

Effacité autoépuration de tracés aérien et karstique d'un effluent de station d'épuration (La Ronde, Jura suisse) : valeur indicative des diatomées

François STRAUB* et Pierre-Yves JEANNIN**

Résumé. - La Ronde est une rivière polysaprobe alimentée presque exclusivement par des eaux d'épuration. Ce cours d'eau s'écoule à la fois sur un tracé aérien et à travers un système karstique, dont les qualités autoépuration ont été étudiées depuis plusieurs années. Cette opportunité a permis de comparer l'efficacité des deux trajets, grâce à la valeur indicative des communautés de diatomées. Les caractéristiques écomorphologiques des secteurs aériens de la rivière ont été décrites et mises en relation avec leur capacité d'autoépuration. Les écoulements agités, lents, de faible profondeur et dispersés ont de meilleures aptitudes que les autres. Dans la discussion, les modes de circulation hypothétiques dans le système souterrain, qui devraient favoriser le catabolisme, sont évoqués à la lumière des modes d'écoulement relevés sur le cours aérien.

Abstract. - La Ronde is a polysaprobic river located in the swiss Jura. The river flows both along a acrian way and through a karstic system. This situation made it possible to compare the self-purification capacity of both flows, with indicative values of water quality based on the benthic communities of diatoms. The ecomorphologic features of the aerial flow are described, in relation with their self-purification capacities. The self-purification abilities of agitated, slow, not deep and dispersed flows are better than other types of flow. These features are compared with the hypothetical morphology of the karstic passages, which could promote catabolic processes.

Mots-clés. - rivière, karst, autoépuration, écomorphologie, diatomée, indice DI-CH

INTRODUCTION

La Ville de La Chaux-de-Fonds est située dans une haute vallée jurassienne (1000 m d'altitude) dans un environnement karstique déterminant une hydrologie caractéristique. Sur les flancs et les crêtes calcaires, les eaux de pluie s'infiltrent en profondeur, alors que sur le fond de la vallée, les eaux de ruissellement sont conduites par des cours d'eau modestes, jusqu'à des pertes (gouffres ou emposieux) situées généralement en bordure des placages imperméables. Le manque d'eau potable pour cette ville de 50 000 EH, a déjà été au centre des préoccupations au XIXe et début du XXe siècle [MUSY-RAMSEYER 2003; BLANT *et al.* 2003] et a conduit à l'aménagement d'importants travaux d'adduction. Le manque d'eaux naturelles pose également des problèmes quant aux rejets des eaux de la station d'épuration.

Depuis le début du XXe siècle, toutes les eaux naturelles ont été captées à des fins industrielles et un collecteur d'égouts a été construit au nord-est de la ville. Ce collecteur amenait les eaux à une perte aménagée en puits (fig. 1, P). Depuis 1975, le collecteur a été allongé jusqu'à l'emplacement d'une station d'épuration (fig. 1, STEP) et la perte n'est plus active que comme premier déversoir d'orage, en cas de précipitations très importantes ou lors de fortes fontes de neige.

Les rejets de la STEP sont déversés dans une ancienne vallée sèche. En période d'étiage, un cours d'eau artificiel formé de 100% d'eau d'épuration coule le long du vallon, sans affluents latéraux visibles sur le terrain. Habituellement l'eau forme une rivière à ciel ouvert sur une distance d'au moins 1,25 km jusqu'à des pertes situées entre les points 3 et 3' de la figure 1. L'eau transite ensuite en particulier sur une distance de 2,25 km à vol d'oiseau par un aquifère karstique (fig. 1, flèche tiretée) jusqu'à la résurgence de la Rasse (fig. 1, R) située en bordure de la rivière franco-suisse du Doubs. L'efficacité autoépuration de ce système souterrain (particulièrement en période d'étiage, lorsque la dilution est faible) a fait l'objet de plusieurs études basées sur des bilans dressés entre les points 3' et R : intensité de la nitrification, abaissement du taux de car-

bone organique [MONTANDON *et al.* 1995], diminution du niveau saprobique indiquée par les modifications des peuplements de diatomées [SCHURCH 1993] : à la perte 3', des conditions polysaprobies avaient été mesurées, tandis qu'à la Rasse ne subsistait qu'une forte α -mésosaprobie. Or, en juillet 2002, les pertes des stations 3 à 3' étaient partiellement colmatées, si bien que le cours aérien de la rivière se poursuivait en aval sur une distance complémentaire de 4,45 km, pour se jeter dans le petit lac du Cul des Prés, un peu plus bas que la station 10. Cette situation exceptionnelle en période d'étiage, nous a donné l'occasion de comparer, à travers les populations de diatomées benthiques, les capacités d'autoépuration des compartiments écomorphologiques variés et accessibles du cours aérien d'une part, et du milieu karstique caché, d'autre part. Cette comparaison est destinée à enrichir les hypothèses pouvant expliquer la bonne capacité d'autoépuration de l'écoulement souterrain. L'étude a aussi été motivée par le fait qu'en 2002, des travaux de rénovation et d'extension de la station d'épuration étaient en cours, si bien que son rendement était partiellement diminué. Les résultats présentés ici sont issus de deux mandats d'étude, l'un sur le cours aérien (écomorphologie, aspect visuel de l'eau, macroinvertébrés et diatomées) [STRAUB 2003a], l'autre sur le cours souterrain (diatomées) [STRAUB 2003b].

