



ELSEVIER

Desalination 152 (2002) 113–124

DESALINATION

www.elsevier.com/locate/desal

Traitement des eaux du bassin hydrographique de la Tafna (N-W Algeria)

Benamar Dahmani^{a*}, Fatiha Hadji^b, Farouk Allal^c

^aDépartement de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Tlemcen, BP 119, 13000 Tlemcen, Algérie

Tel. +213 (43) 212451; Fax: +213 (43) 212451; email: b_dahmani@mail.univ-tlemcen.dz

^bDépartement des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Tlemcen, Algérie

Tel. +213 (43) 211008; Fax +213 (43) 211008; email: Fat_Mhm@hotmail.com

^cAgence de Bassin Hydrographique Oranie-Chott-Chergui, Direction Générale, Ministère des Ressources en Eau, 2, rue des frères Bouchakour, Hai El Bachir, BP 11051 Oussama 31000 Oran, Algérie

Tel. +213 (41) 400695; Fax +213 (41) 407988; email: f_allal@yahoo.fr

Received 31 March 2002; accepted 15 April 2002

Abstract

Le bassin versant de l'Oued Tafna est formé par les reliefs et des zones déprimées, qui s'alternent du Nord au Sud et dont le volume augmente considérablement dans le même sens. Le réseau hydrographique a un tracé général orthogonal même si la Tafna et ses principaux affluents décrivent sinuosité et méandre, sa densité et son abondance augmentent dans le même sens que le volume des reliefs, c'est à dire vers le Sud. Les apports les plus importants et les plus fluctuants pour la moyenne et la basse Tafna, sont observés pendant l'hiver et le printemps, pour le reste de l'année, les apports sont faibles, ou le plus souvent sont alimentés par les rejets d'eaux usées urbaines et industrielles, comme c'est le cas pour l'Oued Mouilah, où les eaux usées constituent l'essentiel du débit d'étiage. Le bassin hydrographique de la Tafna a une superficie de 7,250 km² et alimente cinq barrages qui sont du plus ancien au plus récent Beni Bahdel (66 Hm³), Meffrouch (15 Hm³), Sidi Abdeli (110 Hm³), Hammam Bouhrara (177 Hm³) et celui en cours de construction Sikkak (27 Hm³). Les données montrent que les augmentations de la turbidité et du MES pendant les crues sont dues essentiellement aux teneurs en matières minérales grossières et que l'accroissement de la conductivité à l'étiage est du à une forte concentration en NaCl (jusqu'à 14 g/l). Le réseau hydrographique peut être séparé en deux zones soumises à des conditions différentes; la zone amont, stable, peu influencée par les variations de débits et la zone avale, soumise à l'alternance crue-étiage, aux eaux très chargées en matières minérales

*Corresponding author.

Presented at the EuroMed 2002 conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries: Cooperation between Mediterranean Countries of Europe and the Southern Rim of the Mediterranean. Sponsored by the European Desalination Society and Alexandria University Desalination Studies and Technology Center, Sharm El Sheikh, Egypt, May 4–6, 2002.

0011-9164/02/\$— See front matter © 2002 Elsevier Science B.V. All rights reserved
PII: S0011-9164(02)01054-8

hydrographique de la Tafna est caractérisée par une eau très minéralisée puisqu'elle présente une conductivité au niveau des sources de 600 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en moyenne liée à la nature des terrains traversés. Cette minéralisation augmente de l'amont vers l'aval, ceci est lié en majeure partie aux chlorures. Une prise d'eau juste avant l'embouchure de la Tafna est effectuée à un débit de 11 340 m^3/h . Cette eau brute est prétraitée par deux décanteurs — flocculateurs de 58 m de diamètres chacun. L'eau prétraitée est pompée vers la station de traitement de Dziuoua qui se trouve sur le bassin des côtières oranais de l'Agence de Bassin Hydrographique Oranie-Chott-Chergui dont fait partie le Bassin Versant de la Tafna où l'eau est stockée dans un cratère de volume de 13 000 000 m^3 . Cette eau est aérée et traitée par des filtres à sables avec une production de 24 000 m^3/j . Cette quantité d'eau alimente particulièrement les couloirs des villes de Béni Saf, d'Aïn Temouchent et d'Oran; cette dernière grande ville ayant besoin d'une quantité de 320 000 m^3/j . Les eaux du bassin hydrographique de la Tafna sont traitées par ce procédé physico-chimique dont il a éliminé presque entièrement les matières en suspension et les matières organiques mais laisse passer les sels dissous de concentration de l'ordre de 1,5 g/l.

Keywords: Hydrogeologie; Oued Tafna; Algeria, MES; Décantation; Brackish water; Treatment

1. Hydrogéologie du bassin versant de la Tafna

1.1. Objectifs

Les principaux facteurs pouvant avoir un effet sur l'environnement sont représentés par les facteurs chimiques, physiques, biologiques et climatiques. Les grandes tendances actuelles pour les années à venir seront la dégradation de la qualité de l'air, celle de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau, les modes de vie à risque et le surpeuplement des villes [1,2].

Les objectifs de cet article sont l'étude du traitement des eaux du bassin versant de la Tafna en considérant l'hydrogéologie du bassin, la qualité et de la disponibilité des ressources en eau et son traitement par des procédés physico-chimiques pour la production de l'eau potable.

