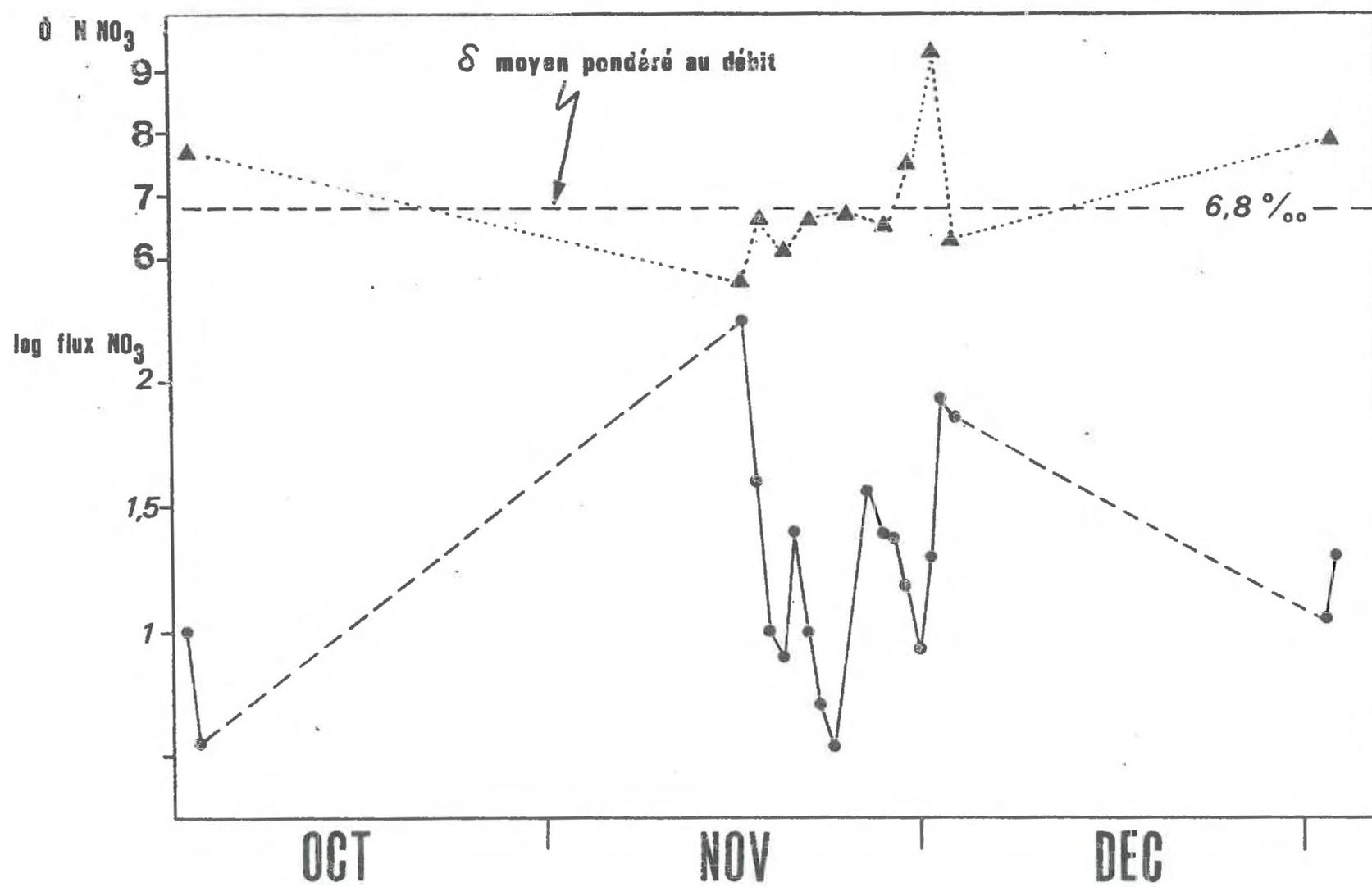


Fig. 23 a : EAUX DE DRAINAGE DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE BOISSY-LE-CHATEL.

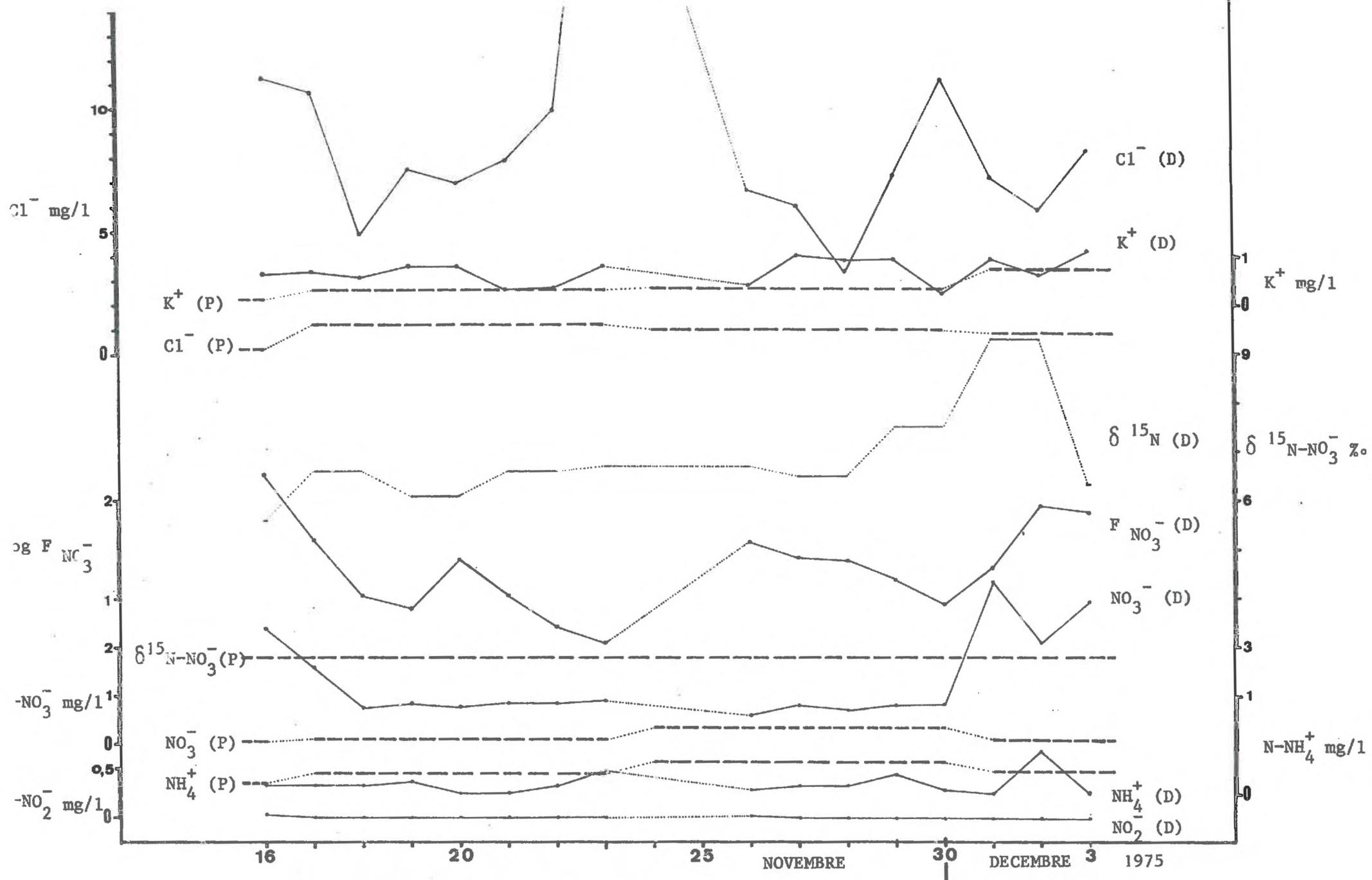


FIG. 23(b) :EAUX DE DRAINAGE ET DE PLUIE A BOISSY-LE-CHATEL

de 154 ml/s (la valeur la plus forte de l'année).

Si on compare les débits du drain de Boissy-le-Châtel et les débits mesurés à la station de Melarchez, on remarque une corrélation nette entre les deux pour les pointes de crues.

La relation peut s'écrire :

$$Q \text{ (l/s) rivière} = 2 Q \text{ (ml/s) drain} + 17,4$$

(112 couples , $r = 0,70$)

- les nitrates : Les concentrations en nitrates, généralement faibles, peuvent atteindre des valeurs non négligeables (4,2 mg N/l pour le 12 février). Si on compare l'évolution des nitrates et de leurs flux, on remarque qu'il n'y a pas toujours correspondance entre les pointes de crues et les pics en nitrates (par exemple au début du mois de décembre il y a déphasage entre les deux).

- la composition isotopique des nitrates : Pour des problèmes analytiques, nous avons été obligés de grouper les échantillons tous les 2 jours. Cependant, certains ont pu être analysés indépendamment.

Les $\delta^{15}\text{N}$ varient de 5,6 à 9,3 ‰ avec une moyenne pondérée au débit de 6,8 ‰. Cette valeur représentera pour nous la composition isotopique des nitrates naturels des sols produits dans le cycle local de l'azote.

Cette valeur est celle du nitrate de la rivière en étiage pendant la saison froide (niveau isotopique de base) : l'hypothèse de MARIOTTI et al. (1975) se trouve ainsi renforcée.

- les nitrites : Les nitrites sont pratiquement absents. La valeur maximale mesurée est de 0,03 mg N/l. Cependant, une remarque peut être faite : pour le mois de novembre, ce sont les prélèvements du 16 et du 26 (correspondant à des forts débits) qui montrent des traces de nitrites. Ceci est probablement lié aux conditions réductrices temporaires du sol.

- l'ammonium : Les concentrations en NH_4^+ varient de 0 à 1 mg N/l. Leur présence n'est pas toujours aléatoire. En effet, le pic d'ammonium, mesuré le 2 décembre, et correspondant à une chute des nitrates, peut être significatif.

- le potassium : Les concentrations en K^+ restent faibles et le maximum dépasse à peine 1 mg/l.
- les chlorures : Les chlorures sont plus variables. Leurs concentrations sont comprises entre 3,4 et 25,8 mg/l. Leur évolution ne montre pas des corrélations nettes avec les autres éléments.
- les phosphates : Ils ne sont présents qu'à l'état de traces dans quelques échantillons.

c/ Comparaison entre les eaux de pluie et les eaux de drainage

Nous rappelons les conditions météorologiques exceptionnelles de la période d'étude, caractérisée par une sécheresse dont les conséquences furent ressenties à l'échelle du pays.

Les données pluviométriques qui intéressent le bassin de l'Orgeval sont publiées chaque année dans les annuaires du C. T. G. R. E. F. (annuaire du bassin versant de l'Orgeval, 1975, 1976).

La figure 24 donne les pluies mensuelles au pluviomètre P_{22} à Boissy-le-Châtel, et au pluviomètre P_{25} à Melarchez.

On remarque que c'est le mois de septembre qui a été le plus pluvieux ; les pluies tombées en août et septembre sont supérieures à celles tombées pendant les 8 mois qui suivent (octobre-mai).

Les pluies analysées sont celles recueillies à la station de Boissy-le-Châtel (P_{22}).

Les résultats sont consignés dans le tableau 9 et la figure 23.

La composition isotopique des nitrates obtenue sur un échantillon moyen est basse (2,8 ‰). Cette valeur se trouve bien dans la gamme établie par FREYER et ALY (1976).

Si on considère schématiquement la pluie comme entrée et le drainage comme sortie, par comparaison on peut avoir une idée de ce qui est libéré ou fixé par un sol qui fonctionne naturellement.

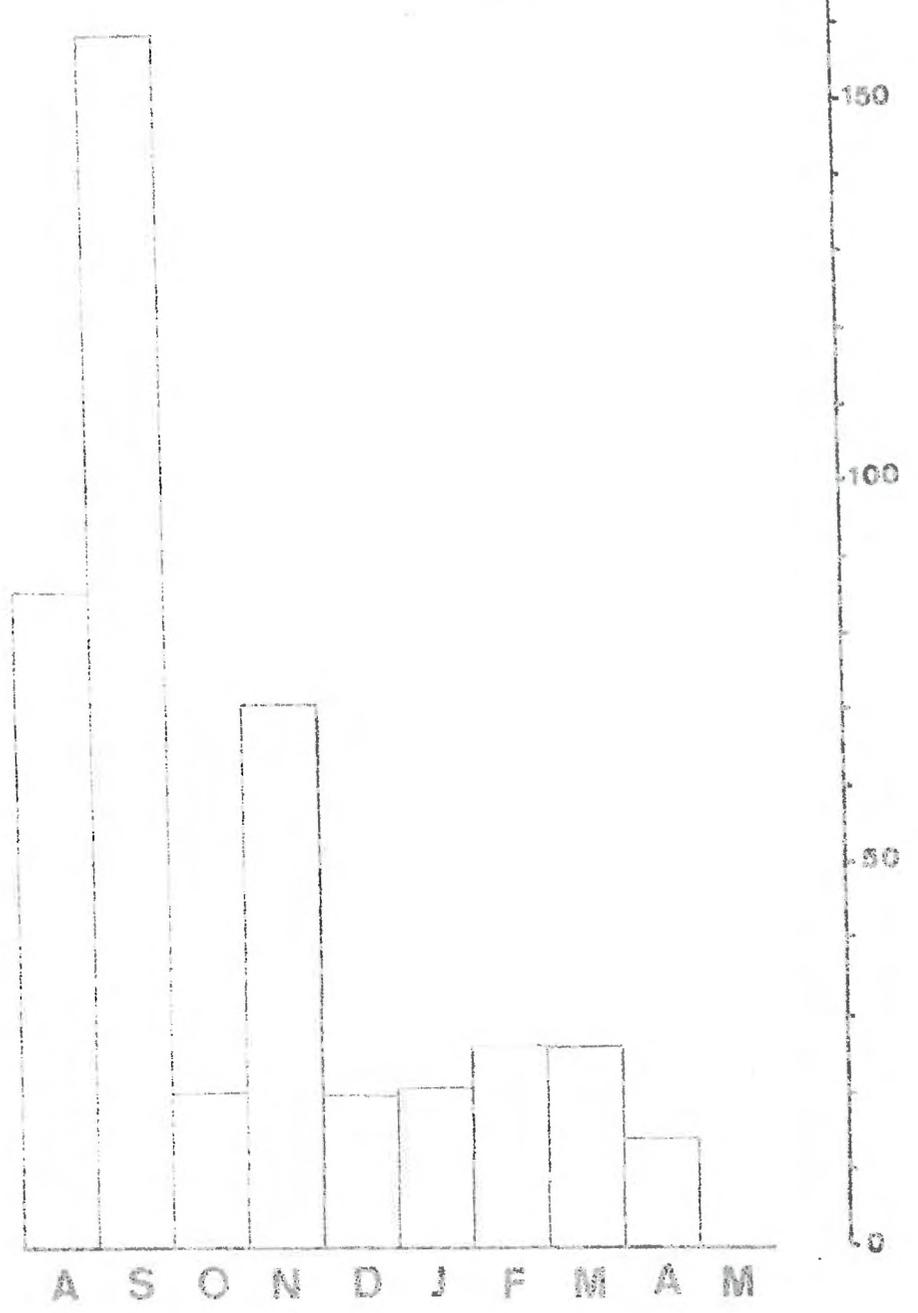
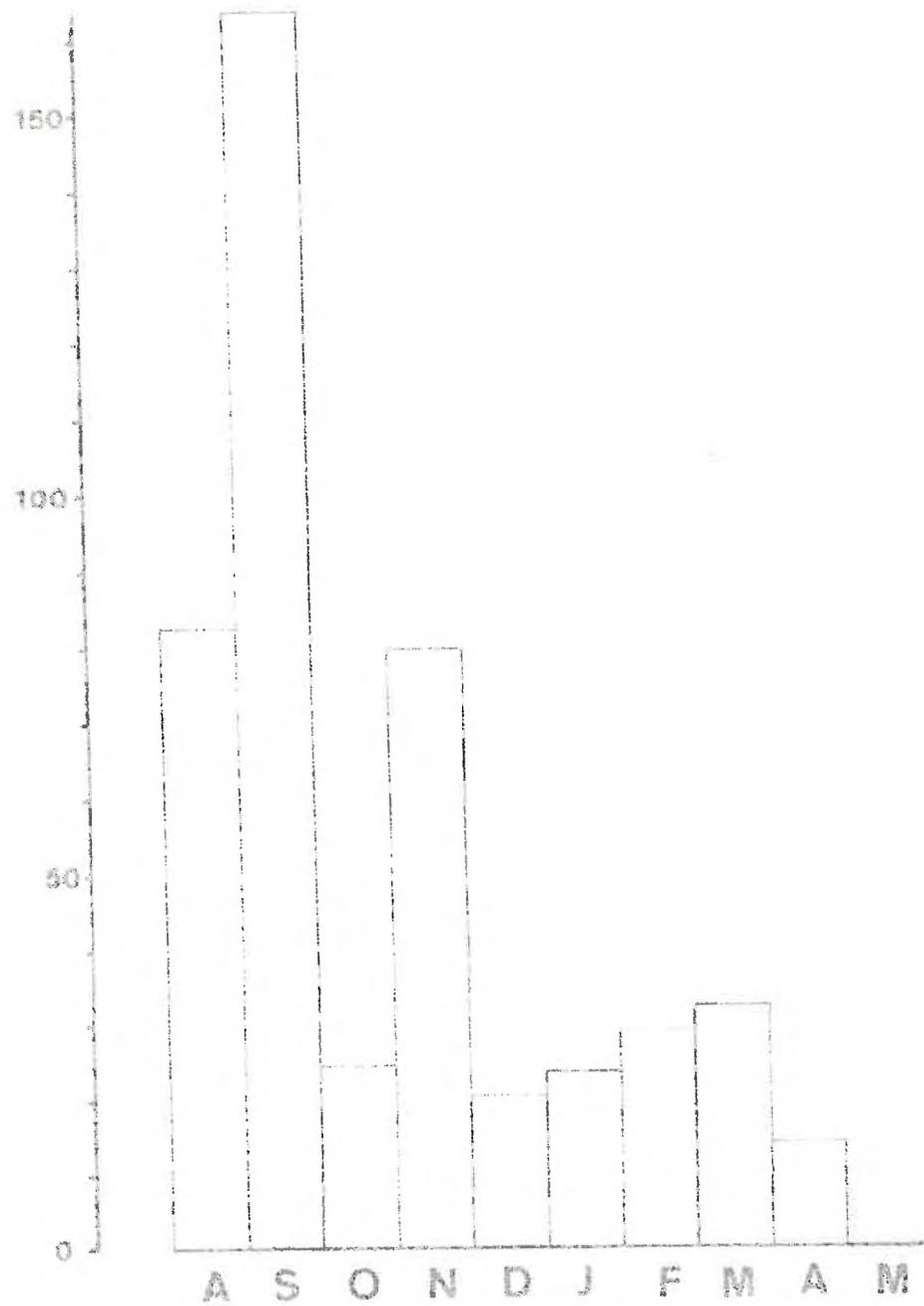


Fig. 24 : PLUIES MENSUELLES A MELARCHEZ (P 25) ET BOISSY-LE-CHATEL (P 22)

N°	DATE	NO ₃ ⁻ mg N/l	NO ₂ ⁻ mg N/l	NH ₄ ⁺ mg N/l	PO ₄ ⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
98 P	29- 9-75 → 5-10-75	0,1	0	0,35	0,5	0,2	0,2	} 2,8 ‰
99 P	6-10- → 12-10-	0,9	0	0,4	0,2	0,2	0,3	
123 P	27-10- → 2-11-	0,5	0,03	0,8	0,1	0,5	1,8	
124 P	3-11- → 9-11-	0,6	0,04	0,8	0,45	0,4	1,6	
149 P	10-11- → 16-11-	0,1	0	0,2	<0,1	0,1	0,2	
150 P	17-11- → 23-11-	0,1	0	0,4	0	0,3	1,2	
185 P	24-11- → 30-11-	0,4	0	0,66	0	0,3	1	
186 P	1-12- → 7-12-	0,1	0	0,47	0	0,7	0,9	
205 P	22-12- → 28-12-	0,9	0	1,06	0	0,7	8,8	
222 P	29-12- → 5- 1-76	0,6	0	0,83	0	0,5	2,1	
223 P	5- 1-76 → 11- 1-	0,9	0	1,02	0	0,6	5,2	
246 P	19- 1- → 26- 1-	0,5	0	0,55	0	0,8	8	
271 P	2- 2- → 8- 2-	3,8	0	1,25	0	1,9	6	
272 P	9- 2- → 15- 2-	0,1	0,01	0,8	0	0,3	1,5	
281 P	16- 2- → 22- 2-	3,1	0,01	1,75	0			
302 P	8- 3- → 14- 3-	1,1	0	2,4	0,15			
317 P	15- 3- → 23- 3-	0,4	0	0,5	0			
318 P	22- 3- → 29- 3-	0,8	0	1,1	0			
319 P	29- 3- → 4- 4-76	2	0	2,45	0			

Echantillon moyen pour toute la période

TABLEAU 9 : ANALYSES DES EAUX DE PLUIE (P₂₂)

- les nitrates : Les apports de nitrates par les pluies peuvent être importants, mais les concentrations restent inférieures à celles du drainage. Donc le sol libère des nitrates suivant les processus bien connus (ammonification, nitrification ...).
- composition isotopique : La composition isotopique des nitrates de la pluie (moyenne mesurée à Boissy-le-Châtel de 2,8 ‰) est plus basse que celle des nitrates produits dans les sols (moyenne pondérée au débit de 6,8 ‰).
- les nitrites : Dans les 2 cas on n'a que des traces. Cependant ils sont plus fréquents dans les eaux de drainage.
- l'ammonium : Au contraire les ions NH_4^+ dans l'eau de pluie sont plus importants. Une partie en sera donc oxydée et/ou fixée dans les sols.
- le potassium : Généralement les concentrations en K^+ de l'eau de pluie sont plus basses que celles du drainage, mais elles peuvent être du même ordre de grandeur.
- les chlorures : Les teneurs en chlorures des eaux de pluie sont très basses par rapport à celles des eaux de drainage.

d/ Conclusion

Les nitrates des eaux de drainage de cette parcelle qui ne reçoit pas d'engrais ont une composition isotopique moyenne pondérée au débit de 6,8 ‰ (pour une période froide). Ceci est la preuve que le "niveau isotopique de base" correspond bien aux nitrates produits naturellement dans le sol, dans le cycle local de l'azote.

Les faibles variations de la composition isotopique de ces nitrates de la parcelle sont tamponnées au niveau de la nappe.

2 - Etude du puits 78 (cf. figure 25)

a/ Présentation

C'est un puits de 3,5 m de profondeur, situé dans un jardin avec des

arbres. A proximité il y a une résidence secondaire qui n'est habitée qu'occasionnellement. Il faut noter aussi qu'il n'y a aucune activité agricole, d'élevage, génératrice de rejets organiques.

b/ Caractéristiques (tableau 10, figure 26)

C'est un puits très tamponné au point de vue chimique et isotopique.

- la piézométrie : subit les influences saisonnières. La remontée de la nappe se fait en novembre.

Le niveau piézométrique enregistre une baisse entre novembre et décembre, pour se stabiliser jusqu'au mois de février, après quoi on remarque une baisse régulière correspondant à la période d'étiage.

Il faut signaler que cette année la période d'étiage a été précoce, liée aux conditions météorologiques exceptionnelles (ceci est valable pour tous les puits).

- les nitrates : ne varient pas beaucoup. La valeur moyenne est autour de 11 mg N/l. Il faut noter que c'est une valeur élevée (au-dessus de la norme).

- la composition isotopique des nitrates : est stable autour de la valeur de + 7 ‰ (minimum 6,8 ‰, maximum 7,5 ‰).

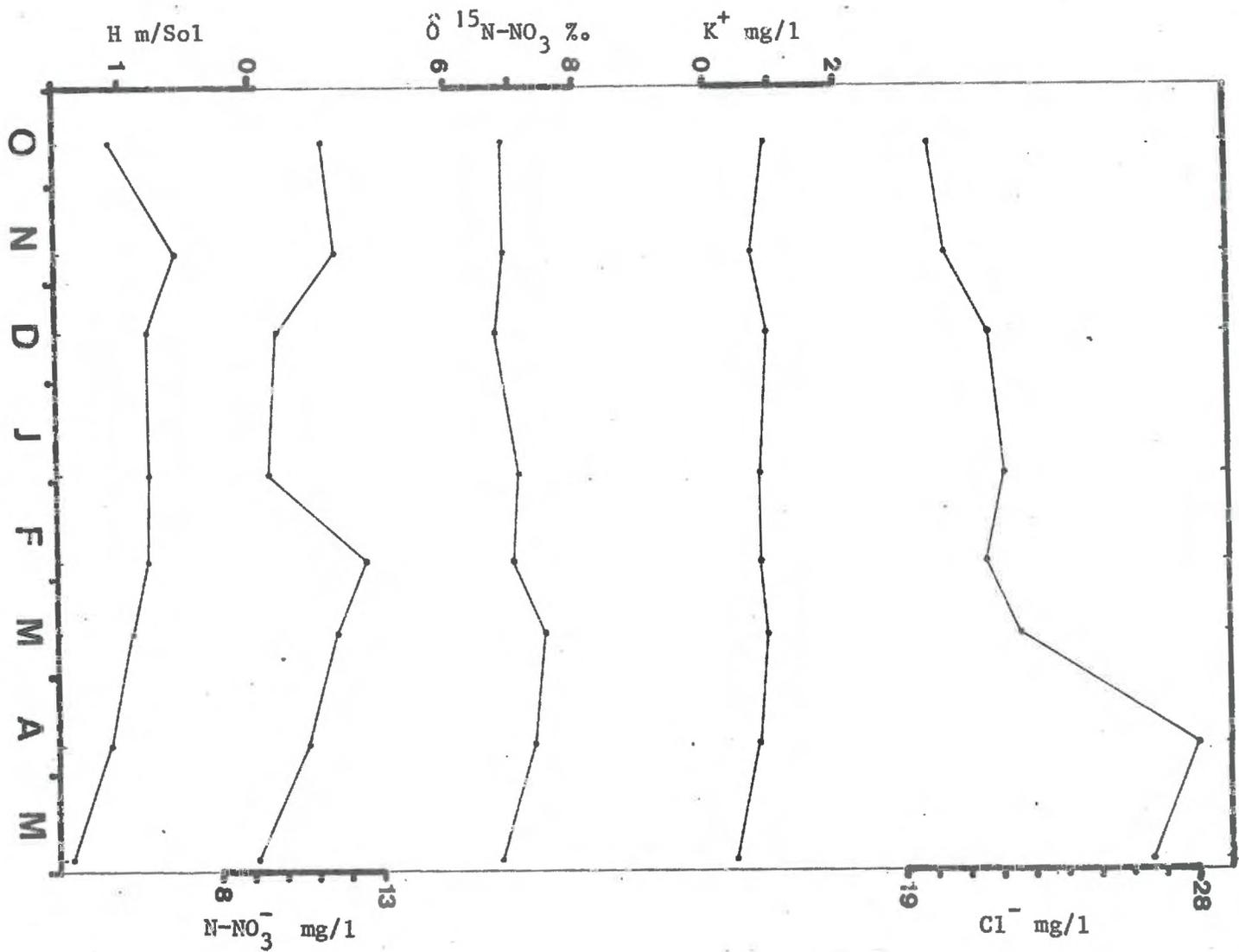
La constance de cette composition isotopique laisse supposer qu'il s'agit toujours du même stock de nitrates. Ces nitrates seraient formés dans les sols en profondeur.

