Exploitation de l'eau dans le canton de Neuchâtel au début du 3ème millénaire

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **132 (2012)**

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

3ÈME PARTIE :

EXPLOITATION DE L'EAU DANS LE CANTON DE NEUCHÂTEL AU DÉBUT DU 3ÈME MILLÉNAIRE

1. RESSOURCES, CAPTAGES ET CONSOMMATION DES EAUX DE BOISSON

Le canton de Neuchâtel ne comprenait plus, à fin 2011, que 37 communes regroupées dans 6 districts totalisant un peu plus de 173'000 habitants (173'009 au 31.12.11). Avant le 1er janvier 2009, il y avait encore 62 communes. Depuis cette date, 9 d'entre elles ont fusionné dans le Val-de-Travers (10'857 habitants), puis 2 sur le littoral (Marin-Epagnier et Thielle-Wavre qui ont donné naissance à la commune de La Tène), ce qui fait qu'on ne totalisait plus que 53 communes au 31 décembre 2010. Plus récemment encore, au 27 novembre 2011, ce sont 15 localités du Val-de-Ruz qui ont fusionné sous le nom de Commune de Val-de-Ruz, devenant ainsi la troisième agglomération du canton, avec 15'300 habitants. Auvernier, Bôle et Colombier ayant procédé de même à cette même date sous le nom de Commune de Milvignes, il n'y a donc plus que 37 communes sur l'ensemble du territoire neuchâtelois à fin 2011. Mais le processus est loin d'être terminé car d'autres localités sont en passe de fusionner à l'aube 2012-2015 : à l'ouest, Fresens, Gorgier-Chez-le-Bart, Montalchez, St Aubin-Sauges, et Vaumarcuz (La Béroche). À fin 2010, Neuchâtel a proposé l'étude d'un projet identique avec les communes de La Tène, St Blaise, Hauterive, Enges, Peseux et Corcelles-Cormondrèche, voire Valangin; ce dernier regroupement permettrait à cette entité d'obtenir de meilleures conditions économiques, avec un potentiel d'environ 55'000 habitants, appelé le «Grand Neuchâtel». Si toutes ces fusions se réalisaient, il n'y aura plus que 25 ou 26 communes dans le canton après 2015.

Toutes ces localités ou groupements de communes, possèdent leur propre système d'alimentation en eau qu'elles gèrent en toute liberté, soit de manière indépendante, soit en commun avec d'autres distributeurs. Signalons le cas particulier des trois villes, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel et Le Locle, dont les anciens Services industriels ont fusionné en une seule unité, la société Viteos, société anonyme entièrement en main des collectivités publiques, et qui exploite, depuis janvier 2008, les réseaux d'eau de ces trois villes.

L'inspectorat cantonal des eaux, qui est chargé de la haute surveillance de l'eau potable dans l'ensemble du canton, est rattaché au **Service de la consommation et des affaires vétérinaires** ou **SCAV** (Laboratoire cantonal avant 2002). Il contrôle en particulier les résultats des analyses effectuées dans les communes, les distributeurs étant tenus selon la législation en vigueur, d'assumer eux-mêmes l'autocontrôle de l'eau qu'ils distribuent, en utilisant les compétences de laboratoires accrédités, comme celui de Viteos par exemple. Le Scav a en outre élaboré un «Répertoire cantonal des eaux» autrefois appelé «Casier sanitaire des eaux». Ce répertoire informatisé peut être consulté sur le guichet informatique (http://www.ne.ch/sitn) du *Service d'Information du Territoire Neuchâtelois (SITN)*. Ce site héberge un système multiple dans lequel se trouvent des fiches concernant les eaux potables avec les ressources, les débits, les traitements et la distribution de l'eau pour l'ensemble des localités neuchâteloises. On y trouve également des données sur les eaux usées, les sites pollués, les zones de protection, le suivi des analyses, etc.

En outre, un précieux ouvrage de synthèse a été édité en 1986 par l'hydrogéologue Bernard Matthey sur les « ressources en eau du canton de Neuchâtel » (MATTHEY, 1986). Cet ouvrage a été élaboré à partir des premières fiches techniques du Laboratoire cantonal et des différentes études hydrogéologiques et hydrologiques du début des années 1980.

On dispose aussi depuis quelques années au **Service cantonal de l'énergie et de l'environnement ou SENE** (SCPE = Service cantonal de la Protection de l'Environnement avant 2010), de bilans annuels précis sur les quantités d'eau vendues dans chacune des communes du canton, grâce à la taxe d'épuration (redevance cantonale) établie à partir des volumes d'eau consommés et comptabilisés dans les STEP.

De plus, ce Service est chargé de contrôler l'état des ressources en eau et de l'application des zones de protection pour l'ensemble des captages du canton.

Les documents de ces Services permettent de suivre depuis une trentaine d'années le bilan des disponibilités en eau du canton, des apports et des ventes d'eau, les consommations spécifiques ainsi que la répartition de l'eau en fonction des différentes utilisations.

Ces données sont résumées schématiquement dans le **tableau 1** qui indique les **bilans des ressources en eau** utilisées dans le canton de 1981 à 2010, ainsi que l'évolution des ventes de ces ressources.

Tableau 1.1 : Il définit les principales ressources en eau disponibles dans les milieux d'origine, par ordre d'importance, en comparant les données comprises entre 1981 (bilan Matthey) et 2006-2009 (bilan des ventes effectives). Cette comparaison est toutefois relative, car il manque les données complètes des apports d'eaux captées pour les statistiques récentes, ce qui était le cas avec celles établies par Matthey en 1981, qui tenaient compte des apports totaux à partir des captages. Une telle statistique n'ayant pas été reproduite ensuite, on dispose cependant des relevés des compteurs (eaux facturées et eaux exonérées) des distributeurs, destinés au calcul de la redevance cantonale pour les eaux usées. Ces chiffres précis permettent d'établir un bilan évolutif valable sur l'eau effectivement consommée. De plus, il ne faut pas omettre de considérer que 35 localités sur 62 utilisent un mélange de différentes ressources (sources, puits et/ou lac), ce qui complique l'interprétation! Cela étant, la comparaison des volumes disponibles et utilisés entre 1981 et 2006-2009, est néanmoins édifiante et témoigne de la grande baisse des quantités annuelles exploitées durant ce laps de temps : plus de 30 millions de m^3 d'apports en 1986, dont on peut raisonnablement estimer que 20 à 25 millions ont été facturés, alors qu'un peu moins de 15 millions ont été facturées 30 ans plus tard (période 2006-2009)!

La comparaison entre les différentes ressources est également édifiante : environ 90 % de l'eau consommée (86 % en 1986 et 90 % en 2006-2009) provient de l'ensemble des **sources** et des **puits filtrants** disséminés sur le territoire neuchâtelois ; 41 services de distribution utilisent de l'eau de sources, et 30 de l'eau de puits. Certains regroupent les deux alimentations. Dans le détail, les sources sont captées au moyen de tranchées ou de galeries drainantes dans les zones calcaires et elles fournissent (2009) presque 70 % de l'eau de boisson du canton (contre 40 % seulement pour l'ensemble de la Suisse), ceci à cause de l'amplitude des massifs calcaires neuchâtelois. Il en découle que les captages au moyen de puits ont une importance moindre et ne fournissent qu'un peu plus de 25 % de l'approvisionnement en eau du canton (contre 40 % en Suisse).

Les puits sont situés pour la plupart dans des terrains meubles tertiaires ou quaternaires contenus dans des vallées synclinales, des deltas ou en bordure de lacs ou de rivières. Quand ces bordures sont situées dans des terrains marécageux, les eaux souterraines sont

le plus souvent réductrices, pauvres en oxygène, riches en fer et en bactéries apparentées de type ferro-oxydantes telles que les *Gallionella* et les *Leptothrix*. Elles contiennent en outre du manganèse et des matières organiques, avec pour conséquence des traitements plus complexes d'oxydation par voie chimique lorsqu'on les utilise comme eau de boisson : c'est le cas en particulier des stations des Novalis au Landeron, des Goudebas aux Brenets et anciennement du puits du Rafour à St-Aubin. Il existe également quelques puits profonds qui s'enfoncent jusque dans les calcaires du Malm, comme les puits artésiens de Bevaix et le nouveau puits de St-Aubin qui exploitent de l'eau à plus de 300 m de profondeur ; ou encore les puits plus modestes des Prés-Royers au Val-de-Ruz, dont presque toutes les localités tirent l'essentiel de leurs ressources en eau.

A part les sources et les puits, le solde des ressources en eau ne constitue qu'un appoint de faible importance dans le canton. Il provient pour sa plus grande partie des eaux de surface, dont à peu près 8 % sont puisés dans le lac à Neuchâtel et 0,5 % dans l'Areuse. Rappelons que la situation est différente pour le reste de la Suisse où les eaux de surface sont exploitées à raison de 20 %, en grande partie dans le lac Léman, ainsi que dans les lacs de Zurich, de Constance et de Bienne.

Dans la partie neuchâteloise du lac, seule la commune de Neuchâtel prélève de l'eau à la station de Champ-Bougin, à l'exception de prélèvements industriels par les fabriques de tabac et quelques hôtels du bord du lac, essentiellement pour des systèmes de refroidissement (freecooling). La société VITEOS a financé et entamé la réalisation d'un important projet de ce type dans le secteur de la Maladière, destiné à la climatisation des principales industries, centres commerciaux, hôpitaux, etc, à partir d'eau du lac prélevée en profondeur (voir 4ème partie en p. 175). La commune des Verrières reçoit de l'eau supplémentaire du lac St-Point en France. L'eau de rivière, en l'occurrence l'Areuse, n'est pratiquement plus utilisée. Seule une commune s'y approvisionne encore, surtout en période d'étiage, à savoir St-Sulpice qui capte l'eau de l'Areuse à proximité immédiate de la source. Avant l'inauguration récente d'un puits filtrant, Noiraigue prélevait de l'eau dans la Noiraigue en été; et avant le raccordement au SIVAMO en 1995, le Service des eaux de La Chaux-de-Fonds réalimentait les terrains filtrants de Champ-du-Moulin avec l'eau de l'Areuse, lors d'étiages prononcés.

A Neuchâtel, avant la gestion informatisée et automatique de la distribution de l'eau depuis les années 1980, la station de Champ-Bougin fournissait le réseau avec de l'eau du lac à raison d'une moyenne d'environ 25 % par an, voire davantage. A partir de l'automatisation de cette gestion au début des années 1990, en particulier celles des captages des Gorges de l'Areuse, les apports de ces derniers ont été mieux régulés, si bien que Champ-Bougin a été moins sollicitée. Et depuis lors, c'est une moyenne de 15 à 20 % d'eau de lac qui est ajoutée annuellement dans le réseau. Cependant, le détail est plus complexe car cette quantité est variable en fonction des conditions météorologiques et des demandes en eau supplémentaires. C'est ainsi qu'en 2005 il y a eu un apport de 21 % d'eau de lac, de 14 % en 2006, et seulement de 4 % en 2007 et 2008, années particulièrement pluvieuses ! Une augmentation importante s'est produite en 2009, année beaucoup plus sèche, avec 17 % d'eau de lac livrée à partir de Champ-Bougin, mais une autre encore plus spectaculaire a eu lieu en 2010 avec 37 % d'eau provenant du lac. Ceci démontre que les tentatives d'établir des moyennes sur plusieurs années sont sujettes à des incertitudes liées non seulement à la météorologie, mais aussi aux conditions de demandes d'appoints de la part des partenaires du Sivamo, notamment le Val-de-Ruz qui a utilisé plus de 60% d'eau d'appoint durant tout l'étiage de 2011.

Tableau 1 : Bilans des eaux distribuées entre 1986 et 2010 dans le canton de Neuchâtel.

1.1 Comparaison des ressources totales en eau selon Matthey (1986) avec les ventes effectives 2006–2010 en m³/an selon les lieux de captages :

LIEUX		Apports 1981 (bilan Matthey)		Ventes effectives 2006		Ventes effectives 2009-10	
Eaux souterraines	Sources	21'600'000	66 %	9'205'000	64,0 %	9'723'000	69,7 %
	Puits filtrants	6'000'000	20 %	3'900'000	27,0 %	2'825'000	20,2 %
Eaux de surface	Lac Nchtel	3'100'000	9 %	1'045'000	7,2 %	1'170'000	8,4 %
	Areuse	1'000'000	3 %	52'000	0,4 %	94'000	0,7 %
Citernes (*≈estimatif*)		600'000	2 %	*≈ 200'000*	1,4 %	*≈ 150'000*	1,0 %
TOTAUX		**32'300'000**	**100 %**	**14'402'000**	**100,0 %**	**13'962'000**	**100,0 %**

B. Matthey (1986) a effectué en 1980-1981 le premier bilan complet des apports d'eau de tous types en intégrant la totalité des émissions mesurées dans les différents captages, y compris les volumes rejetés (trop-pleins de hautes eaux, pertes, etc). Les ventes **effectives totalisées par la suite grâce à la redevance cantonale d'épuration,** ne tiennent compte que des volumes consommés, d'où une différence sensible, ceci d'autant plus qu'il y a eu en 20 ans une diminution drastique de la consommation.

1.2 Evolution des ventes d'eau (m³/an) dans les grandes communes et dans le canton, de 1986 à 2010 :

COMMUNES		Ventes 1981 (bilan Matthey)	Ventes 1996	Ventes 2006	Ventes 2009-10
Neuchâtel :	Sources	7'000'000	8'200'000	6'300'000	5'730'000
	Lac	3'000'000	2'000'000	1'045'000	1'170'000
La Chaux-de-Fonds (sources, puits)		6'000'000	5'000'000	4'200'000	3'946'000
Le Locle		1'400'000	950'000	720'000	936'000
Total 3 plus grandes communes		*17'400'000*	*16'150'000*	*12'265'000*	*11'782'000*
Autres communes		7'400'000	4'000'000	2'137'000	2'180'000
Total des ventes effectives		***≈25'000'000***	**20'150'000**	**14'402'000**	**13'962'000**
Total des apports		***≈32'000'000***	**------**	**------**	**15'102'500**

En 2009-2010, les trois communes à plus forte consommation d'eau citées dans le tableau ci-dessus, sont suivies par celles du Val-de-Travers (732'472 m³/an), Colombier (664'364 m³/an), et La Tène (614'147 m³/an). Les 47 autres communes ont des consommations comprises entre 393'000 m³/an (Boudry) et 6'749 m³/an (Engollon). A noter que la Ville de Neuchâtel ne consomme que 3'151'000 m³/an pour ses propres besoins, la différence à 5'730'000 m³/an étant vendue aux communes partenaires. A noter également la très forte diminution des ventes d'eau (plus de 6 millions de m³) entre 1996 et 2010. La différence entre le total des ventes et le total des apports, citée en 2009-2010, provient des m³ d'eau exonérés pour l'utilisation publique.

Enfin comme ultime solde, les eaux de citernes estimées à moins de 200'000 m^3 par an (600'000 m^3 en 1986), ne représentent que 1% environ des apports neuchâtelois. Il s'agit de l'eau de pluie recueillie sur les toits à larges pans qui alimente les citernes de la plupart des fermes isolées du Haut-Jura. Sur l'ensemble du canton, une seule localité n'est pas encore équipée de réseau de distribution et la plupart des maisons tirent leur eau de citernes privées. Il s'agit de la commune des Planchettes à proximité de la Chaux-de-Fonds. A noter cependant que quelques immeubles du bas de ce village reçoivent de l'eau du Doubs traitée par filtration et ozonation. Et que dès la fin de 2012 la totalité du village sera alimentée avec de l'eau de La Chaux-de-Fonds, les citernes ne subsistant que dans les fermes isolées.

Tableau 1.2 : Cette représentation permet de visualiser la diminution des consommations annuelles d'eau au cours du temps dans les communes du canton, grâce aux bilans quantitatifs des ventes d'eau. Les trois plus grandes localités, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel et Le Locle y sont examinées en détail. La consommation d'eau annuelle, notamment celle de ces grandes communes, met en évidence sans équivoque une diminution sensible et progressive depuis les années 1980 jusqu'à nos jours. On estime en effet à quelque 25 millions de m^3 la quantité annuelle d'eau utilisée dans le canton entre 1980 à 1985. En 1996, ce sont 20 millions de m^3 qui sont facturés, puis moins de 15 millions de m^3 en 2006. Cette quantité diminue encore en 2009. Si l'on ne considère maintenant que les trois principaux consommateurs d'eau du canton que sont Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds et Le Locle, on constate une évolution identique. En 1981, Neuchâtel utilise au total environ 7 millions de m^3 d'eau de sources, et cette quantité se stabilise à un peu moins de 6 millions en 2009. L'évolution pour l'eau du lac est semblable avec 3 millions de m^3 pompés en 1986, contre seulement environ 1 million en 2006. La constatation est la même pour La Chaux-de-Fonds alimentée avec 6 millions de m^3 en 1986 et seulement 4 millions en 2006-2009 ; idem pour Le Locle qui passe de plus de 1 million de m^3 annuellement en 1986, à un minimum de 700'000 en 2006 (avec toutefois une remontée sensible à environ 940'000 m^3 en 2009). Les autres communes du canton suivent la même évolution : elles livraient plus de 7 millions de m^3 dans les années 1980, mais seulement 2 millions en 2006-2009.

Le **tableau 2**, quant à lui, permet d'examiner la **consommation d'eau spécifique individuelle**, exprimée en litres par jour et par habitant (l/j/hab). La première partie du tableau (tab. 2.1) compare les valeurs globales des consommations totales et des eaux domestiques dans le canton, avec celles de la Suisse. La deuxième partie (tab. 2.2) détaille les différentes fractions qui constituent la consommation spécifique totale, complétée par la troisième partie (tab. 2.3) qui énumère les fractions de l'eau domestique. Comme les statistiques des tableaux 2.2 et 2.3 ne sont pas disponibles sur le plan cantonal, ce sont seulement celles fournies sur le plan Suisse par la SSIGE (Société suisse des Industries du Gaz et des Eaux) qui ont été présentées.

Tableau 2.1 : Les données concernant la consommation spécifique d'eau totale et domestique, exprimées en quantité d'eau (l/j/hab), confirment la diminution moyenne des besoins en eau depuis les années 1980, dont témoigne en parallèle la diminution des soutirages des ressources. Cette diminution est valable pour la consommation totale qui comprend aussi bien l'utilisation dans les ménages que les consommations industrielles, les pertes, l'eau publique (fontaines, arrosages, etc).

Pour comprendre cette évolution il est utile de revenir en arrière en évoquant ce qui s'est passé sur le plan suisse. Rappelons que la consommation d'eau totale du pays a très largement augmenté dans un premier temps, après les années de guerre, de 1950

Tableau 2 : Bilans des différentes fractions de consommations spécifiques en l/j/hab (suite p. 62)
Les données de ce tableau proviennent pour l'essentiel des statistiques périodiques établies pour l'ensemble du pays par la Société Suisse des Industries du Gaz et de l'Eau (SSIGE). Il n'existe pas d'éléments aussi détaillés pour le canton de Neuchâtel actuellement, à part les chiffres fournis par Matthey en 1980-81. Cependant il est admis que les statistiques établies par la SSIGE tous les cinq ans, à partir des renseignements fournis par les Services des Eaux de Suisse, sont assez comparables dans la plupart des cantons.

2.1 Moyennes cantonale et Suisse de consommation d'eau par habitant et par jour (l/j/hab)

CONSOMMATION NE-CH	1981 (160'000 hab)	1996 (166'000 hab)	2006 (169'000 hab)	2010 (172'000 hab)
Consom. totale canton NE	560 (bilan Matthey)	410	325	230
Consom. domestique cant.NE	190 (bilan Matthey)	----	230	**195**
Consommation totale Suisse	*500*	*480*	*404*	*400*
Consom. domestique Suisse	*180*	*170*	*162*	***160***

On voit que la consommation spécifique totale d'eau potable dans le canton a diminué très fortement de 1996 à 2010, pratiquement de quelques 50 % alors que la diminution moyenne suisse avoisine seulement les 20 %. Cela est dû vraisemblablement à l'imprécision des données de comptage de l'eau de l'époque, associée à des pertes importantes, auxquelles il faut ajouter une diminution drastique des besoins industriels au cours du temps, puis une meilleure gestion de la distribution de l'eau grâce à l'informatisation des processus de distribution. La comptabilisation de ces ressources, grâce à la taxe environnementale, s'est également perfectionnée.
Concernant l'eau domestique, la moyenne spécifique cantonale 2009 est de 195 l/j/hab, soit une diminution de l'ordre de 16 % par rapport à 2006 ; elle est toutefois plus élevée que la moyenne suisse qui est de 160 l/j/hab.

à 1980 durant le grand boom économique. Elle s'est alors stabilisée jusque dans les années 1985-90 où elle atteignait 500 l/j/hab sur le plan Suisse, et 560 l/j/hab dans le canton de Neuchâtel selon le bilan établi en 1981 (Matthey, 1986). Au vu de cette évolution, cet auteur avait même proposé une extrapolation pour les années futures ! C'est ainsi qu'il prévoyait une consommation de 630 l/j/hab pour 1991, puis 700 l/j/hab en 2001, pour finir à 745 l/j/hab en 2011 ! Or c'est exactement le contraire qui s'est produit puisqu'en 2010, la consommation totale moyenne s'est abaissée pour la Suisse à 400 l/j/hab. Dans le canton les apports d'eau totaux passent de 560 l/j/hab en 1981 (bilan Matthey) à 410 l/j/hab en 1996, et même à 230 l/j/hab en 2009, selon les estimations. En ce qui concerne l'eau domestique, Matthey indique une quantité de 190 l/j/hab en 1981, moins élevée que les moyennes cantonales de 2006 (= 230 l/j/hab) et de 2009 (= 195 l/j/hab). Il est possible que le chiffre de l'époque soit trop faible. Mais par rapport à la moyenne suisse qui est de 160 l/j/hab en 2005-2010, il est statistiquement recevable. Durant cette période, dans les ménages uniquement, la consommation d'eau domestique a diminué de 20 l/j/hab, passant de 180 l à 160 l/j/hab, en partie grâce à un comportement mieux adapté à la protection de l'environnement et aux économies d'énergie. C'est le secteur industriel qui a le plus contribué à ces diminutions grâce à de nouveaux procédés de production et à des restructurations. Cette baisse de consommation n'a pas été sans effets sur le prix de l'eau. La part des frais fixes pour la production d'eau potable étant très élevée, les distributeurs d'eau se sont vus obligés de compenser la baisse des ventes en augmentant le prix de l'eau ! Ce dernier reste toutefois relativement bon marché en Suisse : Fr. 1,50.- pour 1000 litres en moyenne en 2010, tout de même le double des années 1980 (voir détails dans le chapitre 7).

Dans le canton en 2009, la consommation d'eau domestique utilisée est estimée à 195 l/j/hab (160 l/j/hab sur le plan suisse), soit une diminution de 16 % par rapport à 2006 (230 l/j/hab). Un minimum de consommation a été mesuré à Villiers (100 l/j/hab),

ainsi que dans le réseau SEWAB de la Brévine avec seulement 63 l/j/hab, compte tenu du nombre important de fermes encore reliées à des citernes dans cette région. Par contre, un maximum de 393 l/j/hab a été enregistré à Marin-Epagnier du fait de son importante zone industrielle et commerciale comptabilisée avec l'eau domestique facturée. En ce qui concerne les villes, Neuchâtel se place en tête en 2009 avec une moyenne d'eau facturée de 258 l/j/hab ; elle est suivie par La Chaux-de-Fonds avec 232 l/j/hab, puis par Le Locle avec 222 l/j/hab. Pour mémoire rappelons que MATTHEY (1986) avait estimé à l'époque que les quantités d'eau facturées introduites dans les réseaux de distribution étaient comprises entre 124 à 655 l/j/hab.

