Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Band: 132 (2012)

Artikel: L'eau dans le canton de Neuchâtel du 19ème au 21ème siècle
Autor: Stettler, Roland
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-309721

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

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

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

Download PDF: 14.12.2025

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

L'EAU DANS LE CANTON DE NEUCHÂTEL DU 19ÈME AU 21ÈME SIÈCLE

ROLAND STETTLER

PIERRE-OLIVIER ARAGNO
(Infographie et schémas)

TABLE DES MATIERES

Introduction 75

1ère partie : Aperçu historique 79

1. L'épopée des eaux de boisson 79
2. Les grandes découvertes hydrogéologiques 85
3. Pollution et épuration des eaux 86
4. Conclusions 88
- *Les apports techniques et scientifiques de G. Ritter* *88*

2ème partie : Abrégé des connaissances hydrogéologiques régionales 94

1. Eléments d'hydrogéologie du karst neuchâtelois 94
   - Les précipitations 94
   - Rappels géographiques et géologiques 95
   - Modelé karstique 102
   - Impuretés physicochimiques naturelles 104
   - Morphologie karstique et comportement des aquifères 106
2. Les grands bassins hydrologiques neuchâtelois 109
   - Bassin du Val-de-Travers 111
   - Bassin régional du Val-de-Ruz 116
   - Bassin régional de La Chaux-de-Fonds et du Locle 118
   - Autres bassins 121

3ème partie : Exploitation de l'eau dans le canton de Neuchâtel au début du 3ème millénaire 125

1. Ressources, captages et consommation des eaux de boisson 125
2. Distribution de l'eau de boisson et principaux réseaux 133
3. Qualité et conditionnement des eaux de boisson 137
   - La pollution de l'eau 137
   - Les contrôles de qualité 138
   - Les normes 139
   - *L'évolution des analyses chimiques et bactériologiques* ... *143*

4. Le traitement des eaux 144
5. Les eaux usées et les stations d'épuration 149
Épuration de l'eau usée en phase aérobie 150
Traitement des boues en phase anaérobie 155
- A propos des microorganismes 159
6. L'énergie hydraulique 162
7. L'eau et les loisirs 167
8. Aspects économiques 171

4ème partie : Discussion et conclusions 175

Remerciements 183

Bibliographie 184

RÉSUMÉ

Le présent dossier est entièrement consacré à l'histoire de l'eau dans le canton de Neuchâtel. Il a pour but de montrer l'évolution des connaissances et des techniques appartenant à ce domaine en se référant aux archives que constituent les bulletins de la SNSN depuis sa fondation, de 1832 à 2012, il y a maintenant 180 ans. Et concours de circonstance, c'est il y a 125 ans en 1887, qu'on mettait en service les principaux réseaux de distribution d'eau potable des Villes de La Chaux-de-Fonds et de Neuchâtel, à partir des sources des Gorges de l'Areuse, réseaux exploités actuellement par la Société VITEOS. Pour faire suite à ces éléments historiques, il a paru utile à l'auteur de les compléter par une revue circonstanciée de la situation actuelle, celle du début du 21ème siècle. Pour ce faire, le dossier a été divisé en quatre parties.

La première partie est la seule à être entièrement dévolue aux évènements et à l'évolution historique. Elle parcourt les différentes étapes de l'exploitation de l'eau dans le canton depuis 1850 environ jusqu'à nos jours. Les exposés contenus dans les Bulletins et les Mémoires de la SNSN permettent de suivre aisément la progression de la recherche de l'eau potable, en parallèle avec l'évolution des connaissances en hydrogéologie karstique, notamment la découverte de l'origine des grandes résurgences. La problématique de la pollution des ressources et ses retombées sur la santé des populations, totalement démunies à cet égard avant le début du 20ème siècle, a également été évoquée. En corollaire, on se préoccupe du rejet des eaux usées et des déchets directement dans le milieu environnemental, et on découvre les effets catastrophiques de ces habitudes sur les eaux de surface. Enfin, l'auteur revient sur la personnalité de l'ingénieur Guillaume Ritter, pionnier de la distribution de l'eau à grande échelle dans le canton, dont il rendit compte dans plus de 60 publications qui ont enrichi le bulletin de 1857 à 1903.

La deuxième partie constitue un essai de synthèse vulgarisé des récentes connaissances sur l'hydrogéologie régionale. Après quelques éléments de pluviométrie et de géologie, on y décrit les mécanismes de l'infiltration des eaux souterraines dans les trois grands bassins régionaux : Val-de-Travers, Val-de-Ruz et vallée de La Chaux-de-Fonds et du Locle.

La troisième partie, plus importante, aborde les principales questions actuelles concernant l'exploitation de l'eau potable et des réseaux de distribution. Les données de consommation de base y sont évoquées. De même que l'examen des réseaux d'eau potable interconnectés pour la plupart. La qualité physico-chimique et biologique des eaux de consommation est ensuite passée en revue, avec la description des impuretés naturelles et des contaminations artificielles, notamment les dangers liés aux épandages agricoles et à la dispersion des matières fécales. Suit l'examen des normes de qualité, qui permettent en fonction de l'état de l'eau concernée, de définir les traitements adéquats.

On examine ensuite la problématique des eaux usées et des procédés d'épuration : actuellement en 2012, 95% de la population neuchâteloise voit ses eaux usées épurées au travers de 22 stations d'épuration.
Mais l'eau n'est pas seulement utilisée comme eau de boisson et pour les besoins industriels et agricoles. C'est aussi un puissant vecteur d'énergie. Avec 6 usines hydroélectriques au fil de l'eau sur la Haute et la Basse Areuse, ainsi que par la retenue d'eau du barrage du Châtelot sur le Doubs (74 m), le canton peut subvenir à 20% de ses besoins en électricité.
Pour terminer, l'auteur fait une incursion du côté des loisirs aquatiques. Le canton est bien pourvu en eaux de baignades avec ses 30 plages officielles sur les lacs de Neuchâtel et de Bienne, ainsi que les eaux de ses 23 piscines couvertes et de ses 12 piscines de plein air, toutes surveillées sur le plan de l'hygiène par le Service de la consommation.

En quatrième partie, dans la discussion et les conclusions, outre un aperçu schématique de l'évolution de la législation, le dossier évoque différents aspects liés à l'économie de l'eau de consommation. Selon l'avis de l'auteur, des économies drastiques ne sont pas nécessaires dans notre région, où moins de 10 % seulement des ressources disponibles sont utilisées. Par contre, la parcimonie se justifie assurément sur le plan de la consommation d'énergie, dans le but d'utiliser moins de courant électrique, et de diminuer les frais de pompage et de distribution qui sont toujours plus élevés. L'article propose une réflexion sur la libéralisation du marché de l'électricité et de ses conséquences sur les ventes de l'eau, dont certains réseaux pourraient être privatisés dans un avenir plus ou moins proche. La nécessité d'aborder toutes ces contraintes avec sagesse, devient nécessaire, pour qu'un des biens les plus précieux de l'homme et des êtres vivants ne devienne pas l'objet de considérations mercantiles incontrôlables. La conclusion s'achève par une énumération de quelques nouvelles perspectives d'utilisation de l'eau dans le futur.

INTRODUCTION

Pour Aristote l'eau représentait un des quatre éléments fondamentaux de la nature avec la terre, le feu et l'air. Pour les anciens alchimistes, l'eau fait partie également de cette « quadruple racine des choses » responsable de la création des mondes minéraux et biologiques. En fait, de ces quatre éléments des anciens, l'eau est celui qui a le plus privilégié l'imaginaire des peuples, étant à l'origine de nombreux mythes et légendes et dont le caractère est sacré dans toutes les religions.

Sur le plan de l'évolution, depuis son apparition sur terre il y a environ 3,5 milliards d'années, la vie s'est organisée et a évolué avec l'eau, entre l'hydrosphère terrestre et le microcosme que constitue chaque être vivant ; elle est à l'origine de toute la vie planétaire et permet sa perpétuation. En outre depuis son origine, c'est toujours la même quantité d'eau qui circule de l'atmosphère aux océans ou aux continents (phénomène du turn-over), et vice-versa, en passant par les êtres vivants, sources, fleuves, glaciers, etc : soit environ 1,4 milliards de m^3, pour l'ensemble de l'hydrosphère où en principe rien ne se crée ni ne se perd. Les périodes de rétention dépendent de la localisation de l'eau : quelques heures dans le corps humain, quelques jours pour la vapeur d'eau dans les nuages, deux à trois semaines dans les fleuves, jusqu'à une dizaine d'années dans les lacs ou les sources, plusieurs milliers d'années dans les océans, et de 500'000 à un million d'années dans les calottes polaires, sans compter l'eau de constitution des minéraux et des roches qui dépasse largement toutes ces périodes. L'eau a poursuivi dès le début ce circuit perpétuel à travers la planète, constituant de ce fait le moteur des grands cycles météorologiques et géochimiques. Rappelons que les océans contiennent 97,6% du volume d'eau terrestre, l'eau douce ne représentant que les 2,4% restants ; et encore 2% de cette eau douce sont, jusqu'à présent, emprisonnés dans les calottes glaciaires de l'Antarctique

et du Groenland. Il ne reste donc que 0,4 % de disponible pour l'humanité, dont l'essentiel est stocké dans le sous-sol (environ 0,39%). La fraction constituée par les lacs, les rivières et les fleuves ne représente plus que 0,02% - ce qui est apparemment négligeable - et la vapeur d'eau atmosphérique encore moins avec 0,001%. Mais ces 0,4% sont relatifs, car ils sont émis par l'évaporation de l'eau salée et par l'évapotranspiration continentale, et de ce fait constamment renouvelés à la surface de la Terre, dans des secteurs déterminés, par l'entremise du cycle de l'eau. Les fleuves et les cours d'eau se jettent dans les océans sans les faire déborder, car l'évaporation marine est supérieure aux débits des fleuves. Il existe donc un remarquable équilibre hydrique au niveau planétaire depuis des millions d'années, entre les fractions d'eau douce et d'eau salée. Cet équilibre est toutefois mis en péril actuellement par la croissance démesurée de l'espèce humaine, en particulier dans les régions où l'eau est habituellement déficitaire.

Du point de vue physico-chimique, l'eau est un solvant universel qui existe en fonction des conditions de température sous forme liquide (eau), solide (glace) ou gazeuse (vapeur). Sous ces trois formes, elle modèle les paysages, érodant et alluvionnant, elle en modifie ainsi perpétuellement la morphologie. Sur les continents, en régions tempérées et au contact des sols, elle donne naissance aux eaux de surface, telles que ruisseaux, rivières et lacs, mais dans les roches calcaires, à l'exemple du Jura, elle s'enfonce en profondeur, alimentant des réseaux d'eau souterraine. Cette dernière réapparaît à l'air libre au contact de couches imperméables, donnant naissance à des sources, des résurgences, etc, dans les niveaux de base topographiques. Elle forme des aquifères dans les roches perméables, et des nappes phréatiques dans les terrains meubles.

L'histoire de l'humanité est indissociable de la maîtrise de l'eau. Les premières implantations humaines en sont obligatoirement proches et l'agriculture s'est progressivement développée en bordure des fleuves. La navigation sur les océans a permis la conquête du monde, et l'énergie de l'eau la conquête industrielle, tout d'abord par les moulins et leurs multiples utilisations, puis, plus près du nous, par la production d'hydroélectricité. Le plus important demeure sans contredit l'aspect vital de l'eau pour les besoins physiologiques des êtres vivants, l'homme y compris. Soulignons en effet que chaque être humain a besoin de 1 m^3 d'eau par an (soit environ 3 l par jour) uniquement pour la boisson et pour assurer ses fonctions vitales. Dans les sociétés anciennes ou dans les régions sous-développées, 4 m^3 d'eau par an (environ 10 l/j/hab.) suffisaient ou suffisent encore à assurer les besoins. Par contre dans les pays industrialisés, chaque individu dispose au minimum d'environ 40 m^3 d'eau par an (100 l/j/hab) pour son utilisation personnelle. En Suisse, en 2010, cette quantité s'élevait en moyenne à 160 l/j/habitant, soit environ 50 à 60 m^3 par an. Si on y ajoute l'eau nécessaire à l'industrie, aux activités artisanales, aux services, ainsi que les pertes, on arrive à un total de 400 l/j/habitant, auxquels il convient d'ajouter quelque 1000 l/j/habitant, représentant 400 m^3 par année, destinés à la production des aliments qu'une personne consomme en un an dans notre pays ; sans oublier plus de 6000 l/ j/habitant d'eau virtuelle, nécessaire pour fabriquer tous les biens de consommation que nous utilisons !

Ainsi, malgré le fait que depuis 3,5 milliards d'années le nombre de molécules d'eau sur terre est resté quasiment constant, l'affirmation que le monde va bientôt manquer d'eau est de plus en plus répandue. En réalité il ne s'agit pas d'une modification du stock global, mais bien de l'augmentation exponentielle des êtres humains (1,5 milliards en 1900, 6 milliards en 2000, 7 milliards en 2012 et probablement 9 milliards en 2050) dont les besoins augmentent en proportion, ceci étant étroitement

lié à une inégale répartition spatiale et temporelle de l'eau sur la planète. Ce qui fait que la disponibilité en eau par habitant diminue en conséquence, surtout dans le tiers monde : au cours du 20ème siècle où la population humaine a quadruplé, l'humanité a multiplié par six sa consommation d'eau, tous besoins confondus (boisson, agriculture, industrie, hydroélectricité, etc). L'agriculture qui se développe constamment, en consomme déjà le 70 %, l'industrie 20 %, mais l'eau de boisson seulement 10 %. Les concurrences féroces qui en découlent laissent augurer d'un avenir pessimiste, surtout si l'on sait qu'environ un tiers des habitants de la planète vivent dans des régions de stress hydrique (GOUJON & PRIE, 2010).

Par ailleurs l'eau, élément vital pour la biosphère, peut à l'opposé se révéler dangereuse et meurtrière ; c'est bien la dualité de cet élément, tout à la foi régénérateur, source de la vie et destructeur. Dans de nombreuses régions du monde, les cataclysmes liés aux inondations, aux tempêtes, aux cyclones ou aux tsunamis, font partie des dangers naturels qu'il faut gérer. Plus insidieuse, mais tout aussi dangereuse, car répartie sur l'ensemble de la planète, la pollution de l'eau, surtout celle liée aux rejets des matières fécales humaines et animales, fait peser des risques épidémiologiques graves sur de nombreuses populations. Dans nos régions, des maladies telles que les gastro-entérites, la fièvre typhoïde, le choléra, le paludisme, transmises par de l'eau contaminée ou par des organismes aquatiques, étaient endémiques jusqu'au début du 20ème siècle. Elles sont encore un fléau dans les pays en voie de développement où les mesures d'hygiène élémentaires ne peuvent être respectées en particulier quand l'eau courante et désinfectée manque, et qu'il n'y a pas d'évacuation et de traitement des eaux usées. Actuellement, au début du 21ème siècle, les statistiques des Nations Unies démontrent que 50 % des réserves d'eau fraîche de la planète sont polluées. Mais dans les pays industrialisés, l'avènement et le perfectionnement constant des procédés de conditionnement de l'eau dans le courant du 20ème siècle, en particulier la désinfection, ont favorisé de remarquables progrès dans le domaine de l'hygiène; ils sont un élément majeur de l'amélioration du niveau de vie et de la longévité humaine, ainsi que de tout le développement technologique qui s'en est suivi, une fois cette problématique de base résolue.

Dès lors, en choisissant de parcourir l'histoire de l'eau au travers du développement de son exploitation et de sa gestion dans le cadre d'un petit territoire comme celui du canton de Neuchâtel, et en faisant le point des connaissances actuelles, on obtient un reflet fidèle des préoccupations et des progrès liés à ce domaine majeur tels qu'ils ont été rencontrés dans le reste de la Suisse. On peut même extrapoler la situation de notre microcosme neuchâtelois avec les problèmes mondiaux liés à l'eau, tant la similitude est étroite. De plus à Neuchâtel, grâce aux documents d'archives du bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences Naturelles (SNSN) fondée, rappelons-le, en 1832, on dispose de documents de grande valeur sur les événements, découvertes et recherches régionales concernant le secteur de l'eau. On le doit notamment grâce aux nombreux articles, publiés durant la seconde moitié du 19ème siècle et au début du 20ème, qui offrent à travers le bulletin une vision remarquablement détaillée des préoccupations de l'époque, à savoir les grands projets de recherche et des réalisations d'adduction d'eau, dont la plupart sont encore en exploitation à l'heure actuelle. Les aspects épidémiologiques n'ont pas été omis, en particulier l'épidémie de typhoïde de 1882 à Neuchâtel qui fut la cause de profonds remaniements dans l'exploitation de l'eau de ce secteur. Il faut mentionner aussi les découvertes hydrogéologiques concernant l'origine des principales rivières et sources neuchâteloises. Puis, dès 1910 environ, les articles sur l'eau se font rares, car les scientifiques concernés ont disparu. La gestion et l'exploitation de cet élément vital

sont dorénavant confiées à de nouvelles générations d'ingénieurs et de techniciens qui disposent de leurs propres publications spécialisées, ce qui fait que la SNSN s'est distancée de ce sujet. Ce n'est qu'à partir des années 1970 que quelques nouveaux articles scientifiques traitant de l'hydrogéologie, de l'épuration, et des domaines apparentés, reviennent dans les colonnes du bulletin. Ils sont renforcés depuis quelques années par des bilans évolutifs annuels rédigés par le Service Cantonal de l'énergie et de l'environnement.

Pour témoigner de tous ces aspects évolutifs, la présente contribution a été divisée en trois parties principales, plus une conclusion, étoffée par une discussion :

- La première concerne les éléments historiques de l'exploitation de l'eau référencés grâce aux articles de l'époque publiés dans le bulletin de la SNSN. Elle a pour but d'évoquer la richesse des contributions et des témoignages des fondateurs de la distribution de l'eau dans le canton, en particulier celle de l'ingénieur Guillaume Ritter, auquel on doit pour une grande part la prospérité des deux principales villes de ce pays.

- La deuxième et la troisième partie s'affranchissent des aspects historiques pour tenter un essai de synthèse de la problématique de l'eau actuelle dans la région neuchâteloise. Ces parties sont destinées en fait à comparer les acquis obtenus en ce début du 21ème siècle, par rapport aux connaissances et aux réalisations de la seconde moitié du 19ème siècle, exprimées dans les bulletins de la SNSN :

• Dans cette optique, la deuxième partie propose un bref survol vulgarisé des connaissances de la géologie et de l'hydrogéologie cantonales.

• La troisième partie traite des principaux aspects récents liés aux domaines de l'exploitation de l'eau, comme le traitement et la gestion des eaux de boisson, les normes de qualité et le contrôle de l'eau, les eaux usées et les stations d'épuration. Elle s'intéresse également à l'exploitation de l'eau en tant qu'énergie pour la production d'hydroélectricité, ainsi qu'à certains aspects dédiés aux loisirs, pour s'achever par quelques éléments économiques.

Cette liste n'étant pas exhaustive, les domaines liés à la flore et à la faune des eaux, à l'agriculture et à l'élevage, au lac de Neuchâtel, à la pêche, etc, ne seront pas abordés. Comme les différents sujets traités ici sont très vastes, le présent dossier n'en donnera que des aperçus abrégés. On se référera à la littérature citée dans la bibliographie pour en savoir plus.

1ÈRE PARTIE :

APERÇU HISTORIQUE, OU L'HISTOIRE NEUCHÂTELOISE DE L'EXPLOITATION DE L'EAU VUE AU TRAVERS DES BULLETINS DE LA SNSN

1. L'ÉPOPÉE DES EAUX DE BOISSON

L'utilisation et les besoins en eau de toutes les communautés humaines au cours du temps, région neuchâteloise y compris, peut se résumer comme suit :

- **Avoir de l'eau** *(sources et puits locaux, ruisseaux, citernes, etc).*
- **Disposer d'eau saine, sans danger pour le consommateur** *(invention de la désinfection).*
- **Garantir la sécurité d'approvisionnement en cas de manque d'eau** *(mise en commun des ressources disponibles).*

Les localités du Canton de Neuchâtel souscrivent en tous points à ces trois objectifs primordiaux. Ils sont particulièrement bien documentés dans les bulletins de la SNSN entre 1870 et 1900, grâce notamment aux écrits de l'ingénieur Guillaume Ritter (voir encadré p. 88).

Avoir de l'eau :

Sans eau, aucune vie n'est possible, si bien que toutes les localités de nos régions, petites ou grandes, ont été bâties le plus possible à proximité de points d'eau tels que sources, puits, etc, à l'intérieur ou à l'extérieur des zones habitées. De plus, la présence d'un ruisseau ou d'une rivière qui traverse la localité était idéale pour y déverser les déchets et les matières fécales. Dans les hautes vallées du Jura et sur les crêtes, zones sèches par excellence, le manque d'eau chronique a été compensé par la récolte de l'eau de pluie dans des citernes au moyen de toits à larges pans. Cependant, à partir d'un certain développement, les villes et les villages se sont vus contraints d'aller chercher de l'eau supplémentaire à plus grandes distances, les captages locaux s'avérant insuffisants. C'est ainsi qu'on construisit des aqueducs ou des conduites enterrées à écoulements gravitaires, à l'exemple des sources de Vauseyon-Les Péreuses captées au 15ème siècle pour l'alimentation du château de Neuchâtel; et à la fin du 19ème siècle, en 1886-87, des deux aqueducs majeurs du canton destinés à l'alimentation des villes de Neuchâtel (13 km) et de La Chaux-de-Fonds (20 km) à partir des sources des Gorges de l'Areuse. Ces ouvrages, constamment améliorés, sont toujours en service à l'heure actuelle, 125 ans après leur inauguration. Leur initiateur, G. Ritter, a même proposé en 1888, sans concrétisation toutefois, d'alimenter Paris avec l'eau du lac de Neuchâtel au vu du succès rencontré avec les adductions neuchâteloises!

Plus tard, au milieu du 20ème siècle, suite au développement continu des populations et de leurs activités toujours plus exigeantes en eau, on s'est résolu à compenser l'eau déficitaire en la prélevant directement dans les rivières ou les lacs grâce à des techniques de pompages et de traitements plus performants : c'est ce que fit Neuchâtel dès 1947 en puisant l'eau du lac à Champ-Bougin, comme appoint aux sources des gorges de l'Areuse.