- le potassium : montre des concentrations assez stables qui ne dépassent pas 1 mg/l.

- les chlorures : varient plus que les autres éléments, autour d'une moyenne de 22 mg/l. On remarque une tendance à la croissance au cours du temps. Nous n'avons pas d'indication sur la cause de cette évolution.

- Oxygène dissous : La valeur moyenne intégrant la tranche d'eau dans ce puits est de 44 % d'O₂ dissous.

Fig. 26 : PUIITS 78



c/ Conclusion

Ce puits est à l'abri de toute pollution organique (domestique ou agricole). La composition isotopique des nitrates de la nappe atteinte est stable autour de 7 ‰. Cette valeur est celle du "niveau isotopique de base" de la rivière qui correspond, comme on devait s'y attendre, à la composition isotopique des nitrates de la nappe. Cette valeur est de l'ordre de grandeur de la composition isotopique des nitrates produits naturellement dans les sols, déduite de l'étude de la parcelle de Boissy-le-Châtel.

Il semblerait ici que l'eau de la nappe soit protégée d'une pollution par les nitrates des engrais par l'existence d'un réseau de drainage à - 80 cm "court-circuitant" le transfert normal à la nappe de ces engrais.

3 - Variations saisonnières de la composition isotopique des nitrates

MARIOTTI et al. (1975) et MARIOTTI et LETOLLE (1977) ont en effet insisté sur la variation, hors accidents, de ce qu'ils ont nommé "niveau de base isotopique".

En hiver, les valeurs de l'ordre de 7 ‰ passent à 8,5 ‰ en saison chaude ; ces variations saisonnières étant calquées sur celles du niveau isotopique de base de la rivière.

Dans cette présente étude cet effet saisonnier n'est pas très visible, car l'échantillonnage n'a pas couvert toute une année hydrologique.

A. MARIOTTI (communication personnelle) a observé des variations saisonnières plus importantes en travaillant sur des cases lysimétriques de la station de sciences du sol de Châlon S/Marne (MARIOTTI et al., en prép.).

4 - Conclusion générale

Cette étude des nitrates des eaux de drainage de la parcelle de Boissy-le-Châtel, et des nitrates de l'eau de la nappe (puits 78), nous permet de caractériser la composition isotopique moyenne des nitrates des sols

(voisine de + 7 à + 8 ‰) et d'attribuer les nitrates émis en étiage par la rivière à des nitrates naturels. Les concentrations atteintes pendant ces périodes de l'ordre de 5 mg N/l sont déjà importantes et ne sauraient en aucun cas être attribuées à une pollution agricole due aux engrais. Toutefois il pourrait s'agir ici d'un effet secondaire dû à la mise en culture, donc aux pratiques culturales. Une telle hypothèse mérite d'être testée.

Il faut noter par ailleurs que divers auteurs (SHEARER et al., 1975 ; RENNIE et al., 1976 et autres) ont publié pour la composition isotopique des nitrates des sols des valeurs qui se rapprochent de celles retenues dans cette étude.

RENNIE et al. (1976) ont travaillé sur des sols de type chernozem et donnent pour l'horizon superficiel Ap :

$$\delta^{15}\text{N total} : + 8,8 \pm 1,1 \text{ ‰}$$

$$\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^- : + 9,0 \pm 3 \text{ ‰}$$

Ces mesures portent sur des nitrates extraits de sols prélevés au champ.

Sur des sols variés, SHEARER et al. (1975), FEIGIN et al. (1974) ont analysé la composition isotopique des nitrates produits après incubation de longue durée, et donnent une valeur moyenne (+ 8,54 ± 1,07 ‰) proche de celle de la composition isotopique de l'azote total (+ 8,45 ± 1,86 ‰).

Malgré les divergences rencontrées dans l'ensemble des publications sur ce sujet, il semble donc qu'une valeur voisine de + 7 à + 9 ‰ soit une valeur fréquente pour la composition isotopique des nitrates produits naturellement dans des sols de prairies ou cultivés.

II - PICS NEGATIFS A L'EXUTOIRE

Nous rappelons les conditions météorologiques exceptionnelles de la période étudiée. En effet, elle fut particulièrement sèche et nous n'avons pas pu suivre des crues importantes. Mais ces pics négatifs d'hiver de la composition isotopique, correspondant à des flux en nitrates élevés, ont été observés. (MARIOTTI et al., 1975 ; MARIOTTI et LETOLLE, 1977).

1 - Détail de quelques épisodes

a/ Crue du 30 septembre 1975 (figure 27)

C'est une petite crue d'automne (le débit liquide a atteint 174,6 l/s). On a ici un bon exemple de corrélation négative entre le flux en nitrates et la composition isotopique de ces nitrates. Cette composition isotopique n'est pas très basse (5,7 ‰), mais la variation est significative (le 29 septembre $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ était de 7,9 ‰).

D'autre part, les fortes concentrations en K^+ , $\text{PO}_4^{=}$ et Cl^- , qui viennent juste après le pic négatif en $\delta^{15}\text{N}$, peuvent indiquer qu'il s'agit d'engrais.

b/ Crue du 13 février 1976 (figure 28)

C'est la crue la plus importante que nous avons pu repérer. En effet, le 13 février le débit liquide a atteint 1 440 l/s.

La concentration en nitrates est également maximale (15,3 mg N/l) avec une composition isotopique basse (4,7 ‰).

On a là une preuve d'apport de nitrates à composition isotopique basse qui a abaissé la composition isotopique du nitrate de la rivière. Nous pensons qu'il s'agit de nitrates de synthèse (engrais). En effet :

2 - La composition isotopique des engrais

La composition isotopique de l'azote des engrais est voisine de celle de l'azote de l'air, qui est à l'origine de leur synthèse.

Des engrais, utilisés sur le Bassin Parisien, ont été analysés (tableau 11). Les valeurs moyennes de la composition isotopique de ces engrais sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{(moyenne } \pm \text{ écart type) : } \delta^{15}\text{N} - \text{NH}_4^+ &= 0,07 \pm 1,5 \text{ ‰} \\ \delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^- &= 2,4 \pm 2,1 \text{ ‰} \end{aligned}$$

Ces valeurs sont tout à fait comparables à celles publiées par d'autres auteurs (SHEARER et al., 1974 ; FREYER et ALY, 1975).

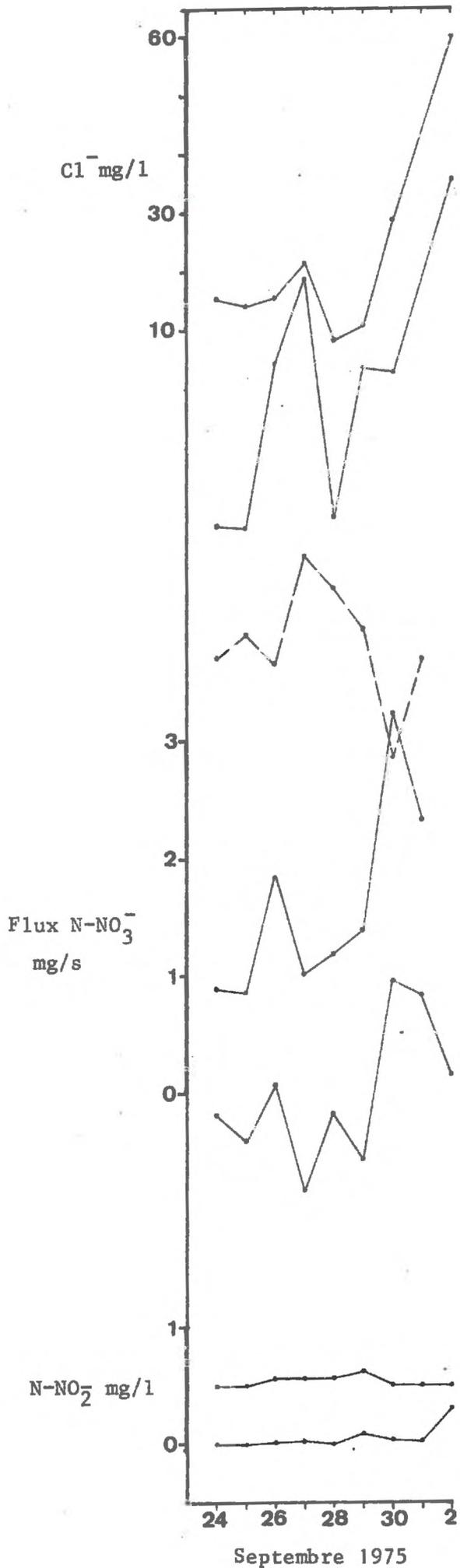


Fig.27 PICS NEGATIFS A L'EXUTOIRE

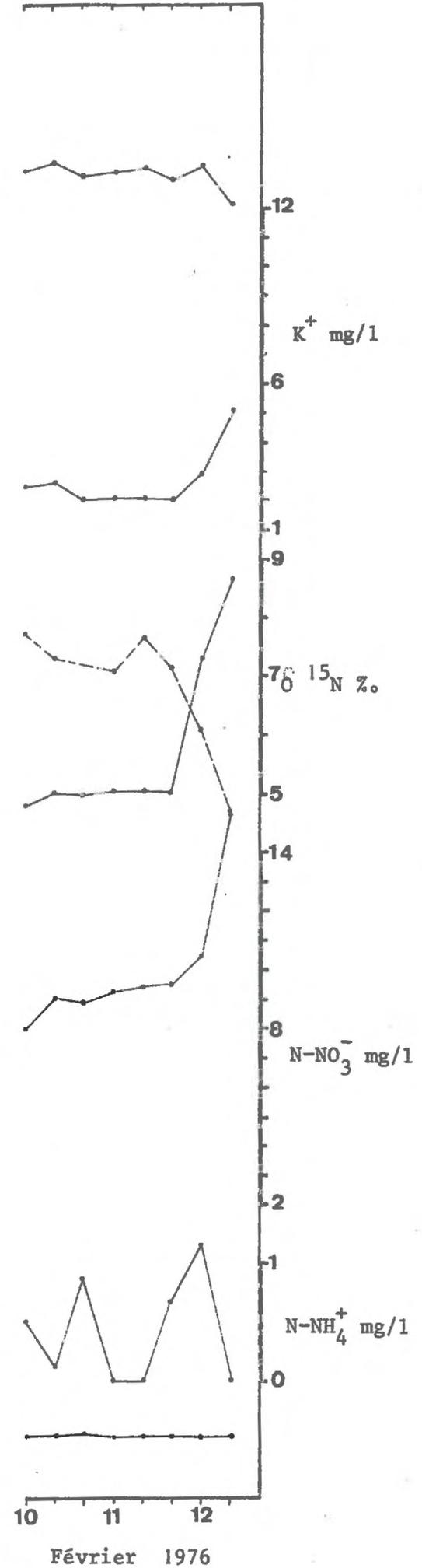


Fig.28

ENGRAIS	FORMULE N-P-K	N-NH ₄ ⁺	δ ¹⁵ N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻
X	17-17-17	60,3 %	-0,7	39,7 %	1,4
X	14-20-20	64,4	0,5	35,7	1,9
X	18-22-12	62,5	0,9	37,5	1,3
X	Ammonitrate 33,5 % N	50	0,5	50	2,3
Y	14-20-20	64,3	0,7	35,7	3,0
Y	15-15-15	54	1,4	46	3,5
Z	15-20-18	63,3	0,2	36,7	3,2
Q	18-24-12	75	0,1	25	4,5
Q	17-17-17	67,6	0,9	32,4	6,2
Q	15-15-15	56,6	-3,7	43,4	-2,7
Q	8-16-16-S	62,5	-1,9	37,5	1,0
P	Ammonitrate 33,5 % N	50	2	50	2,7
	Moyenne		0,07		2,4
	Déviation standard		1,5		2,1

TABEAU 11 : COMPOSITION ISOTOPIQUE DE L'AZOTE DE QUELQUES ENGRAIS

UTILISES SUR LE BASSIN PARISIEN

3 - Conclusion

Les pics négatifs observés pendant les périodes de crues d'hiver marquent l'arrivée d'engrais synthétiques dans la rivière. Cette arrivée de nitrates d'engrais (à composition isotopique basse) modifie ainsi la composition isotopique du nitrate à l'exutoire par mélange avec le nitrate venant du sol, déterminant le "niveau isotopique de base".

La crue du 13 février 1976 (cf. figure 28) appelle le commentaire suivant : Sachant que les périodes d'épandage des engrais sur le bassin de Melarchez se situent aux environs du début mars, et pendant la 2e semaine d'avril (donc en 2 fois), l'exportation importante d'engrais par la rivière en février (juste avant le nouvel épandage) montre que la durée de vie des engrais dans le sol peut atteindre l'année.

III - PICS POSITIFS A L'EXUTOIRE

Les pics positifs de la composition isotopique ne sont pas toujours en relation avec le flux en nitrates. Nous avons remarqué de plus l'apparition de teneurs plus élevées en NH_4^+ et NO_2^- liée à ces pics de composition isotopique élevée.

Nous tenterons de prouver l'origine organique des nitrates entraînant l'apparition de ces pics positifs, en se basant sur des expériences de fractionnement isotopique en laboratoire sur l'étude d'un égoût et de puits pollués reconnus.

1 - Détail de quelques épisodes

a/ Episode du 4 au 11 août 1975 (figure 29)

Pendant cette période estivale la composition isotopique des nitrates est très positive (+ 13,7 ‰ pour le 8 août), alors que les flux en nitrates sont faibles. Il faut noter la présence d'ammonium (9 août) qui apparaît juste après le pic positif de $\delta^{15}\text{N}$. Cette présence d'ammonium peut tracer l'arrivée de matières organiques en cours de minéralisation, dont l'origine doit être recherchée dans le déversement du réseau d'égoût dans le Râ de Rognon.

b/ Episode du 13 au 21 novembre (figure 30)

Ici on a un échantillonnage serré (3 échantillons par jour) et on se rend compte de la complexité des phénomènes dans le détail.

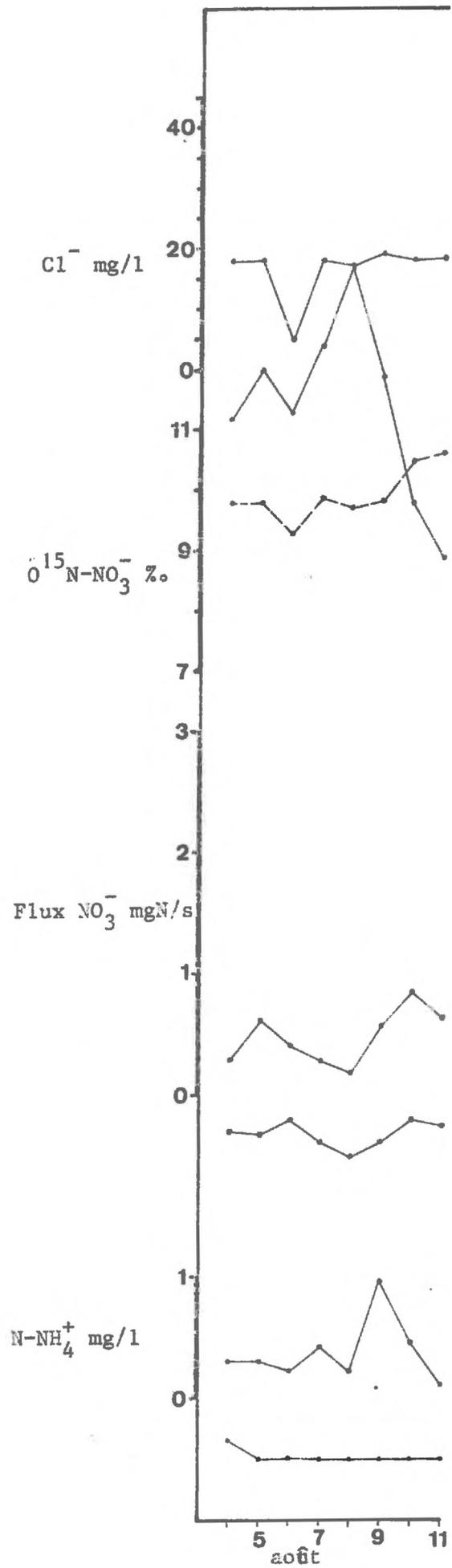


Fig.29

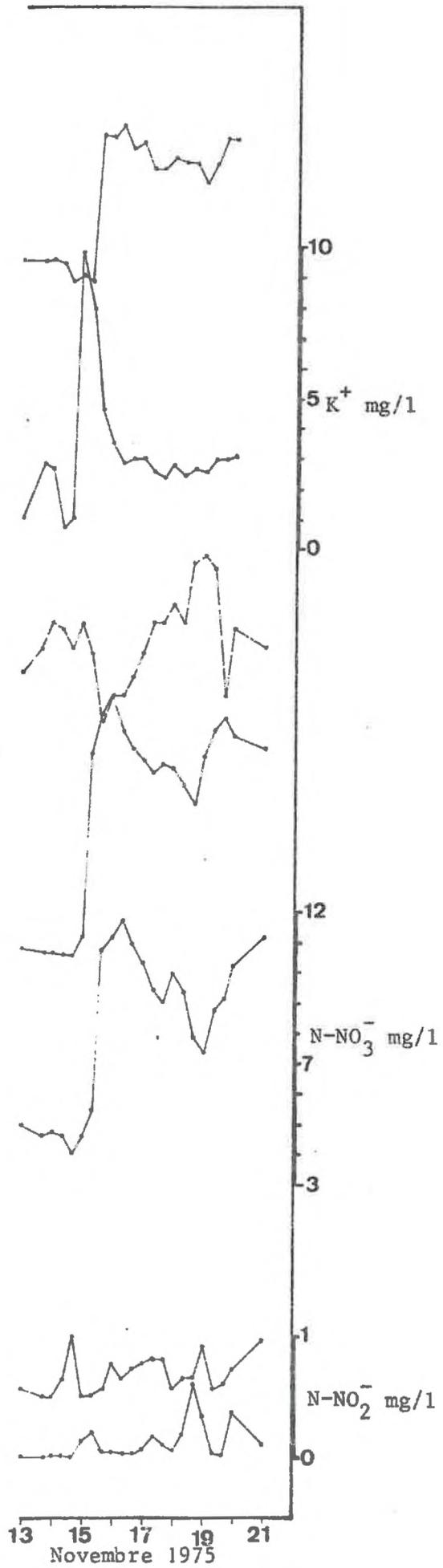


Fig.30

PICS POSITIFS A L'EXUTOIRE

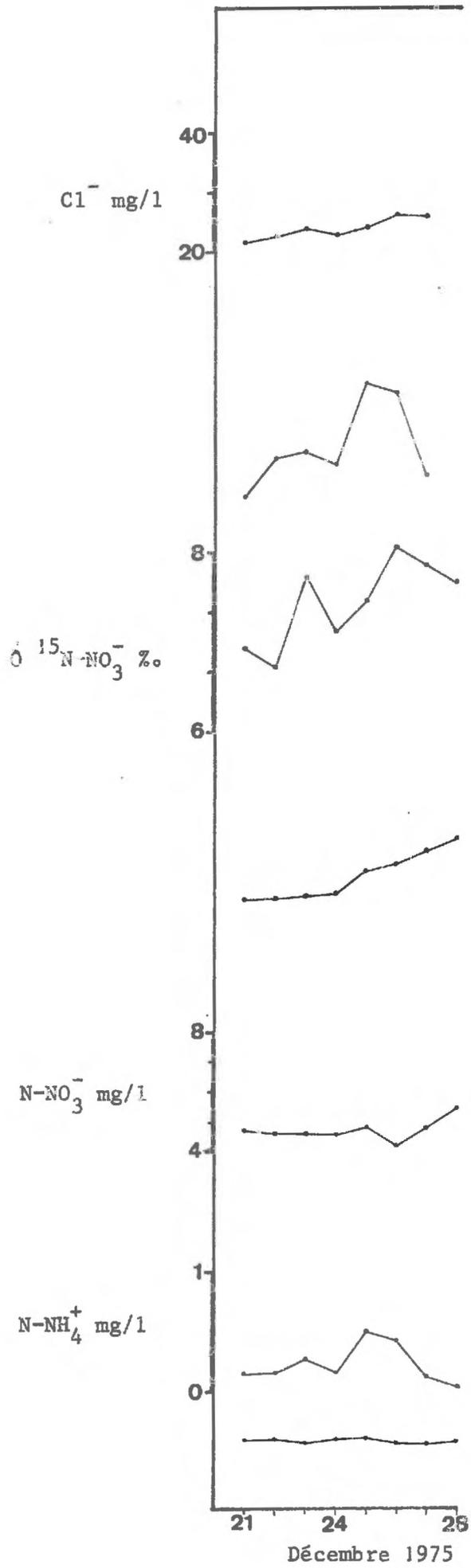


Fig.31

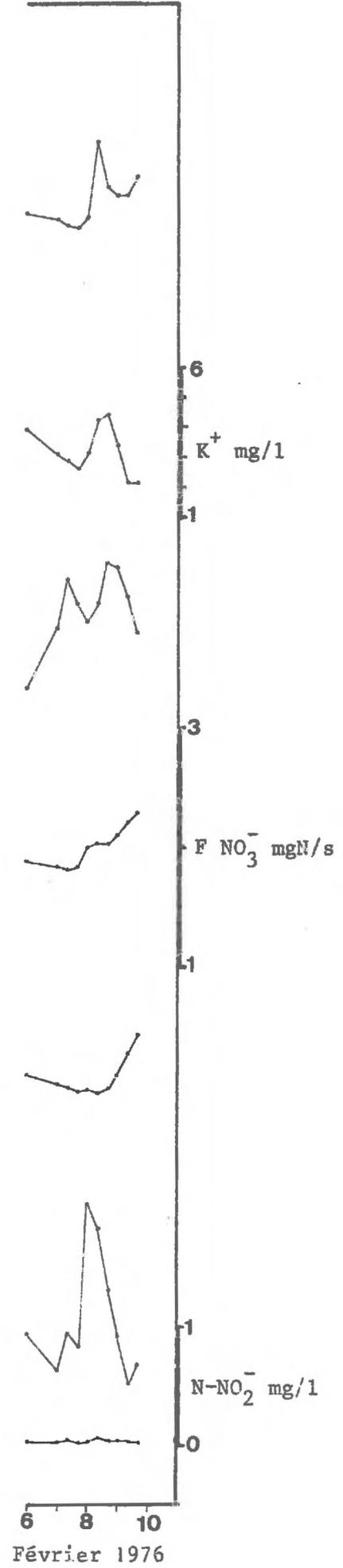


Fig.32

Tout d'abord, il faut remarquer le léger déphasage entre les concentrations et le flux en nitrates d'une part, et entre le flux et la composition isotopique d'autre part. Le déphasage pourrait être en relation avec l'évolution des nitrites et de l'ammonium qui existent en proportions significatives.

Avant la pointe de crue on observe un pic de NH_4^+ qui correspond à une concentration faible en nitrates et se situe entre 2 pics positifs de $\delta^{15}\text{N}$. Le pic positif de $\delta^{15}\text{N}$ du 19 novembre correspond à un pic de NH_4^+ et est précédé d'un pic de nitrites.

c/ Episode du 23-26 décembre 1975 (figure 31)

Ici on observe un pic de NH_4^+ entre 2 pics positifs de la composition isotopique des nitrates.

d/ Episode du 8-10 février 1976 (figure 32)

Là aussi, on observe un pic important de NH_4^+ qui se situe entre 2 pics positifs de $\delta^{15}\text{N}$.

2 - Fractionnements isotopiques

Une expérience a été décrite par MARIOTTI et LETOLLE (1977): de l'urine abandonnée à la température ambiante du laboratoire a vu la composition isotopique de l'azote de l'urée et des sels ammoniacaux monter de + 4,1 ‰ (au départ) à + 87 ‰ au bout d'une semaine, presque au terme de son évaporation. Ceci est le résultat du départ d'ammoniac isotopiquement léger, après fermentation. KREITLER (1974) a travaillé sur des sols arrosés d'urine animale, et il a montré qu'en saison chaude il y a volatilisation de NH_3 léger, par effet de bilan l'ammonium qui reste se charge en isotope lourd ^{15}N .

C'est cet ammonium qui peut donner, après oxydation, des nitrates à composition isotopique élevée.

3 - Etude d'un égoût (Melar Q)

Nous avons pu étudier l'évolution de l'égoût qui se déverse dans la rivière, juste en amont de la station de jaugeage, à l'exutoire de Melar-chez.

	DATE	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰/Air	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l
MELAR P	21-11-75	10,2	+ 6,4	1,9	31,3
	15-12-75	5,8	+ 5,3	1,5	22
	28- 1-76	6,9	+ 7,4	1,7	27,8
	25- 2-76	8,6	+ 7,5	1,7	26,3
	17- 3-76	6,3	+ 7,4	1,6	20,4
	21- 4-76	5,7	+ 7,2	1,6	15,6
MELAR Q (EGOUT)	21-11-	8,6	+ 10,2	12	31,6
	15-12-	8,9	+ 11	9,8	30,9
	28- 1-76	6,6	+ 11,5	13,9	29,1
	25- 2-	9,5	+ 10,6	13,7	30,7
	17- 3-	5,6	+ 12,3	18,1	30,2
	21- 4-	6,7	-	26,7	25,4
ETUVE DE MELARCHEZ (MZ STATION)	17-10-75	6,3	+ 7,8	1,8	18,1
	21-11-	9,3	+ 6,6	2	35
	15-12-	3,5	+ 7,6	1,7	22,3
	28- 1-76	6,8	+ 7,2	1,9	28,2
	25- 2-	8,6	+ 7,6	0,1	26,7
	17- 3-	5,8	+ 7,9	2,3	22
	21- 4-	5,9	+ 7,3	2	16,2
ETUVE DE L'ORGEVAL	17-10-75	6,8	+ 8,5	3,8	23,7
	21-11-	9,4	+ 7,7	2,5	33
	15-12-	2,3	+ 7,9	2,5	27,5
	28- 1-76	5,5	+ 8,1	2,6	31,2
	25- 2-	8	+ 3,2	2	27,2
	17- 3-	5,1	+ 8,8	3	26,6
	21- 4-	4,4	+ 9,5	3,6	22,1

TABLEAU 12 : ANALYSES D'EAUX DE SURFACE ET D'UN EGOUT

Cet égoût est à ciel ouvert ; son débit n'est pas très important.

a/ Les caractéristiques

Les caractéristiques chimiques et isotopiques sont présentées tableau 12 et figure 33.