Tableau 2.2 : Ce tableau fournit le détail des différentes subdivisions de la consommation d'eau spécifique totale en l/j/hab. établies par la SSIGE pour la Suisse. Elle comprend l'eau domestique, l'eau pour l'industrie, l'eau pour l'artisanat, celle destinée aux Services publics, celle des pertes de réseau et des fontaines. Outre les données des années 1980 tirées des bilans de Matthey, la comparaison des valeurs établies par la SSIGE en 1986, puis 2005-2010, met en évidence les variations de diminution entre les différentes fractions concernée : un peu plus de 10 % pour l'eau domestique (de 180 à 160 l/j/hab) ; mais environ 40 % pour l'industrie (de 115 à 72 l/j/hab), ce qui représente la plus forte économie d'eau ; environ 20 % pour l'artisanat (de 100 à 80 l/j/hab) ; et 17 % pour les pertes et fontaines (de 65 à 54 l/j/hab). Soit en moyenne 20 % de consommation totale en moins de 1986 à 2005-2010 (de 500 à 400 l/j/hab).

En ce qui concerne le bilan Matthey (op.cité), l'auteur indiquait en 1981 un maximum d'eau facturée de 360 l/j/hab. Mais ce chiffre ne comprenait selon lui que 52 % d'eau domestique, soit 190 l/j/hab, et 28 % d'eau industrielle (101 l/j/hab), le solde de 20 % se répartissant entre l'eau pour le bétail et l'arrosage, ainsi que le secteur tertiaire.

Tableau 2.3 : Ce tableau subdivise à son tour plus finement l'eau domestique, et à ce titre il va davantage dans le détail. Comme pour la consommation spécifique d'eau totale, cette subdivision, calculée par la SSIGE, n'est établie que sur le plan Suisse. Un tel bilan n'a jamais été réalisé pour le canton de Neuchâtel, mais la tendance exprimée par ces moyennes suisses nous semble transposable sur le plan local, du fait des habitudes de consommation identiques sur l'ensemble du territoire national. De ce fait, entre les 180 l/j/hab d'eau domestique utilisés dans les années 1980 et les 160 l/j/hab actuels, l'essentiel de la diminution provient des économies d'eau réalisées avec les toilettes (de 60 à 50 l/j/hab) et les bains (de 60 à 30 l/j/hab). Une diminution moins sensible apparaît au niveau de la consommation des jardins et divers, ce qui témoigne là également de l'application progressive d'habitudes d'économie. Une autre diminution moins explicable, est celle des lave-vaisselle; on passe en effet de 11 l/j/hab en 1980 à 4 l/j/hab en 2006. Peut-être s'agit-il de meilleures performances sur le plan environnemental de la part de ces machines? Par contre, les machines à laver le linge, ainsi que les soins corporels exigent un peu plus d'eau actuellement que dans les années 1980. Quant à l'eau de boisson, il n'y a pas de variations dans le temps, du moment que les besoins physiologiques ne changent pas. Signalons enfin que les traitements et la désinfection subis par l'eau potable s'appliquent à toutes les catégories d'eau domestique, ce qui est nettement moins coûteux que la création de réseaux de distribution séparés.

2.2 Subdivisions de la consommation d'eau spécifique totale en l/j/hab : SSIGE + bilan Matthey

DOMAINES consom. totale	SSIGE 1986		SSIGE 2005-10		Bilan Matthey 1980-81		
	l/j/hab	*%*	*l/j/hab*	*%*	*Domaines*	*l/j/hab*	*%*
Eau domestique	**180**	*36*	**160**	*40*	Eau domestique	**190**	*53*
Industrie	**115**	*23*	**72**	*18*	Industrie	**101**	*28*
Artisanat	**100**	*20*	**80**	*20*	Artisanat + Tertiaire	**37**	*10*
Services publics + fontaines	**40**	*8*	**34**	*8,5*	Bétail	**17**	*5*
Pertes	**65**	*13*	**54**	*13,5*	Arrosage	**15**	*4*
Totaux	**500**	***100***	**400**	***100***	**Total eau facturée**	**360**	***100***

Depuis les années 1980, soit depuis une trentaine d'années, la consommation totale de l'eau est en constante diminution. C'est surtout visible au niveau de l'industrie et de l'artisanat. A noter que les moyennes de pertes indiquées dans ce tableau, soit 13 %, sont moins élevées que celles du canton de Neuchâtel, qui sont en moyenne d'environ 20 % (valeurs 2009). Quand à l'intéressant bilan de MATTHEY *(1986), le seul de ce type à avoir été établi pour le canton, on constate que les besoins industriels étaient élevés à l'époque, et qu'il tient compte des besoins agricoles (arrosage + bétail). Il explique la grande différence entre la consommation totale de l'époque (560 l) et l'eau facturée (360 l), par les pertes.*

2.3 Subdivisions de l'eau domestique en l/j/hab (statistiques SSIGE) :

DOMAINES eau domestique	Statistiques 1986		Statistiques 2006-10	
	l/j/hab	*%*	*l/j/hab*	*%*
Toilettes (eau de WC)	**59**	*33*	**48**	*30*
Bains, douches	**58**	*32*	**32**	*20*
Machines à laver le linge	**18**	*10*	**30**	*18*
Vaisselle + cuisson	**15**	*8*	**22**	*13,5*
Soins corporels + lessive main	**10**	*6*	**21**	*13*
Lave – vaisselle	**11**	*6*	**4**	*2,5*
Boisson	**2**	*1*	**2**	*1*
Divers (jardin, nettoyage, etc)	**7**	*4*	**3**	*2*
Totaux	**180**	***100***	**162**	***100***

Les besoins en eau domestique en Suisse ont subi la même constante diminution que la consommation totale depuis les années 1980, ce qui s'explique surtout par les économies réalisées au niveau des WC et des bains (utilisation préférentielle des douches), les plus gourmands en quantité d'eau. L'eau de boisson par contre, et c'est logique, ne subit pas de variations dans le temps.

2. DISTRIBUTION DE L'EAU DE BOISSON ET PRINCIPAUX RÉSEAUX

Concernant la distribution de l'eau dans le canton de Neuchâtel (fig. 14), la répartition géographique délocalisée des grandes ressources en eau, essentiellement situées dans le Val-de-Travers, le Val-de-Ruz et le Littoral, a obligé certaines communes à créer des transferts importants. De plus, depuis une bonne cinquantaine d'années, on a assisté à des regroupements régionaux de distribution d'eau (le plus souvent sous forme de syndicats) par mise en commun de ressources. Ainsi, les communes les mieux loties peuvent fournir de l'eau d'appoint ou de secours à d'autres distributeurs dans le besoin, par interconnexion de leurs réseaux. Actuellement, seules deux communes sur les 37 que compte le canton en 2012, à savoir Valangin et Gorgier, n'ont encore établi aucune interconnexion avec d'autres distributeurs.

Dans cette optique de regroupements, les plus gros consommateurs, à savoir Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds, qui tirent l'essentiel de leurs besoins en eau à partir des sources des Gorges de l'Areuse, distribuent de l'eau d'appoint, en totalité ou partiellement, à plus de 20 communes situées sur le parcours des deux aqueducs de distribution, longs ouvrages de 13 km pour Neuchâtel et de 20 km pour La Chaux-de-Fonds. En résumé, on constate qu'actuellement 60 localités sont regroupées d'une manière ou d'une autre en **réseaux intercommunaux de distribution d'eau** (tab. 3). Mais dans le détail il faut noter que :

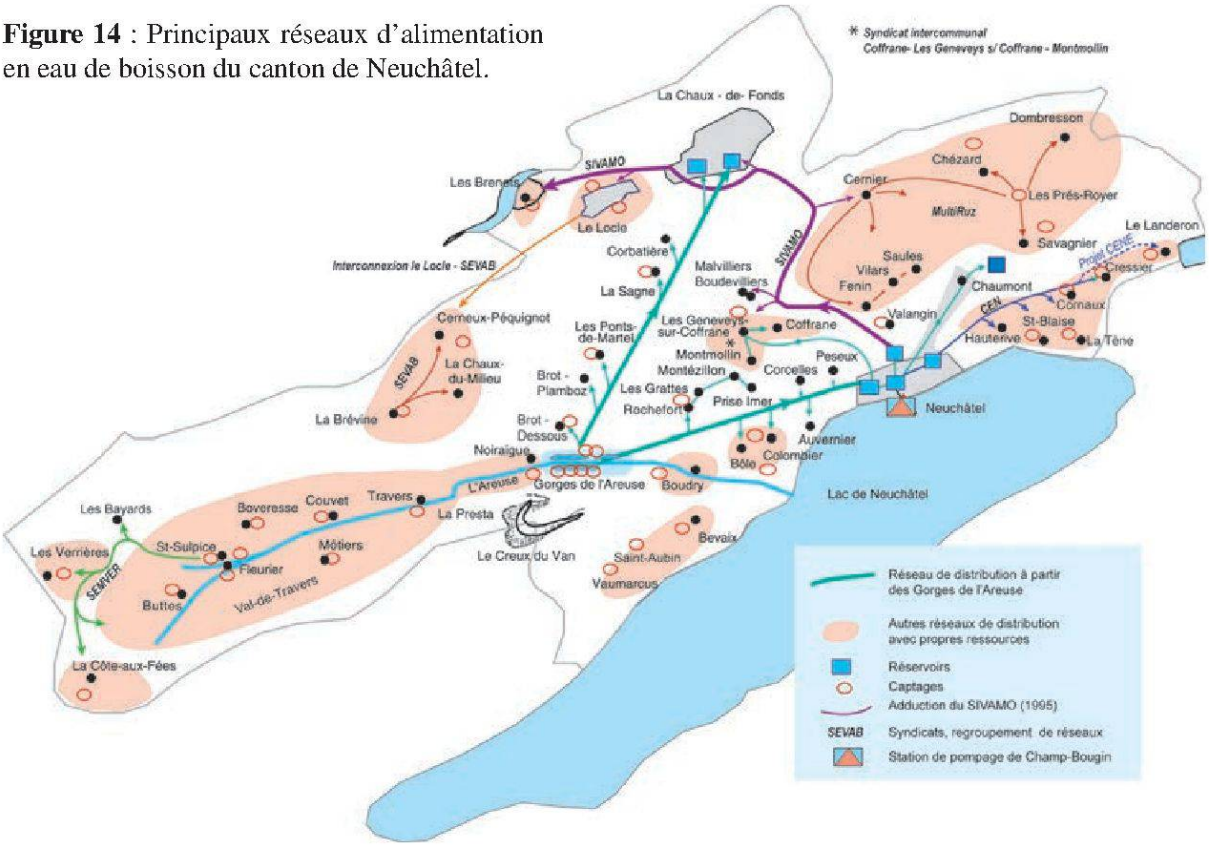
- 53 % des localités neuchâteloises sont autonomes, alimentées par des ressources leur appartenant et situées sur leur territoire;
- 11 % des communes interconnectées sont autonomes en tant que propriétaires des biens-fonds, mais elles captent de l'eau hors de leur territoire communal, comme La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel, Cernier, Fontainemelon, Hauterive, la commune de la Tène (Marin + Thielle) qui est alimentée par les sources du Vignier, etc.;
- 36 % des localités achètent la totalité ou une partie de leur eau en dehors de leur territoire.

La plupart des regroupements de réseaux de distribution se sont organisés plus ou moins récemment, sous la forme de syndicats dont le plus important est celui du SIVAMO (tab. 3). Mais il faut noter que certaines interconnexions sont fort anciennes, et découlent des circonstances des adductions historiques d'adduction d'eau, comme par exemple les sources des Gorges de l'Areuse, captées par Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds, et qui ont permis d'alimenter depuis leur mise en service en 1887, les communes situées sur le parcours des aqueducs; soit celles placées entre Rochefort et Peseux pour Neuchâtel, y compris Auvernier et Corcelles, et celles de la vallée de la Sagne et des Ponts pour La Chaux-de-Fonds.

Rappelons encore l'exploitation ou la mise en commun de certaines ressources en eau par deux ou trois communes, comme par exemple le puits de la Plaine d'Areuse exploité par Colombier et Boudry.

Les interconnexions, synonymes de sécurité, sont devenues la règle, dans la perspective d'un approvisionnement constant (les restrictions d'autrefois en étiage ne sont plus qu'un mauvais souvenir), et afin de permettre des solutions de rechange en cas de pollution grave d'une des ressources. A ce titre signalons que les ressources en eau (sources et nappes phréatiques) des localités de Fleurier, Travers et Môtiers dans la commune de Val-de-Travers, sont toujours relativement polluées et subissent des traitements de potabilité. Une étude est en cours pour les remplacer si possible par les abondantes eaux souterraines de la grotte de Longeaigues au-dessus de Buttes.

Figure 14 : Principaux réseaux d'alimentation en eau de boisson du canton de Neuchâtel.



A noter toutefois que la sécurité d'approvisionnement peut engendrer des difficultés : en effet, dans l'esprit des techniciens, si l'interconnexion des réseaux permet de résoudre les problèmes de quantité, ils en oublient parfois que la stagnation de l'eau dans des conduites de liaison laissées en stand-by durant de longues périodes, peut poser des problèmes d'hygiène suite à la formation de bio-films résistants, de bactéries indésirables, moisissures, etc. Pour éviter ces phénomènes, toutes les interconnexions doivent être purgées et désinfectées régulièrement.

Par ailleurs, outre les grandes quantités d'eau disponibles dans les sites majeurs que sont le Val-de-Travers, les Gorges de l'Areuse et le lac de Neuchâtel, le canton dispose d'autres réserves de moindre importance dans des sites hydrogéologiques spécifiques :

Sites à fortes ressources en eau :

Nappe phréatique de la Plaine d'Areuse;
Nappes phréatiques du Val-de-Ruz : Prés-Royers à l'est, Coffrane à l'ouest;
Nappes phréatiques du Val-de-Travers : anciennes mines d'asphalte de la Presta (concession de la Ville de La Chaux-de-Fonds en réserve pour le futur) ; hauts de Buttes;
Nappes phréatiques du plateau supérieur de Bevaix-Gorgier;
Calcaires du Malm sur le littoral, dont notamment :
Les aquifères profonds de Bevaix et de St-Aubin (captés actuellement par des puits artésiens de plus de 300 mètres de profondeur : puits de Treytel à Bevaix et puits du Pontet à St-Aubin);
Les aquifères profonds de la région de Chaumont et Monruz (sondage d'essais dans le futur);
Source de la Serrière.

Sites à ressources moyennes à faibles :

Nappes phréatiques de la région de Cressier - Le Landeron;
Nappes phréatiques des Ponts-de-Martel;
Nappes phréatiques de la Brévine;
Nappes phréatiques du Locle.
Tous ces aquifères souterrains, à l'exception de ceux de Bevaix et St-Aubin sont contenus dans des

Tableau 3 : Liste des syndicats et groupements de distribution d'eau du canton de Neuchâtel recensés en 2010 (SCAV).

SIVAMO : Depuis 1995, 17 communes reçoivent de l'eau d'appoint ou de secours par le SIVAMO (Syndicat d'alimentation en eau du Val-de-Ruz et des Montagnes neuchâteloises). Il s'agit notamment du Locle, de La Chaux-de-Fonds, des Brenets et du Val-de-Ruz, qui sont reliés depuis Neuchâtel par l'entremise d'un réseau de conduites et de réservoirs de 32 km, dont une section traverse le tunnel routier de la Vue-des-Alpes. Si on ajoute les 20 communes déjà précédemment reliées aux aqueducs de La Chaux-de-Fonds et Neuchâtel, ce sont grosso modo plus de 110'000 habitants, soit environ les 2/3 de la population cantonale qui sont raccordés à ce système de distribution. Ce sont les sources des gorges de l'Areuse qui assurent l'essentiel de cet apport (85 % pour Neuchâtel, plus de 90 % pour La Chaux-de-Fonds). Le surplus de 15 % est puisé dans le lac à Champ-Bougin; c'est d'ailleurs la disponibilité en eau de lac durant les périodes d'étiage qui a permis l'implantation du réseau SIVAMO à partir de Neuchâtel. Il est exploité depuis 2008 par la Société VITEOS, qui regroupe les anciens Services Industriels des villes de Neuchâtel, de La Chaux-de-Fonds et du Locle.

CEN : *Communauté des eaux de Neuchâtel.* L'eau de secours et d'appoint du littoral Est, est gérée par Hauterive, pour Hauterive, St-Blaise, Cornaux et Cressier. Un projet pour y raccorder Le Landeron et La Tène est à l'étude. L'eau provient pour une part des sources de Valangin, et pour une autre part d'un appoint fourni par Neuchâtel. Une partie de ce réseau est également exploitée par VITEOS.

MULTIRUZ et **SERVICE DES EAUX** : Autrefois appelé SIPRE (Syndicat des Prés-Royers), ce groupement a exploité jusque dans les années 2000, les eaux des sept puits implantés dans les nappes phréatiques des Prés-Royers, entre Chézard et Dombresson. Ces puits ont permis de distribuer de l'eau aux localités de Dombresson, Savagnier, Chézard-St-Martin, Cernier, Fontainemelon, les Hauts-Geneveys, Fontaine, Engollon et Fenin-Vilars-Saules. Certaines de ces communes, propriétaires de sources locales, ont conservé leur propre distribution et ont utilisé les Prés-Royers comme appoint. En outre l'exploitation de l'assainissement (eaux usées) de cette partie du Val-de-Ruz, était regroupée dans le syndicat des eaux usées du Val-de-Ruz (SEVARU). Dès les années 2000 et par souci de simplification, SEVARU + SIPRE sont regroupés dans le SEVRE (Syndicat intercommunal des eaux du Val-de-Ruz et du Syndicat des Prés-Royers élargis). Mais dès juin 2007, un projet de régionalisation des eaux du Val-de-Ruz dans leur ensemble, est mis à l'étude. L'idée étant de regrouper toutes les activités concernant le cycle de l'eau, à savoir la gestion de l'eau potable, l'évacuation et le traitement des eaux usées, la protection des eaux souterraines et de celles de surface, la prévention des risques d'inondation, l'entretien des drainages agricoles et des cours d'eau, etc. La gestion de l'eau potable est particulièrement cruciale, car la demande en eau de cette région est telle, que lors de certaines périodes d'étiage, le SIVAMO doit y compenser jusqu'à 60 % des besoins. Ce projet est devenu réalité le 1er janvier 2011, sous le nom de MULTIRUZ (Syndicat régional de la gestion des eaux du Val-de-Ruz). Sur le plan national, MULTIRUZ constitue même un projet pilote en matière de gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Les 12 localités membres de MULTIRUZ en 2012 sont Cernier, Chézard-St-Martin, Engollon, Fenin-Vilars-Saules, Fontainemelon, Fontaines, Le Pâquier, Villiers, Les Geneveys-sur-Coffrane, Les Hauts-Geneveys, Savagnier et Dombresson. Elles font toutes parties de la Commune élargie de Val-de-Ruz. Les communes de Valangin, Boudevilliers, Coffrane et Montmollin dont les eaux usées sont évacuées à la STEP de Neuchâtel ne sont pas encore rattachées à MULTIRUZ, mais ce n'est qu'une question de temps. A fin 2012 il est probable que presque toutes ces communes auront entériné la fusion avec la Commune élargie du Val-de-Ruz, et que leur appartenance à ce syndicat deviendra réalité. Toutefois, à l'achèvement de ce processus de fusion, MULTIRUZ disparaîtra pour renaître sous la dénomination de «Service des Eaux de Val-de-Ruz».

COMMUNE DE VAL-DE-TRAVERS : L'ancien *Syndicat de distribution d'eau du Val-de-Travers* (SDEVT) qui regroupait les communes de Couvet, Boveresse, Travers, Noiraigue et Fleurier a été dissous au début de 2010, du fait de la fusion de ces localités, auxquelles se sont ajoutées St Sulpice, Buttes, Môtiers et les Bayards (à l'exception des Verrières et de la Côte-aux-Fées). Dès lors, un Service de l'Eau unique, basé à Couvet et rattaché aux Services industriels de la Commune élargie, a été mis en place. Il exploite les eaux des sources de l'Areuse, des nappes phréatiques et des sources locales, très abondantes des deux côtés de cette vallée.

SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX : Il s'agit du *Syndicat intercommunal des eaux des communes de Coffrane, Les Geneveys-sur-Coffrane et Montmollin*, lequel correspond au Groupement des communes du Val-de-Ruz Ouest qui s'appelait « La Paroisse » jusqu'en 2007, du temps où ces localités étaient réunies dans une même paroisse protestante. Les ressources en eau de ces trois villages (puits, sources et appoint par Neuchâtel) sont exploitées en commun. Toutefois cette situation est provisoire jusqu'à fin 2012, du fait de la fusion des Communes du Val-de-Ruz, et que les Geneveys-sur Coffrane font déjà partie de Multiruz. Coffrane et Montmollin, sont encore actuellement les derniers partenaires de ce syndicat intercommunal, qui devrait disparaître à fin 2012 pour rejoindre Multiruz.

SEHB : *Syndicat des eaux de la Haute-Béroche.* Ce syndicat permet de livrer de l'eau d'appoint aux communes de Montalchez, Fresens et aux maisons des hauts de St-Aubin et de Gorgier. C'est la nappe phréatique d'Onnens (Vd), qui fourni ce complément d'eau non traitée, mais de bonne qualité.

SEMVER : *Syndicat des eaux du Mont des Verrières.* Il permet l'alimentation en eau des zones de montagne des communes de la Côte-aux-Fées et de St-Sulpice. Il alimente également Les Verrières, les Bayards et Buttes. L'eau d'appoint de ces communes est captée à la source de l'Areuse.

SEPLET : *Syndicat des eaux des Prés-sur-Lignières et d'Enges.* Il est lui-même alimenté par le SED (syndicat pour l'alimentation en eau du plateau de Diesse). Ce dernier qui fournit en eau Prêles, Diesse et Nods, livre encore de l'eau d'appoint sur les hauts de Lignières et à une partie d'Enges, ces deux communes ayant leur propre réseau de base.

SEVAB : *Syndicat des eaux de la vallée de la Brévine.* Il regroupe les communes de la Brévine, de la Chaux-du Milieu et du Cerneux-Péquignot, alimentées en eau par le forage de la Porte-des-Chaux. Un réseau d'appoint depuis Le Locle a été inauguré en 2009 dans la prolongation du Sivamo.

CEREJOUX : *Comité d'exploitation du réseau d'eau de la Joux-du-Plâne et environs.* L'eau de St-Imier et de la Heutte alimente les Bugnenets et la Joux-du-Plâne, via Chasseral. De plus l'alimentation en eau de secours de la commune du Pâquier peut se faire par le réseau du Cerejoux, lui-même réalimenté par le Syndicat pour l'alimentation en eau potable des fermes de la chaîne de Chasseral (SECH).