Disposer d'eau saine :

Outre la disponibilité de l'eau, le second aspect, particulièrement essentiel, est sa qualité, surtout en zone karstique où la filtration naturelle est quasi inexistante. Il

faut rappeler que jusqu'au début du 20ème siècle, toute l'Europe, la Suisse et le canton de Neuchâtel compris, ont été confrontés à de graves problèmes épidémiologiques en relation avec l'hygiène déplorable de l'eau. Les maladies d'origine hydrique telles que le choléra, la fièvre typhoïde, les hépatites et les gastro-entérites étaient endémiques jusque dans les années 1900. Avant 1880, les statistiques de l'époque (GUILLAUME & FAVRE, 1883) indiquent qu'environ 40 à 50 personnes en moyenne dans le canton (qui comprenait environ 100'000 personnes recensées en 1880) décédaient chaque année de la fièvre typhoïde et de maladies apparentées provoquées par de l'eau contaminée. En ces temps pas si lointains, les notions concernant l'hygiène de l'eau étaient quasi inexistantes : en témoigne un article de BOREL & LADAME (1860-61) dans le bulletin de la SNSN, expliquant que pour protéger du gel certaines fontaines de Neuchâtel en période hivernale, on les tapissait de fumier ! Dès lors, les épidémies d'origine hydrique étaient nombreuses, mais localisées aux endroits de contamination, comme celles du Val-de-Ruz en 1849 (BOREL, 1849), du Locle en 1865 (LADAME, 1869) et surtout celle de Neuchâtel en 1882, année durant laquelle une grave épidémie de typhoïde atteignit environ 800 personnes de la Ville, à cause de son alimentation complémentaire par les eaux du Seyon, réalisée dès 1866. En effet, le manque d'eau chronique des sources et des puits locaux de Neuchâtel antérieurement à cette date avait été comblé grâce au projet de 1864 et aux travaux de Guillaume Ritter, nommé alors directeur de la Société des Eaux, une organisation privée chargée de pallier au manque d'eau chronique de la Ville. Ritter était allé capter l'eau du Seyon en aval de Valangin pour la conduire au moyen d'un aqueduc de 2,9 km jusqu'à un réservoir central, situé à Maujobia dans les hauts de la Ville. Auparavant, il avait prévu dans un premier temps d'amener l'eau du Seyon dans une dépression naturelle marneuse un peu en-dessus de Maujobia, prévoyant que ce lac d'accumulation servirait aussi bien à fournir de l'eau d'alimentation qu'à produire un potentiel de force motrice destiné aux industries locales. Mais ce projet audacieux n'avait pas été retenu à cause des risques de pollution du réservoir d'accumulation. Finalement l'adduction directe par l'aqueduc du Seyon avait permis de produire un débit de presque 4000 l/min, contre 1000 l/min pour les anciennes sources locales, ce qui a rapidement favorisé un développement intensif des quartiers du haut de Neuchâtel (Les Parcs, La Côte, etc), lesquels ont remplacé progressivement les vignobles et les pâturages locaux. Mais le système de filtration primitif prévu par Ritter en amont du réservoir de Maujobia, en toute bonne foi et en fonction des connaissances très incomplètes de l'époque, était totalement insuffisant pour faire face aux microorganismes pathogènes charriés par la rivière. Les experts, G. Ritter en tête, avaient pourtant certifié que grâce à la filtration installée en tête du réservoir de Maujobia, l'eau serait potable et limpide en toute saison. Ce fut bien loin d'être le cas, puisque le plus souvent, l'eau livrée par le Seyon était sale, jaunâtre et nauséabonde !

L'épidémie de 1882 a fait l'objet d'une remarquable et passionnante étude de la Commission de Santé de l'époque présidée par le Dr Louis Guillaume (GUILLAUME et FAVRE, 1883) dont un extrait figure dans le T. 13 (1883) du bulletin de la SNSN. Elle permet de se rendre compte des importantes lacunes qui existaient alors sur le plan des connaissances épidémiologiques. En effet, les analyses principales de la contamination de l'eau n'étaient basées que sur les quelques éléments chimiques qu'on savait analyser à l'époque, à savoir les composés azotés (ammonium, nitrites et nitrates) et l'oxydabilité au $KMnO_4$, complétés par un examen microscopique plutôt aléatoire au vu de l'absence de technique de concentration de l'eau. Tout en démontrant le caractère suspect de l'eau du Seyon, du fait des concentrations élevées des com-

posés azotés détectées, ces analyses étaient dès lors trop incomplètes pour permettre une conclusion irréfutable. Si bien qu'une bonne moitié des vingt membres de la Commission de Santé ont prétendu au départ que l'origine de l'épidémie était tellurique ou provoquée par les « miasmes » de l'air ! C'est finalement une visite sur place à Valangin qui leur avait permis de découvrir de visu les aspects déplorables du site, à savoir des rejets considérables de purin et de fumier directement dans le Seyon et la Sorge, auxquels s'ajoutaient les déjections des malades atteints de typhoïde de l'Hôpital de Landeyeux. Tout cela était récupéré par la prise d'eau potable située à une centaine de mètres en aval de Valangin. Dès lors, la Commission dans son ensemble avait été convaincue du fait que l'eau du Seyon était responsable de l'épidémie. Ultérieurement, des investigations approfondies et documentées, quant aux causes de la fièvre typhoïde en général et à Neuchâtel en particulier, ont été réalisées par le Dr Nicolas (NICOLAS, 1883).

Un peu avant cet évènement catastrophique, et en opposition à deux propositions (en 1874 et 1875) de moindre envergure, par la Société des eaux, Ritter lança en 1878 un nouveau projet plus ambitieux concernant des ressources éloignées (SCHAER, 2009) susceptible d'apporter de l'eau en suffisance aux deux villes principales du canton à savoir Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds. Devisé à 3,5 millions de francs, ce projet devait permettre de capter par galerie les eaux des sédiments quaternaires du fond du Val-de-Travers, qu'il supposait à juste titre être abondantes. De là, grâce à un débit estimé de 10'000 l/min, les eaux seraient conduites par un aqueduc jusqu'à une usine électrique située 30 m en contrebas, où une partie du débit serait refoulée 300 m plus haut pour assurer les besoins de La Chaux-de-Fonds à 1000 m d'altitude. Le solde du débit aurait été conduit par gravité vers les réservoirs de Neuchâtel. Les incertitudes quant aux possibilités de pouvoir capter les eaux situées dans les sédiments du fond du Val-de-Travers et les doutes formulés sur leur qualité, conduisirent finalement Ritter à se rabattre sur les nombreuses sources présentes en aval dans la vallée de Champ-du-Moulin et des Gorges de l'Areuse (voir encadré dès page 88).
Mais c'est seulement après la grave épidémie de 1882 que Ritter propose un projet plus affiné (RITTER, 1883) : il suggère d'aller capter l'eau des sources de la rive droite, nettement plus pures que l'eau du Seyon, pour alimenter par gravité Neuchâtel et les Communes situées sur le tracé du futur aqueduc. Il propose en parallèle d'alimenter la Ville de La Chaux-de-Fonds qui manque désespérément d'eau au vu de son altitude, par les sources de la rive gauche, et de les relever sur 500 m au moyen de pompes aspirantes et refoulantes à implanter dans le site des Moyats, jusqu'à un aqueduc à construire dans la vallée de la Sagne. Rappelons pour bien situer ce domaine technique, que la première fourniture d'électricité a lieu en 1882 en Grande-Bretagne, et que les premières pompes aspirantes et refoulantes envisagées par Ritter pour La Chaux-de-Fonds en 1886, ont été inventées en 1884 ! Ritter et ses projets sont donc à la pointe du progrès de l'époque. En définitive, les deux dossiers sont acceptés par les autorités communales respectives et les travaux réalisés en un temps record (1886-87) par des centaines d'ouvriers; mais c'est l'ingénieur HARTMANN (1903) qui est chargé de réaliser l'ouvrage de Neuchâtel, à cause de la méfiance des autorités du Bas à l'égard de Ritter, des controverses concernant ses différents projets et de sa malencontreuse alimentation par l'eau du Seyon.

Cette épopée est particulièrement intéressante car elle permet de se rendre compte de l'évolution des connaissances d'alors et de leur diffusion. En effet, la période qui s'étend en gros de 1857 à 1915 est considérée comme l'âge d'or des grandes découvertes techniques et scientifiques : c'est la révolution industrielle. Les principaux travaux d'adduction d'eau du canton en ont finalement bénéficié. Durant cette période, l'hygiène fait de grands pas grâce aux perfectionnements de l'hydraulique qui permet la création de réseaux de distribution d'eau potable jusque dans les immeubles et les appartements. De même la construction de réseaux d'égouts qui évacuent les eaux usées, au lieu de les laisser s'accumuler dans des ruelles immondes, renforce le développement de l'hygiène. Mais ce sont surtout les découvertes majeures du monde microbiologique par Pasteur et Koch qui

ont permis d'aboutir à la mise au point des techniques de désinfection, lesquelles ont révolutionné l'épidémiologie de l'eau. En effet, dès 1894, la javellisation, puis surtout la chloration utilisée en France dès 1910, font disparaître complètement les maladies d'origine hydrique de nos régions, ce qui était impensable quelque 20 ans auparavant pour Ritter et ses collègues scientifiques.

A cette même époque, des techniques plus précises mais néanmoins encore simplistes de détermination bactériologique, voient le jour à partir de réactions biochimiques et des premiers traceurs fécaux, appelés alors colibacilles. C'est ainsi qu'une première série d'analyses bactériologiques des eaux de la Ville de Neuchâtel est réalisée par le Dr Bauer en 1900 (Bauer, 1900) en parallèle à des analyses chimiques (Conne, 1900) afin de vérifier notamment si on pouvait y déceler des bactéries de la typhoïde (pour mémoire, *Salmonella Typhi* avait été identifiée en 1882, année de l'épidémie à Neuchâtel, par le savant allemand Eberth).

On note un progrès comparable dans le domaine des analyses physico-chimiques des impuretés de l'eau. Signalons qu'entre 1840 et 1850, on trouve l'évocation dans le bulletin de la mise en évidence d'arsenic dans des eaux ferrugineuses par Matthieu (1847). Par la suite, les techniques analytiques de l'eau s'étoffent et deviennent plus complexes. On sait en effet mesurer dès les années 1880 les teneurs en résidus secs, en substances azotées (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+), en chlorures, en sulfates, l'oxydabilité, etc. (Guillaume, 1882). Il est spécialement intéressant de comparer les valeurs des nitrates et des chlorures obtenues à cette époque avec les concentrations qu'on observe actuellement : moins de 1 mg/L pour les nitrates contre environ 5 à 10 mg/L dans les années 2000, et 2 mg/L pour les chlorures contre 8 à 10 actuellement, les autres paramètres n'ayant pratiquement pas changé. S'agit-il d'un problème analytique ou d'une évolution de la pollution par les engrais ou le salage des routes en vigueur dès les années 1950 ? Il serait intéressant d'étudier en détail ces comparaisons. Par contre en ce qui concerne la bactériologie, à savoir les colibacilles et les germes aérobies analysés à l'époque, on sait qu'on en détectait de bien trop faibles quantités du fait que les techniques d'ultrafiltration des liquides ne sont utilisées qu'à partir de la seconde moitié du 20ème siècle. Les chiffres signalés ne correspondent donc pas à la réalité du terrain.

Parallèlement aux progrès analytiques, on notera des études pionnières sur la précipitation de la calcite dans les eaux souterraines et les conduites (Chavannes, 1896). Au Laboratoire cantonal, Conne (1904) démontre au moyen de séquences choisies, que l'eau du lac de Neuchâtel prélevée en profondeur pourrait être utilisée pour l'alimentation en eau potable. Auparavant Ritter (1904), dans son projet d'amener les eaux du lac de Neuchâtel à Paris suppose déjà qu'à une profondeur de 80 à 100 mètres, «le lac de Neuchâtel fournirait de l'eau potable la plus pure qui se puisse voir». Les experts français critiquent ces assertions (Schaer, 2009), car ils craignent les mélanges entre les eaux de surface plutôt polluées déjà à l'époque, et les eaux profondes. Le géologue Schardt met tout le monde d'accord, grâce à son remarquable « Rapport sur l'utilisation en Suisse des eaux de sources issues de terrains calcaires » (Schardt, 1904). Il y révèle que les eaux issues des terrains calcaires sont la plupart du temps suspectes, voire dangereuses, s'appuyant en cela sur les expériences du spéléologue Martel dont les explorations souterraines ont révélé la facilité extrême de la pénétration des eaux de surface dans les fissures et chenaux souterrains. Les approvisionnements destinés à l'alimentation devraient dès lors être surveillés en continu selon lui, ceci d'autant plus qu'il n'existait pas à l'époque de protection autour des captages. Il commente également les approvisionnements en eau pratiqués dans les lacs suisses (Zurich et Genève à l'époque) en signalant que « l'eau prélevée dans ces lacs devient de plus en

plus infectée, tant par les égouts et immondices que par les rejets d'eau industrielle, si bien que malgré les filtrations installées, elle conserve des goûts désagréables ». Il est le premier à entrevoir les effets désastreux de la pollution qui s'amplifie, aussi bien dans les sources karstiques que dans les eaux de surface, tempérant en cela sérieusement l'enthousiasme de Ritter.

Après ces grands débats et suite au décès de G. Ritter en 1912, les articles consacrés à l'eau dans le bulletin de la Société des Sciences naturelles se raréfient, pour disparaître presque complètement, à part quelques rares dossiers traités par le chimiste cantonal Achermann qui dresse entre autre le bilan général des eaux potables dans le canton de Neuchâtel (CHABLE & ACHERMANN, 1939). En fait, au 20ème siècle, la technologie liée à l'eau devient l'affaire de spécialistes au sein des services communaux qui ne pratiquent plus d'échanges avec la SNSN, et qui disposent de leurs propres publications, à l'exemple de la revue « Revue Aqua & Gaz, anc. Gaz, Eaux et Eaux usées » de la Société suisse de l'industrie du Gaz et des Eaux, qui regroupe les expériences de la plupart des communes du pays.

Quelques dossiers ciblés dans les domaines de la microbiologie et de l'hydrogéologie font néanmoins leur réapparition dès les années 1980, comme celui de BLANT *et al.* (1982) sur la microbiologie des bactéries fécales dans le Doubs, ou celui de BOECHAT *et al.* (1982), concernant le comportement des bactéries fécales dans les boues activées d'une STEP, ou encore celui d'ARAGNO (1992) sur les aspects microbiologiques de la source sulfureuse des Ponts-de-Martel ; pour clore par le travail de BOUYER (2000) sur le dynamisme du fer dans la région des marais des Ponts-de-Martel. Citons aussi les travaux de l'algologue François Straub, qui à partir de 1984 élabore régulièrement des dossiers sur les diatomées et les algues apparentées vivant dans les cours d'eau et les lacs de la région ; il a écrit entre autre un article concernant une prolifération inhabituelle de diatomées dans le lac de Neuchâtel (STRAUB, 2002). Enfin il faut signaler l'heureuse initiative du Service cantonal de la Protection de l'Environnement qui, depuis 2002, publie chaque année dans le bulletin un suivi de l'environnement dans le cadre de l'ensemble du territoire neuchâtelois. Cette synthèse annuelle qui traite entre autre de la pollution de l'air et des sols, s'intéresse plus spécifiquement à la qualité de l'eau des rivières et lacs neuchâtelois, dont elle suit l'évolution année après année.

Parallèlement aux perfectionnements analytiques, l'évolution technologique dans le domaine de la distribution et du traitement de l'eau se poursuit durant tout le siècle dernier, aussi bien dans les procédés de traitements que dans les moyens de désinfection. Comme signalé plus haut, c'est surtout la désinfection par l'eau de javel, puis par le chlore et ses dérivés et plus tard avec de l'ozone, toutes techniques mises au point en France à l'origine, qui ont permis le développement de conditions d'hygiène de vie sans commune mesure avec le passé. Les maladies d'origine hydrique s'estompent progressivement de nos régions. Toutefois, dans le canton de Neuchâtel, le concept de la désinfection au chlore peine à s'introduire ; la méfiance est de rigueur, l'exploitation d'eau à partir de secteurs où elle est pure ou peu contaminée ayant déjà considérablement amélioré les choses. Ce n'est ainsi qu'à partir de 1935 que les eaux des sources de Neuchâtel subissent leur première désinfection au chlore, à la suite de quelques épisodes de pollution inquiétants en hautes eaux… mais encore cette action a-t-elle été tenue secrète pendant quelques années ! Ceci d'autant plus que les dosages manuels de chlore occasionnaient souvent soit des excès, soit des manques de chlore résiduel dans les réseaux. Il a fallu attendre les années1980-1990 pour que ces opérations de désinfection soient sécurisées et automatisées. Par contre, c'est à partir des années 1950 qu'on met progressivement en vigueur des normes de qualité de l'eau potable, conjointement aux autres perfectionnements. Le domaine des investigations bactériologiques subit sa révolution à partir des années 1960, grâce aux nouveaux

procédés d'ultrafiltration sur membranes et à l'apparition d'indicateurs très spécifiques. Les analyses de l'eau deviennent de plus en plus pointues et font l'objet de contrôles périodiques. De ce fait par exemple, la Ville de Neuchâtel se voit dans l'obligation de créer en 1967 un laboratoire communal de contrôle de l'eau, en liaison avec l'extension de l'usine de pompage et de filtration de l'eau du lac à Champ-Bougin. La Chaux-de-Fonds crée de son côté son laboratoire intercommunal (eau, hygiène et environnement) dans les années 1980. Parallèlement, toute la gestion de la distribution et du traitement de l'eau, qui était entièrement manuelle jusque-là et nécessitait un nombreux personnel d'intervention sur le terrain, s'automatise, avec une télégestion à distance qui s'impose dès les années 1970. Mais la révolution la plus spectaculaire est liée à l'avènement de l'informatique à partir de 1990, qui permet de supprimer totalement les centrales de permanence, lesquelles nécessitaient jusqu'alors la présence de personnel 24 h sur 24.

Garantir la sécurité d'approvisionnement :

Approvisionnement et garantie de débit constituent la troisième préoccupation d'une distribution d'eau moderne. Pendant des décennies, surtout dans la première moitié du 20ème siècle, où l'on assiste à un intense développement des populations et de l'industrie, on est confronté à de graves problèmes de manque d'eau en période d'étiage. Pour pallier ces déficits chroniques, on en vient progressivement à capter des eaux de rivières et de lacs. C'est ainsi que l'eau du lac est puisée depuis 1947 à Neuchâtel. Nous avons vu plus haut qu'une première proposition dans ce sens apparaissait déjà en 1904 dans le Bulletin de la SNSN (Conne, 1904); l'intarissable Ritter avait déjà évoqué cette possibilité quelque 20 ans auparavant (Ritter, 1878). L'eau de l'Areuse a été exploitée dès 1952 et jusqu'en 1995 par la Ville de La Chaux-de-Fonds pour réalimenter la nappe phréatique de Champ-du-Moulin en été, de manière à couvrir son déficit estival. Mais surtout les réseaux de nombreuses communes autrefois strictement indépendantes, en sont venus à s'interconnecter pour garantir une unité de débits entre les partenaires, en fonction des variations des réserves hydrologiques des uns et des autres. Il s'agit là des premiers éléments de collaborations intercommunales, bien avant les projets actuels de fusion des entités politiques. Une des premières interconnections majeures a été réalisée en 1887 à l'occasion des travaux d'adduction des sources des gorges de l'Areuse. C'est celle des communes situées sur le parcours de l'aqueduc de Neuchâtel en amont de cette ville, à savoir Rochefort, Bôle, Colombier, Auvernier, Corcelles-Cormondrèche et Peseux. Boudry s'y est aussi raccordée par la suite. Quelques-unes de ces localités, comme Corcelles-Cormondrèche, Peseux et Auvernier, qui ne disposaient auparavant que d'une succession de puits locaux à faibles ressources et de quelques rares sources, s'y sont alimentés en totalité. Les autres ont utilisé l'eau de l'aqueduc de Neuchâtel comme appoint. A la même époque, la plupart des villages de la vallée de la Sagne et des Ponts-de-Martel se sont raccordés de leur côté à l'aqueduc distribuant l'eau depuis les Moyats jusqu'à La Chaux-de-Fonds. Une des plus récentes réalisations est celle du Sivamo qui depuis 1995, grâce au tunnel routier de la Vue-des-Alpes, alimente en eau supplémentaire à partir de Neuchâtel, les villes des Montagnes neuchâteloises ainsi que le Val-de-Ruz au passage, par l'entremise d'un réseau de distribution de 32 km. En clair, suite à ces mises en commun, les communes dont les ressources sont suffisantes en font bénéficier les autres en période d'étiage, sous forme d'eau d'appoint ou de secours. Ces interconnexions permettent également de simplifier la gestion de l'eau des différents partenaires au moyen de systèmes de télégestion, d'exploitation et d'administration centralisés, voire à l'avenir par la mise en commun d'infrastructures de base et de réservoirs.

2. LES GRANDES DÉCOUVERTES HYDROGÉOLOGIQUES

Outre les concepts liés à l'eau de boisson, un autre domaine d'intérêt régional apparaît relativement tôt dans le Bulletin de la SNSN, à savoir l'hydrogéologie : les grandes résurgences jurassiennes comme celle de l'Areuse à St Sulpice, celle de la Noiraigue et de la Serrière pour ne citer que les plus importantes, excitent la curiosité populaire (beaucoup pensent que ces eaux proviennent des Alpes), et celle des scientifiques. Un des premiers articles du Bulletin concernant cette problématique est dû à JACCARD (1874) sur l'hydrographie souterraine du Jura. En outre, de 1896 à 1927, S. DE PERROT publie avec une constance remarquable « les données hydrologiques du Canton de Neuchâtel »[1]. Guillaume Ritter de son côté (RITTER, 1900), se lance dans des hypothèses et des réflexions concernant l'ensemble de l'hydrogéologie neuchâteloise. Mais c'est Schardt en 1904 (SCHARDT, 1904) qui effectue le premier traçage scientifique du tracé souterrain de l'Areuse, avant le grand bond des connaissances concernant les aquifères neuchâtelois par André Burger qui, en 1959, publie sa thèse sur l'hydrogéologie du Bassin de l'Areuse (BURGER, 1959). Géologue et biologiste, Burger a acquis son expérience dans les domaines de la gestion et des ressources en eau en tant qu' hydrogéologue cantonal de l'Etat de Neuchâtel (SCHAER, 2009). Il sait que l'eau du karst neuchâtelois est naturellement emmagasinée en altitude dans les grands aquifères perchés, notamment ceux du Malm, limités par l'Argovien imperméable sous-jacent. Mais l'exploitation de ces aquifères n'est possible que dans les zones basses, là où sont situées les principales résurgences, en particulier dans le Val-de-Travers et en bordure du lac de Neuchâtel. Pour rendre cette eau disponible aux communautés, après son captage, il faut donc la refouler en altitude, ce qui occasionne des frais importants. Burger démontre en outre que l'exploitation des ressources hydrauliques est fortement pénalisée par leurs régimes à fortes variations de débits. Dans ces deux cas, il se demande si une meilleure connaissance du comportement des eaux des réservoirs du Jurassique supérieur permettrait de résoudre ou tout au moins d'améliorer cette question. C'est dans cette optique et sur son instigation que fut créé *le Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel* (CHYN) en 1965, dont il fut le premier directeur. Cette interrogation formera la base de son enseignement et de sa recherche, aidé en celle-ci par ses étudiants et ses collaborateurs. Le rayonnement actuel de cette institution est dû aux successeurs de Burger, en particulier aux professeurs F. Zwahlen, D. Hunkeler et à leur équipe, dont la réputation dépasse largement les frontières du canton, ceci d'autant plus que depuis les années 2000, le CHYN a inauguré une spécialisation en géothermie (il est dénommé actuellement de ce fait «Centre d'Hydrologie et de Géothermie»).

Le professeur Burger forma de remarquables spécialistes qui ont beaucoup approfondi les connaissances sur les eaux souterraines de toute la région : citons en particulier TRIPET (1972) qui étudia, dans le cadre de sa thèse, l'hydrogéologie du bassin de l'Areuse et KIRALY (1973) qui publia la magistrale carte des ressources en eaux souterraines du canton, sans équivalent à ce jour. KIRALY y effectue une approche originale des écoulements karstiques au moyen de la modélisation (SCHAER, 2009) et présente de façon synthétique et novatrice les caractéristiques des principaux aquifères régionaux. Sa carte précise les limites des principaux bassins karstiques, celles des nappes captives du Malm ainsi que la position des forages existants, des sources souterraines captées ou non, avec des indications de débits moyens, etc. De plus, dans la notice de la carte, l'auteur présente une analyse des problèmes de perméabilité des calcaires en milieu karstique, dont les données sont variables en fonction de l'effet d'échelle.

1) Le même S. de Perrot exprime dans quelques notes du Bulletin sa profonde aversion contre les travaux de correction des Trois Lacs qui avaient débuté en 1868, et qui lui font craindre les pires maux, comme l'assèchement des vignes du littoral ! Fort heureusement pour le canton, ses prédictions ne se sont jamais réalisées !

