

# Écologie d'une rivière non aménagée des Alpes du Sud : Le Buëch (France)

## II. Action d'un flux polluant sur l'hydrochimie du cours d'eau

F. Vespini<sup>1</sup>

P. Légier<sup>2</sup>

A. Champeau<sup>1</sup>

Mots clés : hydrochimie, effluents, rivière, Alpes, analyse en composantes principales.

Dans son secteur moyen, le Buëch draine les eaux de rebut de la ville de Laragne. L'évolution spatiale du chimisme des eaux usées est étudiée au niveau de 6 stations du réseau d'égouttage et du Véragne (cours d'eau collecteur des effluents de la ville et de son abattoir). Son évolution temporelle est suivie toutes les heures pendant une journée. L'impact des rejets sur le Buëch est analysé à partir de prélèvements réalisés dans cinq stations prises en amont et en aval de la confluence du Buëch et du Véragne.

Sévère à l'échelle de l'affluent, la pollution est peu apparente à l'échelle du cours principal. L'étude met en évidence l'importance prépondérante des phénomènes de dilution et de sédimentation sur le phénomène de biodégradation, ce dernier n'étant vraiment décelable que pendant la période de l'étiage estival.

Ecology of a free-flowing river of the southern Alps : the Buch (France)

II - Action of a polluting flux on the water's hydrochemistry

Keywords : hydrochemistry, effluents, river, Alps, principal component analysis.

In its middle section, the Buëch river drains waste water from the city of Laragne. The spatial development of the waste water's chemical nature was studied at 6 points on the sewer drainage system and the Veragne river (river receiving waste water outflow from the city and its slaughterhouse). Temporal evolution was noted for each hour of the day. The impact of waste on the Buëch river was analyzed through samples taken at 5 points upstream and downstream from the confluence of the Buëch and Veragne rivers.

Though high in its tributary, pollution is rather low in the river itself. The study makes clear the over-whelming importance of dilution and sedimentation on biodegradation, the latter being barely detectable during the summer dry season.

## Introduction

Un suivi écologique mené sur le Buëch, rivière des Alpes du Sud, a montré que les composantes physiques et chimiques du cours subissent une évolution « naturelle » de l'amont vers l'aval. A cette eutrophication se superpose une eutrophication résultant du

rejet des eaux usées des deux principales villes riveraines : Serres et Laragne. (Vespini, Légier & Champeau 1987). Les perturbations apportées par la ville de Laragne et par ses abattoirs sont importantes en intensité ponctuelle. Leurs répercussions qui se font sentir sur le cours inférieur du Buëch font l'objet d'une étude détaillée dans cette deuxième note<sup>1</sup>. Avant d'aborder l'étude du cours axial du Buëch, il convient de définir le rejet lui-même et pour cela d'analyser :

Travail réalisé avec la collaboration technique de MM. Habai (J.C.) et Garnier (R.).

1. Laboratoire d'Hydrobiologie, Université d'Aix-Marseille I, Centre Saint-Charles, Marseille.

2. Laboratoire d'Ecologie Animale, Hydrobiologie, Université d'Aix-Marseille III, centre Saint-Jérôme, Marseille.

1. La numérotation des stations correspond à celle utilisée par les auteurs dans la publication citée précédemment.

- sa composition au sortir du réseau d'égouttage et son évolution spatiale dans le Véragne en amont de la confluence avec le Buëch ;
- son évolution journalière au travers des principaux paramètres liés aux activités domestiques.

## 1. Méthodes

### 1.1. Composition et évolution spatiale des eaux de rebut dans le Véragne

17 paramètres physiques et chimiques : pH, Cond. (Conductivité), T (température), O<sub>2</sub> (oxygène dissous), SiO<sub>2</sub> (Silice), Cl<sup>-</sup> (chlorures), Dt. (Dureté totale), Dc. (Dureté calcique), D.B.O<sub>5</sub> (Demande biochimique en oxygène en 5 jours), Al. (Alcalinité), NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Nitrites), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Nitrates), N.O.P. (Azote organique particulaire), la forme assimilable du phosphore : PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Orthophosphates), M.E.S. (Matières en suspension, O.P.C. (Oxydabilité au permanganate à chaud) et C.O.P. (Carbone organique particulaire) permettent de caractériser le rejet station Rv (fig. 1). Les effluents sont évacués dans le Véragne sans épuration préalable après avoir reçu les eaux canalisées qui alimentent un moulin (Cm).

Ce canal est une dérivation du Buëch au niveau d'Eyguans. Trois stations situées sur le Véragne (V<sub>2</sub>, A<sub>14</sub> et V<sub>3</sub>) en aval de la prise en charge des effluents domestiques et des eaux du canal du moulin permettent d'appréhender l'évolution spatiale de la charge polluante sur une portion de cours réduite (80 m) et de connaître l'importance de cette charge arrivant au Buëch.

### 1.2. Evolution temporelle des eaux de rebut

Quatre formes de l'azote : NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ion ammonium), NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N.O.P., et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, O.P.C., C.O.P. et Cl<sup>-</sup>, paramètres plus spécialement caractéristiques des rejets d'eaux usées domestiques ont été analysés au cours d'une journée, entre 6 h et 22 h avec une périodicité d'une heure, sur deux stations, l'une prise sur le Véragne en V<sub>2</sub>, l'autre en aval de la confluence du Véragne et du Buëch en B12. Le temps de transit de la masse d'eau entre les deux points étant de l'ordre de 30 mn, les prélèvements effectués en B12 ont été décalés d'autant.