MATÉRIEL

Quatre échantillons d'épilithon prélevés les 21 et 25 septembre 1992 aux stations 1, 3, 3' et R [SCHURCH 1993] ont été révisés et dénombrés à nouveau. Dix échantillons d'épilithon ont été prélevés les 11 et 12 juillet 2002 aux stations 1', 2, 3, 3', 4, 5, 7, 9, 10 et R (fig. 1) pour comparer le cours aérien et le cours souterrain. La station 1 était située sous l'exutoire de la STEP. Entre les deux campagnes d'échantillonnage, un bassin de rétention a été creusé à cet endroit, si bien que les échantillons en eau courante au plus près de l'exutoire ne peuvent être prélevés qu'à la station 1' (100 mètres en aval). Les deux séries de prélèvements ont été réalisées en période d'étiage, sans

* PhycoEco, Rue des XXII-Cantons 39 et Musée d'Histoire naturelle, CH-2300 La Chaux-de-Fonds (Suisse), fstraub@phycoeco.ch.

** Institut suisse de spéléologie et de karstologie, Case postale 818, CH-2300 La Chaux-de-Fonds (Suisse), info@isska.ch.

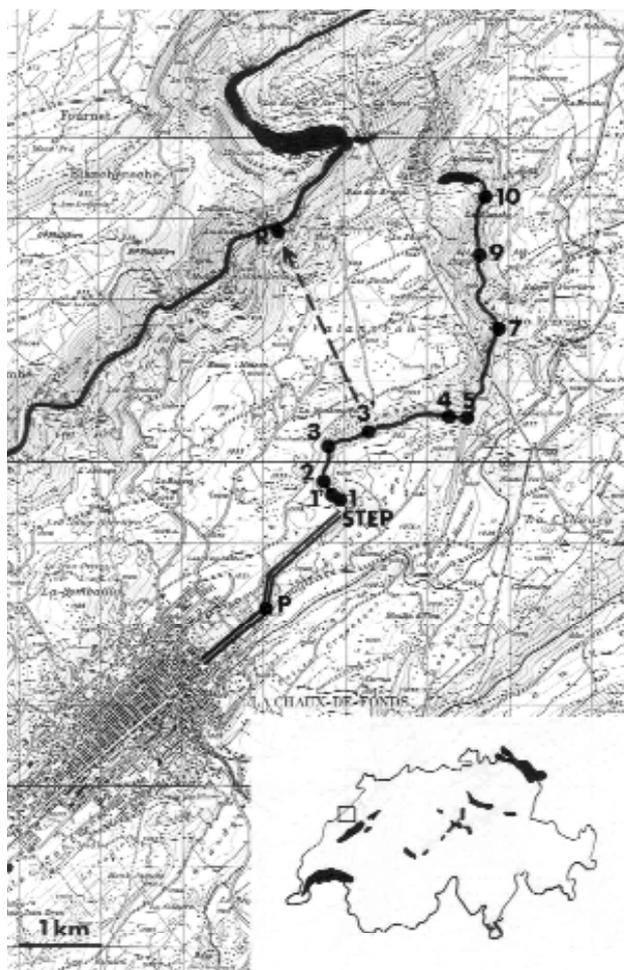


Figure 1. - Situation topographique. Emplacement des stations de prélèvement le long du cours aérien de La Ronde (1- 10) et à la résurgence de la Rasse (R). Double trait = collecteur d'égouts de la Ville de La Chaux-de-Fonds, traits pleins = rivières, flèche tiretée = direction globale de l'écoulement souterrain étudié.

(extrait topographique de CN (1982), reproduit avec l'autorisation du Service topographique fédéral, Berne).

précipitation importante pendant le mois précédent. Les références de ces échantillons figurent en tête des colonnes de la figure 2.

MÉTHODES

Les caractéristiques écomorphologiques des stations ont été relevées sur le terrain par description des aspects du tracé, des rives et du lit de la rivière. Les vitesses d'écoulement ont été estimées à la ligne flottante aux stations de prélèvement.

Les prélèvements, la préparation des échantillons et l'analyse microscopique ont été conduites selon la méthode standard de l'indice DI-CH [HÜRLIMANN & NIEDERHAUSER 2002]. La flore de KRAMMER & LANGE-BERTALOT [1986-1991] complétée par les révisions les plus récentes a été utilisée comme base systématique. A partir des assemblages de diatomées, l'indice de qualité d'eau DI-CH a été calculé (8 = très pollué, 1 = non pollué), ainsi que l'indice de diversité selon Shannon [LEGENDRE & LEGENDRE 1984]. L'analyse a été

complétée par un relevé simple des valves fragmentées (sans tenir compte de la taille des fragments) par rapport aux valves entières pour avoir une idée des taux de mortalité des diatomées. Par ailleurs, les valves des spécimens tératologiques révélatrices de fortes toxicités [MCLAUGHLIN 1988; MCFARLAND *et al.* 1997; NUNES *et al.* 2003] ont été dénombrées à part. L'abondance relative des fragments et celle des formes tératologiques sont exprimées en %. Pour comparer l'efficacité de chaque secteur d'écoulement, la différence d'indices DI-CH entre deux points de prélèvements exprimée en fonction de la longueur de chaque tronçon a été retenue (efficacité = DI-CH/km). En l'absence de données plus précises pour le tracé karstique, la longueur du tronçon à vol d'oiseau a été mesurée. Il n'a pas été possible de réaliser une campagne d'analyses chimiques conjointement à cette étude.