Alors que cette perméabilité[1)] se situe aux environ de 5.10^{-5} et 10^{-7} m/s dans les sondages, elle peut atteindre des valeurs de l'ordre de 10^{-3} m/s dans les bassins synclinaux du Malm, ce qui explique les grands débits des sources alimentées par des aquifères à faible gradient. Ceci démontre la présence d'un réseau karstique très perméable inscrit dans un grand volume de milieu peu perméable.

Après la création du *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie*, I. Muller reste le seul chercheur de ce domaine à publier encore quelques notes dans le Bulletin de la SNSN, notamment en ce qui concerne les méthodes géophysiques appliquées aux terrains contenant des aquifères.

Néanmoins, les investigations et les découvertes se poursuivent grâce aux chercheurs du Laboratoire d'Hydrogéologie sous l'égide de A. Burger. C'est notamment le cas de B. Mathey (1976) qui dévoile l'histoire des eaux souterraines du Val-de-Ruz. Parallèlement, le chimiste J.-J. Miserez (1973) fait une remarquable incursion, dans le domaine de la géochimie du karst jurassien. La publication de Jeannin & Wacker (1984) éclaire les mécanismes des écoulements souterrains de la Montagne de Boudry. Ils sont relayés par A. Burger (1987), R. Stettler et B. Matthey dans le cadre de l'étude des zones de protection des sources des Gorges de l'Areuse (Stettler, 1990). Un ouvrage de Burger & Schaer (1996) aborde l'hydrogéologie de la Vallée du Locle, et la publication de Montandon (1995) celle de la Vallée de la Ronde près de La Chaux-de-Fonds. Si la plupart de ces travaux récents ne figurent pas dans le Bulletin de la SNSN, il n'en demeure pas moins que les études préliminaires y sont en bonne place et qu'elles ont fourni une contribution de choix dans la connaissance de l'hydrographie souterraine de l'ensemble du canton de Neuchâtel.

3. POLLUTION ET ÉPURATION DES EAUX

A part l'hydrogéologie, un autre thème majeur traité à différentes reprises dans le Bulletin est celui de la pollution et de l'épuration de l'eau. Fait remarquable, la très longue épopée de cette publication lui a permis, depuis 1832, de traverser trois périodes successives caractérisées par les différentes phases de l'évolution de la pollution de l'eau et des conceptions y relatives.

La première période qui débute en 1832 s'étend jusqu'aux environs de 1900. C'est celle où l'on déverse n'importe quoi n'importe où, aussi bien les matières fécales que les eaux usées et les déchets, si possible dans un ruisseau ou une rivière pour une évacuation rapide, en imaginant que la nature est suffisamment bien organisée pour digérer tout cela. C'est un comportement typique durant la période qui précède l'industrialisation et l'amélioration des conditions de vie et d'hygiène. Les déversements sans contrôle des déchets et des eaux usées favorisent la persistance de maladies et d'épidémies d'origine hydrique. La mortalité humaine en relation avec ces habitudes est encore importante.

La deuxième période s'étale grosso modo de 1900 à 1960. Les progrès dans tous les domaines de l'hydrologie, notamment dans le domaine du traitement de l'eau, y sont considérables. Une amélioration essentielle s'impose parallèlement à la désinfection de l'eau de boisson, à savoir la création de réseaux d'égouts bien séparés des zones d'alimentation en eau potable et de leurs systèmes de distribution. Dès lors les phénomènes de diarrhées collectives ne sont plus qu'épisodiques et n'apparaissent plus par la suite qu'en cas d'accidents (à l'exemple de la contamination de la nappe phréatique de la Neuveville (Be) par de l'eau d'égout

1) Perméabilité : l'eau de surface s'infiltre dans les sols et s'enfonce vers l'intérieur du globe sous l'effet de la gravité. Cette infiltration résulte de la porosité plus ou moins grande des roches : les sables et graviers sont des sédiments très poreux, au contraire des roches calcaires dont le passage de l'eau se fait au travers de fissures plus ou moins étroites. La perméabilité est dès lors la propriété d'une roche à se laisser traverser par l'eau. Elle est représentée par un coefficient, le coefficient K (loi de Darcy), lequel correspond au débit Q (en m^3/s) traversant une unité de section A (en m^2) sous l'effet d'un gradient hydraulique unitaire *i*. La formule $K=Q/A \cdot i$ définit de ce fait une vitesse de filtration qui s'exprime en mètres par seconde (m/s). Cette vitesse évolue de 10^{-1} ou 10^{-2} m/s dans les terrains les plus perméables, tels les sables, à 10^{-7} dans ceux qui sont peu perméables comme les calcaires et les karsts, voire jusqu'à 10^{-8} à 10^{-9} dans les couches pratiquement imperméables comme les argiles (Gilli *et al,* 2004).

en 1998, qui a été la cause de sévères gastro-entérites chez plus de 1200 personnes). Cependant le tout-à-l'égout généralisé présente un inconvénient majeur qui est celui du rejet direct des eaux usées concentrées dans les eaux de surface, rivières ou lacs. Ritter, toujours lui, dénonce à la fin du 19ème siècle déjà le système des fosses septiques de La Chaux-de-Fonds dont les débordements et vidanges sont difficiles à gérer (Ritter, 1887; Pokorni-Aebi, 2010). Cette ville, avec son extension à l'américaine, n'avait pas de tout-à-l'égout à l'origine, d'où l'adjonction de fosses septiques à chaque nouvel immeuble, dont le contenu est vidé périodiquement et répandu sur les champs aux alentours. Ces fosses ont progressivement été mises hors service avec la construction des réseaux d'égouts, ce qui s'est achevé avec l'édification de la station d'épuration.

Après la guerre et jusque dans les années 1960, on constate une augmentation catastrophique de la pollution des eaux de surface, due à ces rejets incontrôlés d'eau usée : les rivières comme le Seyon, le Doubs et l'Areuse sont des cloaques, le lac de Neuchâtel devient fortement eutrophe.

La troisième période s'étend de 1960 à nos jours. Elle débute par l'approche globale du traitement des eaux usées grâce à la création des stations d'épuration (STEP) et par l'élaboration du concept de la protection des eaux souterraines et des eaux de surface. Dans les années 1950-60, la situation est si catastrophique dans toute la Suisse que la Confédération est obligée de remédier au phénomène et de légiférer (Loi fédérale de la Protection des eaux du 1ier janvier 1955). Les remèdes démarrent dans les années 1960 par la création des premières stations d'épuration expérimentales dans le canton de Zurich sous le contrôle de l'EAWAG (Institut fédéral d'étude des eaux et des eaux usées). A Neuchâtel, les chimistes cantonaux organisent des exposés concernant cette problématique (Acherman & Sollberger, 1961). La future STEP de Neuchâtel est aussi présentée à la SNSN par F. Martin en 1961. H. Sollberger (1969) reprend le thème de la pollution des eaux quelques années plus tard, avant que l'Ingénieur communal L. Mollia (1971) ne présente la toute nouvelle STEP de Neuchâtel aux membres de la SNSN.

B. Kubler, professeur à l'Institut de Géologie, publie en 1972 (Kubler, 1972), ses travaux sur la contamination progressive des eaux de surface par les sels de routes et les sels industriels (NaCl et $CaCl_2$) qui ne sont pas retenus par les stations d'épuration. Son intervention jouera un rôle important dans la diminution progressive du salage des routes.

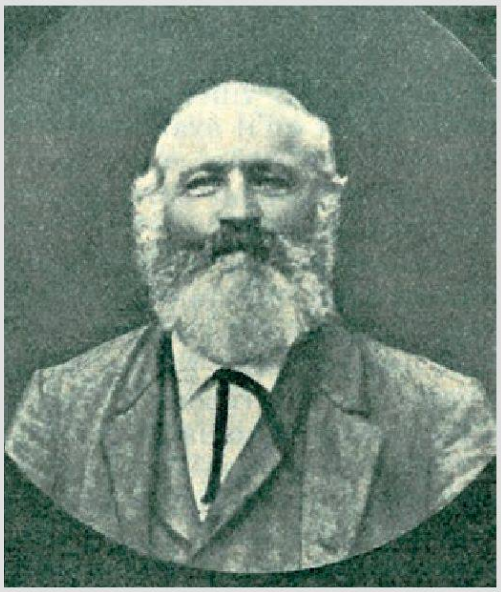
De 1972 à 1990, les efforts d'épuration se poursuivent tous azimuts et les résultats sont impressionnants, la plus grande partie des eaux usées du canton étant épurées actuellement dans 22 STEP. Mais progressivement, du fait de l'évolution des techniques, des défauts des premières installations et de leurs trop faibles capacités vis-à-vis de l'augmentation des rejets d'eau usée, les premières STEP doivent être obligatoirement réhabilitées et modernisées. Elles doivent satisfaire à des normes de rejets plus exigeantes dans les lacs (cas de la STEP de Neuchâtel et de celle d'Engollon au Val-de-Ruz par exemple). Les rejets en rivière doivent être assortis d'une étape de nitrification/dénitrification (cas de la STEP de La Chaux-de-Fonds). Ces opérations débutent en 1995 pour se poursuivre jusqu'à nos jours, grâce à des participations financières exceptionnelles de la Confédération. De plus, on réalise depuis peu des réseaux séparatifs pour les eaux de pluie, ces dernières pouvant aussi être infiltrées dans les sols dépourvus de captages, de manière à ce qu'elles ne surchargent plus les installations d'épuration. Durant cette dernière période, la législation sur la protection des eaux s'est également renforcée. La deuxième loi fédérale de 1971 avait tout d'abord mis l'accent sur la sauvegarde de la qualité de l'eau par l'intermédiaire de l'épuration. Puis la troisième loi de 1992 y avait ajouté la protection quantitative des eaux souterraines avec

la notion des zones de protection. Enfin, la nouvelle ordonnance du 28 octobre 1998 a accordé encore davantage de protection aux eaux souterraines, en introduisant la notion d'aires d'alimentation et celle de gestion du rejet des eaux usées au moyen d'un plan spécial, le PGEE [1]. Grâce à l'ensemble de ces efforts, depuis une bonne dizaine d'années, le lac de Neuchâtel n'est plus eutrophe, ce qui est aussi le cas de la plupart des autres lacs suisses.

4. CONCLUSIONS

En définitive, le but de cet essai de synthèse historique était de démontrer que les progrès réalisés depuis les débuts de la SNSN (180 ans en 2012) dans les domaines de l'eau ont été magistraux, même pour un petit canton qui ne constitue que 5 % de la surface de la Suisse, et qui ne comptait que 65 000 habitants en 1832 pour plus de 173 000 actuellement ! La volonté de nos prédécesseurs, notamment celle de l'ingénieur Guillaume Ritter et de ses collègues scientifiques et techniciens, pour une grande partie d'entre eux membres de la SNSN, a permis la conception et la réalisation des systèmes d'adduction et de distribution d'eau qui ont conditionné le développement d'une grande partie de cette région jurassienne jusqu'à nos jours. Leurs successeurs ne sont pas en reste et leur ont fait honneur pour l'ensemble des domaines liés à l'eau. Ils ont progressivement complété et perfectionné les éléments d'origine, dont les auteurs étaient loin d'imaginer l'envergure et la complexité qu'ils allaient prendre. Et la SNSN plus modestement, grâce à son Bulletin qui a tout de même traversé deux siècles, en constitue un témoin historique de tout premier ordre.

Les apports techniques et scientifiques de Guillaume Ritter



Nous ne saurions passer sous silence dans cet historique les apports considérables fournis par l'ingénieur-entrepreneur Guillaume Ritter, tant sur le plan régional de la distribution d'eau que dans le cadre de la SNSN dont il était un des membres scientifiques les plus actifs (Billeter, 1916). Originaire d'Alsace par son père, il est né en 1835 à Neuchâtel et est décédé dans cette même ville en 1912. Cet éminent savant, au sens large de son époque, s'intéressait à tout. Etudiant brillant, il est entré à l'âge de 17 ans à l'Ecole centrale des arts et manufactures de Paris et en est ressorti quatre ans plus tard, premier de sa promotion, avec le titre d'ingénieur-constructeur. Pour couronner le tout, il a également fonctionné comme architecte-bâtisseur : une bonne centaine de maisons et de bâtiments publics du littoral neuchâtelois ont été construits au cours des années par l'entreprise qu'il avait fondée avec son père, maître maçon et architecte à Neuchâtel. C'est entre 1856 à 1866 qu'il revient à Neuchâtel où il fait tout d'abord commerce de pierres avec son père, avant d'étudier et de réaliser l'adduction d'eau de la Ville par le Seyon (1864-1866). Il y fonde la Société

1) PGEE : plan général d'évacuation des eaux

des Eaux dont il devient le premier directeur technique. Il s'expatrie ensuite et effectue des études et des travaux concernant l'eau à Avignon (1867), puis à Fribourg où il a proposé un barrage sur la Sarine (1869). Entretemps il se marie…il aura 11 enfants ! Mais le projet avorté de la Sarine le ruine, et il retourne à Neuchâtel en 1876, où il continue à vouer ses forces à des projets hydrauliques d'envergure régionale, qui effarouchent quelque peu la prudence neuchâteloise (voir plus loin). Ingénieur talentueux, Ritter est également un musicien distingué et joue du violon. Mais sa passion est la peinture qu'il pratique le dimanche et qui le fait se lier à beaucoup d'artistes de son époque. Cependant il est surtout connu dans le canton en tant que précurseur des adductions d'eau des Villes de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds, à partir des sources des Gorges de l'Areuse (1886-87), après l'épisode malencontreux du Seyon (voir p. 10). Ces réseaux, toujours en service de nos jours, mais au bénéfice d'améliorations successives, ont permis les développements ultérieurs de ces deux villes. Grâce à Ritter et à ses collègues scientifiques universitaires, qui ont été consultés en tant qu'experts, on dispose de la plupart des données importantes concernant ces infrastructures majeures dans le bulletin de la SNSN, et ce jusque vers les années 1910, à partir desquelles les publications techniques disparaissent de notre publication.

Ritter était un esprit ouvert, universel, qui a vécu sans cesse en avance sur son époque. Et c'est en tant que pilier de la SNSN, que l'infatigable ingénieur laisse percevoir tout son talent de scientifique : il a publié au total 62 articles dans le bulletin entre 1857 et 1902. Outre le secteur de l'eau qui le passionne, son éclectisme l'a fait s'intéresser à des domaines aussi divers (énumération non exhaustive !) que : la géologie et les roches (1857-58), les cloches à plongeurs pour l'exploitation du lac (1864), le projet de régulation des eaux du Léman à Genève (1876), les mesures limnimétriques (1879), la découverte d'une statue de Jupiter (1879). Citons aussi l'épuration des eaux du Val-de-Ruz (1887), car Ritter était déjà sensible aux problèmes de pollution et de recyclage des déchets, condamnant en particulier le rejet des eaux usées dans les lacs et les rivières. C'est ainsi qu'il propose d'utiliser les eaux d'égout de La Chaux-de-Fonds pour l'irrigation du Val-de-Ruz et du vallon de St Imier, et celles de Neuchâtel pour l'irrigation des cultures du grand marais du Seeland. Mentionnons également ses publications concernant la destruction du phylloxera par l'acide carbonique (1888), le projet de funiculaire gare-centre Ville à Neuchâtel (1890). Il a encore examiné des problèmes d'électrification de l'éclairage public et des transports public de Neuchâtel, de forage d'un tunnel ferroviaire sous le Grand-St-Bernard, d'exploitation des eaux de la Loue et du Doubs, etc. Mais surtout son rêve, son couronnement en quelque sorte, et pour lequel il a acquis sa principale notoriété, aurait été de réaliser le mirifique projet d'amener de l'eau du lac de Neuchâtel jusqu'à Paris (Schaer, 2009) au moyen d'un aqueduc de 37 km sous le Jura, suivi d'une galerie en pente douce de 400 km, comprenant 23 km de tunnels 118 km de ponts, 29,5 km de siphons et 255 km de tranchées (Ritter, 1888, 1889), puis de prolonger à la rigueur cet ouvrage jusqu'au Havre. L'eau aurait été prélevée par aspiration à une profondeur de 100 mètre (ce qui même actuellement ne représente pas une entreprise facile), avec la garantie d'avoir toujours une température de départ voisine de 4 °C. L'ouvrage devait permettre d'apporter à Paris 4 à 500'000 m3 d'eau par jour avec une moyenne de température estimée à 10 °C. Le long de son parcours il pourrait alimenter en plus 1000 à 1500 localités. Ritter prévoyait même que les eaux à leur arrivée à Paris seraient turbinées pour produire assez d'électricité afin d'assurer l'éclairage des rues et des places de la capitale. Ses calculs optimistes lui auraient démontré en outre que les prélèvements effectués pour les besoins des Parisiens au niveau des lacs jurassiens n'auraient aucune influence sensible sur leurs niveaux, du fait qu'ils ne représentent que le 1/10 environ de leur renouvellement. Avec ce projet, Ritter était persuadé que Paris serait libéré de la fièvre

typhoïde, et que le canton de Neuchâtel, de son côté, devrait obtenir de l'eau ainsi vendue à la capitale des revenus suffisants pour pouvoir supprimer tout impôt (Gobat, 2001) ! Il consacra plus de 20 années à ce projet, sans résultats néanmoins, mais pour lequel il garda espoir jusqu'à la fin de sa vie. On peut rappeler d'ailleurs qu'un tracé concurrent à partir du Léman avait été présenté par les Vaudois et refusé lui aussi.

L'intérêt de Ritter pour le domaine de l'eau le conduisit, de 1860 à 1899, à réaliser une dizaine d'études et de projets nettement en avance sur son époque, consacrés à l'hydrogéologie et à l'exploitation des ressources hydrauliques du Jura, en particulier des Gorges de l'Areuse. Le résultat final de ses concepts constitue encore aujourd'hui la principale ossature de l'alimentation en eau du canton. Mais il faut savoir que tous ces équipements (à l'instar du projet du RUN actuel) ne se sont pas réalisés facilement et qu'ils ont donné lieu à de nombreuses controverses. Ceci en raison du caractère autoritaire de Ritter, qui ne redoutait pas la polémique et qui était persuadé d'avoir raison en tout !

Sa première réalisation, à savoir l'alimentation de Neuchâtel par l'eau du Seyon (Ritter, 1864), en est un bon exemple. Les Autorités municipales de l'époque (1860), inquiètes des pénuries d'eau de plus en plus importantes dont la Ville de Neuchâtel souffrait chaque année lors des étiages, avait chargé une commission, présidée par Paul de Meuron, alors directeur des Travaux Publics, de doter la cité «d'une bonne eau potable en pression et en suffisance» (Hartmann, 1903). Pour la petite histoire, cette commission était composée d'ingénieurs, d'architectes, de géologues et de professeurs, pratiquement tous membres de la SNSN : il y avait en particulier les architectes Perrier et Chatelain (ce dernier étant l'auteur de la rénovation de la collégiale), Kopp professeur de physique, Desor professeur de géologie, Ladame professeur de mathématiques, Gressly géologue, G. de Pury ingénieur, G. Ritter ingénieur, G. de Tribolet professeur de géologie, etc. Finalement cette commission a soutenu et entériné le projet de G. Ritter concernant le captage de l'eau du Seyon en aval de Valangin et sa filtration à Maujobia. Cette décision amène Ritter et deux collègues ingénieurs à fonder la Société des Eaux, organisation privée, mieux à même selon lui pour gérer la nouvelle distribution d'eau, achevée en 1866.

Mais après deux ou trois années la mauvaise qualité de l'eau du Seyon qui culminera en 1882 avec l'épidémie de fièvre typhoïde, force Ritter à quitter son poste. C'est l'ingénieur Léo Jeanjaquet qui lui succède pour quelques années, avant le rachat de la Société des Eaux par la Ville en mars 1887. Le premier but de Léo Jeanjaquet est de proposer le remplacement de l'eau désastreuse du Seyon par un autre apport plus performant. Jeanjaquet réalise parallèlement le réseau d'eau potable de Boudry, alimenté par les sources sommitales de la Montagne du même nom ainsi que le réseau d'adduction d'Hauterive alimenté par les sources de Valangin. Il a de ce fait dans un premier temps l'idée d'alimenter Neuchâtel à partir de l'eau du lac prélevée en profondeur à l'embouchure de l'Areuse, et élevée jusqu'à Chambrelien en utilisant la force motrice de la rivière. C'est ainsi qu'en 1874, il présente au nom de la Société des Eaux un projet intitulé «La Reuse, projet d'utilisation de sa puissance hydraulique».Mais dans un deuxième temps cet ingénieur remplace l'idée d'appoint d'eau du lac comme eau d'alimentation, au vu d'oppositions locales, par celle de la source de Combe-Garot acquise entre-temps par la Société des Eaux.

Ces propositions n'eurent pas l'heurt de plaire à Ritter, qui, après son retour à Neuchâtel en 1876, leur trouva de multiples défauts. Il s'empressa dès lors de publier en 1878 un «Mémoire sur un nouveau projet d'utilisation rationnelle des forces hydrauliques de La Reuse et d'une distribution générale en eau et en force pour le vignoble, de Bevaix à St Aubin, et du lac de Neuchâtel à La Chaux-de-Fonds» (Ritter, 1878). Avec ce projet qui précède l'épidémie par l'eau du Seyon de 1882, Ritter se place d'emblée sur une échelle régionale beaucoup plus vaste. Un schéma résumé de ce projet sera imprimé

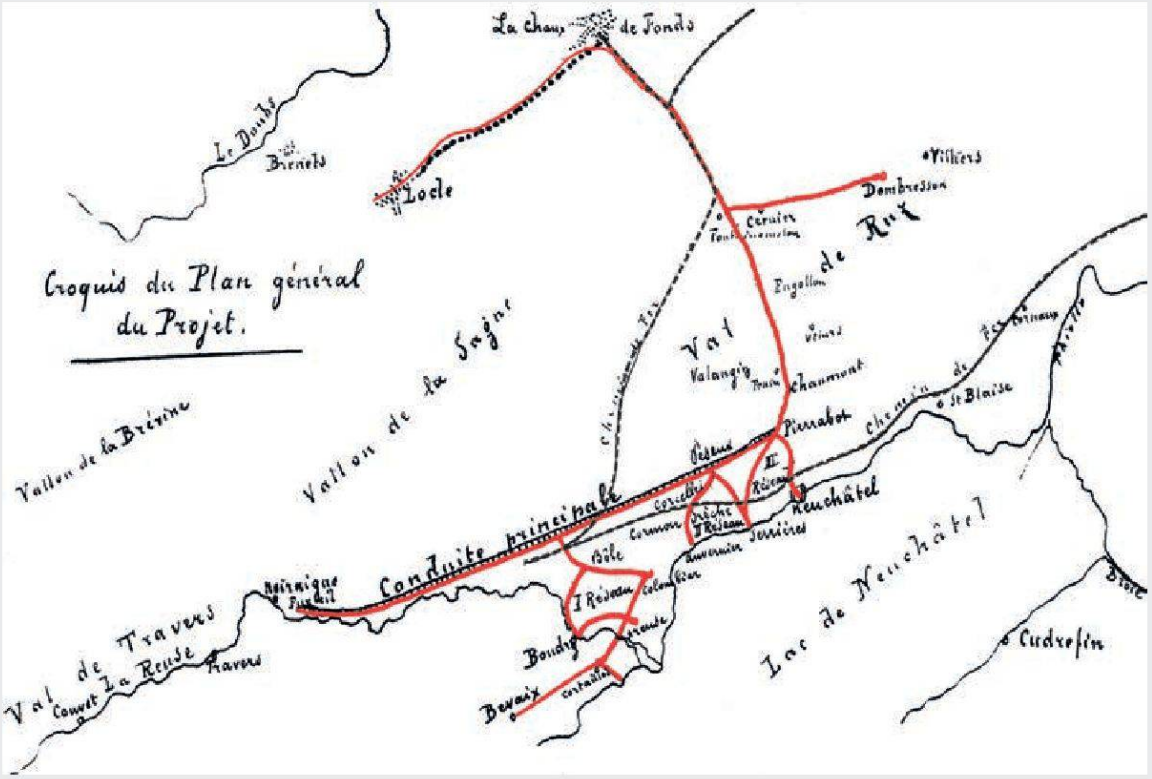


Figure 1 : Illustration de l'étude de Guillaume Ritter (1878) concernant la dérivation de l'Areuse depuis le Furcil, jusqu'à Pierre-à-Bôt. Cette dérivation était destinée à produire de l'énergie électrique, et accessoirement une alimentation supplémentaire en eau potable (RITTER, Bull. SNSN, 1872, et Feuille d'Hygiène du 1er septembre 1878). On notera les analogies avec l'adduction du SIVAMO, réalisée en 1995 (fig. 14).

dans la Feuille d'Hygiène du 1er septembre 1878, en vue d'une demande de concession prévoyant « la dérivation de l'Areuse depuis le Furcil jusqu'à Pierrabot pour produire de l'énergie électrique et accessoirement une alimentation supplémentaire en eau potable » (fig. 1).
Ce projet, non retenu à l'époque, a été réalisé dans ses grandes lignes en 1995, par les Services des Eaux de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds (réseau du SIVAMO), sans que ceux-ci aient eu connaisance au préalable de l'étude de Ritter.

