Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 127 (2004)

Artikel: Traitement et évacuation des eaux usées de la ville de La Chaux-de-Fonds : impact des travaux de rénovation et d'agrandissement de la station d'épuration des eaux sur le milieu récepteur

Autor: Montandon, Paul-Etienne / Daval, Sylvie / Miserez, Jean-Jacques

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89617

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

TRAITEMENT ET ÉVACUATION DES EAUX USÉES DE LA VILLE DE LA CHAUX-DE-FONDS : IMPACT DES TRAVAUX DE RÉNOVATION ET D'AGRANDISSEMENT DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR

PAUL-ETIENNE MONTANDON, SYLVIE DAVAL & JEAN-JACQUES MISEREZ

Service de l'hygiène et de l'environnement, rue de la Serre 23, CH-2300 La Chaux-de-Fonds, Suisse.

Mots-clés: station d'épuration des eaux usées, système karstique, nitrification, Le Doubs, La Ronde, Cul-des-Prés

Keywords: sewage treatment plant, karstic system, nitrification, Le Doubs, La Ronde, Cul-des-Prés

Résumé

La station d'épuration des eaux usées (STEP) de la ville de La Chaux-de-Fonds (Jura neuchâtelois, Suisse; 38'000 habitants) a fait l'objet d'importants travaux d'agrandissement et de rénovation de 2000 à 2004. La mise hors service de l'un des deux bassins de traitement à boues activées pour transformation a provoqué une augmentation de la charge polluante des eaux épurées qui sont déversées dans la Combe du Valanvron où elles forment un ruisseau, La Ronde. Ces eaux s'infiltrent ensuite progressivement dans le sous-sol karstique. La zone d'infiltration, située entre 1 et 2.5 km en aval de la STEP, s'est peu à peu déplacée avec le colmatage superficiel du lit et le ruisseau a atteint régulièrement le petit lac du Cul-des-Prés qui se trouve à 5.7 km en aval de la STEP.

La ville de La Chaux-de-Fonds a alors entrepris une vaste campagne de prélèvement d'échantillons d'eau à la sortie de la STEP, dans La Ronde et aux résurgences du système karstique.

Les résultats de ces analyses ont révélé que le traitement des eaux usées n'était pas optimal pendant les travaux de rénovation du bassin à boues activées, mais ils ont montré qu'une amélioration de la qualité de l'eau avait bien lieu dans la partie aérienne du cours d'eau. On a également noté que le niveau d'épuration des eaux qui rejoignaient le Doubs après passage dans le sous-sol karstique était bien plus important que celui des eaux s'écoulant en surface. En effet, les eaux épurées subissaient une nitrification dans le sous-sol, c'est-à-dire que l'ammonium était oxydé en nitrates. La charge en polluants arrivant dans Le Doubs n'était donc pas aussi importante que l'on aurait pu le craindre.

Finalement, la mise en service le 14 juillet 2003 du nouveau bassin de traitement à boues activées a amené une amélioration considérable de la qualité des eaux épurées qui dès lors respectent les nouvelles exigences pour le déversement.

Zusammenfassung

Die Abwässerreinigungsanlage (ARA) von der Stadt La Chaux-de-Fonds (Neuenburger Jura, Schweiz; 38 000 Einwohner) hat von 2000 bis zu 2004 eine grosse Erweiterungs- und Renovierungsbauarbeiten unterzogen. Die Schliessung wegen Umbaus eines der beiden mit belebten Schlämmen Behandlungsbekken hat eine Zunahme der umweltschutzenden Lastung von geklärten Wässer verursacht, die in La Combe du Valanvron ausgeschüttet werden, wo sie einen Bach, La Ronde, bilden, der durch den kartischen Boden einsickert. Die zwischen 1 und 2.5 Kilometer unterhalb der ARA gelegene Eindringenzone hat sich allmählich mit dem oberflächlichen Dichten des Bettes an einen anderen Ort gestellt und der Bach hat den kleinen See von Le Cul-des-Prés regelmässig erreicht, der sich 5.7 Km unterhalb der ARA befindet.
Dann hat die Stadt La Chaux-de-Fonds eine weite Abnehmenskampagne von Mustern des Wassers am Ausgang der ARA, von La Ronde und an Widerauftauchen des karstischen Systems unternommen.
Die Ergebnisse dieser Analysen haben bewiesen, dass die Behandlung der Abwässer während der Renovierungsbauarbeiten des mit belebten Schlämmen Behandlungsbecken nicht optimal war, haben aber gezeigt, dass eine Verbesserung der Wasserqualität im Luftteile des Wasserlaufes wirklich da war. Es wurde auch festgestellt, dass das Klärungsniveau der Wasser, die nach einen Durchgang in karstischen Boden auf den Doubs stossen, grösser war als dieses der an Oberfläche ablaufenden Wasser. Die geklärten Wasser unterzogen nämlich eine Nitrifikation im Boden, das heisst, dass das Ammonium in Nitraten oxydiert war. Die in Le Doubs kommende Schadstoffladung war also nicht so beträchtlich, wie es zu befürchten war.
Schliesslich hat die am 14. Juli 2003 Eröffnung des mit belebten Schlämmen neuen Behandlungsbecken eine beachtliche Verbesserung von geklärten Wasserqualität gebracht, die von nun an die neuen Forderungen für Ausfliessen nachkommen.

Summary

The sewage treatment plant (STP) of the city La Chaux-de-Fonds (Swiss Jura; 38'000 inhabitants) was being rebuilt from 2000 to 2004. When one of the two activated sludge tanks was bypassed for restoration, there was an increase of waterborne wastes in treated waters which flow into the Valanvron valley, where they become a small river called La Ronde. This river progressively infiltrates into the karstic subsoil. The infiltration area, which is located 1 to 2.5 km downstream of STP, moved downward because of the superficial seal off of the riverbed; the river then regularly reached the small lake of "Le Cul-des-Prés", which is 5.7 km downstream of the STP.
The city La Chaux-de-Fonds has then started to collect water samples at the outlet of the STP, in the watercourse of La Ronde and at the resurgences of the karstic system.
The results of the analysis revealed that the water treatment at the STP was of course not optimal during restoration of the activated sludge tank. However they showed that the quality of water improved on the way to the lake of Le Cul-des-Prés. The purification level of the water which reached the Doubs river after having gone through the karstic system, was better than that of the water flowing down the Valanvron valley as far as the lake of Le Cul-des-Prés. Indeed, STP treated water underwent a nitrification in the karstic system, i.e. ammonium was oxidized into nitrates. The pollutant load that arrived into Le Doubs River was then not so important as we could have thought.
Finally, the putting into operation of the new activated sludge tank on 14 July 2003 considerably improved the quality of treated water, which since then respects the new standards.

1. INTRODUCTION

Les eaux traitées provenant de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de la ville de La Chaux-de-Fonds (38'000 habitants, Jura neuchâtelois, Suisse) sont déversées dans la Combe du Valanvron formant le ruisseau de La Ronde. Ces eaux s'infiltrent dans le sous-sol karstique pour disparaître à une distance de 1 à 2.5 km en aval de la STEP, n'atteignant le petit lac du Cul-des-Prés que lors de fortes précipitations. Les résurgences principales de ce système karstique au niveau du Doubs sont les sources de la Verrerie et de la Rasse (fig. 1; MONTANDON *et al.* 1995).

Les travaux effectués par le Service de l'hygiène et de l'environnement (SHE) de la ville de La Chaux-de-Fonds (MONTANDON *et al.* 1995; MONTANDON *et al.* 1997) ont montré que le parcours souterrain de La Ronde se déroule essentiellement en milieu à écoulement libre et que le système karstique présente de réelles capacités d'autoépuration, en particulier la nitrification de l'ammonium présent dans les effluents de la STEP.

Au cours du printemps 2003, le SHE a reçu des plaintes de particuliers relatives à la dégradation du cours d'eau de La Ronde, notamment au sujet de la présence de mousse à la sortie STEP, qui était en travaux de rénovation et d'agrandissement depuis 2000.

Très rapidement la presse, la télévision, les associations de pêcheurs puis quelques politiciens se sont relayés pour amplifier les problèmes de traitement d'eaux usées qui apparaissent inévitables lors d'importants travaux de rénovation d'une STEP. En effet, une lignée du traitement biologique des eaux par boues activées a été mise hors service au cours de l'année 2002 et jusqu'en juillet 2003, afin de la transformer et de rendre le traitement biologique des eaux plus performant que précédemment. Dans la foulée, la ville de La Chaux-de-Fonds a été accusée par l'Association des pêcheurs de Franche-Comté (France) d'être responsable de polluer les eaux de La Ronde et du Doubs; à l'appui de leur accusation, les pêcheurs ont relevé une dégradation de l'état de ces cours d'eau, qui s'est manifestée par le développement excessif d'algues dans certaines retenues (L'Impartial du 30 juillet 2003, quotidien édité à La Chaux-de-Fonds).