### 1.3. Evolution spatio-temporelle de la charge polluante dans le cours axial

Six stations ont été choisies de façon à encadrer la source de pollution (fig. 2). Ce sont les stations

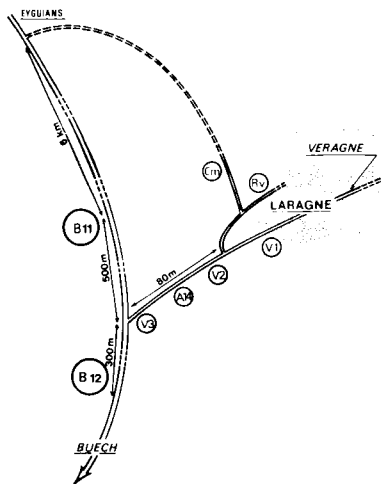


Fig. 1. Schéma du réseau des eaux de rebut de Laragne (Cm. = canal du moulin, Rv. = rejets de la ville, V<sub>1</sub>... V<sub>3</sub> = stations prises sur le Véragne, B11 et B12 = stations prises sur le Buëch).

A<sub>14</sub> au niveau du collecteur des eaux résiduaires de la ville de Laragne (Le Véragne), B<sub>11</sub> et B<sub>12</sub> respectivement situées en amont et en aval immédiat de la confluence du Véragne et du Buëch ; les stations B<sub>13</sub> et B<sub>14</sub> situées à 4 et 10 kilomètres plus en aval. Ces dernières permettent d'évaluer la longueur de rivière touchée par cette pollution organique et d'analyser l'intensité des phénomènes d'autoépuration liés au cycle hydrologique de la rivière. De plus, la station B<sub>6</sub> localisée sur le Buëch à 20 km en amont du déversement des eaux usées nous sert de référence (dans les A.C.P. de notre étude précédente portant sur l'ensemble des stations du cours d'eau, le « point-station » B<sub>6</sub> était très voisin de l'origine des axes dans le plan factoriel I-II mettant ainsi en évidence, d'une part, l'absence de particularités liées à la minéralisation naturelle des eaux de la station et d'autre part, le faible volume des apports exogènes eutrophisants).

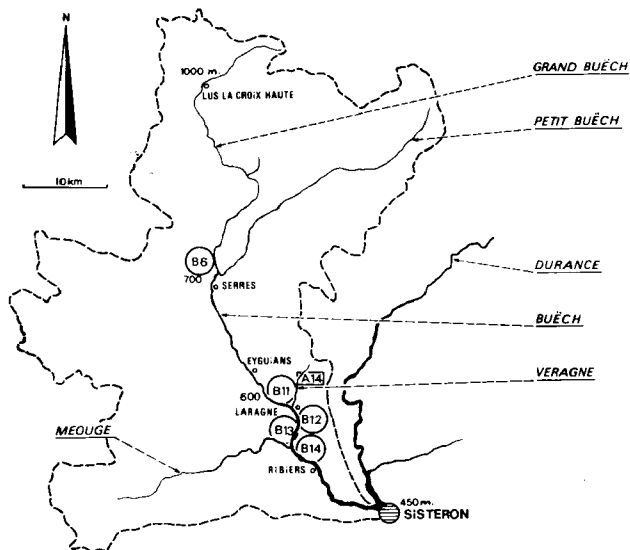


Fig. 2. Le bassin versant du Buëch : localisation des stations d'étude.

Ces six stations sont suivies pendant la durée d'un cycle hydrologique. Les descripteurs retenus pour caractériser la masse d'eau sont :

—  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , N.O.P.,  $\text{PO}_4^{3-}$ , O.P.C., C.O.P., D.B.O<sub>5</sub>,  $\text{Cl}^-$ .

Les descripteurs retenus pour caractériser les sédiments sont :

— le carbone organique (C.O.) et l'azote (N.).

En outre, le pH, la Cond., l'O<sub>2</sub>, les Dt. et Dc., l'Al., M.E.S. et SiO<sub>2</sub> sont précisés dans les six stations.

## 2. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de rebut

Le système d'égouttage de la ville de Laragne est simple et non séparatif. Un seul collecteur reçoit à la fois les eaux usées et les eaux de pluie de

l'ensemble de l'agglomération qui possède une population permanente de 3 900 habitants et un abattoir de moutons. Le débit des rejets varie donc d'une part, en fonction de la saison (pluies ou déficit hydrique) et d'autre part, en fonction de la périodicité journalière des activités domestiques.

### 2.1. Evolution spatiale dans le Véraigne

Un prélèvement effectué au niveau du rejet de la ville (Rv) révèle que les éléments qui traduisent plus spécialement une pollution domestique tels  $\text{PO}_4^{3-}$ , O.P.C., N.O.P., D.B.O<sub>5</sub>... présentent des valeurs très élevées mais aussi, que la concentration des autres composés est importante (Tableau I).

Les concentrations baissent sensiblement entre les stations Rv et A<sub>14</sub>. On note une légère hausse en V<sub>3</sub> due à un phénomène de « reflux ».

Tableau I. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux parvenant au Vêragne et des eaux du Vêragne lui-même en aval de Laragne (janvier 1983).