Cela démontre l'avance de cet ingénieur sur son temps, puisque, en définitive, le réseau du SIVAMO est pratiquement la copie conforme de son projet, à deux exceptions près. C'est l'eau des sources des Gorges de l'Areuse et celle du lac si nécessaire, qui sont utilisées actuellement suite à son projet remanié en 1883 et 1886, et non pas celle de l'aquifère du fond du Val-de-Travers dans la région de Noiraigue comme il l'avait prévu à l'origine. De plus, son projet originel prévoyait de turbiner l'eau de la conduite d'adduction principale en plusieurs étapes pour produire de l'hydroélectricité, ce qui n'a pas été retenu. Son réseau de distribution initial alimentait en outre la région de Bevaix, indépendante actuellement, et il prévoyait déjà d'utiliser l'eau du lac en complément. Dans ce projet de base, Ritter avait divisé son concept en quatre réseaux:

- *Le premier, celui de Boudry, aurait permis d'obtenir « 500 chevaux » de force et de l'eau potable;*
- *Le second était destiné à alimenter les villages de la Côte (Corcelles-Peseux-Auvernier) et de Serrières « avec plus de 1000 chevaux de force et de l'eau salubre en quantité indéfinie » (!);*

• Le troisième réseau, celui de Neuchâtel-Ville, aurait dû fournir « 6 à 7000 chevaux de force et 6000 l d'eau fraîche et pure par minute » ;
• Enfin le quatrième dotait La Chaux-de-Fonds de « deux à trois cents moteurs de force motrice livrés à domicile, comme aussi 2000 litres d'eau par minute pour l'alimentation ». Au dire de son auteur, on aurait même pu au besoin étendre cette distribution jusqu'au Locle (ce que le SIVAMO a réalisé en 1995) ! Il proposa aussi de capter comme appoint soit l'eau de la Serrière, soit l'eau du lac.

En fait, avec ce projet, c'est comme si Ritter avait anticipé la liaison magistrale de 1995 entre le haut et le bas du canton, réalisée grâce au percement du tunnel routier de la Vue-des-Alpes. Mais son audace et son avant-gardisme n'ont pas rencontré la faveur des Autorités de l'époque, à cause d'une part des usiniers exploitant les moulins et usines de Boudry qui craignaient une diminution des débits des aquifères alimentant l'Areuse en étiage, et d'autre part les craintes concernant les éventuelles contaminations de la rivière. Finalement ce furent des paliers d'exploitation hydroélectriques plus modestes qui ont été réalisés par la suite dans les Gorges de l'Areuse, en utilisant uniquement la rivière.

Pour la petite histoire, ce mémoire a reçu à sa publication un accueil glacé de la part de Léo Jeanjaquet, auteur des projets concurrents et directeur technique de la Société des Eaux. Il en fait une critique féroce de 32 pages, dans son «Analyse du mémoire publié par G. Ritter, ingénieur civil, sur un nouveau projet d'utilisation rationnelle des forces hydrauliques de La Reuse» (Jeanjaquet, 1878), deux mois seulement après avoir reçu le texte de Ritter. Il démonte pièce à pièce tout le dossier et exprime son mécontentement vis-à-vis de la SNSN, qu'il accuse de basse collaboration avec l'ingénieur ! Le mémoire Jeanjaquet est farci de termes choisis qui démontre l'irritation de son auteur. A titre d'exemple non exhaustif, nous ne résistons pas au plaisir de soumettre aux lecteurs la dernière phrase de sa conclusion : «De ce projet grandiose (celui de Ritter donc), dépouillé du similor et des oripeaux qui le recouvraient, il ne reste qu'une ébauche peu sérieuse et point étudiée : et par les dimensions mêmes que l'auteur a cherché à lui donner, dans le but de « contenter tout le monde et son père », il n'a réussi qu'à prouver une fois de plus, que « celui qui trop embrasse mal étreint », et que tante Rose a cent fois raison lorsqu'elle nous dit, que « dépasser le but, c'est manquer la chose » (Neuchâtel, 20 septembre 1878)»!! Il n'empêche que le nom de Léo Jeanjaquet est presque oublié aujourd'hui, alors que celui de Ritter est toujours d'actualité, d'autant plus que la majeure partie de son étude contestée de 1878 a été réalisée de nos jours.

Suite à ces débats, Ritter a été appelé à revoir complètement son projet, ce qu'il fit en 1883, immédiatement après l'épisode de l'épidémie de typhoïde. Il propose alors un nouveau dossier simplifié consacré à « L'exploitation rationnelle des forces hydrauliques de l'Areuse et des cours d'eau du Jura » (Ritter, 1883), dans lequel il évoquait encore l'utilisation de l'eau de la rivière pour produire de l'électricité et de l'eau de boisson.

Mais après des examens plus approfondis du contexte des Gorges de l'Areuse qui lui démontra la richesse en eau des sources locales, Ritter se fit en définitive plus modeste et proposa de n'exploiter pour l'eau potable que les sources de la bordure des Gorges, dont la qualité lui semblait excellente : à savoir les sources de la rive gauche du vallon de Champ-du-Moulin pour la ville de La Chaux-de-Fonds et celles de la rive droite pour Neuchâtel et sa région. Ritter résuma en 1887 l'ensemble des études réalisées et du projet de 1885, dans un article du Bulletin de la SNSN intitulé : « Travaux de captation des sources de Champ-du-Moulin destinées à l'alimentation de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds » (Ritter, 1887). Il fut finalement chargé par La Chaux-de-Fonds de réaliser le projet d'alimentation en eau de cette ville par les sources de Champ-du-Moulin. Alors que les travaux d'adduction de Neuchâtel depuis les sources de la rive droite, ont été entrepris par l'ingénieur communal Hartmann (Hartmann, 1903).

Parallèlement à ses projets d'utilisation de l'eau neuchâteloise, il publie encore en 1892 un article sur l'utilisation des forces motrices du Jura français, puis en 1899 un autre sur l'utilisation de la force motrice du Seyon, car Ritter était passionné par l'hydrologie et l'hydrogéologie. Il tentait en fait de mieux comprendre les mécanismes naturels des eaux souterraines qu'il se proposait de capter, en commettant toutefois quelques grosses erreurs du fait de son manque de formation de base en géologie. Il publia sur ce sujet dans le bulletin de la SNSN également une dizaine d'articles de 1883 à 1900, dont notamment «Hydrologie des Gorges de la Reuse et du bassin de la Noiraigue » (Ritter, 1883), dont les mécanismes définitifs ont été confirmés par le géologue Schardt en 1903. Ritter s'est également intéressé au lac glaciaire de Champ-du-Moulin (Ritter, 1887), à l'hydrologie des sources de Gorgier et St Aubin (Ritter, 1893), et a écrit un article (Ritter, 1889) illustré avec une remarquable carte, sur la formation d'un grand lac quaternaire au pied du Jura englobant les lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat (actuellement bien contesté !). Il termina ce cycle par un important dossier sur l'hydrologie neuchâteloise (Ritter, 1900). De temps à autre, il s'offrit quelques diversions en archéologie dont il était également passionné, avec une carte des stations lacustres (Ritter, 1876), la découverte de deux anciens ponts à La Sauge (Ritter, 1879), le plan général des stations lacustres sur les rives des lacs du Jura (Ritter, 1889), etc.

Outre ses talents d'écrivain scientifique, il officia également avec brio, comme évoqué plus haut, en tant qu'ingénieur-architecte, dont les bâtiments les plus connus sont le complexe locatif du Vieux-Châtel, érigé en 1860, parallèlement aux bâtiments de l'Hôpital de la Providence. En effet en 1859, suite à un conflit médical qui prend rapidement une dimension confessionnelle, les sœurs catholiques quittent l'hôpital Pourtalès. Et c'est finalement Ritter qui, au nom de la communauté catholique blessée par cette querelle se chargea d'ériger l'hôpital de la Providence, inauguré le 20 octobre 1860. Il construisit les immeubles du Vieux Châtel en parallèle (Bauermeister, 2009). Enfin, pour terminer sa carrière de façon magistrale, et sans doute aussi se consoler de l'échec de son projet d'alimenter Paris avec l'eau du lac, Ritter s'impliqua corps et âme dans la construction de l'église rouge au sud-est de Neuchâtel. Actuelle Basilique de Notre-Dame, récemment rénovée, elle fut inaugurée en 1906 et témoigne de la foi fervente de son concepteur. En parallèle avec cette édification, Ritter participe encore à de nombreux projets d'adduction d'eau, compte tenu de son expérience qui l'a fait connaître loin à la ronde. C'est ainsi que des communes du Jura bernois, de Fribourg, du Val-de-Ruz, de France, etc, lui demandent conseil. Il indique comment trouver de l'eau, la capter… mais en général ce sont d'autres ingénieurs qui réalisent les travaux ! Ses publications dans le Bulletin de la SNSN cessent à partir de 1902.

Tant les villes de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds que le canton dans son ensemble doivent beaucoup à cet ingénieur surdoué, en ce sens que leur développement ne se serait pas passé de la même façon s'il n'avait pas eu ce talent de visionnaire et de réalisateur. C'est la raison pour laquelle une rue dans chacune de ces deux localités porte son nom, et que la municipalité de La Chaux-de-Fonds lui a octroyé la bourgeoisie d'honneur et la nationalité suisse !

2ÈME PARTIE :

ABRÉGÉ DES CONNAISSANCES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONALES ACTUELLES

Eaux et roches s'influencent mutuellement : les premières érodent et corrodent les couches géologiques et modifient ainsi lentement le relief, ce qui détermine en retour le tracé des écoulements superficiels et souterrains. D'où ce terme d'hydrogéologie, qui peut être défini comme la science de l'étude et du comportement des eaux souterraines.

1. ÉLÉMENTS D'HYDROGÉOLOGIE DU KARST NEUCHÂTELOIS

LES PRÉCIPITATIONS

Dans le canton de Neuchâtel, l'eau disponible est tributaire des précipitations et du sous-sol. En ce qui concerne les précipitations, la chaîne jurassienne est soumise au climat tempéré humide de l'Atlantique, avec des vents dominants d'ouest qui apportent la majeure partie des pluies : 1360 mm en moyenne annuelle (MATTHEY, 1999). Mais les précipitations décroissent d'ouest en est (maximum de 1700 mm/an aux Verrières, et minimum de 950 mm/an à Neuchâtel) à cause des reliefs; le vent d'ouest apporte de l'air humide qui se décharge d'abord sur les premières barrières montagneuses. Le vent d'est est prépondérant sur le Moyen-Pays, il véhicule des courants froids et secs du nord de l'Europe, d'où l'amoindrissement des précipitations sur le littoral neuchâtelois (fig. 2).

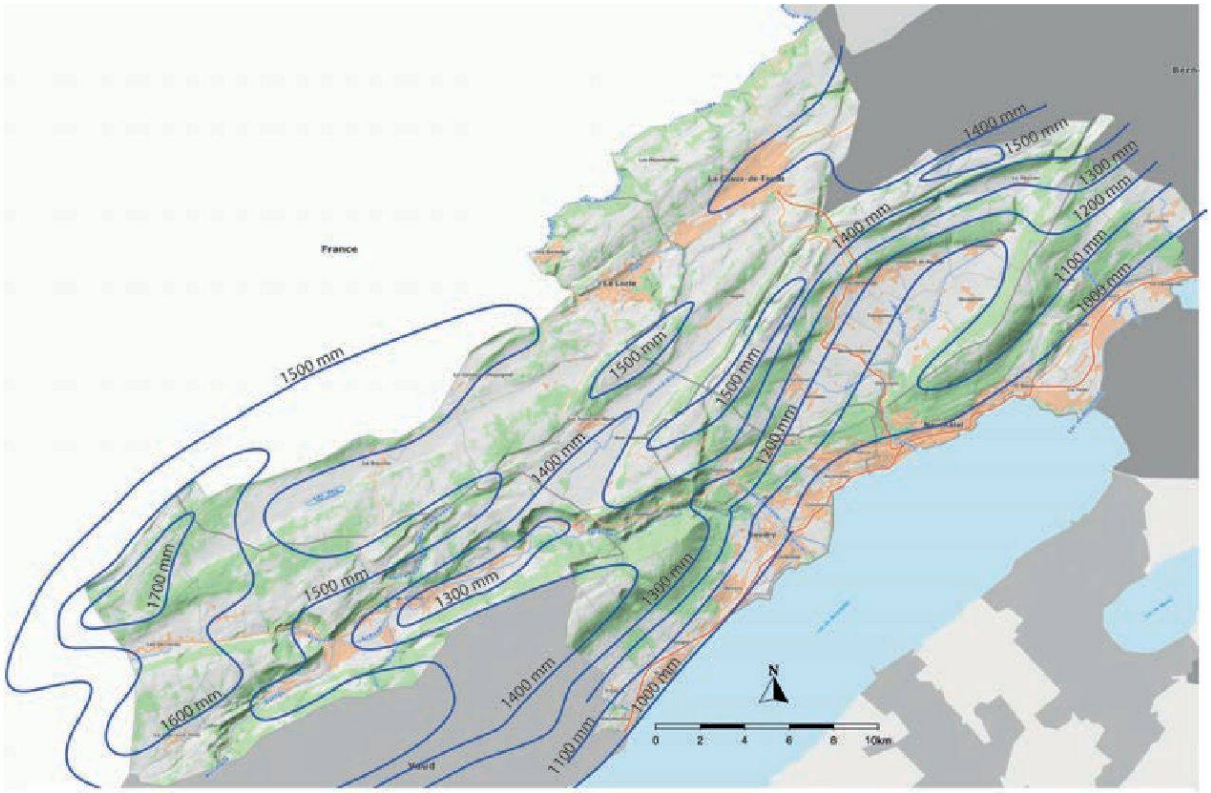


Figure 2 : Carte pluviométrique du canton de Neuchâtel avec les isohyètes pour la période de 1950 à 2000 (d'après MATTHEY, 1986, 1999). © SITN 2011 – www.ne.ch/sitn

RAPPELS GÉOGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES [1] :

Généralités

En ce qui concerne son sous-sol, le canton de Neuchâtel, occupe la bordure médiane de l'Arc jurassien (BURKHARD, 1998). Transversalement, il s'étend entre le lac au sud à 429 m d'altitude jusqu'au Doubs au nord entre 650 à 750 m d'altitude (17 km à vol d'oiseau). L'altitude la plus haute se situe à l'ouest de Chasseral (1552,2 m). La longueur maximale du canton, à vol d'oiseau, est de 55 km entre Chasseral et le Chasseron (Vd). Environ 90 % de sa surface appartient aux massifs calcaires bordiers du Jura plissé, dont le relief est constitué d'une succession de grandes chaînes anticlinales complexes, séparées par des vallées synclinales, et qui jouxtent au sud les lacs de Neuchâtel et de Bienne. Deux régions de superficie restreinte à savoir Auvernier-Boudry-plateau de Bevaix et la région de St Blaise-Marin, représentent les derniers vestiges du bassin molassique en territoire neuchâtelois, sur la bordure du faisceau helvétique jurassien. L'orientation générale des axes des plis est SW-NE, mais ils subissent localement de nombreuses variations, aussi bien en direction qu'en inclinaison (à l'exemple de l'ensellement de la Montagne de Boudry à Rochefort), quand ce n'est pas des ramifications et des diverticules, issus d'un pli principal. MEIA (1976) a mis en évidence une bonne quarantaine de plis anticlinaux dans le canton. Ils sont plus ou moins réguliers, pas toujours constitués de la même unité tectonique malgré la continuité des chaînons topographiques, les plis se relayant souvent entre eux. SOMMARUGA (1997) a montré de son côté, grâce à des données de sismique-réflexion, que tous les plis anticlinaux du canton sont chevauchants, c'est-à-dire qu'ils sont empilés les uns sur les autres de manière décalée, comme des écailles ou des tuiles (voir coupe 3b). Ce style de déformation qu'on rencontre dans tout le Jura plissé est appelé « pli sur rampe». Néanmoins, de façon simplifiée, on peut admettre, sur les plans topographiques et géographiques, la présence de quatre chaînes principales formées de ces successions d'anticlinaux chevauchants, et marquées par des zones de crêtes, alternant avec des synclinaux dessinant les vallées. Il est possible dès lors de schématiser la topographie simplifiée suivante, en succession parallèle du SW au NE du canton (fig. 3a et 3b).

Chaîne 1 : C'est la première chaîne anticlinale, sise en bordure du Jura au-dessus des lacs de Bienne et de Neuchâtel, avec de l'est à l'ouest : Chasseral (1607 m, Be), Chaumont (1171 m), Montagne de Boudry (1465 m), Chasseron (1606 m, Vd). Derrière cette chaîne 1 s'étend la profonde vallée synclinale du Val-de-Travers à l'ouest (entre 720 à 740 m d'altitude) et le large synclinal du Val-de-Ruz à l'est (entre 730 à 770 m d'altitude), reliés par l'étroit vallon de Champ-du-Moulin.

Chaîne 2 : Cette chaîne anticlinale de la bordure nord du Val-de-Travers est complexe, avec à l'ouest La Tourne-Solmon (1270 m), et le Mont-de-Couvet (1090 m). A l'est, surmontant le Val-de-Ruz se trouvent le Mont Racine (1442 m), Tête-de-Ran (1425 m), et le Mont d'Amin (1417 m), ce dernier se rattachant à la chaîne bordière de Chasseral. La chaîne **2** constitue la limite sud de la longue vallée synclinale fermée de la Sagne et des Ponts (1050 m d'altitude moyenne), qui constitue un exceptionnel poljé.

Chaîne 3 : La vallée de la Sagne est bordée au nord par la troisième chaîne comprenant le Mont Sagne (1215 m), Sommartel (1331 m), et le Mont des Verrières (1241 m). Cette chaîne domine sur son autre flanc, tout à l'ouest,le vallon des Verrières (930m), puis le synclinal fermé de la Brévine (1050 m d'altitude moyenne), et à l'est, le synclinal de la vallée du Locle (920 m) et de La Chaux-de-Fonds (1000 m).

Chaîne 4 : Complexe, elle borde au nord les vallées de la Brévine, du Locle et de La Chaux-de-Fonds. Elle s'étend du Chateleu (1266 m) en France, jusqu'à Pouillerel (1215 m) au-dessus de La Chaux-de-Fonds, dominant sur son flanc nord la profonde vallée du Doubs qui s'étend de Morteau (754 m), jusqu'à Biaufond (607 m) en passant par Les Brenets (750 m).

1) Pour les détails concernant la géologie du Jura dans son ensemble, au centre de l'Europe, on consultera avec profit les ouvrages de BLANT (2001) «Le Jura, les paysages, la vie sauvage, les terroirs» ; HANTZPERGUE & BICHET (2007) «Jurassique…Jura, métamorphose d'un paysage» ; ainsi que la remarquable synthèse de BICHET & CAMPY (2009) «Montagnes du Jura, géologie et paysages», et celle de SCHAER *et al.* (1998) «Géologie du Creux-du-Van». Pour la géographie on consultera le livre de GARIN (1998) «Géographie du canton de Neuchâtel».

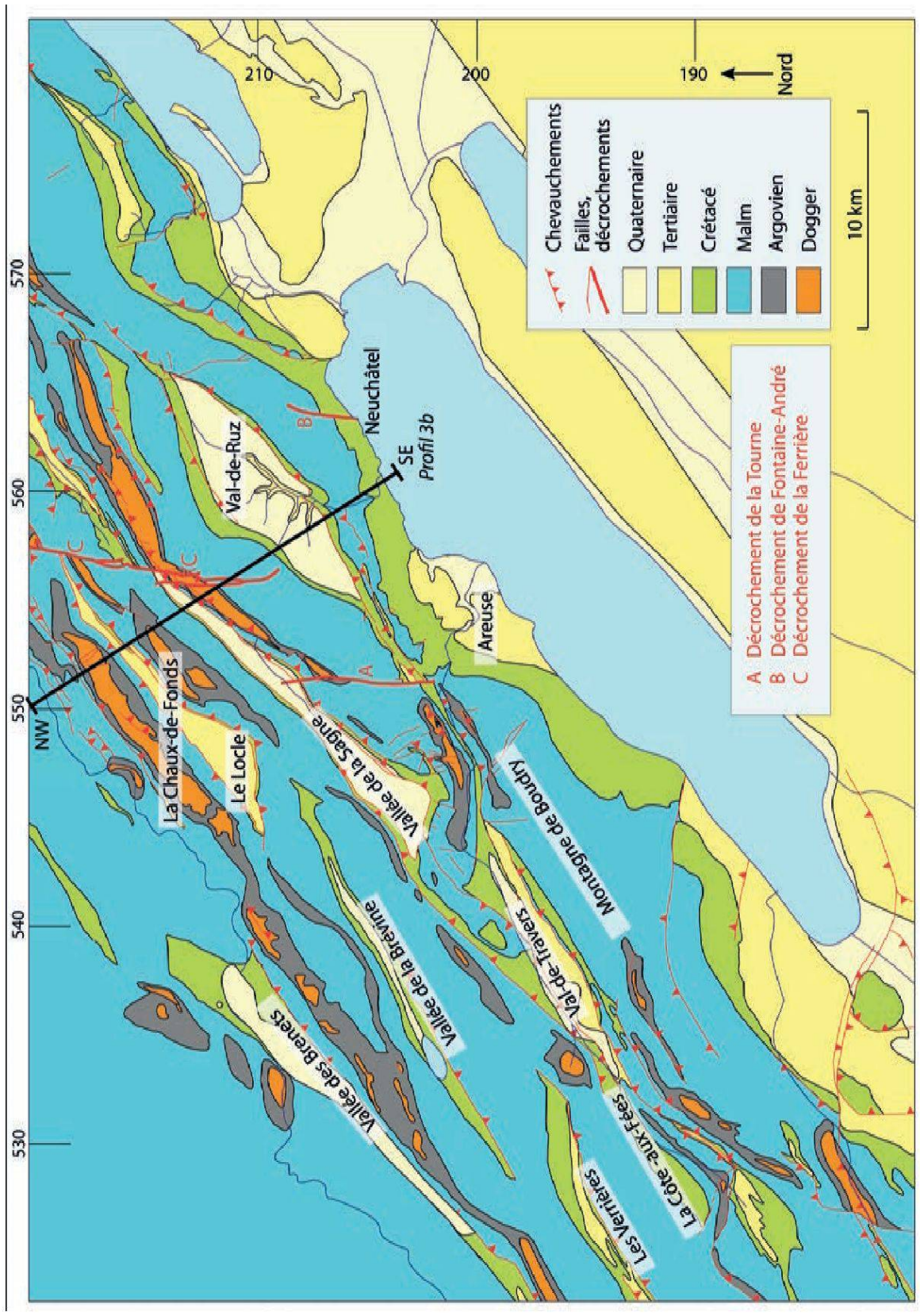


Figure 3a : Carte géologique schématique et simplifiée du canton de Neuchâtel, (d'après SOMMARUGA, 1997).

