Influence des voies d'écoulement de l'eau sur le régime des transports solides et dissous dans les calcaires du Portlandien.

Exemple du bassin de Rembercourt (Lorraine, nord-est de la France)

Jeannine CORBONNOIS (1)

RÉSUMÉ

Dans les calcaires du Portlandien qui arment le plateau du Barrois existe une nappe peu profonde, dont le niveau, très mobile, varie avec les précipitations (pluies annuelles de 1 000 à 1 100 mm). L'étude du bassin de Rembercourt permet de comprendre les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques de la partie orientale de ce plateau. Le ruisseau de Rembercourt, au régime très contrasté, draine la nappe lorsque celle-ci est suffisamment haute. En été, les écoulements peuvent s'arrêter. Ce régime est corrélé avec les transports solides (MES) et dissous ($CaCO_3$). On met ainsi en évidence, à partir de moyennes mensuelles, journalières et octohoraires des rythmes de transports spécifiques, apparentés à la fois à ceux des milieux perméables (saison estivale essentiellement) et des milieux imperméables. Le rythme du transport des éléments naturels est comparé à celui des nitrates apportés pour la fertilisation des cultures sur labours. Ainsi, le fonctionnement du bassin versant est plurimodal. Cela est significatif des régions calcaires, mais également d'autres milieux filtrants comprenant une nappe à faible profondeur.

On dispose, pour cette étude, de trois années (1988, 1989, 1990) de données enregistrées en continu à l'exutoire qui contrôle un bassin de 2,8 km² (précipitations, débits, prélèvements d'eau), ainsi que de mesures instantanées aux cinq sources, situées dans le bassin et à proximité.

MOTS CLÉS : Bassin versant — Transports solides et dissous — Écoulement subsuperficiel — Nitrates — Calcaire — Lorraine.

ABSTRACT

RUNOFF AND TRANSPORT OF SOLID AND DISSOLVED MATERIAL IN PORTLAND LIMESTONE. EXAMPLE OF THE REMBERCOURT BASIN (LORRAINE, NORTH EAST OF FRANCE)

The Rembercourt stream drains a catchment of 2.8 km², situated in the western part of Lorraine, cut in the Portland limestone (lower Jurassic). Outflows were measured over three years (1988, 1989, 1990). They define the outflow of water and of dissolved and suspended solid transport, typical of a whole plateau, forming the reverse slope of the Barrois escarpment. The analysis and interpretation of flows are based on geological, geomorphological, hydrological and hydrogeological features.

The analysis of the flow rate indicates that the type of flow is highly variable. The outflows are high in winter, when the limestone's reserves are full ; there are low in summer, when the underground water level subsides.

The regime of solid and dissolved matter transport is demonstrated by the comparison of water discharge with water solid (suspended matter) and dissolved material contents (carbonate of lime). The comparision is based on measurements at monthly and daily scales, but also on those of floods analysed over periods of 8 hours.

Suspended and dissolved matters contained in the water are compared with that of nitrate. This shows not only the times of fertilizer spreading over the large farmed areas — which characterize the land use in the catchment — but also the purge periods. The latter occur during the highfloods which clean up the surplus of nitrate, and during the small rises in the summer time.

KEYWORDS : Catchment — Solid and dissolved transport — Sub-superficial water runoff — Nitrate — Limestone — Lorraine.

(1) Maître de conférences, Centre d'études géographiques de l'université de Metz, Ile-du-Saulcy, F 57045 Metz Cedex.

INTRODUCTION

Dans les régions calcaires, la circulation de l'eau se fait en surface et dans le substratum où elle emprunte souvent des conduits souterrains karstiques. Il en résulte des écoulements complexes, associant des eaux de ruissellement et de nappe.

L'analyse du bassin versant de Rembercourt, inscrit dans les calcaires du Portlandien, permet de préciser les voies de l'écoulement à partir de l'étude comparative des débits et des transports solides et dissous. On met ainsi en évidence, un triple mode de fonctionnement de l'hydrosystème.

Celui-ci génère par ailleurs une érosion efficace pour des régions de plateaux, ainsi qu'un lessivage actif des nitrates, apportés pour l'amélioration des rendements sur de grandes parcelles de céréaliculture.

La plupart des données utilisées proviennent d'observations en continu. Elles autorisent une analyse à plusieurs pas de temps. Le plus fin (données octohoraires) aboutit à l'identification de la provenance des eaux arrivant à l'exutoire en périodes de crues.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les principales composantes du milieu

Les calcaires du Portlandien, qui affleurent dans les parties orientales des bassins de l'Aisne et de la Marne (Saulx, Ornain, Chée), arment le revers de la cuesta du Barrois (fig. 1). Ils ont été amincis à plusieurs reprises par l'érosion (Infra-Crétacé et Tertiaire), et sont encore tapissés par les restes d'une couverture de sédiments discordants du Crétacé inférieur (sables, argiles).

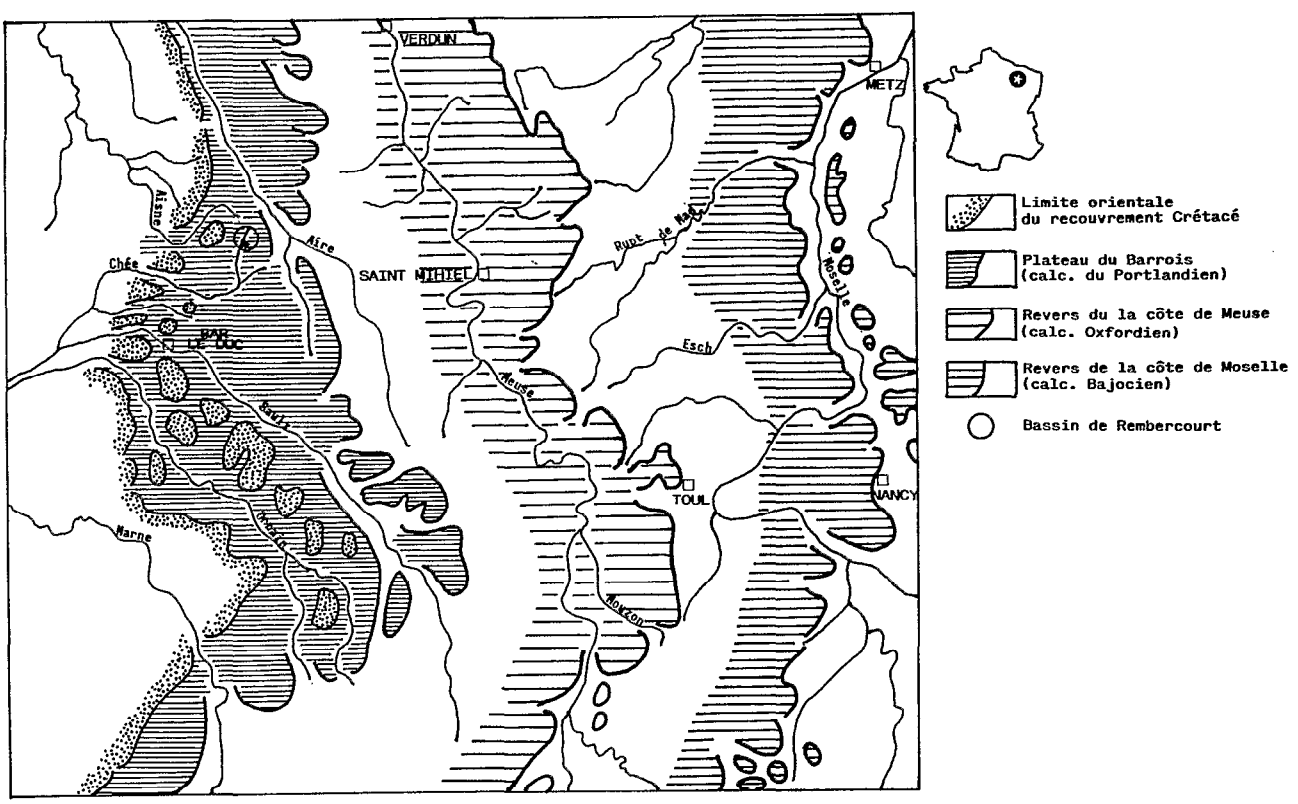


Fig. 1. — Carte de localisation.

Ce plateau, dont les altitudes s'abaissent de l'est (300 m) vers l'ouest (180 à 200 m), comprend un relief faiblement accusé (succession de larges interfluves plats et de vallons évasés, profonds de 15 à 30 m). Le drainage de ces vallons n'est pérenne qu'en aval de sources, alimentées par les réserves aquifères, emmagasinées dans les calcaires du Portlandien.