STATIONS	pH	Cond.	T	O <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl <sup>-</sup>	Dt	Dc	DBO	Al	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	MES	OPC	COP	NOP
Rv	7,0	606	10,4	7,5	9,15	47,0	290	260	-	290	0,32	4,55	8,15	237,0	27,0	24,17	2,42
Cm	7,8	232	3,3	13,6	3,85	15,5	200	180	2,42	180	tr	2,88	0,01	106,0	0,7	2,73	0,11
V1	7,8	506	0,2	13,7	5,45	14,5	510	465	4,84	210	tr	5,95	0,01	61,6	0,8	5,56	0,35
V2	7,7	385	1,9	13,4	5,20	23,5	390	365	4,84	210	0,06	4,20	0,40	26,6	3,3	11,52	0,23
Al4	8,0	286	2,9	12,9	4,35	16,5	260	210	4,64	200	tr	2,65	0,26	43,0	2,0	10,24	0,83
V3	7,9	289	2,9	13,5	4,70	16,0	260	240	4,84	190	tr	2,60	0,34	47,0	3,5	3,53	0,79

Lorsqu'on se réfère à la concentration des effluents, la charge polluante arrivant dans le Buëch au niveau de la station B<sub>12</sub> est, du fait des dilutions successives, nettement plus réduite. Au moment de la collecte des échantillons, le débit du Vêragne en A<sub>14</sub> était de 1,3 m<sup>3</sup>/s, celui du Buëch (au niveau de la station B<sub>11</sub>) était de 9,1 m<sup>3</sup>/s ; la dilution apportée par les eaux du Buëch est donc très importante (fig. 3).

## 2.2. Evolution des principaux paramètres hydrochimiques entre les rejets (Vêragne) et le Buëch

Comme le montre la figure 3, la charge fluctue énormément au cours d'un cycle journalier ; ces fluctuations sont rapidement amorties vers l'aval essentiellement par suite de phénomènes de dilution et de dispersion mais aussi par suite de phénomènes de sédimentation et de bioépuration.

### 2.2.1. L'AZOTE

Comme dans la plupart des effluents urbains, l'azote se trouve essentiellement sous sa forme ammoniacale : urée, acide urique, protéines...

— Les valeurs de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (fig. 3.A), sont faibles à 6 h du matin, elles s'élèvent progressivement pour atteindre un maximum à 10 h. La concentration baisse ensuite lentement dans le cours de l'après-midi et dans la soirée. Deux pics de moindre importance sont notables à 16 h et à 20 h. Les valeurs relevées à 22 h sont encore légèrement supérieures à celles enregistrées à 6 h. Dans les effluents qu'il étudie, Vanderborgh (1980) constate que les concentrations se stabilisent entre 24 h et 6 h. Comme dans la Semois, les variations journalières de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans le Vêragne sont en relation avec le rythme de l'activité humaine.

— Les teneurs en N.O.P. (fig. 3.B) suivent sensiblement les mêmes fluctuations. Cependant, le pic de 20 h est beaucoup plus marqué que celui relevé dans l'évolution de la teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Les concentrations dosées sont environ 12 fois plus faibles que celles mesurées pour le NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ceci peut être la conséquence d'un phénomène d'ammonification qui a lieu en grande partie dans le réseau d'égout : Vanderborgh (1980) signale en effet qu'en fin de réseau, les proportions peuvent atteindre jusqu'à 80 % de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et 20 % de N.O.P. Ensuite cette ammonification se poursuit dans le Vêragne.

— Les concentrations en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (fig. 3.C) relevées au cours du cycle journalier, restent relativement constantes bien qu'une chute brutale de la concentration à 16 h, soit observée sans explication. Le signal complexe enregistré s'explique par un mélange d'eaux :

- eaux de ruissellement agricole ;
- eaux de pluie dans le système d'égout ;
- eaux domestiques, avec passage de la forme NH<sub>4</sub><sup>+</sup> à la forme NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par nitrification (aussi bien dans le réseau d'égoutage que dans la rivière).

Vanderborgh a effectué des mesures directement dans le système d'égout et conclut que NO<sub>3</sub><sup>-</sup> présente une courbe d'allure inverse de celle de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> prédomine : les concentrations dosées sont en effet environ 3 fois supérieures à celles enregistrées pour NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Dans le Vêragne, les fortes concentrations en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mesurées au niveau de la station V<sub>2</sub>, proviennent en partie de l'oxydation de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ; mais si l'on se réfère au Tableau I, on constate que NO<sub>3</sub><sup>-</sup> seulement est véhiculé en grande quantité par le ruisseau lui-même en V<sub>1</sub>.