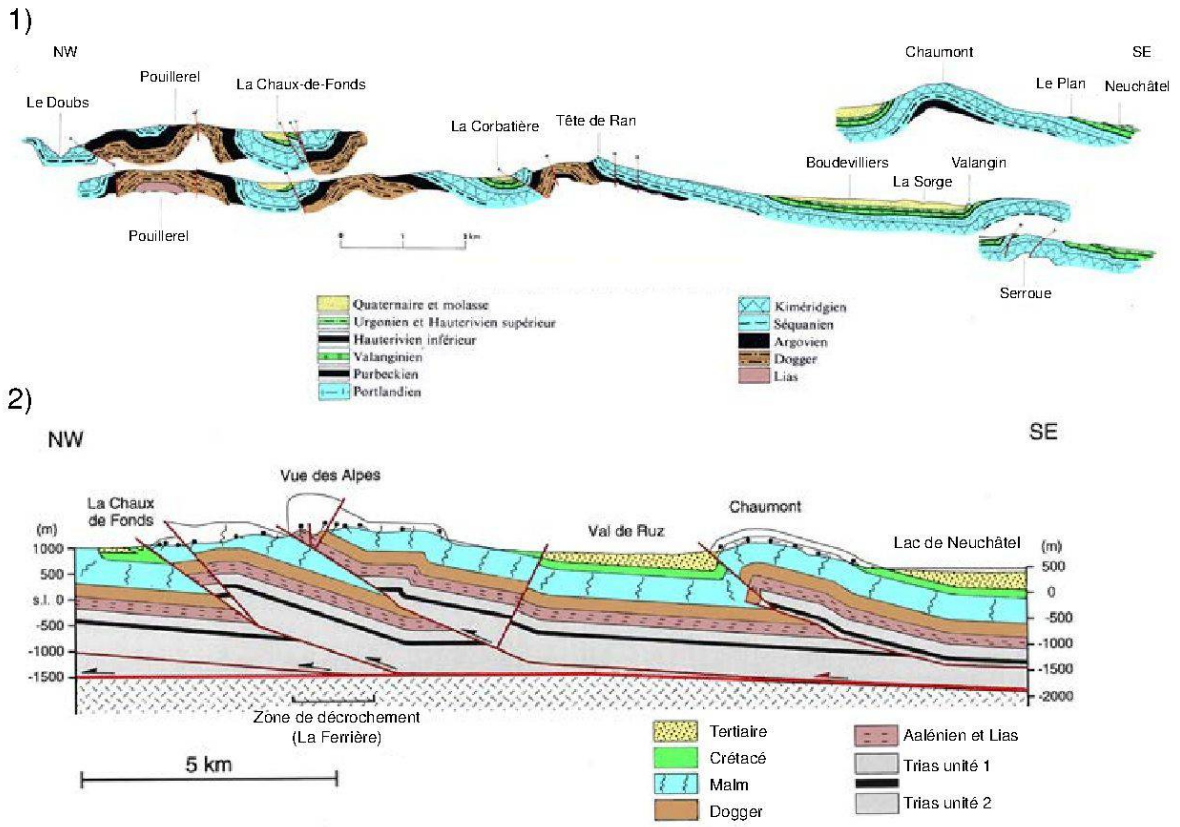


Figure 3b : Profils géologiques à travers le canton de Neuchâtel :
1) Représentation traditionnelle (MATHEY, 1976).
2) Représentation schématique, à partir de données sismiques (SOMMARUGA, 1997).
On distingue nettement sur cette représentation, les chevauchements en écaille des principaux plis.

Rappelons que les plis anticlinaux du Jura neuchâtelois sont rarement symétriques : dans la partie méridionale du canton (MEIA, 1976), on note une forte tendance à un déversement vers le nord. Le passage anticlinal-synclinal s'effectue le plus souvent par l'intermédiaire d'un accident tectonique longitudinal, tel le chevauchement ou le pli-faille. Dans la partie septentrionale, également marquée par des plis-failles, les anticlinaux ont une allure plus coffrée, avec de larges voûtes surbaissée.

Plusieurs grands accidents tectoniques transversaux, classiques dans le Jura, recoupent les plis partiellement ou sur toute leur largeur, produisant des décalages marqués par suite du déplacement opposé des unités. Leur présence, outre les dépressions qu'elle occasionne, favorise le drainage des eaux souterraines. Il s'agit des décrochements ou «failles décrochantes», dont les plus importants sont : au nord celui de la Ferrière (Convers-Vue-des-Alpes-Val-de-Ruz); au milieu celui de la Tourne-Rochefort, et au sud-est celui de Fontaine-André (Chaumont-Monruz). A noter le pli-faille de St Blaise - roches de Châtollion, parallèle au décrochement de Fontaine-André à l'est. Sans oublier tout à l'ouest le décrochement le plus spectaculaire, celui de Vallorbe-Pontarlier aux frontières françaises et vaudoises. Il faut encore citer les cluses comme autres éléments de drainage majeurs des chaînes. Façonnées par les cours d'eau dans des structures tectoniques favorables ou à des niveaux d'ensellement, elles recoupent perpendiculairement les massifs et assurent

l'évacuation des eaux de surface et des eaux souterraines issues des massifs bordiers.

Stratigraphie

La série stratigraphique (fig. 4) constituant l'ensemble de ces anticlinaux et synclinaux va du **Jurassique moyen** au **Quaternaire récent** (BURGER, 1976).

Les couches les plus anciennes (-180 à -160 millions d'années) qui n'affleurent que lorsqu'une puissante érosion les a dégagées, sont celles du **Jurassique moyen ou Dogger** (calcaires et marnes bruns), avec les étages du Bajocien, du Bathonien (Marnes du Furcil) et du Callovien (Dalle nacrée) qui constituent des alternances de calcaires et de marnes de teinte brunâtre-rougeâtre. Ces roches sont présentes aujourd'hui essentiellement dans le cœur érodé de la plupart des anticlinaux comme celui de de la Clusette-Solmon dans la région du Furcil, dans la combe anticlinale La Corbatière - Tête-de-Ran, ou encore au sommet de l'anticlinal usé de Pouillerel.

Les couches du **Jurassique supérieur ou Malm** dont l'âge est compris entre -160 à -145 millions d'années, sont formées de deux unités lithologiques : la partie supérieure épaisse d'environ 400 mètres est composée de calcaires blancs, avec les étages régionaux du Séquanien, du Kimmeridgien et du Portlandien (faciès jurassien du Tithonien international), lesquels constituent l'ossature de tous les grands plis anticlinaux du Jura neuchâtelois. Ces roches blanches forment la plupart des grandes falaises du Jura comme les Rochers de Tablette, les Rochers du Miroir, le cirque du Creux-du-Van, la Roche aux Cros, Chasseral, etc. La seconde unité lithologique, située à leur base, comprend les épaisses marnes et les marno-calcaires de l'Argovien (de 150 à 200 mètres d'épaisseur), lequel constitue un faciès jurassien de l'étage Oxfordien international de même que le Séquanien qui le surmonte. Ce puissant niveau imperméable joue un rôle très important en hydrogéologie en conditionnant, au sud-ouest du canton où il est le plus épais, tous les écoulements souterrains et les résurgences vauclusiennes du bassin de l'Areuse. Par contre, dans la partie nord-est du canton, l'Argovien devient plus calcaire et passe au faciès Rauracien coralligène, indication d'une mer peu profonde dans ce secteur. Au-dessus des calcaires marins du Malm de l'unité lithologique supérieure se placent une vingtaine de mètres de marnes et de brèches calcaires d'eau douce, avec parfois du gypse. Il s'agit du Purbeckien.

Le **Crétacé inférieur** qui surmonte le Jurassique supérieur, renferme donc à sa base ce Purbeckien (faciès jurassien du Berriasien) qui fait la limite avec le Malm en tant que couche de passage avec le Crétacé. Les autres couches du Crétacé inférieur, sédimentées en milieu marin, ont un âge compris entre -145 à -65 millions d'années ; elles sont formées de calcaires jaunes alternant avec des marnes.

On y rencontre d'abord les calcaires assez massifs de l'étage Berriasien ou «marbre bâtard», qui se continue avec les calcaires roux du Valanginien. Cet étage est coiffé par les marnes bleues hauteriviennes, surmontées à leur tour de l'Hauterivien calcaire (la Pierre Jaune de Neuchâtel). Puis au-dessus de ces unités se situe l'étage Barrémien (sous le faciès de l'Urgonien pararécifal qui caractérise cet étage du Crétacé inférieur). Cet Urgonien a livré l'asphalte de la Presta au Val-de-Travers. Le tout est surmonté par de rares passages de l'Aptien et de l'Albien. Peu épais, entre 150 à 200 mètres au total, et présent seulement par ses étages inférieurs dans la région neuchâteloise, le Crétacé n'affleure que dans les bordures des vallées synclinales et sur le versant sud de la première chaîne qui borde le lac, ayant été éliminé partout ailleurs par suite d'une érosion intense.

Après la période du Crétacé, **les dépôts molassiques Tertiaires** qui se sont succédé à quatre reprises dans les milieux marins et

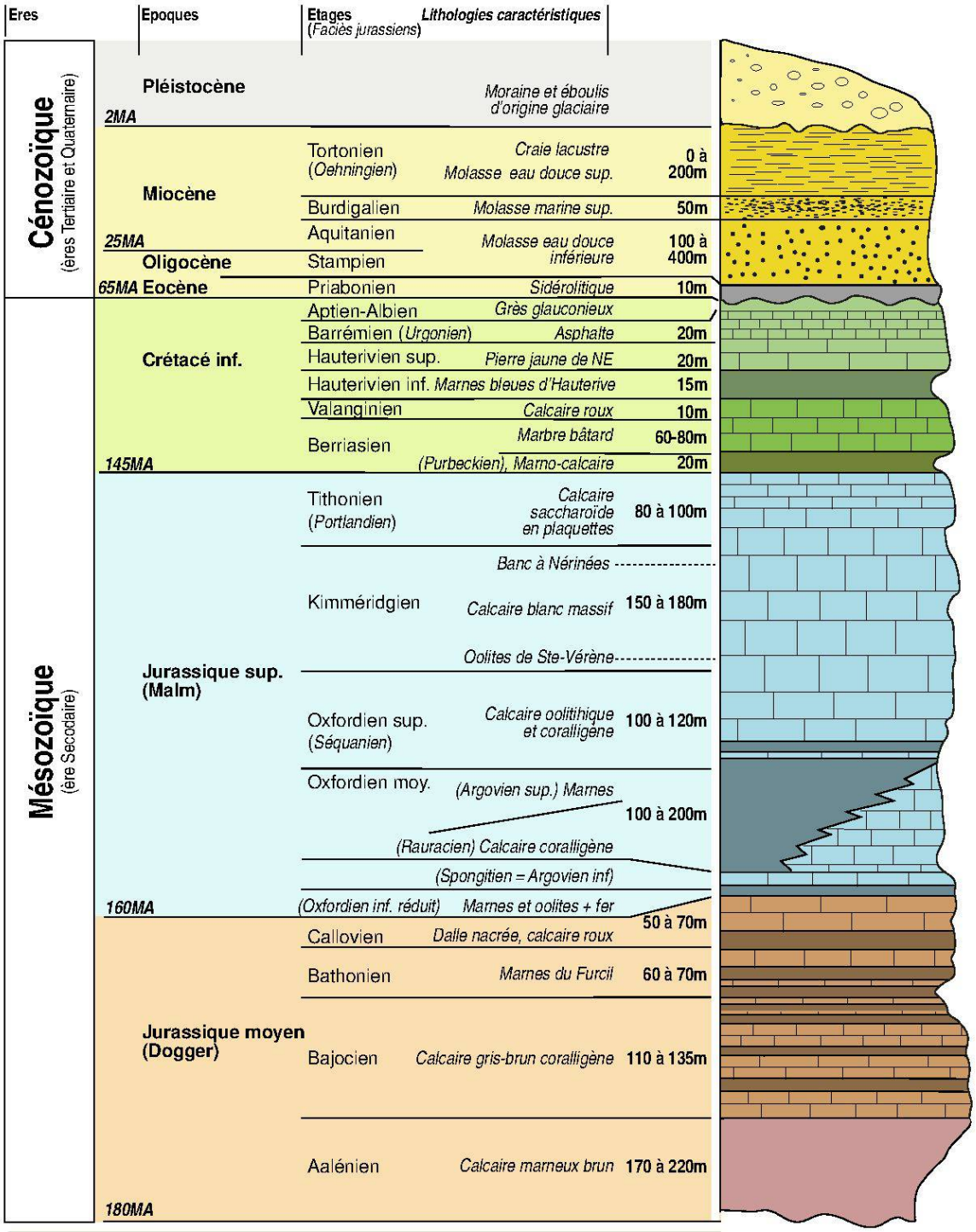


Figure 4 : Coupe stratigraphique schématique de la géologie du canton de Neuchâtel (modifié par AYER, 2012, d'après MEIA, 1976, et BURGER *et al.*, 1996). MA = millions d'années.

lacustres du Moyen Pays, et dont l'âge est compris entre -65 à -2 millions d'années, ont recouvert presque totalement le Plateau suisse. Ils sont issus pour la plupart du démantèlement des Alpes en surrection. Dans la région neuchâteloise, ces sédiments tertiaires sont nettement moins abondants que dans le Moyen Pays. On y distingue deux phases sédimentaires : la première qui a lieu au début du Tertiaire, voit la pénétration depuis le sud de dépôts de molasse d'eau douce (Molasse d'eau douce inférieure). Cette molasse ancienne est présente jusqu'au pied du Jura, d'Auvernier à Vaumarcus et dans tout l'Entre-Deux-Lacs, recouvrant partiellement le Crétacé. Par contre elle est plus restreinte à l'intérieur du massif jurassien, où on ne la rencontre que dans le Val-de-Ruz et dans le Val-de-Travers. La seconde phase se situe plus tard, vers la fin de l'ère Tertiaire, et voit la convergence de sédiments d'origine marine (Molasse marine supérieure) qui proviennent du nord cette fois, et qui se déposent dans les hautes vallées jurassiennes en phase de plissement. Précisément, à cause du plissement jurassien, il n'y a pas eu de dépôts de ces molasses dans le bas du canton. Une dernière phase de dépôts régionaux dans de l'eau douce (Molasse d'eau douce supérieure) est apparue localement, et toujours dans les hautes vallées jurassiennes seulement, après le retrait de la mer molassique supérieure. Dans le détail, on peut schématiser ces phénomènes complexes de la façon suivante (BURGER & SCHAER, 1996) :

Depuis le début des temps tertiaires jusqu'à l'Eocène, il y a environ 50 millions d'années, le Jura non encore plissé mais en phase de soulèvement et émergé, se situe à l'avant des zones alpines en début d'orogénèse. Il fait partie d'un domaine continental à climat équatorial qui favorise une érosion karstique dans les calcaires du Crétacé et du Jurassique supérieur. Il s'y forme des sols latéritiques, lesquels ont occasionné des dépôts riches en fer (sidérolithique), bien connus dans la vallée de Delémont. On en trouve aussi dans la région des Crosettes près de La Chaux-de-Fonds.

Ensuite, durant la période Oligocène, il y a grosso modo 30 millions d'années, l'ensemble du plateau suisse subit une première incursion marine peu profonde et étroite (Molasse marine inférieure ou UMM)[1] suite à la surrection des Alpes et aux mouvements continentaux. Les dépôts occasionnés sont situés seulement à proximité des massifs alpins.

Cette mer locale finit par se retirer progressivement vers 25 millions d'années, et la région se transforme en une vaste plaine alluviale d'eau douce drainée vers l'est (Molasse d'eau douce inférieure ou USM)[1]. L'érosion active par des fleuves issus des Alpes, toujours en phase de surrection, y a déposé d'abondants matériaux détritiques, très grossiers à proximité des massifs alpins (conglomérats), mais beaucoup plus fins, sous forme de grès et de sables, en bordure du Jura. Ces sédiments d'eau douce, constitués principalement par les étages Stampien de la fin de l'Oligocène et Aquitanien du début du Miocène, sont très épais sur la rive sud du lac de Neuchâtel, mais nettement moins en bordure du Jura neuchâtelois. Ils pénètrent peu à l'intérieur du massif jurassien où on ne les rencontre que dans le Val-de-Ruz et dans le Val-de-Travers, mais pas au-delà, soit parce qu'ils n'y sont pas parvenus du fait des interférences dues au plissement, soit parce qu'ils ont été érodés ultérieurement.

Longtemps après, au Miocène, il y a quelque 20 millions d'années, le front des Alpes est une nouvelle fois recouvert par un étroit bras de mer dans la dépression périalpine. Ce bras de mer envahit pour une courte durée le domaine de la Haute Chaîne Jurassienne. Les sédiments caractéristiques de cette période (étage Burdigalien) sont constitués de grès, de marnes, ainsi que de niveaux conglomératiques marins (Molasse marine supérieure ou OMM)[1]. Dans la région neuchâteloise, ils se déposent dans la vallée du Locle et de La Chaux-de-Fonds, ainsi que partiellement dans celles de la Brévine et de la Sagne. Ces dépôts septentrionaux, qui n'existent pas dans le bas du canton probablement à cause de la barrière des reliefs de l'époque, résultent d'un important chenal marin qui s'étend devant les Alpes de Vienne à la Méditerranée, avec écoulement en direction de l'ouest cette fois, du côté de la vallée du Rhône. Sur le flanc nord

1) OSM : Obere Süsswassermolasse
OMM : Obere Meeresmolasse
USM : Untere Süsswassermolasse
UMM : Untere Meeresmolasse

de la vallée de La Chaux-de-Fonds on trouve des marnes rouges de cette époque, mêlées à des résidus d'éboulis appelés gompholites. Ces sédiments renferment des dents de requins et une riche faune marine côtière.

Enfin, il y a environ 17 millions d'années à la fin de l'époque du Miocène, la compression alpine qui commence à s'exercer encore plus fortement sur le Jura, déforme la couverture sédimentaire occasionnant le retrait du bras de mer qui atteignait le Haut Jura, au profit d'étendues lacustres clairsemées. C'est la dernière phase de molasse (Molasse d'eau douce supérieure ou OSM)[1], constituée de dépôts de sédiments dans les lacs qui se situent dans les dépressions. C'est ainsi que vers 13 millions d'années, un très grand lac occupe la vallée du Locle et partiellement celle de La Chaux-de-Fonds. Il y a déposé environ 200 mètres de craie lacustre relativement perméable appartenant au faciès de l'Oeningien[2] (étages Tortonien – Samartien). Ces craies sont le résultat typique de précipitation des carbonates par dégagement de CO_2 suite à des températures élevées; elles contiennent des fossiles caractéristiques de milieux d'eau douce.

Les dépôts du Quaternaire de la région neuchâteloise qui succèdent au Tertiaire, sont de type «continental», en grande partie constitués de moraines, à l'exception des deux puissants deltas de l'Areuse et de l'ancien Seyon dans le lac de Neuchâtel, ainsi que les éboulis de pentes au pied des falaises rocheuses, ou encore les fonds alluviaux et marécageux des vallées. Plus avant à l'intérieur de la chaîne jurassienne, les dépôts glaciaires alpins sont remplacés par des matériaux morainiques locaux. L'avant-dernière glaciation, celle de Riss (-300'000 ans), a laissé très peu de traces jusqu'à 1400 mètres d'altitude. La dernière, celle de Würm, caractérisée par l'extension du glacier du Rhône, a subi son apogée il y a grosso modo 20'000 ans. Elle a déposé d'immenses amas morainiques parsemés de blocs erratiques géants au pied du Jura[3], jusque vers 1000 mètres d'altitude, recouvrant la plus grande partie des molasses d'eau douce du bas du canton. De plus, l'énorme progression du glacier du Rhône a occasionné des extensions de glace et de moraine jusque dans le Val-de-Travers et le Val-de-Ruz. Durant cette dernière phase glaciaire, des glaciers locaux et des glaciers de cirque se sont développés sur les hauteurs jurassiennes, dont le Creux-du-Van en est un très bel exemple. La moraine locale qu'il a façonnée avec les déblais arrachés dans le cirque s'est accumulée sur la moraine rhodanienne sous-jacente en aval de Noiraigue, formant un barrage d'une hauteur approximative de 60 mètres. Les craies lacustres qui recouvrent partiellement les sols de molasse d'eau douce inférieure et de moraine du Val-de-Travers, témoignent de la présence d'un grand lac occasionné par cette retenue il y a entre 15 à 20'000 ans (SCHAER *et al.*, 1998).

Hydrogéologie

Les vallées synclinales sont parcourues par des rivières qui s'en échappent, soit sur les traces des décrochements, soit par des cluses ou des semi-cluses qui coupent perpendiculairement les anticlinaux dans les zones d'ensellement en formant des gorges escarpées, comme les deux semi-cluses supérieures et inférieures des Gorges de l'Areuse qui recoupent la première chaîne jurassienne pour évacuer les eaux du Val-de-Travers vers le lac. Certaines cluses par lesquelles s'évacuent les cours d'eau ont de tout temps facilité la construction de voies de communications, à l'exemple des Gorges du Seyon qui permettent l'écoulement des eaux superficielles du Val-de-Ruz en direction de Neuchâtel; ou de la cluse du Col-des-Roches qui relie la vallée du Locle à la vallée du Doubs. Celles de Pertuis et de la Joux-du-Plâne recueillent les eaux des massifs supérieurs pour les évacuer dans le Val-de-Ruz. Dans les hautes vallées fermées de la Brévine et de la Sagne, des marécages et des tourbières se sont implantés sur la moraine de fond argileuse et sur la molasse

1) voir note infrapaginale en page 100
2) L'Oeningien est un terme assez vague qui regroupe des formations de la molasse d'eau douce supérieure du Miocène, et présentant des analogies avec la flore et la faune fossile de la localité de Oehningen au bord du lac de Constance.
3) dont la «Pierre-à-Bôt» à Neuchâtel

en profondeur. L'évacuation des eaux de ces sites s'effectue par des emposieux ou des dolines qui ont permis l'implantation de divers moulins. Ils sont situés à la limite molasse-calcaire, à l'exemple des emposieux des Ponts-de-Martel, de la Brévine, du Col-des-Roches, et aboutissent dans des réseaux souterrains. Ces eaux réapparaissent sous forme de sources vauclusiennes, comme la source de l'Areuse issue de la vallée de la Brévine, celle de la Noiraigue originaire de la vallée de la Sagne, ou encore celle de la Serrière à Neuchâtel, laquelle résulte de l'infiltration des eaux entre le Mont d'Amin et le Mont Racine, pour ne citer que les plus importantes (Cuche, 2010).

Quant aux vallées de La Chaux-de-Fonds et du Locle, leurs eaux s'écoulent d'abord plus ou moins en surface respectivement jusqu'à La Ronde ou au Bied du Locle, puis en profondeur au travers de l'anticlinal de Pouillerel, jusqu'au Doubs. Elles sont ainsi rattachées au bassin du Rhône, contrairement aux autres cours d'eau du canton qui s'écoulent jusqu'à la mer du Nord, par l'Aar et le Rhin.

Les formations calcaires majoritaires déterminent les principaux aquifères régionaux (Mathey, 1976) ce qui a favorisé leur captage pour l'alimentation en eau potable. C'est le cas des deux plus grandes localités du canton (Neuchâtel-Peseux et La Chaux-de-Fonds) qui reçoivent les eaux d'origines karstiques des sources des Gorges de l'Areuse, issues des calcaires du Malm. Le Locle par contre est alimenté par l'aquifère de la craie lacustre oeningienne. On rencontre par ailleurs des aquifères quaternaires graveleux qui constituent une autre part des ressources hydriques du canton; ils sont situés dans le delta de l'Areuse, dans celui du Seyon (qui n'est plus exploité actuellement), aux Prés Royers dans le Val-de-Ruz, dans les accumulations morainiques à l'ouest de Valangin, dans les alluvions de Boveresse, etc.