RÉSULTATS

Composition des assemblages de diatomées

Les assemblages de diatomées sont exprimés sur la figure 2 en fréquences relatives des taxons présents. En 1992, l'épiliton des stations 1 à 3' était dominé par les espèces très résistantes *Navicula seminulum* et *Gomphonema parvulum*, avec une progression vers l'aval de la première espèce (de 46,7 à 84,4 %) et une diminution progressive de la seconde (de 38,3 à 11,6 %). La forme *saprophilum* de *G. parvulum*, ainsi que *Nitzschia palea* étaient également bien représentées. A la résurgence de la Rasse, après le trajet karstique, *Navicula seminulum* était encore bien présente (22,3%), mais d'autres espèces un peu plus sensibles dominaient : *Eolimna minima* (25,4 %), *Mayamaea agrestis* (21,6%) et *Achnanthes lanceolata* subsp. *frequentissima* (23,8 %) représentée par deux variétés. Par ailleurs une certaine diversité d'espèces sensibles et même très sensibles était présente.

En 2002, les assemblages des stations 1' à 3' sont dominés de façon fluctuante par *Navicula veneta* principalement, par *Eolimna subminuscula* et par *Nitzschia palea*. Dans le cours aérien en aval de la station 3', *Navicula veneta* et *Nitzschia palea* ont tendance à régresser, au profit d'*Eolimna subminuscula*, puis de l'espèce un peu plus sensible *Fistulifera saprophila*, qui domine aux stations 7 et 9 avec des abondances relatives de 86,4 et 69,4% respectivement. A la station 10, un léger recru de *Navicula veneta* et de *Nitzschia palea* indiquent à nouveau une légère dégradation de la qualité de l'eau. Après le cours souterrain, l'assemblage trouvé à la Source de la Rasse est encore dominé par les espèces très tolérantes comme *Navicula seminulum* et *Nitzschia palea*. *Mayamaea agrestis* est toujours présente, parmi une assez grande variété d'espèces tolérantes ou sensibles.

Variations de la qualité de l'eau

Les indices calculés à partir de ces assemblages sont donnés au bas de la figure 2 et sont distribués sur la figure 3, en fonction de la distance en aval de l'exutoire de la STEP. Les traits fins représentent les tronçons aériens, les traits épais le tronçon karstique. L'indice DI-CH reste plus ou moins stable en amont de la perte (st. 3') avec une légère diminution mesurable en 2002 entre les stations 2 à 3. Sur le cours aérien, il ne diminue de façon marquée qu'en aval d'une chute étagée située entre les stations 4 et 5. Il diminue significativement le long du tronçon karstique tant en 1992, qu'en 2002. Une augmentation de biodiversité structurale donnée par les variations de

l'indice de Shannon, ne se marque nettement qu'après le trajet souterrain. Les deux indicateurs de l'état physiologique des diatomées (taux de fragmentation et taux de formes tératologiques) suggèrent que les eaux sont moins toxiques à l'exutoire qu'un peu plus en aval entre les stations 2 à 3, puis 3'. La toxicité de l'eau sur ce tronçon en 2002, en particulier à la station 3 a été également relevée par l'absence totale de macroinvertébrés benthiques [STRAUB 2003a]. En outre, des mesures chimiques de terrain (tests colorimétriques Aquamerck) effectuées en automne 2002 ont montré que l'augmentation des nitrites ne se faisait qu'après la station 2 [RICHOSZ & WALZER 2003]. Par ailleurs, cette augmentation de toxicité en aval de l'exutoire est peut-être liée aussi à la dégradation du polyacrylamide utilisé pendant cette période comme floculant à la station d'épuration. En aval de la station 3', les deux indicateurs montrent que l'état physiologique des diatomées est meilleur, en particulier après l'écoulement souterrain. Tout en aval du tracé aérien (des stations 7 à 10), les variations sont un peu contradictoires. L'indice DI-CH augmente un peu, ainsi que le taux de fragmentation, ce qui indiquerait une nouvelle dégradation de la qualité de l'eau, mais la biodiversité structurale des assemblages augmente tout de même (comme d'ailleurs l'indice biotique mesuré à partir des macroinverté-