1.2. Ressources en eau dans la région hydrographique de l'Oranie-Chott-Chergui

Quelque soit l'importance des infrastructures, les ressources superficielles restent étroitement dépendantes de la pluviométrie, cas de l'Algérie où la sécheresse a sévit depuis plus de deux décennies, principalement dans la région Ouest, a considérablement affecté le niveau des réserves d'eau qui a atteint un seuil critique et ne permet plus une amélioration et une distribution correcte, cette situation a gravement pénalisé tous les secteurs (population, agriculture et industrie). Le

déficit entre l'évolution de la ressource mobilisable et de la demande totale en eau des différents horizons est de 283 millions de m^3 en l'an 2000, de 301 millions de m^3 en l'an 2010 et de 351 millions de m^3 en 2020 dans la région hydrographique de l'Oranie-Chott-Chergui. De ce fait, le recours à des ressources en eau non conventionnelles telles que le traitement des eaux de surfaces, le recyclage des eaux usées, dessalement des eaux de mer et déminéralisation des eaux saumâtres s'impose afin de pouvoir compenser le déficit en eau.

Pour faire face à la demande en eau potable d'une partie des grandes villes du littoral à partir du dessalement d'eau de mer au-delà de l'horizon 2010 et même avant pour certaines, par exemple la ville d'Oran, nous paraît inévitable, surtout si la cadence de la croissance de cette demande qui est actuellement de 320 000 m^3/j continue d'une manière incontrôlée [3–6].

1.3. Bassin versant de la Tafna

Le bassin versant de la Tafna, situé au Nord-Ouest du territoire algérien s'étend sur la totalité de la Wilaya de Tlemcen (77% de la superficie totale) et déborde sur le royaume du Maroc. Le principal cours d'eau, la Tafna, long d'environ 150 km, a une superficie de 7245 km^2 , non compris les affluents qui drainent une partie de la plaine d'Oujda au Maroc. Il prend sa source dans les monts de Tlemcen, son écoulement y est d'abord

souterrain et son exurgence se trouve sur le rebord en amont de Sebdu, au niveau de la grotte de Ghar Boumaza, ce qui constitue la haute Tafna.

Le nombre et l'importance des affluents diminuent considérablement du Sud au Nord. Cette eau est retenue par le barrage de Béni-Bahdel pour être acheminée vers la ville d'Oran par une canalisation. Après le barrage, la Tafna franchit les Monts de Tlemcen, suit son écoulement en y taillant des gorges abruptes.

Une fois les gorges franchies, la Tafna débouche dans la plaine de Maghnia. A ce niveau la partie Ouest est principalement alimenté par l'oued Mouilah et les oueds du versants Nord des Monts de Tlemcen où existe le barrage de Hamam Boughrara d'une capacité de 177 Hm³ (Fig. 1, M2); c'est la moyenne Tafna. Il traverse ensuite les plaines de Remchi, où il reçoit son principal affluent oued Isser, et termine son parcours par un estuaire au niveau de la plage de Rachgoun (Béni Saf, Fig. 1) où il y a une prise d'eau de 11 340 m³/h (Fig. 1, Station ANRH T9) qui sera traitée par la station de traitement des eaux de Dzioua (W. Aïn Temouchent) qui a un cratère de stockage d'eau de 13 Hm³; c'est la basse Tafna (Fig. 1).

La Tafna a deux affluents importants, l'oued Isser et l'oued Mouilah; plusieurs affluents forment un réseau hydrographique discontinu dans le temps et dans l'espace. Certains sont permanents et ne tarissent jamais en amont.

Ils sont représentés par les oueds Khemis, Mouilah, Isser, Sikkak, et Chouly. D'autres sont temporaires car ne sont pas alimentés par des sources et dépendent donc des précipitations. Toutefois ces cours d'eau ont des apports considérables quand ils sont en crues. Les principaux affluents de l'Oued Tafna sont:

- Rive Droite: L'oued Isser avec une superficie de sous-bassin de 1860 km² est le plus important. Sa confluence avec Oued Tafna a lieu dans la plaine de Remchi à 80 m d'altitude et son débit liquide moyen annuel est de 3,67 m³/s. L'oued Sikkak draine un sous-bassin de 442 km². Quand à L'oued chouly sa superficie est de 178 km².

- Rive Gauche: Oued Khemis avec un sous-bassin de 340 km² draine une vallée des monts de Tlemcen, et rejoint la Tafna au niveau de barrage de Béni-Bahdel. Oued Mouilah présente une superficie de sous-bassin de 1680 km², la plus grande surface de son bassin versant est situé en territoire marocain. La confluence de Oued Mouilah avec la Tafna se situe à 285 m d'altitude dans les plaines de Maghnia, son débit moyen annuel est de 2,05 m³/s et alimente le barrage de Hammam Boughrara de capacité de 177 Hm³ (Fig. 1, M2) [7,8].

1.3. Hydrologie du bassin versant de la Tafna

La disposition du relief, ainsi que l'abondance des roches imperméables ont combinés leurs effets et ont permis la naissance d'un réseau hydrographique important. Ce dernier est lié en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région aux cours des ères géologiques.

L'écoulement dans les oueds de bassin versant de la Tafna est caractérisé par:

- une forte dépendance par rapport aux précipitations;
- une forte irrégularité inter-mensuelle et inter-annuelle;
- des crues à très fort débit instantané à différentes périodes de retours; pouvant engendrer des inondations;
- un débit d'étiage très faible à nul, s'étalant du mois de juin jusqu'à septembre.

Le bassin versant de la haute Tafna, quoi qu'il reçoit annuellement la plus petite quantité de sédiments, présente le plus fort taux d'érosion (1198,8 t/km²/an) devant oued Isser (441,6 t/km²/an) et oued Mouilah (348,9 t/km²/an).

Du point de vue de l'apport liquide, la haute Tafna reçoit annuellement 29,63 Hm³, un volume proche de celui reçu par oued Isser (29,53 Hm³) malgré que la superficie du premier ne représente que 22,4% de celle du second.

