

Les facteurs de la variation spatio-temporelle des transports solides et dissous. Exemple de trois bassins versants en Lorraine/*Sediment and solute outputs. Factors of process variation in time and space. Example from three catchments located in North-Eastern France*

Jeannine Corbonnois

Citer ce document / Cite this document :

Corbonnois Jeannine. Les facteurs de la variation spatio-temporelle des transports solides et dissous. Exemple de trois bassins versants en Lorraine/*Sediment and solute outputs. Factors of process variation in time and space. Example from three catchments located in North-Eastern France*. In: Géomorphologie : relief, processus, environnement, décembre 1998, vol. 4, n°4. pp. 313-329;

doi : 10.3406/morfo.1998.967

http://www.persee.fr/doc/morfo_1266-5304_1998_num_4_4_967

Document généré le 13/06/2016

Résumé

Résumé Les facteurs de la variation des transports solides et dissous sont déterminés et analysés à partir de la comparaison de mesures (précipitations, débits, éléments solides et dissous) réalisées au cours de plusieurs années, dans trois bassins versants (9,3, 2,8 et 1 km² de superficie), situés en Lorraine. Les transports solides et dissous y sont peu contrastés à l'échelle moyenne annuelle. Mais les différences qui apparaissent, à travers les données moyennes mensuelles et moyennes journalières, sont significatives de la physiographie des bassins et des voies de l'écoulement qui les caractérisent. Ce sont les séries chronologiques et les résultats de corrélations qui sont étudiés. On montre ainsi les effets de la superficie de ces bassins et du pas de temps sur la signification des résultats, ce qui permet d'appréhender les changements d'échelle d'espace et de temps.

Abstract

Abstract Factors controlling the variation of suspended and solute loads are investigated in three small catchments (9.3, 2.8 and 1 km²) in Lorraine (NE France) over a period of several years; measurements of precipitation, discharge, Td and Ts indicate that mean annual values of Td and Ts show little variation. Daily and monthly data, however, reveal significant variability, which can be correlated with catchment relief and baseflow routes. A wide range of statistical correlations are performed and analysed. Catchment size and times scales are shown to be of primary importance in the interpretation of the data.

Les facteurs de la variation spatio-temporelle des transports solides et dissous. Exemple de trois bassins versants en Lorraine

*Sediment and solute outputs. Factors of process variation in time and space.
Example from three catchments located in North-Eastern France*

Jeannine CORBONNOIS*

Résumé

Les facteurs de la variation des transports solides et dissous sont déterminés et analysés à partir de la comparaison de mesures (précipitations, débits, éléments solides et dissous) réalisées au cours de plusieurs années, dans trois bassins versants (9.3, 2.8 et 1 km² de superficie), situés en Lorraine. Les transports solides et dissous y sont peu contrastés à l'échelle moyenne annuelle. Mais les différences qui apparaissent, à travers les données moyennes mensuelles et moyennes journalières, sont significatives de la physiographie des bassins et des voies de l'écoulement qui les caractérisent. Ce sont les séries chronologiques et les résultats de corrélations qui sont étudiés. On montre ainsi les effets de la superficie de ces bassins et du pas de temps sur la signification des résultats, ce qui permet d'appréhender les changements d'échelle d'espace et de temps.

Mots clés : bassin versant, transport solide et dissous, écoulement, échelle spatio-temporelle, hydro-système.

Abstract

Factors controlling the variation of suspended and solute loads are investigated in three small catchments (9.3, 2.8 and 1 km²) in Lorraine (NE France) over a period of several years; measurements of precipitation, discharge, Td and Ts indicate that mean annual values of Td and Ts show little variation. Daily and monthly data, however, reveal significant variability, which can be correlated with catchment relief and baseflow routes. A wide range of statistical correlations are performed and analysed. Catchment size and times scales are shown to be of primary importance in the interpretation of the data.

Key words: catchment, solid and dissolved material, flow, timescales, hydrosystem.

INTRODUCTION

Les bassins versants correspondent à des systèmes hydrologiques animés par des flux (Lambert, 1995 ; Tricart, 1994). Les éléments solides et dissous (teneurs en mg/l) véhiculés par l'eau peuvent servir de traceurs pour appréhender le fonctionnement de ces systèmes. Ils sont influencés par les précipitations (Corbonnois, 1996), les débits (Dupraz, 1984 ; Meybeck, 1985) ainsi que par les conditions du transit de l'eau en surface, en sub-surface ou de manière souterraine (Bakalovicz, 1995 ; Kattan, 1989). Mais les liaisons entre le transfert de l'eau et celui des éléments solides et dissous sont complexes puisqu'elles dépendent également de l'état hydrique du sol et du couvert végétal (Wicherek, 1993 ; Quine et Walling, 1993 ; Lelong *et al.*, 1994), du niveau de remplissage des différents réservoirs (Probst *et al.*, 1995) et de la structure des pluies. Elles

*. Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz, Ile du Sauley, 57045 Metz cedex 01.

s'expriment par des courbes traduisant généralement les phénomènes d'hystérésis que de nombreux auteurs ont observés (Orange *et al.*, 1995 ; Kane, 1993 ; Muller et Forstner, 1968). Nous avons appréhendé ces liaisons en analysant les résultats de mesures réalisées dans trois bassins versants d'investigation lorrains, pour différents pas de temps. Une approche complémentaire a été effectuée à partir de l'étude de nuages de points obtenus en corrélant le débit et les teneurs ou concentration en mg/l des éléments solides et dissous. Ces nuages sont sub-circulaires. Leur surface et leur forme varient en fonction de l'étendue des bassins versants, ainsi que du type de données utilisées (moyennes annuelles, mensuelles ou journalières). C'est la signification des liaisons mises en évidence ainsi que les possibilités de transposition des résultats obtenus à d'autres espaces, qui sont les objectifs de cette étude.

LES DONNÉES UTILISÉES

Elles proviennent des mesures réalisées à l'exutoire de trois bassins versants lorrains.

Localisation et caractéristiques des bassins versants

Ces bassins sont situés dans le Nord-Est de la France, dans une région de plateaux (altitude 250 à 300 m) façonnée dans un substratum sédimentaire (calcaires, marnes et argiles) et soumise à un climat tempéré océanique à influence continentale (fig. 1). Ils comprennent un couvert végétal partagé entre les bois, les prés et les labours (Corbonnois, 1993). La figure 2 représente sur des coupes, les caractéristiques essentielles et les conditions de la circulation de l'eau dans les trois bassins.

Le bassin de la Damusse qui est le plus grand (9,3 km²) est situé à l'amorce de la dépression de la Woëvre, à 20 km au Nord-Est de Verdun. Il est inscrit dans les calcaires du Bathonien supérieur qui affleurent dans le fond largement évasé du bassin et essentiellement occupé par des labours. Ces calcaires sont surmontés par les argiles du Callovien, dans lesquelles une armature de minces niveaux marno-calcaires ("pierres d'eau") a permis la conservation d'un relief de collines. Leurs pentes modérément marquées (pente moyenne : 2,3 %) portent des prés et des bois. L'eau qui ruisselle sur les flancs des collines s'engouffre en partie dans des pertes karstiques situées au contact des calcaires (Gamez, 1995). Elle rejoint l'exutoire en empruntant des conduits souterrains. Ces calcaires comprennent par ailleurs une nappe qui alimente le ruisseau en période estivale.

Le bassin de Rembercourt dont la surface est de 2,8 km², est situé sur le revers de la cuesta du Barrois, à environ 30 km au Nord de Bar-le-Duc. Il est entièrement inscrit dans les calcaires du Portlandien inférieur. Les formes du relief y sont peu accusées (pente moyenne : 1,8 %). La couverture végétale est composée aux 2/3 par des cultures sur labours. Les calcaires, souvent très fissurés, contiennent une nappe à faible profondeur qui affleure en période hivernale au fond du vallon. L'eau rejoint alors le ruisseau, soit directement, soit par l'intermédiaire de sources. En période estivale, lorsque le niveau piézométrique s'abaisse, le bassin s'assèche.

Le bassin du Vezon (1 km²) correspond à un hémicycle dissymétrique, appuyé au front de l'avant-côte de Moselle à 20 km au Sud de Metz. Les versants pentus (pente moyenne : 13,3 %) sont façonnés dans les calcaires du Bajocien surmontant les marnes du Toarcien. La couverture végétale est composée à parts égales de bois, de labours,

dont 3 ha de vigne labourée, et de prés pâturés. Dans ce bassin, l'eau circule essentiellement en surface. Sur le versant exposé au Sud-Est, elle transite à travers un manteau de colluvions constitué de gélifracfs quaternaires, épais de 7 à 10 m qui contient une petite nappe assurant la pérennité des écoulements en période estivale.