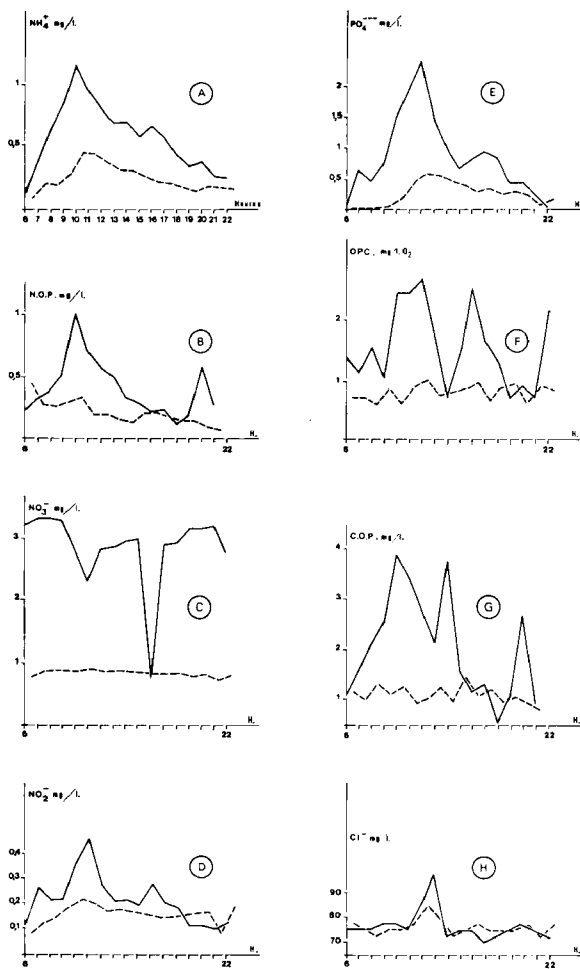


Fig. 3. Evolution journalière comparée des descripteurs des eaux du Vêragne en A14 (courbes en trait plein) et du Buëch au niveau de la station B12 (courbes en trait interrompu).

$\text{NO}_2^-$  (fig. 3.D) présente le même type d'évolution au cours de la journée que  $\text{NH}_4^+$ . On constate toutefois, que le maximum a lieu à 11 h, la décroissance étant ensuite brutale dès le début de l'après-midi ; on note un nouveau pic à 16 h, son amplitude est 2,5 fois moindre que celle observée pour  $\text{NH}_4^+$ .

### 2.2.2. LES ORTHOPHOSPHATES

L'évolution de la concentration en  $\text{PO}_4^{3-}$  (fig. 3.E) est semblable à celle du  $\text{NH}_4^+$ . La teneur maximum est relevée à 12 h. Un second pic, moins marqué, apparaît à 17 h. Vanderborcht constate que l'amplitude du signal du lundi<sup>1</sup> est régulièrement plus élevée. Elle permet de reconnaître le jour habituel de lessive, car dans les eaux usées ménagères, les composés du phosphore sont associés en grande partie aux détergents.

### 2.2.3. L'OXYDABILITE

L'O.P.C. donne une idée globale de la concentration en matières organiques et en substances réductrices. La charge de l'effluent atteint son maximum en fin de matinée : de 10 à 12 h (fig. 3.F) elle décroît ensuite fortement en début d'après-midi, marque un second pic à 16 h, puis un troisième aux environs de 22 h.

### 2.2.4. LE CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE

La courbe représentant les variations journalières du C.O.P. (fig. 3.G), possède la même allure que celle tracée pour l'évolution de l'O.P.C., mais les 3 pics sont plus précoces puisqu'ils apparaissent 2 h avant.

### 2.2.5. LES CHLORURES

Comme pour les concentrations en  $\text{PO}_4^{3-}$ , le maximum se situe en fin de matinée (fig. 3.H). Les  $\text{Cl}^-$  sont très facilement solubles, ils ne jouent aucun rôle dans les phénomènes de décomposition et ne sont donc pas modifiés (Rodier 1978). Il est donc normal de ne pas constater d'amortissement entre les stations  $V_2$  et  $B_{12}$  sauf au niveau du pic (on incriminera alors un processus de dilution).

Les résultats obtenus à la suite des analyses d'eau réalisées toutes les heures ont en parfaite concordance avec les observations faites par Vanderborcht (1980) sur la Sémois durant une semaine.

1. Les prélèvements ont été réalisés, dans le Véragne, le lundi 22 août 1983.

L'amortissement vers l'aval des fluctuations des différents descripteurs met l'accent sur l'importance des phénomènes de dilution et de sédimentation.

## 3. Evolution spatio-temporelle de la charge polluante dans le Buëch

L'évolution des conditions abiotiques du Buëch, en amont et en aval de Larnage, est analysée au moyen d'une A.C.P. (analyse en composantes principales). Par suite des fluctuations journalières constatées au niveau des descripteurs choisis, tous les échantillons d'eau ont été prélevés sensiblement à la même heure. Aux cinq stations prospectées sur le cours principal ( $B_6$ ,  $B_{11}$ ,  $B_{12}$ ,  $B_{13}$  et  $B_{14}$ ), est ajoutée une station du Véragne ( $A_{14}$ ) : elle permet de définir la charge polluante arrivant dans le Buëch (Tableau II).

La part de variance cumulée est de 60,48 % sur les deux premiers axes principaux : 37,23 % sur le premier, 23,25 % sur le second. Parmi les 17 descripteurs retenus pour l'étude, le pH possède une contribution significative seulement sur l'axe IV, ce descripteur ne sera donc pas pris en considération dans l'interprétation des résultats.

### 3.1. Interprétation du premier axe principal

La matrice de corrélation entre les variables et les composantes principales montre que seul  $\text{O}_2$  présente une corrélation négative avec la composante principale  $C_1$ . A l'opposé, les plus fortes valeurs de corrélation positive relevées avec le premier axe sont, pour les descripteurs du milieu aqueux : le  $\text{PO}_4^{3-}$ , l'O.P.C., la  $\text{DBO}_5$  et le N.O.P. et pour les sédiments, le C.O. Le premier axe principal est donc entièrement déterminé, d'une part, par la matière organique au sens large, (qui s'oppose à la concentration en  $\text{O}_2$ ) et d'autre part, par les  $\text{PO}_4^{3-}$ . Il décrit donc l'intensité de la pollution domestique (à la fois dans l'eau et dans les sédiments).

Certaines variables telles : O.P.C., C.O.P.,  $\text{PO}_4^{3-}$ , N.O.P. sont fortement corrélées entre elles (Tableau III).