DISTRIBUTION D'EAU DE ROCHEFORT : Ce réseau alimenté par les sources de Rochefort avec un appoint des sources de Neuchâtel, fournit en eau les localités de Rochefort, Montézillon, les Grattes et Chambrelien. Il est particulièrement étendu du fait des distances entre les différents partenaires.

LE LANDERON ET PARTENAIRES : Le Landeron est alimenté par des ressources locales : les sources de la Baume et le puits de la nappe phréatique ferrugineuse des Novalis. Mais il est relié depuis Erlach au sud et depuis la Neuveville à l'est à une alimentation d'appoint et de secours fournie par le Syndicat des Eaux du Grand Marais ou Wagrom (Wassergemeinschaft Grosses Moos, anciennement Ware = Wasserverbund der Region Amt Erlach). De plus, en prévision de l'arrêt de la fourniture d'eau par les Novalis en raison des difficultés d'exploitation des eaux ferrugineuses et anoxiques de ce captage, un projet d'adduction par le CEN élargi depuis Cressier, est à l'étude (situation 2010), mais non encore concrétisé en 2012.

ST-AUBIN ET BEVAIX : St-Aubin et Bevaix sont alimentés par des eaux karstiques souterraines issues de la Montagne de Boudry et prélevées au moyen de trois puits artificiels, les plus profonds du canton . Il s'agit du puits de Treytel à Bevaix (-302 m) et des deux puits du Pontet à St Aubin (-320 m et – 385 m). A Bevaix, l'eau est exploitée par les Services communaux, et à St-Aubin par Béroche Energie. Les réseaux de ces deux communes sont reliés par les adductions d'eau des tunnels de l'A5, ce qui leur permet en cas de problèmes de se donner mutuellement de l'eau de secours. Gorgier et Vaumarcus sont également reliés à ce dispositif de secours ; Vaumarcus est de plus alimenté en appoint non seulement par St Aubin, mais aussi par Onnens.

COLOMBIER ET BOUDRY : Ces deux localités obtiennent leurs eaux de sources locales, d'un puits commun situé dans les terrrains meubles de la Plaine de l'Areuse, et d'appoints réguliers par les eaux de l'aqueduc des sources de Neuchâtel. Elles disposent chacune de Services Industriels qui gèrent leur propre eau. Colombier ayant fusionné avec Bôle et Auvernier (Commune de Millvignes), lesquelles sont alimentées par l'eau de l'aqueduc de Neuchâtel, reprendra le Service des Eaux de cette nouvelle entité.

terrains meubles (sables, graviers d'origine quaternaire ou tertiaire).

En ce qui concerne les différents ouvrages et systèmes permettant la distribution de l'eau courante, il convient de rappeler que ce n'est qu'à partir du milieu du 19ème siècle que l'usage du robinet se généralise, lorsque l'eau peut être distribuée sous pression dans tous les immeubles. Pour ce faire il a fallu réaliser son stockage dans des réservoirs placés au-dessus des immeubles dans les régions montagneuses, ou dans des châteaux d'eau dans les pays plats. Outre les réservoirs, il a fallu résoudre de nombreux problèmes comme la fabrication des tuyaux et des vannes (autrefois les fontaines, seules sources d'approvisionnement étaient souvent alimentées par des tuyaux en bois), les appareils de mesure des débits, les joints étanches, etc. Guillaume Ritter avec sa distribution d'eau à partir du Seyon en 1864, a été un des premiers à introduire ces techniques dans le canton et en Suisse.

Le **répertoire cantonal des eaux potables** a permis de recenser (situation 2005) les principaux types d'ouvrages utilisés dans 53 localités du canton comprenant 49 distributeurs, à savoir :
4959 ouvrages comportant notamment 629 captages de sources, 138 puits, 62 réservoirs à 1 cuve, 84 réservoirs à 2 cuves [1], 624 chambres diverses (chambres de rassemblement, de partage, de vannes, etc.), 45 raccordements souterrains, 87 stations de pompage, 13 bassins de pompage, 486 fontaines sur réseaux (dont 120 à Neuchâtel), et 208 fontaines directement reliées à des sources. Actuellement, la plupart de ces fontaines ne sont plus destinées à l'alimentation. Elles permettent surtout de se désaltérer et de purger en continu certains réseaux qui sont en cul-de-sac ; et de plus en plus souvent, elles sont implantées dans des buts artistiques ou ludiques.

3. QUALITÉ DE L'EAU ET CONDITIONNEMENT DES EAUX DE BOISSON

La pollution de l'eau

L'eau contient des **impuretés** solides ou dissoutes recueillies lors de son passage dans les sols et les roches. Nous avons vu que nombre d'entre elles sont d'origine naturelle (calcium, magnésium, sulfates, etc.), mais que beaucoup d'autres sont des matières polluantes issues des activités humaines : **résidus industriels** (acides, bases, métaux lourds, solvants), **rejets accidentels** (essence, mazout), **épandages agricoles** (purins, engrais, pesticides), **micropolluants de tous types** (analgésiques, perturbateurs endocriniens, etc).

• Dans le canton de Neuchâtel, jusque dans les années 1970, les résidus **chimiques industriels** étaient rejetés directement dans les dépressions des sols communiquant avec les eaux souterraines (dolines, emposieux, fissures) ou directement dans les eaux de surface. Il en allait de même pour les **ordures**, sans oublier les rejets de **l'activité agricole**. Mais actuellement pour l'essentiel, ces procédés ne sont plus que de mauvais souvenirs. Les méthodes de récupération ont en effet progressé, et simultanément la législation a considérablement évolué et s'est durcie, grâce à des révisions en plusieurs étapes. La dernière en date est celle de la **Loi fédérale sur la Protection des eaux (LEaux)** du 24 janvier 1991, et son **ordonnance d'application (OEaux)** du 28 octobre 1998, qui est du ressort des cantons. Parallèlement, la **Loi fédérale sur la Protection de l'Environnement (LPE)** du 7 octobre 1983, et ses nombreuses ordonnances, en particulier l'**Ordonnance sur les toxiques (Otox)** du 19 septembre 1983, ont augmenté considérablement l'efficacité des mesures contre les rejets sauvages des produits toxiques. La détection des pollutions et leur décontamination étant difficiles et coûteuses, cette législation renforcée permet d'agir préventivement au niveau des sources de risques industriels ou agricoles. De ce fait, les rejets fortuits ou accidentels sont de plus en plus rares, la protection de l'eau dans son gisement étant devenu un objectif majeur. Ils

1) Les réservoirs à deux cuves permettent de distribuer de l'eau sans interruption lors de travaux d'entretien dans une des cuves.

restent le plus souvent liés aux épandages agricoles, viticoles et forestiers, (engrais, pesticides et substances phytosanitaires apparentées), qui sont actuellement mieux ciblés dans leur usage, à l'exception des concentrations en nitrates dans les zones à forte activité agricole. Si bien qu'on ne retrouve les composés chimiques polluants et dangereux la plupart du temps que sous forme de traces, (micropolluants issus des solvants, perturbateurs endocriniens, et autres molécules de synthèse, etc). Seules, les anciennes décharges et les sites contaminés représentent encore une source de pollution plus élevée : par exemple, résidus de perchloroéthylène dans la nappe de Couvet-Boveresse, et dans l'eau du «Puits de France» au Locle.

En revanche, il existe un type de pollution des sols qui se perpétue par la force des choses, à savoir la contamination biologique par des microorganismes issus de matières fécales : épandages périodiques de fumiers et purins sur les sols, rejets d'eaux usées ou exutoires de stations d'épuration. Les microorganismes hôtes des sols et des réservoirs naturels sont sans danger pour l'homme et tolérés dans une certaine mesure. Par contre, les matières fécales d'hommes et d'animaux malades sont à craindre car elles peuvent transmettre des maladies (gastro-entérites, hépatites, salmonelloses, parasitoses, etc.), par l'intermédiaire de l'eau. La plupart des eaux karstiques du canton de Neuchâtel ne sont pratiquement pas filtrées naturellement car les sols de leurs bassins de réception sont en général peu épais. Par conséquent, la majorité des sources sont susceptibles d'être contaminées par des microorganismes fécaux, surtout en période de pluie (lessivage des sols). On peut y rencontrer quelques dizaines, voire quelques centaines et jusqu'à quelques milliers de bactéries d'origine fécale par 100 ml d'échantillon, en cas de pollution sévère. Mais il y en a largement plus de 10 millions dans une eau usée non épurée. Rappelons que chaque gramme de selle humaine contient en gros plus de 100 milliards de bactéries vivantes ou mortes. Il en subsiste encore plusieurs centaines de milliers après épuration. Par contre, dans les nappes phréatiques situées dans des terrains meubles épais, où la rétention des microorganismes dans les couches de surface est bonne, les eaux ne sont que peu ou pas souillées et sont directement consommables. C'est par exemple le cas du puits de Boudry et Colombier dans le delta de l'Areuse, ainsi que des captages profonds (≤ -300 m) des puits du Rafour à St-Aubin et de Treytel à Bevaix. Ces captages dont les nappes sont suffisamment protégées ne contiennent pratiquement pas de pesticides, malgré une forte activité agricole et horticole en surface.

En définitive, la qualité des eaux souterraines exploitées dans le canton a pu être progressivement améliorée grâce à la loi fédérale sur la Protection des eaux de 1991, qui a permis de lutter contre la plupart des types de pollution. Cette loi a défini les mesures que les cantons doivent prendre pour protéger les eaux souterraines exploitables, notamment en délimitant des **zones** et **périmètres de protection des eaux souterraines** dans les sites d'alimentation**.** Ces zones de protection qui entourent et délimitent actuellement plus de 90 % des captages et sources d'eau de boisson, permettent de les protéger des pollutions insidieuses (interdiction de purinage par exemple, dans les endroits à risques) ou accidentelles (déversements d'hydrocarbures ou de purin). Une amélioration sensible d'un certain nombre de captages protégés est dès lors apparue suite à la mise en vigueur progressive de la loi et de son ordonnance d'application, et ce malgré des réticences initiales lors de l'élaboration de ces sites protégés.

Les contrôles de qualité

L'eau peut contenir, nous l'avons vu, une infinité de substances et d'organismes naturels ou artificiels. La surveillance de sa qualité s'effectue au moyen d'analyses bactériologiques et chimiques périodiques afin de garantir un état de salubrité optimal de l'eau potable. Ces analyses permettent en

outre de contrôler si les normes sanitaires en vigueur sont respectées jusqu'au robinet du consommateur. Pour ce faire, on recourt à deux catégories fondamentales d'examens : les **analyses microbiologiques** et les **analyses chimiques** (tab. 4). Les premières s'intéressent à l'eau comme vecteur potentiel de maladies graves, suite à la présence possible de microorganismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, etc.) dans les eaux contaminées par des matières fécales (purin, eaux usées, etc.). Elles concernent la plupart des eaux de surface. Les secondes permettent de définir la nature des composés physico-chimiques naturels ou artificiels que l'eau a dissous et assimilés le long de son parcours terrestre. Du fait des risques épidémiologiques encourus par la consommation d'eaux chargées en microorganismes, ce type d'analyses revêt une importance primordiale par rapport aux analyses physico-chimiques. C'est le cas dans le canton où les contaminations d'origine chimique sont plutôt sporadiques et accidentelles. On s'intéressera dès lors davantage à la composition naturelle des impuretés de l'eau et à ses équilibres (dureté, sels minéraux, oxygène dissous, etc.) ; les métaux lourds, pesticides et différents autres poisons n'étant traqués qu'en cas de suspicion. De ce fait, la plupart des campagnes d'analyses régionales effectuées s'adressent dans 90% des cas aux contrôles microbiologiques, essentiellement bactériologiques. Bien que, selon son origine, l'eau puisse contenir une multitude de bactéries, protozoaires, champignons et parasites, sans compter les virus, on n'analyse qu'une vingtaine d'indicateurs au maximum, mais dans tous les cas les deux principaux suivants :

- **Les indicateurs fécaux** : *Escherichia coli* et entérocoques.
- **Les indicateurs de contamination globale de l'eau, permettant de tester l'efficacité de désinfection** : les germes aérobies mésophiles.

Les normes

Les exigences de potabilité obligent les distributeurs à livrer une **eau de boisson**, (appelée aussi **eau potable**), qui ne cause ni troubles, ni maladies, ni empoisonnements, ni épidémies, aux êtres humains. Les directives de l'OMS (1985), reprises en Suisse par l'**Ordonnance sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale** du 23 novembre 2005, résument la potabilité de l'eau de la façon suivante :

- *Avant toute chose, l'eau ne doit pas contenir de microorganismes pathogènes.*
- *Elle ne doit contenir aucun produit chimique toxique.*
- *Elle doit être d'un goût et d'une fraîcheur agréable, ne pas contenir de matières en suspension, et être suffisamment oxygénée.*
- *Elle ne doit pas être excessivement minéralisée.*

Pour respecter ces conditions de base, chaque pays a établi des normes concernant les doses journalières admissibles (DJA) établies par les toxicologues pour la plupart des substances dissoutes dans l'eau. On distingue en Suisse (tab. 5) la **valeur d'expérience**[1)] basée sur les propriétés naturelles de l'eau exploitée sans aucun risque pour la santé; puis la **valeur de tolérance**[2)], qui correspond à une concentration maximale sans risques pour la santé; un dépassement occasionnel peut être toléré. Enfin, la **valeur limite**[2)] ne doit être dépassée en aucun cas, le composé chimique étant toxique (pesticides, métaux lourds), ou le microorganisme étant pathogène (salmonelles responsables de la typhoïde, entre autre). Le tableau 5 fournit quelques valeurs à titre d'exemple; pour une liste très complète, on se référera au tableau du Service cantonal de l'alimentation et des affaires vétérinaires (www.ne.ch/scav).

Le tableau 6 indique les principales valeurs analytiques des éléments dissous ou en suspension de quelques types d'eau régionaux (tab. 6.1), comparées à de l'eau de mer et à de l'eau minérale (tab. 6.2).

1) MSDA : Manuel Suisse des Denrées alimentaires, chapitre 27 (chimie) et 56 (bactériologie).
2) OSEC : Ordonnance sur les substances étrangères et les composants, pour la chimie (26.06.1995).
OHyg : Ordonnance sur l'hygiène, pour la bactériologie (26.06.1995).
Ces deux ordonnances indiquent les valeurs de tolérance et les valeurs limites des composés alimentaires et de l'eau de boisson.

Tableau 4 : Principaux types d'analyses microbiologiques et chimiques de l'eau.

Analyses microbiologiques :

Ce contrôle s'effectue au moyen de microorganismes peu ou pas pathogènes, fécaux ou non, faciles à mettre en évidence, et appelés germes indicateurs ou germes–tests. En Suisse, on utilise deux catégories de germes-tests :

Les germes aérobies mésophiles : bactéries, moisissures, levures, etc. qui vivent en présence d'oxygène et à température moyenne, en général entre 10 à 30° C, et obtenues après 3 jours d'incubation sur un milieu de culture non sélectif. Ces germes ne sont pas dangereux en soi, mais comme ils proviennent de la terre et des sols (microorganismes telluriques), ils sont plus résistants au chlore et aux désinfectants usuels. Lorsqu'ils sont en excès, ils témoignent de l'état de souillure d'un réseau, d'un réservoir, etc, et permettent de savoir s'il faut le purger, le désinfecter ou le nettoyer. **On en tolère au maximum 20 unités par ml d'eau après traitement, et 300 en réseau (=300 000 par litre !).** Au-dessus de cette concentration, l'eau peut prendre de mauvais goûts (moisi, terre, etc). On observe aussi que des eaux tièdes et stagnantes sont susceptibles de former des aérosols dangereux, pouvant contenir des légionelles, qui font elles aussi partie des germes telluriques. En règle générale, dans des réseaux bien entretenus, on détecte rarement plus de 20 germes par ml.

Les indicateurs de contamination fécale : Les indicateurs fécaux utilisés en Suisse sont les bactéries ***Escherichia coli*** et celles du groupe des **entérocoques,** faciles à mettre en évidence sur des milieux de culture sélectifs. Ces deux types de microorganismes, pas forcément dangereux, indiquent la présence d'une contamination par des matières fécales ou animales qui elles, sont susceptibles de contenir des microorganismes pathogènes, tels que les salmonelles, lesquels peuvent occasionner de graves affections entériques. **Aucun de ces indicateurs fécaux ne doit être décelé dans 100 ml d'échantillon. Quant aux salmonelles, si elles sont analysées, aucune ne doit être détectée dans un échantillon de 5 litres d'eau.**

Analyses physico-chimiques :

On peut analyser quelques composés chimiques pour voir si une eau est conforme aux normes en vigueur, et beaucoup plus pour définir sa qualité globale en tenant compte des micropolluants de tous types (jusqu'à 60 paramètres). Voici les principaux paramètres utiles :

Paramètres organoleptiques : *couleur, transparence, odeur, saveur.* C'est le premier examen grossier (goût, odeur, aspect) qui permet de déceler le degré de pureté de l'eau.

Paramètres physico-chimiques : *température, pH, turbidité, conductivité et matières en suspension*: idéalement la *température* devrait être comprise entre 8 et 15° C, le *pH* entre 7,5 et 8,5. La *turbidité* mesure la transparence de l'eau ; au-dessous de 1 TE/F (unités formazine, substance homogène de référence) l'eau est considérée comme limpide. La *conductivité* (passage du courant électrique) est proportionnelle à la quantité d'éléments chimiques ioniques dissous dans l'eau tels que le calcium, le magnésium, les sulfates, etc. Plus la conductivité est élevée, plus l'eau est riche en composés dissous. Enfin, les *matières en suspension*, obtenues par évaporation d'un échantillon d'eau calibré, indiquent sa teneur globale en sels minéraux organiques et inorganiques.

Paramètres de contrôle des concentrations en désinfectants et produits chimiques : c*hlore, ozone, floculants, etc.* Par exemple on vérifie que, dans un réseau, les teneurs en chlore ne dépassent pas la norme tolérée qui est de 0,1 mg/L. Les teneurs en floculants (sels d'aluminium ou de fer) sont également strictement limitées.

Sous-produits du traitement et de la désinfection de l'eau potable : *halométanes et composés phénolés* pour le chlore, *chlorites et chlorates* pour le dioxyde de chlore, *aldéhydes et cétones* pour l'ozone, etc. Ces sous-produits sont essentiellement dus à des interactions avec certaines matières organiques contenues dans l'eau (acides humiques et fulviques par exemple). Du fait de leur toxicité élevée déjà à faibles concentrations, ils font l'objet d'une attention particulière de la part des traiteurs d'eau, qui doivent choisir leurs procédés de désinfection de manière à les éviter au maximum.

Paramètres caractéristiques de la composition naturelle de l'eau (hydrogéochimie) : il s'agit des cations et anions majeurs tels que *calcium, magnésium, potassium*, *sodium*, *strontium*, *fer*, etc, et respectivement les *sulfates, hydrogénécarbonates, chlorures, nitrates, phosphates,* etc. Ils permettent de définir le type d'eau concerné en fonction des différences de concentration de ces divers composés : eaux bicarbonatées calciques comme la plupart des eaux du karst neuchâtelois, eaux sulfatées calciques, eaux séléniteuses, etc. On exprime leur concentration en mg/L ou en mmol/L (voir les duretés ci-dessous), voire en meq/L. Le milliéquivalent par litre (meq/L) permet d'établir une comparaison équilibrée entre les différentes molécules constitutives des cations et des anions. Cette notation est notamment utilisée pour l'établissement du bilan ionique d'une eau, appelé aussi balance ionique (voir fig. 6, p. 35).

Dureté : La **dureté totale** de l'eau exprime sa teneur globale en carbonate de calcium et de magnésium dissous tandis que la **dureté carbonatée** exprime la teneur en bicarbonates solubles (HCO_3^-). Généralement on indique les concentrations de ces composés en **mg/L**, en **mmol/L,** en ° **français (°f)** ou en **meq/L**. Le degré français correspond à 1/10ème de mg/L qu'il permet de simplifier ; la millimole par litre d'eau représente elle-même le 1/10ème du degré français. C'est l'unité légale en vigueur dans les laboratoires d'analyses d'eau. Quant au milliéquivalent par litre d'eau, il correspond à 5°f.

Matières organiques (MO) : les teneurs en *MO* de l'eau *(carbone organique dissous, oxydabilité, mesure d'extinction en lumière UV à 254 nm)* permettent d'estimer le degré de contamination de l'eau sous l'influence des teneurs en substances organiques d'origine humaine ou animale, et des rejets industriels alimentaires (laiteries, abattoirs, etc)..

Teneur en oxygène dissous : La teneur en *oxygène dissous* et son *degré de saturation* exprimé en %, permettent d'évaluer la concentration d'oxygène présent dans une eau, et dont le degré de dissolution dépend de la pression atmosphérique du lieu. Une eau très aérée et pure est en général sursaturée en oxygène, tandis qu'une eau qui reçoit des rejets d'eau usée est pauvre en oxygène, ce qui peut avoir une influence négative sur la faune et la flore aquatique.

Substances azotées : *ammonium*, *nitrites, nitrates*, *azote élémentaire.* Ces paramètres permettent d'évaluer les pollutions dues à l'utilisation et au lessivage des engrais et des purins dans l'agriculture, la viticulture, etc. Si les nitrites ont une toxicité élevée déjà à faible concentration, les nitrates sont nettement moins dangereux, mais ce sont d'excellents indicateurs de pollution des sols.

Contaminants et toxiques: ce sont tous les composés chimiques ou physiques indésirables, pour la plupart issus des activités humaines et dont la variété est innombrable. Citons en particulier les *métaux lourds*, les *pesticides*, les *hydrocarbures*, les *résidus pharmaceutiques*, l*es perturbateurs endocriniens*, etc, etc. Du fait de leur dangerosité, les normes les concernant sont plus sévères que pour les autres paramètres. Mais leur concentration souvent très faible (au-dessous du µg/L) et leur variété (on estime qu'il y a des dizaines de milliers de composés chimiques dissous, issus des activités humaines, qui se retrouvent dans l'eau), rend leur détermination particulièrement compliquée. L'Office fédéral de la santé publique (OFSP) a proposé récemment de classer par ordre de priorité les contaminants à évaluer sur le plan toxicologique, au moyen du concept TTC (seuil de préoccupation toxicologique), émanant de l'Institut européen des sciences de la vie.