Afin d'aborder cette question, le SHE a entrepris une vaste campagne de prélèvements d'échantillons d'eau aux résurgences du système karstique de La Ronde qui est alimenté par le cours d'eau formé des eaux épurées. Dans cette note, nous décrivons brièvement le système karstique de La Ronde, rappelons comment les eaux usées ont été évacuées au cours de ces cent dernières années et présentons les résultats d'analyses des eaux à la sortie de la STEP, dans le cours de La Ronde et aux résurgences du système karstique.

2. CADRE HISTORIQUE ET RELATIONS HYDROLOGIQUES

La Ronde, ou Bied de la Ronde, est une source qui jaillit au centre de la ville et est captée actuellement pour un usage industriel (Centre d'incinération des ordures ménagères ou Cridor). Dans le passé, elle a d'abord été exploitée par les habitants comme une eau potable puis, dès le 17ème siècle, comme une source d'énergie pour actionner un moulin et une scierie à l'entrée de la Combe du Valanvron, où les eaux s'infiltraient ensuite dans des pertes (fig. 2).

Le cours d'eau a été utilisé pour l'évacuation des eaux ménagères au début du 19ème siècle; il a ensuite été canalisé et remplacé par un canal souterrain. Les déchets amenés avec les eaux usées s'accumulèrent et obstruèrent les pertes situées à l'entrée de la Combe du Valanvron et les égouts s'écoulèrent en permanence dans cette Combe.

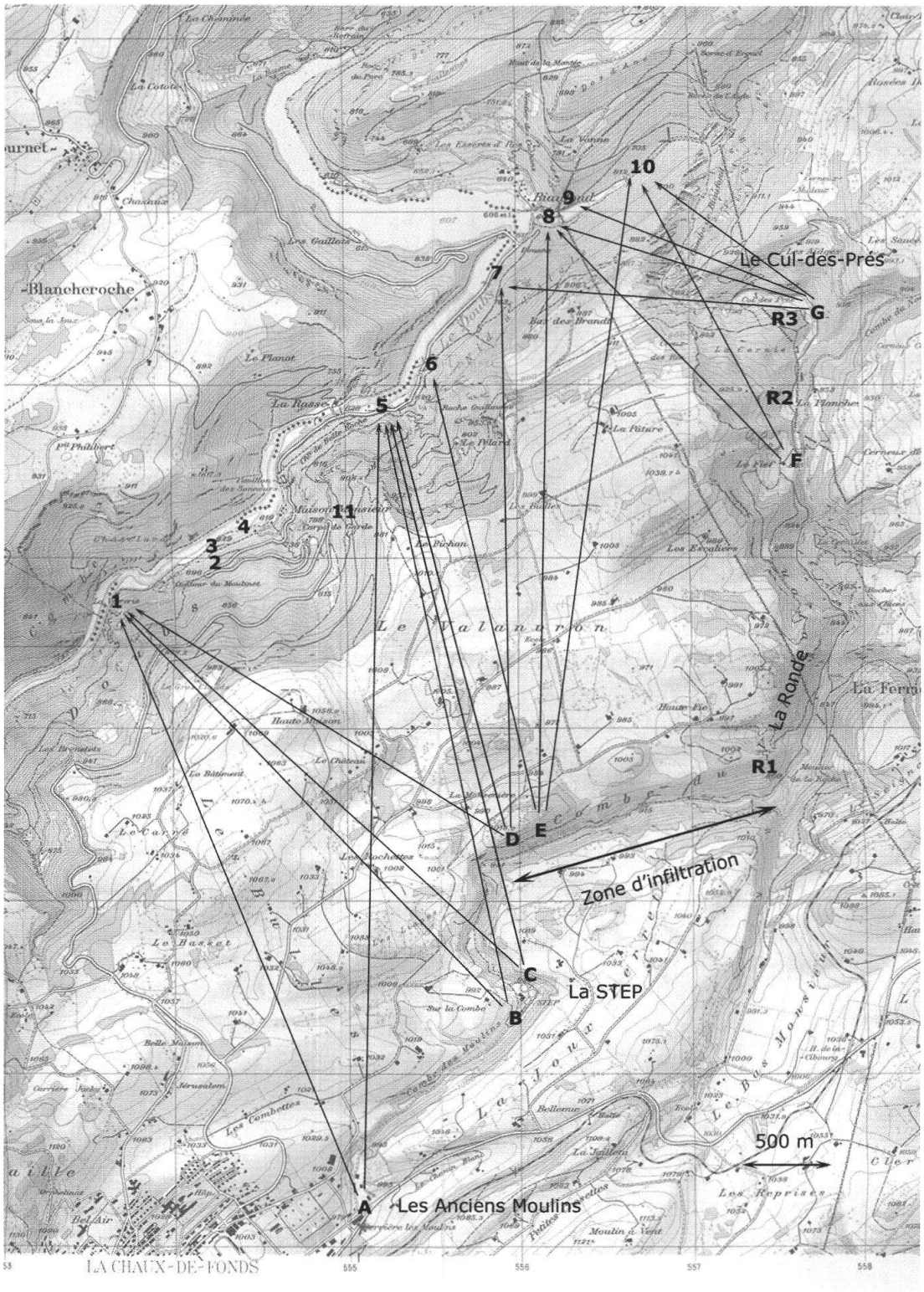

Figure 1: Ecoulements souterrains vers Le Doubs (modifié de la publication MONTANDON *et al.*, 1995). Les points d'injection sont donnés dans le tableau 3 et le nom des sources figure dans la note 1 de ce même tableau. La source de Bonaparte, source n°12, n'est pas mentionnée car elle se situe dehors de la zone couverte par la carte. R1, R2 et R3 correspondent aux points de prélèvements d'échantillons d'eau de La Ronde. (chapitre 4.2.2)

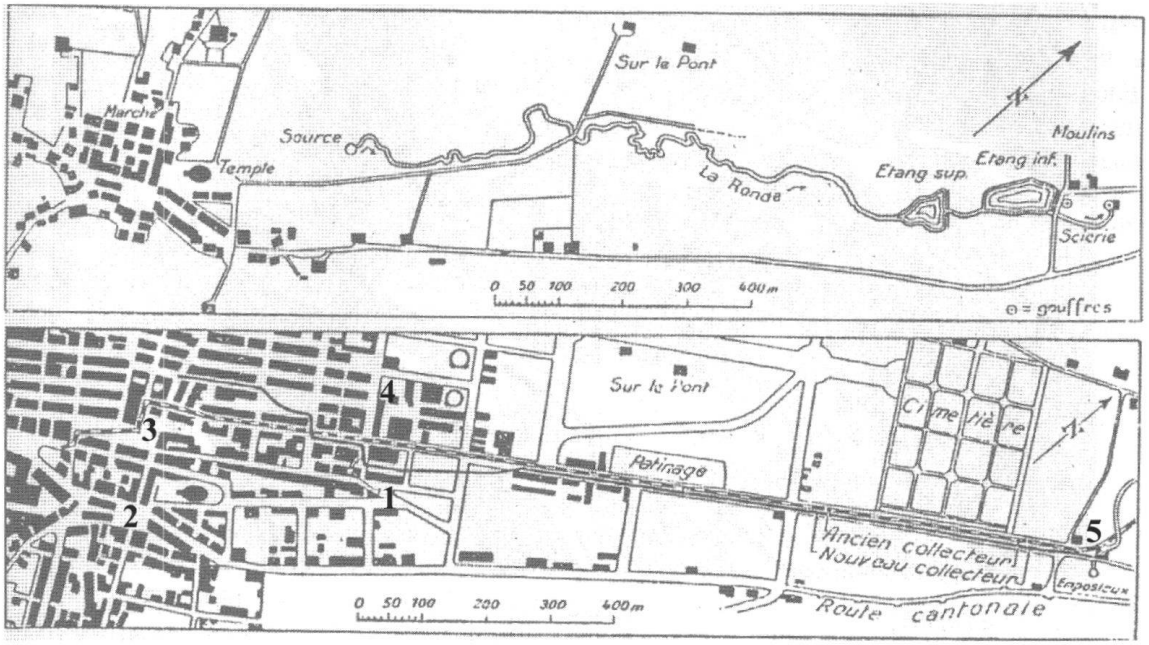

Figure 2: Vallée de La Chaux-de-Fonds, secteur NE, en 1795 en haut et en 1945 en bas. Les gouffres indiqué en haut correspondent aux anciens points d'infiltration de La Ronde (BOURQUIN *et al.*, 1946)
1: Source de La Ronde, 2: Place de l'Hôtel-de-Ville, 3: Place Neuve (Marché) avec Puits des Six-Pompes, 4: Usine à gaz, 5: Anciens Moulins

De 1907 à 1909, les pertes furent aménagées à l'instigation du géologue SCHARDT (1911), afin d'y recevoir la totalité des égouts de la ville.