Les mesures

A l'exutoire de ces bassins, ont été installés un pluviographe, un limnigraphe et un préleveur automatique d'eau (3 échantillons d'eau par jour constitués chacun de 4 prélèvements bihoraires, fournissant des données moyennes pour 8 heures). Les mesures,

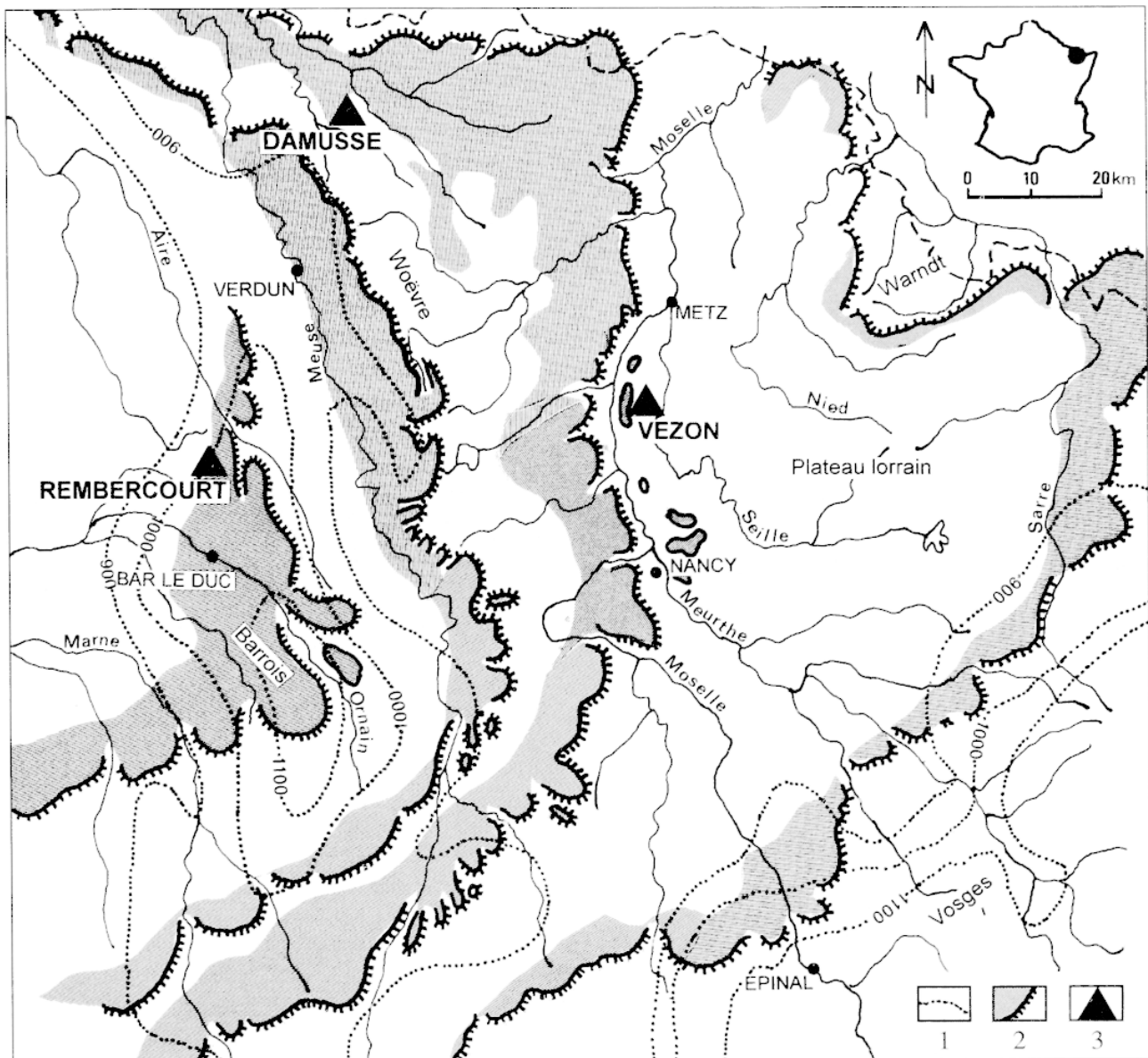


Fig. 1 – Carte de localisation des bassins versants de recherche. 1 : Isohyète ; 2 : Cuesta ; 3 : Bassin versant étudié.

Fig. 1 - Localization of the three catchments. 1: Isohyet; 2: Cuesta; 3: Study catchment.

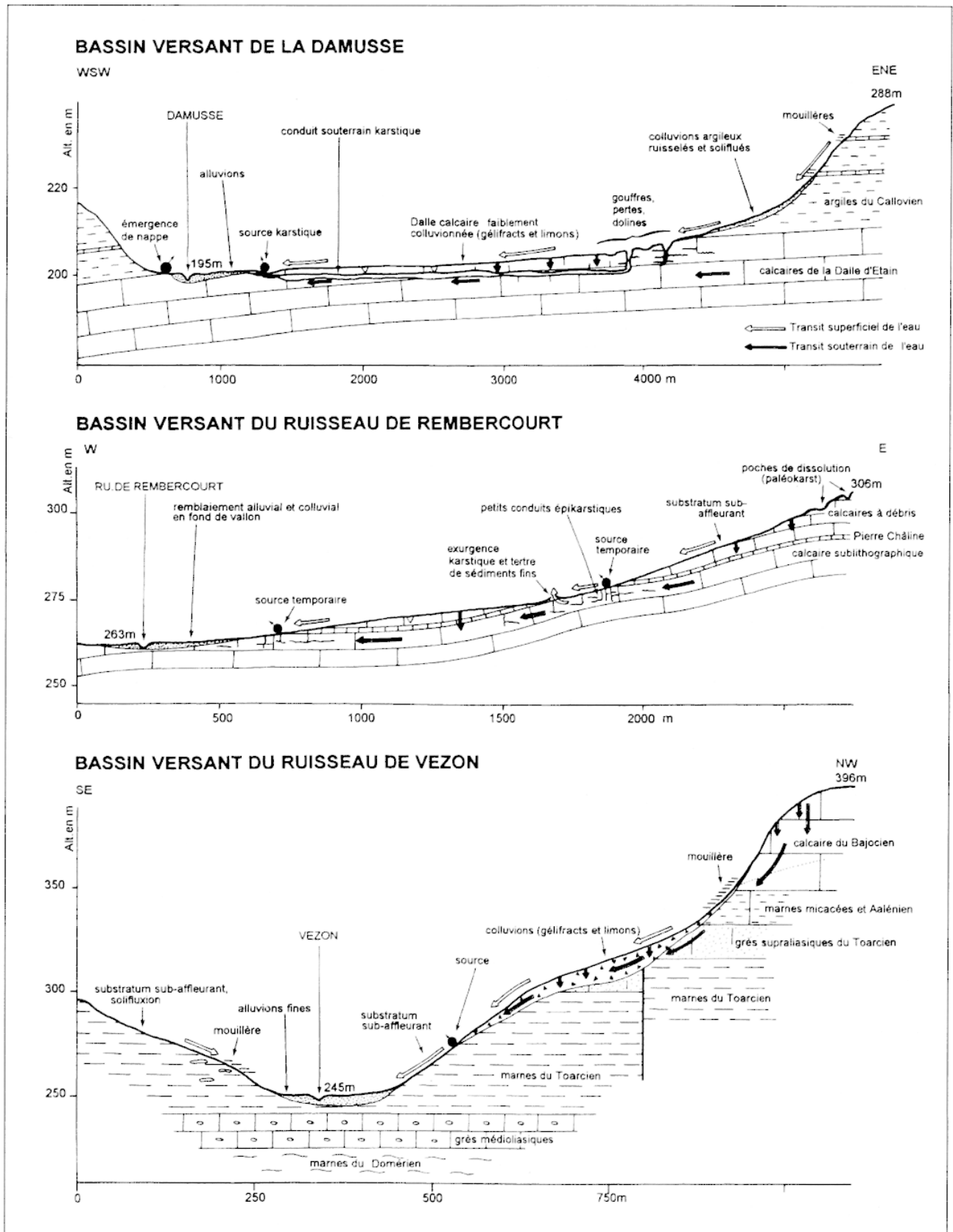


Fig. 2 – Conditions de la circulation de l'eau dans les trois bassins versants.

Fig. 2 – Flow conditions in the three catchments.

réalisées en continu sur plusieurs années concernent les débits, les précipitations, les concentrations (mg/l) en éléments solides (matières en suspension) et dissous. Elles fournissent une chronique de données permettant de calculer des valeurs moyennes interannuelles, mensuelles et journalières. Les matières en suspension sont dosées en laboratoire par filtration, séchage et pesée. Les éléments dissous pris en compte correspondent à la teneur en carbonate de calcium, obtenue à partir de la dureté de l'eau ($1^\circ F = 10 \text{ mg CaCO}_3$). Ces éléments exprimés en mg/l, sont utilisés comme traceur et non pour réaliser des bilans d'érosion (érosion mécanique et chimique). Ils traduisent assez fidèlement les variations enregistrées par le système hydrologique (Bariac *et al.*, 1995).

ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME HYDROLOGIQUE

Il n'existe pas de liens directs entre les précipitations, le débit et les concentrations en éléments solides et dissous (Muxart et Penven, 1994 ; Gafre et Levandier, 1994), mais l'analyse des données dans leur succession chronologique permet de détecter, pour chaque bassin, les caractéristiques essentielles du fonctionnement hydrologique.

Variabilité des paramètres mesurés

Elle est mise en évidence sur la figure 3 qui représente une corrélation entre les données annuelles et le coefficient de variation mensuelle (tab. 1). On obtient ainsi quatre groupes de points correspondant chacun à un des paramètres pris en compte.

Les précipitations (P) varient de 600 à 1200 mm selon les bassins (fig. 1). Celui de Rembercourt, le plus occidental et le plus exposé aux flux océaniques d'Ouest, reçoit le plus de pluie ; celui de Vezon, en position d'abri sur le front de la cuesta de Moselle est le moins arrosé. Ces précipitations sont plus ou moins abondantes au cours de l'année ce qui est une des caractéristiques du climat lorrain (coefficient de variation des précipitations, CvP, compris entre 35 et 74%).