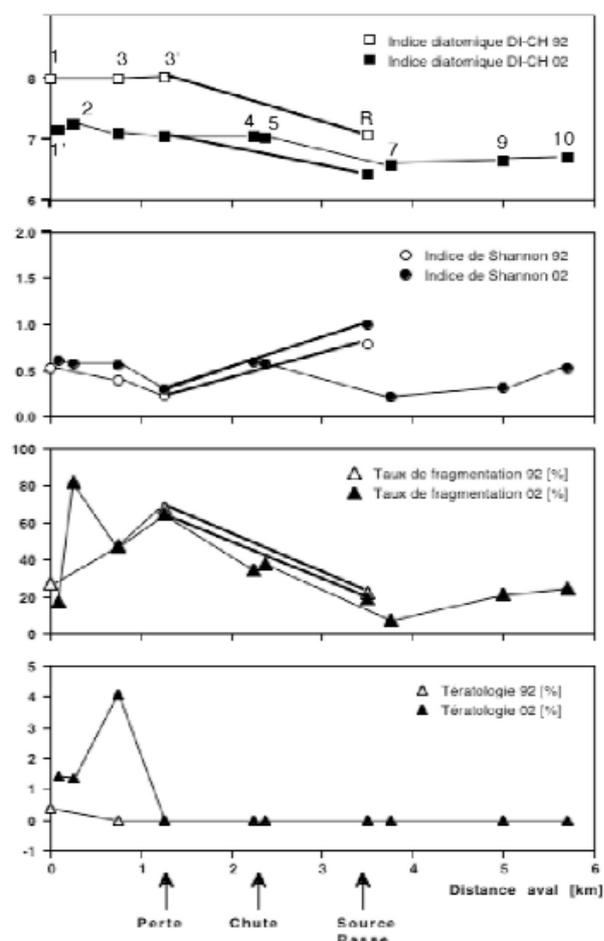


Figure 3. - Distribution de l'indice diatomique DI-CH (8 = très pollué, 1 = non pollué, 1 à 10 et R = désignations des stations), de l'indice de diversité des communautés selon Shannon, du taux de fragmentation des diatomées et du taux de formes tératologiques le long des cours aérien et souterrain de La Ronde.

bres). Cette dégradation est peut-être due à une nouvelle chute du taux d'oxygène dissous le long de ce tronçon ou le signe (hypothèse à vérifier au point de vue hydrogéologique) d'arrivée d'eau usée par voie souterraine à partir de la commune de La Ferrière.

Efficiences comparées des deux écoulements (à ciel ouvert et karstique)

Pour comparer l'intensité de l'autoépuration des secteurs successifs des deux types d'écoulements, la différence de valeur de l'indice DI-CH entre les stations, a été exprimée par rapport à la distance parcourue par l'eau sur chaque tronçon, selon la fonction suivante : $\text{efficacité} = \text{DI-CH}/\text{km}$.

Les résultats sont présentés sur la figure 4, en haut pour le cours aérien-souterrain en 1992, au milieu pour 2002, puis en bas pour le cours totalement aérien (2002).

En 1992, l'efficacité du cours aérien supérieur (tronçons 1-3 et 3-3') semblait faible, comme bloquée, l'essentiel de l'autoépuration aurait été assurée par le tronçon souterrain (3'-R, efficacité de 0,41). D'après l'étalonnage chimique de l'indice DI-CH, cette efficacité dans cette gamme de qualité d'eau, correspond à un abaissement d'environ 30% de l'ammonium et de 10% de carbone organique dissous par km (aussi marqué par la diminution du niveau saprobique).

En 2002, l'image de cet écoulement est plus précise, car un échantillon a été prélevé à la station 2. Sur le premier tronçon (1'-2), une très forte activité aurait provoqué une augmentation de la toxicité de l'eau (efficacité négative de -0,73 = dégradation de la qualité de l'eau), car des processus oxydatifs apparaissent probablement le long de ce secteur (oxydation de l'ammoniaque en nitrites). Sur le tronçon suivant 2-3, l'autoépuration (efficacité de 0,36) va dans le sens d'une amélioration de la qualité de l'eau. Par contre, le long du secteur 3-3' l'autoépuration semble être bloquée. Avec une efficacité de 0,27 le tronçon souterrain semble de nouveau plus actif, mais pas avec la même efficacité qu'en 1992.

Le long du cours aérien situé en aval des pertes principales, l'efficacité paraît tout d'abord nulle (secteur 3' - 4), pour augmenter au niveau de la chute (secteur 4-5) et surtout en aval de celle-ci (secteur 5-7, efficacité de 0,32) avec une efficacité meilleure que celle du trajet souterrain en 2002. Plus en aval, jusqu'à la station 10, les valeurs d'efficacité sont de nouveau négatives.

Globalement l'efficacité du tracé aérien-souterrain (2,25 km à vol d'oiseau) semble meilleure que celle du tracé aérien (4,45 km depuis la perte de la station 3') comme le montre la figure 5. En valeur absolue cependant, en fin de parcours les eaux de La Ronde ont à peu près la même qualité.