La  $\text{D.B.O}_5$  fortement corrélée avec la composante  $C_1$ , est à la fois corrélée aux descripteurs du milieu aqueux et au C.O. du sédiment (les coefficients sont

Tableau II. Résultats des analyses effectuées au cours d'un cycle hydrologique dans les 5 stations du Buëch et dans le Vêrange.

	J A N V I E R					M A R S					M A I								
	EAU	B11	B12	B13	B14	A14	B6	B11	B12	B13	B14	A14	B6	B11	B12	B13	B14	A14	
EAU	180	160	190	200	185	240	190	175	190	170	160	235	190	200	180	185	180	220	
De.	185	200	200	200	195	260	230	215	215	220	210	290	200	200	200	200	190	250	
Cond.	319	364	381	383	378	769	432	436	437	466	468	654	315	332	340	335	337	429	
pH	7,6	7,6	7,7	7,6	7,6	7,9	8,0	8,1	8,0	7,9	7,9	8,0	7,9	8,0	8,1	8,0	8,0	8,3	
T.	3,0	0,6	2,9	2,0	1,5	2,9	13,2	13,5	13,8	9,6	8,9	7,3	10,1	13,0	11,9	13,4	13,9	13,7	
O <sub>2</sub>	13,9	14,0	13,8	14,1	13,6	13,5	10,6	10,5	10,0	11,5	11,6	11,5	10,3	13,8	10,9	11,6	11,6	11,1	
X sat.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	
Al.	160	180	180	180	180	190	190	190	195	190	190	220	185	185	185	180	180	195	
MES	12,6	23,4	17,2	8,8	7,8	47,0	11,6	57,4	41,0	36,0	61,4	85,6	7,0	23,6	4,6	22,4	30,6	8,2	
OPC	0,65	0,75	0,50	0,80	0,55	3,50	0,52	0,57	1,22	0,62	0,70	7,50	0,52	0,42	0,37	0,45	0,65	0,80	
Cl <sup>-</sup>	7,0	17,5	18,5	18,5	16,5	16,0	7,0	9,0	9,0	9,0	8,0	10,0	7,0	9,5	9,5	9,5	8,5	8,0	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	tr.	tr.	0,01	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,12	2,44	2,12	2,38	2,16	2,60	1,82	1,45	1,45	1,62	1,52	2,61	1,49	1,59	1,63	1,66	1,85	2,16	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,01	0,01	0,05	0,04	0,02	0,34	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,27	
DB05	2,01	2,22	2,22	2,22	2,42	4,84	2,62	2,82	2,72	3,02	3,12	5,84	-	-	-	-	-	-	
COP	0,47	0,26	0,37	0,30	0,29	3,53	0,92	1,14	1,72	1,00	1,04	10,47	0,30	0,10	0,20	0,12	0,26	1,10	
NOP	0,02	0,19	0,03	0,06	0,02	0,79	0,10	0,23	0,14	0,13	0,17	0,86	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,11	
<b>SEDIMENT</b>																			
CO.	3,77	3,09	2,54	2,67	6,19	7,6	3,40	3,00	2,20	1,94	3,75	7,51	-	-	-	-	-	-	
N.	0,14	0,62	0,33	0,36	0,56	1,46	0,10	0,09	0,16	0,55	1,67	1,44	-	-	-	-	-	-	
<b>EAU</b>																			
	J U I N					A O U T					S E P T E M B R E					N O V E M B R E			
	EAU	B11	B12	B13	B14	A14	B6	B11	B12	B13	B14	A14	B6	B11	B12	B13	B14	A14	
De.	150	165	165	155	150	175	185	175	170	195	155	180	190	175	180	190	200	185	195
De.	180	190	195	195	190	210	210	210	185	215	165	195	225	235	225	225	255	230	205
Cond.	441	511	513	519	499	528	513	769	791	813	714	768	315	424	476	455	422	455	554
pH	7,9	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	7,8	7,9	7,8	7,9	7,9	7,7	8,0	7,9	8,0	8,1	8,0	7,9	7,7
T.	14,4	18,3	19,6	21,1	21,6	18,8	19,2	20,8	19,9	19,5	20,3	20,2	12,8	21,3	19,0	19,3	19,2	19,3	6,1
O <sub>2</sub>	11,0	10,0	10,3	10,3	9,9	10,6	9,4	8,7	7,4	9,5	8,9	6,8	11,3	9,6	10,5	11,9	9,0	9,4	14,7
X sat.	100	100	100	100	100	100	100	83	100	100	76	100	100	100	100	100	100	100	100
Al.	170	180	180	175	170	185	185	180	195	195	195	185	190	160	185	170	190	225	185
MES	8,2	5,2	16,0	17,0	2,4	15,4	2,4	45,2	17,0	15,2	3,0	12,4	1,8	8,8	12,8	8,2	5,0	5,6	0,5
OPC	0,85	0,70	0,95	0,80	0,85	1,20	0,60	0,55	1,90	0,65	0,50	2,10	0,40	0,78	1,08	0,75	0,53	0,78	0,55
Cl <sup>-</sup>	7,0	24,5	24,0	24,0	20,5	24,5	10,0	85,0	80,0	52,5	55,0	77,5	22,5	65,0	86,0	80,0	57,5	87,5	27,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0,03	0,02	0,02	0,18	0,03	0,02	0,16	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,25	2,15	2,22	2,32	2,04	2,12	2,95	3,65	3,46	4,25	3,00	3,54	2,32	2,16	2,12	2,32	2,36	2,04	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,12	0,03	0,02	0,19	0,02	0,01	0,33	0,01	0,01	0,25	0,12	0,01	0,23	
DB05	0,90	1,31	1,61	2,01	0,60	5,24	3,02	3,73	3,83	2,21	2,82	6,04	1,11	1,21	3,43	2,32	1,41	6,15	
COP	0,16	0,90	0,21	0,10	0,05	1,20	0,04	0,21	1,03	0,29	0,07	1,45	0,09	0,08	1,44	0,43	0,06	1,00	
NOP	0,02	0,01	0,04	0,04	0,12	0,20	0,09	0,07	0,16	0,11	0,08	0,32	0,10	0,04	0,24	0,08	0,26	0,01	
<b>SEDIMENT</b>																			
CO.	3,36	1,75	7,56	8,19	2,56	9,44	7,16	5,95	10,767	7,97	7,59	22,64	4,86	8,14	8,21	6,78	5,71	5,80	
N.	0,26	1,71	2,07	1,41	0,75	1,66	4,88	1,00	2,55	2,70	0,86	3,27	0,54	1,55	1,48	1,27	1,10	0,89	