Le bassin d'oued Mouilah reçoit quant à lui 64,13 Hm³ [9].

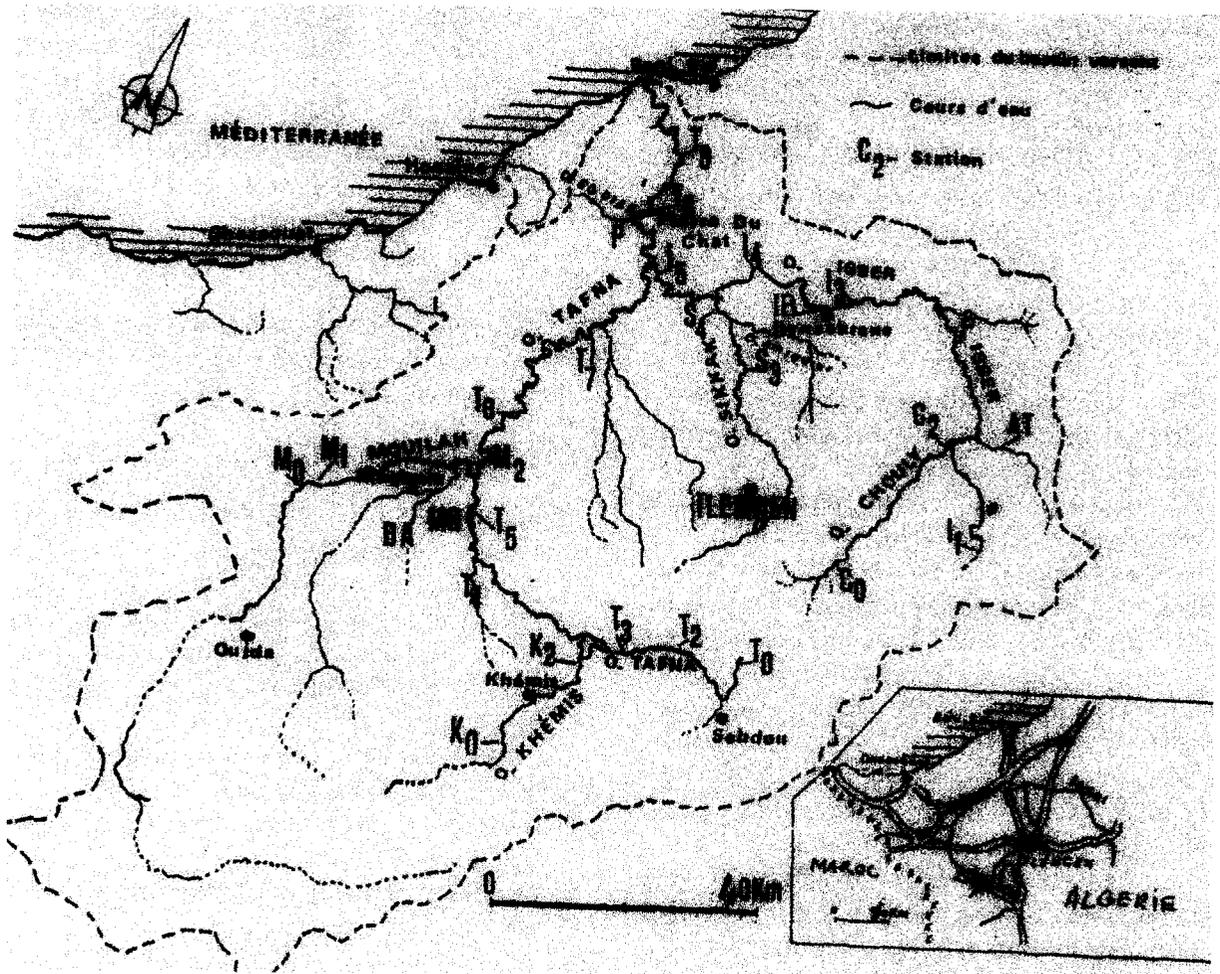


Fig. 1. Réseau hydrographique du Bassin Versant de la Tafna avec localisation des stations ANRH [7].

Le débit d'étiage non nul s'observe notamment sur:

- un tronçon des oueds Tafna et Khémis en amont de la confluence Béni-Bahdel;
- un tronçon de l'Oued Isser en amont de la confluence avec Tafna;
- un tronçon de l'Oued Tafna allant du site du barrage de Hammam Bouhrara à la mer.

Le débit d'étiage est alimenté, par les différents tronçons, par des sources et des émergences, mais également par des rejets des eaux usées [7].

Il est primordial de connaître le volume d'eau écoulée en période estivale où la demande en eau est grande. Par ailleurs, les durées d'étiage accroissent les risques de pollution par des eaux usées de certaines unités industrielles telles que celles au niveau de l'oued Mouilah et Haute Tafna

L'apport total en année sèche est de $0,7 \text{ Hm}^3$ à la Haute Tafna (T3, Fig. 1) (1996/1997) soit 1,75% du volume total écoulé en année moyenne. Ce faible pourcentage est du probablement au temps de réponse très rapide de l'oued et aux

pertes par infiltration. Cet apport est de 7,92 Hm³ à oued Mouilah (1985/1986) (M2, Fig. 1) soit 57,35% et est de 8,66 Hm³ à l'Isser (1982/1983) (I5, Fig. 1) soit 41,18% du volume moyen de l'année [9].

En terme de quantité, la pollution est très forte pendant la période d'étiage aussi avec les premières pluies, alors qu'en terme de diversité des polluants, on peut dire que compte tenu des unités industrielles implantées, des matières premières utilisées et des procédés technologiques, on peut s'attendre à une large gamme de polluants chimiques (organiques et minéraux).