Région exclusivement rurale, ces plateaux portent surtout de la céréaliculture, pratiquée sur des parcelles remembrées. Y échappent les flancs et les fonds d'entailles, pentus ou trop humides, occupés par des secteurs toujours en herbe.

Le bassin de Rembercourt se situe dans la partie orientale de ces plateaux, à environ 30 km au nord de Bar-le-Duc. Dans cette partie du Barrois, les calcaires du Portlandien sont épais de 40 à 60 m. Ils appartiennent à la base de l'étage (Bononien inférieur) et sont constitués de deux strates — calcaires sublithographiques et calcaires à débris — séparées par un mince niveau marneux, épais de quelques mètres. Celui-ci est parfois induré et forme un écran imperméable (niveau de Pierre Chaline).

Les couches géologiques sont légèrement inclinées vers l'ouest (fig. 2), mais également parcourues par de petites fractures et ondulées dans le détail. Ces déformations assurent au bassin versant des lignes de partage des eaux hydrogéologiques proches des limites de surface, sauf vers l'ouest où se situe l'exutoire.

En surface, les calcaires, peu compacts, ont été altérés. Les bancs disparaissent fréquemment sous 60 à 80 cm de matériaux quaternaires (gélifracts et limons d'origine éolienne), mêlés à des sédiments sableux et argileux, vestiges de la couverture crétacée, ou remplissage réétalé d'anciennes poches d'origine karstique.

L'organisation spatiale de ces matériaux apparaît sur la carte des formes et formations superficielles du bassin de Rembercourt (fig. 3). On peut y opposer, conformément à ce qui est observé ailleurs sur les plateaux :

— des secteurs plats qui sont, d'une part, les sommets des interfluves où les strates calcaires sont recoupées par une surface d'érosion, tapissées d'altérites, d'autre part, les fonds des vallons, remblayés d'alluvions et de colluvions sur un mètre d'épaisseur ;

— des secteurs pentus de transit des matériaux, constitués par un système de versants dissymétriques ; le recouvrement colluvial mince y laisse apparaître des ruptures de pente, définies par la résistance variable des bancs de calcaire à l'érosion et les déformations tectoniques.

Le réseau hydrographique qui s'écoule dans le sens du pendage comprend des drains dont le fonctionnement dépend des conditions climatiques et hydrogéologiques (fig. 4). Seuls les écoulements alimentés par des sources peu-

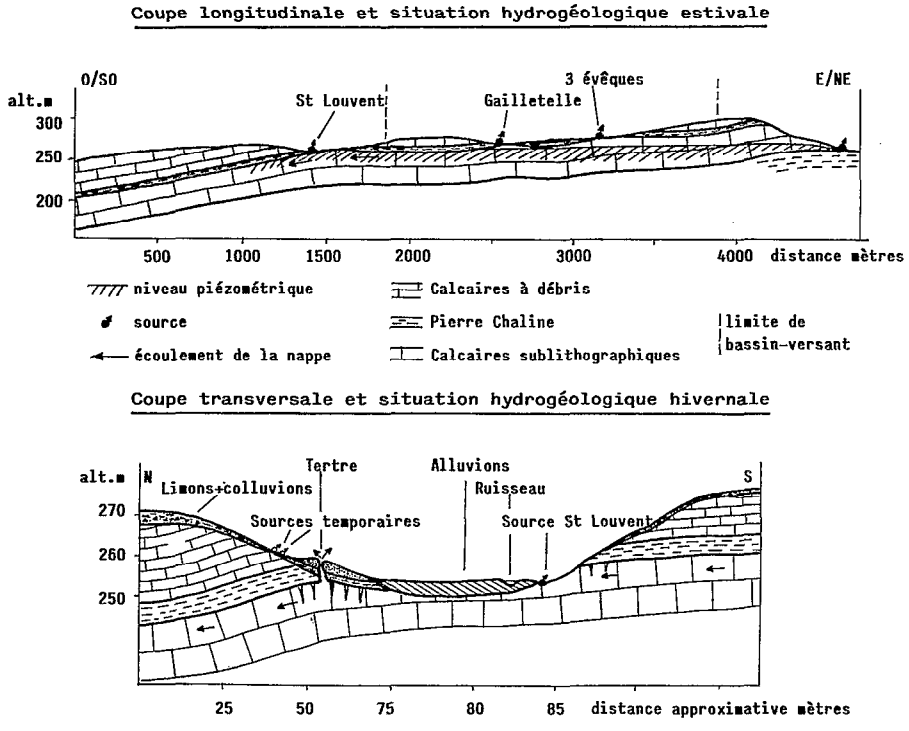


FIG. 2. — Caractéristiques structurales et circulation de l'eau dans le bassin de Rembercourt.

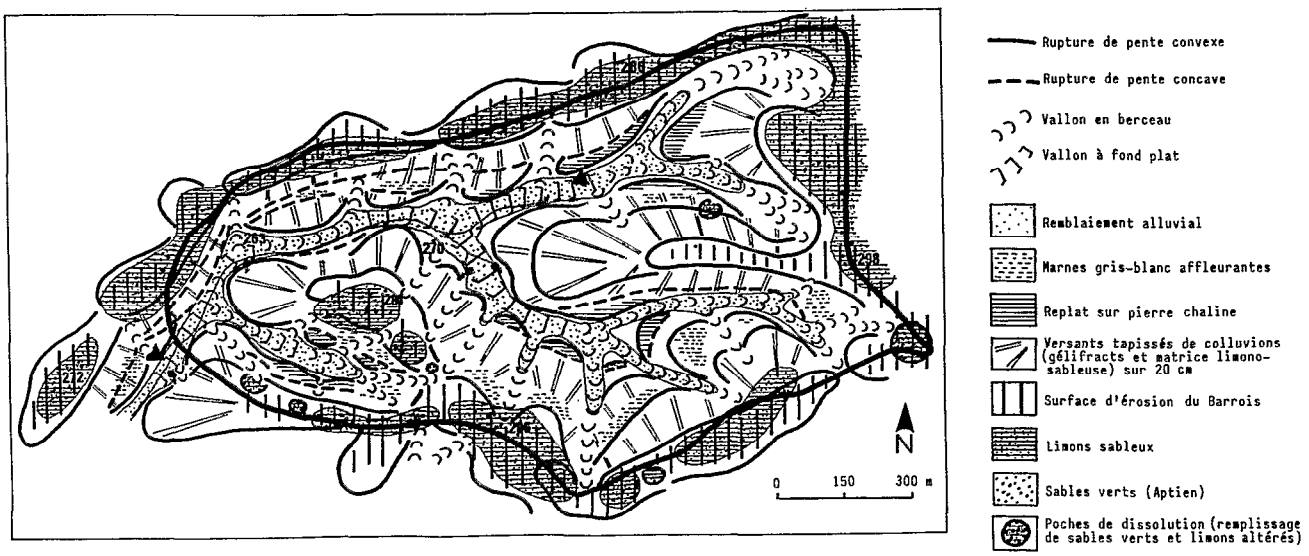


FIG. 3. — Formes et formations superficielles dans le bassin de Rembercourt.

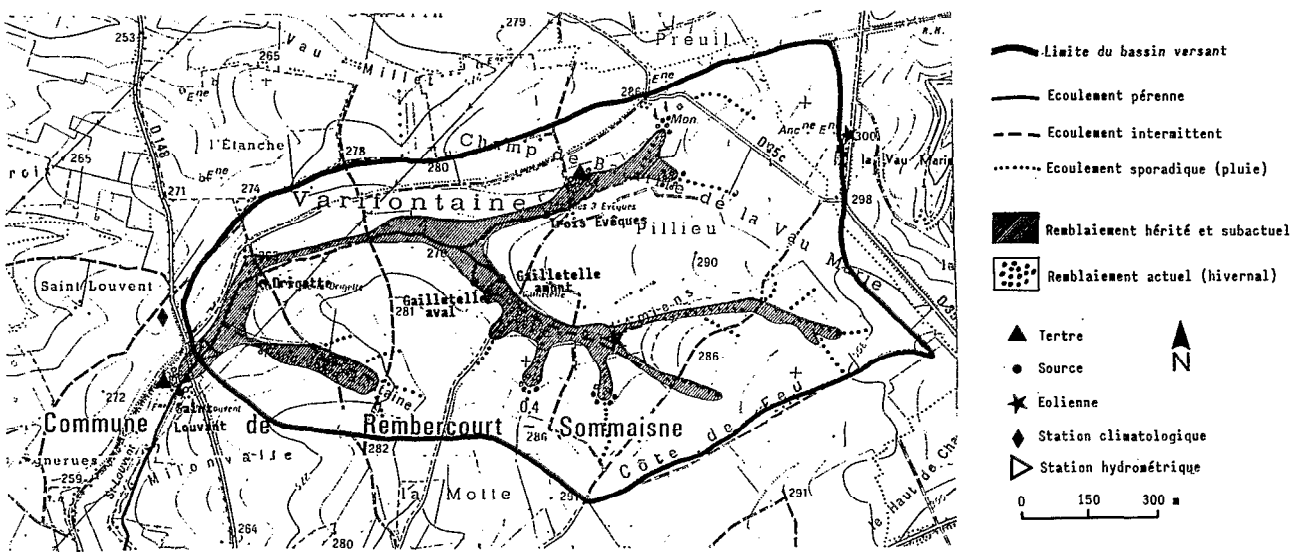


FIG. 4. — Organisation des écoulements dans le bassin de Rembercourt.