de l'ordre de 0,5). La plupart des autres descripteurs sont bien corrélés avec  $C_1$  et participent, mais à un degré moindre, à la détermination de l'axe. Comme nous l'avons vu précédemment lors de l'étude de la composition du rejet, leur concentration est plus importante dans l'effluent que dans la rivière.

Les stations représentées dans le plan principal I/III se répartissent sur l'axe I, de la façon suivante : la station A<sub>14</sub> (Véragne) occupe la partie positive de l'axe durant tout le cycle ; les autres stations, toutes situées sur le Buëch, se répartissent d'une part, en fonction de l'époque du prélèvement, d'autre part en fonction de leur position géographique par rapport au Véragne (fig. 4). Ainsi, les points qui représentent les analyses effectuées en janvier, se situent sur la partie négative de l'axe I, en opposition avec les échantillons prélevés en août, plus proches de ceux effectués dans le Véragne. Les prélèvements réalisés au cours des mois de mars, septembre et novembre occupent une position intermédiaire. Les résultats des analyses effectuées en juin se rapprochent de ceux du mois de janvier mais les écarts des coordonnées entre les stations y sont plus grands.

L'axe I met donc en évidence l'importance de l'évolution saisonnière dans un tel hydrosystème. Il traduit une pollution (eutrophication) par des matières organiques, mais aussi une eutrophication de l'ensemble des stations, notamment au cours de la période estivale.

La station B<sub>13</sub> subit de façon moins évidente les effets de l'apport en éléments nutritifs. Son évolution temporelle présente à peu près le même profil que celui de la station B<sub>12</sub> avec, toutefois, des valeurs plus basses en août et en septembre. La courbe dressée à partir des prélèvements effectués dans la station B<sub>14</sub> se rapproche de celle de la station de référence B<sub>6</sub> : les effets du Véragne n'apparaissent plus à son niveau. La station B<sub>14</sub> est cependant caractérisée par une plus grande constance dans son niveau d'eutrophie : l'amplitude des variations saisonnières y est plus restreinte. On note au niveau de la station B<sub>11</sub>, une légère augmentation du niveau d'eutrophie par rapport à la station B<sub>6</sub> mais l'allure de la courbe reste la même.

Sauf peut-être en août, B<sub>6</sub> apparaît bien comme une station de référence. Mais il importe de signaler

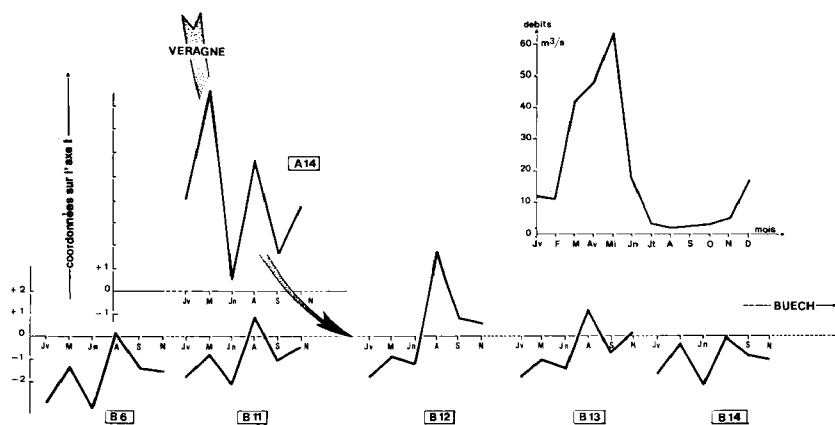


Fig. 4. Impact des eaux du Véragne sur le chimisme du Buëch. L'évolution est suivie à partir des coordonnées des points « station-temps » sur l'axe I (en haut et à droite : courbe temporelle du débit).