Les eaux souterraines contenues dans les formations calcaires ou meubles, doivent leur existence à l'alternance des couches géologiques perméables et imperméables. Ce sont les niveaux imperméables qui déterminent la rétention de l'eau dans les aquifères qui les surmontent, ainsi que les régimes d'écoulement régionaux. Les couches peu perméables sont celles du Lias en profondeur, puis celles du Dogger, elles-mêmes surmontées par les puissants marno-calcaires de l'Argovien (200 mètres d'épaisseur dans le bas du canton), suivis par le Purbeckien, l'Hauterivien inférieur et par les principales formations du Tertiaire, à l'exception de l'Oeningien du synclinal du Locle. En ce qui concerne les couches perméables, les calcaires du Malm constituent l'aquifère majeur du Jura neuchâtelois. Une circulation active se manifeste aussi dans les niveaux de plus faible épaisseur, comme les calcaires du Dogger, ainsi que ceux du Valanginien et de l'Hauterivien supérieur. La couverture imperméable des vallées synclinales détermine des bassins à écoulement superficiel qui se perdent en profondeur au contact des couches calcaires à l'exemple du Bied des Ponts, du Bied du Locle, de la Ronde, du ruisseau de la Brévine, etc.

MODELÉ KARSTIQUE

La prééminence des calcaires et des marnes du substratum neuchâtelois, associé à un régime pluviométrique non négligeable, ont occasionné **un modelé de type karstique** (fig. 5). Un relief karstique est caractérisé par des processus d'érosion par dissolution du calcaire (c'est ce qu'on appelle la **corrosion**). La surface de ces reliefs reste relativement sèche, car l'eau de pluie s'enfonce par divers orifices dans la profondeur des massifs, occasionnant une circulation souterraine et une accumulation dans des aquifères (nappes d'eau contenues dans des roches-réservoirs). Cette corrosion favorise le façonnement de très nombreuses

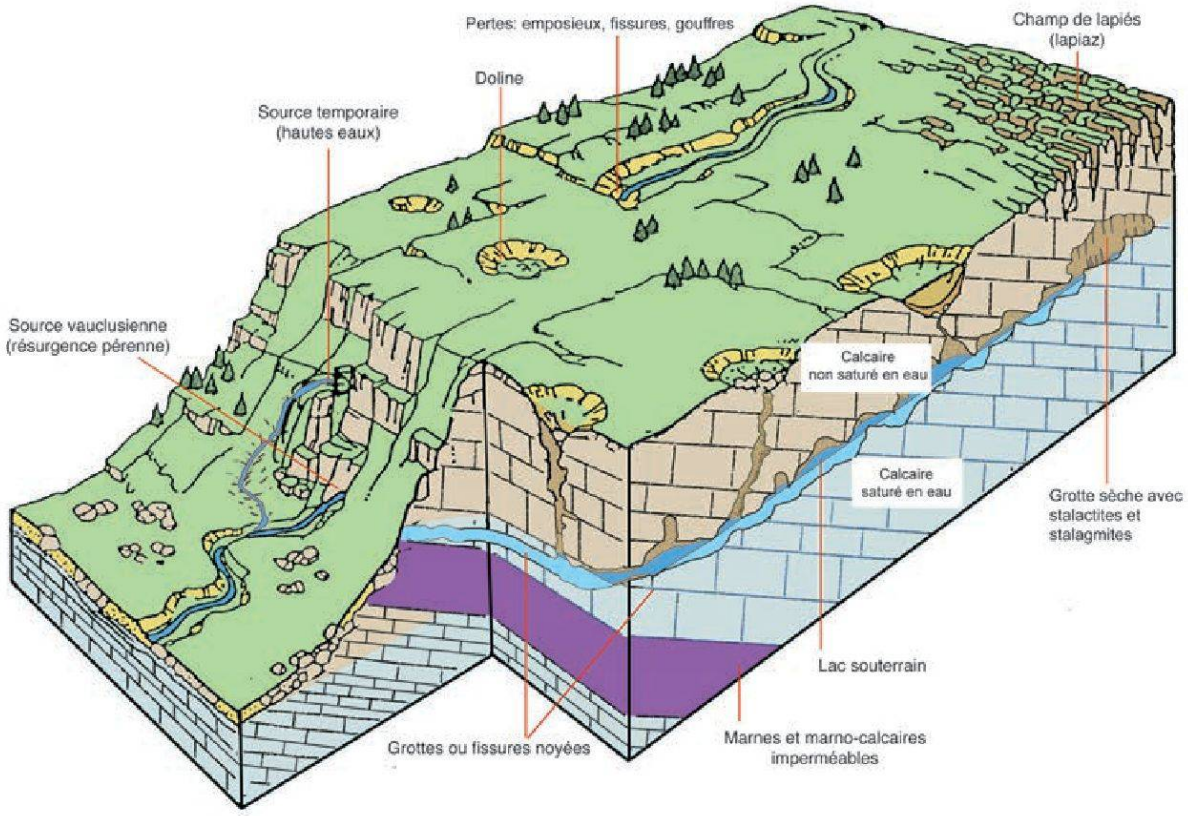


Figure 5: Modelé karstique : principes d'érosion et de circulation des eaux souterraines dans le karst.

cavités, grottes, gouffres et résurgences (plus de 300 selon l'inventaire spéléologique de GIGON, 1976).

Outre le remarquable travail de Gigon, signalons que l'Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie (ISSKA), fondé en 2000 et dont le siège est à La Chaux-de-Fonds, est actuellement très actif dans l'étude des cavités et de la protection des karsts superficiels et souterrains. Cet Institut, unique en Suisse, rayonne dans tout le pays et dans de nombreuses contrées étrangères.

Il est nécessaire de rappeler à ce stade en quoi consiste le phénomène de la karstification ou dissolution des roches calcaires. Au cours de ce processus chimique, résumé par l'équation suivante,

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O\ (=H_2CO_3) \leftrightharpoons Ca(HCO_3)_2$$

l'eau de pluie au contact des sols se charge en gaz carbonique ou CO_2, lequel résulte principalement de l'activité métabolique des microrganismes que les sols renferment. Avec l'eau, le CO_2 forme une certaine quantité d'acide carbonique H_2CO_3, un acide faible qui dissout le carbonate de calcium $CaCO_3$ constituant des roches calcaires. Malgré la faible solubilité du calcaire, l'eau d'infiltration qui percole à travers les fissures de la roche (diaclases) se charge alors petit à petit de calcaire dissous ou bicarbonate de calcium $Ca(HCO_3)_2$. Si elle en contient très peu, elle est qualifiée de douce ; si elle en contient beaucoup, il s'agit d'une eau dure. Une augmentation de la teneur en CO_2 à l'exemple des sols marécageux, conduit à une plus forte dissolution de carbonate[1]. Au contraire, un dégazage du CO_2 dissous provoque une reconversion du bicarbonate soluble en carbonate insoluble. La réaction est donc réversible : si l'eau qui

1) L'eau pure dissous très faiblement le calcaire (env. 15 mg par litre d'eau). Le CO_2 de l'air (0,03%) augmente son pouvoir de dissolution (60 à 80 mg/L). Et l'eau des sols avec une concentration élevée en CO_2 (activité bactérienne) peut dissoudre jusqu'à 200 à 300 mg/L de calcaire (l'eau de l'Areuse et ses affluents contient en moyenne 200 mg/L de calcaire dissous).

contient du bicarbonate de calcium est agitée ou que sa température s'élève, le CO_2 constitutif du bicarbonate est dégazé et le carbonate précipite à nouveau. C'est ainsi que se forment les stalactites dans les cavités, ainsi que le tuf, comme à la cascade de Môtiers par exemple. Dans les milieux peu agités, de très fines particules minérales peuvent se créer, restant en suspension dans l'eau. Elles ne sédimentent qu'en conditions de tranquillité, ce qui est le cas dans les lacs, où elles donnent naissance à la craie lacustre (environ 1 mètre par siècle dans le lac de Neuchâtel). Dans l'ancien lac de la vallée du Locle, il est très probable que la sursaturation et la température élevée de l'eau à l'époque, aient favorisé la précipitation des abondantes craies de l'Oeningien.

Pour le détail, ces réactions de précipitation ou de dissolution dépendent de phénomènes d'équilibres calco-carboniques biogéochimiques et physiques complexes (équilibres entre les carbonates-bicarbonates et la pression partielle du CO_2), influencés par la température, la saturation des bicarbonates-carbonates, les conditions physiques du milieu aquatique, l'altitude, etc. MISEREZ (1973) en a décrit les principaux aspects dans sa thèse.

IMPURETÉS PHYSICO-CHIMIQUES NATURELLES

La dissolution des calcaires et des roches meubles libère dans l'eau souterraine non seulement des ions calcium ou magnésium, mais aussi différents autres composés présents en plus ou moins grandes quantités dans les roches, tels que sodium, potassium, chlorures, sulfates, bicarbonates, nitrates, etc. Selon leur concentration, on peut définir différents **types d'eau.**

L'état dissous des impuretés naturelles contenues dans l'eau fait appel à la notion d'ions, plutôt qu'à celle des sels correspondants. En effet, les sels en solution dans l'eau n'existent pas sous forme combinée, mais sont dissociés en cations et en anions. Un type de représentation largement utilisé depuis longtemps est la **balance ionique**, qui regroupe les différents éléments selon un ordre basé sur leur affinité réciproque. L'ordre le plus communément utilisé est le suivant :

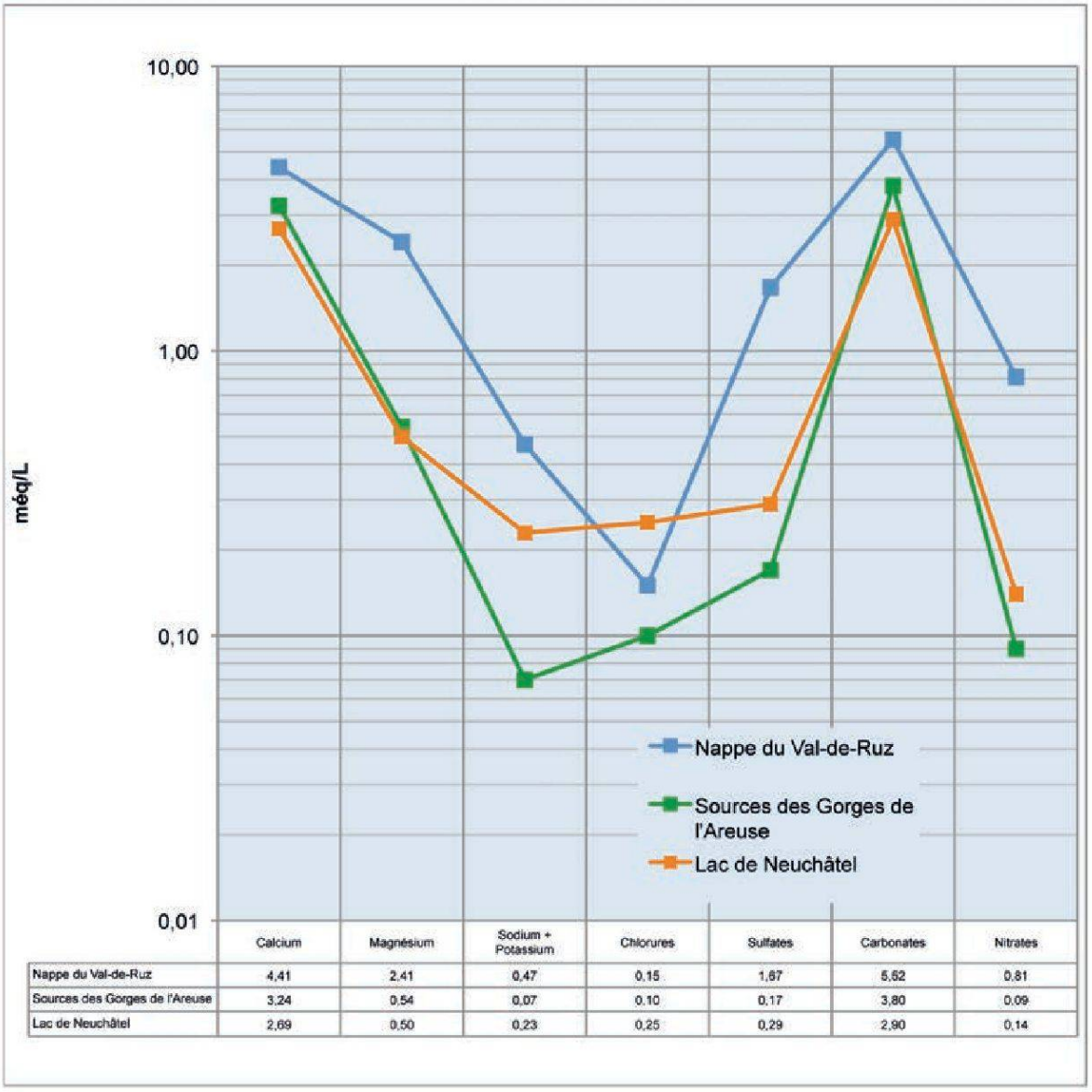
Cations : calcium Ca^{++}, magnésium Mg^{++}, sodium Na^{+}, potassium K^{+}.

Anions : nitrates NO_3^-, sulfates SO_4^{--}, hydrogénocarbonates HCO_3^-, chlorures Cl^-.

La dissociation ionique exige que les cations équilibrent très exactement les anions pour qu'il y ait neutralité. Autrement dit, il ne doit y avoir ni excès de charge positive, ni excès de charge négative dans une eau (la somme des cations = la somme des anions). Le groupement ci-dessus ne tient compte arbitrairement que des ions majeurs, ce qui suffit pour assurer l'équilibre dans les cas courants. Mais en cas de déséquilibre, il faut ajouter le fer et le manganèse pour les eaux qui en contiennent, voire le strontium très courant dans certains karsts ; ou encore la silice s'il y a un déficit en anions. En général, les résultats sont exprimés en **milliéquivalents par litre** (**meq/L**) pour tenir compte de la masse moléculaire et de la valence du ion (fig. 6 et tab. 4, p. 140).

Dans les karsts neuchâtelois, les bilans ioniques démontrent que ces karsts renferment majoritairement des **eaux de type bicarbonaté calcique** (fig. 6). A part les eaux parfois très sulfatées de la molasse, toutes les eaux régionales bicarbonatées-calciques sont riches en **calcium** (de l'ordre de 60 à 90 mg/L) et en **bicarbonates** (de 190 à 280 mg/L), avec des teneurs en sodium, potassium, chlorures, en général inférieures à 5 mg/L. Les teneurs en magnésium sont variables (de 3 à 30 mg/L en fonction des roches traversées), de même que les teneurs en nitrates, inférieures généralement à 10 mg/L, mais qui peuvent dépasser 50 mg/L dans les zones agricoles lorsque l'influence des engrais se fait sentir (Val-de-Ruz par exemple). Le tableau 6 (p. 142 et 143) représente la composition chimique de quelques eaux d'origine locale, comparée à des échantillons d'autres provenances.

La **dureté** varie en fonction des concentrations en calcaire dissous obtenues dans les terrains traversés et s'exprime en degrés français (°f) ou en milligrammes par litre



	Calcium	Magnésium	Sodium + Potassium	Chlorures	Sulfates	Carbonates	Nitrates
Nappe du Val-de-Ruz	4,41	2,41	0,47	0,15	1,67	5,52	0,81
Sources des Gorges de l'Areuse	3,24	0,54	0,07	0,10	0,17	3,80	0,09
Lac de Neuchâtel	2,69	0,50	0,23	0,25	0,29	2,90	0,14

Figure 6 : Principaux types d'eau exploités dans la région de Neuchâtel, exprimés sous la forme de la balance ionique en méq/L. Le graphique ci-dessus montre que les eaux régionales appartiennent toutes au type bicarbonaté-calcique, avec de légères nuances selon les origines :

• L'eau de la nappe phréatique des terrains meubles du Val-de-Ruz (site des Prés-Royers) a une dureté plus élevée (environ 30°f) que les autres types d'eau. Elle renferme plus de calcium et de bicarbonates, et elle contient aussi un peu plus de sulfates et de nitrates (influence de l'agriculture d'une part, et de la molasse sous-jacente d'autre part).

• L'eau des sources des Gorges de l'Areuse est moyennement dure (environ 20°f), et renferme beaucoup moins de sels (sodium, potassium, chlorures et sulfates) que dans les autres eaux, ce qui est typique du karst.

Si l'on effectue la somme des cations et des anions de ces deux premiers types d'eau, on constate un léger déficit du côté des cations, certainement dû au strontium non analysé dans ce cadre.

• L'eau du lac de Neuchâtel a une dureté plus basse (environ 15°f) que les eaux de ses affluents (concentration plus faible en calcium et en bicarbonates), mais plus élevée en sels, chlorures notamment, du fait des rejets de STEP qui s'y déversent.

(mg/L) de $CaCO_3$, voire en millimoles (mmole) de $CaCO_3$ (1°f = 10 mg/L $CaCO_3$ = 0,1 mmole/L $CaCO_3$) ou encore en milliéquivalents (1°f = 0,2 méq/L). Elle conditionne les équilibres calco-carboniques de l'eau, notamment le pH (le pH d'équilibre des eaux karstiques est habituellement compris entre 7,8 à 8,2). Sur le terrain, on établit usuellement trois catégories de duretés de l'eau :

- Eaux douces à mi-dures : de 0 à 15°f
Compte tenu du substratum calcaire, il n'y a pas d'eaux très douces dans la région. L'eau du lac de Neuchâtel est un cas limite : env. 150 mg/L $CaCO_3$ = **15°f**. Dans ce cas, une partie du substrat carboné des bicarbonates amenés par les affluents est assimilée par les algues ; il y a également des remises en phase d'équilibre avec la masse d'eau ce qui fait qu'une partie des apports en calcaire dissous précipite et donne de la **craie lacustre** au fond du lac, d'où cette dureté plus basse et constante.

- Eaux mi-dures : entre 15 à 25°f
Eau des grandes résurgences karstiques : sources de l'Areuse, de la Noiraigue, de la Serrière, etc : environ 200 mg/l $CaCO_3$ = **20°f**. (Les eaux d'un même bassin ont des duretés semblables).

- Eaux dures : entre 25 à 40°f, voire davantage
Eaux d'origine marneuse, terrains meubles : dépôts de molasse, moraine, matériaux fluvio-glaciaires, deltas : 300 à 400 mg/l $CaCO_3$ = **30 à 40°f**. Dans ces terrains, les échanges avec l'eau sont plus importants.

Dans la pratique des distributeurs d'eau et des professionnels, la Loi fédérale sur les denrées alimentaires (LDAl) du 9 octobre 1992), impose six classes de duretés :

°f	mmole	catégories
0 à 7	0 à 0,7	très douce
7 à 15	0,7 à 1,5	douce
15 à 25	1,5 à 2,5	moyennement dure
25 à 32	2,5 à 3,2	assez dure
32 à 42	3,2 à 4,2	dure
≥42	≥4,2	très dure

Globalement, les eaux du canton de Neuchâtel ont des duretés comprises entre 15°f au minimum et 32°f au maximum. Selon la tabelle ci-dessus, elles sont comprises entre des « eaux mi-dures à assez dures » (fig. 7).

Dans le canton, 65 % des captages exploités pour l'eau de boisson proviennent des sources d'origine karstique (contre 40 % pour le reste de la Suisse). Le solde des eaux d'alimentation provient pour 26 % d'aquifères de terrains meubles exploités sous forme de puits filtrants dans les terrains tertiaires et quaternaires des vallées et du bord du lac (40 % en Suisse) ; et pour seulement 7,5 % en provenance d'eau de surface, essentiellement le lac de Neuchâtel (20 % en Suisse). A noter encore une fraction de 1,5 % d'eau de citerne alimentant les zones sèches du Haut-Jura. Ainsi, du fait des immenses possibilités d'accumulation d'eau dans les calcaires et les terrains meubles, plus de 90% de l'eau potable du canton provient des eaux souterraines, le solde étant prélevé dans le lac, comme eau d'appoint.

Par ailleurs, les calculs effectués par Miserez (1973) ont démontré, sur la base d'une dureté moyenne de l'eau de l'Areuse de 20°f (200 mg/L $CaCO_3$), que ce chiffre correspond à une ablation moyenne du bassin d'alimentation de 0,1 mm/an, pour l'ensemble des surfaces calcaires concernées ; ce qui constitue une charge estimée, de 70 à 80'000 tonnes (soit 30 à 40'000 m^3) de calcaire dissous par année, que l'Areuse et ses affluents (débit moyen calculé de 11 m^3/s) évacuent dans le lac de Neuchâtel. Une telle ablation conduit à une usure moyenne des massifs d'environ 100 m en 1 million d'années. On comprend mieux de ce fait l'importance que la karstification représente pour l'évolution morphologique des anticlinaux jurassiens et pour les dépôts lacustres[1].

MORPHOLOGIE KARSTIQUE ET COMPORTEMENT DES AQUIFÈRES :

Les phénomènes de dissolution par l'eau occasionnent une morphologie particulière des reliefs jurassiens, en particulier les

1) L'érosion fluviatile mécanique qui a créé les deltas de l'Areuse et du Seyon dans le lac de Neuchâtel, occasionne sur le long terme une charge de matières en suspension comparativement bien moindre que les matériaux dissous éliminés par la corrosion, dont l'action est permanente.

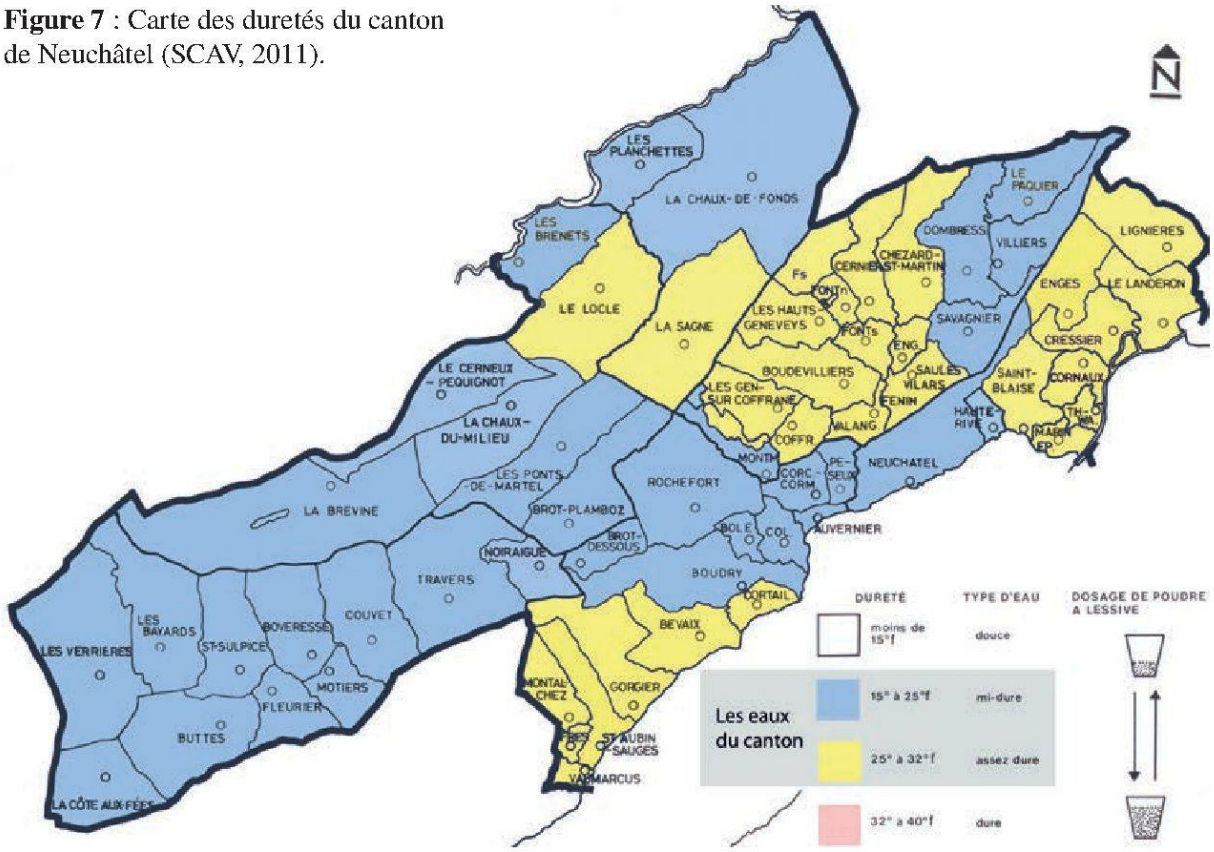


Figure 7 : Carte des duretés du canton de Neuchâtel (SCAV, 2011).

larges croupes des sommets des chaînes anticlinales. On y découvre de nombreuses variétés d'orifices d'infiltration des eaux pluviales (fig. 5), tels les **lapiez** (fissures de dissolution), les **dolines** (entonnoirs fermés dans le sol), les **emposieux** (entonnoirs avec pertes d'eau visibles), et aussi les **poljés** (grands bassins fermés synclinaux, comme les vallées de la Sagne et de la Brévine). Les dolines et les emposieux sont souvent disposés en chaînes le long des contacts calcaires-marnes, mais ils sont parfois difficiles à distinguer du fait du camouflage par la végétation.