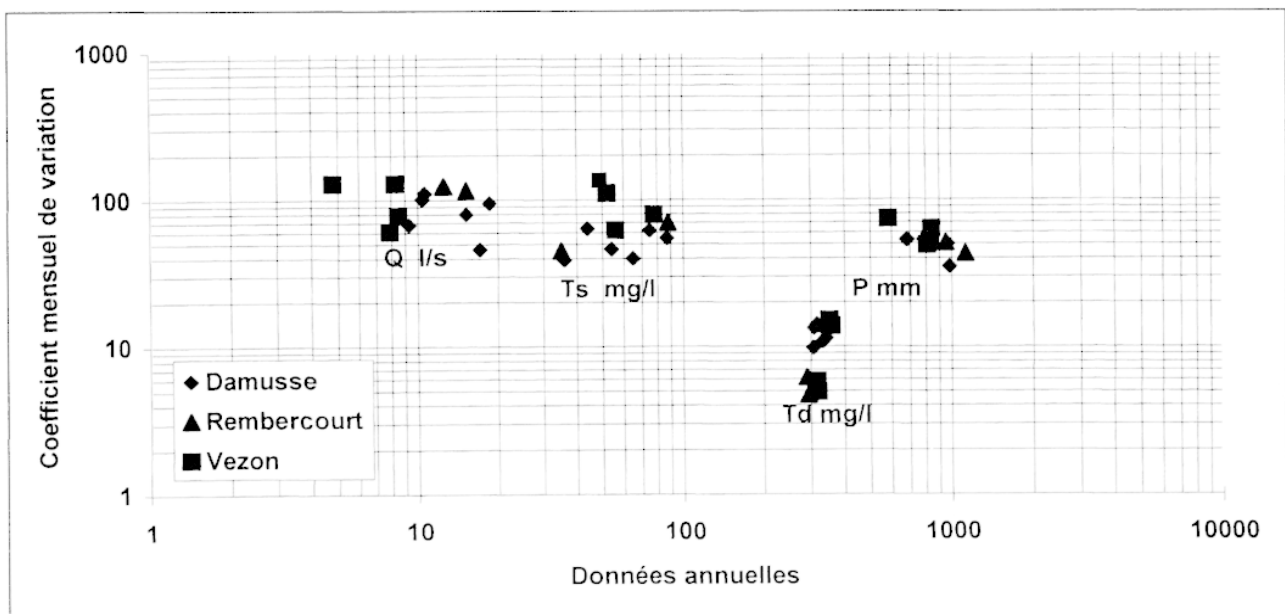


Fig. 3 – Variabilité des paramètres mesurés. Fig. 3 – Measured parameter variability.

Année	Bassin-versant	Pmm	Cv P	Q l/s/km ²	Cv Q	Ts mg/l	Cv Ts	Td mg/l	Cv Td	Charges transportées en T/km ² /an	
										Solides	Dissous
1985	Damusse	687	53	9,3	68	54	46	333	11	28,6	75,8
1986	Damusse	984	38	15,1	80	75	62	309	13	66,9 (9 mois)	92,9 (9 mois)
	Vezone	815	49	8,5	78	78	86	317	5,8	44,3 (11 mois)	78,5
1987	Damusse			17	46	87	55	307	10	64,7	122
	Vezone	843	63	7,9	61	56	62	319	4,9	46,1 (10 mois)	72,1 (11 mois)
1988	Damusse	968	50	18,6	95	65	40	316	14	70,7	144
	Vezone	832	52	8,3	129	52	110	357	14	36,7	79,2
	Rembercourt	1292	50	18,1	84			292	7,4		
1989	Damusse	683	52	10,4	101	44	64	333	13	31,3	82,3
	Vezone	584	74	4,8	129	49	135	352	15	24 (11 mois)	38 (11 mois)
	Rembercourt	952	51	12,4	124	88	70	285	6,2	43	107
1990	Damusse	791	53	10,6	111	36	39	342	11	31	80
	Rembercourt	1126	43	15,1	116	35	45	294	5	21,7	104

Cv : coefficient de variation mensuel = écart type des données moyennes mensuelles/moyenne annuelle

Tableau 1 – Données annuelles calculées dans les trois bassins. *Table 1 – Annual data calculated for the three catchments.*

Les débits (Q) varient entre 6 et 18 l/s/km². La valeur la plus élevée est mesurée dans le bassin de la Damusse du fait du soutien estival assuré par la nappe des calcaires du Bathonien. En règle générale, les coefficients de variation des débits (CvQ) sont deux fois plus élevés que ceux des précipitations du fait du régime pluvio-évaporal des ruisseaux. Les concentrations en éléments solides (Ts) varient entre 35 et 88 mg/l. Les plus fortes variations concernent le bassin de Vezone qui est le plus pentu.

Les concentrations en éléments dissous (Td) sont relativement constantes d'une année à l'autre et varient moins que les autres paramètres. Le coefficient de variation Cv Td est jusqu'à dix fois inférieur. Il est compris entre 5 et 15% comme cela est constaté également dans d'autres régions (Dupraz 1984, Immerson et Vis, 1984 ; Frécaut, 1971 ; Kattan, 1989).

Finalement, dans chaque groupe, les points sont modérément dispersés. Ceci reflète pour les pas de temps annuels et intra-annuels, la faible variabilité des paramètres analysés, traduisant ainsi l'appartenance des bassins versants au même grand ensemble régional. Celui-ci est identifié par sa relative homogénéité conférée par le climat, par la structure géologique qui présente pour l'essentiel des alternances de strates calcaires et marneuses et par le type d'occupation du sol. Ainsi, pour appréhender le fonctionnement du système hydrologique, il faut analyser les données à des pas de temps plus fins, et dans leur succession chronologique.

Le fonctionnement du système hydrologique

L'étude chronologique des données est fréquemment effectuée (Penven et Muxart, 1993 et 1995 ; Olivry, 1988 ; Guigo, 1975). Elle révèle cependant des cas de figures correspondant à la réponse, forcément variable, de chaque système hydrologique. Celle-ci est déterminée en grande partie par les caractéristiques des bassins versants et les circuits préférentiels de l'eau qui commandent les concentrations en éléments solides et dissous mesurées aux exutoires et leurs variations mois par mois ou jour par jour.

Les données mensuelles

La comparaison des variations mois par mois des 4 paramètres (tab. 2) traduit les conditions du transit de l'eau en surface, sub-surface ou en souterrain, où sont prélevés les éléments solides et se constituent les teneurs en éléments dissous. On met ainsi en évidence les modes dominants du fonctionnement hydrologique des bassins.

B.V	Année	Paramètre	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Damusse	1985	Pmm	40,3	27,5	60,7	70,9	63,7	134	39	48,3	54,1	14,6	80,4	53,9
		Q l/s/km2	19,8	16,4	13	17,3	7,5	13,4	4,4	4	3,2	2,6	3,2	6,4
		Ts mg/l	50	58	64	83	54	109	28	40	28	29	35	70
		Td mg/l	305	276	305	296	329	310	336	351	367	376	396	348
	1986	Pmm	135	3,6*	123,5	84,8	81,8	79,3	36,9	63,5	72,6	122	64,3	118
		Q l/s/km2	36,9	7,6*	25,8	28,2	10,3	5,6	2,9	2,9	3,8	12	14,2	30,6
		Ts mg/l	162	12*	133	110	66	120	43	19	69	51	55	59
		Td mg/l	228	228*	330	270	270	313	328	363	359	325	293	284
	1987	Pmm	37,7	60,1	93,7	27,7	86,6	15,3*	64,4*	23,8*	*	129	81,7	38,7
		Q l/s/km2	22,3	19,8	27,7	8,1	4,7	19	27,1	13	5,6	20,5	21,6	14,5
		Ts mg/l	39	133	180	57	71	164	87	61	58	98	46	49
		Td mg/l	290	267	267	325	355	298	288	337	351	297	290	325
1988	Pmm	145	121	137,3	25,9	69,8	50,7	107	30,8	76	99	54,8	51,5	
	Q l/s/km2	43,9	45,7	47,4	10,7	6,1	4,3	6,9	3,6	3,6	12,5	9,8	29,1	
	Ts mg/l	80	74	119	34	57	49	94	37	34	87	55	64	
	Td mg/l	251	267	241	335	347	350	314	358	370	329	348	279	
1989	Pmm	30	41,6	77,2	138,7	35,7	53,3	28	63,6	65,6	45,8	47,8	55,8	
	Q l/s/km2	11	15,2	21,3	34,4	6,5	4	2,9	2,7	2,2	1,7	1,8	21,5	
	Ts mg/l	61	53	65	80	46	45	27	11	11	13	21	95	
	Td mg/l	322	321	285	259	328	332	340	368	390	371	401	281	
1990	Pmm	95,9	141,4	19	57,1	25,5	68,1	44,6	83	55,4	42	53,1	106	
	Q l/s/km2	20,7	38	12	5,2	3	2,6	2,3	2,1	1,7	4,2	8,9	26,5	
	Ts mg/l	36	58	27	22	40	31	29	20	23	37	47	64	
	Td mg/l	306	268	335	349	382	366	368	367	380	381	308	295	
Rembercourt	1989	Pmm	46,3	91,7	96,2	163,7	23	69,6	36,4	62,1	79,9	82	63	139
		Q l/s/km2	8,9	13,8	22,2	45,5	4,4	0,5	0,2	0	0	0	17,2	36,5
		Ts mg/l	183	132	91	120	45	47	27				30	37
		Td mg/l	308	293	291	288	272	278	250				305	281
1990	Pmm	99,2	170,2	24,2	73,9	64,7	117	56,7	99,7	65,5	113	97,3	145	
	Q l/s/km2	20,6	44,6	9,2	2,42	0,93	0,84	1,96	0,06	0,55	22,4	30,4	46,2	
	Ts mg/l	46	66	26	23	36	23	32	29	14	28	30	60	
	Td mg/l	288	276	282	278	282	304	291	296	294	313	319	303	
Vezon	1986	Pmm	95,4	15	115	70	77,9	74,7	26,7	18,7	89,8	103	50,5	76,6
		Q l/s/km2	20,8	4,1	17,1	15,6	6,5	5,8	1	0,5	2,4	6,6	8,5	12,8
		Ts mg/l	235	*	165	44	108	96	27	16	47	40	48	108
		Td mg/l	302	321	298	302	297	293	311	331	341	344	332	328
	1987	Pmm	33,3	89,4	69,3	9,2	66,6	157	107	49,3	47,1	134	55	27
		Q l/s/km2	13,2	14,4	14,6	5,3	2,2	10,8	4,4	3,2	0,8	10,2	6,1	9,3
		Ts mg/l	*	*	88	21	35	120	79	33	18	91	35	45
		Td mg/l	*	305	317	316	321	303	316	308	302	328	348	345
	1988	Pmm	119	97,6	126,3	14,5	47,5	46	72,1	29	55,1	100	41,9	82,2
		Q l/s/km2	19,5	27,5	27,3	7,4	2,1	0,9	0,3	0,2	0,2	0,8	1	12,6
		Ts mg/l	64	75	106	24	41	20	28	17	14	17	12	210
		Td mg/l	331	316	312	314	316	334	356	382	408	451	432	338
1989	Pmm	*	47,5	63,7	132,8	3,2	55,3	44	59	10,7	13,1	47,6	107	
	Q l/s/km2	*	7,9	11,3	18,9	3,4	1,4	0,3	0,15	0,3	0,1	0,3	9,1	
	Ts mg/l	*	56	36	219	23	24	15	16	10	6	7	128	
	Td mg/l	*	354	330	312	289	293	331	383	384	395	469	335	