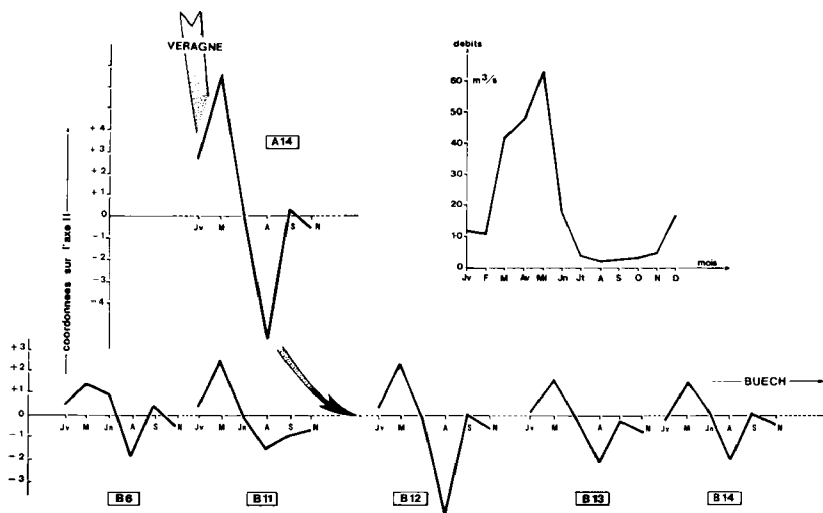


Fig. 5. Impact des eaux du Vêragne sur le chimisme du Buëch. L'évolution est suivie à partir des coordonnées des points « station-temps » sur l'axe II (en haut et à droite : courbe temporelle du débit).

que dans un tel hydrosystème, l'évolution saisonnière prime sur l'évolution spatiale : la station B<sub>6</sub> par exemple, présente en août un degré d'eutrophie supérieur à celui observé dans la station B<sub>12</sub> au cours des mois de janvier, mars et juin.

### 3.2. Interprétation du second axe principal

Sur l'axe II s'opposent d'une part, les descripteurs dont la teneur augmente par dépôt ou par concentration lorsque le débit est faible ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) et d'autre part, ceux dont les valeurs augmentent avec le débit, soit par lessivage (DL) soit par remise en suspension (C.O.P., N.O.P.,  $\text{PO}_4^{3-}$ , O.P.C.)<sup>1</sup> soit, enfin, par suite du brassage plus important de l'eau ( $\text{O}_2$ ).

1. Les teneurs en orthophosphates augmentent en début de crue.  $\text{PO}_4^{3-}$  fait partie des anions facilement fixés par le sol.

Il est évident qu'au delà d'une certaine limite, le débit continuant d'augmenter, les concentrations des différents éléments dans l'eau chuteraient : c'est ce que confirment les résultats des mesures effectuées au cours du mois de mai (pleine crue). Ces résultats n'ont pas été pris en compte dans l'analyse, certains descripteurs n'ayant pas pu être échantillonnés.

Les mois de mars et d'août s'opposent sur l'axe II (fig. 5) et mettent ainsi en relief l'importance des phénomènes liés à l'hydraulique.

En août, au cours de l'étiage estival, un phénomène de sédimentation prédomine au niveau de toutes les stations ; il est particulièrement sensible au niveau des stations A<sub>14</sub> et B<sub>12</sub> dont les positions sont très négatives, une partie importante de la charge véhiculée par les eaux du Vêragne se dépose avant la confluence, une autre partie parvient au Buëch et se dépose au niveau de la station B<sub>12</sub>.

**Tableau III.** Matrice de corrélation entre les variables (Légendes : Dt = Dureté totale, Al. = Alcalinité, MES = Matières en suspension, OPC = oxydabilité au permanganate à chaud, Cond. = Conductivité, COP = Carbone organique particulaire, NOP = Azote organique particulaire, CO. Sed = Carbone organique du sédiment, N. Sed = Azote organique du sédiment).

	Dt	pH	O <sub>2</sub>	Al	SiO <sub>2</sub>	MES	OPC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	DBO	Cond	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	COP	NOP	CO.Sed	N.Sed.
Dt	1.000																
pH	0.162	1.000															
O <sub>2</sub>	0.189	0.173	1.000														
Al	0.487	0.126	-0.084	1.000													
SiO <sub>2</sub>	0.170	-0.183	-0.340	0.312	1.000												
MES	0.370	0.264	-0.000	0.320	-0.010	1.000											
OPC	0.518	0.133	-0.250	0.430	0.106	0.637	1.000										
Cl <sup>-</sup>	0.109	0.036	-0.356	0.172	0.536	-0.313	-0.111	1.000									
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0.192	-0.219	-0.931	0.130	0.391	-0.071	0.154	0.424	1.000								
DBO	0.511	-0.202	-0.309	0.626	0.332	0.265	0.423	0.353	0.381	1.000							
Cond	0.200	-0.092	-0.363	0.370	0.531	0.056	0.271	0.487	0.496	0.573	1.000						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.077	0.076	-0.444	0.140	0.467	0.073	0.219	0.392	0.514	0.111	0.403	1.000					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.634	0.022	-0.276	0.556	0.225	0.493	0.915	0.123	0.219	0.662	0.364	0.175	1.000				
COP	0.639	0.126	-0.110	0.536	0.091	0.706	0.952	-0.150	0.037	0.521	0.219	0.082	0.930	1.000			
NOP	0.613	0.211	-0.196	0.522	0.169	0.662	0.881	-0.048	0.113	0.562	0.313	0.200	0.847	0.877	1.000		
CO.Sed	0.110	-0.142	-0.741	0.130	0.446	-0.073	0.282	0.525	0.736	0.558	0.532	0.502	0.430	0.195	0.312	1.000	
NSed	0.071	-0.101	-0.417	0.111	0.356	-0.064	0.154	0.247	0.524	0.293	0.411	0.539	0.244	0.094	0.154	0.637	1.000

En mars, avec l'augmentation du débit se produit une remise en suspension des éléments qui s'étaient accumulés ou développés sur le fond de la rivière (dépôts organiques, algues, microorganismes bactériens...) pour toutes les stations, mais aussi parce que le système des eaux est non séparatif, des dépôts accumulés dans les conduites. L'ensemble provoque une brusque augmentation de la charge polluante. Cette charge parvient au Buëch où elle est immédiatement diluée par les eaux grossières par la fonte des neiges et les pluies printanières ; elle n'apparaît alors pas plus importante au niveau de la station B<sub>12</sub> que dans les autres stations à la même époque.