- les nitrates ont des concentrations comprises entre 5,6 et 9,5 mg N/l, donc inférieures à la norme de 10 mg N/l.

- la composition isotopique des nitrates est élevée. Elle varie de 10,2 à 12,3 ‰. Cet ordre de grandeur représentera donc pour nous la pollution organique domestique.

- le potassium varie beaucoup (entre 9,8 et 26,7 mg/l).

En sachant que les écoulements domestiques provoquent une libération de K^+ du sol, ces concentrations confirment la pollution organique domestique. Pour le mois d'avril où on enregistre le maximum des K^+ et le minimum des chlorures, nous pensons que la composante chimique de la pollution domestique apportée par l'égoût, est importante.

- les chlorures montrent des concentrations assez élevées (entre 25,4 et 31,6 mg/l). Leur évolution ne témoigne pas de variations très importantes.

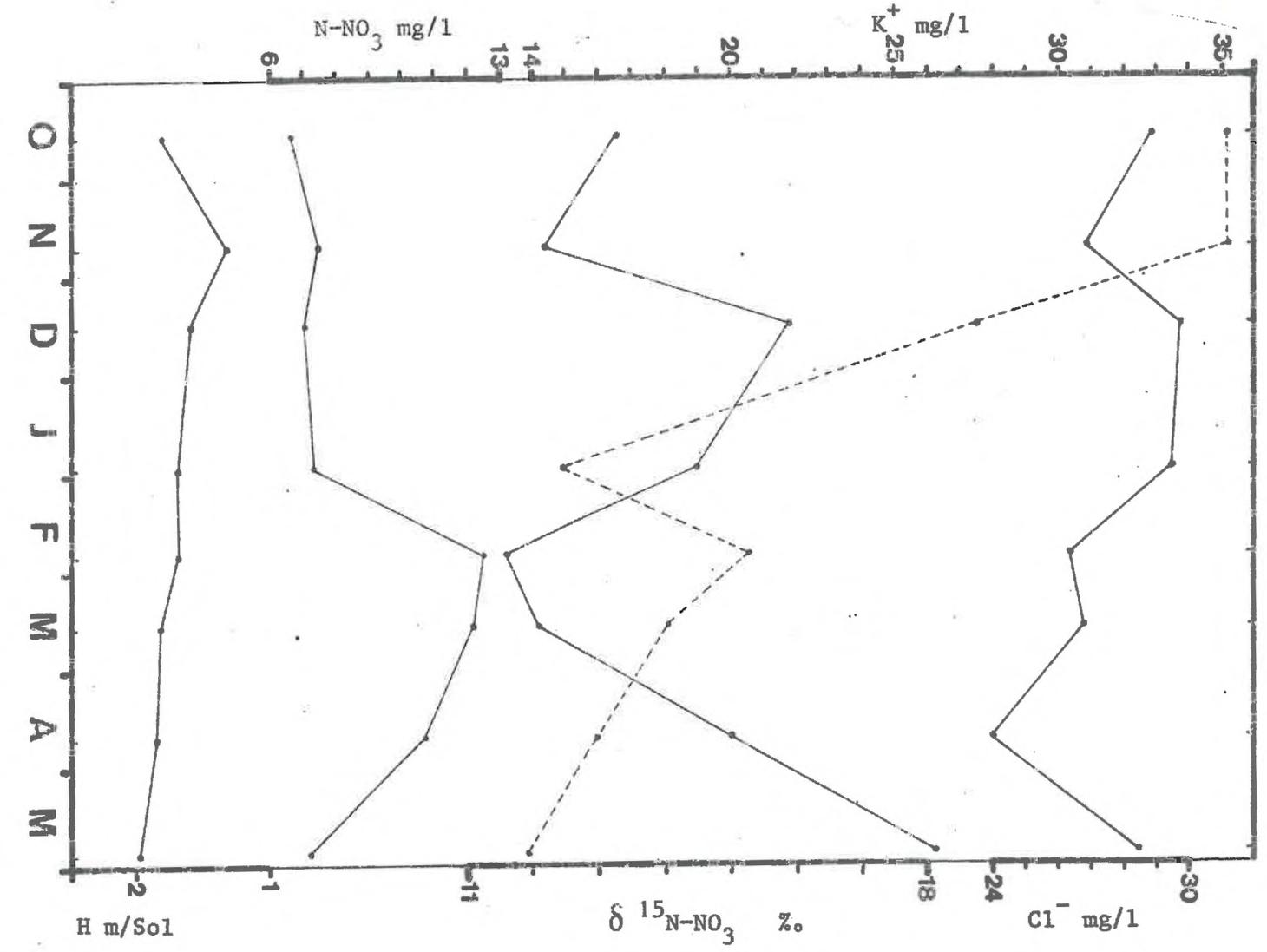
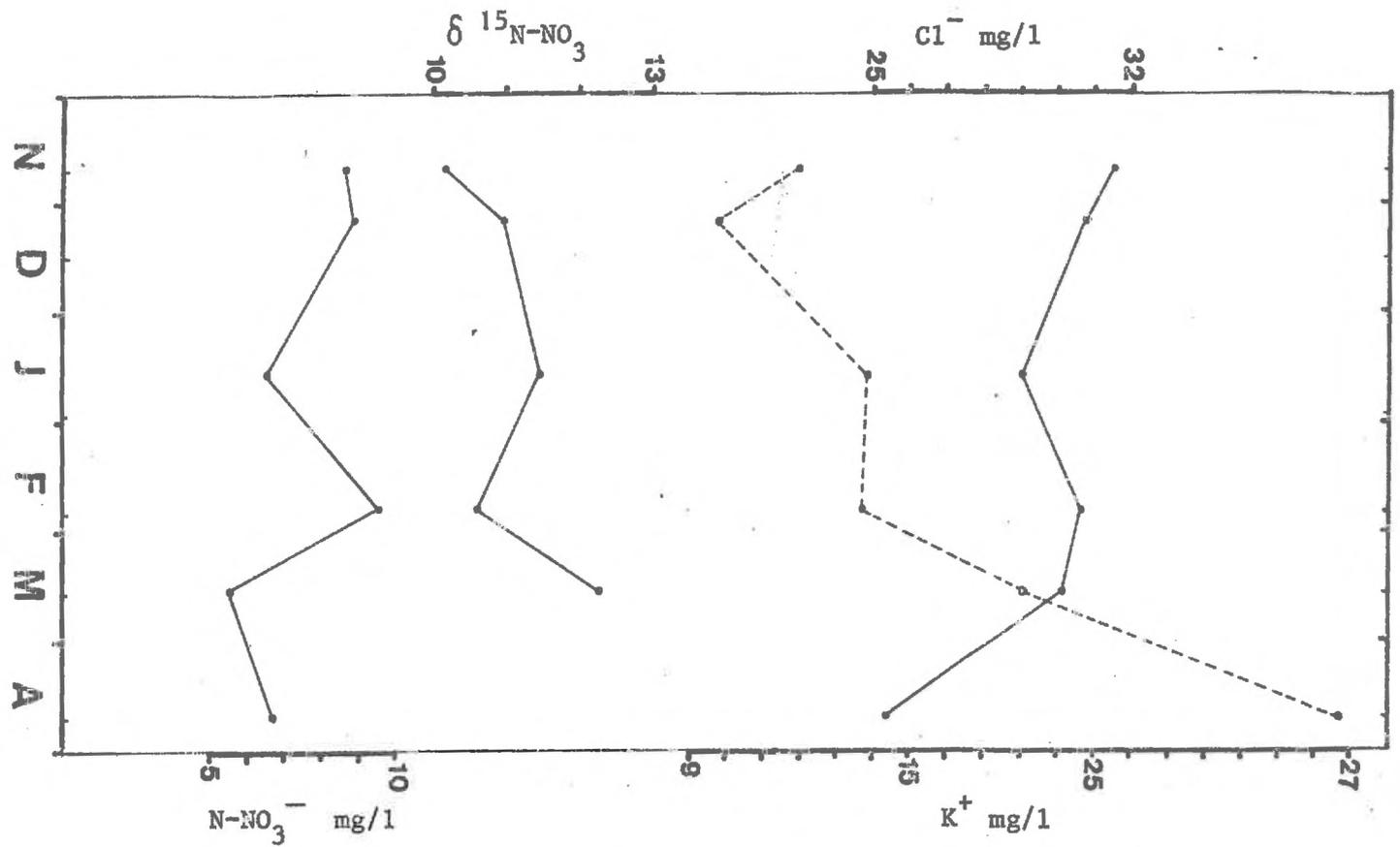
b/ Conclusion

Nous pouvons dire que la pollution organique domestique est caractérisée par une composition isotopique des nitrates élevée (de l'ordre de 10 à 12 ‰), par des concentrations en chlorures élevées aussi, mais surtout d'importantes teneurs en K^+ .

c/ Remarque

De plus, nous avons effectué des prélèvements mensuels :

- . à l'exutoire de Melarchez (Melarchez station),
- . en amont de l'exutoire et du débouché de l'égoût du Petit Saussoy (Melar P),
- . en aval, à l'exutoire du bassin de l'Orgeval.



En comparant les résultats obtenus en amont et aval du débouché de l'égoût, on constate (cf. tableau 12) que la rivière s'enrichit en Cl^- , en K^+ et, corrélativement la composition isotopique des nitrates s'enrichit : l'influence de la pollution azotée due à la pollution organique domestique est manifeste.

De plus, l'analyse à l'exutoire du bassin de l'Orgeval (en aval donc du bassin de Melarchez) montre un enrichissement significatif de la composition isotopique du nitrate : nous voyons ici l'influence d'apports de plus en plus importants de nitrates d'origine organique domestique tout au long de la rivière.

4 - Etude de puits pollués

Les puits que nous allons étudier maintenant sont contaminés soit par des pollutions organiques domestiques (puisards) (77, 55), soit par des pollutions organiques agricoles : fumier, jus de purin (1, 3) (cf. tableau 13). Le puits 54 sera couplé à l'étude du puits 55 à titre de comparaison.

a/ Puits 77

α - Présentation

Ce puits de 3,65 m de profondeur se trouve à proximité de l'exutoire de Melarchez. Il est situé à proximité d'un puisard de résidence secondaire.

β - Caractéristiques (cf. tableau 10, figure 34)

- piézométrie : Les niveaux piézométriques de la nappe atteinte dans ce puits ne montrent pas de grandes variations.

A part une légère hausse en novembre, les fluctuations sont assez minimes. Ceci peut s'expliquer par la position du puits situé à quelques pas de la rivière qui le régularise.

- les nitrates : Les teneurs sont assez variables tout en restant élevées. D'octobre à janvier, les concentrations sont autour de 7 mg N/l. En février elles passent brusquement à 12,5 mg N/l, après quoi elles retombent progressivement pour revenir à 7 mg N/l en mai.

MILIEU	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	%saturation O ₂ dissous à 1 m de profondeur
Puisard	de 6,7 à 12,5	de 11,6 à 18,1	de 15 à 35,2	de 24 à 29,8	23 %
Bassin de rejets domestiques	de 2,8 à 4,2	de 14,2 à 18,4	de 12,7 à 25,6	de 17,4 à 22,8	4 %
Fumier + compost	de 5 à 9,5	de 9,8 à 15,5	de 7,8 à 11,2	de 26,9 à 82	16 %
Cour de ferme	de 10,5 à 23,4	de 8,3 à 19	de 3,4 à 10,6	de 45,7 à 140	9 %

TABLEAU 13 : PUITTS TOUCHES PAR UNE POLLUTION ORGANIQUE

analyse unique

- la composition isotopique de ces nitrates est elle aussi élevée (entre 11,5 ‰ et 18 ‰) et se place bien dans la gamme définie comme pollution organique.
- le potassium : Les concentrations en K^+ atteignent des valeurs très élevées et varient de 13,8 mg/l à 35 mg/l.
- les chlorures ne montrent pas de grandes variations avec une moyenne assez élevée (autour de 28 mg/l). Ceci n'est pas en contradiction avec l'hypothèse d'une pollution organique domestique.
- Oxygène dissous : La valeur moyenne de 25 % de saturation en O_2 dissous est faible mais n'implique pas nécessairement la dénitrification. Ce phénomène, on l'a vu (DELWICHE et STEYN, 1970 ; WADA et al., 1975, et autres) entraîne un important fractionnement isotopique tel que l'azote produit est enrichi en isotope lourd par rapport à l'azote du nitrate originel. Par effet de bilan, le nitrate résiduel voit sa composition isotopique s'élever.

γ - Conclusion

Ce puits soumis à une pollution domestique organique, caractérisée par le chimisme de l'eau, contient un nitrate dont la composition isotopique est élevée : l'origine de ces nitrates se trouve ainsi confirmée par cette méthode.

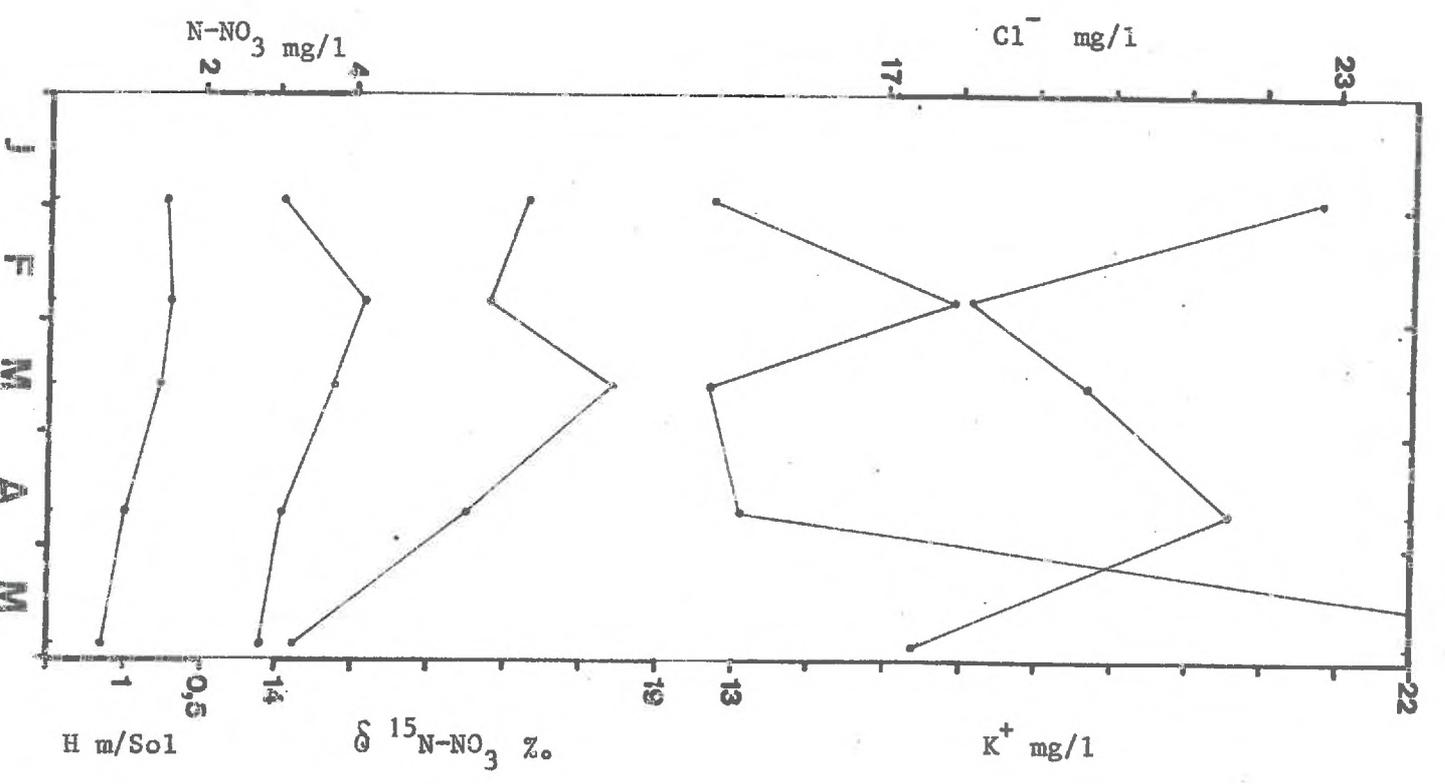
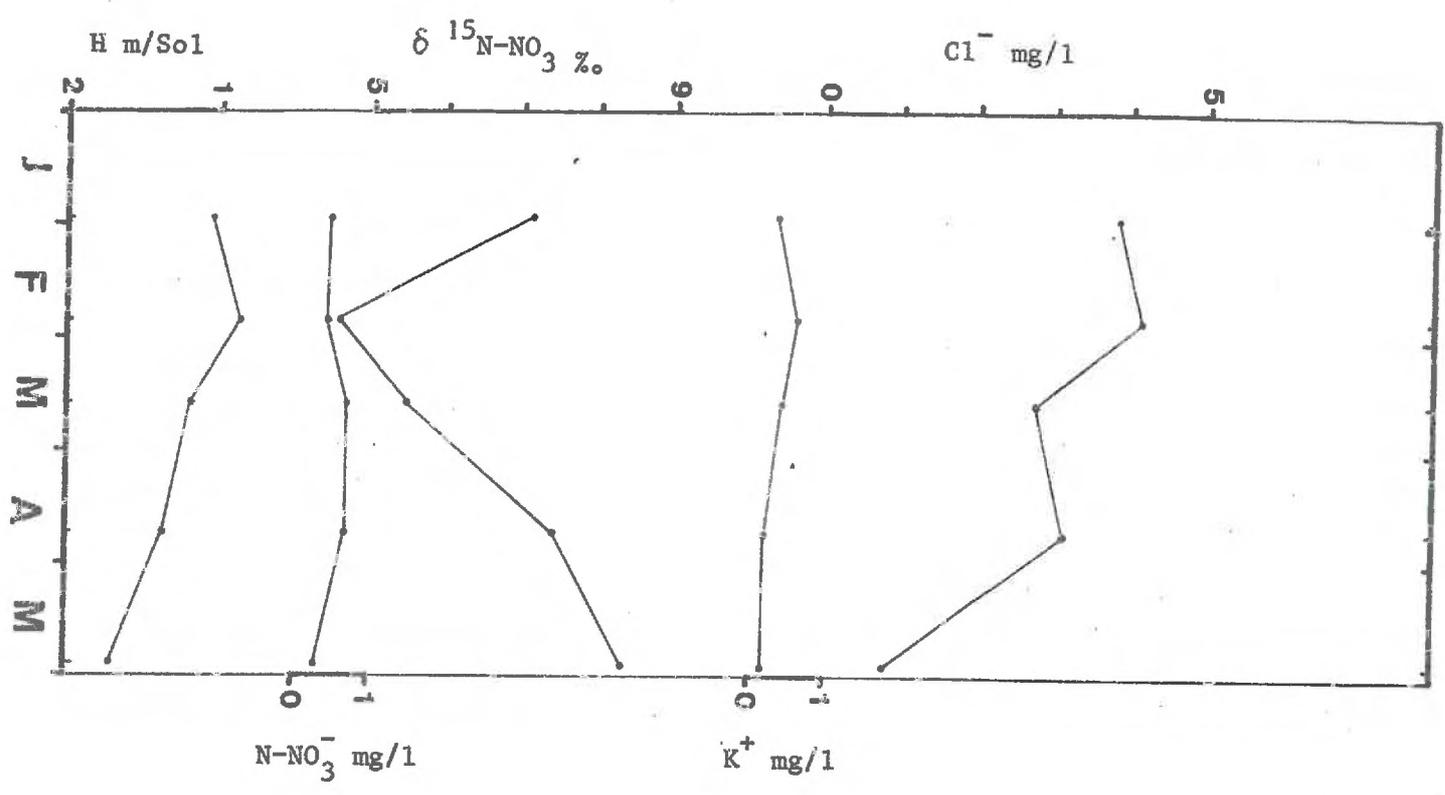
b/ Puits 54

α - Présentation

La profondeur de ce puits est de 3,90 m. L'environnement est une prairie. Ce puits, non pollué, est utilisé pour la boisson.

β - Caractéristiques (tableau 10, figure 35)

- piézométrie : En février le niveau d'eau est le plus élevé, puis un abaissement progressif a eu lieu jusqu'au mois de mai.
- nitrates : Les concentrations en nitrates sont très faibles.



En effet elles ne dépassent pas 1 mg N/l et sont assez constantes dans le temps.

- composition isotopique : les $\delta^{15}\text{N}$ des nitrates sont variables mais restent dans la gamme 4,5 à 8,5 ‰. Nous pensons qu'il s'agit des nitrates formés naturellement dans un sol de prairie.

La chute de la composition isotopique entre janvier et février peut être expliquée par une dilution par l'eau de pluie.

La remontée continue de la composition isotopique de février jusqu'au mois de mai correspondra alors à un rééquilibre du mélange. On pourra peut-être envisager en plus un effet saisonnier.

- le potassium : montre des concentrations basses (inférieures à 1 mg/l) et assez constantes.
- les chlorures : ce puits est également pauvre en Cl^- (valeur maximale enregistrée de 4,1 mg/l).
- Oxygène dissous : Le profil de saturation en oxygène dissous ne montre pas d'anomalies. La valeur moyenne est de 29 ‰ de la saturation.

γ - Conclusion

Les faibles concentrations en NO_3^- , K^+ , Cl^- montrent que ce puits est à l'abri de toute pollution.

La composition isotopique reflète celle des nitrates produits localement dans un sol de prairie.

c/ Puits 55

α - Présentation

Ce puits de 3,65 m de profondeur est situé à quelques mètres du puits 54. Donc, l'environnement est le même (prairie). Toutefois ce dernier puits est affecté par une pollution organique, due à la présence d'un bassin de rejets domestiques entre les 2 puits.

La carte piézométrique établie par FILIZ (1973) montre un écoulement de la nappe tel que le puits 55 subit la pollution, alors que le puits 54 n'est pas affecté.

β - Caractéristiques (tableau 10, figure 36)

- piézométrie : L'évolution des niveaux piézométriques montre un gonflement de la nappe en février, puis une baisse.

Les variations sont moins importantes que dans le puits 54 qui se trouve en amont.

- les nitrates : Les concentrations en nitrates ne sont pas très élevées dans l'absolu (valeur maximale de 4,2 mg N/l) mais très supérieures à celles du puits 54 qui nous sert de référence.

- la composition isotopique. Les $\delta^{15}\text{N}$ de ces nitrates sont élevées (supérieures à 14 ‰) et marquent bien une pollution organique.

- le potassium : Le potassium montre des valeurs élevées (entre 12,7 et 25,6 mg/l). La remarque faite à propos de la pollution organique domestique, lors de l'étude du puits 77, est valable ici.

- les chlorures : Les chlorures sont aussi assez variables et restent supérieurs à 17 mg/l.

- Oxygène dissous : Le pourcentage de saturation en O_2 dissous dans ce puits est assez faible (moyenne de 10 %). C'est sans doute l'apport de matière organique qui est responsable du milieu réducteur dans ce puits.

γ - Conclusion

La composition isotopique élevée des nitrates est due essentiellement à la pollution organique domestique. Les valeurs de K^+ , de Cl^- et de $\delta^{15}\text{N}$ peuvent nous donner / une idée de l'importance relative des composantes "pollution" et "naturelle" de la teneur en nitrates.

d/ - Puits n° 1

α - Présentation

Ce puits a 4,75 m de profondeur. L'environnement est agricole. Au voisinage immédiat il y a un tas de fumier et de compost. Enfin, ce puits n'est pas utilisé.

β - Caractéristiques (figure 37, tableau 10)

- piézométrie : le gonflement de la nappe est très important entre octobre et décembre. Le niveau piézométrique continue à monter doucement jusqu'au mois de février. Ensuite, il y a chute du niveau piézométrique lente entre février et avril, plus prononcée entre avril et mai.

On remarque que pour le mois de mai on retombe sur la même valeur de niveau piézométrique que pour le mois d'octobre. La période de recharge de la nappe étant plus longue que la période d'étiage, on voit là encore l'influence des conditions météorologiques exceptionnelles pour la période d'étude.