De 1972 à 1975, une STEP a été construite dans la Combe du Valanvron à environ 1.5 km en aval des anciennes pertes, au lieu-dit «les Anciens Moulins» (fig. 1). Mise en service en 1975, elle comprend un traitement mécanique suivi d'un traitement biologique. Les eaux épurées sont déversées dans la combe du Valanvron où elles s'infiltrent progressivement dans le sous-sol calcaire pour réapparaître au bord du Doubs aux sources de la Verrerie et de la Rasse. Lors de précipitations importantes, les eaux usées gonflées par les eaux pluviales provenant de la ville (système unitaire) et d'écoulements périphériques s'écoulent dans la combe pour atteindre le lac du Cul-des-Prés après un parcours aérien de 5.7 km.

Dès 1992, il est apparu que les équipements électromécaniques de la STEP devaient être changés et que le traitement des eaux pluviales n'était plus suffisant. C'est pourquoi le Conseil communal a mandaté un bureau d'Ingénieurs, afin de préparer un projet pour l'assainissement et l'extension de la STEP. Les travaux de rénovation, commencés en 2000, se sont terminés en 2004.

2.1. La STEP

La STEP a été conçue pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales du synclinal de La Chaux-de-Fonds. L'épuration des eaux comprenait un traitement mécanique avec un dégrilleur, un dessableur, un déshuileur et une décantation primaire, ainsi qu'un traitement biologique par boues activées suivi d'une décantation finale. La qualité des eaux épurées devait respecter les normes de l'Ordonnance fédérale sur le

Tableau 1 : Qualité des eaux épurées déversées par la STEP[1]

Paramètre	2001[2]	2002[2]	2003[2] (jusqu'au 15.07.03)	2003[2] (dès le 16.07.03)	Exigences pour le déversement[3,4]
Demande biochimique en oxygène (DBO_5; mgO_2/l)	14.3 (16; 67)	14.8 (6,2; 54)	38 (24.2; 23)	4 (1.4; 7)	20
Matières en suspension (MES;mg/l)	18.2 (10; 192)	26.8 (13; 143)	39 (19; 129)	8 (4.2; 29)	20
Phosphore total (mgP/l)	0.44 (0.3; 157)	0.58 (0.5;143)	0.87 (0.5; 128)	0.35 (0.23; 28)	0.8

[1] valeurs fournies par la STEP

[2] la valeur moyenne avec l'écart type et le nombre de mesures effectuées pendant la période de mesure sont donnés entre parenthèse

[3] les exigences ont été fixées par le canton sur la base des normes de l'Ordonnance sur le déversement des eaux usées du 8.12.1975 (Odévers). Cette ordonnance a été remplacée par l'Ordonnance sur la protection des eaux du 28.10.1998 (OEaux), dont les valeurs sont plus restrictives que celles de l'Odévers. Les dispositions de l'OEaux devront être respectées lorsque les transformations de la STEP auront été terminées

[4] les exigences françaises pour le déversement des eaux épurées dans les eaux figurent dans l'arrêté du 2 février 1998 relatif au prélèvement et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ; les valeurs de rejet doivent respecter les valeurs de 35 mg/l pour les MES (rendement minimum de 95 %), 25 mgO_2/l pour la DBO_5 (rendement minimum de 90 %) et de 2 mgP/l pour le phosphore total (rendement minimum de 90%). A noter que l'arrêté fixe également une norme pour la demande chimique en oxygène (DCO) qui est de 125 mg/l (rendement minimum de 85 %).

Tableau 2 : STEP de La Chaux-de-Fonds : exigences pour le déversement des eaux traitées dans la nouvelle STEP (2003 -)

Paramètres	Exigences pour le déversement	
	Nouvelle STEP[1]	OEaux[2]
Demande biochimique en oxygène (DBO5; mgO2/l)	10	15
Matières en suspension (MES; mg/l)	10	15
Phosphore total (mg/l)	0.8	0.8
Ammonium (somme de NH^3 et NH_4^+) (mgN/l)	2	Le canton peut fixer des conditions selon les cas

[1] normes fixées par le canton

[2] Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998

déversement des eaux usées du 8 décembre 1975 (tab. 1), qui a été remplacée par l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux du 28 octobre 1998.

Avec les travaux d'extension et de rénovation qui ont débuté en 2000, La Direction des Travaux publics de la ville de La Chaux-de-Fonds a mis l'accent sur une amélioration du traitement des eaux pluviales et des eaux usées, afin de donner un aspect plus accueillant qu'auparavant à la Combe du Valanvron. La nouvelle STEP devra respecter des normes de rejet plus sévères que précédemment (tab. 2).

Sur le plan technique, les principales améliorations en matière de traitement des eaux seront les suivantes :

- Le volume des eaux pluviales traitées lors de fortes précipitations sera plus important que précédemment
- Le traitement des eaux usées inclura une nitrification de l'ammonium suivie d'une dénitrification, avec pour résultat une diminution de l'azote inorganique dans les eaux épurées par rapport aux eaux usées entrant dans la STEP
- La décantation secondaire, après redimensionnement, permettra d'abaisser le taux des matières en suspension dans les eaux épurées
- Les mesures prises au niveau du traitement biologique des eaux usées et de la décantation finale amèneront également un abaissement du carbone organique dissous et du carbone organique total dans les eaux épurées

Par conséquent, la nouvelle filière de traitement aboutira à une réelle diminution des éléments nutritifs dans les eaux épurées (carbone, azote, phosphore) par rapport à la situation prévalant avec l'ancienne STEP.

2.2. Le cheminement des eaux usées, respectivement, des eaux épurées jusqu'au Doubs

La région de La Ronde se trouve essentiellement en domaine karstique; les eaux de surface s'infiltrent par des pertes, dont certaines sont observables (dolines), et réapparaissent sous la forme de sources dans les Côtes du Doubs, au bord du Doubs (source de La Rasse) ou directement dans le lit de la rivière (source de La Verrerie).

Les circulations souterraines de ces eaux infiltrées ont été étudiées dès le début du 20ème siècle par des essais de traçage utilisant des colorants. Les principales communications hydrologiques révélées par ces essais entre le lit de La Ronde (Combe du Valanvron) et les sources sont présentées dans la figure 1 et dans le tableau 3.

On peut conclure de ces essais que les eaux usées, respectivement les eaux épurées, réapparaissaient au niveau du Doubs dans les sources suivantes:

1) de 1909 à 1975, soit avant la construction de la STEP, les eaux usées étaient infiltrées au lieu dit des anciens Moulins (fig. 1 et 2) mais, avec l'obstruction progressive des pertes, le ruisseau d'eaux usées s'écoulait dans la Combe du Valanvron en direction du lac du Cul-des-Prés (fig. 1); les sources de La Verrerie, de La Rasse, des Dames, les sources inférieure et supérieure de La Ronde à Biaufond et les sources du bas de la Combe de Biaufond étaient contaminées par les eaux usées

2) de 1975 à avril 2002, les eaux épurées à la STEP étaient déversées dans la Combe du Valanvron où le ruisseau s'infiltrait progressivement pour disparaître à une distance de 1 à 2.5 km en aval de la STEP (fig. 1; zone d'infiltration); les sources contaminées par les eaux épurées étaient donc La Verrerie, La Rasse, et, lors de fortes précipitations, la source inférieure de La Ronde et les sources du bas de la combe de Biaufond. Il est évi-

Tableau 3: Essais de traçage de la région Ronde-Valanvron [1]

Lieu d'injection avec coordonnées		Date de l'injection	Sources [2] suivies	Sources [2] touchées	Vitesse de transit [m/h] Pic max.	Régime hydrogéologique	Auteurs
A. Anciens moulin	550.050/218.160	Mai – septembre 1908	7, 8, 9	Aucune	?	?	H. Schardt
F. Le Fief	557.650/222.625	14 avril 1972	1 à 6/8 à 12	8 10	11.3 10.7	Hautes eaux	G-P Simeoni / CHYN
E. Lit de La Ronde	556.080/220.295	9 juin 1972	1 à 12	6 8 10	0.7 0.9 1	Etiage	B. Matthey / CHYN
A. Anciens Moulins	555.050/218.160	13 septembre 1972	1 à 6/8 à 12	1 5	18.4 27.9	Etiage puis début crues	B. Matthey / CHYN
A. Anciens Moulins	555.050/218.160	19 janvier 1973	1 à 12	1 5 7	21.7 28.6 19.5	Basses eaux	B. Matthey / CHYN
G. Cul-des-Prés (lac)	557.620/223.470	25 avril 1973	5 à 11	7 8 9 10A 10C	54 >50 >44 16.55 >62	Hautes eaux	B. Matthey / CHYN
D. Combe des Moulins [3]	555.970/220.250	25 juillet 1973	1 à 12	1 5 7	37 29 41	Fin de crues (hautes eaux)	B. Matthey / CHYN
A. Anciens Moulins	555.050/218.160	27 septembre 1979	5	5	?	Basses eaux	B. Schindler et P. Grobet
C. Combe des Moulins [3], sortie STEP	555.920/219.520	16 août 1990	1 à 12	1 5	32.4 26.3	Etiage	B. Matthey
B. Combe des Moulins[3], site de CITRED	555.800/219.175	23 août 1990	1 à 12	1 5	18.3 20.6	Etiage	B. Matthey

[1] Sources d'information : Schardt, 1911; Chyn, 1976; Matthey, 1990; Mages, 1994