vent être considérés comme pérennes, bien qu'ils puissent cesser en année très sèche (cela a été le cas en 1989). Les quatre sources du bassin de Rembercourt, ainsi qu'une cinquième source située juste en aval de l'exutoire, sont alimentées par la nappe des calcaires sublithographiques, recoupée par le fond du vallon. Au-dessus, les calcaires à débris, séparés des précédents par la Pierre Chaline et disséqués par les entailles, ne contiennent qu'un réservoir de transit (fig. 2).

LES MESURES EFFECTUÉES DANS LE BASSIN DE REMBERCOURT

Les débits du ruisseau ont été mesurés de 1988 à 1990 à l'exutoire du bassin, équipé d'un limnigraphe (à déroulement hebdomadaire). Cet équipement est complété par une station climatologique (mesure des précipitations et des températures).

De plus, des mesures instantanées hebdomadaires ont été effectuées en 1988 et en 1989 à l'intérieur du bassin : mesure du débit des sources (Gailletelle amont, Gailletelle aval, Trois Évêques, Drigette, Saint-Louvant) et mesure des niveaux piézométriques (aux deux puits d'éoliennes).

Ces données permettent de définir le régime des écoulements ainsi que le fonctionnement de l'aquifère.

Les transports solides et dissous sont évalués à partir d'analyses d'échantillons d'eau. L'exutoire du bassin est équipé d'un préleveur automatique, depuis décembre 1988, qui fournit un échantillon pour huit heures (mélange de 4 prélèvements instantanés bihoraires). Aux sources, des prélèvements manuels sont effectués au moment des mesures de débits. Ce mode de prélèvement a été pratiqué également à l'exutoire de janvier à décembre 1988.

Le dosage des solides est effectué par pesée et séchage des matières en suspension pour les prélèvements automatiques. Avant décembre 1988 et pour les prélèvements instantanés, les mesures ont été réalisées au turbidimètre (unités NTU). Parmi les éléments dissous, seuls ont été pris en compte le calcium et le magnésium (mesure de la dureté totale de l'eau par complexométrie, exprimée en °F et en équivalent $CaCO_3$) et les nitrates (dosés au spectrophotomètre).

Ces mesures préalablement critiquées (comparaison entre les mesures instantanées et enregistrées) permettent de calculer des teneurs moyennes en mg/l de matières solides et dissoutes ($CaCO_3$ et NO_3). Leurs fluctuations, différentes pour chacun des éléments transportés, sont plus ou moins influencées par les débits, selon le mode de fonctionnement du bassin (LIGNAC, 1992 ; CORBONNOIS, 1993). La comparaison du régime des nitrates (élément apporté) à celui des éléments naturels (solides et $CaCO_3$) permet d'aborder les problèmes relatifs à la qualité des eaux actuellement menacée dans le bassin de Rembercourt. Les charges (teneurs × débits), trop influencées par les débits, n'ont pas été étudiées. Elles sont peu utiles dans le cadre de notre analyse, consacrée à l'étude des circuits de l'eau et des transports associés.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

LES ÉCOULEMENTS DANS LE BASSIN DE REMBERCOURT

Les débits du ruisseau

Le ruisseau de Rembercourt écoule en moyenne une quarantaine de litres par seconde, pour des précipitations annuelles de l'ordre de 1 000 mm. Les débits moyens mensuels (Annexe 1), varient de moins de 1 l/s en été à plus de 100 l/s en hiver (129,5 l/s en décembre 1990).

Le régime contrasté du ruisseau, d'origine climatique, est influencé également par les fluctuations de la nappe du Portlandien. Ainsi, diverses périodes peuvent être identifiées (fig. 5) :

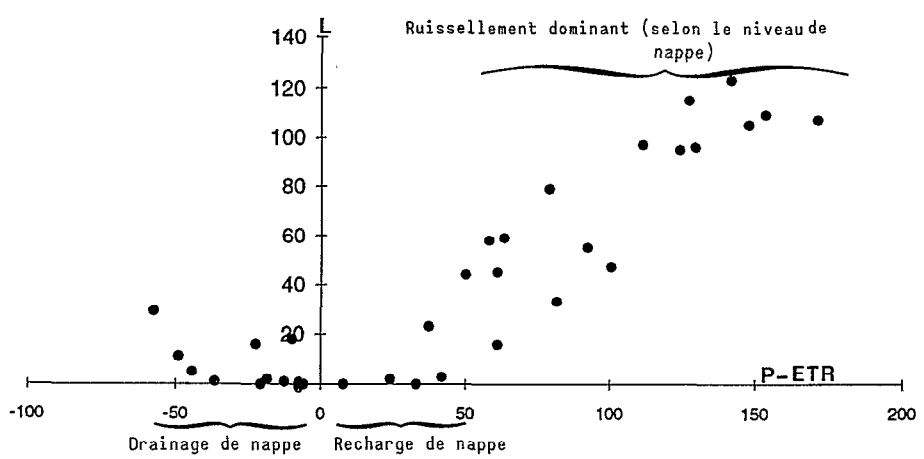


FIG. 5. — Écoulement (L mm) et apports climatiques (P - ETR mm) dans le bassin de Rembercourt.

— en hiver et au début du printemps, les apports climatiques (P - ETR) sont assez bien corrélés avec les débits (L > 20 mm). Les précipitations (pas de couvert neigeux durable pendant la période de mesure) assurent alors l'essentiel des volumes écoulés. Les eaux circulent en surface, ou empruntent une frange superficielle mince du substratum, parfois désaturée lorsque le niveau de la nappe s'abaisse entre deux épisodes pluvieux ;

— à la fin du printemps et au cours de l'été, lorsque l'évapotranspiration absorbe une part croissante des précipitations, les débits d'abord soutenus par la nappe, diminuent ensuite rapidement. Le ruisseau s'assèche en étiage sévère, comme en août et septembre 1989.

— en automne, il faut attendre la remontée du niveau piézométrique pour que se réamorcent les écoulements de surface (P - ETR > 0, L proche de 0). Cependant, la reconstitution des réserves souterraines se fait rapidement en raison de la perméabilité du substratum — gélifracts en surface, fissures dans les bancs de calcaire, élargies par la dissolution (conduits karstiques).

Le fonctionnement de l'aquifère

Les sources sont localisées dans le fond du vallon. Elles jalonnent le toit de la nappe du Portlandien. Leurs débits, compris entre 0 et quelques dizaines de litres par seconde, sont aussi variables que ceux de l'exutoire (Annexe 2).

En été, leur tarissement accompagne l'abaissement du niveau piézométrique. Les sources de l'amont du bassin s'assèchent plus tôt que celles de l'aval. Seule, Saint-Louvant est pérenne (tabl. I). Tout le bassin de Rembercourt est alors suspendu au-dessus de la nappe et les eaux qui s'y infiltrent, échappent, en étiage sévère, à l'exutoire.

TABLEAU I
Dates d'arrêt des écoulements et niveaux piézométriques (en m) correspondants au cours de l'étiage 1989

	Date	Éolienne Gailletelle	Éolienne Vau Marie
Source Gailletelle amont	5-6-89	1,87	8
" Gailletelle aval	19-6-89	1,94	8,16
" Trois Évêques	26-6-89	1,99	8,18
" Drigette	10-7-89	2,07	8,28
Exutoire	17-7-89	2,15	8,31
Source Saint-Louvant	pérenne	2,27	8,98

En hiver, en périodes de fortes pluies, lorsque les réserves du substratum sont chargées, la nappe devient localement captive sous la Pierre Chaline ou sous le remblaiement alluvial au droit d'ondulations. Elle alimente alors des exurgences, qui ont construit des tertres de sédiments fins (cf. fig. 2 et 3), preuves de l'existence de conduits karstiques fonctionnels qui parcourent les calcaires sublithographiques.