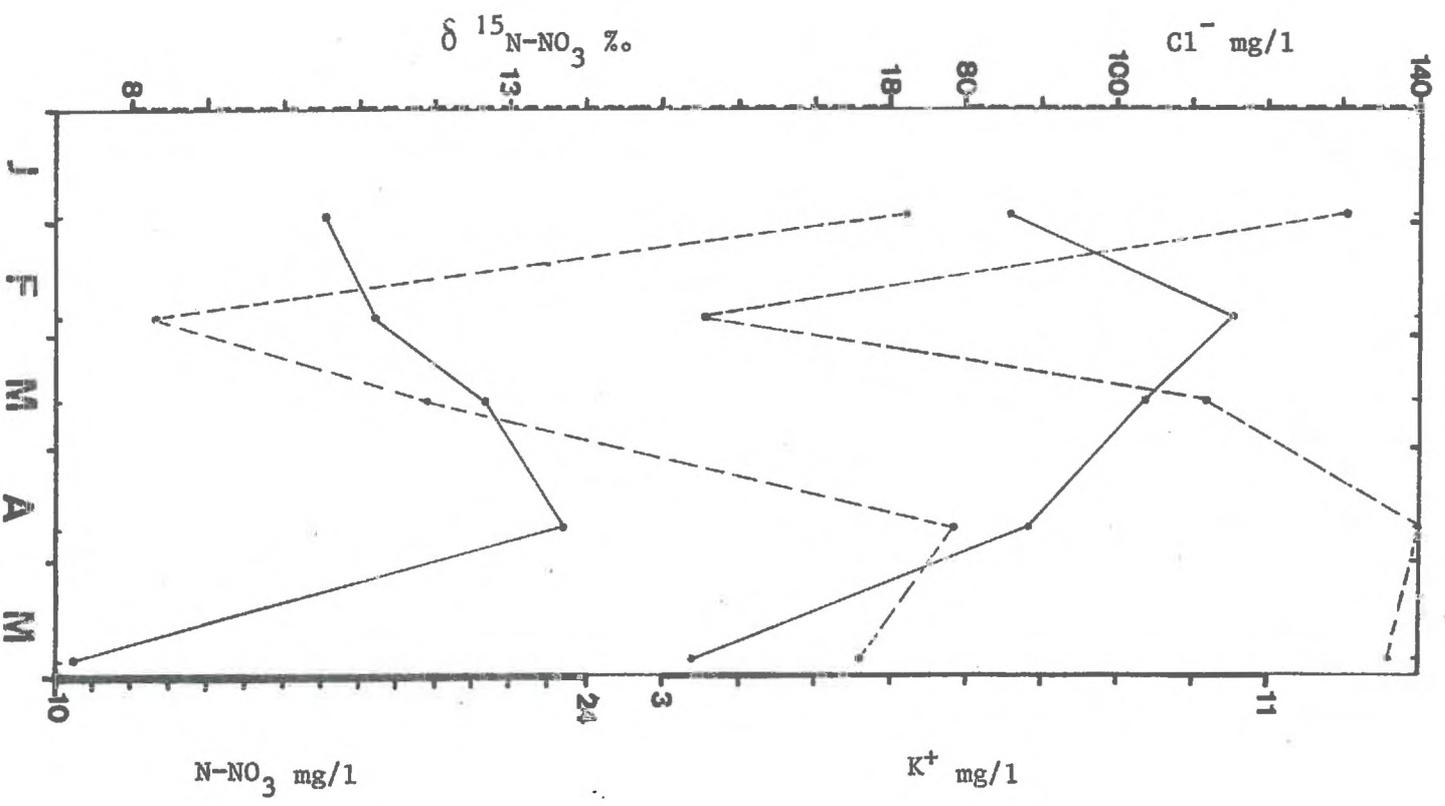
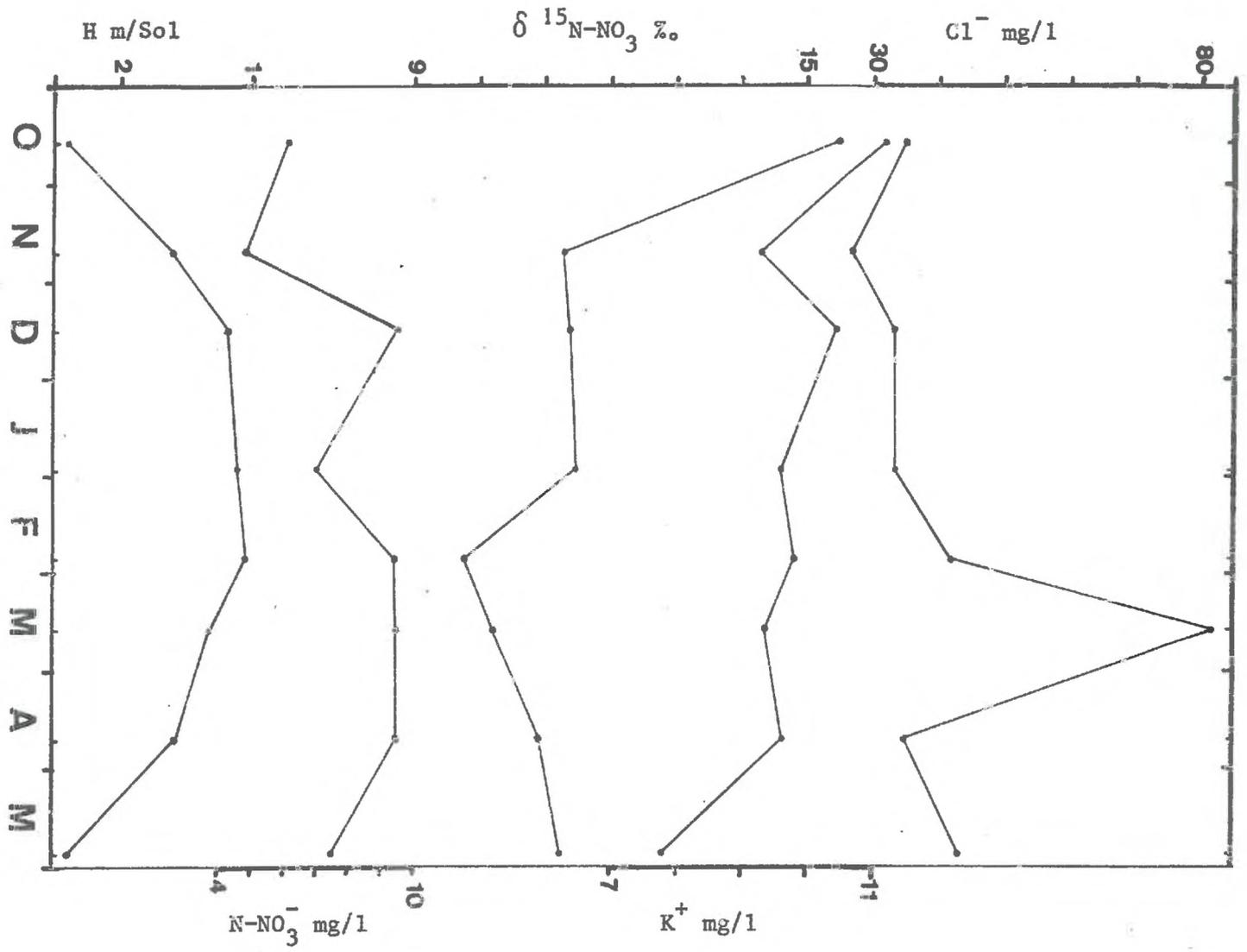
- nitrites : Les concentrations en nitrites de l'eau de ce puits sont assez variables. Elles se rapprochent de la norme de 10 mg N/l mais ne la dépassent pas.

En novembre, la chute des nitrites (ainsi que K^+ et Cl^-) peut s'expliquer par une dilution.

- composition isotopique : Les nitrites ont des $\delta^{15}N$ élevés (entre 9,8 et 15,5 ‰). Le tas de fumier et de compost est certainement l'origine de cette pollution. Au cours de la période sèche et chaude, il y a tendance à la remontée des $\delta^{15}N$ (valeurs plus positives).

- le potassium : Les valeurs de K^+ , enregistrées, sont comprises entre 7,8 et 11,5 mg/l. On observe de petites variations et une tendance générale à la décroissance au cours du temps.

- les chlorures : Les chlorures sont très variables et peuvent atteindre des concentrations élevées (82 mg/l pour le mois de



mars). C'est là un autre argument en faveur de la pollution organique.

- Oxygène dissous : La moyenne est de 22 % de la saturation en oxygène dissous.

γ - Conclusion

La composition isotopique des nitrates assez positive et les fortes teneurs en chlorures prouvent que ce puits est pollué par le tas de fumier et de compost qui est à proximité.

e/ Puits n° 3

α - Présentation

Ce puits est assez profond (8,05 m de profondeur, second après le puits 65 : 8,35 m). Il est situé dans une cour de ferme, à élevage intensif de bovins, avec mare de purin. Ce puits est pompé occasionnellement.

β - Caractéristiques (tableau 10, figure 38)

- nitrates : Les concentrations en nitrates sont très élevées. Bien que variables (entre 10,5 et 23,4 mg N/l), elles restent supérieures à la norme. On observe une croissance progressive des teneurs en nitrates pour atteindre le maximum en avril. Entre avril et mai les valeurs minimales sont atteintes. Cette décroissance, accompagnée d'ailleurs par une diminution des teneurs en K^+ , Cl^- et $\delta^{15}N$, pourrait être due à un pompage intensif faisant appel à l'eau de la nappe qui se mélange alors avec l'eau polluée.
- composition isotopique : Les $\delta^{15}N$ des nitrates varient entre 8,3 ‰ et 19 ‰. Ces valeurs élevées enregistrent bien la pollution organique.

Il faut signaler d'autre part qu'il y a corrélation positive avec les chlorures. La valeur la plus basse de la composition isotopique obtenue en février correspond au minimum des chlorures, mais au maximum des K^+ .

- Oxygène dissous : Ce puits est pauvre en oxygène dissous (10 % de la saturation en moyenne) pour le prélèvement du mois de mai. L'oxydation de la matière organique consomme cet oxygène.
- le potassium : Les concentrations en K^+ sont comprises entre 3,4 et 10,6 mg/l. Elles sont très variables et présentent un maximum en février, puis décroissance pour atteindre le minimum en mai.
- les chlorures : Les chlorures varient beaucoup mais restent toujours élevés. A part une seule valeur relativement basse (45,7 mg/l en février), les concentrations pour les autres mois sont supérieures à 110 mg/l, avec un maximum de 140 mg/l en avril. Ceci confirme l'existence d'une pollution organique.

γ - Conclusion

La pollution organique (jus de purin) se traduit par de fortes concentrations en NO_3^- , en Cl^- , et par des valeurs très positives de la composition isotopique des nitrates.

5 - Conclusion générale

De ce qui précède, on peut dégager les caractéristiques de la pollution organique (domestique ou agricole) :

La composition isotopique des nitrates est élevée ainsi que les concentrations en K^+ et Cl^- (les concentrations en K^+ sont plus importantes dans le cas de pollution organique domestique).

A la lumière de ces résultats, on peut confirmer que les pics positifs de la composition isotopique à l'exutoire ont une origine organique et correspondent à un apport dans l'eau de la rivière à l'exutoire de nitrates, de provenance domestique.

L'apparition de NH_4^+ et NO_2^- est souvent liée à ces pics positifs, mais nous avons remarqué des exceptions (en mars et avril, on a des pics importants de NH_4^+ mais pas de pics de $\delta^{15}N$ et la situation n'est pas nette).

4e PARTIE : ETUDE DES DRAINS

En vue de comparaisons avec le drainage de la parcelle de Boissy-le-Châtel, qui nous servira de référence, nous avons étudié l'eau du drainage de champs cultivés sur le bassin de Melarchez.

A - INTRODUCTION

Vu l'existence d'un niveau imperméable superficiel sur le bassin de l'Orgeval, la pose de drains était indispensable pour éviter que le sol ne soit noyé.

Sur le bassin de Melarchez, plus de 80 % de la superficie du bassin est drainée artificiellement, et les travaux continuent encore.

FILIZ (1973) a montré, par le traçage naturel à l'aide de l' ^{18}O , que les eaux drainées (en hiver) ne sont pas celles de la pluie du même jour, ce qui confirme que les drains fonctionnent quand la nappe des limons superficiels remonte au niveau des drains. On verra plus loin que ceci n'est pas contradictoire avec nos résultats. L'échantillonnage discontinu est peu propice à une bonne compréhension des phénomènes.

B - LES DRAINS ETUDIES

Nous avons pu suivre 4 drains et une fosse de ruissellement à titre de comparaison (cf. carte, figure 25).

I - DRAIN P₂₅ (tableau 14, figure 39)

Il draine un champ de luzerne qui n'a pas été amendé en azote depuis 2 ans.

- . Les concentrations en nitrates sont élevées (entre 9,5 et 15,5 mg N/l).
- . La composition isotopique de ces nitrates est comprise entre 4,9 et 6,5 ‰. On remarque une décroissance des $\delta^{15}\text{N}$ au cours du temps. En plus, il y a corrélation négative peu marquée entre les nitrates et les $\delta^{15}\text{N}$. Comparé aux autres, ce drain montre des compositions isotopiques plus basses. Ceci est peut-être lié à

	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰/Air	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	DATE
DRAIN P25	10,8	+ 6,5	1,7	28,44	21-11-75
	13,6	+ 5,7	1	24,7	15-12-75
	9,5	+ 5,6	0,8	24,2	28- 1-76
	14,3	+ 5,4	1,2	25,6	25- 2-76
	14,3	+ 5,1	0,8	24,8	17- 3-76
	15,5	+ 4,9	1,1	22,4	21- 4-76
DR 2M	9,9	+ 6,4	0,6	29,2	21-11-75
	11	+ 6,7	0,8	30,8	29-11-75
	8,6	+ 5,3	0,5	27	15-12-75
	6,7	+ 6,8	0,6	28,6	28- 1-76
	8,9	+ 5,4	0,3	27,8	25- 2-76
DRAIN de la ferme VIZARD	22	+ 7,9	0,7	73,7	16-11-75
	13,5	+ 8,1	0,3	49,4	18-11-75
	14	+ 7,3	0,3	39,5	21-11-75
	19,6	+ 8,1	1,1	59	25-11-75
	17,7	+ 8,3	0,9	49,5	2-12-75
	22,5	+ 8,1	2,6	37,5	13- 2-76
DR 1M	17,1	+ 8	0,5	28,4	21-11-75
	28,2	+ 7,6	0,3	31,6	29-11-75
	12,5	+ 6,6	0,3	21,7	15-12-75
	8,5	+ 7,4	0,2	22,9	28- 1-76
	14,3	+ 7	0,5	22,1	25- 2-76
	12,5	+ 7,4	0,4	23	17- 3-76

TABLEAU 14 (a) : ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

DES EAUX DE DRAINAGE A MELARCHEZ

	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰/Air	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	DATE
F 1M	17,3	+ 5,5	0,4	21,4	21-11-75
	13,1	+ 5	0,3	17,9	15-12-75
	6	+ 5,6	0,4	20,6	28- 1-76
	12,3	+ 5,7	12,6	20,8	25- 2-76
	13,1	+ 5,8	0,4	20	17- 3-76
	10,5	+ 5,1	0,5	17,2	21- 4-76

TABLEAU 14 (b) : ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

DES EAUX DE DRAINAGE A MELARCHEZ

Fig. 39 : DRAIN P25

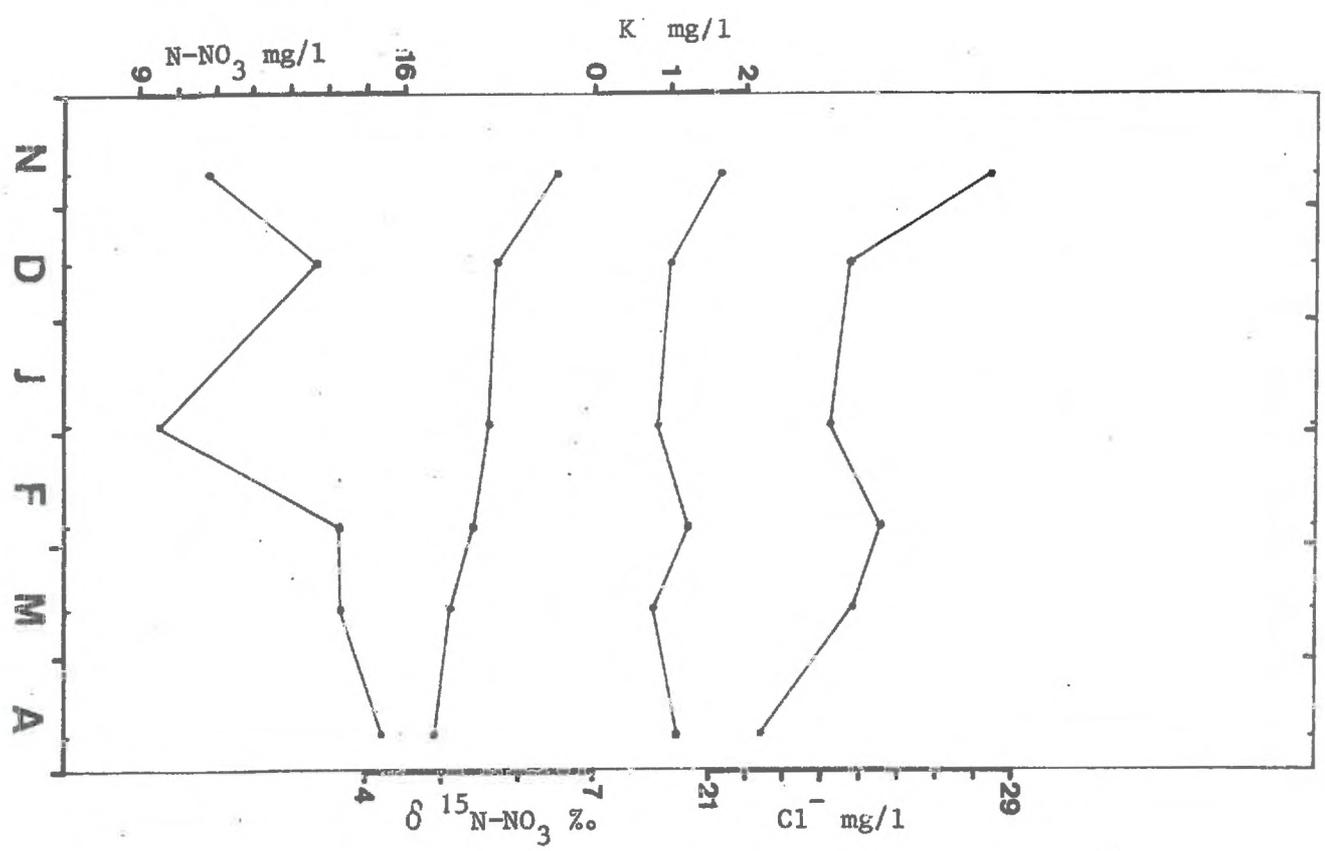


Fig. 40 : DRAIN

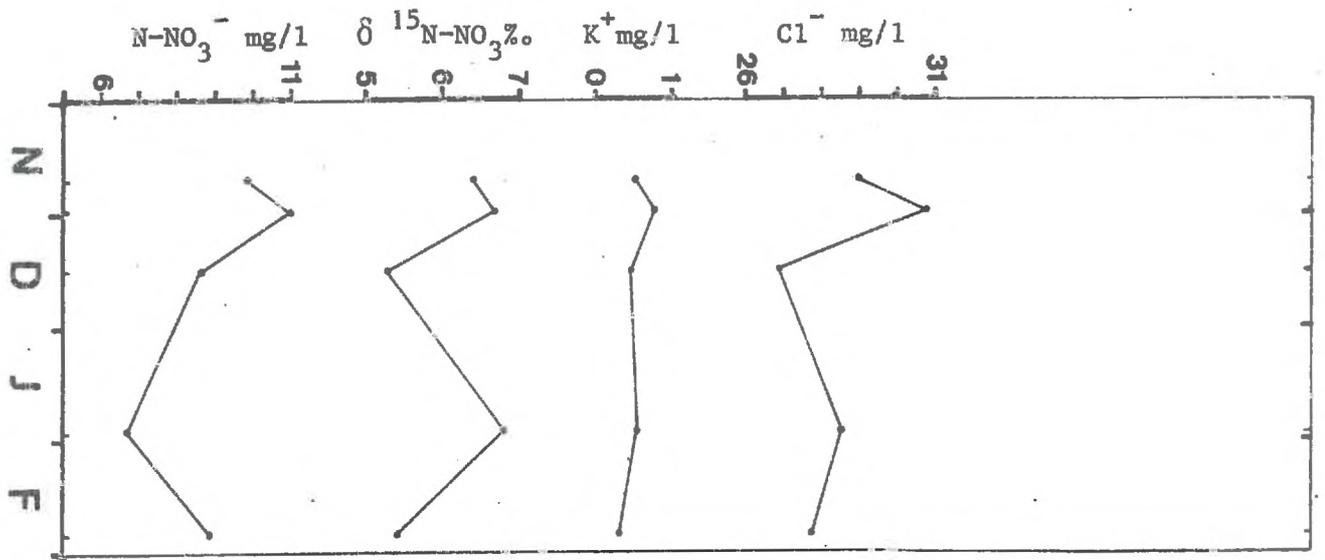
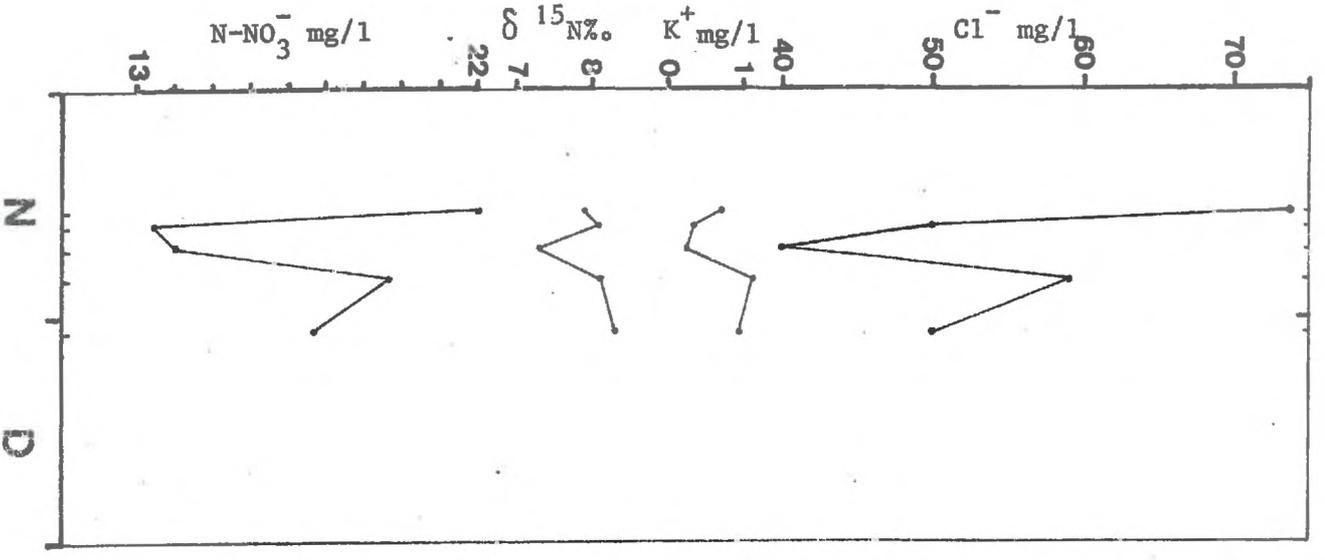


Fig. 41 : DRAIN



la fixation symbiotique de N_2 atmosphérique par la luzerne (légumineuse) dans le cycle de l'azote.

- . Les teneurs en K^+ oscillent autour de 1 mg/l.
- . Les chlorures, plus variables, ont des concentrations comprises entre 23,4 et 28,4 mg/l.

II - DRAIN 2M (tableau 14, figure 40)

Il draine un champ cultivé.

- . On a ici des concentrations en nitrates plus basses que pour les autres drains. Les teneurs varient de 6,7 à 11 mg N/l.
- . Les nitrates ont une composition isotopique allant de 5,3 à 6,8 ‰.
- . Les concentrations en K^+ sont assez stables et ne dépassent pas 1 mg N/l.
- . Les teneurs en chlorures varient entre 27 et 30,8 mg/l. On remarque l'existence d'une corrélation positive entre les chlorures et les $\delta^{15}N$.

III - DRAIN DE LA FERME VIZARD (tableau 14, figure 41)

Il draine un champ cultivé. Nous avons pu obtenir un échantillonnage relativement continu, mais uniquement pour une courte période.

- . L'évolution des nitrates montre de grandes variations, les concentrations étant comprises entre 14 et 22,5 mg N/l.
- . La composition isotopique de ces nitrates (entre 7,3 et 8,3 ‰) reflète celle des nitrates formés dans le sol naturellement (cf. parcelle de Boissy-le-Châtel).
- . Les chlorures peuvent atteindre des concentrations importantes (73,68 mg/l).
- . Les teneurs en K^+ sont elles aussi plus élevées que pour les autres drains et les concentrations varient de 0,3 à 2,6 mg/l.

Il est à noter qu'il y a une certaine corrélation positive entre les K^+ et les NO_3^- .

IV - DRAIN 1M (tableau 14, figure 42)

Ce drain se déverse dans une fosse au bord de la route.

L'eau de la fosse a été prélevée en même temps à titre de comparaison.

- . Les nitrates sont très variables. La concentration maximale (21,2 mg N/l) est observée à la fin du mois de novembre, et la minimale (8,5 mg N/l) en janvier.
- . Les $\delta^{15}\text{N}$ de ces nitrates sont compris entre 6,6 et 8 ‰.
- . Les teneurs en K^+ sont très stables et dépassent à peine 0,5 mg/l pour la plus forte valeur.
- . Les chlorures montrent une certaine corrélation positive avec les nitrates. Les concentrations enregistrées varient de 21,7 à 31,6 mg/l.

V - F 1M (tableau 14, figure 43)

C'est une fosse qui recueille les eaux de drainage mais aussi les eaux de ruissellement. Les prélèvements ont été faits juste à côté du drain DR 1M.

- . Les nitrates sont variables (entre 6 et 17,3 mg N/l), mais leur évolution rappelle celle des autres drains (DR 1M et DR 2M).
- . Par contre, les variations de la composition isotopique ne dépassent pas 1 ‰, les $\delta^{15}\text{N}$ sont compris entre 5 et 5,8 ‰. Ces valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont plus basses que pour les autres drains. Nous reviendrons plus loin sur ce point.
- . Pour le potassium, on a enregistré une forte concentration en février (12,6 mg/l). En sachant que les K^+ passent essentiellement dans les eaux de ruissellement plutôt que par drainage, nous pensons que dans cette fosse on retrouve une fraction importante de l'eau de ruissellement.
- . Les teneurs en chlorures sont plus faibles que pour DR 1M et les variations sont moins importantes (entre 17,2 et 21,4 mg/l).