DISCUSSION

Les types d'écoulement, le degré de diversité des rives et des lits de rivières, le degré d'extension du périphyton sont connus pour favoriser ou limiter l'autoépuration de l'eau [GONSER 1994 ; ELOSEGUI *et al.* 1995]. Ils sont relevés actuellement de façon systématique dans les études sur les rivières [HÜTTE & NIEDERHAUSER 1988] et forment le corpus de connaissances nécessaire à la restauration et à la protection des cours d'eau [LACHAT 1991]. Sur le cours aérien de la Ronde, les tronçons peu efficaces (fig. 6) ont un lit contenu (tronçons 1-2, 3-3'-4), dans lequel l'écoulement est essentiellement linéaire et la profondeur d'au-moins 50 cm. Les tronçons 7-9

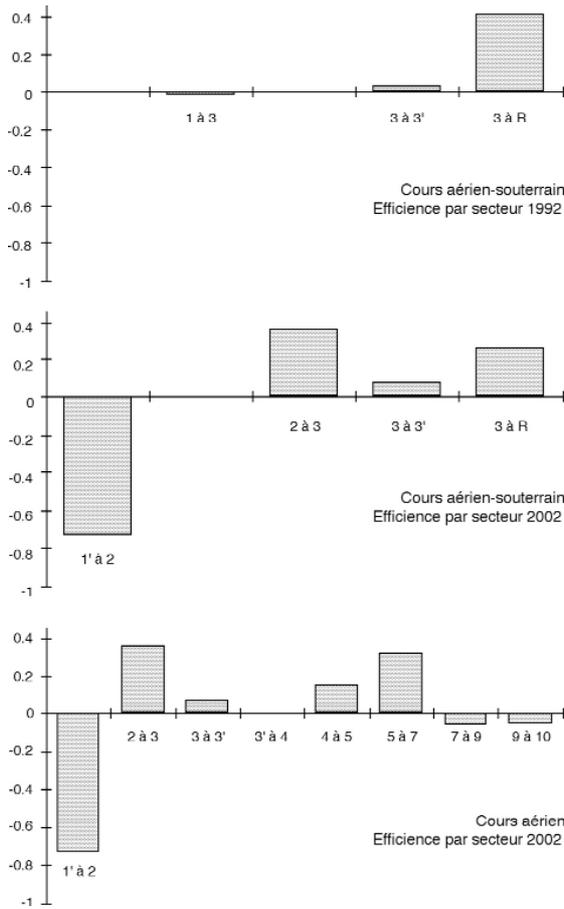


Figure 4 : Efficience autoépuratoire des tronçons situés entre les stations de prélèvement, des cours aérien-souterrain et aérien de La Ronde en 1992 et 2002. Ordonnée : efficience exprimée en DI-CH/km.

et 9-10 sur lesquels des efficience négatives ont été mesurées ont aussi des lits contenus. Ils ressemblent aux tronçons 1-2 ou 3-3'-4. Mais les variations contradictoires de certains paramètres et les interrogations sur les causes de la dégradation des eaux sur ce secteur aval, ne permettraient que des interprétations hasardeuses.

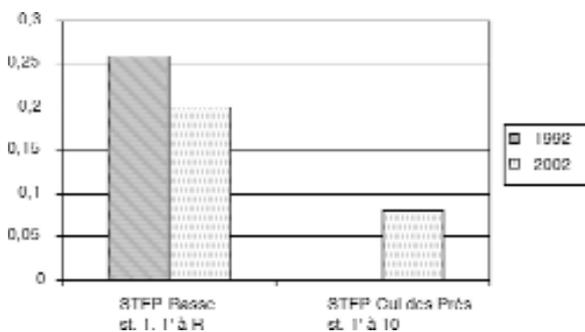


Figure 5. - Efficience autoépuratoire globale des parcours STEP-Rasse (aérien puis karstique en 1992 et 2002) et STEP-Cul des Prés (aérien en 2002). Ordonnée : efficience exprimée en DI-CH/km.

Sur les tronçons à lit contenu, le peu d'activité autoépuratoire consomme tout l'oxygène, donc la réoxygénation du biofilm épuratoire est moindre. Un métabolisme réducteur a tendance à s'y installer, ce qui se remarque sur le terrain par l'abondance de sulfure de fer sous les galets et même en surface du sédiment. Le secteur 2-3, pourtant à lit contenu par la roche mère, montre une bonne efficience autoépuratrice. Cette capacité est sans doute liée à l'écoulement agité, dû à la présence de gros blocs, qui favorise l'oxygénation de l'eau. Le tronçon 5-7 est le plus actif pour plusieurs raisons sans doute. Ce secteur est précédé d'une chute étagée dont le lit présente une granulométrie très variée. Les chutes successives favorisent l'oxygénation de l'eau, les infractuosités sont nombreuses, si bien que la surface du biofilm autoépuratoire est importante. Le secteur lui-même, s'ouvre au pied de la chute dans une petite plaine alluviale. C'est le seul secteur dans lequel le lit est véritablement libre et le long duquel la rivière se divise en plusieurs bras, séparés par des bancs de galets plus ou moins végétalisés. La vitesse de l'eau est faible mais l'écoulement est agité, si bien que le périphyton est bien oxygéné. Par ailleurs, latéralement, la rivière est en relation avec les terrains riverains inondables, qui augmentent la capacité de rétention du système. Ce genre de paysage fluvial est connu pour ses bonnes capacités métaboliques oxydantes, mais aussi de dénitrification dans les compartiments phréatiques [VOUGHT *et al.* 1994].