Les eaux recueillies dans ces multiples orifices, ainsi que dans les fissures et diaclases, parviennent tout d'abord dans **la zone supérieure de drainage** dite **non saturée**. Au-dessous, les eaux occupent tous les espaces poreux de la **zone saturée** (environ 4,5 ‰, c'est-à-dire 4,5 litres par m^3 de roche selon MATHEY, 1976, dans les calcaires jurassiens). En fait, la perméabilité de ces zones est très hétérogène, car déterminée par des joints très fins dans les blocs calcaires massifs : mesurée par essais d'injection dans les forages, elle est comprise entre 10^{-6} et 10^{-7} m/s. La zone saturée est limitée en profondeur par un **substratum imperméable** comme celui de l'Argovien marneux (200 m d'épaisseur) sous les calcaires du Malm, les autres aquifères étant limités comme nous l'avons vu plus haut, par les marnes de l'Hauterivien inférieur, du Lias, du Dogger, du Purbeckien, ainsi que par certaines formations du Tertiaire.

Dès lors à l'intérieur des massifs, les eaux infiltrées créent d'innombrables et vastes réseaux hydrographiques souterrains, qui réapparaissent à la surface, plus bas et plus loin, au contact d'un niveau de base occupé par une des rares rivières collectrices de surface. Ces rivières sont en général situées

dans des vallées bien entaillées comme l'Areuse et le Doubs. La première draine avec ses affluents le bassin régional du Val-de-Travers, tandis que le second, qui fait frontière avec la France, recueille les eaux des vallées des Montagnes. Les autres cours d'eau ne sont que des ruisseaux le plus souvent temporaires, à l'exception du Seyon qui rassemble les eaux superficielles du Val-de-Ruz. La Serrière et la Noiraigue qui sont de puissantes résurgences, n'ont cependant que des parcours aériens très courts.

Par ailleurs, toute la morphologie karstique jurassienne, surtout sa bordure, a été en plus considérablement influencée et remaniée par les grandes glaciations quaternaires, en particulier celle du Würm, durant laquelle le glacier du Rhône remontait jusque dans le Val-de-Travers et le Val-de-Ruz à son apogée, il y a 20'000 ans. A la même époque, le massif jurassien situé au nord de ces vallées, était recouvert d'une importante calotte glaciaire indépendante du glacier du Rhône qui s'étirait à partir de 1200 m d'altitude environ. Tous ces glaciers ont disparu il y a environ 10'000 ans, non sans avoir laissé d'abondantes traces, telles l'approfondissement des gorges de l'Areuse et du Seyon (torrents sous-glaciaires) ; les immenses dépôts de moraines et de blocs erratiques, en particulier dans la bordure sud du canton ; les creux de glace comme la glacière de Monlési près de la Brévine ; ou encore le pergélisol du fond du cirque du Creux-du-Van. Par le colmatage des hautes vallées, ils ont permis l'apparition de grands marais (vallées de la Sagne et de la Brévine), ou de lacs comme celui du Val-de-Travers (grâce au barrage de la moraine de fond du Creux-du-Van), ou le lac supérieur de la région du Seyon - Pierre-à-Bot au-dessus de Neuchâtel (emprisonné par la moraine latérale du glacier du Rhône). Ces lacs ont disparu il y a quelques milliers d'années suite à l'érosion de ces barrages morainiques.

Enfin, rappelons que l'équilibre hydrologique est encore compliqué par les accidents tectoniques transversaux ou **décrochements** (La Ferrière, La Tourne, Chaumont, comme vu plus haut) qui recoupent et drainent les plis anticlinaux en plusieurs endroits.

2. LES GRANDS BASSINS HYDROLOGIQUES NEUCHÂTELOIS

Dans le canton, les éléments les plus spectaculaires de la morphologie karstique sont les trois grands bassins régionaux qui drainent chacun d'importants réseaux d'eau souterraine. Ces trois grands bassins comprennent chacun un certain nombre de bassins secondaires dits **bassins sectoriels** ou encore **bassins versants** (fig. 8).

Il y a tout d'abord le **bassin régional du Val-de-Travers** à l'ouest, alimenté par d'importantes résurgences karstiques. La plus importante, celle de la Doux-Areuse, draine la vallée de la Brévine et celle des Verrières. Sans oublier le Buttes, tout à l'ouest, affluent de l'Areuse alimenté lui aussi par des résurgences. Plus en aval, la source de la Noiraigue reçoit l'eau de la vallée de la Sagne et des Ponts-de-Martel.

Le **bassin du Val-de-Ruz** au centre, est drainé par la Serrière souterraine et par le Seyon en surface.

Enfin, la **vallée du Locle et de La Chaux-de-Fonds** au nord, dont les pertes respectives à l'ouest et à l'est de ce synclinal fermé aboutissent dans le Doubs.

Il faut préciser ici que dans le Jura, les lignes de partage des eaux ne sont pas forcément liées aux crêtes topographiques. En fonction de l'orientation des couches de roches et de leur perméabilité, il n'est pas rare que l'eau qui s'infiltre d'une crête s'écoule à travers les roches vers l'autre versant de la montagne (Hapka, 1997), et que les destinations des eaux changent en fonction des conditions de crues ou d'étiages. Partant de là, on constate que la ligne de partage des eaux entre le Rhône et le Rhin traverse le canton de Neuchâtel. Les bassins du Val-de-Travers et du Val-de-Ruz, par l'intermédiaire de l'Areuse, de la Serrière et du Seyon, se déversent dans la Mer du Nord, via l'Aar et le Rhin, tandis que les eaux infiltrées dans les vallées du Locle et de la Chaux-de-Fonds rejoignent la Méditerranée par le Doubs, la Saône puis le Rhône.

En ce qui concerne les vitesses d'écoulement des eaux souterraines de ces bassins[1], Mathey (1976) signale qu'elles varient de 5 à 300 m à l'heure (mesures de traçages). L'âge moyen de certaines résurgences (en dehors des périodes de crues où l'eau s'infiltre et déborde rapidement) a été mesuré par des analyses isotopiques du tritium. Les résultats ont indiqué 3 mois pour l'Areuse, 6 à 7 mois pour la Serrière et environ 10 ans pour certaines sources des gorges de l'Areuse.

L'une de ces sources dénommée Combe Garot, située à proximité de l'usine du même nom, captée par l'ancien Service des Eaux de Neuchâtel et actuellement exploitée par la Société Viteos, renferme une des plus rares populations de microcrustacés souterrains d'Europe (Moeschler *in* : Hapka *et al*, 1997). On y a découvert en particulier une espèce de crustacé planctonique baptisé *Gelyella monardi*, en l'honneur du zoologue chaux-de-fonnier Albert Monard (voir reconstitution ci-dessous). Cet organisme serait un descendant des faunes marines qui, il y a quelque 20 millions d'années au Miocène, ont colonisé les rivages de la mer tertiaire (molasse marine inférieure) qui s'étendait au front des Alpes, de Vienne à Marseille. Fossile vivant, il a d'abord migré dans les eaux du domaine continental où il a survécu jusqu'à nos jours, après s'être adapté aux conditions particulières du milieu karstique souterrain. Cette découverte témoigne de la complexité des aquifères régionaux.

Gelyella monardi
Dessin : Cédric Marendaz et Pascal Moeschler
© Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Genève

1) Dans les calcaires parsemés de multiples fissures et de diaclases, dues à l'origine aux tensions tectoniques, l'écoulement de l'eau souterraine est très variable : il s'effectue par des trajets lents dans les microfissures, avec des vitesses de l'ordre du mètre par mois, voire du mètre par an ; alors que dans les grands réseaux de fractures et de failles (grottes, etc), ces vitesses atteignent le mètre par min, voire le mètre par seconde, comme pour les cours d'eau de surface.

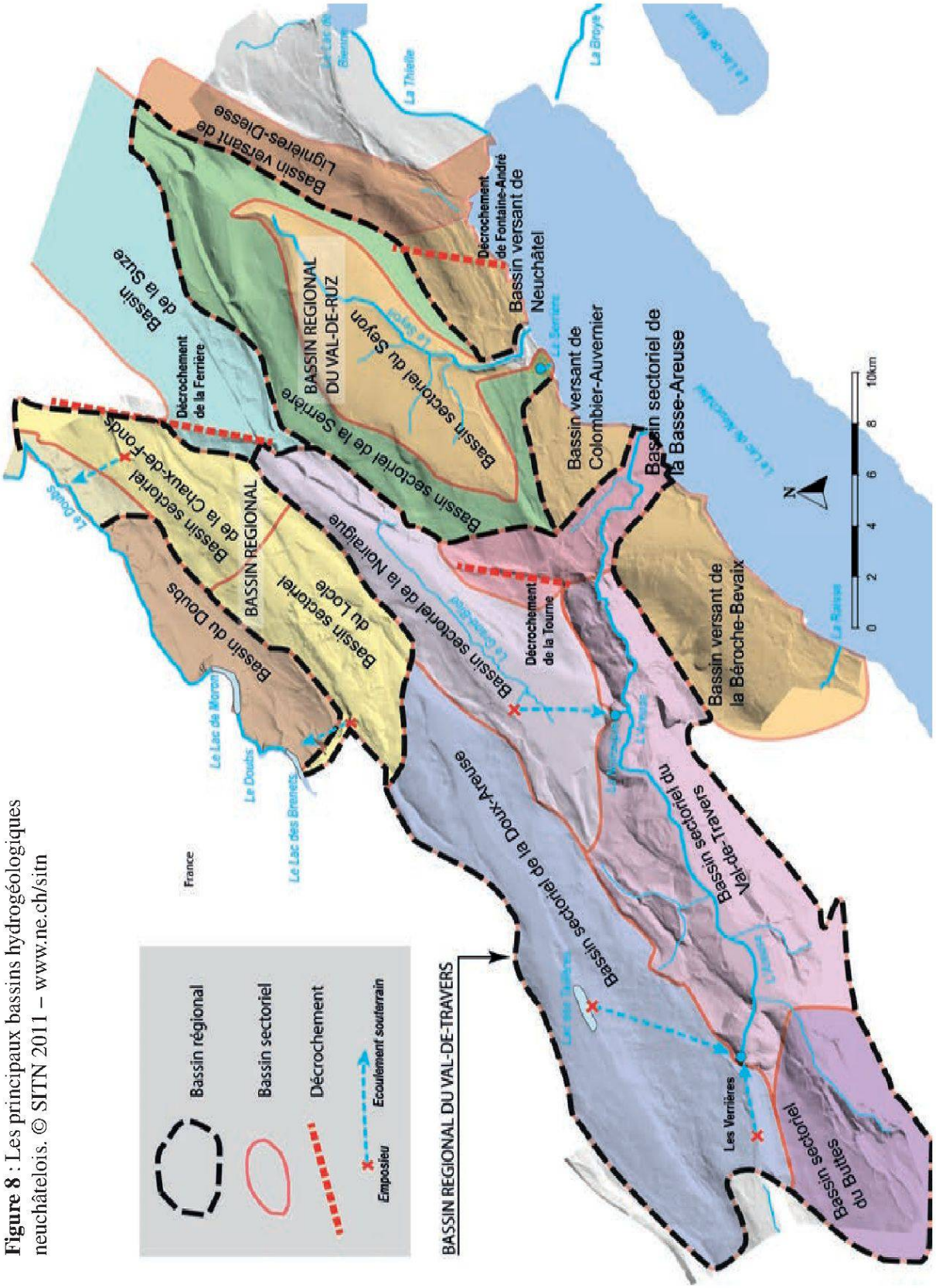


Figure 8 : Les principaux bassins hydrogéologiques neuchâtelois. © SITN 2011 – www.ne.ch/sitn

BASSIN DU VAL-DE-TRAVERS OU BASSIN RÉGIONAL DE LA DOUX-AREUSE

Le bassin de la Doux-Areuse est le plus grand des trois avec 405 km^2 de surface (Burger, 1959). Il draine aussi bien le Val-de-Travers et les chaînes anticlinales bordières, que les bassins locaux des vallées de la Brévine, de la Sagne, des Ponts et des Verrières. L'Areuse à Boudry (rivière de base) y a un débit moyen calculé de 11,8 m^3/s. Un maximum de 170 m^3/s a été mesuré lors de la crue magistrale de 1990 ; le minimum observé est de 0,27 m^3/s.

L'essentiel du réseau hydrographique de ce bassin régional (fig. 9) est souterrain (Burger, 1959). Il regroupe les bassins sectoriels de la Doux-Areuse (128 km^2), de la Noiraigue (72 km^2), du Buttes ou de la Noirvaux (77 km^2), du Val-de-Travers proprement dit (102 km^2) et de la Basse-Areuse (26 km^2). L'Areuse et son lit à ciel ouvert constituent le niveau de base karstique qui recueille l'essentiel des eaux souterraines de ces bassins-versants. Les principaux exutoires jaillissent au-dessus du niveau de l'Argovien, du fait de l'immense développement du Malm (Stettler, 1990). Outre les deux principales résurgences pérennes de l'Areuse et de la Noiraigue qui drainent les bassins synclinaux de La Brévine et La Sagne, on trouve toute une série de sources temporaires le long de la bordure de la chaîne anticlinale nord du Val-de-Travers, dont notamment les sources du Pont-de-la-Roche à Fleurier, la résurgence du Loquiat à Travers, et les sources du Crêt-de-l'Anneau en bordure de route entre Travers et Noiraigue.

Le principal affluent de l'Areuse, la Noiraigue, draine en amont par voie de surface la vallée marécageuse de la Sagne et des Ponts sous le nom de Bied des Ponts, lequel disparaît dans l'impressionnant emposieu du Voisinage à Martel-Dernier, pour rejoindre l'Areuse à Noiraigue, après un parcours souterrain de 4 km, et un petit parcours aérien de 400 m. Elle a un débit moyen de 2 à 3 m^3/s. Son maximum, tout-à-fait exceptionnel, qui a été mesuré lors de la grande crue de 1990, atteint 13,9 m^3/s et son minimum seulement 0,17 m^3/s.

L'origine des grandes résurgences souterraines du Val-de-Travers est connue depuis le 18ème siècle (Schaer, 2009) et a été prouvée par les essais de traçages de Schardt au début de ce siècle (sources de l'Areuse et de la Noiraigue). L'Areuse est originaire de la vallée de la Brévine (pertes principales du lac des Taillères, du Moulinet et de l'Anéta) et du vallon des Verrières (fig. 9 et fig. 10c). La Noiraigue provient du drainage de la vallée de la Sagne et des Ponts (fig. 10b). Ces vallées marécageuses permettent une importante rétention de l'eau, ce qui favorise un écoulement relativement régulier durant toute l'année au niveau des sources de base. Ce phénomène était bien plus marqué avant les drainages réalisés par les améliorations foncières, il y a une cinquantaine d'années. Selon la pluviométrie, l'Areuse souterraine met de 12 heures à environ 3 jours pour s'écouler de la Brévine à la source de la Doux (6,5 km); et la Noiraigue souterraine, environ 8 heures jusqu'à 24 heures, depuis les Ponts-de-Martel à la source (4 km).

Le bassin sectoriel du Buttes tout en amont, est alimenté au départ par les sources issues du noyau molassique de l'Auberson (Burger, 1959). Il reçoit en cours de route l'apport de résurgences importantes issues des synclinaux du Val-de-Travers et de la Côte-aux-Fées. Il s'agit des sources pérennes des Raies et de la résurgence temporaire de la Baume de Longeaigue, laquelle assure le trop-plein des sources des Raies en cas de crues. La Baume de Longeaigue, qui est par ailleurs la plus longue cavité explorée du canton de Neuchâtel (Gigon, 1976) avec un développement de plus de 2,2 km, est une source de débordement typique sur l'Argovien imperméable. Son débit en crue peut dépasser 5 m^3/s.

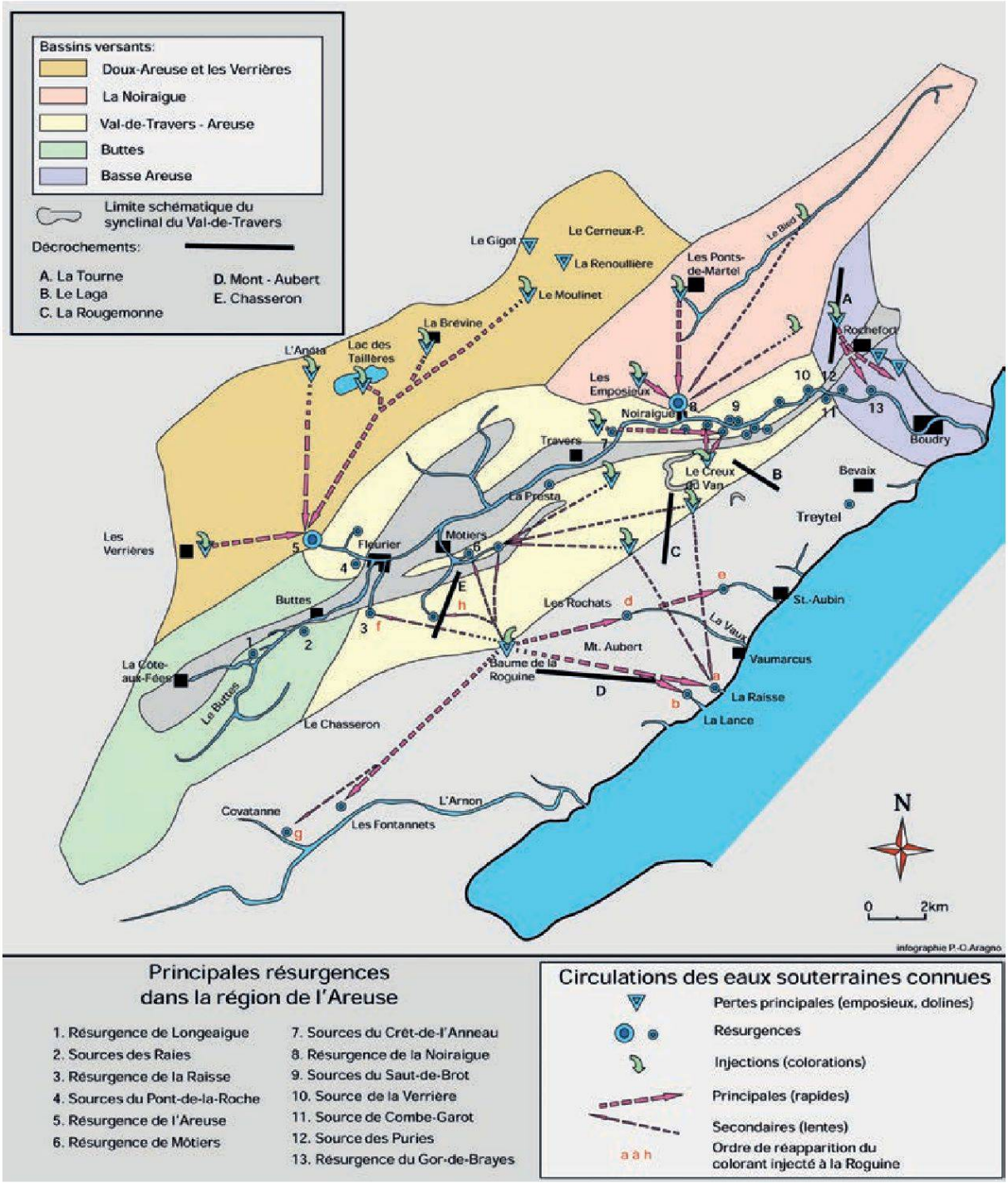


Figure 9 : Principales circulations des eaux souterraines dans la région de l'Areuse.

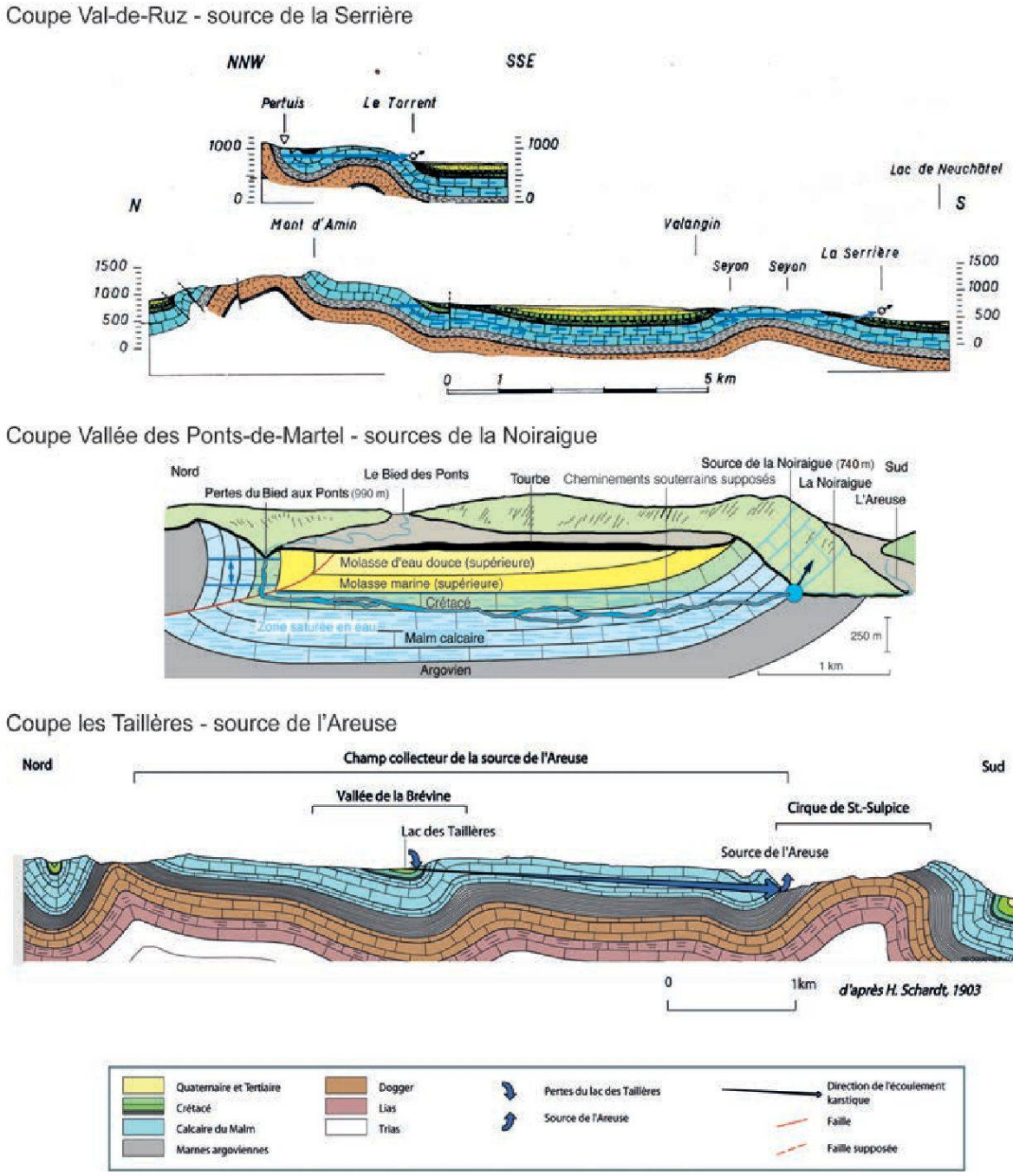


Figure 10 : Coupes géologiques schématiques des trois principales résurgences du canton :
a) Source de la Serrière – Val-de-Ruz – Mt d'Amin (d'après MATHEY, 1976).
b) Source de la Noiraigue – Le Bied des Ponts (d'après HAPKA *et al,* 1997).
c) Source de l'Areuse – Lac des Taillères (d'après RICKENBACH, 1925).