Tableau 5 : Exemples des normes de quelques paramètres

Domaines	Paramètres	Abbrév.	Val.d'expérience (MSDA)	Tolérance (OSEC)	Val. limite (OSEC)
Chimie	Température Chlore libre Nitrates Plomb	°C mg/L mg/L mg/L	8 – 15 - ≤ 25 ≤ 0,001	- 0,1 40 -	- - - 0,01
Bactériologie ***U F C =*** *u n i t é s formant colonies.* ***nd=****non décelables*	Germes aérobies *Escherichia coli* Entérocoques Salmonelles	UFC/ml UFC/100 ml UFC/100 ml UFC/5 l	- - - -	300/ml nd/100 ml nd/100 ml -	- - - nd/5 l

Tableau 6.1 : Exemple de composition chimique d'eaux régionales (moyenne 2000 - 2005)

Eléments chimiques dissous majeurs en mg/L				
Paramètres	**Areuse**	**Sources Gorges Areuse**	**Eau du lac (NE)**	**Nappe Val-de-Ruz**
Dureté totale mg/L / °f	220 *22°f*	200-220 *20–22°f*	150–160 *15 – 16°f*	300-350 *30 – 35°f*
Dureté carbonatée HCO_3^- mg/L / °f	210 *21 °f*	190-210 *19 – 21°f*	145-150 *14 – 15°f*	280-290 *28 – 29°f*
Calcium Ca^{2+}	83,0	65,0	54,0	88,0
Sulfates SO_4^{2-}	5,0	8,5	14,0	80,0
Magnésium Mg^{2+}	3,5	6,5	6,0	29,0
Nitrates NO_3^-	3,0	6,0	8,5	9 à ≥ 30 (=engrais)
Chlorures Cl^-	2,0	3,5	9,0	5,0
Silice	2,0	1,5	1,5	8,0
Sodium Na^+	1,5	1,0	4,0	10,0
Potassium K^+	1,0	0,5	2,0	1,5
Carbone org. dissous C	**≤0,5**	**≤0,5**	**≥2,0**	**≤0,5**
Minéralisation mg/L	**310**	**280**	**240**	**300**

La minéralisation est la somme des éléments chimiques dissous dans 1 l d'eau obtenus après évaporation (résidus secs). Elle est d'environ 0,3 g/L (0,03%) dans l'eau du secteur de l'Areuse et au Val-de-Ruz, et de 0,25 g/L (0,025 %) dans l'eau du lac. Elle est par contre de 2 à 5 g/L (0,5%) dans les eaux minérales et de 30 à 40 g/L (3 à 4 %) dans l'eau de mer. Les eaux douces ont des teneurs inférieures à 0,1 g/L (≤0,01 %).

Paramètres physico-chimiques				
pH	7,4 – 7,7	7,8 – 8,0	7,7 – 8,2	7,4 -7,6
Conductivité en µS	320	300	260	550
Oxygène dissous en % de saturation	100	100	100	100

Composés présents en faibles quantités dans tous ces types d'eau			
Indicateurs de pollution mg/L		**Substances toxiques mg/L**	
Ammonium NH_4^+	≤0,005	**Métaux lourds**	≤0,01
Nitrites NO_2^-	≤0,002	**Pesticides**	≤0,01
Nitrates NO_3^-	≤10,0	**Organo-chlorés**	≤0,01

Il existe encore une cinquantaine d'autres éléments traces naturels en concentration de l'ordre du µg/L, tels que le phosphore, le strontium, le fer, l'aluminium, le lithium, etc.

Tableau 6.2 : Composition chimique de quelques autres types d'eau

Comparaison avec de l'eau de mer et des eaux minérales (mg/L)				
Eau de mer		Eaux minérales	Henniez (eau de table)	Adelbodner
Chlorures	18'980	Dureté totale	32°f	146°f
Sodium	10'560	Dureté carb.	36°f	114°f
Magnésium	1'270	Calcium	98	530
Soufre	880	Nitrates	23	3
Calcium	400	Magnésium	18	32
Brome	65	Silice	15	7,5
Carbone	28	Chlorures	11,5	10,5
Strontium	13	Sulfates	10	323
Bore	5	Sodium	7,5	6
Potassium	0,8	Lithium	≤0,5	1
		Strontium	1	6
		Potassium	1	2
Minéralisation	35'000	Minéralisation	550	2050
Conductivité µS	30'000	Conductivité µS	600	3000

L'évolution des analyses chimiques et bactériologiques

Si l'on en revient au début du 20ème siècle par l'entremise du Bulletin de la SNSN, on se rend compte que les techniques analytiques de l'époque, tant dans le domaine de l'eau que dans les autres secteurs, n'en étaient qu'à leurs balbutiements : peu de paramètres, échantillonnages isolés et manipulations entièrement manuelles. Le perfectionnement est lent jusqu'en 1950, puis les techniques finissent par s'affiner et progressent rapidement à partir des années 1960-1970 : spectrophotomètres et appareils de titration font leur apparition, les analyses s'effectuent en série et l'on invente les passeurs automatiques d'échantillons qui permettent de gagner beaucoup de temps et de précision dans les manipulations. En ***bactériologie****, d'énormes progrès apparaissent aussi à cette époque avec la pratique révolutionnaire de l'ultrafiltration sur membranes pour les liquides, qui permet d'obtenir par incubation sur un milieu de culture adéquat, une détermination quantitative des colonies microbiennes, statistiquement valable. Des méthodes encore plus fines, permettant de diminuer drastiquement les durées d'incubation qui se comptent en jours, d'affiner les déterminations et le dénombrement des traceurs microbiens présents dans l'eau, sont actuellement en phases d'études et de tests dans les laboratoires spécialisés. Il s'agit entre autre de la détermination de l'ATP (adénosine-tri-phosphate) issu de l'activité des micro-organismes ; de l'application de l'amplification en chaîne de l'ADN par polymérase (PCR=polymerase chain reaction) ; de la cytométrie par flux (mesure des particules microbiennes d'un volume d'eau déterminé, par un faisceau laser), etc. En* ***chimie****, on a progressivement mis au point, grâce aux techniques de chromatographie (phase gazeuse ou/et liquide), les analyses de micropolluants organiques, tels que pesticides, dérivés halogénés et autres composés. Du côté des éléments minéraux, la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) permet de déterminer qualitativement et quantitativement les éléments du tableau périodique. Elle est relayée progressivement par la spectrophotométrie d'émission atomique à couplage inductif (ICP) qui offre un balayage d'ensemble des paramètres, métaux et autres, de ce tableau.*

Cependant, ce qui a le plus révolutionné les techniques analytiques est indéniablement l'avènement de l'informatique, avec des ordinateurs toujours plus performants, susceptibles de piloter automatiquement aussi bien le déroulement des analyses que les programmes de calculs qui en découlent. Quantitativement, on est passé d'une détermination relativement grossière en

mg/L (= 1 millième de g/L), à des quantités[1] mille fois inférieures en µg/L (= 1 millionième de g/L), voire encore plus basses en ng/L (= 1 milliardième de g/L). Le spectromètre de masse, couplé à ces techniques analytiques, permet des définitions particulièrement fines. Parallèlement, les normes des denrées alimentaires et de l'eau deviennent toujours plus précises et mieux ciblées grâce aux progrès de la toxicologie. À titre d'exemple, signalons que le Service de la consommation et des affaires vétérinaires neuchâtelois a mené en automne 2010 une campagne sur une quinzaine de distributions d'eau afin de déceler si elles contenaient des perturbateurs endocriniens. Aucun des dérivés hormonaux recherchés n'a été détecté dans les eaux examinées. Mais ce qui est surtout remarquable, c'est qu'on puisse identifier de tels composés, encore indétectables il y a seulement quelques années. Il reste quand même beaucoup à faire au vu des milliers de produits chimiques susceptibles de se trouver sous forme de traces aussi bien dans l'environnement que dans l'eau, souvent transformés ou dégradés en de multiples autres substances par les microorganismes et l'influence de facteurs physico-chimiques, après leur séjour dans les eaux usées.

4. LE TRAITEMENT DES EAUX

Si l'eau de boisson ne correspond pas aux critères définis par les normes, on lui fera subir des traitements correctifs pour la rendre potable, tout en respectant ses équilibres initiaux (dureté, etc.). Il y a quatre catégories de traitements possibles à effectuer séparément ou en association, selon le degré de contamination de l'eau :

Le premier conditionnement et le plus important de tous est la **désinfection**, au moyen de chlore ou dérivés, d'ozone ou par irradiation UV. Dans le détail, l'étape principale de la désinfection est le plus souvent réalisée avec du chlore. Ce procédé garantit la destruction des microorganismes pathogènes; depuis le début du 20ème siècle, il a sauvé des millions de vies humaines.

En second lieu, l'eau doit être **clarifiée** par filtration ou décantation, voire actuellement par ultrafiltration, si elle contient des matières en suspension en excès.

En troisième lieu, elle subira une **correction chimique** si elle est par exemple agressive, si elle contient du fer ou si elle est insuffisamment oxygénée, etc.

Enfin, en quatrième lieu, elle subira un **affinage** supplémentaire, par ozonation ou filtration sur charbon actif par exemple, si on souhaite obtenir une qualité supérieure à celle exigée par les normes.

Les procédés de désinfection, qui sont le plus souvent utilisés dans le traitement de l'eau, constituent un domaine où on a réalisé des progrès remarquables, en particulier en ce qui concerne les dosages automatisés qui permettent des ajouts très fins et ciblés. Les trois grandes catégories de désinfectants employés de nos jours, sont les suivants :

- **Le chlore, qui peut être introduit dans l'eau sous forme de chlore gazeux (Cl_2), d'eau de Javel (NaOCl)**, de **dioxyde de chlore (ClO_2),** et actuellement de plus en plus pour des questions de sécurité d'emploi, de **chlore électrolytique** (=eau de Javel faiblement concentrée produite in situ par électrolyse de sel de cuisine NaCl). En réseau, la tolérance maximale en chlore, lequel est parfaitement rémanent, est de 0,1 mg/L (= 0,1 g/m^3), mais des dépassements sont autorisés en cas de forte pollution fécale. Ils sont sans incidence sur la santé, mais ils communiquent à l'eau un goût et une odeur désagréables. Il faut encore et toujours souligner que c'est grâce à ces substances chlorées que les maladies d'origine hydrique, fléaux du 19ème siècle et des époques antérieures, ont été éradiquées de nos régions. Par contre, il faut veiller à ce qu'aucun produit dérivé toxique (par exemple des composés haloformes tels que le chloroforme et les substances apparentées) ne se forme entre le chlore et certains types de matières organiques tels les composés naturels de l'humus.

- **La désinfection par** irradiation au moyen de **rayonnements ultraviolet (UV) à 254 nm** s'adresse à des eaux très claires, et à des réseaux de

1) mg/L = milligrammes par litre; µg/L = microgrammes par litre; ng/L = nanogrammes par litre.

faible dimension. En effet, elle a une efficacité plus élevée que le chlore aux concentrations utilisées, car elle détruit aussi les virus et certains parasites. Mais cette méthode n'assure aucune rémanence en réseau puisqu'elle ne libère pas de composé chimique, contrairement au chlore. De plus comme l'irradiation peut être occasionnellement perturbée par la présence de matières en suspension, on y associe alors des mesures de turbidité permettant de refuser une eau trop souillée. Le suivi des réseaux, notamment les teneurs en bactéries aérobies, voire en biofilms, doit être dès lors plus serré. Néanmoins, ce procédé tend actuellement à remplacer de plus en plus le chlore et l'eau de Javel, du fait de sa simplicité et de son absence de formation de sous-produits.

• **L'ozone** obtenu par décharge électrique sur de l'air asséché ou de l'oxygène pur, est un très puissant désinfectant mais aussi un excellent oxydant dont l'action de dégradation sur différents composés toxiques est remarquable. A cause de sa mauvaise dissolution dans l'eau, ce gaz ne peut être exploité que si l'eau ozonée subit ensuite un contact avec du charbon actif qui limite son dégazage. Du fait de cette contrainte et de son coût (il doit être fabriqué sur place), il est peu utilisé.

D'une manière générale, il faut rappeler que la qualité des eaux naturelles majoritairement karstiques dans le canton de Neuchâtel est peu satisfaisante du point de vue bactériologique. Mais sauf exceptions accidentelles (fortes pluies, purinages intempestifs), cette pollution bactérienne est généralement peu élevée et facile à contenir; elle contraint toutefois les distributeurs à pratiquer un traitement prophylactique de leur eau. Sur les 37 communes du canton, seules deux ne traitent pas leur eau (Bevaix et le bas du village de Cortaillod). Toutes les autres procèdent à un ou plusieurs traitements de désinfection en fonction de l'importance des réseaux, si bien qu'on totalisait en 2009 près de 90 systèmes de désinfection, soit :

- 52 traitements par irradiation UV;
- 20 traitements à l'eau de Javel;
- 9 traitements au chlore électrolytique (électrolyse du chlorure de sodium qui produit de l'eau de Javel stabilisée à 3 %. Ce procédé remplace progressivement le chlore gazeux nettement plus dangereux à l'exploitation);
- 3 traitements au chlore gazeux, assortis d'alarmes de sécurité en cas de fuites;
- 5 traitements à l'ozone : usine du Locle, station des Goudebas aux Brenets, station de La Sagne, station de Moron-Les Planchettes, eau de l'hôpital de Perreux;
- 1 traitement au dioxyde de chlore : station de traitement d'eau du lac de Champ-Bougin à Neuchâtel. La station des Moyats dans les Gorges de l'Areuse utilisait aussi du dioxyde de chlore pour la désinfection de l'eau des sources de La Chaux-de-Fonds, jusqu'en janvier 2011, date à laquelle ce procédé a été remplacé par du chlore électrolytique.

La plupart des eaux souterraines captées sont exemptes de pollution chimique, à l'exception de celles du **puits des Novalis au Landeron,** de l'ancien **puits du Rafour à St-Aubin** (actuellement désaffecté), de l'eau **des Goudebas aux Brenets** et de l'eau **de la Sagne.** Ces endroits, plus ou moins marécageux, contiennent des nappes qui, à l'état naturel, livrent des eaux anoxiques, riches en fer et en manganèse dissous ainsi qu'en matière organique. Ces eaux renferment pour la plupart des bactéries oxydo-réductrices liées au fer, voire au soufre. L'eau des Novalis est déferrisée par oxydation du fer II soluble avec du chlore et avec de l'air, le fer III insoluble qui en résulte étant retenu sur des filtres à sable. De plus, cette eau d'origine marécageuse, située dans la nappe phréatique en bordure du lac, est riche en matière organique et en ammonium qui doivent être oxydés et retenus par adsorption sur du charbon actif. Il en va de même avec l'eau des Brenets qui contient également des traces de fer ; elle est dès lors ozonée, puis filtrée sur des lits de sable ; les matières organiques et l'ozone en excès étant adsorbés sur du charbon actif. L'eau de la Sagne est ozonée et filtrée puis désinfectée par rayonnement UV.

Certaines sources et des puits locaux de **la ville du Locle** avaient été contaminés par

des solvants industriels, rejetés autrefois directement dans les sols. Afin d'éliminer ces composants toxiques, leurs eaux sont traitées au moyen d'ozone (étape d'oxydation) sur du charbon actif à lits renouvelés périodiquement (procécé LUCA), pour éviter la saturation. Actuellement, les teneurs en solvants ont diminué, voire disparu, de la plupart des sources et des puits contaminés, sauf le puits de France qui contient toujours du perchloréthylène.

La nappe phréatique de **Couvet** en contient également à raison de 20 à 30 µg/L (la valeur limite est fixée à 40 µg/L). Mais ces teneurs résiduelles n'augmentent plus, du fait de la récupération obligatoire des solvants et autres toxiques qui doivent être amenés dans des usines de décontamination spécialisées. Le déversement de quantités industrielles de ces produits dans les éviers est sévèrement proscrit.

L'eau du lac de Neuchâtel est parfaitement utilisable comme eau de boisson, à condition de subir des traitements de désinfection, clarification, correction chimique et affinage, pour éliminer la matière planctonique, les matières en suspension et les composés organiques qu'elle contient. Les étapes retenues à Neuchâtel dans la **filière de Champ-Bougin** pour y parvenir sont : oxydation puissante au dioxyde de chlore, coagulation-floculation à partir d'un sel d'aluminium; étape de filtration sur double couche de pierre-ponce et de sable de quartz ; étape d'adsorption de la matière organique et des résidus de dioxyde de chlore et de coagulation sur du charbon actif, et enfin désinfection finale de l'eau (protection du réseau) avec du chlore gazeux (fig. 15).

En outre, depuis 2005, la prise d'eau a été enfoncée plus profondément dans le lac (-60 m au lieu de -28 m) pour éviter l'épilimnion[1] supérieur. De ce fait, l'eau brute est maintenant beaucoup plus stable toute l'année ; il y a moins de plancton et la température est voisine de 7°C en toute saison, alors qu'elle pouvait s'élever auparavant jusqu'à 15°C en été. Avec la filière ainsi conçue, on retient plus de 95 % de turbidité et de plancton, et on diminue de plus de 50 % la teneur en matières organiques. Cette station, parmi les cinq qui bordent le lac de Neuchâtel (les autres étant Grandson pour Yverdon-les-Bains, Estavayer, Portalban et Cudrefin) est celle qui obtient actuellement les meilleurs rendements ; notamment en ce qui concerne le carbone organique dissous biodégradable ou assimilable (BDOC), responsable des revivifications bactériennes dans les réseaux et réservoirs.

Les stations de Champ-Bougin, des Novalis au Landeron, celle du Locle et celle de la Sagne sont équipées des chaînes de conditionnement les plus complexes du canton puisqu'elles doivent éliminer d'autres éléments que les microorganismes. Mais quelques autres stations, comme celles des Ponts-de-Martel, de St-Sulpice, de la Brévine à la Porte des Chaux, de la Côte-aux-Fées, des Prés-Royer au Val-de-Ruz, et de la station privée de Perreux, ont aussi une étape de filtration en plus de la désinfection, afin de clarifier des eaux de sources ou de nappes qui se chargent périodiquement en matières en suspension. L'eau de la station de Lignières doit aussi être filtrée; ce conditionnement est effectué depuis environ 5 ans par le procédé d'ultra-filtration sur filtres à membranes. Ce traitement qui retient même les plus petites bactéries en fait, pour l'instant, la station la plus performante du canton.

Soulignons toutefois que ces différents traitements visent à rendre les eaux de boisson parfaitement potables, tout en conservant intégralement leurs propriétés physico-chimiques naturelles initiales. On ne doit effectuer en effet que les corrections minimales qui s'imposent pour rendre l'eau potable. L'adoucissement de l'eau par exemple ne sera donc jamais réalisée sur des eaux de distribution ; elle reste réservée au domaine des services (eau de chauffage, eau industrielle, eau de milieu hospitalier, etc).

Rappelons en outre que l'étape principale de la désinfection consiste à détruire les bactéries à propriétés pathogènes, essentiellement d'origine fécale. Les concentrations mises en œuvre sont en effet trop faibles pour provoquer une stérilisation complète de l'eau, car les germes de l'environnement, comme les bactéries sporulées par exemple, sont très résistants. On tolère un certain nombre de

1) Couche d'eau superficielle comprise entre 0 et 30 m de profondeur

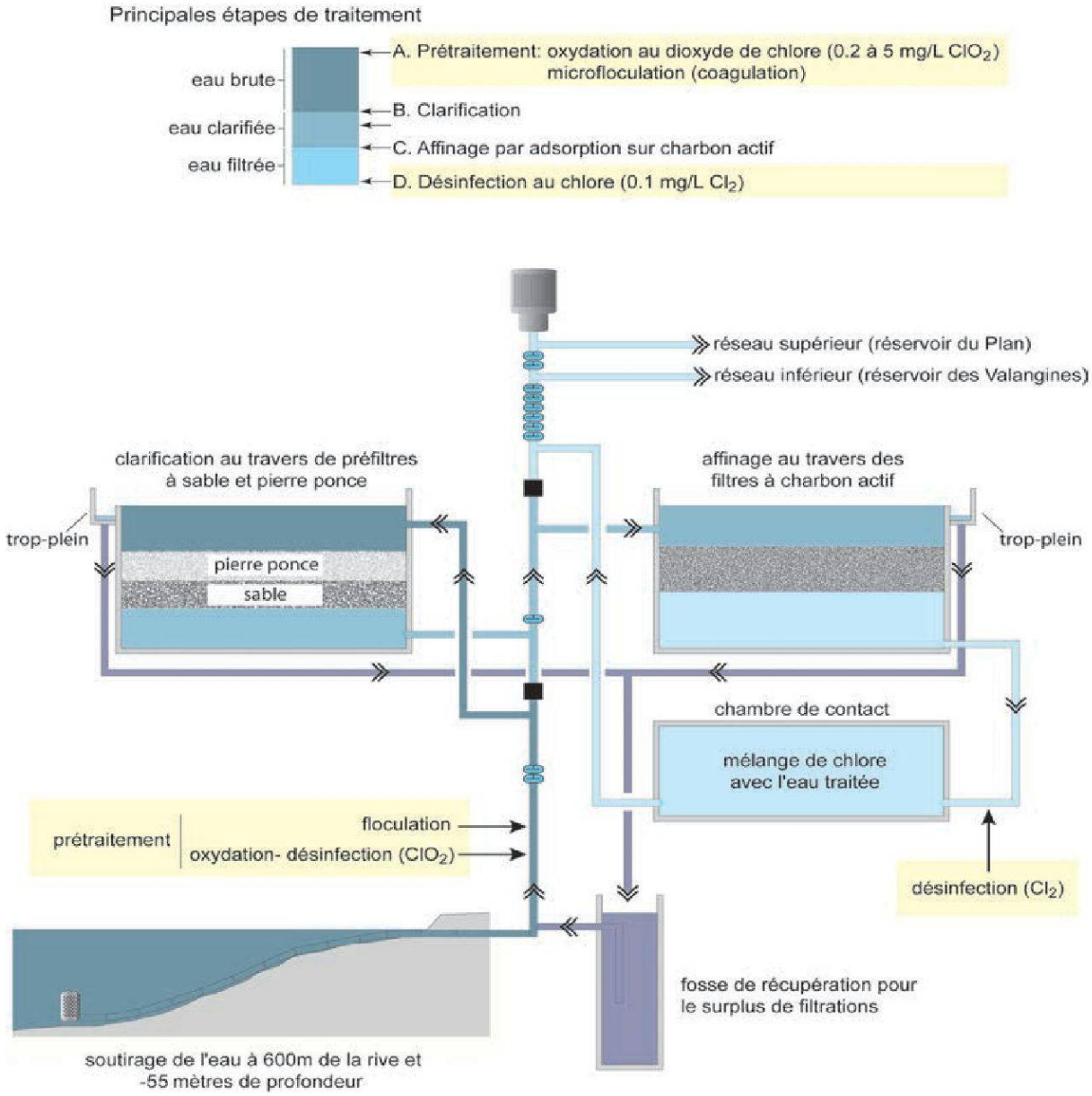


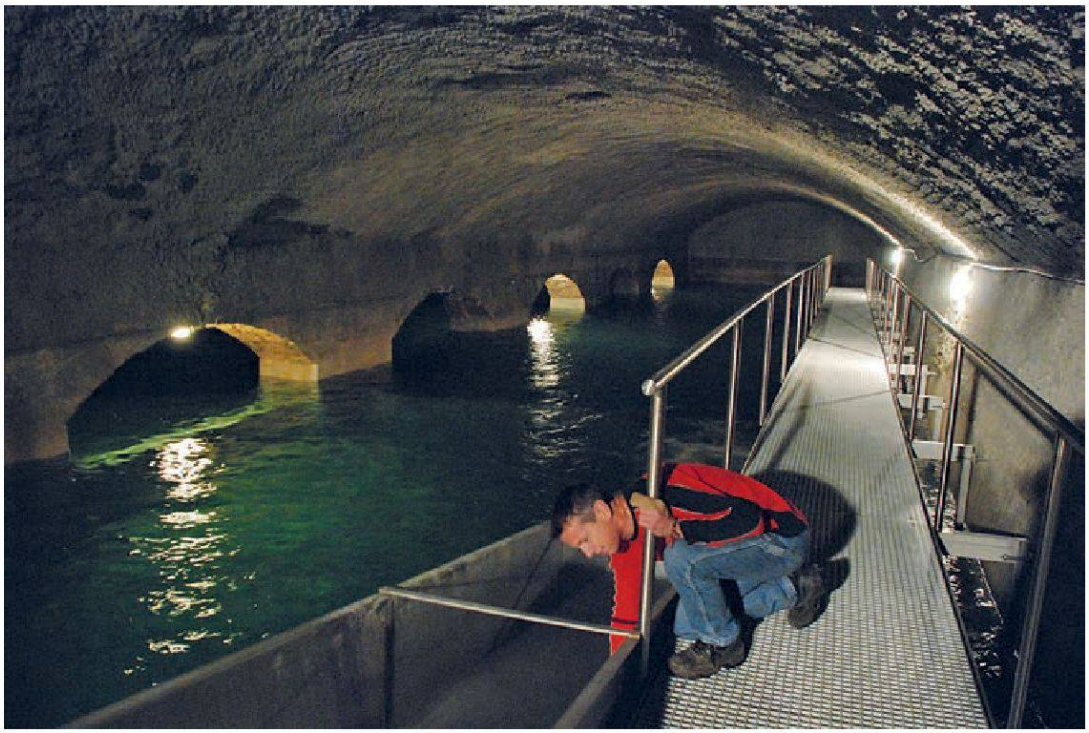
Figure 15 : Conditionnement de l'eau du lac dans la station de Champ-Bougin.

ces germes plus résistants d'origine tellurique et aquatique, du fait de leur innocuité.