1.4. Barrage de Hammam Boughrara

Le barrage de Hammam Boughrara est un ouvrage stratégique à caractère régional (M2, Fig. 1), destiné à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation. En effet les 59 Hm³ seront repartis annuellement comme suit:

- 33 Hm³ pour les couloirs Boughrara-Temouchent-Oran dont une partie sera traitée par la station de Dzioua d'une capacité de stockage de 13 Hm³ et de 24 000 m³/j de production d'eau potable;
- 17 Hm³ pour les couloirs Maghnia-Ghazaouet-Nedroma dont une station de traitement de ces eaux est programmé à partir de l'année 2002;
- 9 Hm³ pour l'irrigation de la moyenne Tafna soit environ 1800 ha en irrigation classique et entre 2500 à 3000 ha au goutte à goutte.

Le site du barrage de Hammam Boughrara constitue l'exutoire principal de l'oued bou Naïm du Maroc qui se prolonge en Algérie sous le nom de l'oued Mouilah et dont le bassin versant couvre une surface de 4000 km² de part et d'autre de la frontière algéro-marocaine (2100 km² en Algérie et 1900 km² au Maroc).

Ce bassin versant est composé d'une vaste plaine ceinturée par des monts et drainé par un important réseau hydrographique, naguère, à régime permanent. Ce réseau en équilibre avec les nappes phréatiques, draine des terres à haute valeur agropédologique. De par les richesses hydriques et

pédologiques de cette plaine, il s'y est développé d'importantes activités économiques qui se sont traduites par la naissance et le développement de grandes agglomérations comme Oujda (Maroc) qui compte actuellement 303 000 et Maghnia avec 73 079 habitants.

Ces activités, principalement agricoles, industrielles et commerciales génèrent une importante pollution des milieux hydriques et terrestres. La pollution terrestre finit par atteindre les milieux hydriques par entraînement et dissolution.

Ainsi, de l'ensemble du bassin versant de l'oued Mouilah, une pollution se propage et diffuse pour atteindre finalement le barrage Hammam Boughrara qui constitue le récepteur de tous les rejets aussi bien solides que liquides de l'ensemble des activités du périmètre. Si on ne prend pas les mesures de protection nécessaires, cette pollution continue risque de mettre en cause dans un proche avenir tous le développement de la région [10].

2. Traitement et analyses de la prise des eaux de l'Oued Tafna

Les lâchées des eaux du barrages de Hammam Boughrara dans l'Oued Tafna ont été analysées et traitées [11–16] par la station de pré traitement de Tafna (Rachgoun, T9, Fig. 1) et par la station de traitement physico-chimique final de Dzioua, durant les mois de mai 2001 jusqu'au mois de septembre 2001. Nous avons suivi ces opérations durant cette période et nous avons obtenus certains résultats que nous analyserons [17].

2.1. Evolution de la charge totale (CT) dans l'Oued Tafna

La charge totale (CT) est représentée par l'ensemble de la matière minérale (MM) et de la matière organique (MO) en suspension et en solution.

En général dans le bassin versant de la Tafna, les charges totales ont tendances à augmenter de l'amont vers l'aval, ceci est d'autant plus marqué

en période des hautes eaux et celle des basses eaux. La fraction minérale est nettement dominante (supérieur à 60%) en période des hautes eaux avec des charges maximales en aval. A l'opposé, la fraction organique devient prépondérante à l'étiage.

- Pendant les hautes eaux, il présente une charge totale 30 fois plus élevée au niveau de prise d'eau brute de la station de pré traitement (12 g/l) qu'en amont. Ces fortes charges sont la conséquence d'un débit élevé qui remet les sédiments déposés en suspension mais aussi d'un courant de plus en plus fort qui les transportent en aval. L'augmentation de la CT à partir de la basse Tafna est accentuée par les apports de l'oued Mouilah dont sa charge est de 10 g/l et qui alimente le barrage Hammam Boughrara. Les régimes hydriques des oueds dont l'étiage est long et prononcé et les crues courtes mais violentes, est l'expression de climat méditerranéen. Ces cours d'eau drainent majoritairement des terrains agricoles et des zones fortement érodables. Pendant l'étiage les sédiments se déposent et dès que la crue est amorcée, ils sont arrachés au lit et aux rives des cours d'eau, puis transportés en aval. Pendant les hautes eaux, de l'amont vers l'aval, la charge totale de l'oued Tafna est largement dominée par la matière minérale.
- Pendant les moyennes eaux, qui est le cas des lâchées des eaux du barrage de Hammam Boughrara, la charge totale est dominée par la matière organique en amont. A partir de la moyenne Tafna, la matière minérale devient prépondérante. Pendant les moyennes eaux l'influence des affluents est moins marquée qu'en hautes eaux. On note néanmoins que l'oued Mouilah contribue à l'augmentation de la CT au niveau de Hammam Boughrara [7,8].
- A l'étiage, la matière organique (MO) est largement dominante sur la matière minérale (MM), la haute et moyenne Tafna sont toujours moins chargées que celles de la basse Tafna.

Les résultats des mesures sur les charges totales de ces lâchées d'eau du barrage de Hammam Boughrara dans l'Oued Tafna, qui sont considérées comme des moyennes eaux, durant la période de mois de mai au mois de septembre 2001, sont donnés par les paramètres des eaux en matières en suspension (MES), la turbidité et la matière organique (MO) (Tableaux 1–3).