* Série incomplète ou non observée.

Tableau 2 – Données mensuelles calculées dans les trois bassins.

Table 2 – Calculated monthly data for the three catchments.

Dans le bassin de Vezon les fluctuations sont les plus fortes (fig. 4). Les éléments dissous (Td) varient entre les valeurs minimales mesurées à la fin de l'hiver (mars 1988 : 312 mg/l ; mai 1989 : 289 mg/l) et les valeurs maximales mesurées en automne (octobre 1988 : 451 mg/l ; novembre 1989 : 469 mg/l). Ces pics sont en retard par rapport à ceux des débits qui les précèdent d'un mois ; le cheminement de l'eau y est relativement lent, en particulier à travers le manteau de gélifracts qui contient une nappe de versant. Les éléments solides (Ts) sont les plus abondants au cours de l'hiver. Les valeurs maximales sont atteintes au début de l'hiver au maximum des pluies ou à la fin de l'hiver au maximum du débit. Ces caractéristiques sont expliquées par le caractère plutôt imperméable du substratum, au dessus duquel les colluvions servent de réservoir relais.

Dans le bassin de Rembercourt, les conditions hydrologiques sont réglées par les fluctuations de la nappe du calcaire portlandien, drainée par le ruisseau (Corbonnois 1994). De ce fait, les concentrations en éléments dissous sont toujours comprises entre 270 et 320 mg/l. Cette nappe, abaissée en été, détermine l'assèchement du bassin. Sub-affleurante en hiver, elle occasionne des débits élevés lorsque les réservoirs sont saturés d'eau. S'y ajoutent alors les eaux du ruissellement direct qui entraînent les éléments solides prélevés sur les parcelles labourées à nu. Les quantités peuvent être élevées. Elles ont atteint 183 mg/l en janvier 1988.

Dans le bassin de la Damusse le ruisseau recoupe le niveau piézométrique de la nappe du Bathonien supérieur (contenue dans les calcaires de la Dalle d'Étain) qui soutient le débit à l'exutoire en été. En hiver s'y ajoutent les apports de surface et de sub-surface, qui ont transité par le réseau karstique. Les concentrations en éléments dissous les plus élevées (septembre 1989 : 390 mg/l) et les plus basses (avril 1989 :

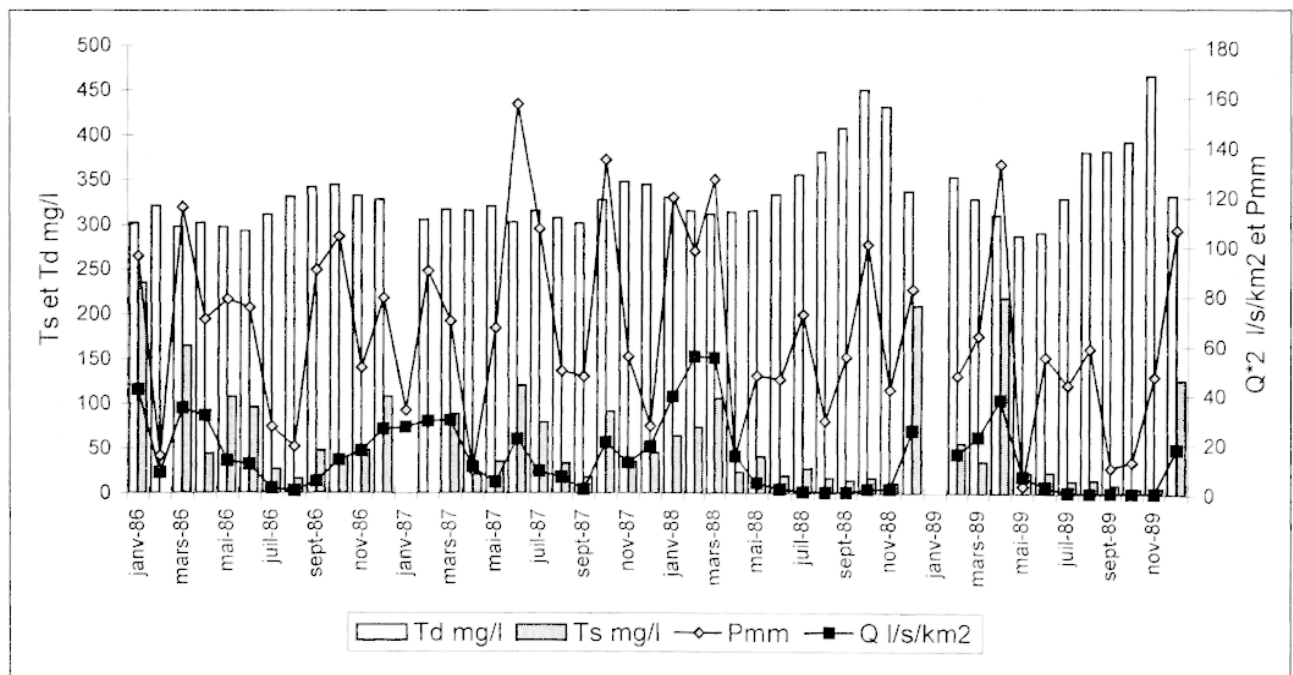


Fig. 4 - Variations mensuelles des paramètres mesurés. Exemple du bassin du Vezon.

Fig. 4 - Monthly variations of the four measured parameters in the Vezon catchment.

259 mg/l) sont atteintes au minimum (1,7 l/s/km²) et au maximum (34,4 l/s/km²) du débit mais avec des contrastes moins accusés que dans le bassin de Vezon. Les éléments solides sont prélevés en surface ou dans les conduits souterrains, ce qui garantit un meilleur étalement des apports au cours de l'année (minimum 11 mg/l en septembre 1989, maximum 119 mg/l en mars 1988). Ces caractéristiques attestent finalement d'un transit plutôt rapide de l'eau dans le bassin, transit accéléré à travers les calcaires par la présence d'un karst.

Le régime des débits et des teneurs, sous l'influence des précipitations, est par conséquent déterminé par les circuits de l'eau dans les bassins. On en déduit les modes préférentiels du fonctionnement hydrologique. Le ruissellement, dominant dans le bassin de Vezon où les éléments solides et dissous sont les plus variables, apporte environ 65 % du débit à l'exutoire. Le drainage de nappe prédomine dans celui de Rembercourt où la variation des éléments dissous au cours de l'année est faible, le ruissellement n'apporte qu'un tiers du débit. Le fonctionnement est mixte dans le bassin de la Damusse, le débit est composé à parts égales d'eau de ruissellement et d'eau de nappe. Ces modes apparaissent dans les valeurs et les variations des concentrations en éléments solides et dissous, déterminées pour l'essentiel par le dispositif géologique et hydrogéologique de chaque bassin.

Les données journalières

Elles sont calculées à partir des données octohoraires. A cette échelle, peuvent être suivis les processus hydrologiques dont l'activité est commandée pour l'essentiel par l'abondance, la durée et la structure des épisodes pluvieux. Dans chaque bassin, les voies de l'écoulement sensiblement différentes introduisent des variantes dans le déroulement des crues et l'instauration des phases de tarissement.

Les épisodes pluvieux, très hétérogènes en Lorraine, comprennent généralement une série d'averses de hauteur, d'intensité et de durée variable. Il en résulte des crues caractérisées par d'amples fluctuations des débits et des concentrations. Selon les bassins et la structure des averses, les pics de crues sont précédés, accompagnés ou suivis par le pic positif des concentrations en éléments solides et négatif de celles des éléments dissous (fig. 5 et 6). Le couvert végétal participe à ces variations sans que son incidence ait pu être clairement établie à travers les résultats des mesures. Il n'existe pas de liaison unique entre les paramètres dont les variations sont conditionnées également par le temps écoulé entre les averses. Lorsqu'elles se succèdent rapidement et que tous les réservoirs sont saturés en eau (sol et réservoirs souterrains), on observe une réaction de plus en plus rapide du débit et des concentrations en éléments solides et dissous à tout nouvel apport des précipitations (fig. 6).