Dans le canton de Neuchâtel, en 2010, il n'existe plus de communes où aucun traitement n'est opéré sur des eaux non conformes. De ce fait, les indications destinées à faire bouillir l'eau du robinet en cas de pollution comme c'était le cas avant les années 1990, appartiennent dorénavant au passé, sauf bien entendu pour certaines citernes et alimentations privées, ou encore lors d'incidents spécifiques comme à La Neuveville en1998 (pollution de la nappe phréatique non désinfectée par un débordement d'eau usée). Signalons à cet égard que le canton est en train de mettre sur pied une étude régionale, de manière à prévoir les opérations à conduire en cas de crises ou d'incidents graves liés à l'eau, ceci dans le contexte de l'application de l'Ordonnance sur l'approvisionnement en eau potable en temps de crise (OAEC) du 20 novembre 1991.

Planche 4 : Quelques exemples d'exploitation de l'eau potable

La station de traitement d'eau du lac de Champ-Bougin, en blanc au milieu, entre les services techniques de VITEOS (avec la cheminée) et le bâtiment du laboratoire.



Intérieur du réservoir du Chanet à Neuchâtel, qui reçoit depuis 1887 les eaux des sources des Gorges de l'Areuse

5. LES EAUX USÉES ET LES STATIONS D'ÉPURATION

L'utilisation de l'eau potable pour les besoins domestiques, industriels et autres, la souille plus ou moins fortement. **L'eau usée** qui en résulte et qui est évacuée dans les égouts, comprend les eaux-vannes (résidus des WC), les eaux domestiques usagées, les eaux de lavage et de nettoyage, etc. Avant les années 1960, toutes ces eaux, tant en Suisse que dans le canton de Neuchâtel, étaient rejetées sans traitement dans les eaux de surface (rivières et lacs). Pour certaines communes des régions karstiques, elles étaient déversées directement dans les pertes des eaux souterraines (à l'exemple des Ponts-de-Martel, de la Brévine, de Montézillon, etc.), ou encore stockées dans des fosses septiques vidées périodiquement, comme à La Chaux-de-Fonds, fosses très difficiles à gérer à cause des débordements occasionnés après l'arrivée de l'eau potable (Pokorni, 2010). Ceci fait que la plupart des rivières et des lacs de Suisse, y compris celui de Neuchâtel, ont fini par se trouver dans un état catastrophique, qui est devenu toujours plus inquiétant à partir de 1945, à la fin de la seconde guerre mondiale et l'explosion démographique et industrielle qui s'en est suivie. C'est la raison pour laquelle, la première *loi fédérale sur la protection des eaux (Leaux)* publiée en 1955 (révisée par la suite en 1971 et 1991) a obligé tous les cantons et toutes les communes à créer des stations d'épuration (STEP). Cette législation de 1955 a conduit à la mise en service des premières installations d'épuration de Suisse dès les années 1960, tout d'abord dans la la région zurichoise. Puis, de 1968 à 1975, sous l'instigation du Conseiller d'Etat Carlos Grosjean, celle des principales STEP du canton de Neuchâtel : d'abord les stations sises en bordure des lacs, à savoir Neuchâtel, Colombier, Marin, Le Landeron, puis celles du Val-de-Ruz, etc. Après 1995, 31 stations d'épuration se partageaient les eaux usées du canton. Progressivement, suite à l'amélioration et à la mise en commun de réseaux d'assainissement, ainsi qu'à la modernisation des grandes unités, un certain nombre de ces STEP ont été supprimées. C'est ainsi qu'en 2010, il n'y avait plus que 22 stations d'épuration dans le canton (plus une en France), recevant les eaux usées de 95 % de la population, au moyen de plus de 1000 km de canalisations[1]. Elles traitent 40 millions de m^3 d'eau usée par an et y retirent environ 5000 tonnes de matières sèches sous forme de boues d'épuration dont le quart était encore valorisable en agriculture jusqu'en 2005. Le solde était mis en décharge, ce qui est interdit, les boues étant dorénavant incinérées en totalité.

Sur ces 22 stations d'épuration (fig. 16), 7 sont situées en bordure des lacs de Neuchâtel et de Bienne (Vaumarcus, St Aubin, Bevaix, Colombier, Neuchâtel, Marin et Le Landeron) ; 7 sont au Val-de–Travers (La Côte-aux-Fées, Boveresse, Travers, Noiraigue, Brot-Dessous et Champ-du-Moulin, Rochefort-Chambrelien) ; 2 sont au Val-de-Ruz (la grande STEP d' Engollon et celle du Pâquier [2]; 2 sont dans la vallée de la Sagne (Les Ponts-de-Martel et la Sagne) ; 1 se trouve à la Brévine et 3 dans les Montagnes (Les Brenets, Le Locle et La Chaux-de-Fonds). A noter que les eaux usées des Verrières et des Bayards à l'extrémité du Val-de-Travers, sont évacuées en France et traitées à la STEP de Doubs à Pontarlier[3].

Rappelons que les STEP sont conçues pour épurer les **eaux usées domestiques**. Les **eaux industrielles** qui s'y déversent doivent être pré-épurées au préalable dans des stations de détoxication (rétention des substances toxiques comme les solvants et les métaux lourds, contrôle du pH, etc). Les polluants visés par le traitement dans les STEP sont d'une part les déchets de tous ordres en suspension, et d'autre part les matières organiques dissoutes produites par les résidus fécaux et les déchets ménagers. Il s'y ajoute les substances minérales dissoutes telles que les nitrates et les phosphates. Le phosphore en particulier, sous la forme de phosphates PO_4^{3-}, est limité très

1) C'est un remarquable résultat, surtout si l'on sait que 85 % des eaux usées du globe ne sont pas épurées!
2) Les STEP de Valangin, Boudevilliers, Coffrane et Montmollin ont été supprimées en 2010 au profit d'une liaison directe sur la STEP de Neuchâtel.
3) Dans le même souci de rationalisation, la STEP du Landeron (16'000 éq-hab), outre les eaux usées de Lignières et de Nods, reçoit aussi celles des localités bernoises voisines : la Neuveville, Prêles, St Jean.

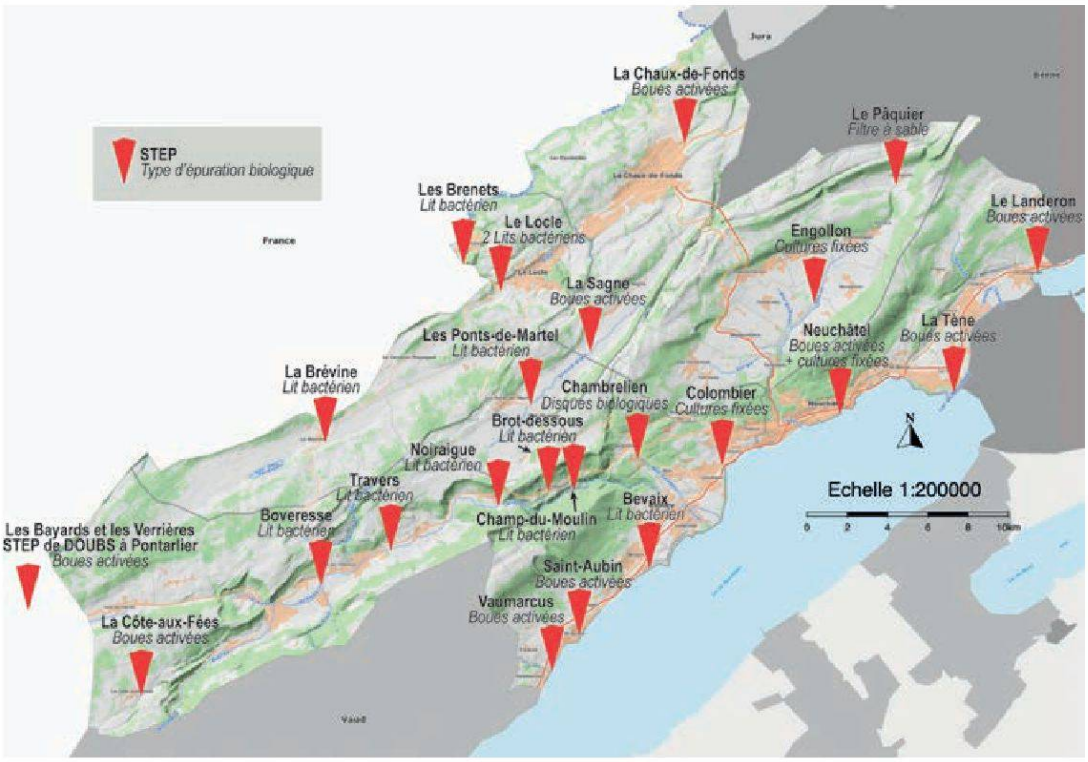


Figure 16 : Situation des 22 stations d'épuration de canton de Neuchâtel (D'après le SENE, 2011). © SITN 2011 – www.ne.ch/sitn

fortement au niveau des rejets des stations d'épuration dans les lacs (Neuchâtel et Bienne en l'occurrence), de même que les substances azotées (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) dans les rivières, de manière à diminuer l'eutrophisation, caractérisée par une trop forte croissance des algues, fertilisées par les apports de ces composés. Les autres composés minéraux dissous comme le calcium, le magnésium, etc, ne sont pas influencés par l'épuration. Cette dernière est en fait calquée sur l'autoépuration naturelle, et les étapes principales en sont réalisées par l'action de microorganismes, aérobies pour l'eau usée, ou anaérobies pour les boues. Les paragraphes suivants détaillent ces deux étapes (fig. 17) :

Epuration de l'eau usée en phase aérobie :

1er stade d'épuration : dans la phase aérobie du processus, l'eau usée brute subit d'abord une succession de **traitements physiques** qui la débarrassent des déchets grossiers et des matières en suspension. Elle est soumise en premier lieu à des *actions mécaniques* par tamisage et rétention des détritus grossiers au travers de «tamis» appelés *dégrilleurs*. Les déchets récupérés à ce niveau sont évacués avec les ordures ménagères. L'eau usée subit ensuite divers conditionnements destinés à récupérer les matières en suspension et la pollution non dissoute, d'abord dans des *désableurs,* pour retenir le sable et la terre de dimensions supérieures à 0,2 mm, provenant des dépotoirs de routes. Puis dans des *décanteurs* appelés *décanteurs primaires,* pour récupérer par sédimentation les matières fines en suspension. Les graisses et les huiles plus légères remontent à leur surface où elles sont raclées, mais parfois éliminées directement par flottation dans la partie supérieure des désableurs. Les boues primaires provenant des décanteurs sont périodiquement évacuées de ces dispositifs pour éviter la

fermentation. Elles sont envoyées dans des épaississeurs et des digesteurs pour les stabiliser et réduire leur teneur en eau.

2ème stade d'épuration : l'eau ainsi prétraitée subit ensuite une **épuration biologique**, principale étape de traitement qui caractérise les STEP. Un ajout d'oxygène sous forme d'air pulsé permet le développement de microorganismes aérobies présents dans l'eau usée (principalement des bactéries et des protozoaires formant des agrégats dénommés **flocs**, dont l'ensemble constitue la «**biomasse**»). Ces microorganismes décomposent les matières organiques dissoutes et les transforment en boues dites boues secondaires. Ces dernières, lorsqu'elles sont en excès, sont récupérées dans des *décanteurs secondaires*, d'où elles sont évacuées et mélangées aux boues primaires. Dans le détail, au cours de cette étape, les matières organiques carbonées dissoutes et les colloïdes sont assimilés et minéralisés en CO_2, l'azote inorganique en azote N_2, etc, par la biomasse. Leur croissance nécessite un apport d'oxygène constant, qui est fourni par une aération continue dans des installations permettant la croissance et l'activité assimilatrice des microorganismes. Dans les grandes STEP, il s'agit le plus souvent de bassins biologiques à **boues activées,** où la biomasse microbienne est en flottation. Pour les petites STEP, on utilisera plutôt des supports filtrants, comme les **lits bactériens,** où les bactéries de l'épuration se développent en biofilms à la surface de galets, de gravier, de sable ou d'hydroanthracite ; l'eau préépurée y est pulvérisée par-dessus au moyen de tourniquets. Il existe également des types de filtres biologiques dits à **cultures fixées** où les microorganismes se collent sur des matériaux plastiques ordonnés, notamment du polystyrène, tels des tubes, des anneaux, des plaques ondulées, etc. L'eau préépurée traverse en général ces derniers dispositifs de bas en haut, ce qui assure des débits plus élevés. Bien d'autres systèmes biologiques ont été inventés, en général pour de petites unités, comme les **disques biologiques**, les **fosses de digestion**, voire les **étangs de lagunage aérés** comme dans les régions chaudes, etc. Les microorganismes de l'eau usée sont en quelque sorte cultivés artificiellement dans ces milieux à l'aide d'un excès d'oxygène, ce qui leur permet d'exercer une activité épuratrice beaucoup plus rapide et de traiter beaucoup plus de matière dissoute que dans le milieu naturel où ils seraient «étouffés» (phénomène de l'eutrophisation).

3ème stade d'épuration : la **déphosphatation** par **précipitation chimique** est en général effectuée dans la phase biologique par ajout de sels de fer comme le chlorure ferrique $FeCl_3$ (voire d'alumine ou de chaux) ce qui permet de récupérer le phosphore issu des matières fécales et des résidus industriels (les détergents n'en contiennent plus depuis 1986, année où ils ont été interdits sur le plan suisse). Ce phosphore, présent dans l'eau sous forme de phosphate dissout PO_4^{3-}, précipite sous forme de phosphate de fer dans les boues secondaires, avec lesquelles il est évacué. Cette rétention du phosphore qui est un agent de fertilisation, est destinée à limiter l'eutrophisation du milieu récepteur.

4ème stade d'épuration : dans certaines stations réhabilitées, comme celle de Neuchâtel ou celle d'Engollon, une dernière étape qualifiée **d'affinage**, réalisée le plus souvent par **filtration sur sable ou matériaux à propriétés analogues,** clarifie l'eau en retenant le solde de matières en suspension et de phosphore précipité issus de la biologie. Ceci de manière à optimiser le rendement de l'épuration. Cette opération supplémentaire se justifie dans les STEP qui émettent des débits de restitution importants, susceptibles de perturber les eaux de surface.

Ces différentes techniques d'épuration permettent aux STEP de respecter les

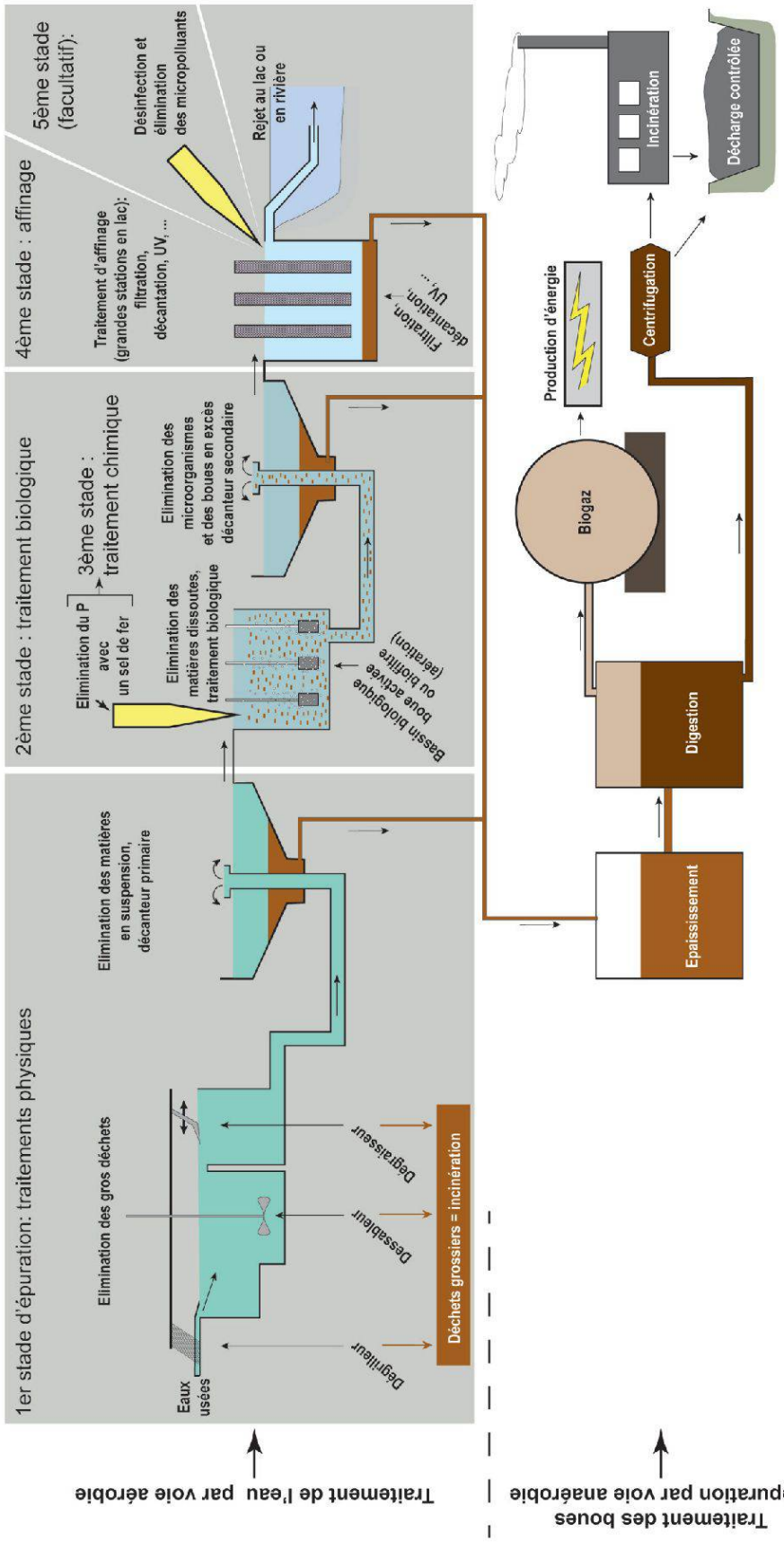


Figure 17 : Schéma de principe des différentes étapes de l'épuration de l'eau et du traitement des boues.

concentrations maximales de rejet fixées par l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux (OEaux), du 28 octobre 1998. Dans la région neuchâteloise, c'est le canton par son Service de l'énergie et de l'environnement (SENE), qui fixe les normes de rejets de cas en cas. Pour chaque paramètre, les normes s'appliquent en fonction de l'état de la STEP, de son importance au point de vue du débit de restitution, et du bassin récepteur (lac ou rivière). C'est ainsi que la STEP de Neuchâtel, qui totalise 50 % des rejets d'eau épurée dans le lac de Neuchâtel, s'est vu imposer des contraintes plus sévères que les autres stations :

- **demande biologique en oxygène (DBO)** : ce paramètre, sous la forme DBO5 (demande biochimique en oxygène durant 5 jours=valeur moyenne) exprime la quantité d'oxygène utilisée par les microorganismes aérobies pour consommer et détruire la matière organique grâce aux processus d'oxydation qu'ils mettent en œuvre. Dans une eau brute de STEP, la DBO_5 peut s'élever de 100 à 250 mg/L O_2, voire davantage Les normes exigent 15 mg/L au maximum au rejet, mais pour la STEP de Neuchâtel, ainsi que pour celle de La Chaux-de-Fonds, le SENE a abaissé la norme à10 mg/L.

- **demande chimique en oxygène (DCO)** : ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder les matières oxydables par voie chimique uniquement. A l'entrée des STEP on totalise une DCO comprise entre 200 et 500 mg/L O_2. Il n'y a pas officiellement de normes de rejets pour ce facteur, mais on admet 60 mg/L O_2 au maximum au rejet.

- **phosphore total** : en général les eaux usées brutes contiennent entre 3 à 10 mg/L P. Au rejet, les normes sont fixées à un maximum de 0,8 mg/L ; mais pour la STEP de Neuchâtel, elles ont été abaissées à 0,3 mg/L de manière à limiter autant que possible la croissance des algues dans le lac. *Depuis une vingtaine d'années d'ailleurs, et de manière réjouissante, la déphosphatation dans les STEP du littoral a porté ses fruits. On est passé en effet d'une moyenne pondérée en fonction du volume du lac, de 60 µg/L P en 1982, à moins de 10 µg/L en 2005, passant ainsi du stade eutrophe au stade oligotrophe. L'abaissement a été particulièrement sensible depuis 1986 grâce à l'interdiction des adjuvants phosphatés dans les lessives.*

- **matières en suspension** : les eaux brutes en contiennent des quantités très importantes et variables. On exige un maximum de 15 mg/L au rejet, mais 10 mg/L à la sortie de la STEP de Neuchâtel, ce qui a nécessité la mise en service du 4ème stade d'épuration.

Remarque : Les normes de rejets sont également plus sévères pour la STEP de La Chaux-de-Fonds qui envoie ses eaux épurées dans le Doubs. Du fait de ce rejet en rivière, cette STEP doit obligatoirement effectuer une nitrification/dénitrification de son eau usée, de manière à limiter les substances azotées fertilisantes dans la rivière. L'azote organique y est d'abord minéralisé en ammonium, en phase aérobie. Puis l'ammonium subit une oxydation en milieu très aéré pour donner des nitrates inorganiques, lesquels subissent une réduction en milieu anoxique, qui les transforme en azote gazeux. Le SENE a fixé une valeur limite de 2 mgN/L pour l'ammonium à la sortie de cette STEP (MONTANDON et al, 2004). De plus, les autres paramètres tels que la DBO, le phosphore et les matières en suspension, ont été abaissés aux mêmes conditions qu'à Neuchâtel. Montandon (2006) a démontré en outre que la charge polluante globale rejetée dans le Doubs, a nettement diminué depuis la mise en service de la STEP réhabilitée en 2004.