D'après ces résultats, nous constatons que les matières en suspension (MES) sont bien séparés par le procédé de clarification installé et la technique utilisée de coagulation et floculation, en effet les MES passent en moyenne de 508 mg/l à l'entrée du procédé de traitement à 0 mg/l à sa sortie et la

Tableau 1
Matières en suspension (MES) mg/l des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	507,83	236,80	109,39	46,63
05/01	T	26,45	10,16	13,66	43,68
Tafna	B	367,91	60,46	35,73	16,43
06/01	T	52,91	23,11	13,66	43,68
Dzioua	B	4,00	1,51	1,24	35,24
07/01	T	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum		900,00			
Minimum		0,00			

B est l'eau brute; T est l'eau traitée; Moy moyenne des valeurs de mesures; σ écart type; IC intervalle de confiance; % CV coefficient de variance

Tableau 2
Turbidité en FTU des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	367,36	172,13	79,52	48,83
05/01	T	25,00	8,96	12,35	44,89
Tafna	B	256,36	35,58	21,03	13,87
06/01	T	46,55	20,90	12,47	44,83
Dzioua	B	5,00	2,15	1,60	40,00
07/01	T	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum		650,00			
Minimum		0,00			

Tableau 3
Concentrations de matières Organiques mg/l des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	4,92	0,74	0,34	15,04
05/01	T	3,43	0,81	0,37	23,62
Tafna	B	6,29	0,35	0,21	5,56
06/01	T	4,35	0,51	0,30	11,72
Dzioua	B	4,97	0,51	0,25	10,06
07/01	T	2,55	0,25	0,12	39,21
Dzioua	B	6,58	0,40	0,23	6,07
08/01	T	3,48	0,22	0,14	6,32
Dzioua	B	7,20	0,53	0,31	7,36
09/01	T	3,77	0,45	0,27	11,94
Maximum		7,20			
Minimum		2,55			

turbidité passe de 367 FTU aussi 0 FTU tandis que la matière organique est réduite jusqu'à 2,55 mg/l par désinfection au chlore gazeux.

Les pics observés en MES et en turbidité qui sont respectivement de 900 mg/l et de 650 FTU et des fluctuations importantes de ces paramètres au mois de mai 2001 sont dus à l'érosion des débuts des lâchées des eaux à partir du barrage de Hammam Boughrara et du démarrage de la station de pré traitement qui n'a pas fonctionné depuis longtemps.

2.2. Températures (Tableau 4)

Les eaux des oueds se caractérisent par un minimum hivernal de l'ordre de 10°C. En été par contre, elles sont assez chaudes. Le réchauffement est plus marqué dans la partie aval des cours d'eau (31°C). Ceci est dû à un débit d'étiage très faible et à l'absence presque totale de la végétation bordant, entraînant ainsi un fort échauffement des eaux. La température, dans l'ensemble, varie peu d'amont en aval, durant les hautes et les moyennes eaux. Par contre, à l'étiage, une augmentation générale d'amont en aval est observée: de 16°C au niveau des sources, la température atteint 30°C à l'aval. De plus, on note une variation saisonnière très importante. En effet, une forte élévation

Tableau 4
Températures en °C des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	19,47	1,77	0,82	9,09
05/01	T	19,66	1,36	0,63	6,92
Dzioua	B	26,33	0,84	0,43	3,19
07/01	T	25,06	0,40	0,20	1,60
Dzioua	B	25,91	0,65	0,34	2,51
08/01	T	25,29	0,80	0,42	3,16
Dzioua	B	25,87	0,66	0,39	2,55
09/01	T	25,55	0,26	0,15	1,02
Maximum		27,40			
Minimum		16,50			

thermique estivale est enregistrée, sauf au niveau des stations amont où la température reste relativement constante, en raison de leur situation près des sources et de la présence d'une végétation importante, limitant le réchauffement.

Selon ces résultats, durant la période estivale la température est entre 25,06 et 26,3°C ce qui confirme les températures observées au niveau du bassin versant de la Tafna.

2.3. Dureté

La dureté a un caractère naturel et correspond au lessivage des terrains traversés.

La Tafna draine des terrains dolomitiques riches en calcaires et en dolomite. Les eaux sont dures même près des sources. En général, cette dureté augmente de l'amont vers l'aval. Ainsi, au niveau des sources, on enregistre une teneur de 700 mg/l. Cette dernière atteinte en moyenne 1700 mg/l.

Les mesures de pH (Tableau 5) qui sont comprises entre 7,30 et 8,56 confirment l'alcalinité des eaux du bassin hydrographiques de la Tafna, malgré la correction du pH de l'eau brute de la Tafna à l'entrée de la station de pré traitement à l'aide d'une solution d'acide sulfurique de 30 à 35%. Ce domaine de pH rend l'utilisation du coagulant qui est le sel d'aluminium hydraté $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$ relativement aisée.

Tableau 5
Mesures des pH des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	8,37	0,10	0,05	1,19
05/01	T	7,97	0,34	0,16	4,27
Dzioua	B	8,16	0,13	0,07	1,57
07/01	T	7,73	0,21	0,10	2,96
Dzioua	B	8,06	0,17	0,09	2,11
08/01	T				
Dzioua	B	8,37	0,19	0,11	2,27
09/01	T	8,11	0,29	0,17	3,58
Maximum		8,56			
Minimum		7,30			

2.4. Salinité du bassin hydrographique de la Tafna

L'évolution de la salinité est comparable à celle de la conductivité dans ce sens où elle est maximale à l'étiage et minimale en hautes eaux. La conductivité croît de l'amont vers l'aval. Toutefois, des valeurs élevées apparaissent à certaines stations. Les terrains calcaires confèrent au réseau hydrographique une dureté de l'eau élevée. La salinité, plus marquée à l'étiage, est due à une élévation importante de la température qui provoque une évaporation intense des eaux peu profondes qui caractérisent les oueds du bassin de la Tafna.