C - COMPARAISON ENTRE DR 1M et F 1M

La fosse F 1M n'a pas été prélevée à la fin du mois de novembre, donc on ne tiendra pas compte des valeurs obtenues pour DR 1M à cette date. Les eaux de la

Fig. 42 : DRIM

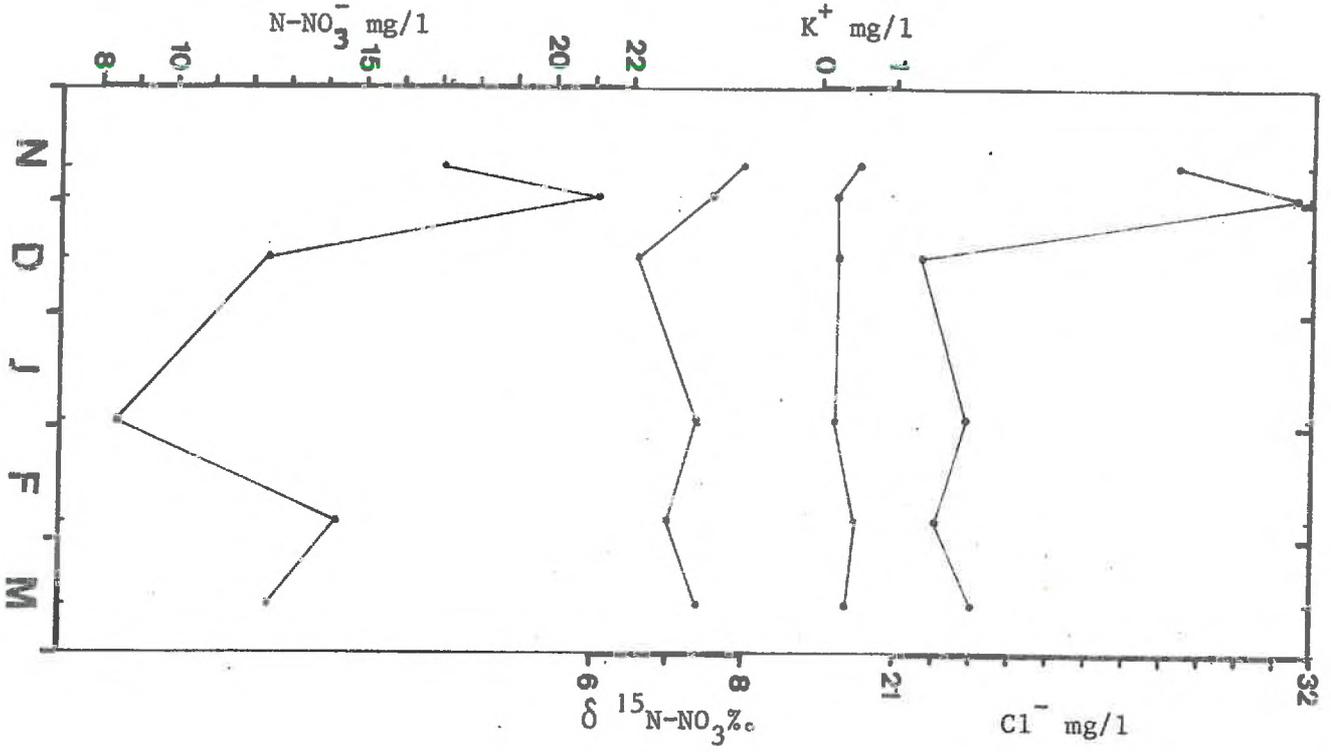
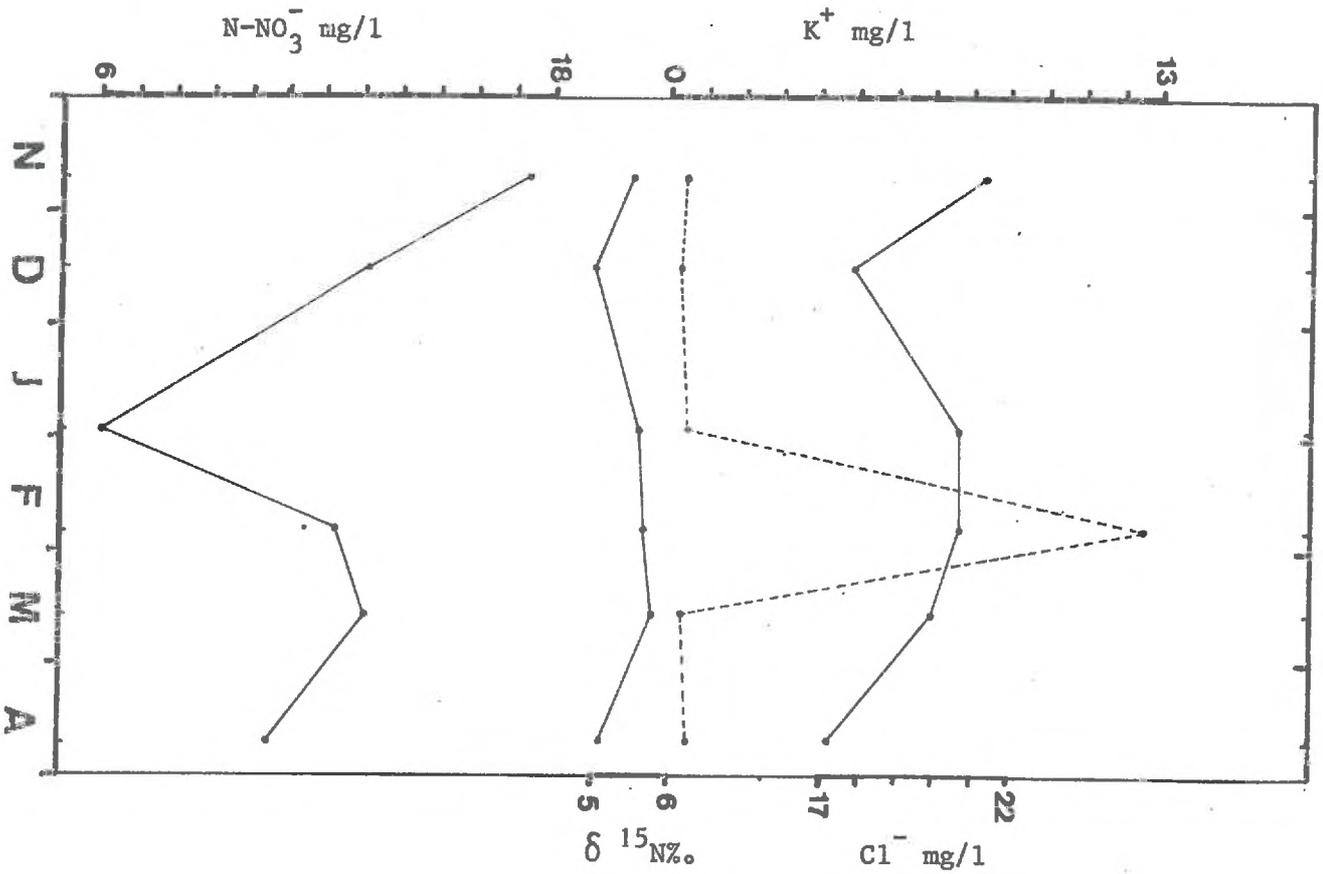


Fig. 43 : FIM



fosse sont plus chargées en K^+ . Par contre, les eaux du drain sont plus riches en nitrates et en chlorures et montrent des $\delta^{15}N$ plus élevés.

Pour la fosse, nous pensons donc qu'on est en présence d'un mélange d'eau de drainage et d'eau de ruissellement, les eaux de ruissellement étant plus riches en K^+ et le drainage en NO_3^- .

La composition isotopique de l'azote est également un autre élément important à considérer. Les eaux de la fosse ont des $\delta^{15}N$ plus bas que DR 1M. La composante ruissellement doit donc avoir une composition isotopique plus basse que celle des drains. Nous pensons qu'il s'agit là de nitrates d'engrais qui sont arrachés aux couches superficielles et qui s'écoulent avec le ruissellement.

Ce phénomène est bien entendu plus marqué pendant les épisodes très pluvieux qui suivent l'épandage des engrais.

D - CONCLUSION SUR LES DRAINS A MELARCHEZ

La participation des nitrates des engrais n'est pas évidente, sauf peut-être dans la fosse recueillant les eaux de ruissellement. Nous pensons que la remontée de la nappe phréatique n'a pas été suffisamment importante, vu la phase de sécheresse pendant la période d'étude, et que les engrais qui restent dans les couches superficielles du sol n'ont été que faiblement entraînés dans les eaux de drainage. Néanmoins, MARIOTTI et LETOLLE (1977) ont montré l'élimination d'engrais par drainage (cf. figure 44). Ils ont vu sortir de ces drains, durant d'importantes phases pluvieuses, des nitrates à compositions isotopiques voisines de celle des engrais.

En se basant sur les prélèvements du mois d'avril, les auteurs pensent qu'il y a d'abord éjection des nitrates du sol ($\delta^{15}N \approx +7\%$) suivis des nitrates d'engrais.

A propos des eaux de drainage, nous pouvons faire la recommandation suivante : pour mieux comprendre les processus d'élimination liés à ce système, et pour pouvoir estimer les pertes, il est indispensable de suivre au moins un drain en continu. Un échantillonneur à déclenchement automatique couplé à un limnigraphe sont nécessaires.

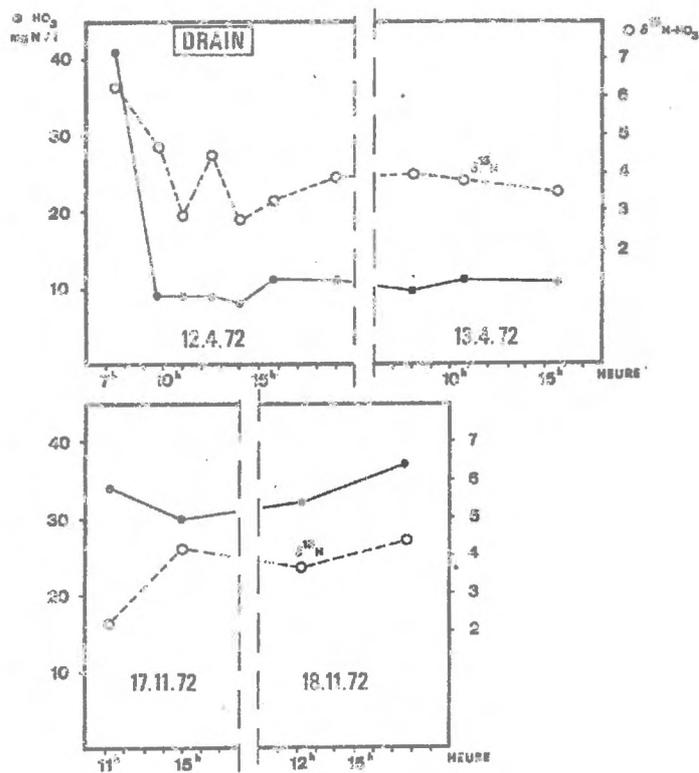


Fig.44 : ETUDE D'UN DRAIN (MARIOTTI et LETOLLÉ 1977)

5e PARTIE : ETUDE DES PUIITS

Un certain nombre de puits ont été suivis mensuellement sur le bassin de Melar-chez. Nous en traiterons ici.

A - INTRODUCTION

La figure 25 montre la carte de situation de ces puits.

Le tableau 15 regroupe les informations qui y sont relatives.

Nous avons gardé la même numérotation utilisée par FILIZ (1963) par souci d'homogénéité.

Nous avons dosé les nitrates, et déterminé leurs compositions isotopiques. Des dosages de contrôle ont montré l'absence de nitrites et d'ammonium.

Les chlorures et le potassium ont été analysés au C. R. G. à Thonon-les-Bains.

Enfin, nous avons mesuré les niveaux piézométriques dans chaque puits.

B - ETUDE GLOBALE DES PUIITS

I - PIEZOMETRIE

La figure 45 montre l'évolution piézométrique comparée des puits étudiés. Leur évolution n'est pas semblable.

II - DIAGRAMME $\text{NO}_3^- - \delta^{15}\text{N}$ (figure 46)

On peut distinguer 2 grands groupes d'après la composition isotopique.

- 1/ les puits à composition isotopique comprise entre 5 et 8 ‰,
- 2/ les puits à composition isotopique supérieure à 9 ‰.

1 - Puits à composition isotopique entre 5 et 8 ‰

On rencontre dans ce groupe les puits 78, 54 déjà étudiés et les puits

LIEU	PROPRIETAIRE	ALTITUDE en m	FOND/SOL en m	ETAT	ENVIRONNEMENT
LA BOYERE	BOIVIN	186	4,75	abandonné	Fumier + compost
LA BOYERE	BOIVIN	186	8,05	pompé	Cour de ferme
PETIT SAUSSOY	MOININ	159	3,92	utilisé	Prairie
PETIT SAUSSOY	MOININ	159	3,65	abandonné	Prairie + bassin de rejets domestiques
LES COURS	MAZURE	159,5	4,00	abandonné	Prairie
BOIS BAUDRY	LEVASSEUR	180	8,35	abandonné	Prairie
BOIS BAUDRY	SARAZIN	180	6,80	abandonné	Jardin potager
BOIS BAUDRY	SARAZIN	173,5	4,50	éolien	Champ cultivé + prairie
MELARCHEZ	(PARISIEN)	146,7	3,65	abandonné	Puisard
MELARCHEZ	(PARISIEN)	150	3,50	abandonné	Jardin + champ cultivé

TABLEAU 15 : PRESENTATION DES PUIITS ETUDIES

PUITS	DATE	H m/sol	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰/air	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l
78	17-10-75	1,07	11,3	+ 6,9	1	19,9
	21-11-	0,57	11,6	+ 6,9	0,7	20,4
	15-12-	0,80	9,8	+ 6,8	0,9	21,7
	28- 1-76	0,78	9,5	+ 7,1	0,8	22,2
	25- 2-	0,80	12,5	+ 7,0	0,8	21,6
	17- 3-	0,92	11,6	+ 7,5	0,9	22,6
	21- 4-	1,10	10,7	+ 7,3	0,8	28
	26- 5-76	1,40	9,1	+ 6,8	0,4	26,6
77	17-10-75	1,80	6,7	+ 13,3	35,2	28,9
	21-11-	1,32	7,5	+ 12,2	35,2	26,9
	15-12-	1,60	7,1	+ 15,9	27,6	29,8
	28- 1-76	1,68	7,4	+ 13,7	15	29,5
	25- 2-	1,69	12,5	+ 11,6	20,5	26,4
	17- 3-	1,82	12,2	+ 12,1	18,1	26,8
	21- 4-	1,86	10,7	+ 15	15,9	24
	26- 5-76	2,00	7,2	+ 18,1	13,8	28,4
54	28- 1-76	1,05	0,5	+ 7,1	0,3	3,8
	25- 2-	0,86	0,5	+ 4,6	0,6	4,1
	17- 3-	1,18	0,7	+ 5,5	0,4	2,8
	21- 4-	1,36	0,7	+ 7,4	0,2	3,1
	26- 5-	1,70	0,3	+ 8,4	0,2	0,8

TABLEAU 10 (a) - ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

DES EAUX DE LA NAPPE

PUITS	DATE	H m/sol	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰/air	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l
55	28- 1-76	0,74	3,1	+ 17,3	12,7	22,8
	25- 2-	0,71	4,2	+ 16,8	15,9	18,2
	17- 3-	0,78	3,8	+ 18,4	12,7	19,7
	21- 4-	1,00	3,1	+ 16,5	13,1	21,6
	26- 5-	1,14	2,8	+ 14,2	25,6	17,4
1	17-10-75	2,40	6,1	+ 15,5	11,2	34,9
	21-11-	1,60	4,8	+ 11,3	9,3	26,9
	15-12-	1,17	9,5	+ 11,4	10,5	33,4
	28- 1-76	1,10	7,1	+ 11,5	9,7	33,8
	25- 2-	1,03	9,4	+ 9,8	9,8	42,2
	17- 3-	1,30	9,5	+ 10,2	9,4	82
	21- 4-	1,57	9,5	+ 11	9,7	35,2
	26- 5-	2,40	7,5	+ 11,3	7,8	43,3
3	28- 1-76		17,1	+ 18,2	7,6	130,6
	25- 2-		18,4	+ 8,3	10,6	45,7
	17- 3-		21,4	+ 11,9	9,4	112
	21- 4-		23,4	+ 19	7,9	140
	26- 5-		10,5	+ 17,6	3,4	136
66	17-10-75	3,35	35,2	+ 7,3	0,6	24,2
	21-11-	3,17	33,2	+ 6,9	0,4	26,7
	15-12-	2,14	25,9	+ 6,6	0,6	26,7
	28- 1-76	2,01	38,3	+ 7,1	0,6	26,8
	25- 2-	1,70	36,6	+ 7,2	0,6	26,4
	17- 3-	1,83	40	+ 7,1	0,6	26
	21- 4-	2,16	37,5	+ 6,5	0,6	23,6
	26- 5-	2,65	36,6	+ 6,4	0,3	25,6

TABLEAU 10 (b) - ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

DES EAUX DE LA NAPPE

PUITS	DATE	H m/sol	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰/air	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l
65	15-12-75	2,30	1,2	+ 4,4	6,1	10,5
	28- 1-76	2,10	0,9	-	6,2	12,5
	25- 2-	1,30	1	+ 4,9	6,4	14,6
	17- 3-	1,52	0,7	-	6,2	13,8
	21- 4-	2,02	0,7	+ 5,2	6,3	12,2
	26- 5-	2,65	0,1	-	5	11,7
57	21-11-75	0,68	1,8	+ 14,7	2,1	16,1
	15-12-	0,90	3,4	+ 9,2	1,7	25,1
	23- 1-76	0,85	1,7	+ 12,8	2,1	24,2
	25- 2-	0,90	3,7	+ 9,3	2	30,4
	17- 3-	1,05	2,5	+ 12,2	2,1	27,2
	21- 4-	1,28	1	+ 20,7	2,1	23,3
	26- 5-	1,63	0,2	+ 31,3	1,6	30,2
69	17-10-75		3,4	+ 22,3	4,9	34,2
	21-11-75		5,7	+ 12,7	4,7	38,4
	15-12-	0,17	3,3	+ 13,6	3,9	41,5
	28- 1-76	0,19	5	+ 15,3	3,4	44,1
	25- 2-	0,22	4,9	+ 12,2	3,8	43,9
	17- 3-	0,26	6,5	+ 15,2	3,1	68,6
	21- 4-	0,44	4,1	+ 19,4	3,3	38,7
	26- 5-	1,13	3,3	+ 9,3	2,2	40,8
69'	26- 5-76		3,5	+ 31	3,4	67,5

TABLEAU 10 (c) - ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

DES EAUX DE LA NAPPE

MILIEU	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	O ₂ dissous * à 1 m de profondeur
Jardin + champ cultivé	de 9,1 à 12,5	de 6,8 à 7,5	de 0,4 à 1	de 19,9 à 28	42 %
Jardin potager	de 25,9 à 40	de 6,4 à 7,3	de 0,3 à 0,6	de 23,6 à 26,8	99 %
Prairie	de 0,1 à 1,2	de 4,4 à 5,2	de 5 à 6,4	de 10,5 à 14,6	1 %
Prairie	de 0,3 à 0,7	de 4,6 à 8,4	de 0,2 à 0,6	de 0,8 à 4,1	16 %

TABLEAU 16 : PUIITS OU LES NITRATES SONT PRODUITS DANS LE SOL

MILIEU	N-NO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹⁵ N ‰	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	% Saturation O ₂ dissous * à 1 m de profondeur
Prairie	de 0,2 à 3,7	de 9,2 à 31,3	de 1,6 à 2,1	de 16,1 à 30,4	7 %
champ cultivé + prairie	de 3,3 à 6,5	de 9,3 à 22,3	de 2,2 à 4,9	de 34,2 à 68,6	40 %
champ cultivé + prairie	* 3,5	* 31	* 3,4	* 67,5	7 %

TABLEAU 17 : PUIITS DENITRIFIES

alyse unique

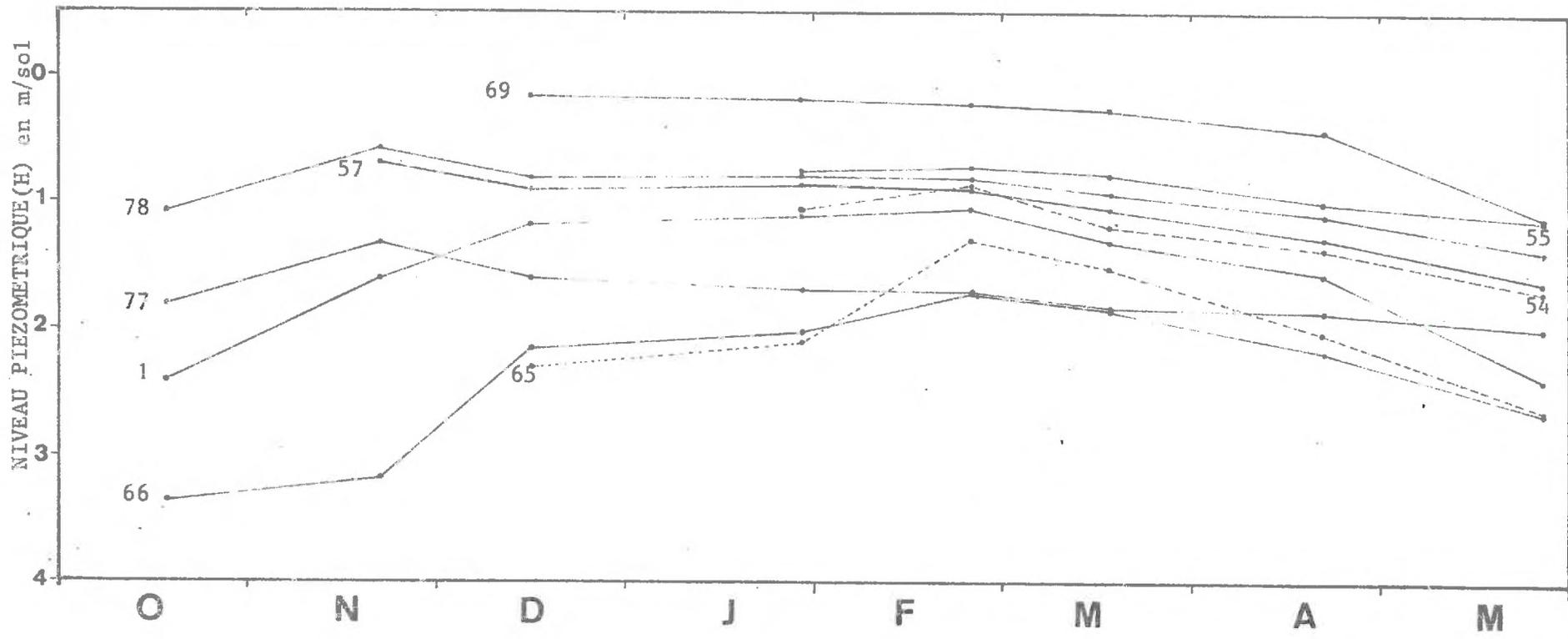
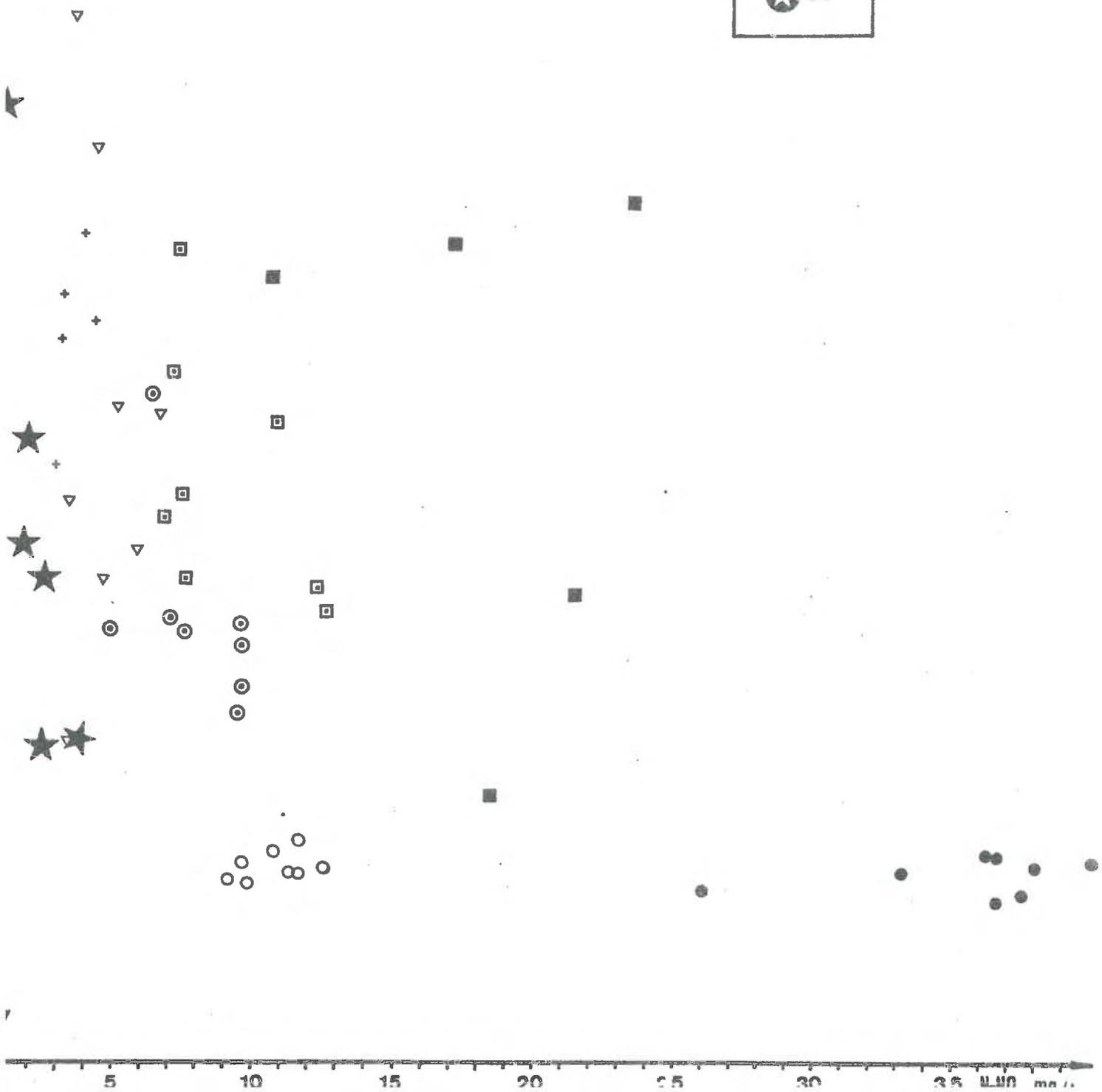
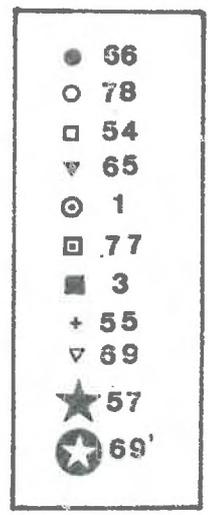


Fig .45: PIEZOMETRIE COMPAREE DES PUITTS ETUDIES

Fig. 46 : concentration en nitrates - $\delta^{15}\text{N-NO}_3$



66 et 65. Les compositions isotopiques des nitrates sont de l'ordre de celle que nous avons retenue pour des nitrates produits en équilibre dynamique dans le sol (parcelle de Boissy-le-Châtel).

Toutefois les concentrations varient considérablement en fonction du milieu où sont implantés ces puits (cf. tableau 16).

Ceci est étroitement lié au type de sol. On sait en effet (POCHON et BARJAC, 1958) que les sols de jardin sont très riches en nitrates (de l'ordre de 60 mg/kg), au contraire les sols de prairie sont très pauvres en nitrates (de l'ordre du p.p.m.).

En tout état de cause, les compositions isotopiques ne paraissent pas être très différentes.

2 - Puits à composition isotopique du nitrate supérieure à 9 ‰.