[2] Sources, noms usuels avec coordonnées suisses:

1. Verrerie (ou Bas des Brenets)	553430 221350
2. Moulinet SE (ou Ruisseau, point 696)	554300 221940
3. Moulinet NW (ou Ruisseau du Bas du Moulinet)	554225 222040
4. Moulinet E	554350 222125
5. La Rasse	552210 222880
6. Tunnels	555470 223140
7. Sources des Dames	555825 223590
8. Source inférieure de La Ronde (ou résurgence karstique principale de Biaufaud)	556135 223990
9. Source supérieure de La Ronde (ou résurgence karstique secondaire de Biaufond)	556270 223995
10. Source du Bas de la Combe de Biaufond (ou Combe de Biaufond), n° 10A à 10C	556900 224400
11. Corps de garde	554860 222100
12. Chez Bonaparte	552820 220585

[3] Combe des Moulins: Combe de Valanvron

dent que, en cas de situations particulières et prolongées dans le temps, toutes les sources mentionnées sous chiffre 1 pouvaient être influencées par les eaux épurées

3) du mois d'avril 2002 à la mi-juillet 2003, l'une des deux lignées de traitement biologique a été mise hors service pour transformation d'un bassin dans le cadre des travaux de rénovation de la STEP ; les pertes situées dans le lit de la rivière se sont colmatées et le ruisseau des eaux épurées s'est donc écoulé en aval de la zone d'infiltration atteignant le lac du Cul-des-Prés; les sources contaminées par les eaux épurées étaient donc celles mentionnées sous chiffre 1

4) à partir de la mi-juillet 2003, les pertes obturées au cours des mois précédents se sont dégagées et le ruisseau d'eaux épurées disparaît à nouveau après 1 à 2.5 km en aval de la STEP. Les sources touchées sont donc essentiellement La Verrerie et La Rasse

2.3. Amélioration et rénovation de la STEP

Les travaux, qui ont débuté en 2000, se sont terminés en 2004. Ils ont été planifiés de telle sorte que la STEP fonctionne pendant toute la durée des transformations. Il est évident que certaines modifications n'ont pu être réalisées qu'en supprimant temporairement l'installation touchée, ne laissant en service qu'une seule ligne de traitement. C'est le cas par exemple de la rénovation des bassins de traitement à boues activées.

On peut résumer les principales étapes des travaux comme suit :

- 08/00 à 02/01: modification du bassin d'eaux pluviales (BEP) et du canal d'amenée au BEP
- 03/01: modification du canal de contournement de la STEP
- 09/01: début du traitement des boues par centrifugation et démontage des anciennes installations (filtre-presse)
- 10/01 : démontage de la grille orage; les déchets charriés par les eaux pluviales contournant la STEP ne sont plus retenus par la grille d'orage et ils parviennent donc dans la Combe du Valanvron où ils se déposent dans le lit de la rivière
- 11/01 : pose de la grille « Romag » dans le bassin d'eaux pluviales
- 11/01 à 07/03 : construction des décanteurs secondaires
- 04/02 à 07/03 : fermeture du bassin biologique nord pour travaux de transformation. Le traitement biologique des eaux usées, qui s'effectuait donc dans le bassin sud uniquement, n'était pas optimal pendant cette période. Mise en service du bassin de traitement par boues activées et du décanteur nord le 14 juillet 2003
- 05/02 à 08/03: construction du bâtiment des grilles et mise en service des grilles fines à la sortie des dessableurs
- 10/02: mise en service de la station de floculation pour favoriser la décantation dans les décanteurs primaires
- 05/03: augmentation de la quantité de floculant (polyacrylamide) ajouté avant la décantation primaire (chap. 4.1)
- 07/03 à 12/03: fermeture du bassin biologique sud pour travaux de transformation. Le traitement biologique par boues activées a lieu dans la première ligne (nord) mise en service le 14 juillet 2003
- 12/03: mise en service du bassin de traitement par boues activées et du décanteur sud
- 06/04: inauguration de la STEP rénovée

3. MÉTHODES

3.1. Prélèvements

Les échantillons ont été prélevés aux sources de La Rasse et des Ronde supérieure et inférieure au moyen d'appareils automatiques avec une fréquence de 2 à 4 prélèvements par jour selon les périodes. Des échantillons journaliers moyens ont été préparés et analysés comme décrit ci-après.

A la sortie de la STEP, les prélèvements journaliers ont été effectués en continu et en fonction du débit des eaux épurées évacuées dans la Combe du Valanvron.

Enfin, les échantillons ont été retirés du cours d'eau de La Ronde par des prélèvements instantanés.

3.2 Analyses

Les analyses ont été effectuées selon les méthodes usuelles (OFSP, 1989; RODIER, 1984; OFEFP, 1983).

L'ammonium, les nitrites et le bore ont été dosés par spectrophotométrie; le pH et la conductivité électrique ont été mesurés avec des électrodes spécifiques. Les teneurs en chlorures et en nitrates ont été déterminées par chromatographie ionique sous pression. La demande biologique en oxygène (DBO_5) a été analysée par respirométrie et les matières en suspension par gravimétrie. L'analyse de la demande chimique en oxygène a été effectuée par oxydation de la matière organique par le bichromate de potassium. Enfin, le carbone organique total (COT) a été dosé par infrarouge après minéralisation à chaud; quant au carbone organique dissous (COD), il a été mesuré comme décrit ci-dessus mais après filtration.

4. RÉSULTATS

4.1. Qualité de l'eau à la sortie de la STEP

La qualité des eaux traitées doit être conforme aux exigences fixées par le canton sur la base des normes fédérales. S'agissant de la STEP de 1975, trois critères ont été retenus par le canton (tab. 1) :

1. la demande biochimique en oxygène (DBO_5), c'est-à-dire la consommation en oxygène des eaux épurées. La DBO_5 sert à évaluer la quantité de polluants organiques dans les eaux épurées. Or, dans ce type d'essai, l'ammonium et les nitrites sont également oxydés, contribuant ainsi à la valeur de la DBO_5
2. les matières en suspension (MES) ou les matières insolubles totales
3. le phosphore total; le phosphore est un élément nutritif qui favorise le développement d'organismes dans les eaux, d'où un risque d'eutrophisation, si sa concentration dans les eaux est trop élevée

Le tableau 1 montre que les exigences pour le déversement des eaux épurées étaient respectées en 2001. Dès 2002, on enregistre des dépassements des valeurs moyennes pour les MES, puis pour les trois paramètres pendant le premier semestre de 2003. La situation, engendrée par la fermeture du bassin biologique nord pour raison de transformation (chap. 2.3), est redevenue normale avec la mise en service de la première ligne de traitement biologique de la nouvelle STEP. L'analyse des valeurs moyennes journalières mesurées au cours des années 2001 à 2003 révèle que les tolérances pour les MES, la DBO_5 et le phosphore sont respectées la plupart du temps en 2001 (résultats non présentés). Par contre, on note en 2002 de nombreux dépassements des normes pour les MES et le phosphore total, alors que les valeurs de la DBO_5 se situent généralement en dessous de la tolérance. Enfin, les valeurs mesurées pour les trois paramètres dépassent très fréquemment les normes respectives pendant le premier semestre de 2003.

L'augmentation de la quantité de floculant ajouté à l'entrée du décanteur primaire (chap. 2.3) n'a cependant pas amené d'améliorations significatives de la qualité des eaux épurées. En effet, on enregistre une augmentation très sensible des valeurs de la DBO_5 du début du mois de mai 2003 jusqu'à la mi-juillet 2003. La teneur en MES des eaux épurées s'est tout d'abord abaissée en début de période, puis a de nouveau atteint des valeurs équivalentes à celles

prévalant au cours du premier trimestre de 2003. L'addition de floculant n'a, en outre, pas eu d'influence notable sur la teneur en phosphore total des eaux épurées.

Enfin, les valeurs de ces trois paramètres ont très fortement diminué dès la mise en service du nouveau bassin biologique pour se stabiliser bien en dessous des nouvelles normes de rejet (tab. 2).

S'agissant du carbone organique dissous dans les eaux épurées, on observe une variation des valeurs semblable à celle observée pour les trois paramètres normés (COD; tab. 4); ce paramètre devra être contrôlé dans la nouvelle installation. La future norme était respectée en 1999 dans les anciennes installations. Par la suite, la valeur moyenne s'est progressivement élevée jusqu'à mi-juillet 2003 pour retomber à une valeur bien inférieure à la norme après la mise en service du nouveau bassin biologique.

4.2 La Ronde et les résurgences du système karstique

Pour mémoire, les eaux s'écoulant dans la Combe du Valanvron sont des eaux ménagères usées, qui ont été traitées à la STEP de La Chaux-de-Fonds, et auxquelles s'ajoutent les eaux pluviales, de fonte de neige et des eaux d'écoulements périphériques. Certaines de ces eaux d'écoulements périphériques sont probablement contaminées par des effluents de la STEP de La Ferrière et/ou des ruissellements provenant d'exploitations agricoles. L'aspect visuel, l'état biologique du lit de La Ronde et la qualité de l'eau du ruisseau formé dépendent donc de l'ensemble de ces différents apports.