Ainsi, les caractéristiques des écoulements aériens qui favorisent l'autoépurateur dans La Ronde seraient : dissémina-

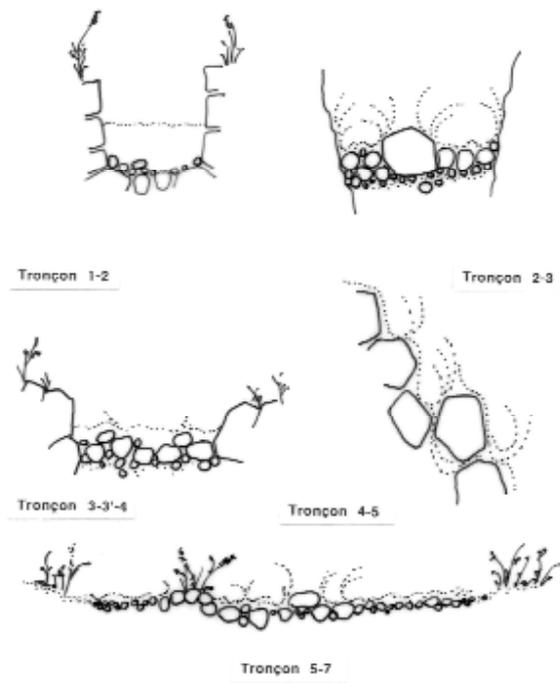


Figure 6. - Ecomorphologie simplifiée des tronçons aériens de La Ronde et modes d'écoulement. Le mode linéaire prévaut sur les tronçons 1-2 et 3-3'-4 (ainsi que 7-9-10). L'eau est vivement agitée sur les tronçons 2-3 et 4-5. Les modes d'écoulement sont très variés sur le tronçon 5-7, le long duquel l'eau peut également s'infiltrer latéralement dans les terrains d'une petite plaine alluviale.

tion, lenteur, agitation (aération), rétention, faible profondeur (<50 cm), ainsi que grande surface de contact entre l'eau et le périphyton autoépuration.

Ces caractéristiques d'écoulement permettent par analogie, de conforter plusieurs hypothèses formulées quant aux modes de circulation de l'eau dans le système karstique de la Ronde [BLANT & JEANNIN 2003], mais aussi dans les conduits karstiques en général, qui favoriseraient l'autoépuration. Au vu des structures géologiques locales et de la succession des pertes entre les points 3 et 3' (dissémination), on peut penser que la première partie de l'écoulement souterrain est assuré par plusieurs chutes totalisant environ 300 m de dénivellation. Les infiltrations se feraient dans des séries étagées de conduits verticaux et de galeries horizontales aérées. Dans ces cavités l'eau s'égoutterait, éclabousserait les parois, coulerait en fins ruissellements avec une bonne agitation. Elle pourrait aussi passer parmi les blocs de galeries partiellement éboulées, comme le fait l'eau lorsqu'elle percole dans les installations d'épuration sur lits bactériens. Par ailleurs la température relativement fraîche des eaux souterraines par rapport aux eaux de surface (en été) favorise leur oxygénation. Dans cette zone, les écoulements souterrains seraient en contact avec un biofilm autoépuration microbien diversifié [RUSTERHOLTZ & MALLORY 1994] colonisant toute la surface des conduits et des blocs (surface de contact élevée). Cette zone aérée de transit serait responsable de la bonne capacité de nitrification et des taux d'oxygène dissous résiduels mesurés à la résurgence de la Rasse par MONTANDON *et al.* [1995, 1997].

Plus bas, la deuxième partie de la circulation des eaux se ferait en zone noyée. Entre la perte (3') et la source R, le plancher marneux de l'aquifère s'élève en un petit anticlinal parallèle au Doubs. Pour atteindre la source, l'eau ne peut pas transiter directement, mais doit contourner à l'ouest la barrière anticlinale. Cette disposition géologique explique la lenteur du parcours souterrain estimée à plus de 100 jours en période d'étiage [MONTANDON *et al.* 1995], alors que l'écoulement aérien a été estimé à 2,9 heures entre la STEP et le point 10 (avec des vitesses mesurées de 0,3 à 0,8 m/s). La rétention du système caractérisé probablement par des phénomènes de dispersion et de retardement hydrodynamique [HAUNS *et al.*

2001] devrait favoriser l'autoépuration par la durée du contact entre l'eau et le biofilm autoépuration. D'autre part, la lenteur de l'écoulement devrait également favoriser la sédimentation et probablement la dénitrification dans certaines parties anoxiques du réseau.