Dans le canton de Neuchâtel, les rendements obtenus par les STEP concernant ces paramètres étaient entre 2000 et 2010, de 90 % pour la DBO_5 et de 85 % pour le phosphore total (leur évolution peut en être suivie sur les sites internet des différentes STEP).

Pour résumer schématiquement le processus d'épuration, l'eau usée renferme en moyenne :

- quelque 40 % de matières grossières ou fines en suspension qui sont éliminées par les traitements mécaniques et physiques.

- quelque 60 % de matière organique dissoute, dont la phase biologique récupère à peu près 90 % des composés ; les 10 % restants sont retenus par le 4ème stade d'épuration, exigé seulement dans les grandes installations.

Rappelons que les sels inorganiques dissous ne sont pas éliminés par leur passage dans une STEP, à l'exception du phosphore fixé chimiquement.

Signalons encore que pour quantifier globalement les matières polluantes contenues dans les eaux usées domestiques, on dispose d'une unité de mesure appelée « **équivalent–habitant** ». Cette notion est utilisée pour tenir compte de la pollution émise par une agglomération à partir de la densité de la population qui y réside et des autres activités non domestiques. Elle est définie comme étant la pollution quotidienne occasionnée par un individu qui utilise en moyenne 200 à 300 litres d'eau par jour, à savoir des *eaux ménagères* (= détergents, graisses), et des *eaux-vannes* (= matières fécales, matière organique carbonée et azotée, germes fécaux). C'est ainsi que selon la Directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines, un équivalent-habitant représente une DBO_5 de 60 g d'oxygène par jour. Pour Neuchâtel par exemple, la base de fonctionnement de la STEP est établie sur le chiffre de 75'000 équivalents-habitants, ce qui correspond à une population réelle d'environ 40'000 habitants (Neuchâtel + Peseux). Il y a donc une marge de sécurité déjà en place en fonction des besoins futurs de la Ville, dont les apports du Val-de-Ruz ouest depuis juin 2010. C'est aussi le cas pour La Chaux-de-Fonds dont la STEP est prévue pour 60'000 équivalents-habitants, la population raccordée étant d'environ 39'000 habitants. De même, la nouvelle STEP centralisée du Val-de-Ruz à Engollon est prévue pour 18'000 équivalents-habitants, avec une population actuelle raccordée voisine de 10'000 habitants. Ce qui fait que seulement les 2/3 de la capacité de cette STEP sont utilisés. En comparaison, les plus petites STEP du canton, à savoir celles de Brot-Dessous et de Champ-du-Moulin ne totalisent que 70 équivalents-habitants. Une autre petite STEP, celle du Pâquier, calculée pour 150 équivalents-habitants, constitue une curiosité. Elle diffère des modèles standards, parce que calquée sur un fonctionnement naturel : dégrillage à l'entrée, puis filtre à sable pourvu de plantes absorbantes et étang d'affinage, sorte de lagunage, à la sortie. Malheureusement, son fonctionnement est plus délicat en hiver.

En résumé, l'épuration de l'eau permet de piéger les matières solides, de diminuer la partie biodégradable carbonée de la charge organique, de retenir le phosphore, et dans certaines STEP dont les rejets s'en vont dans les cours d'eau, de transformer l'azote ammoniacal en azote gazeux. Mais les STEP ne peuvent en tous cas pas éliminer les résidus industriels comme les solvants et les métaux lourds (qui doivent être retenus à la source), ni les molécules complexes (résidus pharmaceutiques, hormones, cosmétiques, produits phytosanitaires, etc.). Surtout elles ne peuvent pas produire de l'eau potable, car le rejet des microorganismes lié aux phases biologiques, dont beaucoup sont pathogènes, est bien trop important dans l'eau épurée.

Une campagne d'environ 10 séries de mesures effectuée il y a une vingtaine d'années à la STEP de Neuchâtel avait ainsi révélé une moyenne de 10 millions de bactéries fécales par 100 ml d'eau usées à l'entrée de la station. Malgré un taux d'épuration voisin de 90 %, il en subsistait encore environ 1 million à la sortie dans l'eau épurée. Alors que dans des eaux de source moyennement contaminées, on dépasse rarement quelques centaines de microorganismes fécaux par 100 ml.

5ème stade d'épuration : ultime étape d'affinage des eaux de rejet des STEP

Pour éviter les problèmes hygiéniques évoqués ci-dessus, dus aux rejets d'eaux

usées traitées, certaines grandes STEP situées à proximité de plages, peuvent être contraintes de désinfecter les eaux de leur exutoire, afin de ne pas causer des infections néfastes aux baigneurs. Dans de tel cas le traitement s'effectue généralement par irradiation UV, de manière à ne pas produire de résidus d'oxydation toxiques vis-à-vis des poissons et autres organismes du réceptacle lacustre ou fluviatile. Mais en général, on se contente le plus souvent de ne pas implanter de plages à moins de 200 mètres de l'exutoire de la STEP concernée.

Plus récemment, l'Office fédéral de l'Environnement (OFEV) a fait procéder à une série d'études concernant l'impact des micropolluants chimiques dans les eaux des stations d'épuration (Jordi, 2012). En Suisse on suppose que plus de 30'000 composés chimiques entrent dans la constitution des innombrables produits d'usage courant. Grâce au perfectionnement analytique, on a pu mettre en évidence dans les effluents des STEP soixante à septante micropolluants organiques peu ou pas biodégradables, dont les teneurs dépassaient 50 µg/L, et qui traversent les étapes d'épuration sans être retenus. On a découvert en outre que lorsque leur concentration dépasse quelques nanogrammes par litre, ils ont des effets nuisibles sur les organismes aquatiques : par exemple, les pesticides stoppent la photosynthèse des algues; les perturbateurs endocriniens, dont les hormones de la contraception, bloquent la croissance de certains poissons et amphibiens, etc. On trouve un vaste choix de ces micropolluants persistants, dont les concentrations s'accroissent au fur et à mesure des rejets successifs d'effluents de STEP, dans les grands lacs suisses, qui alimentent également les réseaux d'eau potable. Pour diminuer drastiquement ce phénomène l'Office fédéral de l'environnement envisage de faire équiper les rejets des 12 plus grandes stations d'épuration de Suisse (il y en a plus de 700 au total), totalisant chacune plus de 100 000 équivalents-habitants, au moyen d'une technique prometteuse déjà partiellement utilisées dans le conditionnement des eaux potables : soit l'ozonation de l'eau épurée à raison de 3 à 5 g O_3/ m^3, ceci afin d'oxyder les micropolluants, lesquels seront ensuite adsorbés avec l'ozone résiduel toxique au moyen de charbon actif en poudre (12 à 15 g/m^3), le tout étant retenu par une filtration sur sable ou par ultrafiltration. Un projet de modification en ce sens de la loi sur la protection des eaux (LEaux) sera mis en consultation dans le courant de 2012.

Traitement et digestion des boues en phase anaérobie :

Les déchets retirés de l'eau usée forment des boues très riches en eau appelées **boues liquides** (de 95 à 97 % d'eau pour 3 à 5 % de matière sèche seulement). Le pourcentage de matière sèche (=MS) qu'elles contiennent est aussi appelé «*siccité*». Ces boues liquides, constituées de bactéries mortes et de matière organique minéralisée, sont issues de la décantation des matières en suspension (*boues primaires*) et de la charge polluante dissoute transformée et assimilée par les cultures bactériennes libres ou fixées (*boues secondaires ou boues biologiques en excès*). Elles sont d'abord stockées dans des épaississeurs (dans les grandes STEP seulement), puis digérées en anaérobiose. Dans les épaississeurs-stockeurs la boue liquide est concentrée à 8 – 10 % de MS. C'est le processus d'épaississement, qui permet une légère réduction de la teneur en eau, la boue épaissie et décantée restant liquide et aspirable. Dans cette étape, le volume de boue liquide est déjà réduit dans la proportion de 3 à 1. Les boues pré-épaissies sont ensuite digérées et fermentées à la température de 35-37°C par toute une série de microorganismes anaérobies, subissant ainsi des processus de minéralisation qui transforment une partie de la matière organique en matière minérale. Les boues minéralisées sont ensuite déshydratées, le plus souvent par des filtres-presses ou par centrifugation,

afin de réduire leur volume au maximum, ce qui conduit à la formation de boues pâteuses appelées « gâteaux », avec des teneurs comprises entre 25 à 30 % de siccité. Cette étape produit des volumes de boues nettement plus réduits. Par exemple à la STEP de Neuchâtel, 50 m^3/j de boues fraîches à 3 % de MS se réduisent à environ 4 m^3/j à 30 % de MS après déshydratation. Signalons encore que seules les 3 grandes STEP (Neuchâtel, Engollon et La Chaux-de-Fonds), et les STEP des bords de lac (St Aubin, Colombier, Marin et Le Landeron) ont une digestion anaérobie mésophile par chauffage à 35 °C des boues fraîches. Le Locle est au bénéfice d'un système monobloc. Les petites stations font de la digestion lente à froid par stockage des boues durant 8 à 9 mois. A noter que la digestion et la stabilisation des boues sont parfois accélérées par l'ajout de réactifs minéraux, tels des polymères de synthèse (poly-électrolytes).

Dans le canton de Neuchâtel, au tout début de l'épuration des eaux, dans les années 1970, on épandait les boues déshydratées dans les champs comme amendements. Elles ont ensuite été compostées, notamment à Colombier. Mais du fait des volumes annuels trop importants pour les sols disponibles, et des risques de contaminations bactériennes ou chimiques du sous-sol, on en est venu petit à petit à les incinérer, comme l'exige actuellement le Service fédéral de l'environnement. En 2005, un projet régional pour la récupération des boues de l'ensemble du canton sur un seul site a vu le jour. La solution appliquée sous l'égide du Sene a consisté à sécher les boues de toutes les stations d'épuration dans une installation spéciale implantée dans l'usine de Cottendart à Colombier. L'idée était d'obtenir 90 % de siccité à partir des boues déshydratées à 30 % de MS. Ainsi, au final il ne devait plus rester que 10 % d'eau ce qui devait permettre de réduire les volumes initiaux de 10 à 1. Il était également prévu que les boues ainsi séchées seraient ensuite incinérées dans les fours rotatifs des cimenteries régionales, où elles auraient été amenées par chemin de fer. Mais le système de séchage a mal fonctionné et les partenaires se sont désistés, si bien que ce prototype a été abandonné. Actuellement, les boues du canton (de l'ordre de 5000 tonnes par an) sont toujours collectées à Cottendart, et environ la moitié d'entre elles est incinérée directement avec les ordures. Le solde est exporté provisoirement par une société mandatée dans différentes autres usines d'incinération, en attendant une installation plus adéquate à La Chaux-de-Fonds.

Une unique usine d'incinération des ordures pour le canton, avec un doublement de capacité, devrait y être construite par l'entreprise VADEC SA. Son ouverture, est prévue aux environ des années 2025, la station de Cottendart devant probablement être fermée en 2015 déjà. Mais bien des problèmes devront être résolus auparavant, en particulier le transport des ordures depuis le littoral, le Val-de-Ruz et le Val-de-Travers. Dans l'intervalle, les ordures du bas du canton seront distribuées à de grandes usines d'incinération romandes, par voie de chemin-de-fer.

Pour en revenir au fonctionnement des stations d'épuration, la digestion anaérobie des boues produit, outre des substances minérales, un gaz riche en méthane (CH_4), le **biogaz**, qui représente une source d'énergie non négligeable pour ces usines. En effet, des systèmes de couplage chaleur-force permettent de produire chaleur et électricité en brûlant ce biogaz. A Neuchâtel, la production de méthane satisfait actuellement 60 % des besoins énergétiques de la nouvelle station réhabilitée, contre 30 % à la Step d'Engollon. A La Chaux-de-Fonds, grâce à l'apport de boues supplémentaires de STEP françaises de la région de Morteau, on obtient 85 % d'autonomie en électricité ainsi que la totalité du chauffage, notamment des boues, auquel s'ajoute l'eau chaude de l'usine.

Enfin, il faut savoir que ces processus de digestion anaérobies produisent des nui-

Planche 5 : Quelques exemples du traitement des eaux usées

La STEP moderne du Val-de-Ruz à Engollon, exploitée par MULTIRUZ

La STEP de Neuchâtel au Nid-du-Crô. En haut à droite, le bâtiment de l'épuration physique (1), suivi des décanteurs primaires (2) ; au milieu et sur la gauche vers le lac, les phases biologiques avec boues activées (3) et biofiltres (4) ; le dernier stade d'épuration par filtres spéciaux se trouve dans le bâtiment bleu (5) au bord du lac, avant le rejet de l'eau épurée. Le traitement des boues par épaississement (6) et digestion (7) s'effectue dans les tours circulaires.

sances olfactives qui doivent être éliminées soigneusement pour éviter la gêne du voisinage. Dans ce but, on traite l'air souillé qui est soutiré par dépression, au moyen d'étapes complexes d'oxydation physico-chimiques.

Evolution des processus d'épuration :

Concernant l'historique des STEP, les résultats globaux d'épuration ont été progressivement péjorés au cours des années par le mauvais fonctionnement de quelques stations. En effet, la plupart d'entre elles ayant été construites dans les années 1970, les rendements sont devenus déplorables à partir des années 1990 suite au vieillissement des installations électromécaniques, soumises à très rudes épreuves dans les conditions de l'épuration. De plus, certaines d'entre elles n'étaient plus capables de traiter les augmentations de débits survenus avec le temps. Grâce à la législation environnementale, notamment suite aux affinements successifs de l'Ordonnance sur la protection des eaux, différents moyens ont été proposés ces dernières années pour améliorer les performances d'épuration, à savoir :

• **Réhabilitation des anciennes STEP**, avec notamment l'amélioration de la phase biologique et l'introduction de la filtration finale pour les grandes unités. C'est le cas notamment de la STEP de Neuchâtel réhabilitée en 1998, ainsi que des autres stations du littoral réhabilitées sans le 4ème stade (Vaumarcus, St Aubin, Colombier, Marin et Le Landeron) ; la nouvelle STEP du Val-de-Ruz a été inaugurée en 1999, la réhabilitation de la STEP de La Chaux-de-Fonds s'est achevée en 2008; celle du Locle est à venir prochainement, mais elle dépend d'un projet de station commune entre Le Locle et les Brenets, en cours d'étude.

• **Plan général d'évacuation des eaux (PGEE)**, permettant la vision détaillée de la problématique des réseaux d'assainissement et des apports d'eaux usées, STEP y compris. Pour ce faire, le PGEE comprend trois volets :

1) ***Le diagnostic*** *: Etat des cours d'eau ; état des canalisations ; état des installations, etc.*

2) ***Le concept*** *: Etablissement de réseaux d'égouts doublés en* **systèmes séparatifs** *de manière à ce que les eaux de pluie et de drainage soient évacuées directement vers les eaux de surface et qu'elles ne viennent plus diluer les eaux usées. Mais devant les sommes faramineuses dues au doublage des conduites et aux difficultés d'établir des systèmes séparatifs complets, les spécialistes de l'épuration en sont venus dès les années 1990 à proposer des secteurs ciblés d'***infiltration** *de ces eaux de pluie ou de drainage là où il y a des terrains perméables hors de l'influence des zone de protection des captages d'eau potable. Le PGEE met donc à disposition un choix séparatif-infiltration en fonction des régions.*

3) ***Les mesures prises*** *: Changements de canalisations ; construction de réseaux séparatifs ou infiltrations ; construction de systèmes de rétention des eaux pluviales ; réhabilitation des stations de pompage et de relevé des égouts ; transformation des STEP, etc.*

En conclusion, pour obtenir un rendement optimal de l'épuration, on a surtout travaillé dans deux directions ces dernières années. Tout d'abord par des **phases de réhabilitation** des stations d'épuration trop anciennes, puis par l'amélioration des réseaux d'égouts grâce aux **plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE)**. Pour que les communes puissent satisfaire à ces exigences dans de bonnes conditions et dans les meilleurs délais, il leur a été proposé des subventions cantonales incitatives, mais jusqu'en 2000 seulement, hormis quelques exceptions, dont le hameau de Brot-Dessous - Champ-du-Moulin, par exemple, dont les deux

petites STEP viennent d'être mises en service (2009). A fin 2010, les 53 communes du canton reliées à une STEP, ont achevé l'étude de leur PGEE (voir le site internet du SENE, www.ne.ch, traitement des eaux, résultats des STEP).

Dès lors, les PGEE sont aux eaux usées ce que les zones de protection sont aux eaux potables. Ces deux procédures sont les plus efficaces qu'on ait trouvées à l'horizon 2000 pour améliorer la qualité de l'eau dans son sens le plus large.

A propos des micro-organismes

Tout, dans la nature et dans les œuvres humaines, témoigne de phénomènes liés à l'inlassable travail d'êtres microscopiques : bactéries de tous types, algues unicellulaires, protozoaires et moisissures. Par exemple, l'oxygène de l'air, indispensable à la plupart des organismes actuels, a été élaboré par des procaryotes, les Cyanobactéries (autrefois considérées comme des algues bleues), comme résidu de leur photosynthèse, et ce depuis quelque 3 milliards d'années. Les micro-organismes ont donc permis l'évolution de la vie telle que nous la connaissons. Le tube digestif de l'homme et des animaux, la plaque dentaire, les tapis gélatineux dans certaines conduites d'eau chaude, les boues activées des STEP, tous ces milieux sont colonisés par des associations de micro-organismes qui, en se fixant sur un substrat inerte ou vivant, s'organisent en microcolonies englobées dans des matrices mucilagineuses. L'étude des écosystèmes microbiens démontre de plus en plus que la vie des infiniment petits du monde vivant est organisée en communautés formant, lorsqu'elles se développent sur des surfaces, des ***biofilms*** *(BRIANDET, 2012). Dans les boues activées des STEP on parle plutôt de « **flocs** » car les cellules microbiennes en suspension dans l'eau forment des flocons cohérents de taille millimétrique englobant des millions de cellules agrégées entre elles par des mucilages formés d'exopolymères (polysaccharides, polypeptides) qu'elles ont sécrétés. Ces êtres, qu'on imaginait le plus souvent sous la forme de cellules individuelles flottant dans le milieu aquatique comme le plancton dans un lac, vivent au contraire en collectivité, pratiquant des échanges qui font leur force. La constitution d'un biofilm sur un support, comme par exemple une conduite d'eau, se fait en plusieurs temps : d'abord les bactéries s'attachent sur le support de façon précaire par des forces électrostatiques ou au moyen de pilis (sortes de « poils » de nature protéique) pour celles qui en sont munies, puis elles se sédentarisent avec le substrat, se multiplient en sécrétant des exopolymères qui les lient entre elles et à leur support, formant de véritables tapis microbiens. De plus, elles n'hésitent pas à s'associer à des champignons et à des protozoaires, voire à des algues en présence de lumière, pour procéder à des échanges de nutriments. Ces interactions renforcent la cohésion, la résistance et le développement des tapis, dont l'épaisseur va de quelques micromètres à plusieurs millimètres. Ces tapis se composent de multiples populations en interaction : on a dénombré ainsi plus de 500 espèces de bactéries dans la plaque dentaire. Cette vie communautaire leur permet de résister à des stress chimiques ou physiques. Dans le cadre des STEP, ces associations sont fondamentales et existent aussi bien dans le domaine de l'épuration biologique de l'eau, en aérobiose, que dans les conditions anaérobies de la digestion des boues.*

*Dans ces installations, les biofilms restreints du milieu naturel font place à d'immenses cultures associatives de flocs de micro-organismes, qu'on dénomme la «**biomasse**», gérées de façon industrielle, au même titre que les procédés de fermentation alimentaires ou biotechnologiques. Ces micro-organismes sont responsables de la biodégradation des matières polluantes, transformant les composés organiques complexes en leurs constituants minéraux de base, comme le carbone (production de CO_2), le phosphore et l'azote et, dans le cas de la digestion anaérobie des boues, du méthane. Il s'agit de processus métaboliques qui font partie du fonctionnement énergétique naturel de la cellule bactérienne.*

Ainsi, dans le milieu aérobie des boues activées, formées d'une biomasse en suspension dite « culture libre », ou dans les biofiltres qui supportent une biomasse en tapis dite « culture fixée » (biofilms sur galets, supports alvéolaires de polystyrène, schistes, gravier, sable, etc.), les micro-organismes épurateurs forment des écosystèmes associatifs sélectionnés et spécialisés. Ils sont constitués d'une multitude de populations de bactéries en majorité hétérotrophes qui jouent le rôle de consommateurs primaires en dégradant la quasi-totalité des matières organiques polluantes (lipides, glucides et acides aminés) : oxydation du carbone organique en CO_2, minéralisation de l'azote en ammoniaque et du soufre en hydrogène sulfuré (H_2S), libération du phosphore sous la forme d'orthophosphates solubles. A leur tour, d'autres bactéries oxydent l'ammoniaque en nitrite, puis en nitrate et le H_2S en sulfate. Ces populations de consommateurs primaires sont régulées par une faune de prédateurs carnivores, tels des rotifères , des vers nématodes, et par d'innombrables protozoaires amibiens et ciliés, dont en particulier des ciliés pédonculés dont les plus connus sont les vorticelles et les épistylis. Ces protozoaires sont attachés en colonies sur les flocs des boues activées ou sur les supports des matériaux filtrants des cultures fixées. Chaque colonie est capable de digérer plusieurs dizaines de milliers de bactéries par minute, ce qui permet un renouvellement constant de la microflore épuratrice. Les protozoaires sont eux-mêmes consommés par d'autres prédateurs tels les rotifères, etc. Il s'établit ainsi une chaîne alimentaire dans laquelle les mangeurs stimulent indirectement la croissance des mangés, accélérant ainsi le processus de dégradation.

Dans le traitement anaérobie des boues d'épuration, la dégradation est opérée par d'autres groupes de micro-organismes vivant en absence d'oxygène. Les boues d'épuration proviennent d'une part de la décantation primaire (mélange de boues organiques et minérales très fines) et d'autre part de la décantation secondaire (boues biologiques, essentiellement constituées de la biomasse des flocs ayant effectué la minéralisation des constituants organiques des eaux usées). Il faut avant tout réduire leur volume et les stabiliser. Pour ce faire, la technique la plus efficace est la digestion anaérobie (biométhanisation) qui produit en prime un résidu valorisable : le biogaz. Néanmoins, dans les petites stations, la digestion est rarement pratiquée et on se contente d'épaissir les boues par brassage en les laissant décanter un certain nombre de jours, ce qui permet de concentrer la boue de 2 à 10 fois au fond du décanteur-stockeur. La biométhanisation fait intervenir des groupes de bactéries anaérobies qui transforment en produits stables, par plusieurs phases successives, les substances organiques polluantes. Elles se développent après que l'oxygène a été consommé par les bactéries aérobies, lesquelles sont alors éliminées avec la plupart des bactéries pathogènes. Cette opération peut être effectuée autour de 35 °C : c'est la digestion mésophile. Une digestion à plus haute température, soit à 55 - 60 °C (thermophile), est aussi possible; elle fait intervenir d'autres types de micro-organismes. Les avantages de la digestion thermophile sont un déroulement plus rapide et une meilleure hygiénisation (élimination des pathogènes).
La première phase de la digestion consiste en une hydrolyse des substrats complexes (polysaccharides, protéines, lipides) et une fermentation des produits de ces hydrolyses avec formation d'acides gras volatils et d'alcools (acidogenèse). La deuxième phase fait intervenir d'autres

types de bactéries qui pratiquent l'acétogenèse, transformant les produits de ces fermentations en acide acétique, hydrogène et CO_2. La troisième phase est accomplie par des bactéries méthanogènes avec formation d'un mélange de méthane (CH_4) et de CO_2, le « biogaz ». Celui-ci est accumulé dans des gazomètres d'où il sera utilisé comme combustible pour la production de chaleur, de force motrice ou d'électricité.