Ainsi, dans ce bassin, l'eau circule en surface et sous la surface, dans une tranche de matériaux épaisse de 2 à 2,50 m en fond de vallon. Elle s'y renouvelle rapidement du fait de pluies régulières. Ce renouvellement est propice à l'évacuation de quantités importantes de matières solides et dissoutes (GAMEZ et SARY, 1979). Les éléments sont prélevés en surface, dans les sols et dans la tranche de battement de la nappe où ils transitent par les fissures élargies par la dissolution.

LE RÉGIME DES TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS

Il est défini globalement à partir des teneurs (mg/l) moyennes mensuelles et journalières, et analysé dans le détail à l'échelle de crues. La prise en compte des mesures réalisées à l'intérieur du bassin permet d'identifier les apports.

Le régime moyen (fig. 6 et Annexe 1)

Les solides (Ts et NTU) évacués par le ruisseau sont abondants (16 à 20 t/km²/an). Les teneurs moyennes mensuelles, contrastées, varient entre moins de 20 mg/l et plus de 180 mg/l.

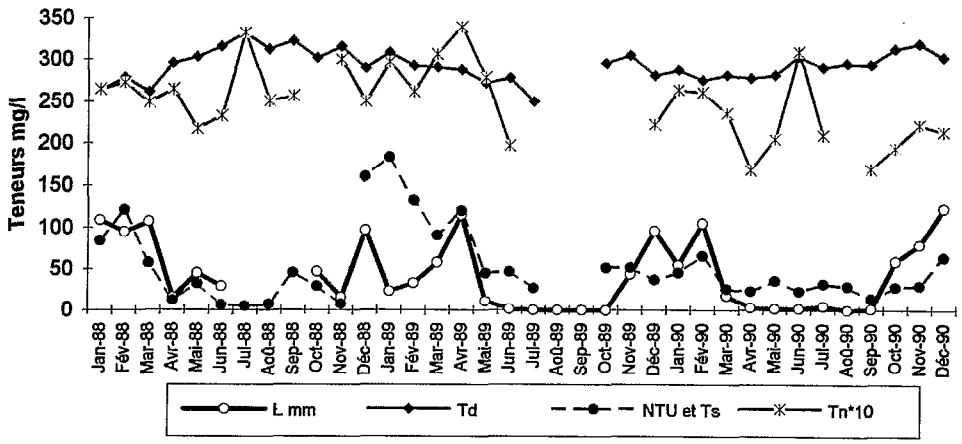


FIG. 6. — Écoulement mensuel (L mm) et teneurs moyennes correspondantes.

Les matériaux sont préférentiellement évacués en hiver. Ils sont prélevés sur les grandes parcelles labourées, souvent nues. Ils cheminent jusqu'à l'exutoire en empruntant les chenaux de surface sur les versants (drains sporadiques alors fonctionnels) et dans le fond des vallons (drains pérennes et intermittents) et les chenaux souterrains karstiques. Ces derniers amènent aux sources des eaux chargées en solides (Annexe 2).

Les variations journalières des solides sont plus explicites du fonctionnement du bassin. Les teneurs les plus élevées accompagnent les épisodes pluvieux générateurs d'un ruissellement significatif, comme le montrent les données de janvier 1989 (fig. 7). Elles font apparaître une évacuation des solides en deux séquences :

— la première accompagne classiquement la montée de crue (CORBONNOIS *et al.*, 1985 ; LAMALLE *et al.*, 1989) ;

— la deuxième survient au cours de la phase hydrologique du ressuyage. Elle résulte de la remise en suspension des solides du chenal par les pluies résiduelles, mais également de l'arrivée à l'exutoire des écoulements retardés qui ont transité par les conduits karstiques où des solides ont été prélevés.

Les transports solides peuvent donc rester actifs pendant de longues périodes hivernales (teneurs supérieures à 100 mg/l pendant tout le mois de janvier 1989), au cours desquelles les précipitations perdurent. Associés aux écoulements superficiels et souterrains, ils sont toujours mal corrélés avec les précipitations et les débits. Dans ce sens, ils sont de bons indicateurs du fonctionnement multimodal du bassin versant.

En dehors des périodes hivernales, les transports solides sont indigents et restent inférieurs à 50 mg/l en moyenne mensuelle, sauf à l'occasion de pluies orageuses. Sur la figure 7, les données journalières de juin 1990 indiquent les faibles variations de teneurs lorsque les pluies génèrent peu de ruissellement et lorsque le couvert végétal développé fixe les matériaux.

Le régime des transports dissous est plus complexe et diffère selon les éléments.

Les teneurs en $CaCO_3$ (Td) varient peu en moyenne mensuelle (entre 260 et 320 mg/l) ce qui traduit des apports réguliers. Ce régime est comparable à celui d'une nappe en équilibre ionique avec le substratum qui la renferme. Cependant, il recouvre, compte tenu des circulations d'eau à l'intérieur du bassin versant, des situations variées :

— les teneurs fléchissent en période hivernale lorsque, du fait du ruissellement dominant, elles sont diluées par les eaux de pluie (transit et renouvellement rapide de l'eau dans le bassin versant) ;

— en été, les teneurs généralement supérieures à celles de l'hiver enregistrent des valeurs un peu plus faibles lorsque l'étiage est sévère. L'assèchement progressif des drains et le tarissement des sources en liaison avec l'abaissement de la nappe du Portlandien sont influencés également par les prélèvements évaporatoires en surface. Ainsi, au droit des secteurs en cours d'assèchement se forme un dépôt momentané de carbonate de calcium ;

— à la fin du printemps et en automne, l'exutoire évacue les eaux aux teneurs les plus fortes de l'année. Elles sont véhiculées par les écoulements de subsurface et souterrains (période de drainage et d'alimentation de la nappe). Elles proviennent du lessivage des sols, des franges superficielles altérées du calcaire alors humectées (système inactif en été, lorsque ces niveaux sont à sec et masqué en hiver du fait du ruissellement de surface), de la nappe, mais aussi de la remise en solution des dépôts de l'été.

Ces fluctuations se retrouvent également pour les sources, avec des pics négatifs en phases pluvieuses hivernales et des pics positifs accompagnant, selon les sources, les précipitations orageuses en été (Annexe 2).