Dans ce groupe nous avons distingué 2 types.

a/ Groupe 1

Il s'agit de puits atteints de façon évidente par une pollution de type organique. Ces puits ont été précédemment étudiés (77, 55, 1, 3) ; nous n'y reviendrons pas (cf. tableau 13).

b/ Groupe 2

Ces puits, caractérisés eux aussi par des compositions isotopiques des nitrates élevées, nous paraissent devoir être examinés séparément. Il s'agit des puits 57, 69 et 69' (cf. tableau 17).

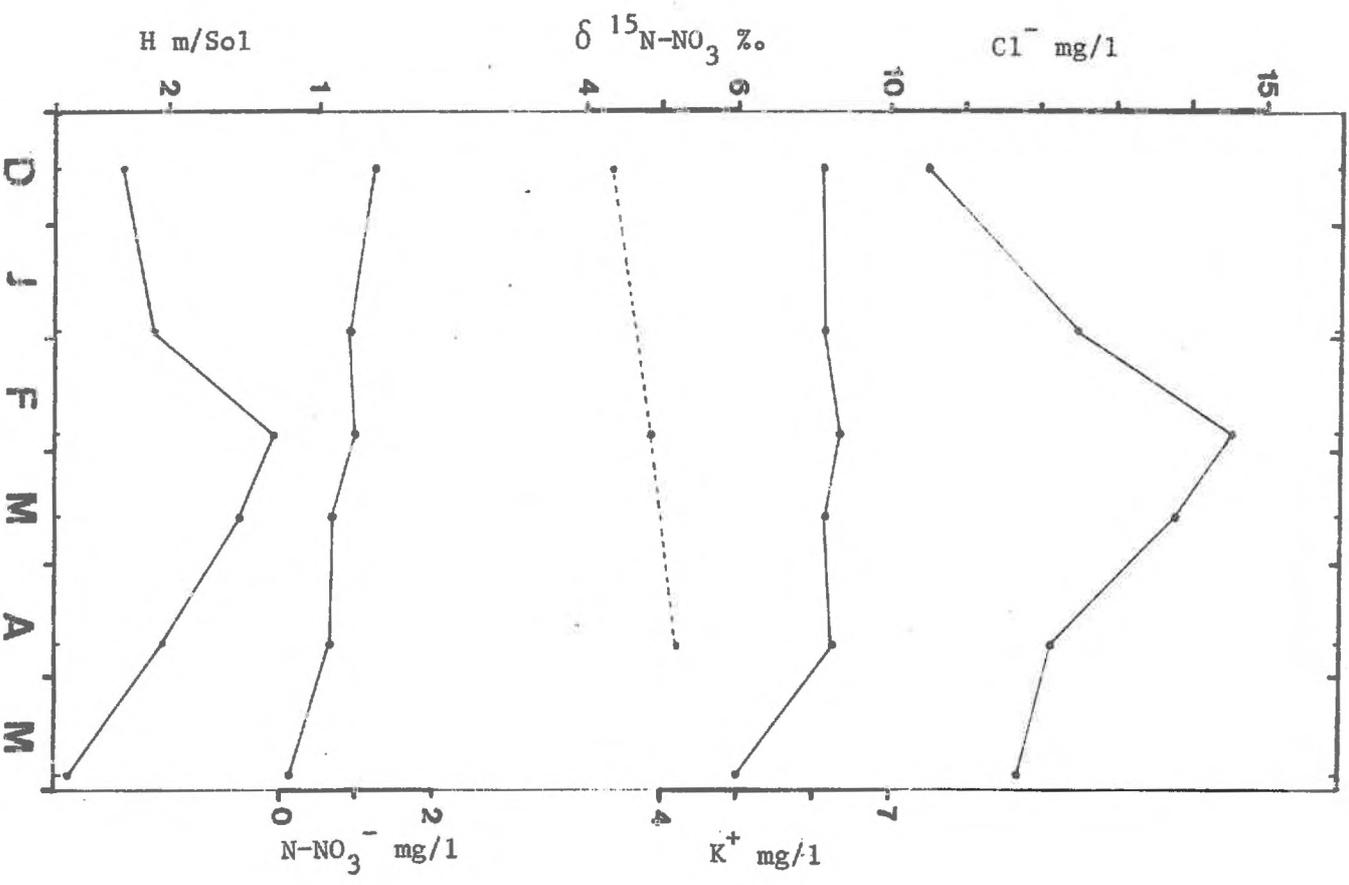
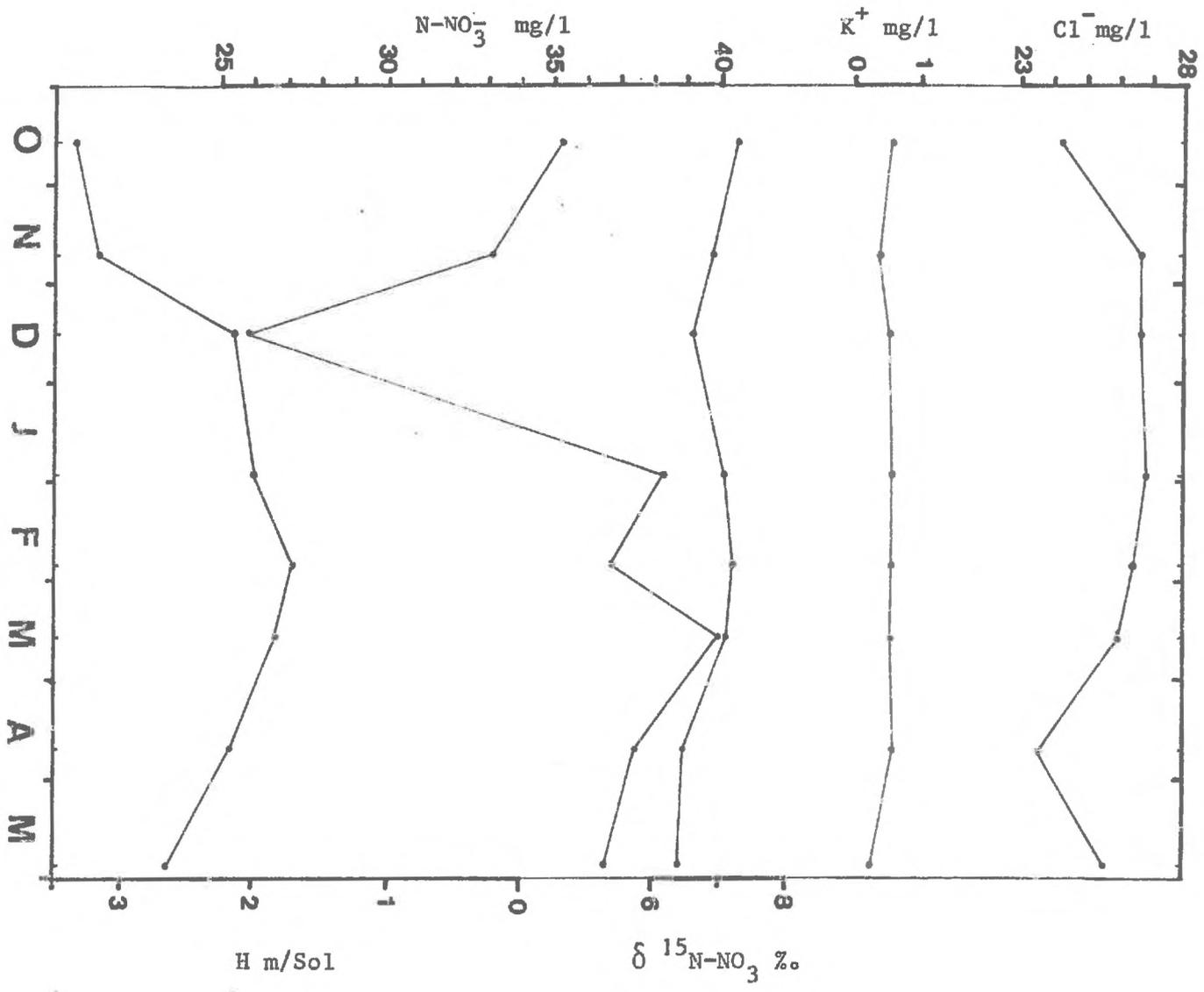
C - ETUDE DETAILLEE

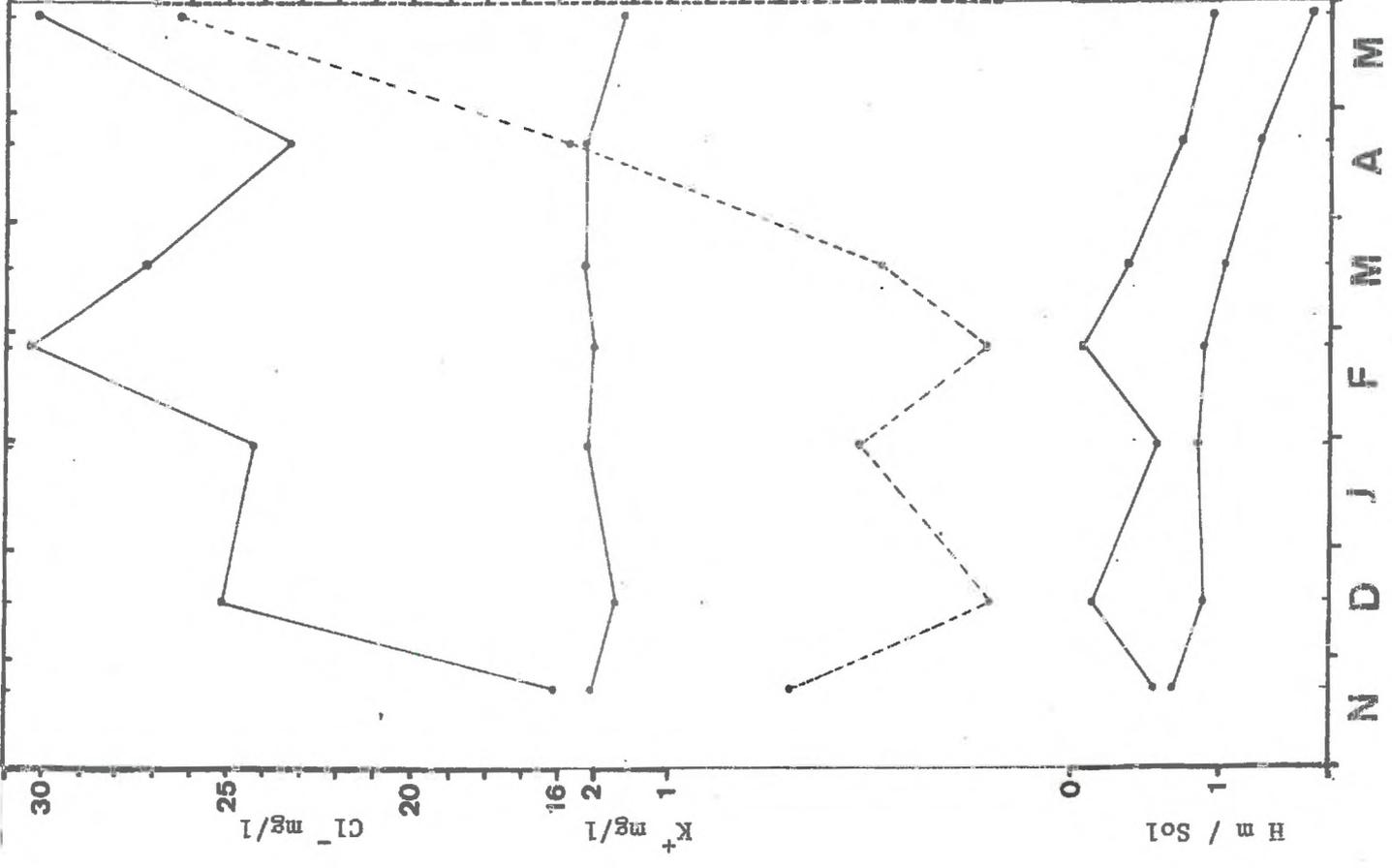
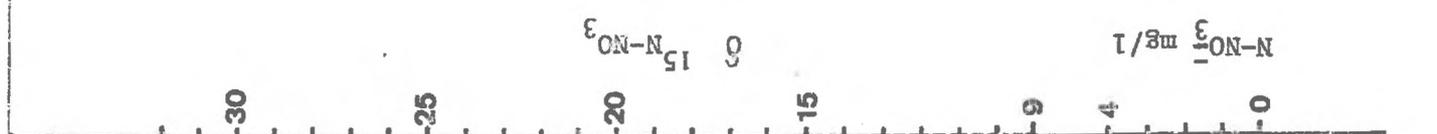
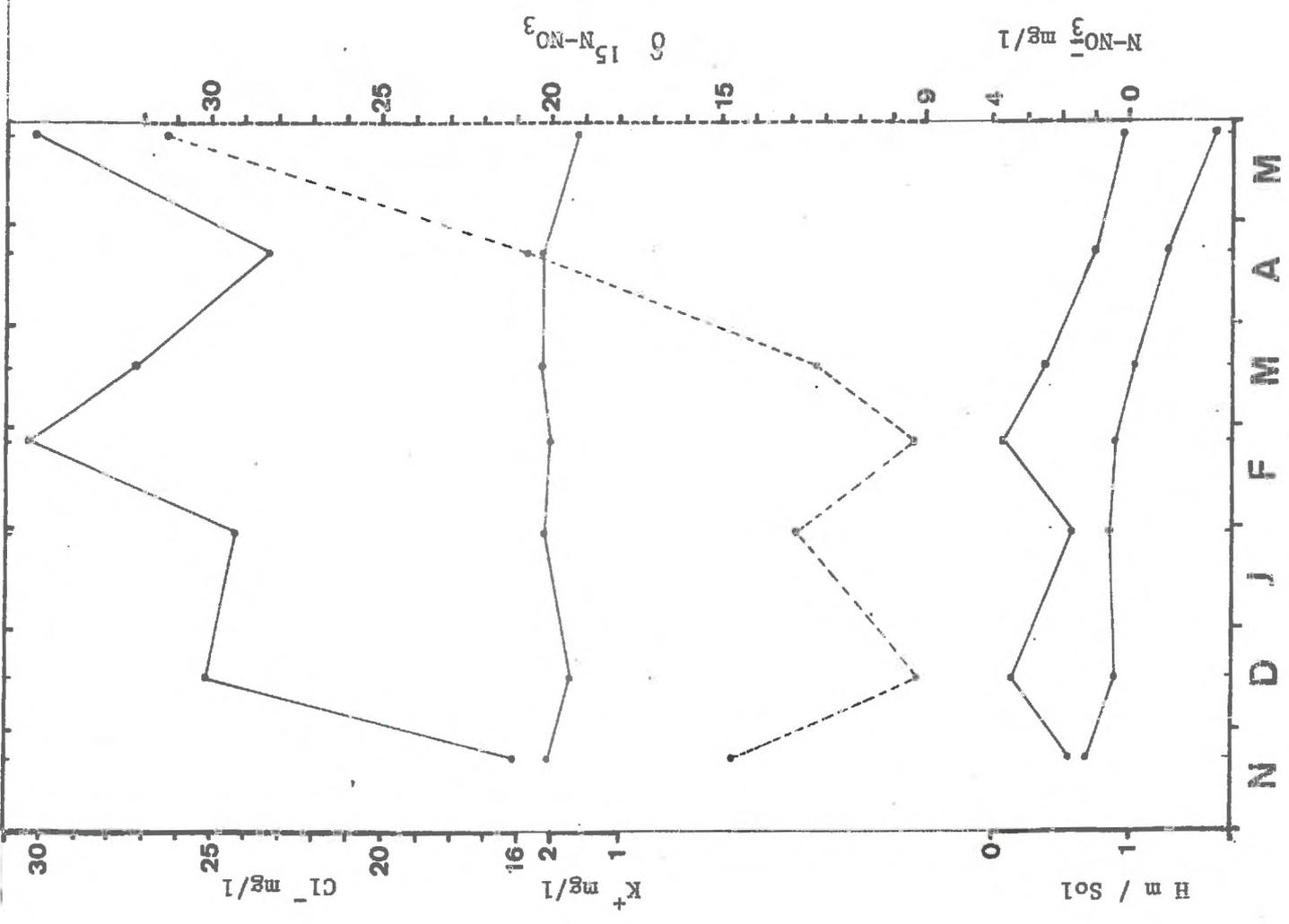
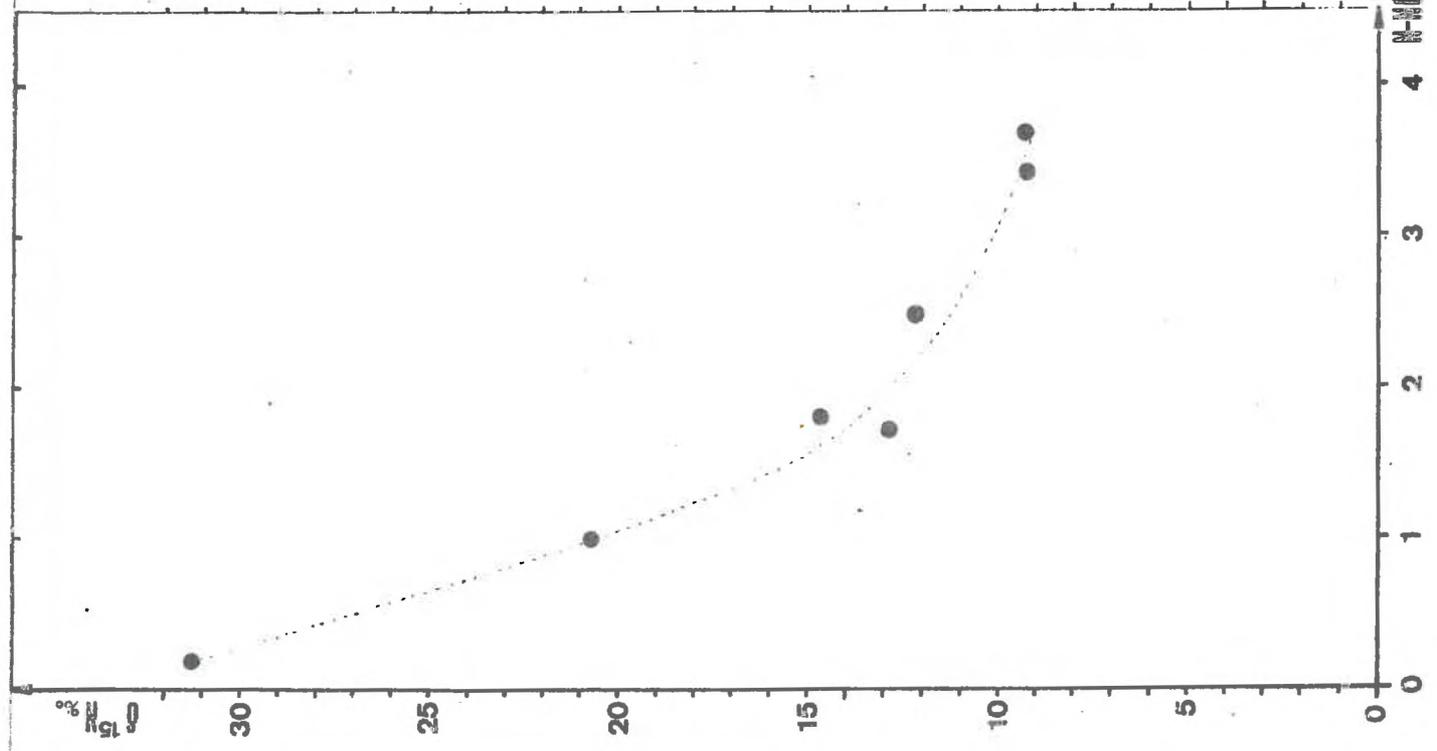
Les caractéristiques de ces puits sont résumées sur le tableau 10 et les figures 47, 48, 49, 51.

PUITS 57 (figure 49)

On constate que les concentrations en nitrates sont basses. En plus, il existe une bonne corrélation négative entre la concentration et la composition isotopi-

Fig. 47 : PITTS 66





que des nitrates : la diminution des teneurs en nitrates s'accompagne d'un enrichissement en ^{15}N (figure 50). La relation peut s'écrire :

$$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰} = - 5,7 \text{ C}_{\text{N-NO}_3^-} + 27,4$$

(7 couples, $r = - 0,91$)

Les concentrations les plus basses sont atteintes en avril-mai (0,2 mg N/l pour le mois de mai).

Nous pensons que ce comportement est sous le contrôle de bactéries dénitrifiantes qui consomment le nitrate et libèrent de l'azote moléculaire ou des oxydes d'azote.

On sait (DELWICHE et STEYN, 1970) que ce phénomène s'accompagne d'un fractionnement isotopique négatif entre l'azote du nitrate résiduel et l'azote moléculaire libéré (l'azote libéré est plus riche en isotope léger que le nitrate de départ). Cette réduction des nitrates doit être plus sensible en période chaude, quand l'activité bactérienne est stimulée.

La concentration en oxygène dissous (mesurée le 26 mai 1976) est faible : de l'ordre de 7 % de la saturation (à 1 m de profondeur).

PUITS 69 - 69' (figure 51)

Les puits 69 et 69' ont également été étudiés (le puits 69 régulièrement, le 69' au mois de mai seulement).

Ces 2 puits affectent la même nappe et sont distants de quelques mètres. Sur le puits 69, une éolienne est installée, entraînant un pompage relativement régulier sur la nappe ; au contraire, le puits 69' est abandonné.

Au mois de mai 1976, les concentrations en oxygène dissous étaient de 40 % de la saturation (à 1 m de profondeur) pour le puits 69, avec une composition isotopique de + 9,3 ‰. Pour le puits 69' nous avons mesuré 7,1 % de la saturation en oxygène dissous, avec un $\delta^{15}\text{N}$ de + 31 ‰. Ceci peut s'interpréter par l'existence d'une dénitrification active, en milieu anoxique, dans ce dernier puits.

L'influence du pompage sur le puits 69, pompage attirant l'eau de la nappe, entraîne une oxygénation de l'eau interdisant ou limitant les phénomènes de dénitrification.

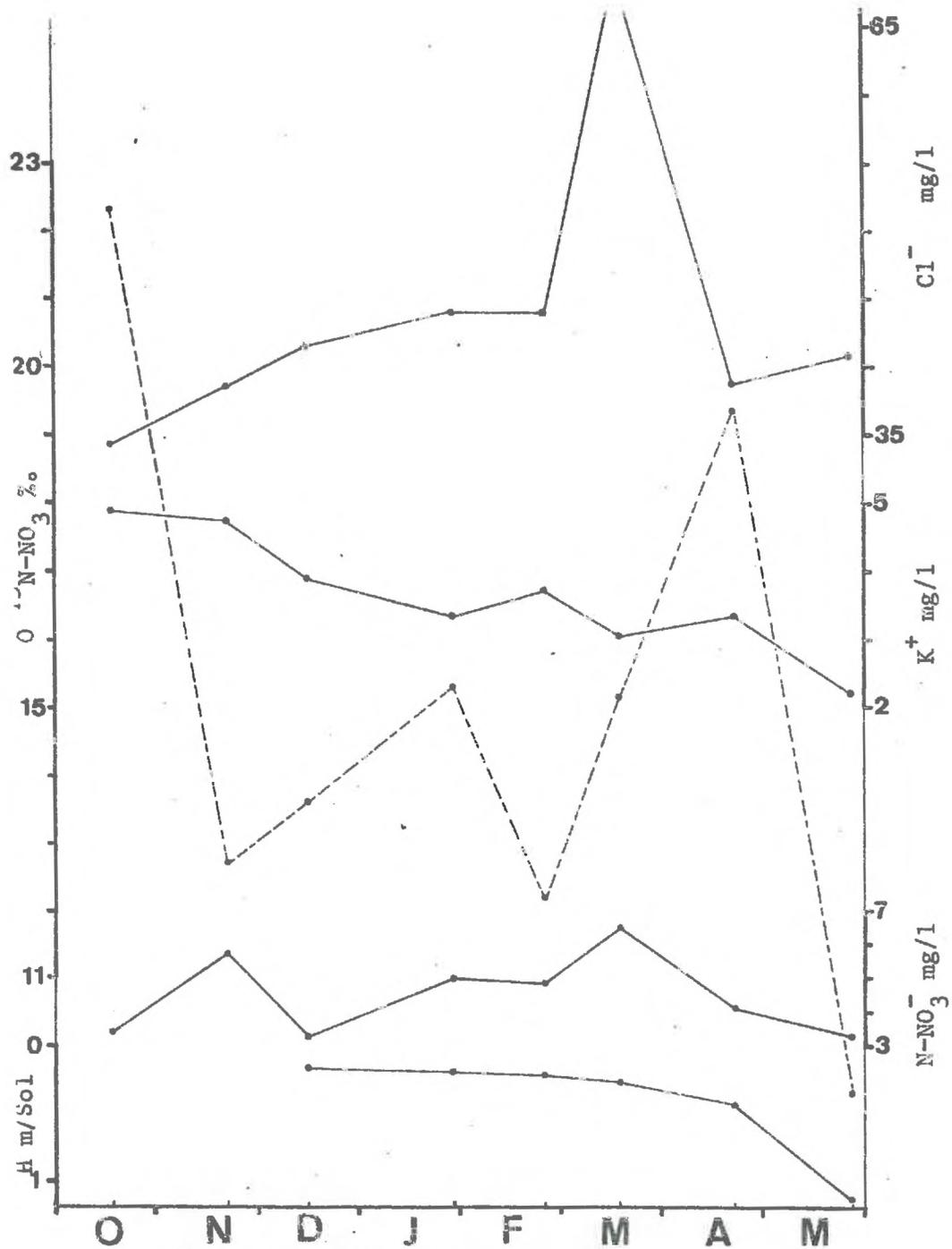


Fig. 51 : Puits 69

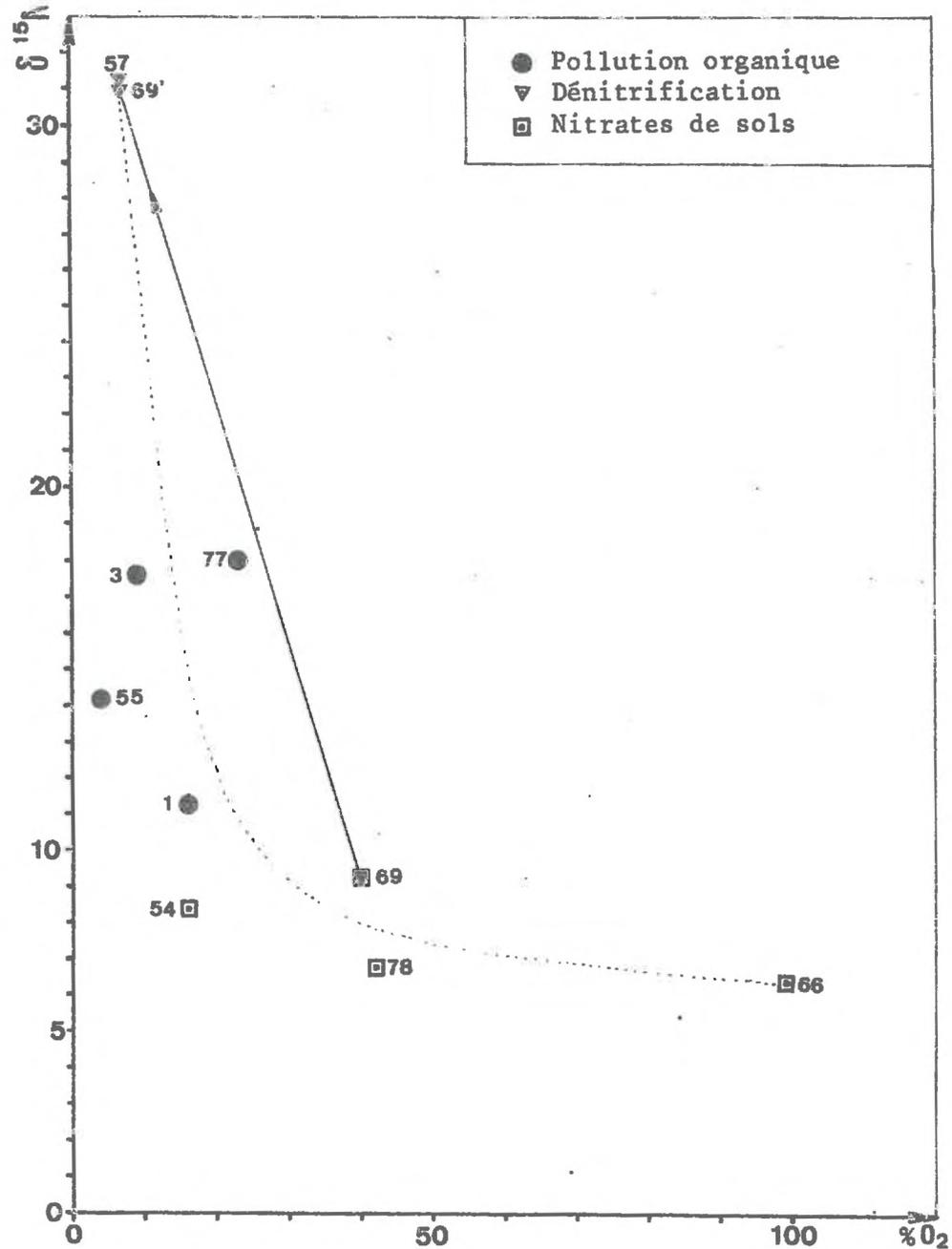


Fig. 52 : Diagramme $^{15}N-NO_3^- - O_2$ dissous
(à 1m de profondeur)