4.2.1. Aspect visuel et état biologique

Dans une étude hydrobiologique globale réalisée en juillet 2002, Straub (2003 a) a montré que la qualité de l'eau s'améliore quelque peu entre l'exutoire de la STEP de La Chaux-de-Fonds et le lac du Cul-des-Prés. Cette épuration naturelle s'effectue par palier en fonction du degré de naturalité ou d'aménagement du ruisseau. La distribution de l'indice visuel de qualité de l'eau indique, toutefois, une légère détérioration de celle-ci à une distance de 3.75 km en aval de la STEP. Une faible augmentation du taux de vase à une distance de 5 km en aval de la STEP a également été constatée. Ces deux observations suggèrent que d'autres apports d'eaux que ceux provenant de la STEP de La Chaux-de-Fonds contribuent à la charge en matières organiques parvenant au lac du Cul-des-Prés.

L'auteur de cette étude ne partage pas cet avis; il estime que ces phénomènes résultent plutôt d'un regain d'épuration naturelle.

Straub (2003 b) a comparé, dans une seconde étude, l'activité autoépuratoire des trajets souterrains (fig. 1 : point «E» – source 5, La Rasse, soit 2.25 km à vol d'oiseau) et aérien (fig. 1: point «E» – Cul-des-Prés, soit 4.45 km) en juillet 2002 par l'examen des diatomées. Il a conclu que l'efficacité autoépuratoire du trajet souterrain était meilleure que celle du trajet aérien, bien que la qualité des eaux apparaissait semblable en fin de parcours. Cette contradiction apparente s'explique par le fait que l'efficacité autoépuratoire est calculée par la différence de l'état de pollution globale indiquée par les populations de diatomées entre les stations, puis est rapportée à la distance parcourue par l'eau, respectivement 2,25 km et 4,45 km pour les parcours souterrain et aérien. Revenant sur des échantillons collectés en 1992, Straub a également montré que les capacités autoépuratoires globales sur le trajet STEP-Rasse étaient semblables à celles de 2002; par contre, il a observé que cette activité était limitée à la partie souterraine du parcours (fig. 1 : point «E»-Rasse) en 1992, alors qu'en 2002 elle commençait déjà sur la partie aérienne du parcours, soit à environ 400 m en aval de la STEP.

Au début du mois de mai 2003, VON KÄNEL (2003) a évalué La Ronde sur le tronçon compris entre le point situé à 3.6 km en aval de la STEP (en amont de la station 7 de STRAUB 2003 a) et l'entrée de La Ronde dans le lac du Cul-des-Prés, soit à 5.7 km en aval de la STEP. Elle a considéré l'aspect visuel de l'eau et le recouvrement du lit de la rivière par la végétation. Les résultats de cette étude ont montré la présence d'organismes caractéristiques d'eaux usées sur les 5.7 km séparant la STEP du Cul-des-Prés, notamment des algues, des mousses et des macroinvertébrés, qui indiquaient une pollution plus importante qu'en juillet 2002 (STRAUB, 2003 a et 2003 b). Le lac du Cul-des-Prés était également fortement pollué; il s'y dégageait une odeur d'eaux usées que l'auteur a qualifiée de forte. Le sédiment était aussi envasé, suggérant des arrivées significatives de boues. Enfin, l'auteur n'a pas évalué l'influence de l'agriculture, estimant celle-ci négligeable par rapport à celle de la STEP de La Chaux-de-Fonds.

S'agissant de l'étang de Biaufond, le SHE a reçu, le 4 août 2003, un appel téléphonique signalant une coloration rouge de l'eau à un endroit situé entre l'embouchure du ruisseau provenant du bas de la combe de Biaufond et la résurgence de La Ronde supérieure (fig. 3a; coordonnées suisses : 556325 224025). L'analyse d'un échantillon d'eau a révélé la présence d'une algue unicellulaire du genre *Euglena* (fig. 3b; STRAUB *et al.*, 2004). Ce phénomène d'eaux rouges n'est pas habituel dans notre région; il se produit lorsque des conditions écologiques favorables au développement de ces algues apparaissent, notamment des températures élevées, un bon ensoleillement et des apports suffisants en phosphore et en azote.

4.2.2. Analyses de la qualité de l'eau sur le plan chimique

Plusieurs campagnes d'analyses d'eau ont été effectuées dans le cours de La Ronde et aux résurgences dès le mois de mai 2003.

La Ronde

Au cours du mois de juin 2003, l'eau de La Ronde a été analysée à trois endroits, soit respectivement à 2700 m (point R1), 5000 m (point R2) et 5700 m (point R3, entrée du lac du Cul-des-Prés) en aval de La STEP de La Chaux-de-Fonds (fig. 1; tab. 5). Les résultats ont montré que la quantité de matière oxydable par le bichromate de potassium (demande chimique en oxygène; DCO) diminuait du point R1 au point R3; s'agissant des composés azotés inorganiques, la teneur en ammonium, la forme réduite de l'azote inorganique, diminuait également, alors que la concentration en nitrates, la forme oxydée de l'azote inorganique, augmentait sur le même parcours. Ces résultats confirment les observations de STRAUB (2003 a et b) et attestent qu'une épuration naturelle a réellement eu lieu sur les 5700 m séparant l'exutoire de la STEP du lac du Cul-des-Prés.

Cette épuration naturelle se produit principalement dans la moitié aval du cours d'eau. En effet, des études réalisées en 1993 (MONTANDON *et al.*, 1995) ont révélé que les teneurs en ammonium restaient stables jusqu'à 1500 m en aval de la STEP. On observait, par contre, une légère augmentation de la teneur en nitrates dans un segment du cours d'eau situé entre 500 m et 1500 m en aval de la STEP. L'analyse des algues siliceuses (diatomées) présentes sur ce même tronçon a confirmé que les processus d'épuration naturelle ne sont pas très actifs juste après l'exutoire (SCHURCH, 1993). Par contre, une bonne autoépuration de l'eau a lieu dans le cours d'eau souterrain de La Ronde.

Contrairement aux résultats de 1993 (MONTANDON *et al.*, 1995), on note en juin 2003 une augmentation de la concentration en ammonium dans l'eau entre la sortie de la STEP et le point de prélèvement R1. En effet, la valeur moyenne mesurée à la sortie de la STEP du 2 juin au 2 juillet 2003

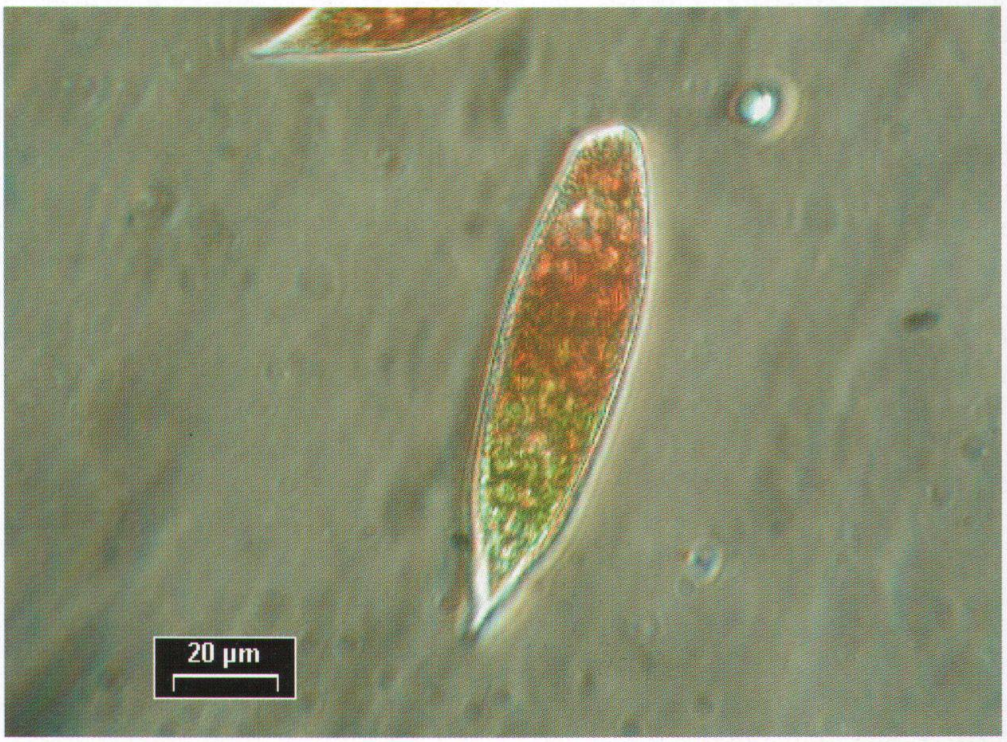

Figure 3a, *en haut*: Coloration des eaux de l'étang de Biaufond en rouge suite à une pullulation d'algues unicellulaires, 4 août 2003.