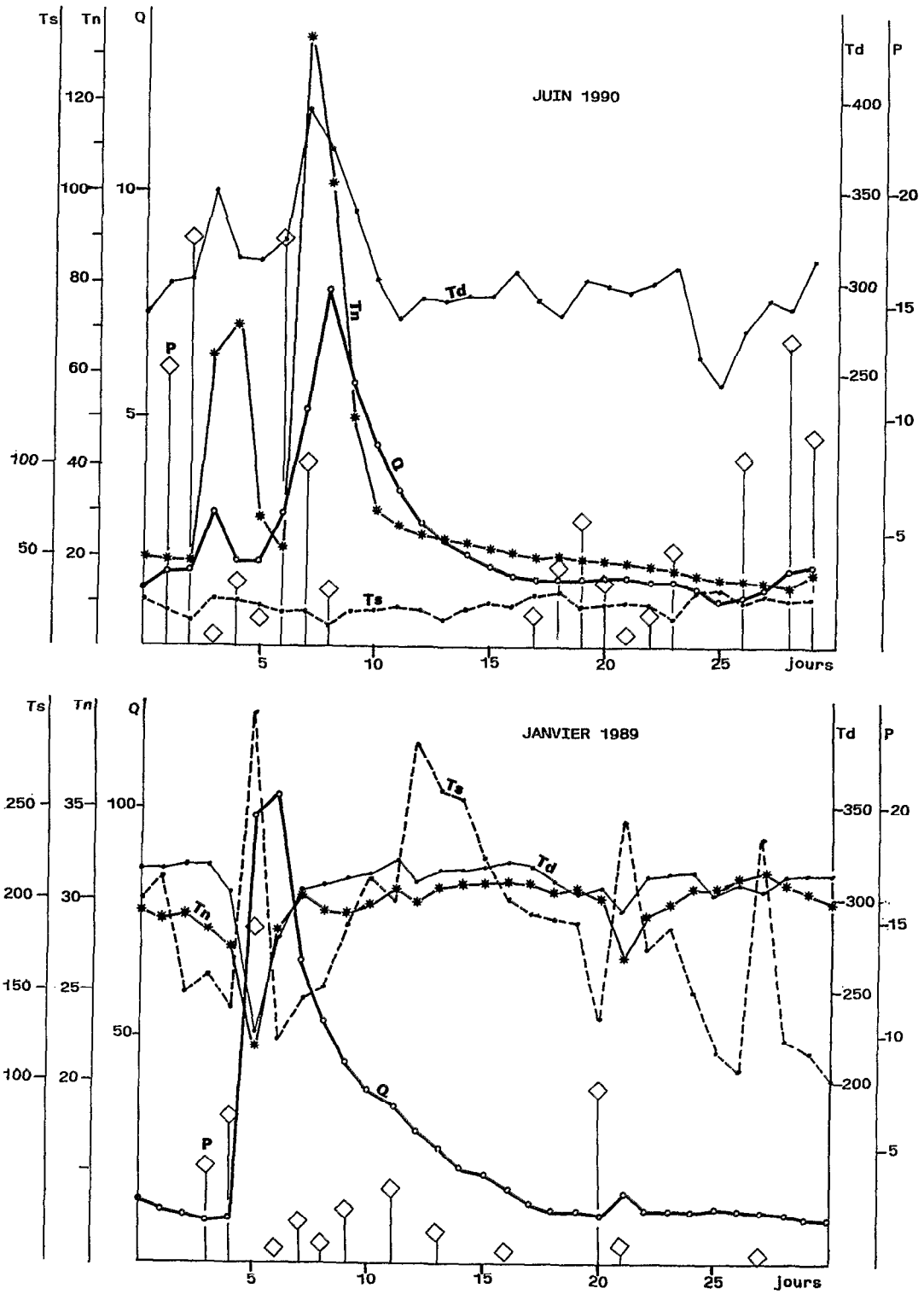


FIG. 7. — Deux exemples de variations journalières des pluies (P mm), des débits (Q l/s), des teneurs en solides (Ts mg/l), en éléments dissous ($CaCO_3$, Td md mg/l) et en nitrates (Tn mg/l).

À l'échelle journalière, les variations de teneurs sont commandées par celles des débits. Elles accompagnent les crues (fig. 7). Positives ou négatives, elles sont du même type que les variations observées aux sources. En dehors des crues, les teneurs sont relativement stables autour des valeurs moyennes. Ce mode de fonctionnement, qui a été observé dans de nombreux milieux (MEYBECK, 1985 ; PROBST, 1983), n'a rien d'original dans le bassin de Rembercourt.

Les nitrates (Tn) qui sont transportés par les écoulements dans le bassin de Rembercourt proviennent en grande partie des apports excédentaires d'engrais non utilisés par le couvert végétal. Les teneurs moyennes mensuelles oscillent entre 16 et 34 mg/l, selon d'amples fluctuations apparentées à celles de la dureté de l'eau. Dans le détail, leur régime comprend des périodes de stockage et de lessivage déterminées par le rythme des apports (non contrôlés). Des purges sont enregistrées à la fin du printemps lorsque des épisodes pluvieux, provoquant des variations de débits, succèdent aux épandages. Les valeurs mensuelles acceptables masquent alors des teneurs moyennes journalières pouvant atteindre plus de 100 mg/l (134 mg/l le 9 juin 1990, cf. fig. 7).

Une partie des nitrates transite par la nappe. Les teneurs mesurées aux sources varient entre 25 et 45 mg/l (Annexe 2). En étiage, lorsque les sources du bassin tarissent, les nitrates sont transportés sous la surface jusqu'à la source de Saint-Louvant, seul exutoire encore fonctionnel. On y mesure alors des teneurs élevées, comprises entre 60 et plus de 100 mg/l.

Ainsi, selon les matériaux transportés (solides et dissous), les régimes sont différents. Les transports solides se caractérisent par des rythmes proches de ceux observés en milieu imperméable ; ils sont déplacés principalement en hiver, lorsque les réserves souterraines remplies privilégient les écoulements de surface. Les transports dissous se caractérisent par un régime influencé par les conditions hydrogéologiques, plus spécifique des régions perméables. Le régime des nitrates est influencé par les épandages ainsi que par les conditions générales de la circulation de l'eau dans le bassin versant. En hiver, il est proche de celui des éléments dissous ($CaCO_3$). En été, il est parfois similaire à celui des matières solides du fait des purges épisodiques accompagnant les gonflements de débits (BALLIF, 1992).

Exemples de crues

C'est à l'échelle de crues, analysées à partir des données octohoraires, que les liaisons entre débits et transports solides et dissous sont les plus caractéristiques. Elles révèlent pour le bassin de Rembercourt trois modes de fonctionnement différents (fig. 8 a, b, c).

La crue de février 1990 est caractéristique de périodes hivernales arrosées. C'est une des plus fortes enregistrées à Rembercourt. Les 85 mm de pluie qui tombent en moins de 48 heures, font passer le débit du ruisseau de 21 à 721 l/s. Le bassin fonctionne alors comme un milieu imperméable du fait de la saturation du substratum. Les eaux écoulées sont majoritairement des eaux de ruissellement direct qui masquent les apports souterrains dilués :

TABLEAU II
Caractéristiques des épisodes de crues

		du 15 au 23-2-90	du 22 au 28-5-90	du 4 au 15-1-89
Q l/s	de base	21,9	1,26	9,7
	à la pointe de crue	721,5	21,9	144,3
	après la crue	21,3	1,9	21
Durée en heures	de la montée de crue	48,0	8	24
	de la décrue	192	148	63
P mm	pendant la montée de crue	81,8	38,1	24,3
	après la pointe de crue	8,5	0,1	11,9
CaCO3 mg/l	avant la montée de crue	292	262	316
	à la pointe de crue	128	388	196
	après la crue	288	312	316
Solides mg/l	avant la montée de crue	87	23	173
	à la pointe de crue	205	89	406
	après la crue	44	23	280
NO3 mg/l	avant la montée de crue	26,6	15,5	28,5
	à la pointe de crue	8	144	19,6
	après la crue	29,6	24,3	31,2

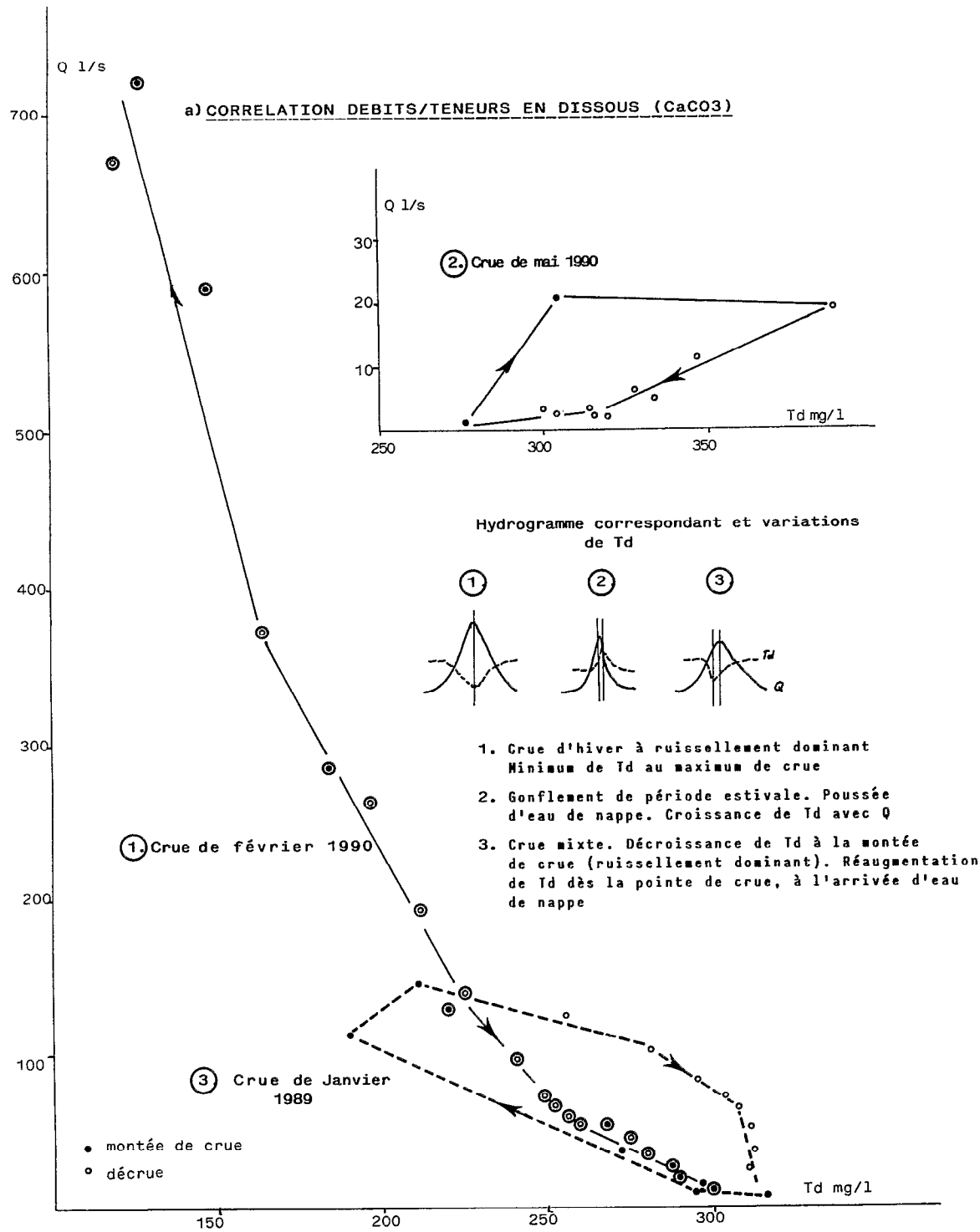


FIG. 8. — Rythmes des transports solides et dissous. Exemples de crues caractéristiques (données octohoraires). a) Corrélation débits/teneurs en éléments dissous ($CaCO_3$).