O ₂ dissous en % de saturation	77	78	57	54	55	65	66	69	69'	1	3
Surface		47	26	47	32	4	113	74	44	34	12
50 cm	32	45	17	42	8	2	113	66	11	23	9
70 cm			8			1					
100 cm	23	42	7	16	4	1	99	40	7	16	9
150 cm		40	6	12	3	1	96	34			
200 cm						1	96	31	3	15	9
250 cm						1					
300 cm							95				
Fond	19		3		2			30			
Moyenne	25	44	11	29	10	2	102	46	16	22	10
$\delta^{15}\text{N}/\text{Air}$	18,1	6,8	31,3	8,4	14,2		6,4	9,3	31	11,3	17,6
NO ₃ ⁻ mg N/l	7,2	9,1	0,2	0,3	2,8	0,1	36,6	3,3	3,5	7,5	10,5
NO ₂ ⁻ mg N/l	0,025	< 0,005	< 0,005	< 0,004	0,007	< 0,004	< 0,005	0,016	0,014	< 0,004	< 0,004
NH ₄ mg N/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ⁺ mg/l	13,8	0,4	1,6	0,2	25,6	5	0,3	2,2	3,4	7,8	3,4
Cl mg/l	28,4	26,6	30,2	0,8	17,4	11,7	25,6	40,8	67,5	43,3	136

TABLEAU 18 : CAMPAGNE DU 26 MAI 1976

attire l'eau de la nappe oxygénée. Dans le puits 69', abandonné et peu oxygéné, les nitrates subissent une dénitrification qui élève leur composition isotopique.

Remarque : Sur le puits 57, où l'évolution de la concentration et de la composition isotopique des nitrates est clairement en opposition de phase, on peut essayer de calculer les facteurs de fractionnements isotopiques (α) dans la réaction de dénitrification ($\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{N}_2, \text{N}_2\text{O}$).

Le coefficient de fractionnement isotopique α est :

$$\alpha = \frac{R_{\text{N}_2}}{R_{\text{NO}_3^-}} \quad (\text{avec } R = \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}})$$

$$\approx 1 + \frac{\delta \text{N}_2 - \delta \text{NO}_3^-}{1000}$$

Si on suppose que la disparition du nitrate obéisse à une loi du type

$$(1) \quad Q_t = Q_0 e^{-Kt}$$

où Q_t est la quantité de NO_3^- au temps t

Q_0 est la quantité de NO_3^- au temps 0

$$\text{on a } \frac{Q_t}{Q_0} = e^{-Kt}$$

$$\text{Pour l'isotope } ^{14}\text{N} : Q_{14t} = Q_{140} e^{-K_{14}t}$$

$$\text{et pour l'isotope } ^{15}\text{N} : Q_{15t} = Q_{150} e^{-K_{15}t}$$

$$\text{on sait que } \alpha = \frac{K_{15}}{K_{14}} \quad \text{et } R = \frac{Q_{15}}{Q_{14}}$$

$$\begin{aligned} R_t &= \frac{Q_{15t}}{Q_{14t}} = \frac{Q_{150} e^{-K_{15}t}}{Q_{140} e^{-K_{14}t}} \\ &= R_0 e^{(K_{14}-K_{15})t} \\ &= R_0 e^{K_{14}(1 - \alpha)t} \quad (2) \end{aligned}$$

* α est ici le coefficient de fractionnement isotopique instantané.

$$(1) \longrightarrow \ln \frac{Q_t}{Q_0} = - K_{14} t$$

$$(2) R_t = R_0 e^{(1 - \alpha) \ln \frac{Q_t}{Q_0}}$$

$$\ln \frac{R_t}{R_0} = (1 - \alpha) \ln \frac{Q_t}{Q_0}$$

$$\text{d'où } 1 - \alpha = \frac{\ln \frac{R_t}{R_0}}{\ln \frac{Q_t}{Q_0}}$$

$$\text{et } \epsilon = (\alpha - 1) \times 1000$$

ϵ étant le coefficient d'enrichissement isotopique du nitrate résiduel.

Application numérique

on a :

	décembre	janvier	février	avril	mai
concentration N-NO ₃ ⁻	3,4	1,7	3,7	1	0,2
$\alpha^{15}\text{N}$	9,2	12,8	9,3	20,7	31,3

a/ De décembre à janvier

$$1 - \alpha = \frac{\ln \frac{1,0128}{1,0092}}{\ln \frac{1,7}{3,4}} = - 0,0052$$

$$\epsilon = 5,2 \%$$

b/ de février à avril

$$1 - \alpha = - 0,0087$$

$$\epsilon = 8,7 \%$$

c/ d'avril à mai

$$1 - \alpha = - 0,0064$$

$$\epsilon = 6,4 \%$$

Ces valeurs de fractionnement isotopique sont nettement inférieures à celles déterminées de façon expérimentale sur des cultures bactériennes pures (DELWICHE

et STEYN, 1970, donnent en utilisant les mêmes conventions d'écriture de α et ε que celles que nous avons utilisées, un $\varepsilon = + 17,3 \%$; WELLMAN et al., 1968, donnent un $\varepsilon = + 20 \%$).

Ceci s'explique parce qu'il s'agit d'un milieu non fermé et il y a sans doute des phénomènes (convection, diffusion turbulente) qui s'opposent à l'obtention d'enrichissements élevés.

CHAPITRE V

NAPPES DE BRIE

A - INTRODUCTION

A l'aide des résultats obtenus dans le bassin de Melarchez, nous avons essayé d'identifier les origines des pollutions d'aquifères profonds choisis également en Brie, ainsi que quelques points en Beauce.

Si la nappe superficielle des limons, atteinte dans les puits étudiés au bassin de Melarchez, semble protégée des nitrates des engrais par le réseau de drainage artificiel local, certains ouvrages captant les nappes profondes de la Brie semblent être touchés par cet apport. D'autres captages, comme dans le cas de Melarchez, témoignent de la présence d'apports de nitrates d'origine organique (domestique ou agricole).

Enfin, à côté des nitrates produits naturellement dans les sols cultivés, une autre source semble être mise en évidence : les nitrates produits dans les sols forestiers.

B - SITUATION

Le plateau de la Brie est une zone d'agriculture intensive. Les points d'eau étudiés appartiennent à la nappe oligocène du calcaire de Brie, et à la nappe éocène du calcaire de Champigny. Quelques uns sont choisis en Beauce, dans la nappe du calcaire de Beauce. (cf. tableau 19 et figure 53).

Pour l'hydrogéologie de la région, nous renvoyons à MEGNIEN (1976).

C - RESULTATS

Les résultats de cette étude ont déjà fait l'objet d'une publication (MARIOTTI, BEN HALIMA, BERGER, 1976).

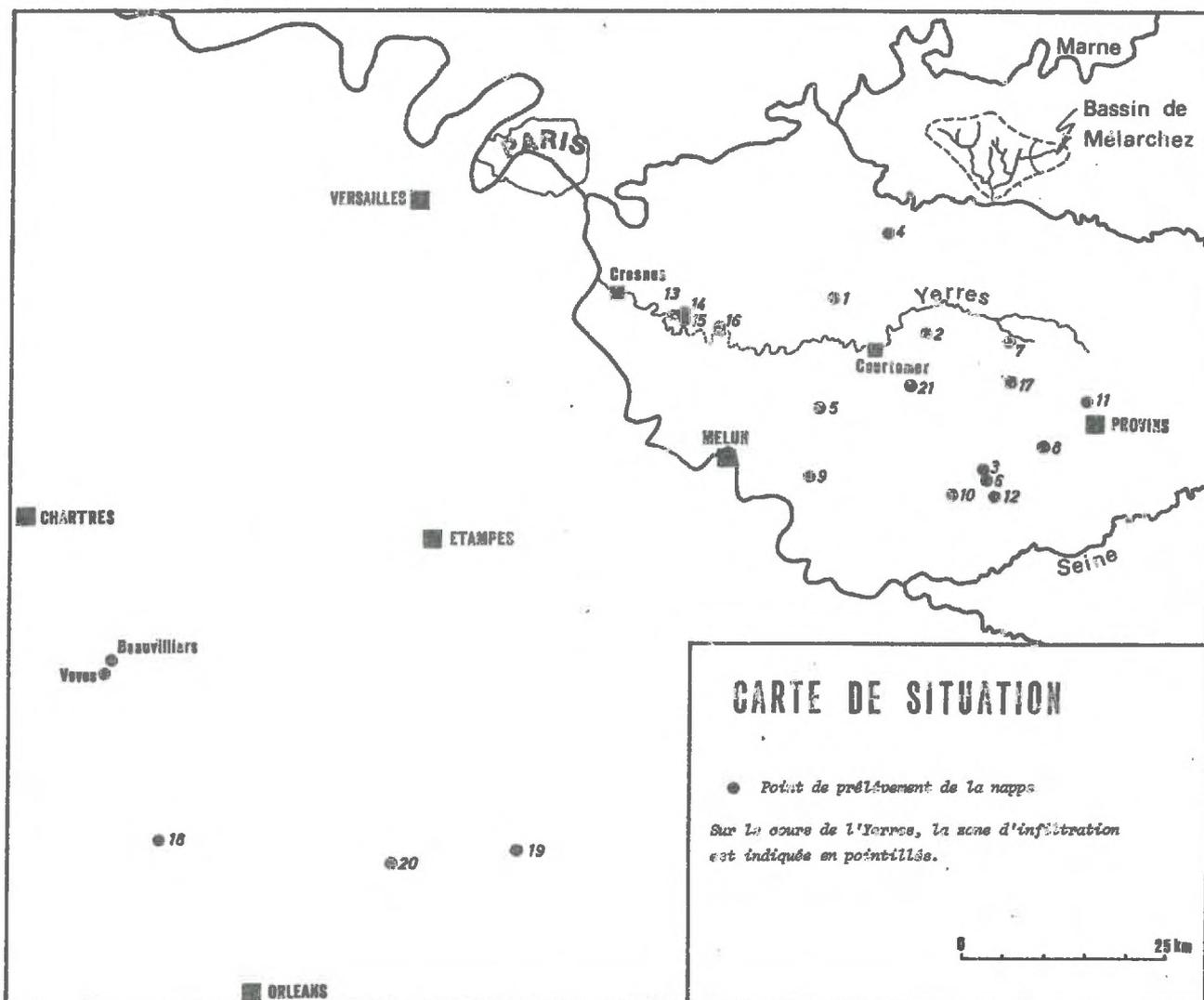


Fig.53 : CARTE DE SITUATION DES POINTS D'EAU
ETUDIÉS EN BRIE

Situation géographique	Situation hydrogéologique	Point analysé	Nature de l'ouvrage	Numérotation de la fig. 55
<u>B R I E</u>	Nappe du Calcaire de Brie (Oligocène)	FONTENAY TRESIGNY	source	1
		ROSAY VILPRE	source	2
		MEIGNEUX A.E.P.	puits A.E.P.	3
		MORTCERF	puits A.E.P.	4
		CHAMPEAUX	source	5
	Nappe du Calcaire de Champigny (Eocène)	MEIGNEUX St JULES	source	6
		JOUY LE CHATEL	puits A.E.P.	7
		St LOUP DE NAUD	source captée	8
		LE CHATELET	puits A.E.P.	9
		VILLENEUVE LES BORDES	puits A.E.P.	10
		ROUILLY	source	11
		BECHERELLES	source	12
		BRIE A.E.P.	puits A.E.P.	13
		BRIE S.N.C.F.	source captée	14
		BRIE ROSIERISTE	source captée	15
	BRIE SANSALLE	puits A.E.P.	16	
	St JUST	puits A.E.P.	17	
<u>E A U C E</u>	Nappe du Calcaire de Beauce (Oligocène)	TERMINIERS	puits A.E.P.	18
		COURCELLES	puits A.E.P.	19
		CHILLEURS	puits A.E.P.	20
cette liste s'ajoute :				
AVON : eau de drainage en zone rurale (Brie) dans les limons sur calcaire de Brie.				21

TABLEAU 19 : LES POINTS D'EAU ETUDIES EN BRIE ET EN BEAUCE

Le diagramme concentration en nitrates en fonction de $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ des points analysés pendant une campagne de prélèvement en janvier et février 1975 (figure 54) nous a permis de définir 3 familles :

1 - Famille A :

Points répartis entre un pôle à faibles concentrations en nitrates et à $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ voisin de + 8,5 ‰, et un pôle à fortes concentrations en nitrates et à $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ bas (voisins de + 3 ‰).

La majorité de ces points s'alignent suivant la droite de régression d'équation :

$$\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^- = 8,85 - 0,32 (\text{NO}_3^-)$$

(15 couples, $r = - 0,92$)

2 - Famille B :

Faibles concentrations en nitrates et $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ de + 4 ‰ à + 5 ‰.

3 - Famille C :

Concentrations en nitrates moyennes et $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ élevés (de + 8,5 ‰ à + 12 ‰).

Nous avons examiné l'évolution dans le temps de quelques points pour chacune des familles définies plus haut (prélèvements mensuels de novembre 1974 à janvier 1976).

Nous avons remarqué (figure 55) que ces points restent dans l'enveloppe qui définit les limites du domaine de validité de la droite de régression empirique, précédemment calculée, au seuil de 95 %.

Pour la famille C, il y a un étalement des points dû aux compositions isotopiques plus élevées (de + 8,5 ‰ à + 21 ‰) avec un net regroupement autour des valeurs de + 10,5 ‰ à + 12 ‰.

Ces résultats (notamment les familles A et C) rappellent ceux obtenus à Melarchez et nous pouvons envisager des interprétations similaires.

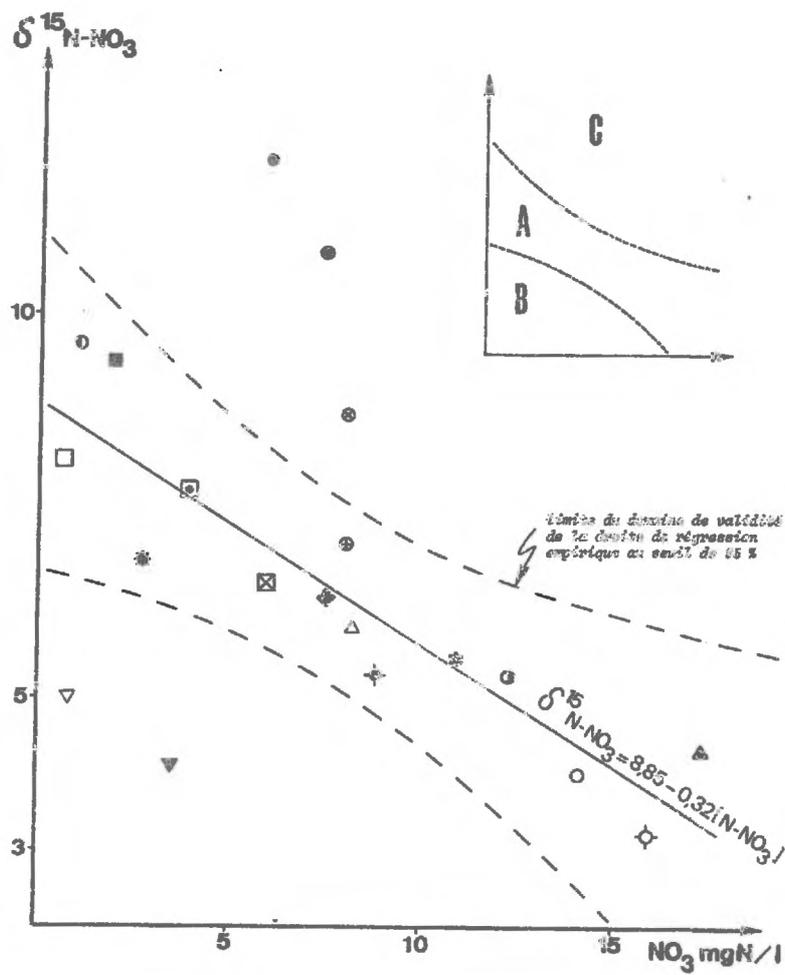


Fig. 54 : RELATION $\hat{\delta}^{15}\text{N-NO}_3^- - \text{C NO}_3^-$ (Janvier, Février 1975)

D - INTERPRETATION

I - FAMILLE A

Nous avons affaire à une droite de régression à pente négative dont nous rappelons l'équation :

$$\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^- = 8,85 - 0,32 (\text{NO}_3^-)$$

Cette corrélation linéaire entre les concentrations en nitrates et leur composition isotopique représente, d'après nous, la droite de mélange des 2 principales sources de nitrates (nitrates des sols et nitrates des engrais).

- 1 - Le pôle à faible concentration en nitrates et à $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ voisin de + 8,5 ‰ caractérise probablement la première source, à savoir les nitrates produits naturellement dans le sol, dans le cycle local de l'azote.

Nous avons déjà entrepris de donner des preuves à ce sujet (lors de l'étude de Melarchez) que nous rappelons brièvement :

- cette valeur de 8,5 ‰ est proche du niveau isotopique de base, défini pour les eaux de surface (de + 7 ‰ à + 8,5 ‰) ;
- cette valeur est également proche de la composition isotopique des nitrates de la nappe des limons, atteinte au puits 78 ($\delta^{15}\text{N}$ autour de + 7 ‰) ;
- ce pôle est du même ordre que la composition isotopique des nitrates des eaux de drainage de la parcelle expérimentale de Boissy-le-Châtel, qui fonctionne dans les conditions naturelles ($\delta^{15}\text{N}$ de 6,8 ‰).
- Enfin, cette valeur de $\delta^{15}\text{N}$ de + 8,5 ‰ est très voisine d'autres valeurs publiées par FEIGIN et al. (1974), RENNIE et al. (1976) pour les nitrates de sols variés.

- 2 - Le 2e pôle, à forte concentration en nitrates et à composition isotopique basse (+ 3 ‰), caractérise les engrais synthétiques (à $\delta^{15}\text{N}$ voisin de celui de l'azote de l'air). Les concentrations élevées, couplées à de faibles $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ ne sont pas compatibles avec la production naturelle de sols non cultivés (cf. infra., famille B). Nous rappelons les va-

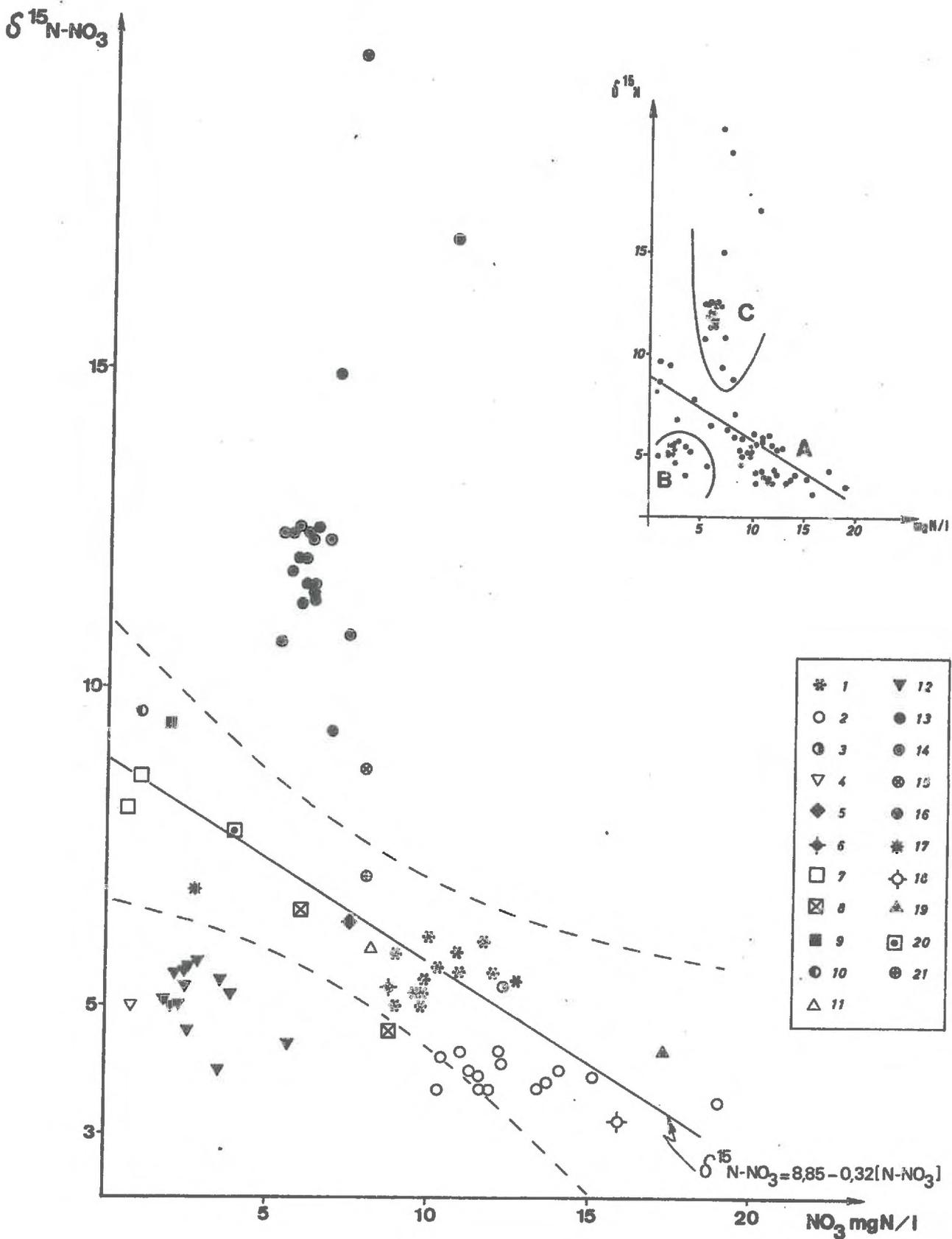


Fig . 55 : RELATION $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ ET CONCENTRATION EN NITRATES
(de Novembre 1975 à Janvier 1976)

leurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ de certains engrais utilisés sur le Bassin Parisien :

$$\delta^{15}\text{N} - \text{NH}_4^+ = 0,1 \pm 1,5 \text{ ‰}$$

$$\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^- = 2,4 \pm 2,1 \text{ ‰}$$

L'équation de la droite de mélange de ces 2 principales sources (nitrates des sols et nitrates des engrais) peut, dans ce cas précis, donner une estimation de la participation des engrais à la pollution de ces points d'eau.

Par ailleurs, nous avons remarqué que quelques valeurs publiées par FREYER et ALY (1975) pour des nappes en zone agricole, "tombent" sur cette droite de régression établie pour la famille A.

II - FAMILLE B

Cette famille groupe 2 points d'eau caractérisés par des faibles concentrations en nitrates, mais aussi des compositions isotopiques basses (de + 4 à + 5 ‰).

En sachant que ces 2 captages sont situés dans un environnement forestier (Morcerf implanté dans la forêt de Crécy, et Bécherelles en bordure du bois de Saint Martin), il serait intéressant de rapprocher cette composition isotopique basse à celle des nitrates formés naturellement dans les sols forestiers.

Dans la littérature, un certain nombre d'exemples nous permettent d'appuyer cette hypothèse.

En effet, on sait que la composition isotopique de l'azote total des sols vierges est moins positive que celle des sols cultivés (BREMNER et TABATABAI, 1973), et que les sols forestiers sont moins enrichis en ^{15}N que les sols mis en culture (RIGA et al., 1971 ; RENNIE et al., 1976).

Par ailleurs, des valeurs publiées par FREYER et ALY (1975) sur des nappes captées en zones forestières se rapprochent des résultats trouvés pour cette famille B.

Ce pôle (faibles concentrations en nitrates et composition isotopique basse) paraît donc bien caractériser les nitrates produits naturellement dans les sols forestiers et qui arrivent à la nappe par lessivage.

C'est probablement le taux de minéralisation lié à l'activité biologique qui est responsable de ce phénomène, ainsi que l'ont montré A. MARIOTTI et D. PIERRE sur des sols de montagne du Chablais (à paraître).