Figure 3b, *en bas*: Micrographie présentant l'algue unicellulaire du genre *Euglena sp.* responsable de la coloration en rouge de l'étang de Biaufond. La micrographie a été prise sur du matériel frais et a été réalisé en contraste de phase avec un microscope Olympus BH2 – RFCA équipé d'un appareil de photographie numérique Olympus Camedia C-3030 zoom.

(5 mesures) était de 16.4 mgN/l, alors que celle déterminée au point R1 se situait à 20 mgN/l (5 mesures également) pendant la même période.

Les résurgences du système karstique

Comme indiqué dans le chapitre 2.2, les eaux épurées provenant de la STEP de La Chaux-de-Fonds s'infiltrent dans le sous-sol calcaire où elles parviennent dans un système d'écoulement complexe. Les résurgences principales de ce système karstique sont les sources de La Verrerie et de La Rasse (fig. 1, sources 1 et 5), mais toutes les sources du versant suisse du Doubs peuvent être influencées, dans une moindre mesure, par les rejets de la STEP (GOGNIAT *et al.,* 1996). Les sources de La Ronde supérieure et de La Ronde inférieure dans l'étang de Biaufond appartiennent vraisemblablement à un système d'écoulement différent et plus important. En fait, GOGNIAT (non publié) a analysé la variation de la conductivité de l'eau des sources et de l'étang de Biaufond après de fortes précipitations en janvier 1997 et a conclu que la source des Dames (fig. 1, source 7) appartient au même système karstique que celui alimentant les sources de La Verrerie et La Rasse; par contre, l'eau de sortie de l'étang de Biaufond présentait une courbe de restitution de la conductivité bien différente de celle des sources de La Verrerie, de La Rasse et des Dames, indiquant qu'elle fait partie d'un autre système d'écoulement, qui est probablement en liaison avec celui de La Verrerie et de La Rasse. En effet, à l'appui de cette hypothèse, MATTHEY (CHYN, 1976) a montré une liaison entre le lit de La Ronde à environ 1200 m en aval de la STEP (tab. 3 et fig. 1) et La Ronde inférieure de l'étang de Biaufond, mais, lors de cet essai, le colorant a mis plus de cinq mois pour relier ces deux points.

La qualité des eaux aux résurgences de La Rasse et de La Verrerie a fait l'objet de plusieurs publications par le SHE (MONTANDON *et al.,* 1995; MONTANDON *et al.,* 1997). Les conditions d'écoulement dans le système karstique permettent une oxydation des polluants présents dans les effluents de la STEP, suggérant que le parcours souterrain se déroule en milieu à écoulement libre. Un bilan massique du flux de plusieurs polluants a également été effectué; il a, par exemple, montré que plus de 85 % de l'ammonium rejeté par la STEP est oxydé en nitrates.

Le SHE a réalisé une campagne d'analyses des eaux de La Rasse et des sources de La Ronde inférieure et de La Ronde supérieure à partir de la fin du mois de mai jusqu'au mois d'août 2003. Les sources des Rondes supérieure et inférieure émergeant dans l'étang de Biaufond, le SHE a mandaté deux plongeurs pour poser des sondes de prélèvement à 14 m (Ronde inférieure) et 4.20 m de fond (Ronde supérieure; L'Impartial du 2 juillet 2003). Les valeurs moyennes des principaux paramètres figurent dans le tableau 6. On peut relever que l'eau de La Ronde supérieure était de moins bonne qualité que celle de La Ronde inférieure. En effet, les teneurs moyennes en carbone organique total, en ammonium et en azote minéral (somme de l'ammonium, des nitrites et des nitrates) y étaient plus élevées. Par contre, la teneur en bore, un élément que l'on retrouve dans les détergents et dont la présence indique une pollution de l'eau par des eaux ménagères usées, se situait au même niveau dans les eaux des deux sources.

Cette observation indique qu'une partie de la pollution de la source de La Ronde supérieure provient d'apports autres que ceux d'une STEP, soit probablement d'écoulements d'origine agricole.

On constate également que la concentration en carbone organique total mesurée dans l'eau de La Rasse pendant la période du 9 août au 1er septembre 2003 est environ 4 fois plus élevée que celle déterminée pendant la période du 27 mai au 19 juin 2003. L'analyse de la variation des valeurs de carbone organique total au cours du mois d'août

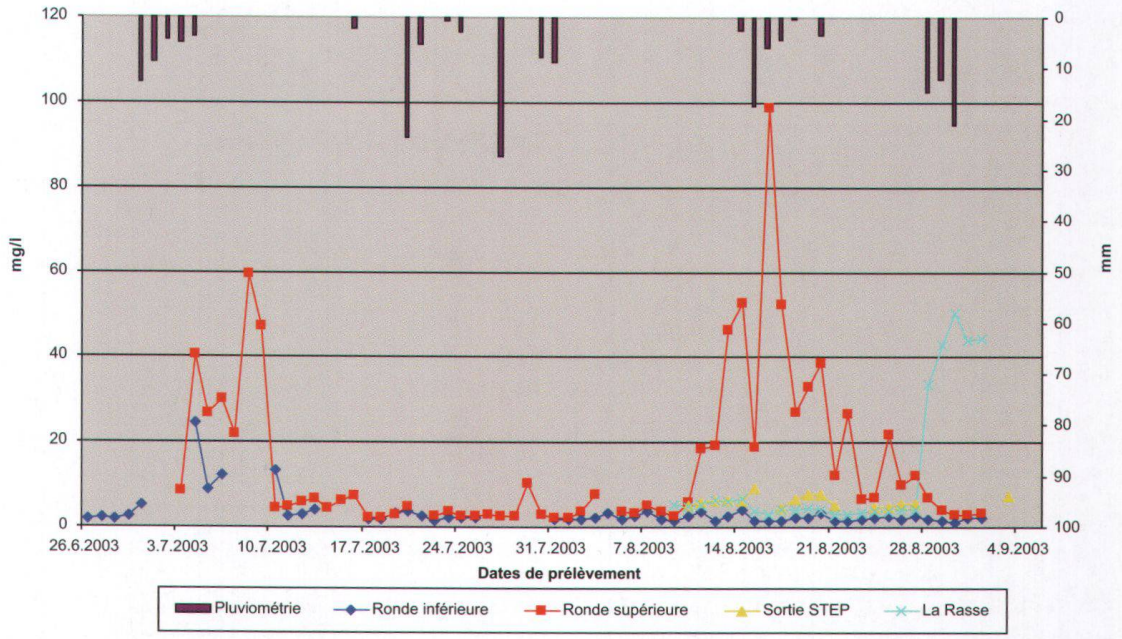

Figure 4: Carbone organique total aux sources inférieure et supérieure de La Ronde ainsi qu'à La Rasse

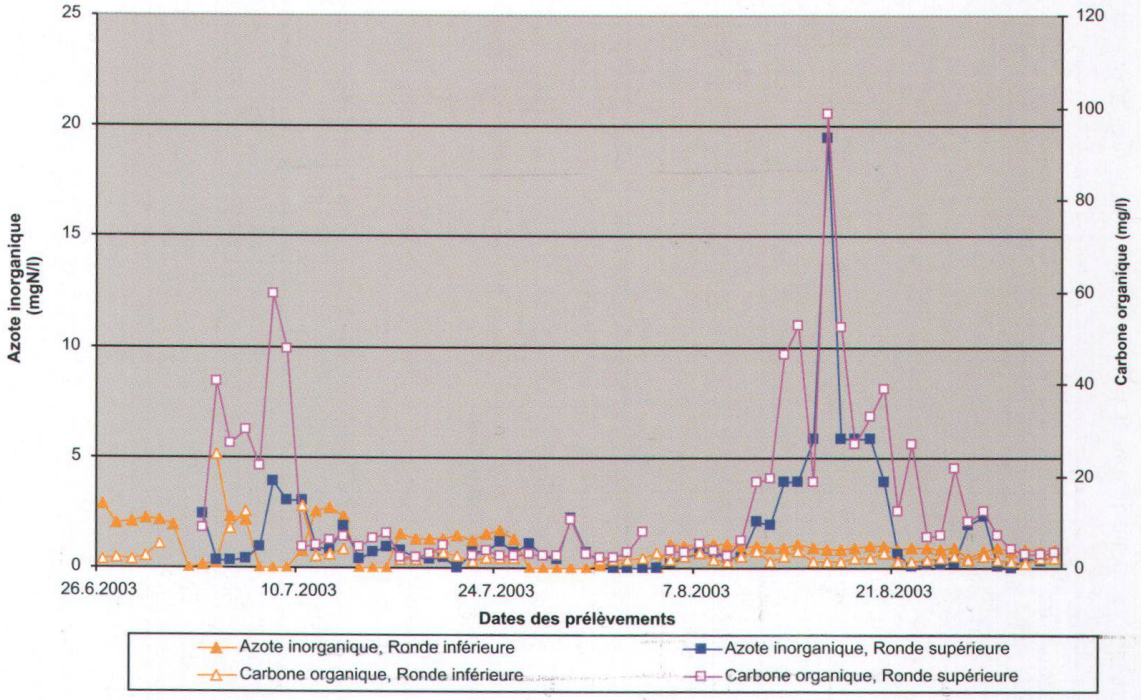

Figure 5: Azote inorganique et carbone organique total aux sources supérieure et inférieure de La Ronde