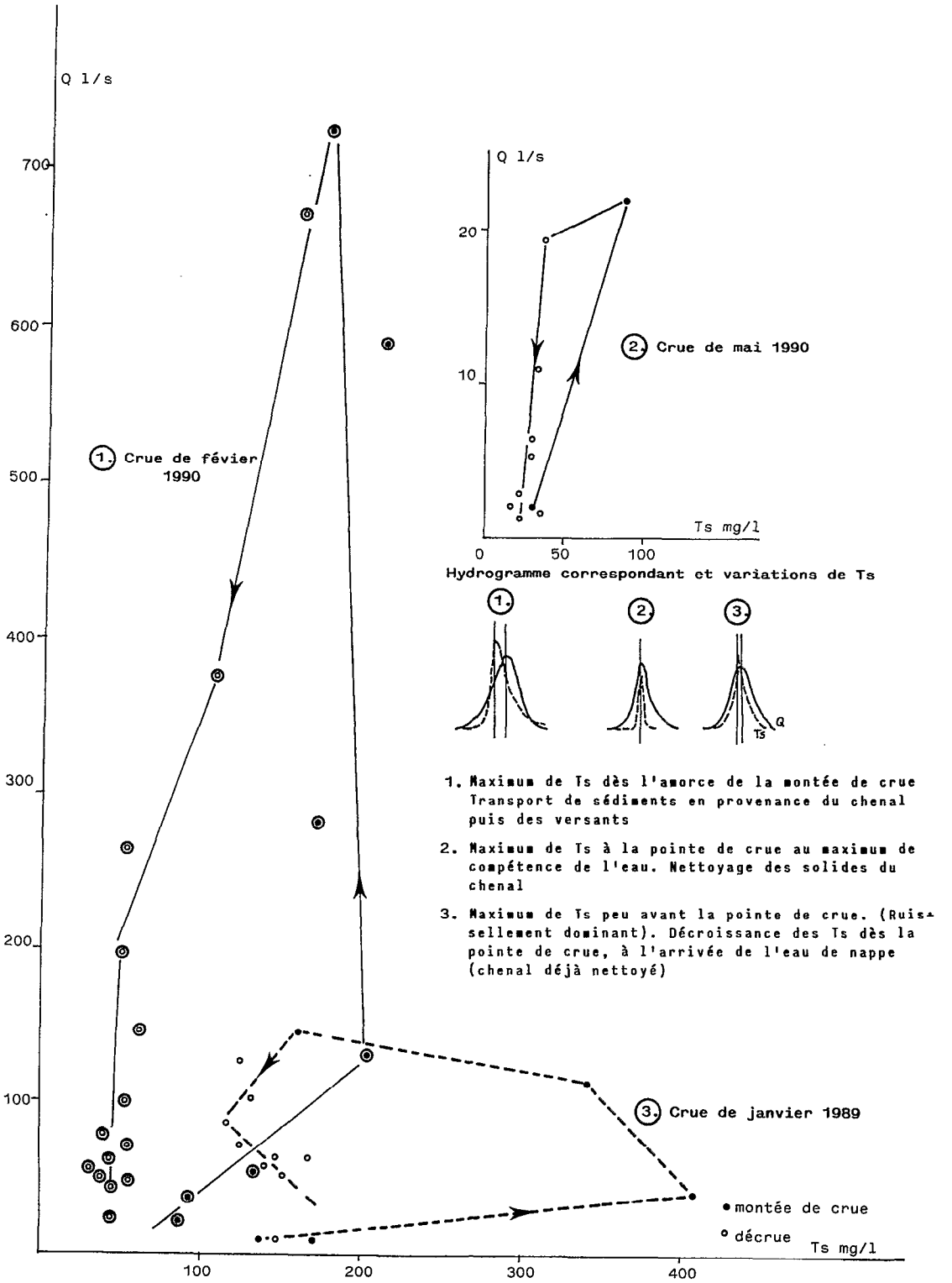


FIG. 8. — b) Corrélation débits/teneurs en éléments solides.

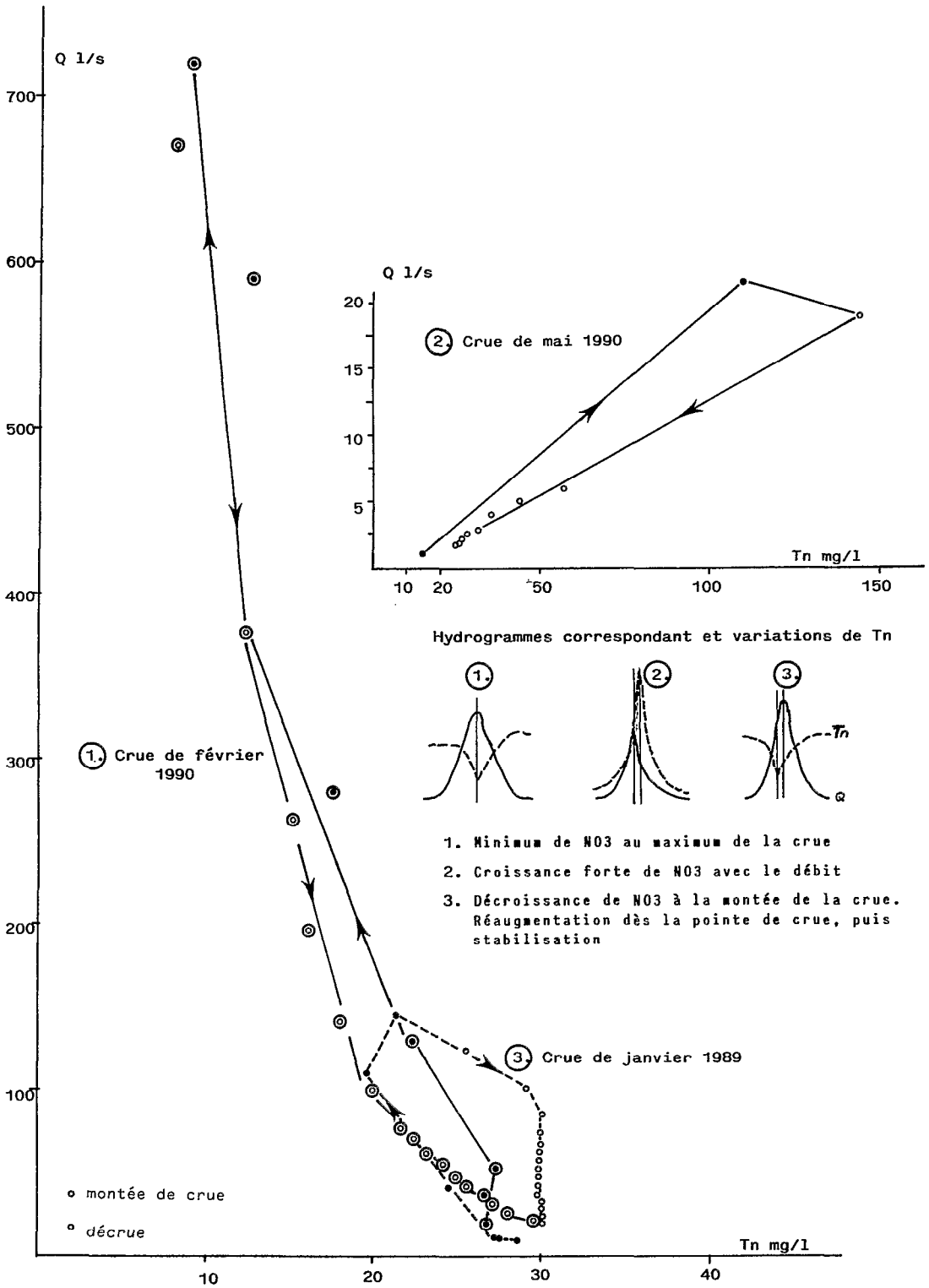


FIG. 8. — c) Corrélation débits/teneurs en nitrates.