La ***biomasse épuratrice*** *a donc une importance fondamentale. Elle constitue des écosystèmes complexes qui exploitent la capacité des micro-organismes à dégrader les polluants organiques carbonés, azotés, phosphorés et soufrés pour les minéraliser et les rendre à nouveau aptes à réintégrer le milieu naturel. Sans elle, les déchets s'accumuleraient à la surface de la Terre, étouffant toute vie. Dans tous les domaines liés à l'eau, l'action des communautés microbiennes est essentielle. Avant les recherches de Pasteur dans la seconde moitié du XIXe siècle, on n'avait pas la moindre idée de ces phénomènes; les différents travaux cités dans le bulletin de la SNSN depuis cette époque témoignent de cette évolution des connaissances.*

Pour conclure cet aperçu microbiologique, il nous paraît intéressant de citer une recherche plurisectorielle réalisée il y a une trentaine d'années, concernant l'utilisation des propriétés microbiennes de digestion anaérobie, appliquées à la digestion des boues d'épuration mêlées à des déchets ménagers organiques :

De 1977 à 1979, la Société SAIOD *(Société anonyme pour l'incinération des ordures et déchets ménagers) à Colombier, a engagé une étude interdisciplinaire intitulée « Traitement intégré des déchets solides et liquides ». Cette étude, (*SAIOD*, 1979), placée sous la direction du professeur M. Aragno du Laboratoire de Microbiologie de l'Université de Neuchâtel, la première de ce type en Suisse dans ce domaine, regroupait outre les chercheurs de l'Université, les techniciens de la* SAIOD*, le Laboratoire de Pédologie de l'EPFL, le laboratoire des Eaux et de l'Environnement de Neuchâtel, ainsi que les Services techniques de la STEP de Colombier. Elle avait pour but de démontrer qu'il était possible de mélanger les déchets putrescibles des ordures ménagères, après un tri sélectif au moyen d'une complexe chaîne de tri, avec les boues d'épuration liquides épaissies de station d'épuration. Et d'obtenir après une prédigestion aérobie suivie d'une digestion anaérobie, d'un côté, une production importante de méthane (biogaz), et de l'autre un compost bien structuré pouvant être livré à l'agriculture. On faisait ainsi d'une pierre deux coups, puisqu'il ne suffisait que d'un seul digesteur pour traiter aussi bien les ordures biodégradables que les boues d'épuration ; avec à la clef une production de biogaz plus importante que dans les systèmes séparés, et un compost de très bonne qualité. Mais le projet n'a finalement pas reçu l'aval du Service fédéral de l'Environnement, d'une part, du fait du peu de fiabilité de la chaîne de tri des ordures dans la station d'incinération (séparation des matières putrescibles, du papier, du verre, du plastique, des pneumatiques en caoutchouc, de la ferraille et de divers combustibles), et d'autre part, de l'excès de métaux lourds présents dans les composts. Il en est quand même résulté un système efficace de rétention des métaux lourds dans les cendres produites par* SAIOD*, d'où l'autorisation pour la STEP de Colombier de commercialiser du compost artisanal pour les privés ; et pour la station d'incinération, l'installation d'une chaîne de tri plus réduite (séparation du papier, des métaux et du verre), mais plus performante. Cette intéressante conception du tri des déchets à leur réception dans les installations d'incinération n'a pas eu finalement de grand succès, au vu de la complexité de l'opération. Quelques installations sur le plan Suisse (mais pas moins d'une centaine en France) ont procédé au triage plus sommaire de la fraction biodégradable des ordures ménagères. Le compost obtenu était d'assez bonne qualité, sous réserve de sa teneur en métaux lourds et de la présence de débris de verre et de plastique. Mais le tri sélectif à la source, finalement adopté presque partout, constitue à ce jour la meilleure option de séparation des ordures compostables. Avec ce système, le traitement intégré des déchets compostables et des boues d'épuration, serait en mesure de retrouver toute sa légitimité.*

6. L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

Jusqu'au 18ème siècle, le pain produit à partir de l'orge, de l'avoine et du blé cultivés sur place constitue l'aliment de base des Neuchâtelois. C'est pourquoi nos ancêtres ont établi des moulins à grain partout, sur toutes les rivières du canton, sur la plupart des ruisseaux, et même sur de simples filets d'eau. La roue à eau étant l'unique moteur de l'époque, on ne se contenta pas de lui faire actionner les moulins à grains ou à gruau, qui se taillent la part du lion jusque vers 1800, mais aussi les battoirs, les pilons à écorce et surtout les scieries ou «raisses», dès le XVIIe siècle, ainsi que le travail des métaux (forges à martinets, laminoirs, taillanderies) qui ont fonctionné jusqu'en 1900, voire plus tard pour certaines d'entre elles. On établit même des moulins dans les endroits les plus inattendus, comme par exemple sur les entonnoirs et les gouffres où disparaissent les ruisseaux drainant les hautes vallées (moulin du Col-des-Roches, moulin de la Ronde à La Chaux-de-Fonds, moulin du Gigot au Cerneux-Péquignot, moulin du lac des Taillères, scierie de la Brévine, moulin du Sucre à Couvet, etc.). Au Col-des-Roches et à La Chaux-de-Fonds, les meuniers ont accompli une œuvre colossale tout en ne disposant que de débits limités. De meuniers, ils se sont transformés en spéléologues et ont installé dans les cavités des roues les unes au-dessous des autres, avec des chutes superposées, leur permettant d'utiliser deux ou trois fois la même eau (Cop, 1987). Et à Neuchâtel dans le Gor de Vauseyon, Jean Chambrier a érigé en 1614 un moulin exceptionnel à cheval sur la rivière, avec des roues suspendues pour éviter les crues désastreuses du Seyon (Garin, 1987).

En outre, les grandes résurgences comme les sources de l'Areuse, de la Noiraigue et de la Serrière, ont de tout temps été utilisées comme eaux motrices, car les débits y sont constamment abondants. Dans ces endroits, les moulins ont été remplacés progressivement par des industries plus importantes, telles que la fabrication de la pâte à papier (St-Sulpice, Serrières), l'industrie du bois et le travail des métaux, etc.

Sur toutes les rivières neuchâteloises entre 1650 et 1850, on a compté une multitude de moulins; les scieries se sont surtout développées entre 1725 à 1850, tandis que les forges à martinets et autres moulins à métaux, apparus dès 1750, ont vu leur apogée au début du 20ème siècle.

On a dénombré dans le canton :
- une quinzaine de moulins sur le Doubs, entre les Brenets et le Saut du Doubs;
- environ 20 moulins dans la vallée du Locle et une dizaine dans celle de La Chaux-de-Fonds;
- plus de 20 moulins dans les vallées fermées de la Sagne et des Ponts, et de la Brévine;
- plus de 30 moulins dans le Val-de-Travers, le long de l'Areuse et de ses affluents;
- une vingtaine de moulins le long du Seyon, dont l'exceptionnel moulin de Bayerel encore conservé aujourd'hui, et le curieux moulin Chambrier à Vauseyon, à cheval sur la rivière;
- plus de 10 moulins, ainsi que de nombreuses industries sur le petit bras de la Serrière. En 1811, on y dénombrait en même temps, 38 roues à eau, dont 11 actionnaient des forges, onze des moulins à farine, quatre des scieries, un moulin à papier qui donnera naissance aux futures papeteries, un polissoir, une chocolaterie.
- Dans les forges, l'eau permettait de battre le fer au moyen de pilons; les rebattes étaient des moulins destinés à broyer le chanvre, les fruits, le maïs, les glands, etc. Les moulins à huile ou à gruaux pressaient les végétaux oléagineux (noix, noisettes, tournesol) pour en tirer l'huile utilisée en cuisine ou pour alimenter les lampes; les moulins à foulon servaient au foulage des tissus de laine et au tannage des cuirs, tandis que les faux, les couteaux et autres objets tranchants étaient fabriqués dans les taillanderies.

Dès 1860, on assiste à la **révolution industrielle avec l'apparition de l'électricité**. Les moulins sont désaffectés progressivement et les rivières sont dès lors utilisées

Planche 6 : Exploitation de l'énergie hydraulique

Usine de Combe-Garot dans les Gorges de l'Areuse (pompage d'eau et production d'électricité)

Intérieur de l'usine du Chanet à la sortie des Gorges de l'Areuse (production d'électricité)

comme source mécanique pour produire cette nouvelle énergie. Mais le karst neuchâtelois étant loin de posséder les ressources en eau des zones alpines, seuls l'Areuse et le Doubs ont pu être utilisés pour la production hydroélectrique. Le faible dénivelé de l'Areuse et le peuplement de la vallée ont empêché toute construction de barrage. C'est pourquoi cette rivière est essentiellement aménagée pour des usines au fil de l'eau, sises principalement au niveau de la source **dans la Haute Areuse,** à St-Sulpice, et plus en aval dans la **Basse Areuse,** dans le secteur des **Gorges de l'Areuse**. Par contre, la profonde gorge du Doubs, peu peuplée, s'est prêtée à la construction de barrages, celui du **Châtelot** entre les Brenets et Biaufond, et celui du **Refrain** après Biaufond. Le premier est exploité en partage avec l'Electricité de France. Le Refrain, produit de l'électricité uniquement pour la France, du fait de sa situation hors du canton de Neuchâtel.

Dans la Haute Areuse, deux premières usines ont été construites en 1860, puis modernisées en 1908; elles fournissent alors de l'énergie aux importantes industries locales (fabriques de ciments et de papier). Désaffectées en 1985, elles ont été transformées en écomusée, tandis qu'une nouvelle usine, d'une puissance de 3,88 MW a été créée. La perte du lac des Taillères, qui constitue le bassin d'alimentation principal de la source de l'Areuse (ou source de la Doux), voit son niveau réglé automatiquement par un barrage-déversoir qui améliore la régularité du débit à la source de l'Areuse. L'exploitation de l'usine de la Doux dépend actuellement du Groupe E, dont le centre de gestion est situé à Fribourg.

Dans la Basse Areuse, cinq usines ont été progressivement installées en escaliers, pour profiter des paliers naturels. Elles fournissent de l'électricité et servent aussi à pomper de l'eau potable. Les premières à voir le jour furent précisément les usines de refoulement d'eau potable, qui toutes produisent aussi de l'électricité : tout d'abord celle des **Moyats,** construite en 1887 et qui permet l'alimentation en eau de La Chaux-de-Fonds ; puis celle de **Combe-Garot,** en 1890 (1ère étape) et en 1896 (2ème étape), qui élève l'eau des sources inférieures de la vallée jusque dans l'aqueduc d'alimentation de Neuchâtel, 150 mètres au-dessus. Vinrent ensuite les usines de production électrique pure : le **Plan-de-l'Eau** en 1896, le **Chanet** en 1914 (précédé par l'ancienne usine du Pré-aux-Clées en 1895) et finalement le **Furcil** en 1956. La commune de Val-de-Travers et celle de Brot-Dessous sont les concessionnaires des usines supérieures du Plan-de-l'Eau et du Furcil, qui fournissent 1,7 MW. Enfin, les trois usines des Gorges de l'Areuse, d'une puissance totale de 11,5 MW sont exploitées par la Société VITEOS. Cette dernière est de plus propriétaire des usines de Combe-Garot et du Chanet, et en détient à ce titre la concession hydraulique. Par contre, la concession de l'usine des Moyats est restée la propriété de la Ville de La Chaux-de-Fonds. Les principales caractéristiques techniques de ces ouvrages figurent dans le tableau 7. Signalons que leur débit de restitution est fixé à 250 l/s, de manière à conserver un minimum d'eau pour les poissons et la faune aquatique en période d'étiage. De ce fait, en conditions de sécheresse, la plupart de ces usines sont arrêtées.

Concernant l'histoire locale, en 1983, le groupe « Electricité neuchâteloise SA » (ENSA) avait eu l'idée de créer un sytème de pompage-turbinage entre Noiraigue et Bevaix à travers la Montagne de Boudry, avec un lac d'accumulation dans la vallée de Noiraigue (ROUSSY, 1986). Ce projet, rejeté massivement par les pêcheurs et les défenseurs de l'environnement, aurait permis d'obtenir une puissance exceptionnelle de 66 MW. Un autre projet plus modeste, étudié durant les années 1990 par les Services Industriels de Neuchâtel et baptisé « Areuse 2000 », prévoyait d'augmenter massivement le turbinage de l'usine de Combe-Garot en période de crues, ce qui aurait permis un débit de restitution voisin de 1000 l/sec ; mais ce plan trop onéreux n'a jamais vu le jour.

Usines	Echéances des concessions	Concessionnaires	Fonctions	Principales caractéristiques					
				Electricité (puissance)			Eau		
				CV théorique	MW	Production annuelle moyenne (GWh)	Hauteur de chute (m)	Débit turbiné (m^3/s max.)	Débit de restitution (m^3/s)
LE FURCIL *alt.712 m* **1956**	1ère : 2002 2ème: 2052	Commune de Val-de-Travers: 97 % Commune de Brot-Dessous: 3 % Exploitant: Société électrique du Val-de-Travers SA	Production électrique	710	0.6	3.3	9.3	10	0.25
LE PLAN-DE-L'EAU *alt. 682 m* **1896**	1ère : 1991 2ème: 2041		Production électrique	1550	1.1	7.5	32	4.8	0.25
LES MOYATS *alt. 626 m* **1887**	1ère : 1985 2ème: 2035	Ville de La Chaux-de-Fonds Exploitant: Société VITEOS SA	Pompage d'eau de boisson. Production électrique, dont 90% pour l'eau	3315	1,7	10	57	5	0.25
COMBE-GAROT *alt. 530 m* **1890 (eau)** **1896 (élect.)**	1ère : 1989 2ème: 2039	Société VITEOS SA concession avec la Ville de Neuchâtel	Production électrique, dont une partie pour le pompage de l'eau de Neuchâtel	6100	4.5	30	90	6	0.25
LE CHANET *alt. 455 m* **1914**	1ère : 1989 2ème: 2039	Société VITEOS SA	Production électrique	5850	4	25	73.5	7.3	0.25

Tableau 7 : Caractéristiques techniques des usines hydroélectriques de la Basse Areuse.

Sur le Doubs, le barrage–voûte du Châtelot, haut de 74 m, a été mis en service en 1953. Il permet de retenir un volume d'eau de 16 millions de m^3, drainant un bassin versant de 911 km^2, dont les 90 % sont situés sur territoire français. L'eau est turbinée à l'usine du Châtelot à 3 km du barrage. Elle permet d'obtenir une puissance de 30 MW, distribuée par moitiés vers le canton de Neuchâtel et vers la France voisine.

Le barrage du Châtelot, les usines de la Haute et de la Basse Areuse ainsi que diverses petites installations, dont une sur la Serrière et l'autre sur la Rançonnière (entre le Crêt du Locle et les Brenets), exploitées par VITEOS, produisent 188 millions de kWh/an, soit actuellement (chiffres 2009) le 15 % de la consommation cantonale d'électricité, 85 % étant livrés de l'extérieur par le Groupe E. Le Service Cantonal de l'Energie et de l'environnement (www.ne.ch/energie/politiqueenergetique) indique la répartition suivante en 2009 pour l'ensemble de l'énergie utilisée dans le canton : 53 % d'énergie hydraulique (canton et hors canton), 31 % d'énergie nucléaire, 11 % d'origine thermique (gaz ou mazout), et 5 % à partir de déchets (incinération des ordures, digestion des STEP). La consommation totale 2009 a été de 1028 GWh ; elle est en forte augmentation par rapport aux années précédentes : 662 GWh dans les années 1980, puis 860 GWh dans les années 1990. Par rapport à 1990, la consommation d'électricité cantonale a donc augmenté d'environ 20 %, ce qui représente une croissance annuelle voisine de 1 %.

Les 15 % d'énergie obtenus par les centrales cantonales, s'ils ne sont pas négligeables, ne sont cependant pas très importants en regard de la quantité d'eau disponible. Cet apport d'énergie hydraulique relativement faible s'explique par le fait que les ressources en eau sont essentiellement souterraines et que les rivières sont peu nombreuses et de faible pente.

Par ailleurs, le Groupe E vient de classer deux des sites de production hydroélectrique du canton, à savoir l'usine de St-Sulpice et le barrage du Châtelot en production de courant «**vert hydraulique**». Cela signifie qu'il s'agit de courant électrique certifié provenant de sources hydrauliques renouvelables, pour lequel une contribution supplémentaire des abonnés de 3,3 centimes par kWh doit permettre à terme d'assainir les installations, afin de mieux répondre aux problèmes liés à la protection de l'environnement et au développement durable. VITEOS de son côté a offert à partir de 2011, un produit hydraulique renouvelable baptisé **«Areuse»**.

En ce qui concerne l'avenir, la réflexion sur la sécurité de l'approvisionnement énergétique, suite aux récentes controverses concernant l'utilisation de l'énergie nucléaire, incite les distributeurs d'électricité du canton à augmenter leur propre production hydroélectrique, de manière à diminuer leur dépendance vis-à-vis du marché. Pour ce faire, plusieurs projets de micro-turbinage des ressources en eau locale sont à l'étude dans des endroits potentiellement intéressants, et qui ne portent pas préjudice à l'environnement. C'est ainsi que la société VITEOS, se propose d'ériger un micro-turbinage des eaux épurées de la STEP de La Chaux-de-Fonds, envoyées au moyen d'une conduite forcée jusqu'à une petite usine de production enterrée, sise à proximité de la Maison Monsieur au bord du Doubs. Les résurgences naturelles de ces eaux qui sourdent à proximité seraient ainsi courcircuitées. Ce projet, qui devrait voir le jour en 2013, permettrait de produire 4,4 GWh par an. Par ailleurs VITEOS prévoit un autre micro-turbinage sur le Seyon près de Neuchâtel, ainsi qu'en parallèle une optimisation des débits des usines de l'Areuse et du turbinage des eaux de la Serrière. Les Services Industriels de Boudry[1)] envisagent eux aussi la construction d'une microcentrale électrique le long de l'Areuse, à la hauteur de la chute des Esserts. Cette centrale qui devrait alimenter environ 400 ménages de la commune pourrait voir le jour en 2014.

1) Boudry produit déjà de l'électricité depuis des années, en turbinant l'eau qui provient des sources de la Montagne de Boudry.

De son côté, la Société électrique du Val-de-Travers devrait modifier la puissance de l'usine du Plan de l'Eau, dont les turbines datent encore de 1926. Toute une série de projets de ce type sont prêts à être lancés dans les prochaines années, comme aussi l'impressionnant pompage-turbinage de l'eau du Châtelot par le groupe E, avec son bassin de rétention placé à 1200 mètres d'altitude, fortement contesté par les habitants des lieux. Tout cela s'inscrit dans le cadre des nouveaux enjeux destinés à diminuer autant que possible la dépendance énergétique régionale vis-à-vis du nucléaire, enjeux qui occasionneront à coup sûr des pressions de plus en plus fortes sur les ressources locales, favorisant des perspectives et des controverses que ne désavouerait pas le génial Guillaume Ritter !

7. L'EAU ET LES LOISIRS

Qui y a-t-il de plus agréable que de passer une belle journée ensoleillée à se baigner dans une piscine ou au bord du lac ? A une époque où l'individu cherche à retrouver son équilibre dans la nature, l'eau offre des loisirs variés et sans cesse renouvelés. Dans la région neuchâteloise, la voile, le surf, le ski nautique, la plongée, l'aviron, la pêche et la baignade, offrent l'embarras du choix aux amoureux de l'eau.

C'est ainsi que la bordure neuchâteloise du lac de Neuchâtel propose 26 plages répertoriées et faisant l'objet de contrôles de qualité en été, entre Vaumarcus et La Tène plage, dont 9 d'entre elles sont situées sur le littoral de la ville de Neuchâtel. *Cependant, 4 endroits particuliers sont susceptibles d'occasionner des risques sanitaires : les anciens bains de l'Evole et l'embouchure du Seyon, les Jeunes rives Est, et l'exutoire de la STEP.* A cela s'ajoutent 4 plages entre Le Landeron et La Neuveville, sur la partie neuchâteloise du lac de Bienne, soit un total de **30 plages notifiées et contrôlées** tous les quinze jours en période estivale par le Service de la consommation et des affaires vétérinaires (SCAV). Par contre, il n'y a pas de bains en rivières répertoriés, ni dans l'Areuse, ni le Seyon, voire le Doubs, ces rivières n'offrant pas une grande sécurité du point de vue hygiénique à cause des rejets d'exutoires de STEP. De plus, la législation sur la pêche n'y autorise pas de baignades ouvertes, ni de rafting par exemple.

Sur le plan historique, il faut souligner que la présence de l'exceptionnel plan d'eau constitué par le lac de Neuchâtel a privilégié les baignades depuis des temps immémoriaux, à commencer par les populations lacustres. Plus près de nous, rappelons que la Ville de Neuchâtel, avant l'avènement des piscines, s'était équipée, depuis la seconde partie du 19ème siècle et jusque dans les années 1960, de bains publics fermés en bordure des rives, à l'instar de ce qui se faisait dans d'autres villes comme Berne, Bâle, Genève, etc. Cette pratique a débuté en 1858 (GIRARDBILLE *et al*, 2008), date à laquelle les baignades sur les quais de la Ville ont été prises en charge par la municipalité. 6 établissements de bain ont été érigés, tous d'allure similaire : il s'agissait de bâtiments plats permanents avec terre-pleins ouverts sur le lac. Ils comprenaient un secteur avec des barrières destiné aux non-nageurs, et des cabines payantes. Condamnés par les remblayages progressifs des rives, ces bains ont été successivement fermés et démolis à partir des années 1960, à l'exception des bains de l'Evole restaurés avec soin et actuellement dévolus au ski nautique. Leur disparition officielle coïncide avec l'ouverture des grandes et nouvelles piscines publiques de Monruz en 1964, elles-mêmes remplacées à cause du tracé de l'autoroute A5 par le complexe des piscines du Nid-du-Crô dans les années 1990.

Planche 7 : Exploitation de l'eau dans le cadre des loisirs

Intérieur de la piscine couverte du Nid-du-Crô à Neuchâtel

Plage d'Hauterive, construite dans les années 1990, en compensation du passage de l'autoroute A5 en amont

C'est en fait depuis les années 1950 que des **piscines de plein air** ont été construites dans tout le canton, parallèlement à l'augmentation des loisirs : citons en particulier les **7** plus grandes piscines communales : celles de Neuchâtel au Nid-du-Crô et à Serrières, la piscine des Mélèzes à La Chaux-de-Fonds, la piscine du Communal au Locle, la piscine de Boveresse, celle d'Engollon et celle du Landeron. D'autres piscines publiques plus petites et privées existent à Montmirail et au Novotel de La Tène, au Fraso-Ranch de Lignières, ainsi qu'au motel de Bevaix et à la Rouvraie, également à Bevaix.