Tableau 4: Carbone organique dissous (COD) dans les eaux épurées déversées par la STEP [1] [2]

Paramètres	1999	2000	2001	2002	2003 (jusqu'au 15.7)	2003 (dès le 16.7)	OEaux, annexe 3.2
COD (mg C/l)	8.6 (3; 9)	11 (1.7; 10)	11.7 (3.1; 10)	13.1 (3.6; 10)	13.8 (1.5; 6)	6.7 (0.9; 3)	10

[1] valeurs mesurées par le canton et fournies par la STEP
[2] valeurs mesurées données avec l'écart type et le nombre de mesures entre parenthèse

Tableau 5: Azote inorganique et demande chimique en oxygène[1] dans le cours de La Ronde en juin et au début juillet 2003[2]

	2 juin 2003			5 juin 2003			12 juin 2003			18 juin 2003			2 juillet 2003		
	R1[3]	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
DCO (mg/O_2/l)	25	20	28	43.4	39.6	33.6	57	41	40	62.9	7.6	10	56.1	28.2	25.2
Ammonium (mg N/l)	16.8	12.6	11.4	18.3	18	16.9	24.2	21	19.4	26.1	17.3	16.7	14.6	13.1	11.1
Nitrites (mg N/l)	0.11	0.51	0.43	0.04	0.36	0.43	0.09	0.51	0.49	0.12	0.26	0.23	0.07	0.18	0.19
Nitrates (mg N/l)	0.45	1.3	1.7	0.25	1.4	1.9	0.06	0.32	0.4	0.02	0.71	1.1	0.06	0.21	0.34
Azote inorganique (mg N/l)[4]	17.4	14.4	13.5	18.6	19.8	19.2	24.3	21.8	20.3	26.2	18.3	18	14.7	13.5	11.6

[1] demande chimique en oxygène (DCO) : quantité de matière oxydable par le bichromate de potassium exprimée en équivalent oxygène par litre
[2] valeurs fournies par la STEP
[3] RI : 2.7 km en aval de la STEP; R2 : 5 km en aval de la STEP; R3 : 5.7 km en aval de la STEP (entrée dans le lac du Cul-des-Prés)
[4] somme des nitrites, nitrates et de l'ammonium

Tableau 6: Teneurs en carbone organique total et en azote inorganique des eaux des Ronde supérieure et inférieure ainsi qu'à La Rasse (campagne d'analyses du 26 juin au 1 septembre 2003)

Lieu	pH	Conductivité (µS/cm)	Chlorure (mg/l)	Bore (mg/l)	Carbone organique (mgC/l)	Ammonium (mg N/l)	Nitrites (mg N/l)	Nitrates (mg N/l)
Ronde supérieure[1]	7.5 (0.3)[2]	477.8 (123)	12.6 (3.1)	0.04 (0.04)	15 (18.7)	1.3 (2.9)	0.05 (0.1)	0.28 (0.5)
Ronde inférieure[3]	7.5 (0.2)	472.5 (18)	12.2 (3.6)	0.04 (0.05)	3.3 (3.7)	0.03 (0.08)	0.12 (0.3)	0.82 (0.6)
Rasse[4]	7.7 (0.3)	486.3 (23)	32.1 (2.2)	NE[5]	3.3 (1)	0.04 (0.06)	0.01 (0.01)	1.76 (1.8)
Rasse[6]	7.7 (0.3)	512.7 (183)	58.4 (45)	0.13 (0.11)	12.3 (15.8)	0.11 (0.13)	0.02 (0.02)	3.37 (2.7)

[1] 3 juillet 2003 – 1 septembre 2003
[2] écart type
[3] 26 juin 2003 – 1 septembre 2003
[4] 27 mai 2003 – 13 juin 2003
[5] NE : non effectué
[6] 9 août 2003 – 1 septembre 2003; les analyses du bore n'ont été effectuées que jusqu'au 14 août 2003.

(fig. 4) suggère toutefois que la STEP de La Chaux-de-Fonds n'est pas impliquée.

Plus précisément, la figure 4 montre deux arrivées massives de carbone organique total à La Ronde supérieure du 4 au 9 juillet et du 11 au 21 août 2003. On observe également une augmentation des teneurs en azote inorganique pendant la période du 11 au 21 août (fig. 5). Ces venues de carbone organique total s'accompagnent d'une augmentation de la concentration en bore de l'eau pendant la période du 4 au 9 juillet 2003 (non montré), ce qui suggère une pollution de l'eau par des eaux ménagères usées.

La pollution du 11 au 21 août 2003 ne provient certainement pas de la STEP de La Chaux-de-Fonds mais aurait été plutôt causée par des écoulements d'origine agricole. En effet:

1. la mise en service du nouveau bassin biologique de la STEP a eu lieu le 14 juillet 2003. Le cours d'eau formé par les eaux épurées a alors très rapidement régressé, la zone d'infiltration située à une distance de 1 à 2.5 km en aval de la STEP étant de nouveau active. Or, aucune liaison hydrologique n'a été mise en évidence entre la moitié amont du cours d'eau de La Ronde et la résurgence de La Ronde supérieure

2. les teneurs en carbone organique dissous mesurées à la sortie de la STEP ont varié entre des valeurs de 12 à 15 mgC/l pendant le premier semestre de 2003, puis entre 6 et 8 mgC/l dès la mise en service du nouveau bassin biologique, alors que les concentrations en carbone organique total ont atteint 100 mgC/l dans l'eau prélevée de La Ronde supérieure

3. les teneurs en bore n'ont pas varié de manière significative dans l'eau de La Ronde supérieure pendant cet épisode de pollution

La figure 4 montre également une élévation sensible de la concentration en carbone organique total à la source de La Rasse à partir du 28 août 2003, alors que les teneurs en carbone organique dissous à la sortie de la STEP étaient basses et stables puisqu'elles se situaient entre 6 et 8 mgC/l. Là encore, on peut affirmer que la STEP de La Chaux-de-Fonds n'est pas directement responsable de cet événement. Cependant, l'origine de cette pollution ne peut pas être déterminée avec précision, car divers éléments, dont le bore, n'ont pas été analysés à cette période. Il peut donc s'agir d'une pollution de type agricole ou d'une remise en suspension de particules organiques présentes dans le système karstique, après les fortes précipitations qui ont eu lieu à la fin du mois d'août 2003.

5. DISCUSSION

Nous avons montré que les valeurs de la DBO_5, des MES et du phosphore total dans les eaux épurées par la STEP respectaient les normes en 2001 ; ces valeurs se sont progressivement élevées au cours de 2002, dépassant de plus en plus fréquemment les normes de rejet. En 2003, les normes n'étaient plus respectées du mois de janvier à la mi-juillet; l'augmentation de la quantité de floculant ajouté avant le décanteur primaire n'a pas permis d'améliorer la situation. Cette période de dépassement des normes de rejet coïncide avec celle de la fermeture de l'une des deux lignes de traitement biologique pour travaux de transformation. Par contre, si l'on se réfère aux normes françaises (tab. 1, note 4), la situation n'était pas si grave, puisque les valeurs limites sont moins sévères que celles qui étaient appliquées à l'ancienne STEP. A titre d'exemple, on peut relever que la valeur moyenne des MES, soit 38 mg/l, se situait juste au-dessus de la norme française qui est de 35 mg/l. La mise en service du nouveau bassin biologique, le 14 juillet 2003, a été suivie par une amélioration considérable de la qualité des eaux épurées.

Malgré une qualité somme toute acceptable des eaux épurées, on a constaté un colmatage rapide du lit de La Ronde dès le

milieu de 2002; le ruisseau formé par les eaux épurées s'est alors écoulé au-delà de la zone d'infiltration (1 à 2.5 km en aval de la STEP) pour atteindre régulièrement le Cul-des-Prés. Il est évident que le passage de ces eaux a laissé des traces dans le lit de La Ronde, dans lequel ne coulaient auparavant que des eaux de fonte de neige et des eaux pluviales. La pollution amenée par les eaux épurées a, assurément, aggravé l'état du lac du Cul-des-Prés, qui selon toute vraisemblance reçoit aussi régulièrement d'autres sources de pollution (apports agricoles, autres stations d'épuration des eaux).

Le floculant utilisé (Praestol 2440 de la maison Degussa) est constitué de polyacrylamide, un polymère de l'acrylamide. Or, le polymère contient toujours des résidus d'acrylamide, une substance toxique pour le système nerveux périphérique et qui se dégrade en ammonium dans l'environnement (Smith *et al.,* 1996). La formation d'ammonium par dégradation de l'acrylamide au cours du traitement biologique des eaux usées explique probablement l'augmentation significative de la concentration en DBO_5 dans les eaux épurées du mois de mai à la mi-juillet 2003. Il est également vraisemblable que la dégradation de l'acrylamide se soit poursuivie dans le cours d'eau de La Ronde, contribuant ainsi à l'élévation de la concentration en ammonium dans l'eau au début de la Combe du Valanvron (chap. 4.2.2, La Ronde), et par là à la consommation de l'oxygène dissous.