— la dureté varie de 292 à 128 mg/l en fonction inverse du débit selon une relation unique pour la montée et la descente de crue ;

— les solides augmentent dès l'amorce de la montée de crue et proviennent alors du chenal (teneurs multipliées par 2,5). Ils se maintiennent pendant la montée de crue, lorsque arrivent dans le ruisseau, les sédiments provenant des flancs du vallon ;

— les nitrates varient comme la dureté et s'abaissent de 26,6 à 8 mg/l. Cependant les teneurs sont plus élevées à la montée (nettoyage ou lessivage de subsurface) qu'à la descente de crue (pas de renouvellement des apports ce qui explique les teneurs plus faibles).

La crue de mai 1990 est provoquée par une averse orageuse de 38 mm. La montée du débit est brutale (de 1,2 à 21,9 l/s). Cette montée entraîne un accroissement corrélatif de tous les éléments transportés. À l'exutoire, arrivent donc des eaux chargées en éléments dissous, d'origine souterraine. La nappe du Portlandien, qui n'a pas atteint son minimum estival, est encore suffisamment proche de la surface pour permettre un effet piston, sans que les franges superficielles du réservoir soient complètement saturées partout (irrégularité de la surface piézométrique, influencée par les ondulations tectoniques) :

— la dureté croît de 50 % pendant la montée de crue (262 à 388 mg/l) ;

— les solides expulsés (augmentation de 23 à 89 mg/l) proviennent du nettoyage du chenal principal, où le niveau d'eau varie brutalement. Leur tarissement précoce s'explique par l'absence de ruissellement sur les versants, où les eaux s'infiltrent ;

— les nitrates s'accroissent de 800 % à la montée de crue. Ils passent de 15,5 à 144 mg/l. Cela traduit bien l'expulsion d'eau restée en contact avec le substratum. Mais les teneurs élevées ne peuvent s'expliquer que par des apports récents (période d'ensemencement du maïs), facilement mobilisables à partir de la surface et des horizons superficiels des sols. Étant donné la rapidité de la réponse à l'exutoire, ces nitrates peuvent avoir été véhiculés par des eaux infiltrées sur les parcelles les plus proches de l'exutoire, puisque tous les circuits de circulation de l'eau ne sont pas actifs au moment de cette crue.

La crue de janvier 1989 (144 l/s à la pointe de crue) représente une des situations les plus fréquentes dans le bassin de Rembercourt. Elle est provoquée par des précipitations peu intenses (24 mm) qui tombent sur un sol et un substratum saturés d'eau, conditions propices au déclenchement d'un ruissellement instantané, suivi de l'arrivée d'eau de ressuyage ou de nappe. La crue est mixte :

— la dureté diminue rapidement dès la montée de crue (comme pour la crue de février 1990) et passe de 316 à 196 mg/l. Elle réaugmente dès la pointe de crue à l'arrivée de l'eau de subsurface et de nappe (phase commune avec la crue de mai). (HAMID *et al.*, 1987) ;

— les solides, d'abord chassés, diminuent ensuite rapidement jusqu'à la pointe de crue, lorsque les eaux de nappe moins chargées transitent par le chenal déjà nettoyé. Le ruissellement sur les versants est peu actif ;

— les nitrates varient comme la dureté et dans les mêmes proportions. Les teneurs sont diluées à la montée de crue par le ruissellement.

Pour chacune des crues, les transports solides et dissous ont des régimes spécifiques. Ceux-ci permettent d'identifier l'origine des eaux arrivant à l'exutoire. Le ruisseau écoule, dans des proportions variables, des eaux de ruissellement direct, de subsurface et de nappe, selon le mode de fonctionnement du bassin versant, défini par le niveau piézométrique dans les calcaires du Portlandien.

CONCLUSION

Les circuits de l'eau sont donc complexes dans le bassin de Rembercourt. Ils sont caractéristiques de milieux irrégulièrement absorbants, comprenant une nappe peu profonde. Définis à partir de l'étude des teneurs en éléments dissous et solides, véhiculés par les écoulements, ces circuits se modifient dans le temps et dans l'espace :

— dans le temps, ils sont influencés par la durée et l'abondance des épisodes pluvieux qui génèrent différents types de crues, mais également par l'articulation des saisons qui conditionne les régimes naturels ainsi que les influences anthropiques (apports de nitrates principalement au printemps, labours des parcelles en automne) ;

— dans l'espace, ils sont déterminés par la contribution totale ou partielle du bassin versant à la genèse des écoulements et à la fourniture de matériaux solides et dissous (allongement ou réduction de la longueur des drains) (COSANDEY, 1993).

Les calcaires du Portlandien qui arment les plateaux du Barrois apparaissent donc comme un milieu fragile où les eaux transitent facilement. L'ablation y est active et efficace aussi bien au moment des grandes crues hivernales, que des gonflements estivaux.

Dans ce milieu, la comparaison des rythmes des transports naturels ($CaCO_3$ et solides) à celui des nitrates permet une compréhension satisfaisante des flux d'éléments apportés. Les teneurs élevées, révélées grâce à leur surveillance en continu à l'exutoire, sont une réponse aux apports de fertilisants. Il apparaît cependant qu'elles ne s'accroissent que lentement du fait du mode de fonctionnement de l'aquifère. On peut donc penser qu'une modification des pratiques culturales, comme cela a été proposé pour d'autres régions à substratum calcaire filtrant (SALOU, 1992), permettrait une régression assez rapide des teneurs.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 29 septembre 1994

BIBLIOGRAPHIE

BALLIF (J.-L.), 1992 — Les eaux d'un bassin agricole en Champagne crayeuse 1971-1990. Variations du niveau piézométrique et de la teneur en azote minérale dans les zones non saturées et saturées. *Science du sol*, 30 (1).

CORBONNOIS (J.), GAMEZ (P.), SARY (M.), 1985 — « Le régime des transports solides et dissous dans le karst couvert de la dalle d'Etain (interfluve Loison Othain, Lorraine septentrionale.) ». *In : Spélunca*, Mém. n° 14, actes du XVI[e] congrès national de spéléologie (Nancy-Metz).

CORBONNOIS (J.), 1988 — *Crues et transports solides dans le ruisseau de Vezon (Lorraine).* Mosella t. XVIII.

CORBONNOIS (J.), 1993 — *Régime des transports solides et dissous. Comparaison des résultats de mesures réalisées dans 3 bassins versants représentatifs lorrains.* Mélanges René Frécaut, Presses universitaires de Nancy.

COSANDEY (C.), 1993 — « Fonctionnement hydrologique de bassins versants élémentaires et genèse des crues en moyenne montagne granitique méditerranéenne. Exemple de la crue de 22 septembre 1992 ». *In :* Journées hydrologiques Maurice Pardé, Grenoble.

GAMEZ (P.), SARY (M.), 1979 — *L'érosion et l'occupation des sols sur le revers karstique de la Dalle d'Etain (bassin de la Damusse, Meuse).* Coll. Érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg.

GIRET (A.), 1993 — Fonctionnement hydrologique des altérites et des sols sur le glacis des Mauges (exemple du bassin de l'Hyome en Maine-et-Loire). *Quaternaire*, 4 (2-3.).

HAMID (S.), DRAY (M.), FEHRI (A.), 1987 — « Traçage isotopique des composantes de l'écoulement de crue. Exemple du bassin expérimental du Redon (Haute-Savoie, France) ». *In :* actes du colloque *Crues et inondations*, Strasbourg, 16-18 octobre 1986.

LAMALLE (C.), PETIT (F.), KOCH (G.), HURTGEN (C.), PISSARD (A.), 1989 — Les transports solides en suspension dans le Burdinale, affluent principal de la Méhaigne. *Bull. de la Société Géographique de Liège*, vol. 25.

LIGNAC (V.), 1992 — *Comparaison des transports solides et dissous dans les bassins versants de Vezon, Rembercourt et Delut.* CEGUM, Mém. maîtrise géogr.

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.

PROBST (J.-L.), 1983 — Hydrologie du bassin de la Garonne. Modèle de mélanges, bilan de l'érosion, exportations des phosphates et des nitrates. Thèse 3[e] cycle, Cristallographie, pédologie et géochimie, PIREN, Garonne.