CONCLUSION

Dans le Jura, les effluents de stations d'épuration sont souvent concentrés à cause du manque d'eaux réceptrices de surface. Les eaux s'infiltrent rapidement dans les réseaux karstiques. Or l'autoépuration des eaux souterraines est encore peu connue. Plusieurs conditions hydrodynamiques analogiques favorisant l'autoépuration peuvent être dégagées de l'étude du cours aérien de la Ronde et des hypothèses formulées quant aux écoulements souterrains de ce cours d'eau. Ces modalités correspondent aux structures géomorphologiques fluviales décrites dans la littérature, qui favorisent : l'agitation, la rétention, la dissémination de l'eau et une grande surface de contact avec le substrat. Ces qualités peuvent être utilisées pour les projets de renaturation des rivières. A plus long terme, ces hypothèses mériteraient d'être vérifiées dans d'autres sites jurassiens, également à l'aide de méthodes complémentaires (chimie, bactériologie), le long d'écoulements karstiques variés accessibles. Il serait également intéressant d'étudier les variations d'efficacité des tronçons aériens et souterrain de la Ronde, en période de fonte des neiges ou de fortes pluies, lorsque la rétention du système souterrain est moindre. Enfin, maintenant que la capacité de la station d'épuration a été augmentée, une nouvelle campagne de prélèvements a été programmée, pour vérifier l'efficacité des travaux réalisés.

Remerciements. - MM. Jean-Jacques Miserez et Paul-Etienne Montandon (Service de l'hygiène et de l'environnement de la Ville de La Chaux-de-Fonds) ont contribué à cette étude par des informations et par leur regard critique sur ces résultats. Cette étude a été réalisée grâce à des crédits du service nommé ci-dessus. Nos remerciements vont également à trois évaluateurs anonymes qui ont révisés le texte de manière critique et pertinente.

Références bibliographiques

- BLANT D. & JEANNIN P.-Y., 2003. - Des eaux... à tous les niveaux. In Blant M., *Point(s) d'eau*. Ed. Direction des affaires culturelles de la Ville de la Chaux-de-Fonds : 31-45.
- BLANT M., BURRI P., MONTANDON P.-E. & ROD J., 2003. - La modernisation du réseau. In Blant M., *Point(s) d'eau*. Ed. Direction des affaires culturelles de la Ville de la Chaux-de-Fonds : 89-97.
- CN., 1982. - *Carte nationale de la Suisse*, 1: 50 000, Feuille 232, Vallon de St.-Imier. Office fédéral de topographie.
- ELOSEGUI A., ARANA X., BASAGUREN A. & POSO J., 1995. - Self-purification processes along a medium-sized stream. *Environmental Management*, 19 (6) : 931-939.
- GONSER T., 1994. - Ecosystèmes fluviaux : importance des facteurs physiographiques. *EAWAG News*, 36F : 12-16.
- HAUNS M., JEANNIN P.-Y. & ATTEIA O., 2001. - Dispersion, retardation and scale effect in tracer breakthrough curves in karst conduits. *Journal of Hydrology*, 241 : 177-193.
- HÜRLIMANN J. & NIEDERHAUSER P., 2002. - *Méthode d'étude et d'appréciation de l'état de santé des cours d'eau : Diatomées - niveau R (région)*. OFEFP, Berne, 111 p.
- HÜTTE M. & NIEDERHAUSER P., 1998. - Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Ecomorphologie niveau R (région). *Informations concernant la protection des eaux* 27, OFEFP, Berne : 1-49.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1986 - 91. - Bacillariophytae 1-4. In Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D., *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (begr. von A. Pascher), G. Fischer, Stuttgart, Band 2/1-4.
- LACHAT B., 1991. - *Le cours d'eau. Conservation, entretien et aménagement*. Conseil de l'Europe, Comité directeur pour la protection et la gestion de l'environnement, et du milieu naturel, Série aménagement et gestion 2 : 1-84.
- LEGENDRE L. ET LEGENDRE P., 1984. - *Ecologie numérique 1. Le traitement multiple des données écologiques*. (2e éd.). Coll. d'écologie 12, Masson, Paris, 260 p.