Par ailleurs, à débit égal, les concentrations sont différentes à la montée de crue, à la pointe de crue et à la décrue (Corbonnois 1988). Au cours de la montée de crue, l'arrivée précoce des éléments solides est liée aux précipitations qui entraînent la modification rapide du débit. Ceci permet la chasse des éléments en transit dans les chenaux avant l'arrivée plus tardive des matériaux provenant des versants. Les éléments dissous sont dilués plus ou moins vite selon la proportion d'eau souterraine qui participe au débit. Dans le bassin de la Damusse (fig. 5) le pic négatif des éléments dissous survient parfois après la pointe de crue. Au cours de la décrue, les éléments solides diminuent plus rapidement que le débit. Ceci permet un dépôt relatif des sédiments qui

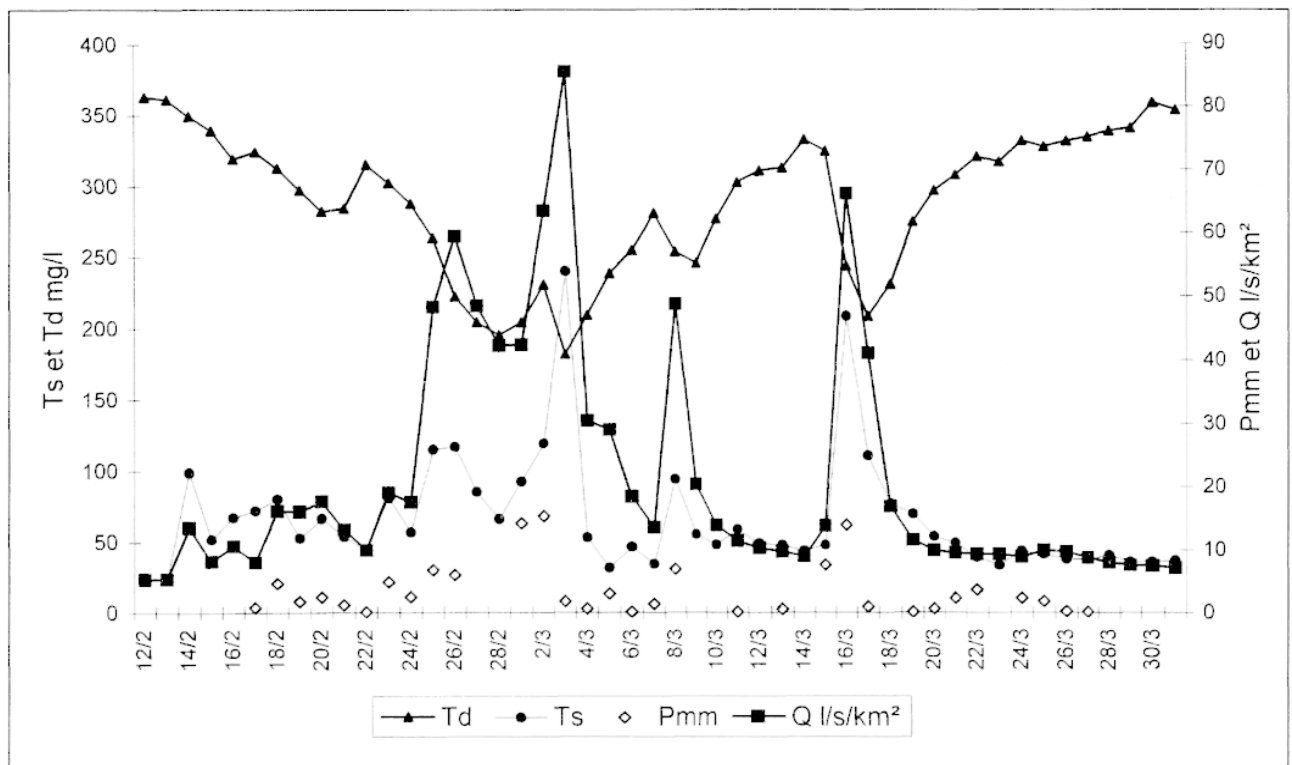


Fig. 5 – Exemple de variations journalières des différents paramètres dans le bassin de la Damusse (période pluvieuse du 12 février au 31 mars 1989).

Fig. 5 – Example of daily variations of the four parameters in the Damusse catchment (rainy period from 12 February to 31 March 1989).

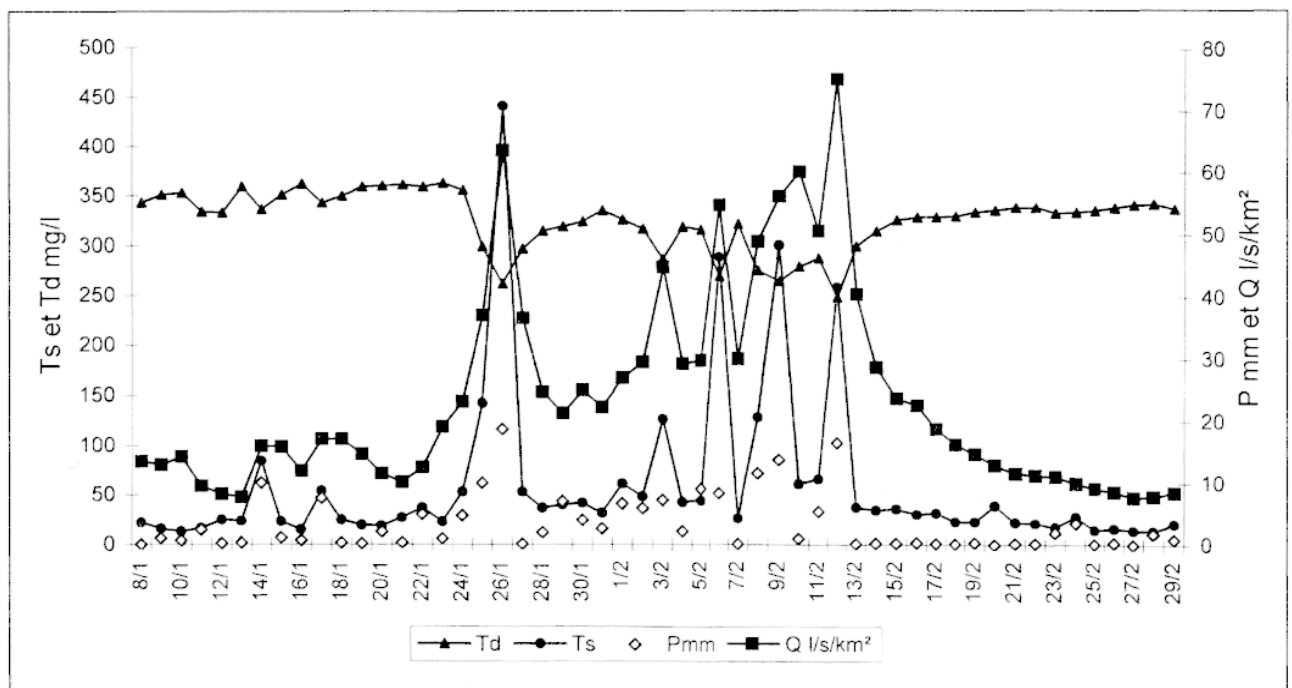


Fig. 6 – Exemple de variations journalières des paramètres mesurés dans le bassin de Vezon (période pluvieuse du 8 janvier au 29 février 1988).

Fig. 6 – Example of daily variations of the four parameters in the Vezon catchment (rainy period from 8 January to 29 February 1988).

restent en transit sur les versants ou dans les chenaux. Les éléments dissous augmentent à nouveau plus ou moins rapidement selon les bassins en fonction de la vitesse de ressuyage des matériaux. Ainsi, la variation des quatre paramètres montre que c'est une eau mélangée qui arrive aux exutoires pendant les crues. Elle est composée d'eau de ruissellement et d'eau souterraine dans des proportions variables selon la force des crues, la répétition ou non des pointes de crue au cours d'épisodes pluvieux composés d'averses successives (fig. 6) et les phases hydrologiques (montée, pointe ou descente de crue).

Au cours des périodes sans précipitations ou comprenant des précipitations inefficaces en été (fig. 7), les phases de tarissement comprennent une diminution plus ou moins rapide des débits, accompagnée par une évacuation quasi-négligeable des éléments solides ; en revanche, les éléments dissous augmentent pendant que se vidangent les réservoirs. Le système se stabilise lorsque s'instaure le régime de nappe. Les éléments solides et dissous permettent alors de détecter l'état hydrique des bassins. Le tarissement du ruissellement correspond à des concentrations en éléments dissous relativement basses, et à des concentrations en éléments solides qui continuent à réagir aux pluies intermittentes. La vidange des réservoirs de sub-surface correspond à l'accroissement des concentrations en éléments dissous et à un amortissement des variations en éléments solides. L'instauration du régime de nappe est identifié par la stabilisation du débit et des concentrations en éléments dissous à des valeurs élevées et l'absence de réaction des éléments solides aux pluies absorbées par les sols. Cette absorption peut provoquer occasionnellement de petites chasses d'éléments dissous lorsque la pluie n'est pas totalement prélevée par l'évapotranspiration.