A la fin des hautes eaux, les phénomènes de sédimentation prennent à nouveau de l'importance.

En conséquence, l'axe II, isolé par l'A.C.P., reflète le rôle du débit dans la répartition de la charge organique entre l'eau et le sédiment.

S'il existe effectivement une zone de biodégradation, qui commence dans le réseau d'égout lui-même et se poursuit dans le Véragne, sa longueur est faible : 80 m environ jusqu'à la confluence du Véragne

et du Buëch (fig. 1). La zone de décomposition qui devrait lui faire suite dans le Buëch n'est perçue que pendant l'été (Tableau III). En effet, si pendant l'étiage hivernal et pendant les hautes eaux de la rivière, la D.B.O.<sub>5</sub> reste importante dans le Véragne, les valeurs mesurées en aval de la confluence Buëch-Véragne sont faibles et voisines de celles mesurées en amont de la confluence. Quelles que soient les stations considérées, les eaux sont toujours bien oxygénées. On peut alors penser qu'à cette époque du cycle hydrologique, la régulation du chimisme des eaux est plus mécanique (dilution, sédimentation,...) que biologique (autoépuration).

En revanche, au cours de l'étiage estival, on note au niveau de la station B<sub>12</sub>, la présence d'un important développement bactérien qui s'accompagne de fortes valeurs prises par la D.B.O.<sub>5</sub>. La valeur de la D.B.O.<sub>5</sub> décroît ensuite progressivement depuis le Véragne jusqu'à la station B<sub>14</sub>. Corrélativement, on observe une légère diminution de la teneur en O<sub>2</sub> dans les eaux de la station B<sub>12</sub> (minimum 83 % en août). Dans les autres stations O<sub>2</sub> se maintient à saturation.

L'oxydation des composés azotés qui se produit plus tard que celle des composés carbonés est décelable : présent dans le rejet, l'azote sous forme réduite est transformé en  $\text{NO}_3^-$  entre le niveau des rejets dans le Vêragne et la station B13. En août, par exemple, les concentrations en  $\text{NH}_4^+$  diminuent progressivement entre le Vêragne et la station B12 ; l'augmentation des  $\text{NO}_2^-$  à la station B12, puis des  $\text{NO}_3^-$  à la station B13, met en évidence un phénomène de nitrification.

#### 4. Conclusion

A l'image de la plupart des systèmes lotiques, il apparaît que la composition chimique de l'eau change graduellement de l'amont vers l'aval dans l'hydrosystème Buëch. La minéralisation et le degré d'eutrophie augmentent au fur et à mesure que croît la superficie du bassin versant (Vespi, Légiér & Champeau 1987). A cette eutrophisation perçue à l'échelle du cours d'eau, se surajoute un certain nombre de perturbations locales, qui peuvent être chroniques comme c'est le cas des déversements d'eaux usées ménagères ou provenant d'abattoirs dans le secteur de Laragne. Mais ces phénomènes d'eutrophication, sensibles et même aigus à l'échelle de l'affluent (Vêragne), ne semblent pas avoir, dans le Buëch, un impact comparable à celui observé dans d'autres cours d'eau de la région comme l'Eau

Salée (affluent de l'Argens) dans le Var (Dehzad 1978 puis Giudicelli et al. 1980) ou dans le Tavignano en Corse (Giudicelli, Légiér, Musso & Prévot 1986).

Dans le réseau hydrographique du Buëch, la zone critique correspond au secteur inférieur du Vêragne, la capacité d'autoépuration de l'affluent est limitée par sa faible longueur (80 m). Une charge organique encore élevée parvient au Buëch, elle y subit une dilution importante. Le caractère des phénomènes observés est alors essentiellement mécanique et masque le processus de biodégradation sauf pendant les basses eaux estivales.

#### Travaux cités

- Dehzad (B.). 1978. — Etude écologique d'un cours d'eau pollué : « l'eau Salée » (Var). *Thèse de 3ème cycle, Aix Marseille III*, 147 p.
- Giudicelli (J.), Dia (A.), & Légiér (P.). 1980. — Etude hydrobiologique de l'Argens (Var) : peuplements invertébrés et distribution longitudinale. *Bijdr. Dierkd.*, 50 : 303-341.
- Giudicelli (J.), Légiér (P.), Musso (J.J.) & Prévot (G.). 1986. — Impact d'une perturbation polluante d'origine organique sur les populations et les communautés d'invertébrés benthiques et en dérive d'une rivière méditerranéenne, le Tavignano (Corse). *Ecologia Mediterranea*, XII, 1-2 : 31-61.
- Vanderborcht (P.). 1980. — Etude physicochimique des eaux de la Semois. *Thèse. Arlon Fond. Univ. Luxemb.* : 264 p.
- Vespi (F.), Légiér (P.) & Champeau (A.). 1987. — Ecologie d'une rivière non aménagée : Le Buech (France), I. Evolution longitudinale des descripteurs physiques et chimiques. *Ambio. Limnol.*, 23(2) : 151-164.