En effet, l'oxydation d'une molécule d'ammonium en nitrate consomme deux molécules d'oxygène moléculaire. Ainsi, l'utilisation du floculant a permis de maintenir le taux de matière en suspension à une valeur acceptable dans les eaux épurées, mais l'augmentation des quantités injectées dès le mois de mai 2003 a sans doute provoqué un ralentissement de l'épuration naturelle dans le cours aérien de La Ronde, d'où une aggravation de la pollution des eaux du lac du Cul-des-Prés.

Au niveau des résurgences du système karstique, les analyses d'eau ont révélé une contamination des sources par des eaux ménagères usées à laquelle s'ajoutaient des pollutions, probablement d'origine agricole, parfois importantes notamment en ce qui concerne la source de La Ronde supérieure. Pour mémoire, cette source ainsi que les sources du bas de la combe de Biaufond présentent des liens hydrologiques avec le lac du Cul-des-Prés. La sécheresse, qui a sévi durant le printemps et l'été 2003, a aggravé la pollution des eaux qui n'étaient plus diluées par les eaux pluviales. La conjonction de ces éléments et des températures élevées de l'été ont provoqué un développement inhabituel d'algues, un phénomène visible au début d'août 2003 par la coloration en rouge de l'eau de l'étang de Biaufond due à la multiplication d'algues du genre *Euglena*.

Un développement effréné d'algues a également été observé au cours des mois de mai et de juin 2003 dans différentes retenues du Doubs, provoquant des amas de boues flottantes (Straub *et al.*, 2004). Ce phénomène a été déclenché par les conditions atmosphériques inhabituelles; en effet, l'eau du Doubs contient, en temps normal, suffisamment d'azote et de phosphore pour favoriser le développement d'algues lorsque les conditions météorologiques deviennent favorables.

Il est difficile d'évaluer l'impact des travaux de rénovation de la STEP sur Le Doubs. Il faut, toutefois, rappeler que les eaux épurées n'arrivent pas directement dans le Doubs, mais parviennent à la rivière après passage dans le système karstique de La Ronde, au cours duquel ont lieu des processus d'oxydation (Montandon *et al.* 1997) qui diminuent la charge polluante de ces eaux. Or, cette épuration naturelle était toujours active pendant la période des travaux, même si les eaux épurées s'écoulaient dans la Combe du Valanvron au-delà de la zone d'infiltration. En effet, elles atteignaient

Le Doubs en empruntant un parcours souterrain probablement différent de celui de La Ronde, mais en liaison avec ce dernier (chap. 4.2.2). Les analyses des composés azotés inorganiques ont révélé des teneurs en nitrates plus élevées que celles en ammonium dans l'eau des sources de La Rasse et de La Ronde inférieure (tab. 5), démontrant ainsi que l'ammonium était oxydé en nitrates lors du passage des eaux épurées dans le sous-sol. Cette nitrification de l'ammonium suggère que l'épuration naturelle des eaux a bien fonctionné pendant les travaux de rénovation et que le flux massique des polluants parvenant dans Le Doubs n'était pas trop élevé. La présence d'oxygène dissous dans les eaux de La Rasse et de La Ronde inférieure renforce cette conclusion (SCHASSMANN 1995).

Enfin, nous relèverons que le Ministère public a classé la plainte émanant de l'Association des pêcheurs de Franche-Comté, estimant que le canton de Neuchâtel et la STEP de La Chaux-de-Fonds avaient pris les mesures nécessaires pour éviter de polluer Le Doubs pendant les travaux de transformation (L'Impartial du 11 novembre 2003).

En conclusion, nous avons démontré dans le présent travail que le traitement des eaux usées à la STEP de La Chaux-de-Fonds n'était pas optimal pendant les travaux de transformation du bassin biologique nord.

Toutefois, les analyses ont révélé que le dépassement des exigences pour le déversement des eaux épurées n'était pas aussi important qu'annoncé par certains médias. Il y a certes eu une augmentation des flux massiques de polluants déversés dans La Ronde, mais les processus d'épuration naturelle ont bien diminué cette charge avant l'arrivée de ces eaux dans Le Doubs. Enfin, la mise en service le 14 juillet 2003 du nouveau bassin de traitement à boues activées a permis d'améliorer le traitement des eaux usées et les nouvelles exigences pour le déversement des eaux épurées sont largement respectées depuis cette date.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Jacques Vidal, chef de la STEP, et Martial Farine, laborantin à la STEP, de nous avoir transmis les données relatives à la STEP, Muriel Anderegg de son aide précieuse au laboratoire, Floriane Montandon de la traduction du résumé en allemand et de ses conseils pour la version anglaise du résumé et Sabine Brocers ainsi que Delphine Arnoux, toutes deux au Service de l'hygiène et de l'environnement, de leurs suggestions et respectivement de la dactylographie et de la mise en page du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

BOURQUIN, P.; SUTER, H. & FALLOT, P. 1946. Carte géologique 1:25'000 de l'Atlas géologique de la Suisse, feuille 15 Biaufond – Les Bois – La Ferrière – St-Imier, avec note explicative.

CHYN. 1976. Etude hydrobiologique et hydrogéologique des écoulements superficiels et souterrains des eaux épurées de la ville de La Chaux-de-Fonds. Devis et plan d'étude. *Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, Neuchâtel, Suisse.*

GOGNIAT, S.; MONTANDON, P-E. & MISEREZ, J-J. 1996. Estimation de l'influence des rejets de la STEP de La Chaux-de-Fonds sur quelques sources des Côtes-du-Doubs (Haut-Jura neuchâtelois, Suisse). *Bull. d'Hydrogéologie* 15: 63-67.

MAGES, J-F. 1994. Action Cost 65, Projet n° 3.1. Etude géologique et hydrogéologique de la région de La Chaux-de-Fonds – La Ronde – Valanvron. *Service de l'hygiène et de l'environnement de La Chaux-de-Fonds. La Chaux-de-Fonds. Suisse.*

MATTHEY. B. 1990. Centre d'identification, de traitement et de recyclage des déchets CITRED, protection de l'environnement, étude de faisabilité. *Ed. bureau ATESA, vol. 6. Eaux souterraines. République et canton de Neuchâtel, département des travaux publics. Neuchâtel. Suisse.*

MONTANDON, P-E.; MAGES, J-F. & MISEREZ J-J. 1995. Etude de l'écoulement et de l'autoépuration d'un système karstique. Exemple de la vallée de la Ronde (Neuchâtel, Suisse). *Bull. d'Hydrogéologie* 14: 177-178.

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. (éd). Proceedings of the 12th international congress of speleology, *La Chaux-de-Fonds, Switzerland, 10th – 17th August 1997.* Vol. 2: 229-234.

OFEFP. 1983. Directives concernant l'analyse des eaux usées et des eaux de surfaces. *Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage. Berne. Suisse.*

OFSP. 2003. Eau potable. Manuel suisse des denrées alimentaires, chapitre 27. *Office fédéral de la santé publique. Berne. Suisse.*

RODIER, J. 1984. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7ème éd. *Dunod. Paris.*

SCHARDT, H. 1911. Le cours d'eau souterrain de la Ronde. *Bull. soc. neuchâtel. Sci. nat.* 37: 3-18.

SCHASSMANN, H. 1965. Ursachen, Folgen and Bekämpfung von Grundwasserverunreinigungen in der Schweiz. *In*: Internationales Jahrbuch chemische Industrie: 3-16. *Druck und Verlage Vog-Schild AG, Solothurn. Suisse.*

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. La Chaux-de-Fonds, Suisse.*

SMITH, E-A.; PRUES, S-L. & OEHME, F-W. 1996. Environmental degradation of polyacrylamide. 1. Effects of artificial environmental conditions: temperature, light, and pH. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 35: 121-135.

STRAUB, F. 2003 a. La Ronde en juillet 2002: étude hydrobiologique globale et estimation de l'intensité de l'autoépuration du cours aérien complet. *Etude effectuée pour le Service de l'hygiène et de l'environnement de la ville de La Chaux-de-Fonds. La Chaux-de-Fonds. Suisse.*

STRAUB, F. 2003 b. L'autoépuration de la Ronde: efficacité comparée du cours aérien et du cours souterrain. *Etude effectuée pour le Service de l'hygiène et de l'environnement de la ville de La Chaux-de-Fonds. La Chaux-de-Fonds. Suisse.*

STRAUB, F.; POKORNI, B.; MISEREZ, J-J. & MONTANDON, P-E. 2004. Note algologique III. Nuisances algales dans le Jura suisse en 2003. *Bull. soc. neuchâtel. Sci. nat.* 117: 57-67.

VON KÄNEL, A. 2003. La Ronde: étude biologique du 7 mai 2003, en aval de la STEP de La Chaux-de-Fonds pendant la phase d'agrandissement de la STEP. *Laboratoire pour la protection des eaux et du sol du canton de Berne. Berne. Suisse.*