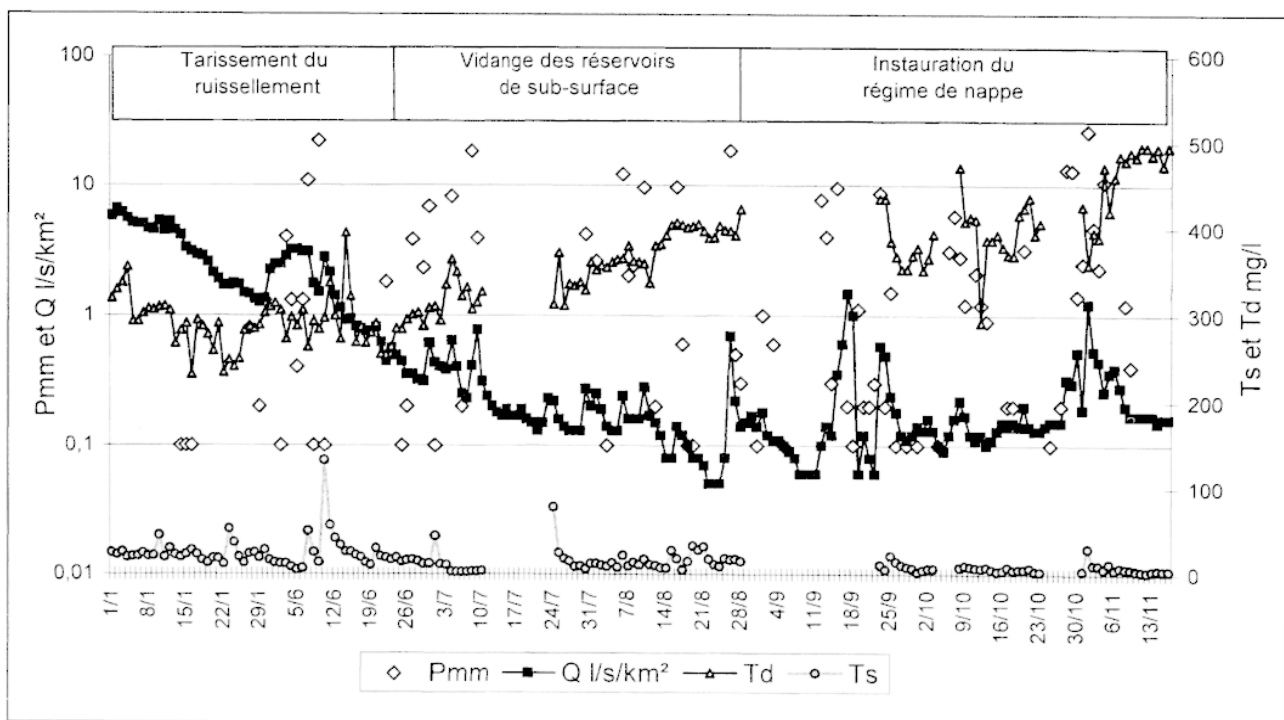


Fig. 7 – Exemple de variations journalières des paramètres mesurés dans le bassin de Vezon (période estivale du 1er mai au 15 novembre 1989).

Fig. 7 – Example of daily variations of the four parameters in the Vezon catchment during summer (from 1 May to 15 November 1989).

Le système hydrologique fonctionne donc selon plusieurs modes, articulés dans le temps par les épisodes pluvieux et leur répétition et dans l'espace par les caractéristiques des bassins versants. La variation des éléments solides et dissous aux exutoires des bassins traduit ce fonctionnement.

ESSAI D'EXPRESSION SYNTHÉTIQUE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME HYDROLOGIQUE

Il est possible d'appréhender globalement les modes de fonctionnement hydrologique à partir de corrélations entre le débit et les concentrations en éléments solides et dissous (fig. 8, exemple du bassin de Vezon). En coordonnées logarithmiques, les données

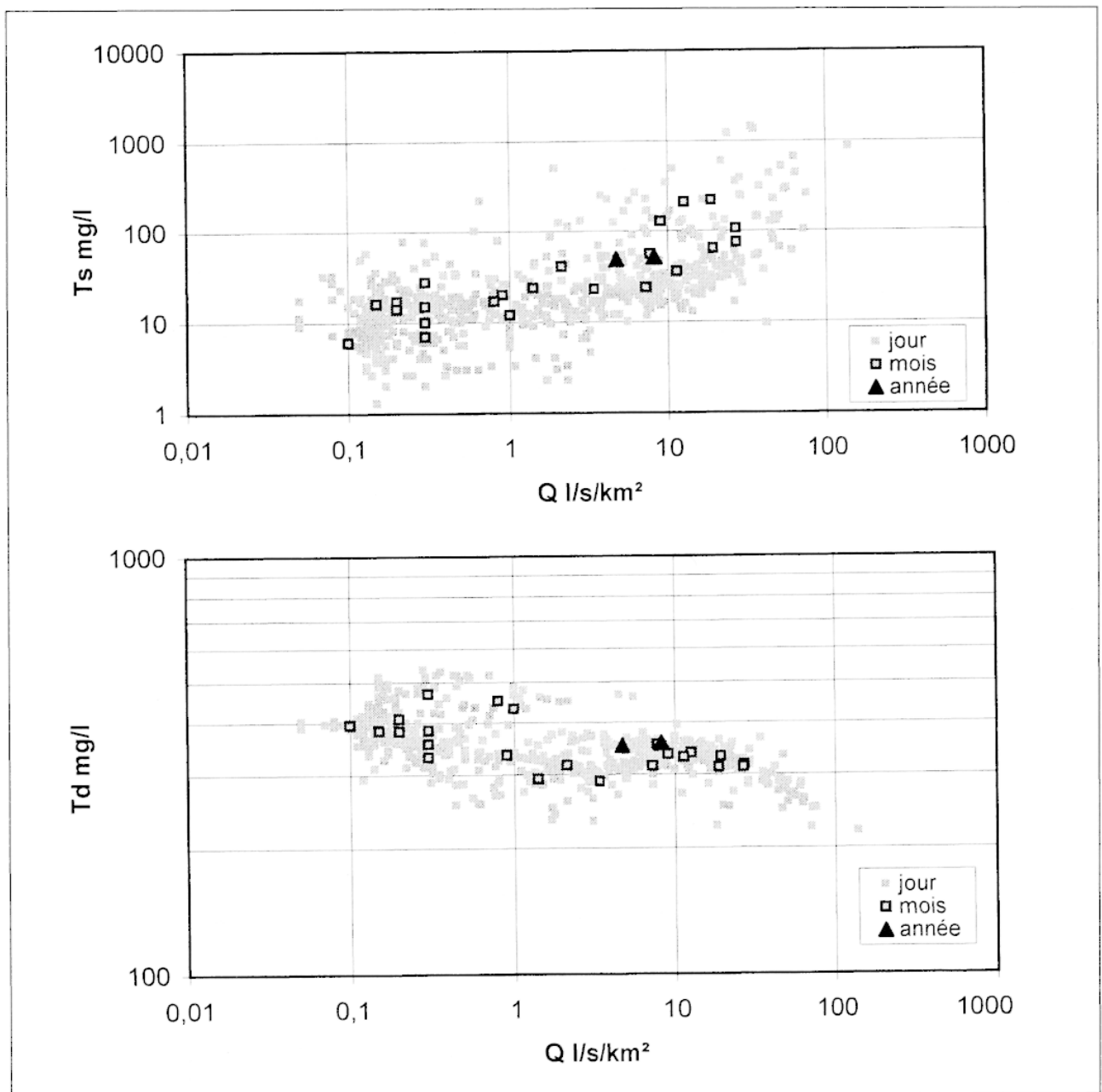


Fig. 8 - Corrélation entre le débit et les concentrations. Exemple du bassin du Vezon.

Fig. 8 - Correlation between discharge and concentrations in the Vezon catchment.

moyennes journalières, mensuelles et annuelles forment des nuages de points. Ces nuages ont été réalisés à partir des données de deux années de mesure, ce qui correspond à la période d'observation dans le bassin de Rembercourt. Ce sont les années 1988 et 1989 ou 1989 et 1990 qui ont été traitées. Elles présentent des contrastes importants (fig. 4). L'utilisation de données supplémentaires ne modifie pas l'allure des nuages comme cela a été préalablement vérifié pour les données relatives aux bassins de Vezon et de la Damusse. A partir des nuages de points, dont l'allure se modifie d'un bassin à l'autre, on lit, en plus des contrastes et des modes dominants du fonctionnement hydrologique mis en évidence précédemment, l'influence de la superficie des bassins versants (fig. 9). Ils traduisent la complexité des liaisons entre Q, Ts et Td.

La dispersion des points agit sur la surface des nuages déterminée par les écarts de débits et de concentrations mesurées. Elle varie selon deux échelles. Echelle du temps : les données moyennes journalières, mensuelles et annuelles forment des nuages de plus en plus ramassés et emboîtés les uns dans les autres. Leur surface se réduit dans les mêmes proportions ce qui témoigne de l'appartenance des trois bassins à un milieu aux caractéristiques climatiques et géomorphologiques proches.