- La Haute Tafna, l'oued Khémis et l'oued Chouly (Fig. 1), grâce à leurs écoulements réguliers et permanents maintiennent un taux de salinité plus ou moins constant.
- La moyenne et la basse Tafna présentent quelques particularités: pendant les hautes eaux et les moyennes eaux, la salinité augmente jusqu'au T8 puis baisse en T9: ceci serait due à une assimilation par les algues (Fig. 2). Le pic en T8 est dû aux effets de l'oued Ed-Diab (11,4 g/l, 14,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en *P*), qui draine des terrains salifères du Trias, dont la teneur en sels atteint des proportions considérables. A l'étiage, cet oued ne constitue plus un apport direct pour l'oued Tafna car il s'assèche dès le début de la saison chaude; mais les apports continuent à se faire grâce au sous-écoulement.

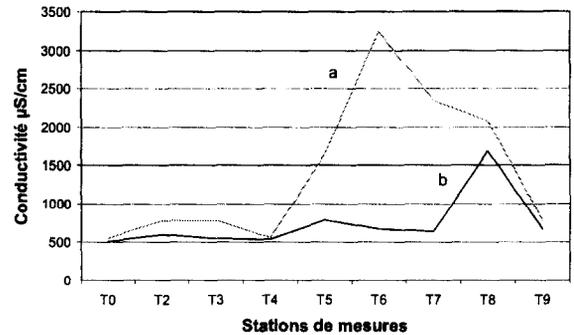


Fig. 2. Conductivités de l'oued Tafna [7] (Fig. 1); courbe a: moyennes eaux; courbe b: hautes eaux.

- La minéralisation est maximale en T7. L'oued Mouilah lui même enrichi par l'Ouerdeffou est responsable des teneurs élevées en sels dans la basse Tafna (Fig. 2). Cette salinité avait été observée avant la construction du barrage Hammam Boughrara.
- Les fortes conductivités des stations MG et BA sont la cause de la pollution organique et chimique marquée, consécutive des rejets urbains et industriels (Zone industrielle de Maghnia).
- A l'étiage la teneur élevée en sels en I5 est associée à la stagnation de l'eau due à un débit nul et une température élevée qui active l'évaporation.

Les teneurs élevées en sels sont liées à la nature des terrains drainés, aux effets de la pollution mais sont aussi imputables à l'épandage d'engrais utilisés largement dans les cultures maraîchères et céréalières bien développées dans ces régions.

A l'étiage, un courant d'eau capillaire s'établit dans le sens ascendant provoquant ainsi une remontée des sels vers la surface. Par l'irrigation, ces sels sont entraînés vers les oueds.

2.4.1. Chlorures

On a observé selon certaines études que la teneur en chlorures augmente fortement et rapidement de l'amont vers l'aval dans tous les cours d'eau du bassin hydrographique de la Tafna. En effet,

la valeur minimale enregistrée en chlorures est de l'ordre de 15 mg/l au niveau des sources.

A partir du barrage de Hammam Boughrara, le taux des chlorures devient très élevé car à ce niveau la Tafna pénètre dans la plaine de Maghnia puis elle reçoit l'oued Mouillah, présentant déjà à l'amont (Oajda, Maroc) un taux de salinité très important. Par contre, au niveau des affluents d'oued Isser on note une légère chute qui est en rapport avec sa dilution: l'Isser qui arrive avec une concentration moins élevée (400 mg/l en moyenne) [7,8] provoque une baisse de salinité des eaux vers l'aval de la basse Tafna.

Les dosages des alcalins sodium et potassium à la station de Dzioua ont donné en moyenne respectivement 327 et 8,29 mg/l, selon la Tableau 6, ce qui correspond à une concentration des chlorures de 513 mg/l. Ces teneurs de Na⁺ et Cl⁻ sont supérieurs à deux fois aux normes des concentrations maximales admissibles qui sont respectivement de 150 et 250 mg/l selon la directive européenne. Nous observons que la teneur en chlorures est du même ordre de grandeur que celle du réseau du bassin versant de la Tafna.

2.4.2. Conductivité

La conductivité électrique constitue une bonne appréciation de la minéralisation d'une eau. Une

Tableau 6
Concentrations en mg/l des alcalins et alcalinoterreux de l'eau traitée de Dzioua

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
	320,00	10,00	98,00
	325,00	10,00	95,00
	328,00	6,00	82,00
	335,00	7,00	110,00
	326,00	7,00	89,00
	328,00	10,00	102,00
	327,00	8,00	88,00
Moy	327,00	8,29	94,86
σ	4,47	1,70	9,46
IC	3,31	1,26	7,01
% CV	1,37	20,50	10,02

conductivité élevée traduite une quantité de sels solubles et ionisables très importante.

Le réseau hydrographique de la Tafna est caractérisé par une eau très minéralisée puisqu'elle présente une conductivité au niveau des sources de 0,600 ms/cm en moyenne liée à la nature des terrains traversés [7,8]. Elle présente une évolution longitudinale et saisonnière (Figs. 1,2).

Ces valeurs de la conductivité des eaux de la prise d'eau de la Tafna (Rachgoun, T9, Fig. 1) de la station de pré traitement et de traitement de Dzioua sont égales en moyenne à 1,930 ms/cm avec un écart type de 0,060 ms/m montrent que la conductivité de ces eaux reste constante durant le traitement et par conséquent, les sels solubles ne sont pas séparés par ce procédé de traitement et la technique utilisée. Nous observons que la conductivité est de même ordre de grandeur que celle du réseau du bassin versant de la Tafna (Figs. 1,2). Ces mesures de la conductivité (Tableau 7) sont supérieures à environ de 4,5 fois au niveau guide qui est de 0,400 ms/m selon la directive européenne.