SALOU (M.-C.), 1992 — *Maîtrise de la qualité des eaux en milieu agricole. Exemple des plateaux calcaires de Vicherey et d'Aboncourt (Lorraine).* Mém. de DEA, Mirecourt, CEGUM/INRA.

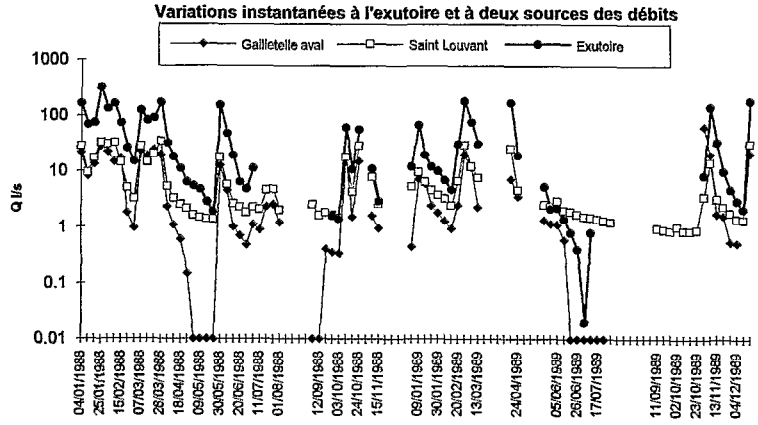
ANNEXE 1
Rembercourt, données moyennes mensuelles de 1988, 1989, 1990

Mois	L mm	Q l/s	P mm	ETP	ETR	P - ETR	Td	NTU	Ts	Tn
Jan-88	109	116,1	162,8	9	9	153,8	264	83,75		26,5
Fév-88	95	109,2	130,5	6	6	124,5	279	121,2		27,3
Mar-88	107	114,2	188,4	17	17	171,4	262	57,25		24,9
Avr-88	16	17,5	22,8	47	45	-22,2	296	12,12		26,5
Mai-88	45	48	144	83	83	61	303	32,4		21,7
Jun-88	29	31,9	38,7	135	96	-57,3	315	6,57		23,3
Jul-88			132,4	106	106	26,4	331	4,67		33,2
Aoû-88			41,5	104	69	-27,5	312	7		25,1
Sep-88			84,3	71	71	13,3	322	45,75		25,7
Oct-88	47	49,7	148,5	48	48	100,5	302	29,32		
Nov-88	16	18	74,3	13	13	61,3	315	7,1		30
Déc-88	97	104	123,6	12	12	111,6	290		160	25
Jan-89	23	25	46,3	9	9	37,3	308		183	29,7
Fév-89	33	38,7	91,7	10	10	81,7	293		132	26,2
Mar-89	58	62,2	96,2	38	38	58,2	291		91	30,6
Avr-89	115	127,3	163,7	36	36	127,7	288		120	33,9
Mai-89	11	12,3	23	90	72	-49	272		45	27,9
Jun-89	1	1,4	69,6	99	82	-12,4	278		47	19,7
Jul-89	0	0,64	36,4	121	57	-20,6	250		27	
Aoû-89	0	0	62,1	105	68	-5,9				
Sep-89	0	0	79,9	72	72	7,9				
Oct-89	0	0,28	82	49	49	33	296		52	
Nov-89	44	46,2	63	13	13	50	305		52	
Déc-89	96	102,2	138,8	9	9	129,8	281		37	22,3
Jan-90	55	57,7	99,3	7	7	92,3	288		46	26,4
Fév-90	105	125	170,2	22	22	148,2	276		66	26,1
Mar-90	18	27,5	24,2	34	34	-9,8	282		26	23,6
Avr-90	3	6,8	73,9	32	32	41,9	278		23	16,8
Mai-90	2	2,62	64,7	85	83	-18,3	282		36	20,5
Jun-90	2	2,36	117,1	93	93	24,1	304		23	30,9
Jul-90	5	5,5	56,7	115	101	-44,3	291		32	21
Aoû-90	0	0,17	99,7	113	107	-7,3	296		29	
Sep-90	1	1,55	65,5	62	102	-36,5	294		14	16,9
Oct-90	59	62,7	113,4	50	50	63,4	313		28	19,4
Nov-90	79	85,1	97,3	18	18	79,3	319		30	22,2
Déc-90	123	129,5	145	3	3	142	303		64	21,4

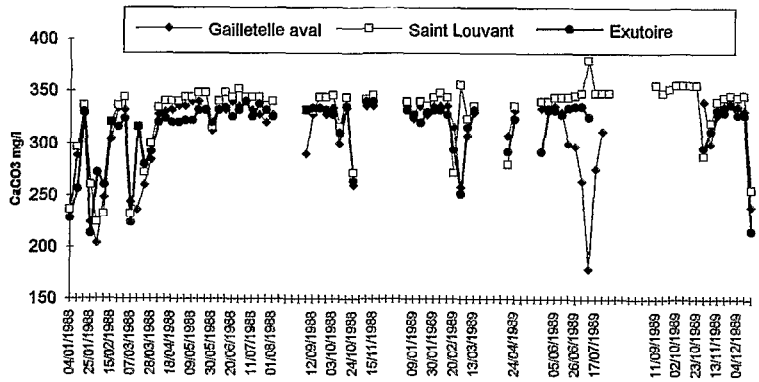
L : lame d'eau écoulée en mm
Q l/s : débit moyen mensuel en litres par seconde
P mm : hauteur d'eau précipitée par mois
ETP : évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite
ETR : évapotranspiration réelle évaluée à partir d'une réserve utile de 100 mm
Td : titre hydrotimétrique en °F x 10, correspondant à la teneur moyenne mensuelle en CaCO3 mg/l
NTU : turbidité moyenne mensuelle évaluée à partir de 4 prélèvements hebdomadaires
Ts : teneur moyenne mensuelle de solides en suspension dans l'eau en mg/l
Tn : teneur moyenne mensuelle de nitrates (NO3) en mg/l

ANNEXE 2

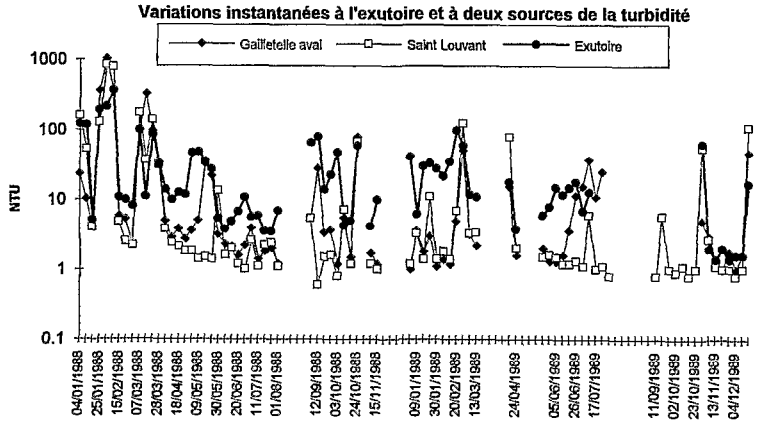
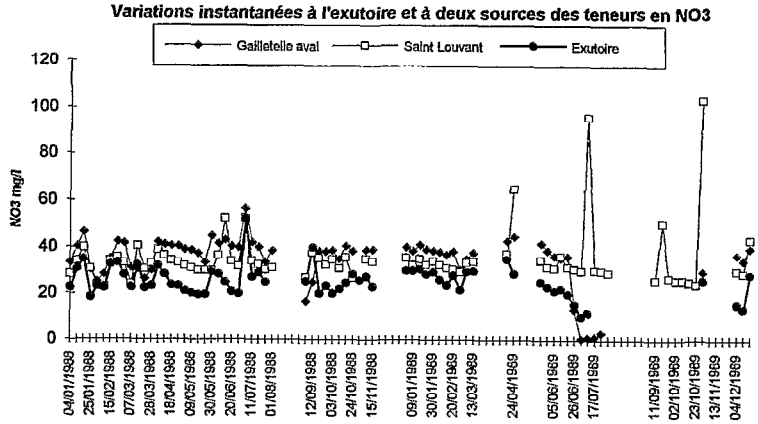
Variations instantanées à l'exutoire et à deux sources des débits



Variations instantanées à l'exutoire et à deux sources des teneurs en CaCO3



Variations instantanées à l'exutoire et à deux sources de la turbidité



Variations instantanées à l'exutoire et à deux sources des teneurs en NO3