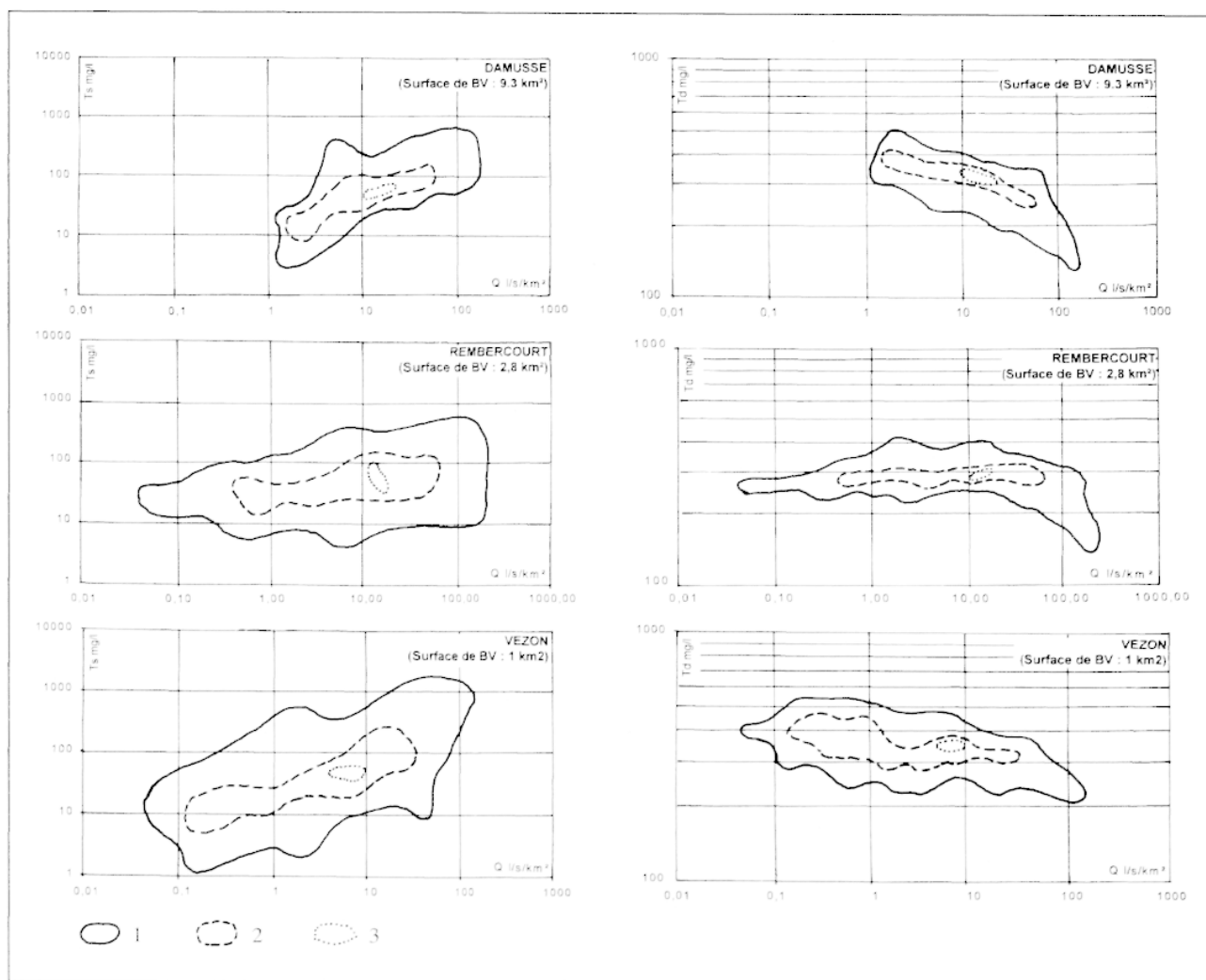


Fig. 9 - Contours des nuages de points Q/Ts et Q/Td. 1 : jour ; 2 : mois ; 3 : année.

Fig. 9 - Limits of scattergrams for Q/Ts and Q/Td. 1 : day; 2: month; 3: year.

Echelle de l'espace : la dispersion des points tend à se réduire lorsque la surface des bassins augmente. Ainsi les données du plus grand des bassins (Damusse) constituent, pour toutes les échelles de temps, des nuages de surface inférieure à celle des autres bassins et aux contours plus réguliers. Les situations hydrologiques y apparaissent moins contrastées qu'ailleurs, du fait d'un "effet relais", induit par les différents milieux qui composent le bassin, dont les comportements hydrologiques se compensent (collines argileuses sur lesquelles l'eau peut ruisseler, fond évasé dans les calcaires perméables dans lesquels l'eau peut s'infiltrer). Il en résulte un plus grand lissage de la réponse du système hydrologique. Dans les bassins plus petits, l'hétérogénéité interne apparaît atténuée par une réponse plus rapide, engendrant des contrastes plus grands.

La forme des nuages est également significative. Les nuages correspondant aux concentrations en éléments solides sont toujours les plus épais. Très variables pour un même débit, celles-ci sont également influencées par les précipitations (abondance et structure des épisodes pluvieux), l'état hydrique des sols et les phases hydrologiques (montée ou descente de crue...) comme cela a été montré précédemment. Les nuages qui expriment la relation entre le débit et les concentrations en éléments dissous sont plus minces. Pour un même débit leur variation (100 fois plus faible que celle des concentrations en éléments solides) est moindre. Ainsi, il arrive à l'exutoire des bassins, et pour la plupart des situations hydrologiques, une importante proportion d'eau ayant transité par les matériaux. L'inclinaison du grand axe des nuages par rapport à l'abscisse des graphiques (représentant les débits) montre le degré d'association des débits et des concentrations. Elle est la plus forte pour le bassin de Rembercourt où les concentrations sont les moins variables, le fonctionnement hydrologique y étant commandé par les conditions hydrogéologiques. Cette inclinaison est par ailleurs légèrement

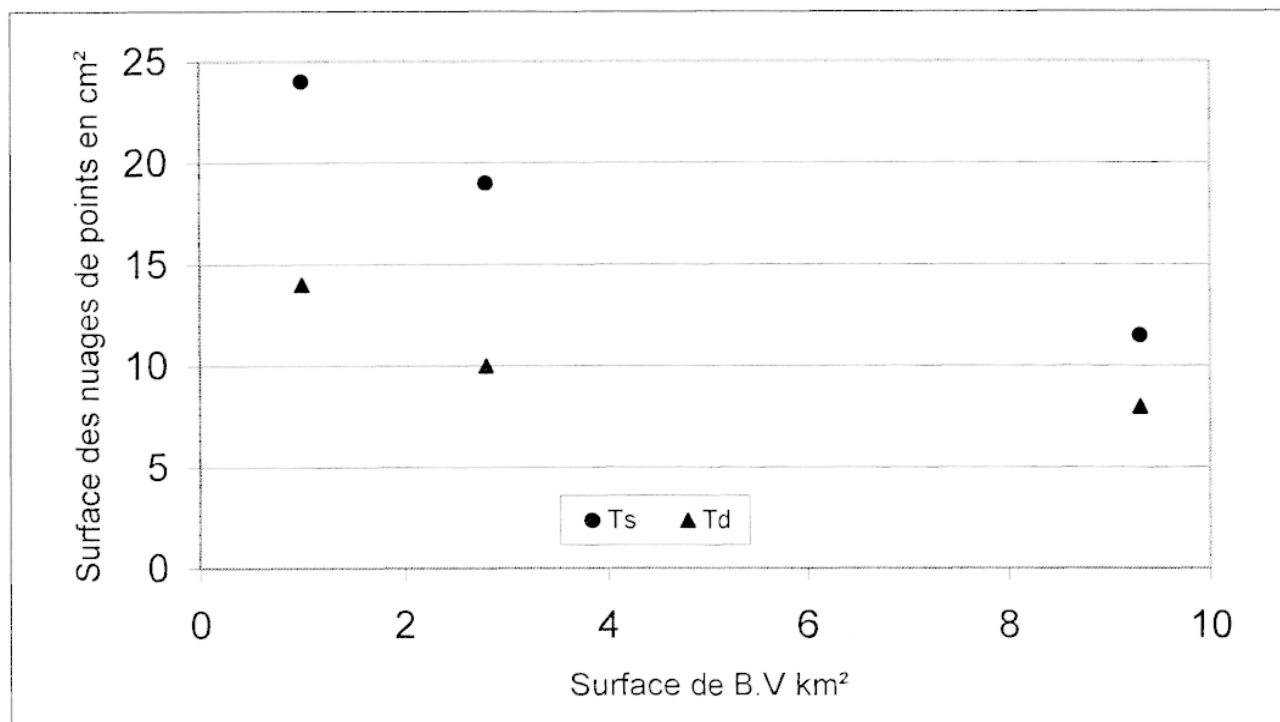


Fig. 10 – Liaison entre la superficie des bassins versants et la surface des nuages de points Q/Ts et Q/Td .

Fig. 10 – Relation between catchment area and surface area of scattergrams for Q/Ts and Q/Td .

plus élevée dans les graphiques exprimant la liaison Q/Ts que dans les graphiques Q/Td ; les concentrations en éléments solides réagissent plus rapidement à la modification des volumes d'eau en transit dans les bassins que les concentrations en éléments dissous qui ne s'abaissent de façon significative que pour les débits les plus élevés.

L'allure des nuages reflète donc le rythme rapide (qui agit sur l'épaisseur des nuages) ou lent (qui agit sur l'allongement et l'inclinaison des nuages) du transfert de l'eau. Elle donne une image synthétique de la variation des concentrations en éléments solides et dissous, qui traduit le comportement des bassins et les voies préférentielles de l'écoulement. Leur analyse permet une meilleure comparaison des bassins. Elle peut d'ailleurs être poursuivie par l'étude des liaisons existant entre la superficie des bassins versants et la surface des nuages de points Q/Ts et Q/Td correspondante (données moyennes journalières), calculée à partir du produit de la plus grande longueur et de la largeur maximale perpendiculaire à cette longueur. Les deux éléments variant en sens inverse (fig. 10), on est alors tenté de proposer l'utilisation de ce type de liaison pour transposer les résultats obtenus à des bassins versants de surface différente, mais appartenant à un milieu aux conditions climatiques et structurales similaires. Mais sa limite de validité reste à définir (Meybeck *et al.*, 1998).