Compte tenu du climat relativement médiocre de la région neuchâteloise, des **piscines couvertes** permettant les entraînements en toute saison, aussi bien de la population que des sportifs, sont apparues à partir des années 1970. Protégées, elles sont actuellement les plus nombreuses. En 2010, sur un total de 35 établissements officiels, il existe en effet 23 piscines couvertes dans le canton pour seulement 12 piscines de plein air; plus une multitude de petites piscines privées qui ne figurent pas dans ce répertoire. Parmi les piscines couvertes et officielles, 10 équipent différents collèges du canton, le solde se répartissant entre les 3 grandes piscines municipales, à savoir celles du Nid-du-Crô à Neuchâtel, des Arêtes à la Chaux-de-Fonds et du Centre sportif à Couvet. Enfin, 10 bassins ont été construits dans des hôtels, des homes et différents foyers du Littoral ainsi que des Montagnes.

Les contrôles de la qualité des eaux de piscines publiques sont également dévolus au Service de la consommation et des affaires vétérinaires (SCAV). Ce dernier effectue ces examens sur la base de la législation en vigueur, à savoir les «Recommandations pour la qualité des eaux de baignades» [1] et les «Normes concernant la qualité des eaux de piscines» [2].

Les recommandations pour la qualité des eaux de baignades, de lacs et de rivières sont basées essentiellement sur deux critères bactériologiques : la présence de bactéries fécales du type ***Escherichia coli,*** et la présence de bactéries de type **salmonelles**, responsables de salmonelloses, gastro-entérites, etc. En fonction des concentrations de ces bactéries, les plages du littoral sont classées de A à D. Les plus saines sont de type A, les plus polluées, donc impropres à la baignade, de type D. Durant la période 1975-1989, les teneurs en *Escherichia coli* et en salmonelles ont été importantes, notamment à proximité des embouchures de l'Areuse et du Seyon, ainsi que des exutoires de stations d'épuration (STEP de Cortaillod, supprimée depuis ; de Colombier ; de Neuchâtel, etc.).

Une soixantaine de **sérotypes**[3] de salmonelles différents avaient alors été mis en évidence (tab. 8). On dénombrait de ce fait une dizaine de plages classées en D. Les tests biochimiques de base étaient effectués au laboratoire des Eaux de Neuchâtel, et la sérotypie au Centre Suisse des Salmonelles à Berne (devenu depuis Centre Suisse des toxi-infections alimentaires), sous l'égide du Laboratoire Cantonal. Ces déterminations précises des souches décelées ont été abandonnées par la suite pour des raisons d'économie.

Depuis lors, la situation s'est considérablement améliorée, notamment du fait de la réhabilitation des STEP de Colombier (1990), Neuchâtel (1998), du Val-de-Ruz (2000), St-Aubin, etc. Si bien que depuis 2002, moins de 5 plages sur 30 sont encore classées en B ou en C (à proximité des STEP), toutes les autres étant en A (il n'y a plus de D), ce qui témoigne de l'état réjouissant de la qualité des eaux de lac et de son amélioration sur le plan épidémiologique.

En ce qui concerne les piscines, outre les teneurs en chlore et en composés annexes, les contrôles d'hygiène sont également basés sur des analyses bactériologiques, soit les bactéries ***Escherichia coli***, associées

1) Recommandations pour la qualité des eaux de baignades, des eaux de lac et de rivières; Office fédéral de la santé publique, janvier 1991.

2) Qualité de l'eau et performances des installations de régénération de l'eau dans les piscines publiques; normes de la Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA 2000, no 385/1).

3) Sérotype : variant de l'antigène somatique (O), flagellaire (H), ou de la couche de polysaccharide externe (Vi), caractérisant le genre *Salmonella*. Ce genre comprend plus de 1000 sérotypes distincts.

Tableau 8 : Principaux sérotypes de Salmonella décelés entre 1975 et 1989 :

Trois sérotypes apparaissent comme les principales souches contenues dans les eaux de STEP (boues activées).

- ***S. Brandenbourg 4,12:1,v:e,n,z$_{15}$. S. Typhimurium*** var. ***copenhagen 1,4,12:i:1,2. S. Panama 9,12:g,m,Lys. B***:
  En 14 ans, S. Brandenburg a été décelée à 69 reprises, S. Typhi-murium à 62 reprises, et S. Panama à 49 reprises, lors de campagnes annuelles de cinq mois, effectuées tous les 15 jours. ***S. Panama*** a subi une exceptionnelle fréquence en 1975 (plus de 25 souches mises en évidence), ce qui ne s'est pas reproduit les années suivantes. En France, deux grandes vagues de ce sérotype (1966 à 1971 et 1978 à 1983) ont été isolées à partir de diarrhées d'enfants.
- ***S. Enteritidis 9,12:g,m*** : ce sérotype décelé à 26 reprises, a fortement augmenté chez l'homme depuis les années 1980 (effet des migrations ?) dans tous les pays d'Europe occidentale.
- ***S. Infantis 6,7:r:1,5*** : ce sérotype a été décelé à 23 reprises en 10 ans.
- ***S. Heidelberg 4,5,12:r:1,2*** : ce sérotype a été décelé à 18 reprises.
- ***S. London 3,10:1,v:1,6*** : ce sérotype décelé à 18 reprises a été localisé principalement dans l'Areuse.
- ***S. Orianenbourg 6,7:m,t*** : cette souche de salmonelle décelée à 16 reprises, est apparue brusquement en 1981 et n'a été localisée que dans quelques endroits notamment à la plage de Cortaillod. C'est un sérotype qui est surtout présent dans la volaille. Comme la plage de Cortaillod est colonisée par de nombreux oiseaux aquatiques, on a été tenté d'y voir une relation.
- ***S.Vom Subgenus IR1,v:1,7*** : ce sérotype a été décelé à 13 reprises.
- ***S. Derby 4,12:f,g*** : ce sérotype a été décelé à 10 reprises.
- ***S. Wien et S. Give*** : ces deux sérotypes n'ont été décelés qu'en septembre et octobre 1988 sur quelques sites ciblés, peut-être en relation avec une petite épidémie humaine à salmonellose, déclarée à cette époque.

A la STEP de Neuchâtel, il a été également mis en évidence à quelques reprises ***S. Paratyphi B, lysotype Jossey, var I***, ainsi que 48 autres sérotypes différents, décelés une seule fois chacun.

pour ces cas aux **germes aérobies mésophiles,** et le cas échéant avec des bactéries plus spécifiques de type ***Pseudomonas*** et ***Legionella,*** auxquelles on peut ajouter encore, si nécessaire, quelques paramètres chimiques (ammonium, urée, etc).

Les eaux de piscines sont recyclées en continu, contrairement aux eaux potables. Puisqu'elles ne reçoivent qu'un léger apport de renouvellement, en général inférieur à 10%, elles doivent impérativement être traitées pour éviter toute transmission d'infections véhiculées et transmises par les baigneurs. L'eau doit être en tous les cas filtrée pour enlever les matières en suspension, puis désinfectée, et souvent tempérée. La désinfection est en général effectuée au moyen de chlore gazeux (qui a tendance à acidifier l'eau en recirculation) ou par de l'eau de Javel (qui a tendance à la rendre basique en recirculation) sous la forme de chlore électrolytique[1]. Dès lors et compte tenu de la modification de l'acidité causée par les baigneurs, une correction automatique du pH est en général effectuée. Quelques piscines importantes et des piscines intérieures comme celles du Nid-du Crô à Neuchâtel, procèdent en plus à une filtration-adsorption sur charbon actif, précédée d'une oxydation puissante au chlore ou à l'ozone, ce qui permet d'améliorer encore davantage la qualité de l'eau. De telles chaînes de traitement sont analogues avec celles qui sont utilisées dans le domaine des eaux potables.

1) Rappelons que le chlore électrolytique est un terme général pour qualifier la production in situ d'eau de Javel diluée, par électrolyse de sel (NaCl) en solution aqueuse. Cette technique a été mise au point il y a une trentaine d'années dans les piscines olympiques de Munich, suite à un attentat terroriste, pour éviter les dangers dus au chlore gazeux. Moins efficace, cette production d'eau de Javel tend cependant à supplanter le chlore gazeux Cl_2, plus dangereux à manier, surtout dans les piscines.

Statistiquement, 25 piscines sur 35 ont leur eau traitée au moyen d'une installation de filtration sur sable avec une désinfection à l'eau de Javel ou au chlore électrolytique. Trois piscines sur 35 possèdent encore des installations de désinfection au chlore gazeux, dont les piscines du Nid-du-Crô à Neuchâtel et celles des Mélèzes à La Chaux-de-Fonds. Quatre installations sur 35 ont une filière complexe de filtration sur sable, oxydation à l'ozone ou au chlore, adsorption sur charbon actif, et contrôles automatiques de la qualité de l'eau (le Nid-du-Crô, et les petites installations du Ranch de Lignières, du Centre pédagogique de Dombresson et du Centre des Perce-Neige aux Hauts-Geneveys). Enfin trois piscines sur 35 possèdent des systèmes de filtration spéciaux sur diatomées ou des systèmes de désinfection par pastilles de chlore ou d'hypochlorite de calcium. Ces statistiques démontrent que les installations de chlore gazeux, par ailleurs très efficaces, ne sont plus utilisées dans le canton que par des exploitants capables d'assumer les sévères normes de sécurité exigées par l'OPAM (Ordonnance sur la Protection contre les Accidents Majeurs, du 21 février 1991). Ces systèmes parfaitement sécurisés devront cependant être remplacés à moyen terme par des installations de chlore électrolytique, du fait des dangers occasionnés par les transports routiers du chlore gazeux.

Sur les 35 piscines, 8 sont situées à La Chaux-de-Fonds, 5 à Neuchâtel, 5 entre Thielle, Le Landeron et Lignières, 6 entre Colombier et Gorgier, 2 dans le Val-de-Travers, 5 au Val-de-Ruz, 3 au Locle et aux Ponts-de-Martel (Home Le Martagon). Les grandes piscines communales sont celles de La Chaux-de-Fonds (bassins intérieurs et extérieurs) et du Locle, du Val-de-Travers à Couvet, du Val-de-Ruz à Engollon, du Landeron, et du Nid-du-Crô à Neuchâtel (bassins intérieurs et extérieurs).

Ainsi, bien pourvu tant en eau de baignade grâce au lac de Neuchâtel bordier, qu'en eau de piscines dans la plupart des régions du canton, ce pays jurassien, malgré la pauvreté apparente des ressources en eau peu visibles en surface, associée à un climat relativement rigoureux, a pu offrir à sa population une palette de loisirs aquatiques abondante et appréciable, dont la qualité est surveillée au même titre que les eaux de boisson.

8. ASPECTS ÉCONOMIQUES

Au vu des besoins en eau actuels et des quantités exigées dans toutes les activités humaines, on pourrait craindre à priori que certains secteurs de nos régions subissent des déficits progressifs, voire définitifs de cet élément. Si c'est effectivement le cas pour le Haut Jura depuis toujours à cause de la perméabilité des karsts élevés dans lesquels l'eau des précipitations s'infiltre (à l'exemple les vallées de la Chaux-de-Fonds et de la Brévine), il n'en demeure pas moins que l'ensemble du territoire suisse fait partie des pays tempérés où les précipitations sont abondantes. Et grâce aux interconnexions de réseaux, les hautes vallées sèches n'ont plus à souffrir de disette. Le problème est par contre plus grave dans les zones arides du globe dont le développement épuise les maigres ressources. A cet égard, *la quantité d'eau renouvelable par personne et par an* est souvent prise comme baromètre pour la disponibilité en eau potable d'un pays (SSIGE, 2008). Au-dessous de 1700 m^3 d'eau renouvelable

par année, on parle de pénurie d'eau ; au-dessous de 1000 m^3 c'est la sécheresse et la désertification. Dans cette optique, la Suisse est dans une situation confortable avec plus de 6500 m^3 d'eau renouvelable par année, alors que l'Algérie par exemple est à 770 m^3 et l'Arabie Saoudite seulement à 160 m^3. La Suisse occupe même une position privilégiée, puisque la totalité de l'eau potable et industrielle distribuée dans le pays est de l'ordre de 1 milliard de m^3 par an, ce qui ne représente qu'un peu moins de 2 % des abondantes précipitations annuelles, lesquelles atteignent 60 milliards de m^3 par an. La moyenne de consommation de 400 l/hab/j dont 160 l/hab/j pour les ménages (=40 %), est établie à partir de ce milliard de m^3 consommé. Signalons qu'il équivaut à la capacité du lac de Bienne ou à un cube d'eau de 1 km de côté ! De ce fait, grâce à cette pluviosité abondante, les besoins sont largement couverts par moins de 10 % des ressources disponibles (sources, nappes, eaux de surface), pour une population qui atteignait 7,7 millions d'habitants en 2010.

En partant de ces données, dans le canton de Neuchâtel le total de l'eau vendue en 2009, soit environ 14 millions de m^3, ne représente à titre de comparaison, qu'un peu moins de 0,5 m^3/s, soit 4 % du débit moyen calculé de l'Areuse, qui est de 11 m^3/s (maximum 160 m^3/s). C'est véritablement négligeable par rapport aux ressources disponibles. Au vu de cette situation, il n'est donc pas logique d'affirmer, comme on l'entend souvent, qu'il est nécessaire d'économiser l'eau chez nous parce qu'elle est rare, ce qui est un non-sens dans notre pays et à fortiori dans ce canton. En réalité, le problème réside dans le fait qu'il faut aller capter les eaux souterraines du karst là où elles sont localisées, pour les distribuer ensuite au moyen d'aqueducs et de conduites d'adduction souvent fort longs. Rappelons qu'autrefois les zones pauvres en eau, (vallée de la Brévine, Val-de-Ruz, etc) n'étaient pas reliées aux secteurs de basse altitude riches en eau, ce qui donnait lieu à des pénuries récurrentes dans ces endroits. Aujourd'hui, les interconnexions généralisées des adductions d'eau dans l'ensemble du canton ont fait oublier ces désagréments périodiques.

Dès lors, le concept d'économie prend tout son sens par rapport à l'**énergie nécessaire** aux prélèvements, aux pompages liés à une distribution éloignée, aux traitements et au stockage de l'eau de boisson, aux interconnections de réseaux notamment à destination des vallées du Haut Jura, ainsi qu'à l'évacuation et à l'épuration de l'eau (énergie grise). Cette énergie de distribution peut être estimée à 250 kW/h par an dans le canton de Neuchâtel, ce qui représente environ 8 % de sa consommation en électricité. C'est suffisamment important pour que, par rapport à ce bilan, les économies soient justifiées.

Partant de là, sur le plan financier, l'analyse du prix de l'eau démontre qu'en 2010, le m^3 d'eau potable livré aux abonnés coûte environ 1,9 CHF dans le canton, contre 1,60 CHF en moyenne suisse. Ce prix de base concerne l'eau de consommation uniquement. Il y a encore quelques dizaines d'années, il était presque partout inférieur à 50 ct, et parfois, l'eau était même gratuite. Si le coût moyen de CHF 1,90 le m^3 n'est pas très élevé, dans certaines communes il augmente en fonction des frais de pompage, de traitement spécial, ou de l'eau d'appoint, comme au Locle (3,90 CHF) où le m^3 est le plus cher du canton. Viennent ensuite Vaumarcus (2,60 CHF), Multiruz (2,40 CHF), Le Landeron (2,20 CHF), et La Chaux-de-Fonds (1,98 CHF). Neuchâtel qui bénéficie d'un important débit d'eau gravitaire, se situe à un échelon inférieur avec 1,83 CHF le m^3.

Actuellement, dans la plupart des communes il faut ajouter à cette somme de base une taxe fixe calculée soit sur le calibre du compteur d'eau, soit sur le raccordement à ce compteur. En plus l'abonné doit s'ac-

quitter d'une taxe concernant l'épuration de l'eau (fixée au prorata de la population raccordée) ainsi que d'une redevance cantonale unifiée de 0,70 CHF par m^3 sur l'eau potable. Cette taxe, unique en Suisse, a été introduite pour permettre le subventionnement d'investissements liés au domaine environnemental, et pour financer partiellement le fonctionnement du SENE. Faisant ici abstraction des taxes fixes trop différentes les unes des autres, en totalisant le prix du m^3 d'eau consommée, la taxe d'épuration ainsi que la redevance cantonale, on obtient un prix moyen de l'eau au m^3 de 5 CHF (valeur 2010).

La taxe d'épuration est établie en fonction des m^3 d'eau consommés. Sa moyenne cantonale est de 2,40 CHF. Elle est en général plus élevée que le prix de l'eau potable, compte tenu des infrastructures nécessaires plus importantes (STEP, réseaux d'assainissement et systèmes séparatifs, etc). Ceci est surtout vrai pour les petites communes dont la population doit supporter plus lourdement les investissements qu'une grande localité où les frais sont dilués au travers d'un nombre d'abonnés important. Ainsi à Vaumarcus (250 habitants), la taxe d'épuration s'élève à 4,70 CHF ; à Brot-Dessous, dont les deux STEP viennent d'être mise en service en 2010, la taxe est de 3,80 CHF pour 90 habitants ; à St Aubin elle est de 3,25 CHF pour 2400 habitants; dans le nouveau syndicat de MULTIRUZ (environ 10'000 habitants raccordés), la taxe est de 3,30 CHF, du fait de la récente réhabilitation de la STEP principale d'Engollon et de son réseau d'assainissement. Mais à Neuchâtel, malgré la réhabilitation de la STEP en 1998 qui a coûté un peu plus de 35 millions de francs, la taxe d'épuration n'est que de 1,40 CHF, ceci à cause de l'importante population raccordée. Dans le même ordre d'idée, elle est de 1,67 CHF à La Chaux-de-Fonds.

Dès lors le prix total de l'eau comprenant l'eau potable, la taxe d'épuration et la redevance cantonale varie en fonction de ces contraintes. Par rapport à la moyenne cantonale de 5 CHF, il est de 3,90 CHF à Neuchâtel, 4,35 à La Chaux-de-Fonds, 6,40 CHF au Locle et à Multiruz, 6 CHF à Brot-Dessous et à St Aubin, et enfin 8 CHF à Vaumarcus (!). Peseux et le Val-de-Travers ont les tarifs les plus avantageux avec 3,70 CHF (mais 6,30 CHF aux Bayards, à cause des frais de pompage).

MATHEY (1986) estimait que l'ensemble de la communauté neuchâteloise dépensait environ 100 millions de francs pour ses eaux, toutes utilisations confondues, dans les années 1980. Mais compte tenu de la forte diminution de la consommation de ces quinze dernières années, et du fait que les principaux investissements sont en passe d'être achevés, ces dépenses sont certainement bien plus modestes actuellement. En effet si on table sur la vente des 14 millions de m^3 annuels au prix moyen de CHF 5.- le m^3, on obtient un montant de 70 millions de francs, y compris l'épuration. A notre avis, c'est d'ailleurs plus l'augmentation progressive du prix de l'eau qui est responsable de la baisse de consommation, qu'une prise de conscience écologique. En fait, les consommateurs sont contraints de suivre les recommandations d'économie essentiellement pour réduire leurs factures, en constante augmentation. La consommation moindre s'explique par des changements de comportements individuels : la douche remplace le bain, on ajoute des dispositifs économiseurs d'eau, on n'arrose plus les jardins, etc. En outre, le secteur industriel a beaucoup contribué à ces diminutions, par des mutations structurelles et des restructurations, ainsi que grâce à la création de concessions pour prélever directement de l'eau dans les nappes phréatiques ou les eaux de surface. Mais cette baisse de consommation, si elle est tout à fait louable sur le plan environnemental, voire économique, n'est en contrepartie pas sans effets sur les variations du prix de l'eau. D'une part, les distributeurs doivent assurer la maintenance de leurs installations dont les coûts avec les années

sont toujours plus élevés, et d'autre part, la part des frais fixes (taxes et redevance) s'élève toujours plus, alors que la part des frais dépendants de la quantité produite est marginale. Par conséquent, les distributeurs doivent compenser la baisse des ventes en augmentant le prix de l'eau. C'est un cercle vicieux !

En outre, la libéralisation du marché de l'électricité a entraîné des refontes fondamentales dans bien des Services des eaux, qui font souvent partie de services plurisectoriels (Services industriels, Service des énergies, etc.) qui se détachent progressivement des administrations publiques pour mieux s'adapter au marché. C'est ainsi qu'en 2003, les services industriels du Locle et de La Chaux-de-Fonds ont fusionné et ont créé Sim SA (Services industriels des Montagnes neuchâteloises SA). Dans le même temps, à Neuchâtel, le Sen (Service de l'électricité), les Seg (Services des Eaux et du Gaz) et les Sg (Services généraux), les trois sections des Services industriels (Si), se transforment en une seule entité sous l'appellation Sin (Services industriels de Neuchâtel). En 2005 débute un projet de regroupement de ces différents services, entre les Montagnes et le Littoral. Le projet amène finalement Sim SA et Sin, auxquels s'associe la société Gansa (Gaz naturel SA), à créer à mi-2007 la société Viteos SA, société anonyme entièrement en mains des trois collectivités publiques. Viteos devient ainsi la troisième société fournisseur d'énergie sur le plan de la Suisse romande. Les laboratoires de contrôle de l'eau, de l'environnement et de l'hygiène des anciens Services des Eaux de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds, fusionnent également en une seule entité, le Laboratoire de Viteos, mais dont les deux antennes restent toujours positionnées dans les deux villes. La pérennité de ce laboratoire, obligatoirement accrédité, devrait être garantie du fait que tous les distributeurs d'eau sont tenus d'effectuer eux-mêmes le contrôle de qualité de l'eau qu'ils livrent, exigé depuis 1992 par la Loi fédérale sur les denrées alimentaires. C'est le concept de l'auto-contrôle, très strict dans le domaine de l'eau potable, et dont l'application est dorénavant placée sous la haute surveillance du Scav (Service de la consommation et des affaires vétérinaires). Mais du fait de cette restructuration, le Laboratoire de Viteos a été contraint de regrouper certaines analyses, et de s'organiser différemment sur le plan régional, du moment qu'il est mandaté pour effectuer les contrôles de l'eau d'un certain nombre d'autres communes. Il reste à savoir si ces distributeurs se hasarderont vers une privatisation plus prononcée ou étendront leurs fusions avec d'autres entités. Il s'agira néanmoins dans un avenir proche, de déterminer quelles seront les structures optimales pour garantir un approvisionnement durable et économiquement rentable. La création de réseaux intercommunaux en est un premier pas, de même que la récente fusion des SI des Villes, ou le principe de traiter l'eau dans son ensemble comme à Multiruz.

Pour le futur, notre canton n'échappera pas à une remise en question fondamentale du domaine de la gestion de l'eau. Dans cette optique, une réflexion permettant à terme de gérer la production d'une grande partie des eaux distribuées dans le canton de manière décentralisée, a été initiée. Un inventaire de l'ensemble de la production est en cours, entre le canton et la société Viteos, laquelle à terme pourrait être partie prenante du projet. Cette étude est justifiée par le fait que les besoins financiers nécessaires dans le futur, obligent à utiliser au mieux les infrastructures existantes, afin de limiter autant que possible les investissements. On peut en déduire qu'il est bien éloigné le temps où chaque commune veillait jalousement sur son eau et évitait frileusement son partage avec d'autres !