- McFARLAND B. H., HILL B. H. & WILLINGHAM W. T., 1997. - Abnormal *Fragilaria* spp. (Bacillariophyceae) in streams impacted by mine drainage. *Journal of Freshwater Ecology*, 12 (1) : 141-149.
- MCLAUGHLIN R. B., 1988. - Teratological forms. *The Microscope*, 36 : 261-267.
- MONTANDON P.-E., MAGES J. F. & MISEREZ J. J., 1995. - Etude de l'écoulement et de l'autoépuration du système karstique. Exemple de la vallée de la Ronde (Jura, Suisse). *Bulletin d'Hydrogéologie*, 14 : 1-22.
- MONTANDON P.-E., GOGNIAT, S., ROGNON P. & MISEREZ J. J., 1997. - Nitrification des eaux rejetées par la STEP de la Chaux-de-Fonds – Suisse – lors de leur passage dans le système karstique de la Ronde. In Jeannin P.-Y., Proc. 12th Int. Congress of Speleology, La Chaux-de-Fonds Switzerland, 10th – 17th August 1997, vol. 2 : 229-234.
- MUSY-RAMSEYER S., 2003. - La quête de l'eau. In Blant M., *Point(s) d'eau*. Ed. Direction des affaires culturelles de la Ville de la Chaux-de-Fonds : 79-87.
- NUNES M. L., DE ALMEIDA S. F. P., FERREIRA DA SILVA E., RINO J. & CARDOSO FONSECA E., 2003. - Les communautés de diatomées aux environs d'une ancienne mine de plomb (Coval da Mo - centre nord du Portugal. In Rincé Y., Actes du 21e colloque de l'association des diatomistes de langue française. Nantes 10-13 septembre 2002. *Bulletin de la Société des Sciences naturelles de Ouest de la France*, suppl. hors série, 2 : 166-186.
- RICHOZ O. & WALZER J., 2003. - La mesure de la toxicité de l'eau à la sortie de la STEP de la ville de La Chaux-de-Fonds, ainsi que son autoépuration le long de l'écoulement de la rivière de la Ronde. Travail de maturité, Lycée Blaise-Cendrars, La Chaux-de-Fonds, 57 p. et 8 annexes h.t.
- RUSTERHOLTZ K. J. & MALLORY L. M., 1994. - Density, activity, and diversity of bacteria indigenous to a karstic aquifer. *Microbial Ecology*, 28 : 1 : 79-99.
- SCHURCH S., 1993. - Etude de la capacité d'auto-épuration d'un trajet souterrain de La Ronde. Gymnase cantonal, La Chaux-de-Fonds, Travail de baccalauréat, 38 p.
- STRAUB F., 2003a. - La Ronde en juillet 2002. Etude hydrobiologique globale et estimation de l'intensité de l'autoépuration du cours aérien complet. Service de l'hygiène et de l'environnement, La Chaux-de-Fonds, 25 p. et 20 annexes h.t.
- STRAUB F., 2003b. - L'autoépuration de La Ronde : efficacité comparée du cours aérien et du cours souterrain. Service de l'hygiène et de l'environnement, La Chaux-de-Fonds, 17 p.
- VOUGHT L. B. M., DAHL J., PEDERSEN C. L. & LACOURSIÈRE J. O., 1994. - Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio*, 23 (6) : 342-348.

Résumé de communications

Impacts des pollutions métalliques sur les phytocénoses de diatomées benthiques : exemple de la pollution Cd/Zn du bassin du lot (Aveyron)

MORIN S.* , COSTE M.* , DEBENEST T.* , GOLD C.** , DUONG T.T.** & DELMAS F.*

Des modifications des caractéristiques structurales des communautés de diatomées benthiques soumises à une contamination métallique ont été mises en évidence par plusieurs études de terrain. Néanmoins, la plupart des indices diatomiques européens de bio-surveillance de la qualité des eaux (Indice Biologique Diatomées, Indice de Polluo-Sensibilité Spécifique) disponibles dans le logiciel OMNIDIA, s'ils fournissent une indication globale sur l'état de santé des écosystèmes, traduisent mal les effets spécifiques des pollutions métalliques sur les communautés.

Des échantillons de périphyton, collectés pendant l'hiver et le printemps 2004 le long d'un gradient de pollution polymétallique dans les rivières Riou-Mort et Riou-Viou (affluents du Lot, Aveyron France), ont été prélevés sur des substrats artificiels après trois semaines d'immersion dans les cours d'eau. La caractérisation de ces communautés jusqu'au niveau de l'espèce montre une modification de la composition taxonomique en relation avec le gradient de pollution. La présence de formes anormales (en termes de morphologie cellulaire et/ou d'ornementation des valves), dénombrées dans les différents échantillons, se révèle positivement corrélée aux teneurs en cadmium mesurées dans les biofilms. La toxicité des métaux vis-à-vis des diatomées a aussi été mise en évidence par l'appréciation de leur effet dépréciatif sur la croissance en longueur des cellules. Cette mesure morphologique simple et rapide est appliquée à une sélection d'espèces présentes dans toutes les stations prospectées dans des proportions suffisantes à une analyse statistique. Cela nous a permis de relier la teneur en cadmium mesurée dans les biofilms à une réduction significative de la longueur moyenne des valves des taxons étudiés : *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot, *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing, *Nitzschia dissipata* (Kützing) Grunow, *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, *Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot.

Les perturbations du fonctionnement cellulaire induites par les pollutions métalliques se manifesteraient ainsi au travers de certaines caractéristiques phénotypiques identifiables aisément. Cette approche fournit des résultats en faveur du développement d'indicateurs diatomiques des pollutions métalliques basés sur ce type de critères morphologiques.

*Cemagref, UR Qualité des Eaux, 50, rue de Verdun, F-33612 Cestas Cedex, France (soizic.morin@bordeaux.cemagref.fr ; michel.coste@cemagref.fr ; timothee.debenest@bordeaux.cemagref.fr ; francois.delmas@cemagref.fr)

**LEESA, Université Bordeaux 1, Station marine d'Arcachon, Place du Dr Peyneau, F-33120 Arcachon, France (c.gold@epoc.u-bordeaux1.fr ; duongthuy0712@yahoo.com)