2.5. Nitrates (Tableau 8)

Les teneurs sont dans l'ensemble très faibles. Elles ne dépassent pas 22 mg/l.

Tableau 7
Conductivités en mS/cm des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	1,83	0,06	0,04	1,53
05/01	T	1,86	0,06	0,03	3,23
Tafna	B	1,97	0,02	0,01	1,02
06/01	T	2,00	0,03	0,02	1,50
Dzioua	B	1,94	0,07	0,04	3,55
07/01	T	1,88	0,06	0,03	3,19
Dzioua	B	1,91	0,04	0,02	2,09
08/01	T	1,89	0,06	0,03	3,17
Dzioua	B	1,95	0,03	0,02	1,54
09/01	T	1,95	0,05	0,03	2,56
Maximum		2,11			
Minimum		1,74			

Tableau 8

Teneurs en ammonium NH_4^+ en mg/l des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Tafna	B	2,34	1,73	0,80	73,93
05/01	T	0,88	0,87	0,40	98,86
Tafna	B	2,15	0,16	0,09	7,44
06/01	T	0,53	0,15	0,09	28,30
Dzioua	B	0,35	0,08	0,12	0,26
07/01	T				
Dzioua	B	0,65	0,16	0,08	24,62
08/01	T	0,25	0,10	0,05	40,00
Dzioua	B	0,91	0,03	0,02	3,30
09/01	T	0,42	0,03	0,02	7,14
Maximum		2,34			
Minimum		2,34			

En général, les concentrations ne varient pas de l'amont vers l'aval dans le bassin versant de la Tafna. Au niveau de la haute et moyenne Tafna une élévation des concentrations est enregistrée pendant les hautes eaux aux stations avec un abaissement considérable de ces charges dès le mois de mars. Cet abaissement est lié au développement de la végétation aquatique qui assimile les nitrates: *Potamogeton* sp et *Chara* sp [7,8].

Les concentrations en ammonium de l'eau traitée sont réduites, de quatre fois par rapport à des valeurs inférieures aux normes admissibles de 0,5 mg/l selon la directive européenne, par la désinfection en chlore gazeux Cl_2 qui est utilisée au niveau du procédé de pré traitement et à la station de traitement de Dzioua.

2.6. Oxygène (Tableau 9)

Les saturations en oxygène sont très fluctuantes parce qu'elles dépendent de facteurs externes. Une bonne oxygénation est notée pendant les moyennes eaux. Nous supposons qu'elle est due, non seulement, au brassage de l'eau, mais aussi au développement de la végétation aquatique à cette période. Par contre, en hiver, la production en oxygène par photosynthèse est d'autant plus réduite que les crues ont "nettoyé" les cours d'eau

Tableau 9

Teneurs en oxygène mg/l des eaux brutes et traitées

		Moy	σ	IC	% CV
Dzioua	B	3,61	0,68	0,36	18,84
08/01	T	6,69	0,80	0,42	11,96
Dzioua	B	3,24	0,90	0,53	27,78
09/01	T	5,97	0,49	0,30	8,21
Maximum		8,55			
Minimum		2,00			

et donc éliminé la végétation. Ces mêmes crues apportent aux rivières de grandes quantités de matières azotées entraînant ainsi une sous saturation en oxygène dans la plupart des stations.

Le procédé de traitement de Dzioua a une cascade d'aération qui permet d'augmenter la concentration de l'oxygène; ce qui est confirmé par nos mesures; en effet nous observons une augmentation de la teneur d'oxygène dans l'eau qui passe de 2 mg/l à 6,69.

3. Conclusions

Le bassin versant de l'Oued Tafna est formé par les reliefs et des zones déprimées, qui s'alternent du Nord au Sud et dont le volume augmente considérablement dans le même sens. Le réseau hydrographique a un tracé général orthogonal même si la Tafna et ses principaux affluents décrivent sinuosité et méandre, sa densité et son abondance augmentent dans le même sens que le volume des reliefs, c'est à dire vers le Sud.

Les apports les plus importants et les plus fluctuants pour la moyenne et la basse Tafna, sont observés pendant l'hiver et le printemps, pour le reste de l'année, les apports sont faibles, ou le plus souvent sont alimentés par les rejets d'eaux usées urbaines et industrielles, comme c'est le cas pour l'Oued Mouilah, où les eaux usées constituent l'essentiel du débit d'étiage.

Le bassin hydrographique de la Tafna a une superficie de 7250 km² et alimente cinq barrages qui sont du plus ancien au plus récent Beni Bahdel

(66 Hm³), Meffrouch (15 Hm³), Sidi Abdeli (110 Hm³), Hammam Boughrara (177 Hm³) et celui en cours de construction Sikkak (27 Hm³).

Les données montrent que les augmentations de la turbidité et du MES pendant les crues sont dues essentiellement aux teneurs en matières minérales grossières et que l'accroissement de la conductivité à l'étiage est du à une forte concentration en sels. Le réseau hydrographique peut être séparé en deux zones soumises à des conditions différentes; la zone amont, stable, peu influencée par les variations de débits et la zone aval, soumise à l'alternance crue/étiage, aux eaux très chargées en matières minérales au moment de fort débit et au contraire, riches en matières organiques et minérales polluantes pendant l'étiage. La limite entre les deux zones se situe vers 300 m d'altitude au niveau du barrage Hammam Boughrara.