Dans les sols cultivés ou de prairie, le taux de minéralisation est élevé et l'enrichissement en ^{15}N est plus important que dans les sols forestiers dont l'activité biologique est plus faible.

III - FAMILLE C

Cette famille est caractérisée par des concentrations en nitrates faibles à moyennes, mais surtout par des $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$ très élevés avec un certain regroupement autour de + 10,5 à + 12,5 ‰.

Ces valeurs proviennent de l'analyse de sources de la nappe éocène du calcaire de Champigny, dans la région de Brie Comte-Robert ; elles intègrent tout le bassin de l'Yerres, bassin agricole et largement urbanisé, avec quelques implantations industrielles, dans lequel les sources potentielles d'azote sont nombreuses.

Une étude du service d'aménagement des eaux de la région parisienne (1973), sur la qualité des eaux de l'Yerres, a montré que de nombreuses communes situées sur ce bassin ne possèdent pas d'installation d'épuration des eaux usées, et que certaines installations existantes ont un fonctionnement défectueux : il est donc probable qu'une fraction importante de l'azote des eaux de l'Yerres trouve son origine dans les rejets domestiques. La vallée de l'Yerres est creusée pour l'essentiel dans le calcaire de Champigny, formation qui présente de nombreuses zones poreuses et des gouffres : dans ces zones d'infiltration, la rivière alimente directement la nappe (de Soignolles en Brie à Grisy) (cf. figure 53). En aval, (entre Grisy et Combs la Ville) le niveau piézométrique de la nappe atteint puis dépasse le niveau de l'Yerres qui devient alors l'exutoire de la nappe. Ces données illustrent la grande sensibilité de la nappe des calcaires de Champigny, dans la partie aval du bassin de l'Yerres, à la pollution par les eaux superficielles, en raison de ces communications directes des eaux superficielles avec la nappe. Une étude isotopique (figure 56) de l'azote des eaux de l'Yerres, en amont de la zone des pertes (Courtomer), puis en aval (Crosnes), montre que le stock de nitrate a considérablement changé de nature.

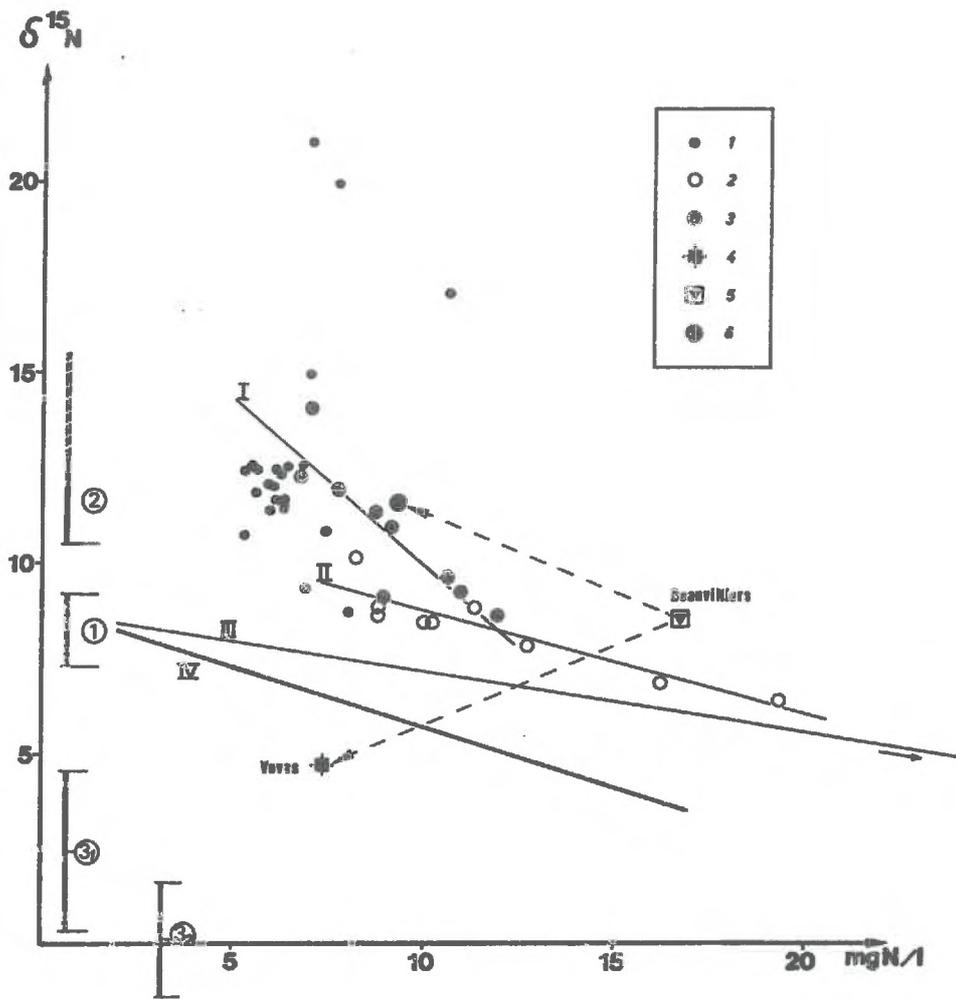


Fig. 56 : RELATION $\delta^{15}N-NO_3 - C NO_3$
(cas de CRONES et COURTOMER)

Dans les 2 cas considérés (figure 56) nous retrouvons sur les eaux de l'Yerres une corrélation linéaire négative, du type de celle qui a pu être mise en évidence sur les eaux de surface à l'exutoire du bassin de Melarchez (III figure 56) ; corrélation que nous interprétons également comme un mélange entre deux sources d'azote.

- Dans le cas de Courtomer (II, figure 56), proche de celui de Melarchez, ce pourrait être les nitrates des sols et des nitrates d'origine artificielle (engrais).
- Dans le cas de Crosnes (I, figure 56), il semble que nous sommes en présence d'une source d'azote à composition isotopique voisine de + 11 à + 12 ‰, mêlée à des nitrates d'origine artificielle. Cette valeur de $\delta^{15}\text{N}$ correspond à celle de la nappe du calcaire de Champigny : l'identité des eaux de celle-ci et des eaux de surface se trouve ainsi confirmée.

Le problème se pose de savoir si ce "pôle" de nitrate à $\delta^{15}\text{N}$, voisin de + 11 à + 12 ‰, correspond à ce que l'on pourrait attendre des écoulements domestiques.

Des observations faites à Melarchez permettent de soutenir cette hypothèse.

En effet, rappelons que nous avons étudié un égoût (Melar Q) et des puits pollués (77, 55, 1, 3).

L'égoût (Melar Q) véhicule des nitrates à composition isotopique élevée (de 10,2 ‰ à 12,3 ‰).

Les puits contaminés par des pollutions organiques domestiques ou agricoles montrent aussi des nitrates à composition isotopique très positive (pour les détails, voir l'étude de Melarchez).

Par ailleurs, on sait qu'un fractionnement isotopique favorisant l'isotope léger ^{14}N peut se produire par volatilisation d'ammoniac, après fermentation et évaporation de l'urine par exemple (MARIOTTI et LETOLLE, 1976 ; KREITLER, 1974).

Nous pensons donc que ce pôle, à composition isotopique élevée, correspond aux nitrates d'origine organique (rejets domestiques, jus de fumier, jus de purin ..).

E - CONCLUSION

L'étude des nappes de la Brie, en utilisant le marquage naturel par ^{15}N des nitrates, nous a permis de déceler différentes sources de nitrates : les nitrates produits naturellement dans les sols cultivés ou de prairie, les nitrates produits dans les sols forestiers, les nitrates des engrais, les nitrates liés à des pollutions organiques domestiques ou agricoles, et de mettre en évidence les deux principales sources de pollution (organique et par les engrais), avec la possibilité de les quantifier.

CONCLUSION GENERALE

Il ressort de ce travail qu'on sait distinguer, grâce au traçage isotopique naturel par ^{15}N , la pollution par les nitrates des engrais, les pollutions organiques domestique ou agricole, et les nitrates des sols.

A Melarchez, la nappe n'est apparemment pas affectée par les engrais ; elle est protégée vers le haut par le réseau de drainage.

Mais ceci n'est valable que localement, car il y a d'autres nappes en Brie ou en Beauce, plus profondes, qui sont affectées par ce type de pollution.

D'autre part, les nitrates émis à l'étiage, à l'exutoire du bassin de Melarchez, en quantités déjà importantes, sont des nitrates "naturels". Il y a peut être là une influence des pratiques culturales (en particulier liée au maintien du sol nu en hiver).

Enfin l'étude de la dénitrification - seul mécanisme naturel de dépollution - est encourageante. Le couplage des analyses isotopiques de l'azote, des mesures de l'oxygène dissous, de la chimie classique est nécessaire.

Ainsi, l'étude des variations des abondances isotopiques de l'azote des nitrates peut contribuer, à côté de la chimie classique (K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, NO_3^- ...) et d'autres méthodes isotopiques (^{18}O , ^3H , ^{34}S ...), à résoudre les problèmes de l'origine des composés azotés. Il est permis d'espérer de la mesure de la teneur en ^{18}O de l'ion nitrate, en cours de développement, une information nouvelle à ce sujet.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE ATOMIQUE INTERNATIONALE (1970) - Nitrogen 15 in soil plant studies.
I.A.E.A., Vienne, 252 p.
- AMARGER N., MARIOTTI A., MARIOTTI F. (à paraître 1977) - Essai d'estimation du
taux d'azote fixé symbiotiquement chez le lupin par le traçage isotopi-
que naturel (^{15}N).
- ANNUAIRE DU BASSIN VERSANT DE L'ORGEVAL - Climatologie - pluie - débit.
C.T.G.R.E.F. - Années 1973, 1975, 1976.
- BAILLEUX J. (1971) - Evolution de l'infrastructure hydrométrique des bassins
représentatifs de l'Orgeval.
Réf. B.T.G.R. n° 106 CERAFER.
- BEGUN G. M., FLECHTER W. H. (1960) - Partition functions ratios for molecules
containing nitrogen isotopes.
Jl. Chem. Phys., 33, 1083-1086.
- BIGELEISEN J. (1952) - The effects of isotopic substitution on the rates of
chemical reactions.
J. Amer. Chem. Soc., n° 56, 823-828.
- BIGELEISEN J. (1965) - Chemistry of isotopes.
Science, V. 147, 463-471
- BOKHOVEN C., THEEUWEN H. J. (1966) - Determination of the abundance of carbon
and nitrogen isotopes in Dutch coals and natural gas.
Nature, 211, 927.
- BREMNER J. M., CHENG H. H., EDWARDS A. P. (1963) - Assumption and errors in
nitrogen 15 tracer research.
Rept. FAO/IAEA tech. meetg. Intern. Soil. Sci. Soc., 429-442.

- BREMNER J. M. (1965) - Isotope ratio analysis of nitrogen in nitrogen 15 tracer investigations.
Methods of Soil analysis (Agronomy 9), Pt. 2, C.A. Black.
Ed. Madison, Wisc., 1256-1286
- BREMNER J. M., EDWARDS A. P. (1965) - Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils : 1 - apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium,
Soil. Sci. Amer. Proc. 29, 504-507
- BREMNER J. (1965) - Total nitrogen in Methods of soil analysis, Part 2
C. A. Black, Edit. American Society of Agronomy, Madison, Wisc., USA
1572 p.
- BREMNER J. M., KEENEY D. R. (1966) - Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils : 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods.
Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 577-82
- BREMNER J. M., CHENG H. H., EDWARDS A. P. (1966) - Assumptions and errors in Nitrogen 15 tracer investigations. in C. A. Black et al. (ed), Methods of Soil analysis - Agronomy 9, part 2, 1256-1286, Am. Soc. Agron., Madison, Wisc.
- BREMNER J. M., TABATABAI M. A. (1973) - Nitrogen 15 Enrichment of soils and soils derived nitrate.
Jl. Environ. Qual. 2, (3), 363-365
- BROWN L. L., DRURY J. S. (1968) - Exchange and fractionation of nitrogen isopes between NO_2^- and NO_3^- .
Jl. Chem. Phys., 48, 1399-1400
- BROWN L. L., DRURY J. S. (1969) - Nitrogen isotope effects - II. The MgO and CuSO_4 systems.
Jl. Chem. Phys., 51, 3771-3775.

- CAMBON J. P., ZUMSTEIN J. F., TIERCELIN J. R. (1968) - "Les bassins versants représentatifs de l'Orgeval - Généralités sur la pluviométrie".
Réf. B.T.G.R., n° 92 CERA FER
- CAMBON J. P., ZUMSTEIN J. F. (1968) - "Les bassins versants représentatifs de l'Orgeval - Etude du bassin de Melarchez".
Réf. B.T.G.R., n° 93 CERA FER
- CANIPELLE A. (1964) - "Géologie du bassin versant expérimental de l'Orgeval - Introduction à son étude hydrogéologique".
Thèse, Paris
- CHARLOT G. (1969) - Les réactions chimiques en solution - L'analyse qualitative minérale.
Masson et Cie, Paris
- CHENG H. H., BREMNER J. M., EDWARDS A. P. (1964) - Variations of nitrogen 15 abundances in soils.
Science, 146, 1574-1575
- CLARKE M., DUPLESSY J. C., LEGER P., LETOLLE R., VILA F., ZUPPI G. M. (1974) - Adaptation d'un spectromètre de masse à l'analyse isotopique en ligne de l'hydrogène de l'eau et du gaz carbonique des carbonates.
Conférence présentée à la réunion du groupe Sud-Est et de la Commission de Spectrométrie du GAMS, FIRMINY, 21 mai 1974
- CLINE J. D. (1973) --Denitrification and isotope fractionation in two contrasting marine environments : the eastern tropical and north pacific ocean and the Cariaco trench. Ph. Thesis, Univ. California, L. A.
- COOK F. D., WELLMAN R. P., KROUSE H. R. (1970) - Nitrogen isotope fractionation in the nitrogen cycle. Pap BI-6, Intern. Sympos. on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Tokyo, Japan, Sept. 6-12, 23 p.

- CRAIG H. (1968) - Isotope separation by carrier diffusion.
Science, 159, 93-96
- DELWICHE C. C., STEYN P. L. (1970) - Nitrogen isotope fractionation in soils and microbial reactions.
Environ. Sci. Technol., 4, 929-935
- EDWARDS A. P. (1973) - Isotopic tracer techniques for identification of sources of nitrate.
Jl. Environ. Qual., 2, (3), 382-386
- FEIGIN A., VAUGHAN W. M., SMITH R., KOHL D. H., SHEARER G., COMMONER B. (1974) - A comparison of the effectiveness of unenriched and ^{15}N enriched fertilizer nitrogen as a tracer.
J. Envir. Qual. 3: 417-423
- FEIGIN A., KOHL D. H., SHEARER G. B., COMMONER B. (1974b) - Variations on the natural nitrogen 15 abundance in nitrate mineralized during incubation of several Illinois soils.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38, 90-95
- FEIGIN A., SHEARER G. B., KOHL D. H., COMMONER B. (1974a) - The amount and nitrogen 15 content of nitrate in soil profiles from two central Illinois fields in a corn-soy bean rotation.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38, 465-471
- FILIZ S. (1973) - Etude du ruissellement et de l'infiltration sur le bassin versant expérimental de l'Orgeval à l'aide de l'oxygène 18.
Thèse de 3e cycle, Paris VI
- FOCHT D. D. (1973) - Isotope fractionation of ^{15}N and ^{14}N in microbiological nitrogen transformation : A theoretical model.
Jl. Environ. Quality, 2, 247-252
- FREYER H. D., ALY A. I. M. (1974) - Nitrogen 15 variations in fertilizer nitrogen,
Jl. Environ. Qual., 3, 405-406

- FREYER H. D., ALY A. I. M. (1975) - Nitrogen 15 studies on identifying fertilizer excess in environmental systems.
in Proc. on Isotope ratios as pollutant source and behaviour indicators, I.A.E.A., Vienna, 21-33
- FREYER H. D., ALY A. I. (1976) - Seasonal trends of NH_4^+ and NO_3^- nitrogen isotope composition in rain collected in rural air.
ECOG 4 (abstr.), Amsterdam, April 1976
- FREYER H. D., KASTEN (1976) - Isotope studies of ammonium, nitrate and total nitrogen in modified loess soils.
- GAEBLER O. H., VITTI T. G., VUKMIROVICH R. (1966) - Isotope effects in metabolism of ^{14}N and ^{15}N from unlabeled dietary proteins.
Canadian Journal Biochemistry, V. 44, 1249-1257
- GAUCHER G. (1968) - Traité de pédologie agricole - Le sol et ses caractéristiques agronomiques.
Dunod, Paris
- HAUCK R. A., BYSTROM M. (1970) - A selected bibliography for agricultural scientists.
Iowa State, Univ. Press.
- HAUCK R. D. (1973) - Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies. Past use and future needs.
Jl. Env. Qual., 2, (3), 317-327
- HAUCK R. D., BARTHOLOMEW W. V., BREMNER J. M., BROADBENT F. E., CHENG H. H., EDWARDS A. P., KEENEY D. R., LEGG J. O., OLSEN S. R., PORTER L. K. (1972) - Use of variations in natural nitrogen isotope abundance for environmental studies. A questionable approach.
Science, 177, 453-454
- HLAVEK R. (1967) - "Les bassins versants représentatifs de l'Orgeval - Généralités".
Réf. B.T.G.R., n°89 CERAFER

- HLAVEK R., CAMBON J. P., ZUMSTEIN J. F. (1968) - "Les bassins versants représentatifs de l'Orgeval - Historique des observations",
Réf. B. T. G. R., n° 90 CERA FER
- HOERING T. C. (1955) - Variations of nitrogen 15 abundance in naturally occurring substances,
Science, 122, 1233-1234
- HOERING T. C. (1957) - Isotopic composition of the ammonia and the nitrate ion in rain,
Geoch. Cosmoch. Acta, 12, 97-102
- HOERING T. C., MOORE H. E. (1957) - The isotopic composition of the nitrogen in natural gases and associated crude oils,
Geoch. Cosmoch. Acta, 13, 225-232
- HOERING T. C., FORD H. T. (1960) - Isotope effect in the fixation of nitrogen by Azotobacter,
Jl. Am. Chem. Soc., 82, 376-378
- JUNK G., SVEC H. J. (1958) - The absolute abundance of the nitrogen isotope in the atmosphere and compressed gas from various sources,
Geoch. Cosmoch. Acta, 14, 234-243
- KEENEY D. R., BREMNER J. M. (1966) - Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. Part. 4.
Soil Sci. Soc. Am., Proc. 30, 583-587
- KOHL D. H., SHEARER G. B., COMMONER B. (1971) - Fertilizer nitrogen : contribution to nitrate in surface water in a Corn Belt Watershed,
Science, 174, 1331-1334
- KOHL D. H., SHEARER G. B., COMMONER B. (1973) - Variation of ^{15}N in corn and soil following application of fertilizer nitrogen,
Soil Science, V. 37, 888-892

- KREITLER C. W. (1974) - Determining the source of nitrate in groundwater by nitrogen isotope studies.
Thèse, University of Texas, Austin.
- LAISHLEY E. J., MC CREADY R. G. L., BRYANT R., KROUSE H. E. (1975) - Stable isotope fractionation by clostridium pasteurianum.
2nd Int. Symp. Environm. Biogeochemistry, Hamilton, 1975 Ap.
- LE COURRIER DE L'UNESCO (juin 1971) - n° spécial : Magies de la chimie moderne.
- LETOLLE R. (1974) - Etat actuel des connaissances relatives à la géochimie isotopique de l'azote.
Rev. Geog. Phys. Geol. Dyn., 16, 131-138
- LETOLLE R. (1976) - Nitrogen 15 natural abundance tracing in soil and water studies - Isotopes in the environments (titre provisoire)
Elzevier (in press)
- LONDON M. (1961) - Separation of isotopes,
Newones ed., London, 489 p.
- MAHENC J. (1965) - Influence de la composition de la phase gazeuse sur la séparation isotopique de l'azote 15 par échange chimique entre solution nitrique et vapeurs nitreuses.
Jl. Chimie Physique, 62, 1399-1403
- MARIOTTI A., BEN HALIMA A., BERGER G. (1976) - Apport de l'étude isotopique de l'azote à la connaissance de la pollution des aquifères souterrains par les nitrates, en milieu agricole. (BRIE, BEAUCE, France).
Rev. Géol. Dyn. Géog. Phys. (in press).
- MARIOTTI A., LETOLLE R., BLAVOUX B., CHASSAING B. (1975) - Détermination par les teneurs naturelles en ^{15}N de l'origine des nitrates : résultats préliminaires sur le bassin de Melarchez (Seine et Marne).
C. R. Ac. Sci., Paris, 280, 423-426
- MARIOTTI A., LETOLLE R. (1977) - Application de l'étude isotopique de l'azote en hydrologie et hydrogéologie. Analyse des résultats obtenus sur un exemple précis : le bassin de Melarchez (Seine et Marne, France).
Jl. of Hydrology

- MARIOTTI A., MULLER J., LETOLLE R. (1977) - in preparation.
- MARIOTTI A., PIERRE M., HOREMANS P. (1977) - in preparation.
- MAYNE K. I. (1957) - Natural variations in the isotope abundance ratios in igneous rocks.
Geoch. Cosmoch. Acta, 185-189
- MEINTS V. W., BOONE L. V., KURTZ L. T. (1975) - Natural ^{15}N abundance in soil, leaves and grain as influenced by long term additions of fertilizer N at several rates.
Jl. Envir. Qual., 4, 4, 486-490
- MEINTS V. W., SHEARER G., KOHL D. H., KURTZ L. T. (1975) - A comparison of unenriched versus ^{15}N enriched fertilizer as a tracer for N fertilizer uptake.
Soil Sci., 119, 421-425
- MEGNIEN C. (1976) - Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. Contribution à l'étude de quelques aquifères principaux.
Thèse d'Etat, Paris VI
- MIYAKE Y., WADA E. (1967) - The abundance ratio of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in marine environments.
Rec. Ocean. Works Japan. 9-1, 37-53
- MIYAKE Y., WADA E. (1971) - The isotope effect on the nitrogen in biochemical oxidation reduction reactions.
Rec. Ocean. Works Japan. 11, 1-6
- MOYSE A. (1969) - Le métabolisme, in "Physiology".
Encyclopédie de la Pléiade, Paris, 234-238
- OBERLIN G. (1970) - "Etude du bassin de la Gouge"
Réf. B.T.G.R., n° 109 CERA FER
- PALACHE CH. (1957) - The system of mineralogy of J. D. Dana and E. S. Dana.
Wiley & Sons, London.

- PARWELL A., RYHAGE A. R., WICKMAN F. E. (1957) - Natural variations in the relative abundance of the nitrogen isotopes.
Geoch. Cosmoch. Acta, 11, 165-170
- POCHON J., BARJAC H. (1958) - Microbiologie des sols.
Dunod Ed., Paris
- RENNIE D. A., PAUL E. A. (1975) - Nitrogen isotope ratios in surface and sub-surface soil horizons.
I.A.E.A. meeting on "Isotope ratios as pollutant source and behaviour indicators", Vienne, 441-451
- RENNIE D. A., PAUL E. A., JOHNS L. E. (1976) - Natural nitrogen 15 abundance of soil and plant samples.
Soil Sci. Can. Soc. Bull. (in press).
- RICHEP P. (1976) - Calcul des fractionnements isotopiques des molécules simples d'intérêt géochimique. Application à quelques systèmes naturels.
Thèse, Paris
- RIGA A., VAN PRAAG H. T., BRIGODE N. (1971) - Rapport isotopique naturel de l'azote dans quelques sols forestiers et agricoles de Belgique soumis à divers traitements culturaux.
Geoderma, 6, 213-222
- RODIER J. (1971) - Analyse chimique et physico-chimique de l'eau.
Dunod, Paris
- ROSS P. J., MARTIN A. E. (1970) - Rapid procedure for preparing gas samples for nitrogen 15 determination.
Analyst 95, 817-822
- SCALAN R. S. (1959) - The isotopic composition concentration and chemical state of the nitrogen in igneous rocks.
Thèse. University of Arkansas

SERVICE D'AMENAGEMENT DES EAUX DE LA REGION PARISIENNE - Ministère de l'Agriculture et du Développement rural. Etude de la qualité des eaux de l'Yerres (campagne février-décembre 1972).

Septembre 1973

SHEARER G. B., KOHL D. H., COMMONER B. (1974) - The precision of determination of the natural abundance of nitrogen 15 in soils, fertilizers and shelf chemicals.

Soil Sci., 118, 308-316

SHEARER G., DUFFY J., KOHL D. H., COMMONER B. (1974) - A steady state model of isotopic fractionation accompanying Nitrogen transformations in soils.

Soil Sci. Am. Proceed, 38, 2, 315-322

SHEARER G., KOHL D. H., COMMONER B. (1975) - Use of variations in the natural abundance of ^{15}N to study sources, transformations and movement of nitrogen in a plant. Soil Water System.

I.A.E.A. "Origin and fate of chemical residues in food, agriculture and fisheries", Vienne, 77-104

SIENCO, PLANE (1965) - Chimie

Dunod, Paris

SPINDEL W. (1954) - The calculation of equilibrium constants for several exchange reactions of nitrogen 15 between oxycompounds of nitrogen.

Jl. Chem. Phys., 1271, 1272

STAHL W., WOLLANKE G., BOIGK H. (1975) - Carbon and nitrogen isotope data of upper carboniferous and Rotliegende natural gases from North Germany and their relationship to the maturity of the organic source material.

Paper pres. 7th Int. Meet. Organ. Chemistry, Madrid, sept. 75

STERN M. J., KAUDER L. N., SPINDEL W. - Temperature dependence of the isotopic fractionation of nitrogen in the $\text{NO} - \text{NO}_3^-$ system.

Jl. Chem. Phys., 34, 333-334

- THODE H. G., UREY H. C. (1939) - J1. Chem. Phy., 7, 34 (quoted in London, q.v.)
- UREY H. C. (1947) - The thermodynamic properties of isotopic substances.
J1. Chem. Soc., 562-581
- VOLINETS V. P., ZADOROZHNY I. K., FLORENSKI K. P. (1967) - Isotope composition
of nitrogen in the Earth's crust.
Geokhimiya, 7, 587-593
- WADA E., HATTORI A. (1975) - Natural abundance of ^{15}N in particulate organic
matter in the North Pacific Ocean.
Geoch. Cosmoch. Acta, 40, 249-251
- WADA E., KADONAGA T., MATSUO S. (1975) - ^{15}N abundance in nitrogen of naturally
occurring substances and global assessment of denitrification from isotopic
view point.
Geoch. J1., 9, 139-148
- WELLMAN R. P., COOK F. D., KROUSE H. R. (1968) - Nitrogen 15 microbial alteration
of abundance.
Science, 161, 269-270