CONCLUSION

Les résultats obtenus permettent finalement de hiérarchiser les facteurs qui commandent la variation des teneurs en éléments solides et dissous et de dresser un bilan. Les bassins versants jouent un rôle important qui influe de deux manières. Leur surface détermine le contexte général des variations des concentrations en éléments solides et dissous et agit sur la dispersion des résultats des mesures. Leurs caractéristiques physiographiques agissent sur les contrastes mesurés. La pente, associée au type morphologique des bassins (appuyé sur un talus, localisé dans un secteur déprimé ou sur un plateau) participe au transfert rapide ou lent de l'eau, mais son impact est combiné à celui des autres facteurs. Le dispositif structural (nature des couches géologiques pour l'essentiel) et géomorphologique (épaisseur des colluvions, karst) détermine les voies empruntées par l'écoulement. La couverture végétale joue un rôle dont l'impact apparaît tenu dans le cas présent. Les précipitations et les débits qui leur sont associés, déterminent selon leur abondance, la structure des épisodes pluvieux et leur succession, des concentrations très variables en éléments dissous et solides aux exutoires des bassins.

La combinaison de ces facteurs, qui se réfèrent à l'espace et au temps, fixe les caractéristiques et les rythmes des variations perçues à différents pas de temps. Années : les résultats obtenus sont le reflet des conditions régionales ; mois : on en déduit les modes dominants du transfert de l'eau dans les bassins versants ; jours : on perçoit les contrastes des conditions hydro-géomorphologiques entre les périodes de calme, correspondant à des phases de "relaxation des milieux" lorsque seuls les éléments dissous sont transportés, et les phases "d'activité" en période de crue lorsque les éléments solides sont activement évacués.

En terme de dynamique des milieux, les résultats obtenus traduisent les rythmes de l'érosion mais sont insuffisants pour une évaluation quantitative. Les charges transportées proposées dans le tableau 1, qui ne tiennent compte ni des charges de fond ni de la totalité des éléments dissous transportées par les ruisseaux, sous-estiment les volumes de matériaux évacués. L'étude des éléments solides et dissous apparaît ainsi

comme un outil pour appréhender les composantes de l'hydrosystème. Elle permet de déterminer les conditions du transfert de l'eau et des matériaux ainsi que les modalités de l'action de l'eau comme agent de façonnement des milieux.

Références

- Bakalowicz M. (1995)** - La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement. *Hydrogéologie*, 4, 3-21.
- Bariac T. et al. (1995)** - Décomposition géochimiques des hydrogrammes de crue (bassins versants de la piste Saint - Elie, Guyane). In : *Grands bassins fluviaux périalantiques*. Actes du coll. PEGI - INSU - CNRS - ORSTOM, Paris 22-24 novembre 1993, 485-505.
- Bernard Allée Ph. (1991)** - Débits solides et relais spatio-temporels dans un bassin-versant déboisé. Mont Lozère. *Réseau Erosion*, Bull 11, 27-28.
- Corbonnois J. (1988)** - Crues et transports solides dans le ruisseau de Vezon (Lorraine). *Mosella*, t XVIII, 161-189.
- Corbonnois J. (1993)** - Régime des transports solides et dissous : comparaison des résultats de mesures réalisées dans 3 bassins versants représentatifs lorrains. In. *L'Eau, la Terre et les Hommes. Hommage à R. Frécaut*, Nancy, 281-290.
- Corbonnois J. (1994)** - Influence des voies de l'écoulement de l'eau sur le régime des transports solides et dissous dans les calcaires du Portlandien. *Hydrologie continentale*, 9, 2, 123-138.
- Corbonnois J. (1996)** - Les conditions de la circulation de l'eau en Lorraine. *Mém. HDR*, Université de Toulouse le Mirail, 187 p.
- Dupraz Ch. (1984)** - Bilan des transferts d'eau et d'éléments minéraux dans trois bassins versants comparatifs à végétations contrastées (Mont Lozère, France). *Thèse*, Université d'Orléans, 363 p.
- Frécaut R. (1971)** - La Moselle et son bassin. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviale en milieu tempéré océanique. *Thèse d'état*, Lille, 840 p.
- Gafrej R., Levandier Th. (1994)** - Modélisation des matières en suspension - GDR - Analyse et modélisation des systèmes fluviaux anthropisés. *Rapport 93/1, thème "Bassins-versants ruraux"*. PIREN Génie, CNRS, 51-61.
- Gamez P. (1995)** - Hydrologie et karstologie du bassin du Loison (Woëvre septentrionale - Lorraine). *Mosella*, t XXI, 453 p.
- Glover B. J., Johnson P. (1974)** - Variations in the natural chemical concentration of river during flood - flows and the lag effect. *J. Hydrol.* 22, 303-316.
- Govers G., Quine T. A., Walling D. E. (1993)** - The effect of water erosion and tillage movement on hillslope profile development : a comparison of field observations and model results. In *Land Farm Erosion in temperate plains environment and hills*, . S. Wicherek Ed. Elsevier, 285-300.
- Guigo M. (1975)** - Les variations de la turbidité et leurs relations avec le débit et les précipitations sur le Magra, fleuve de la Ligurie orientale. *Revue de géographie physique et de géographie dynamique* (2), XVII, 3, 259-278.
- Imerson A C., Vis M. (1984)** - The output of sediments and solutes from forested and cultivated clayed drainage basins in Luxembourg. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9, 585-594.
- Kane A. (1993)** - Les transports de matières en suspension du fleuve Sénégal. In *L'eau, la Terre et les Hommes, Hommage à R Frécaut*, PUN, Nancy, 201-210.
- Kattan Z. (1989)** - Géochimie et hydrologie des eaux fluviales des bassins de la Moselle et de la Mosig. Transports dissous et particulaires, cycles biochimiques des éléments. *Thèse*, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 220 p.
- Lambert R. (1995)** - Géographie du cycle de l'eau. *Presses universitaires du Mirail, Toulouse*, 439 p.
- Lelong F., Andreux M., Amiot M. et Lepiller M. (1994)** - Influence du sous-sol, du sol et de son utilisation sur la chimie des eaux souterraines et de surface en climat tempéré. *Journées d'études de l'AIDEC*. Dijon 14 - 16 mars 1994, Cahier N° 32, août 1994, 59-65.
- Meybeck M. (1985)** - Variations dans le temps de la composition chimique des rivières et leurs transports en solution et en suspension. *Sciences de l'Eau*, 4, 93-121.
- Meybeck M., Idlafkih Z., Fauchon N., Andreassian V. (1998)** - Variabilité spatiale et temporelle des MES dans le bassin de la Seine. In *Les systèmes fluviaux anthropisés*, Conférence internationale. Paris, 25-27 mars 1998, 189-192.

Muller G., Forstner U. (1968) - General relationship between suspended sediment concentration and water discharge in the Alp Rhein and some others rivers. *Nature* 217 5125, 244-245.

Muxart T., Penven M. J. (1994) - Mesures de débit et de la qualité de l'eau sur le Vannetin. In. *GDR, Analyse et modélisation des systèmes fluviaux anthropisés*. Rapport 1993/1, thème "Bassins versants ruraux", 36-46.

Olivry J. Cl. (1988) - Réflexion sur la mesure et l'estimation des bilans d'exportation de matières solides en zones sensibles à l'érosion. *Etudes Médit.* 12, 107-115.

Orange D., Olivry J. Cl., Censier Cl. (1995) - Variations et bilans des flux de matières particulaires et dissoutes de l'Oubangui à Bangui (de 1987 à 1992). In : *Grands bassins fluviaux*, Paris 22-24 novembre 1993. INSU - CNRS - ORSTOM. Ed. Orstom, 147-158.

Penven M. J., Muxart T. (1995) - Le drainage agricole : un rôle fondamental dans les transferts d'eau et de matière - Exemple du plateau Briard. *Annales de Géographie*, 88-104.

Penven M. J., Muxart T. (1993) - Measuring suspended loads in rivers with a graduated monitoring network. In *Land Farm Erosion in temperate plains environment and hills*, S. Wicherek Ed. Elsevier, 207-220.

Probst A., Lelong F., Viville D., Durand P., Ambroise B., Fritz B. (1995) - Comparative hydrochemical behaviour and element budgets of the Aubure (Vosges massif) and Mont Lozère (Southern Massif Central) norway spruce forested catchments. In *Forest Decline and Atmospheric Deposition effects in the French Mountains*. Landmann et M. Bonneau (Eds), G. Springer, 302-325.

Quine T. A., Walling D. E. (1993) - Assessing recent rates in soil loss from areas of arable cultivation in UK. In *Land Farm Erosion in temperate plains environment and hills*, S. Wicherek Ed. Elsevier, 357-371.

Tricart J. (1994) - Ecogéographie des espaces ruraux. Nathan, Coll Fac. 187 p.

Wicherek S. (1993) - Impact of agriculture on soil degradation modelisation at the watershed scale for a spatial management and development. In *Land Farm Erosion in temperate plains environment and hills*, S. Wicherek Ed. Elsevier, 137-153.

Manuscrit reçu le 11 Décembre 1997, accepté le 7 Septembre 1998