Le réseau hydrographique de la Tafna est caractérisée par une eau très minéralisée puisqu'elle présente une conductivité au niveau des sources de 600 $\mu\text{s/cm}$ en moyenne liée à la nature des terrains traversés. Cette minéralisation augmente de l'amont vers l'aval jusqu'à 2110 $\mu\text{s/cm}$, ceci est lié en majeure partie aux chlorures.

Une prise d'eau à une altitude de 3 m juste avant l'embouchure de la Tafna est effectuée à un débit maximum de 11 340 m³/h. Cette eau brute est prétraitée par deux décanteurs – flocculateurs de 58 m de diamètres chacun. L'eau prétraitée est pompée avec un débit de 3 m³/s et une pression de 30 bars vers la station de traitement de Dzioua située à une altitude de 300 m qui se trouve sur le bassin des côtières oranais de l'Agence de Bassin Hydrographique Oranie-Chott-Chergui dont fait partie le Bassin Versant de la Tafna où l'eau est stockée dans un cratère de volume de 13 000 000 m³. Cette eau est aérée et traitée par des filtres à sables avec une production de 24 000 m³/j. Cette quantité d'eau alimente particulièrement les couloirs des villes de Béni Saf, d'Aïn Temouchent avec un débit de 0,46 m³/s et d'Oran avec un débit de 3 m³/s, cette dernière grande ville ayant besoin d'une quantité de 320 000 m³/j.

Les eaux du bassin hydrographique de la Tafna sont traitées par ce procédé physico-chimique qui élimine entièrement les matières en suspension et partiellement les matières organiques.

Les mesures de la conductivité des eaux de la prise de la Tafna (Rachgoun), durant la période du mois de mai 2001 jusqu'au mois de septembre 2001, à la station de pré traitement et de traitement de Dzioua sont égales en moyenne à 1,930 ms/cm et avec un écart type de 0,060 ms/m montrant que la conductivité de ces eaux reste constante durant le traitement, par conséquent les sels solubles ne sont pas séparés par ce procédé de traitement et la technique utilisée.

Nous observons que la conductivité et la teneur en chlorure sont de mêmes ordres de grandeur que celles du réseau du bassin versant de la Tafna. Les mesures de la conductivité sont supérieures à environ de 4,5 fois par rapport au niveau guide qui est de 0,400 ms/m selon la directive européenne.

Par conséquent, on propose de compléter le procédé par une installation de séparation des sels dissous par osmose inverse pour éviter les risques de contaminations par des métaux toxiques des populations utilisant cette eau traitée.

On propose aussi de faire une étude qualitative des eaux du bassin versant de la Tafna, en particulier celles du barrage Hammam Boughrara.

Références

- [1] J.-L. Sasseville, *Maîtrise économique et technologique de l'eau et sécurité environnementale*, Environnement et Sécurité, Institut International de Stratégies et de Sécurité de l'Environnement. Editions Méridien, Québec, Canada 1996, pp. 173–201.
- [2] A. Swain, *Water Scarcity: a Threat to Global Security*. Environnement et Sécurité, Institut International de Stratégies et de Sécurité de l'Environnement. Editions Méridien, Québec, Canada, 1996, pp. 156–172.
- [3] B. Benguedech, *Potentialités des ressources en eaux et leurs affectations en Algérie*. Direction des Grands Aménagements et Infrastructures Hydrauliques, Ministère des Ressources en eau, Bulletin International de l'Eau et de l'Environnement: EDIL Inf-Eau, 21 (1999) 8–12.

- [4] A. Kettab, Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision, *Desalination*, 136 (2001) 25–33.
- [5] S. Kehal, Retrospective et perspectives du dessalement en Algérie, *Desalination*, 136 (2001) 35–42.
- [6] B. Dahmani et C. Bithorel, Déminéralisation des eaux saumâtres de Brédéah dans la région du bassin hydrographique Oranie-Chott-Chergui. Partie I: Hydrogéologie de la nappe de Brédéah, *Desalination*, 137 (2001) 297–309.
- [7] H.-B. Yadi et J. Gagneur, Nature et évolution de la matière minérale et organique dans le bassin de la Tafna, (N.-W. Algérien), Université de Tlemcen, Faculté des Sciences, Magister Hydrobiologie, 1991.
- [8] N. Belaidi-Aliane et J. Gagneur, Etude de la salinité dans le bassin versant de la Tafna et son influence sur quelques organismes benthiques. Université de Tlemcen, Faculté des Sciences, Magister, Hydrobiologie, 1992.
- [9] A. Ghenemi, A. Terfous et A. Bouanani, Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna. Cas d'oued Isser, oued Mouilah et la haute Tafna, Séminaire National sur l'eau, Université de Tlemcen, 5–6 juin 2001.
- [10] L. Benadda, S.M. Sidhoum et M. Benadda, Protection du barrage de Hammam Bouhrara contre la pollution, Séminaire National sur l'eau, Université de Tlemcen, 5–6 juin 2001.
- [11] Annual Book of ASTM Standards. Part 31: Water, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1982.
- [12] Degrémont. Memento technique de l'eau. Tome I et II, Paris, 1989.
- [13] R. Thomazeau, Stations d'épuration, eaux potables — eaux usées, Technique et documentation, 1981.
- [14] Normes internationales de qualité ISO 9001, Guide ISO/CEI 25.
- [15] D.A. Skoog, D. M. West et F.J. Holle, Chimie analytique, De Boek Université, 1997.
- [16] G. Charlot, Chimie analytique quantitative, Masson et Cie, 1974
- [17] B. Dahmani, Etude du traitement des eaux du bassin versant de la Tafna à la prise des eaux de Rachgoun, Encadrement de mémoire de fin d'étude, Université de Tlemcen, Faculté des Sciences, 2002.