Sur la rive droite de l'Areuse, la zone sommitale de la Montagne de Boudry, à l'ouest du Creux-du-Van (fig. 9), présente une hydrologie complexe (Jeannin & Wacker, 1987 et Isska, 2011). Elle fonctionne comme zone de partage sommitale où 80 % des eaux d'infiltration s'écoulent en direction du lac de Neuchâtel vers les résurgences de la Lance et de la Raisse près de Vaumarcus, avec un temps de parcours moyen qui varie de 4 à 14 jours. Les 20 % restants sont évacués pour une part plus à l'amont jusqu'à la Covatanne en-dessous de Ste-Croix, et pour le reste, vers le Val-de-Travers à Môtiers (le Riau) et à Fleurier (la Raisse). Là, les temps de parcours sont plus longs et dépassent 25 jours.

Les très nombreuses sources des gorges de l'Areuse situées en aval de Noiraigue convergent sur les deux rives de la vallée de Champ-du-Moulin (Stettler, 1990). Ce sont leurs eaux qui fournissent l'eau de boisson des villes de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds, ainsi que celle de Boudry. Par leur position en aval du système hydrologique du bassin du Val-de-Travers (Burger, 1986), qui s'étend en gros de Travers à Champ-du-Moulin, et par leur abondance, ces sources justifient la dénomination de «**zone d'appel d'eau**» de cette région. En tant que sources pérennes, elles représentent les décharges d'une succession d'aquifères souterrains, étagés du Dogger au Quaternaire, situés soit dans des calcaires plus ou moins fissurés, soit dans des terrains meubles (moraines, alluvions et éboulis). Les résurgences les plus importantes ont un rayon d'alimentation dépassant largement la région des gorges, pouvant même remonter jusqu'à La Presta (Burger, 1987). Issues des aquifères du Malm, limitées par l'important niveau imperméable de l'Argovien, elles assurent 60 % des débits des sources des Gorges de l'Areuse. Dans cette optique, les résurgences temporaires du flanc nord du Val-de-Travers, comme le Loquiat et les sources du Crêt-de-l'Anneau, originaires de la Vallée des Ponts, fonctionneraient également, selon Bürger, en tant que sites de débordement des aquifères du Malm en cas de crues. Elles constitueraient à ces périodes, le trop-plein des sources des Gorges de l'Areuse.

A l'extrémité est du bassin régional de l'Areuse, il convient en outre de signaler l'emplacement du petit bassin sectoriel de Rochefort - Basse-Areuse (fig. 11), qui présente sur un minuscule territoire, avec le Merdasson[1], un ruisseau temporaire affluent de l'Areuse, un exemple particulièrement démonstratif de la complexité du karst souterrain neuchâtelois (Stettler, 1990). Situé en partie à l'emplacement du décrochement de La Tourne et de la remontée axiale de l'anticlinal de la Montagne de Boudry et de son pli-faille, le Merdasson, qui jaillit au-dessous de Rochefort (750 m) en période de pluie, se perd un peu plus bas (680 m) dans les calcaires du Portlandien à proximité de la ligne CFF La Chaux-de-Fonds-Neuchâtel. Il réapparait à deux endroits opposés : d'une part à la source des Puries (530 m) sur la rive gauche de l'Areuse dans le secteur de Combe-Garot ; d'autre part sur l'Hauterivien imperméable (590 m) plus en aval dans la gorge du Merdasson. De là, le ruisseau se perd une nouvelle fois au niveau des calcaires valanginiens (560 m), pour réapparaître encore, mais cette fois de manière pérenne, sur la molasse Oligocène (540 m) bordière de la chaîne jurassienne. De plus le tout est compliqué par la présence d'un autre cours d'eau souterrain temporaire, issu des pertes de la Grande Sagneule, derrière le Mont Racine, et qui réapparait à la résurgence du Gor-de-Braye (500 m), au-dessous de Combe Garot sur la rive gauche du cañon de l'Areuse. Cette eau souterraine suit un parcours induit par le décrochement, qui se situe au-dessous de celui du Merdasson et qui croise le tracé de l'eau qui s'écoule vers les Puries. C'est dire la complexité de ce système qui n'est d'ailleurs pas encore totalement élucidé.

Enfin, en dehors des principaux aquifères du Malm, le Val-de-Travers renferme aussi des nappes phréatiques dans les terrains quaternaires, ainsi que d'autres gisements d'eau dans le Tertiaire, le Crétacé et

1) Le Merdasson : terme péjoratif utilisé par les habitants du lieu pour désigner ce ruisseau receveur de tous les déchets du village de Rochefort, matières fécales et autres résidus, y compris ceux de la décharge régionale située en contrebas en bordure du lit du cours d'eau ; ceci antérieurement à l'implantation de la STEP locale dans les années 1970. Si la plupart des cours d'eau étaient dans le même état catastrophique à l'époque, c'est le seul qui se soit vu attribuer ce nom bien caractéristique !

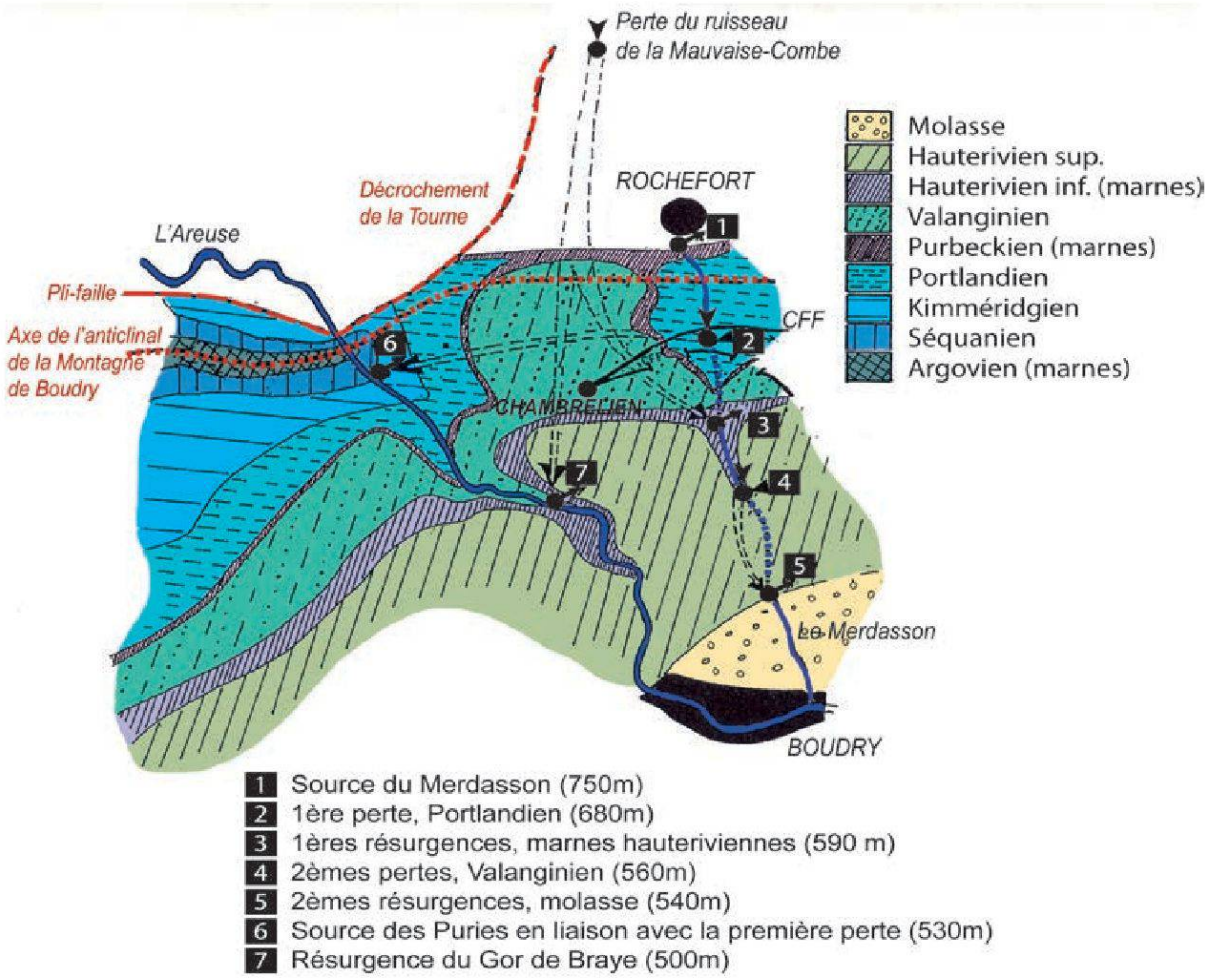


Figure 11 : Circulations d'eaux souterraines complexes du secteur du Merdasson-Rochefort (STETTLER, 1990)

le Dogger (Gorges de l'Areuse). Il convient à cet égard de citer l'eau d'exhaure[1] des anciennes mines d'asphalte de la Presta qui pourrait provenir du Malm sous-jacent. Il ne faut pas omettre non plus les affluents superficiels de l'Areuse, qui sont toutefois de peu d'importance. Selon BURGER (1959), quelques-uns d'entre eux, au régime très variable, prennent naissance dans des combes argoviennes latérales (Deneyriaz, Bied de Môtiers, Sucre de Couvet). D'autres évacuent les eaux de petits synclinaux et de fractions du Crétacé : ruisseau des Riaux, sources des Chénées, etc, sur le flanc méridional du Val-de-Travers ; sources du Mt de Couvet, du Loquiat, etc, sur son flanc septentrional. D'autres forment des chenaux conduisant à l'Areuse, comme ceux des principales résurgences (La Raisse à Fleurier, La Noiraigue, le Merdasson dans la Basse-Areuse). D'autres encore recueillent les eaux des nappes phréatiques du fond de la vallée (Bied de Boveresse, canal du Pré-Monsieur, etc).

En résumé, dans tout le Val-de-Travers, les calcaires du Malm, épais de plus de 300 m, permettent l'accumulation de volumes d'eau considérables. Ils conditionnent les principales résurgences du flanc nord du bassin de l'Areuse, en amont des gorges, à savoir la source de l'Areuse, celle de la Noiraigue et les sources des Gorges de l'Areuse qui ne tarissent jamais.

1) Exhaure : eaux issues de mines ou de carrières, évacuées artificiellement ou naturellement.

BASSIN RÉGIONAL DU VAL-DE-RUZ

Cette zone (fig. 12), comprend les bassins sectoriels de la Serrière et du Seyon (MATHEY, 1976). Ces deux rivières provenant du Val-de-Ruz sont étroitement liées du point de vue hydrogéologique. Elles résultent de spectaculaires phénomènes de dissolution des terrains calcaires régionaux. Mais elles diffèrent l'une de l'autre par leur position et par leurs aquifères. Les terrains karstiques du Val-de-Ruz sont perméables à l'eau, mais une partie du sous-sol du centre de la vallée est constituée d'épaisses couches imperméables continues, formées de molasse marneuse tertiaire, recouvertes par des dépôts marneux et graveleux abandonnés par le glacier du Rhône il y a environ 10'000 ans. Cela fait que cette large vallée comprend deux bassins superposés séparés par ces couches imperméables, celui de la Serrière en profondeur et celui du Seyon en surface. Celui de la Serrière a une surface de 88 km^2, et celui du Seyon de 40 km^2.

Avec le Seyon en surface, et la Serrière en profondeur, c'est toute la région du Val-de-Ruz au sens large, qui est drainée. La Serrière a un débit moyen calculé de 2,5 m^3/s (minimum 0,02 m^3/s en 1988, et maximum de 11,3 m^3/s en 1982). Le Seyon, rivière de surface, a un débit moyen de 1,52 m^3/s (minimum de 0,02 m^3/s en 1985 et maximum de 34,5 m^3/s en 1983). Les travaux de MATHEY (1976) ont permis d'obtenir une très bonne représentation de la structure complexe de ces deux bassins superposés, qui constituent un remarquable phénomène karstique (coupe fig. 10a et fig. 12).

Le bassin de la Serrière

Le bassin alimentaire de la source de la Serrière à Neuchâtel est compris entre les deux premières chaînes du Jura plissé : anticlinal de Chaumont au sud et anticlinal du Mont Racine - Tête-de-Ran - Mont d'Amin au nord (l'altitude de ces massifs est comprise entre 1100 et 1400 m). La limite du bassin se prolonge même à l'est jusqu'à la Joux-du-Plâne et se termine aux Bugnenets et à la Combe-Biosse. L'Argovien, marneux en profondeur, constitue la limite imperméable de ces structures, au niveau des contacts Callovien - Argovien - Séquanien. Différentes pertes situées autour du large synclinal du Val-de-Ruz, alimentent l'aquifère de la Serrière, notamment les pertes de la Combe-des-Aux dans le Dogger de l'anticlinal du Mont Racine, la perte du ruisseau de Pertuis dérivée artificiellement dans le gouffre du même nom (-150 m), les pertes du ruisseau des Bugnenets et des marais des Pontins entre autre.

Toutes ces eaux s'écoulent en profondeur dans les calcaires du Malm et rejaillissent à la source pérenne de la Serrière à Neuchâtel, dans le Crétacé, à la base des calcaires de l'Hauterivien supérieur, au fond d'une reculée, située à 475 m d'altitude. Les essais de traçage effectués par B. MATHEY de 1967 à 1971 ont permis de mesurer le temps de parcours de la Serrière souterraine entre Pertuis et Neuchâtel, qui est particulièrement rapide, soit 66 heures (environ 3 jours) en période normale (188 m/h) et 38 heures en période de crue (305 m/h). La résurgence est située à 700 m du lac et à 45 m au-dessus de son niveau. Ce petit parcours a été largement utilisé autrefois comme source d'énergie par des moulins et de nombreuses industries, dont les papeteries de Serrières pendant 500 ans et la fabrique de chocolat Suchard pendant 170 ans (de 1826 à 1996).

Par ailleurs, l'aquifère de la Serrière possède un trop-plein en cas de crues importantes : il s'agit de la résurgence du Torrent, située entre St Martin et Dombresson. Elle débite quelques jours par an lors de grandes pluies, ce qui permet d'évacuer le surplus d'eau de la Serrière dans le Seyon. Un groupe de spéléologues l'a explorée et dégagée récemment en profondeur.

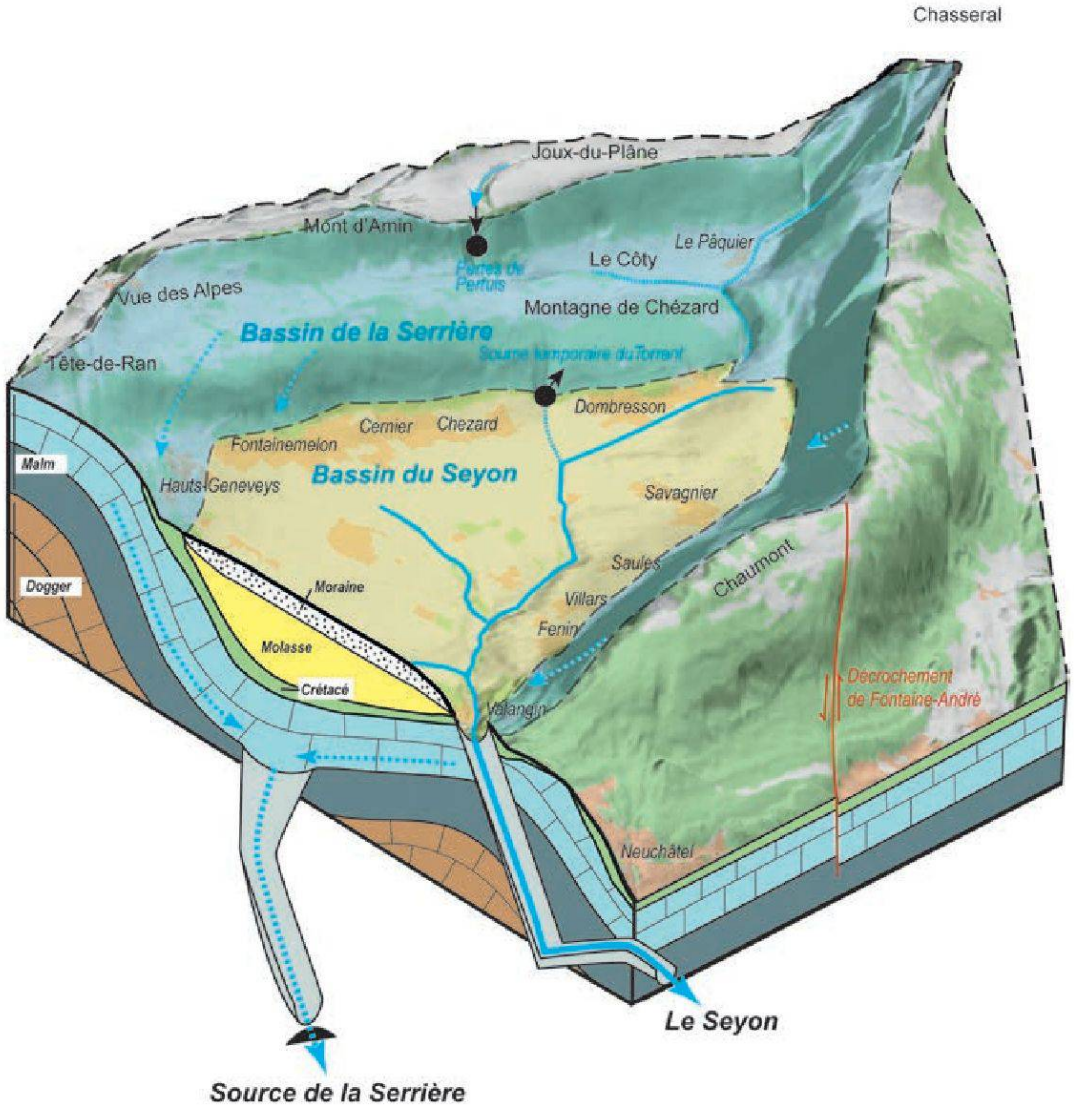


Figure 12 : Schéma des bassins hydrogéologiques superposés du Val-de-Ruz.

Le bassin d'alimentation du Seyon

Il est délimité par la couverture tertiaire et quaternaire du synclinal du Val-de-Ruz (fig. 12). La surface alimentaire de cette rivière recouvre entièrement le bassin souterrain de la Serrière. Le Seyon prend sa source au sud-est de Villiers (source pérenne de 300 à 400 l/min), au pied de l'anticlinal de Chaumont. En période de crue, il reçoit en partie les eaux qui ruissellent sur les marno-calcaires de l'Argovien des Combes Mauley, Berthière et Biosse, dont les débits ne sont pas totalement absorbés par la Serrière sous-jacente par l'intermédiaire des pertes dans les calcaires. Il reçoit également les eaux des sources temporaires du Torrent. Il s'y ajoute le trop-plein des nappes phréatiques des Prés-Royers. Ces dernières, exploitées actuellement pour les eaux de boisson, sont situées dans des formations graveleuses quaternaires des cônes de déjections imbriqués du Torrent et du Seyon. L'épaisseur de ces formations qui contiennent plusieurs aquifères est de l'ordre de 40 à 60 m.

Le Seyon a encore d'autres affluents : la Sorge à Valangin et différents ruisseaux et drainages dans le Val-de-Ruz. Son débit moyen, nous l'avons vu, est d'environ 1,5 m^3/s. à Valangin, mais en crue il peut monter en quelques heures jusqu'à 30 à 40 m^3/s (crues décenales); en 1901, il est même monté à 50 m^3/s (crue centenaire). Ce régime torrentiel est dû au fait que le Seyon constitue l'exutoire des eaux de surface du Val-de-Ruz; alors que la Serrière plus calme, est alimentée par les eaux d'infiltration profondes des montagnes environnantes.

Autrefois, le Seyon traversait la basse-ville de Neuchâtel, établie partiellement sur son delta. Mais il inondait périodiquement ses quartiers. Deux crues catastrophiques avec destruction d'immeubles et de nombreuses victimes ont eu lieu durant les automnes 1579 et 1750. En 1843, à cause des craintes qu'elle suscitait, la rivière fut détournée peu après la sortie des gorges de Vauseyon et évacuée dans un canal de dérivation de 250 m, percé à travers la colline du Château, par lequel elle rejoint le lac à proximité de l'Ecole de droguerie.

Par ailleurs, MEIA (1981), a démontré qu'à Neuchâtel, le Seyon préglaciaire s'écoulait tout droit dans le lac par une cluse hauterivienne, dans le sillon Maillefer - Grise-Pierre. Mais la moraine du glacier du Rhône aurait obstrué ce passage (4 à 5 m de moraine) et dévié le cours du Seyon vers l'est sur plus de 1500 m, le faisant passer au travers de la semi-cluse de l'Ecluse préexistante. En fait, le Seyon a déblayé tous les dépôts morainiques qu'il a trouvés sur son cours et qui sont déposés maintenant dans son ancien delta sur lequel s'est établie la basse-ville de Neuchâtel. Il a franchi en cluse l'anticlinal de Chaumont dans son point bas, creusé un canyon et façonné une chute au niveau du Gor de Vauseyon. Il franchissait plus en aval les roches de Prébarreau - l'Ecluse par une cascade, avant la correction du Seyon en 1843. Des essais de traçages récents effectués par le Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel (CHYN) ont montré qu'une partie de son eau s'infiltre toujours par voie souterraine en amont de Vauseyon, et rejoint la Serrière, vraisemblablement sur la trace de son ancien cours.

BASSIN RÉGIONAL DE LA CHAUX-DE-FONDS ET DU LOCLE

Ce bassin régional (fig. 13) est séparé en deux unités hydrologiques, soit le bassin sectoriel de La Chaux-de-Fonds (env. 10 km^2) et le bassin sectoriel du Locle (8,9 km^2). La limite de ces deux bassins karstiques passe par une ligne de partage située aux Eplatures à 1020 m d'altitude. Les eaux de drainage de ces vallées, en partie souterraines, rejoignent le Doubs par des pertes situées aux extrémités opposées des deux vallées : Le Col-des-Roches - Les Brenets pour le Locle ; la Rasse-Biaufond pour La Chaux-de-Fonds. La perte du Bied du Locle a un débit moyen de 0,35 m^3/s (minimum 0,19 m^3/s en 1972, maximum de 11m^3/s). Les pertes de la Ronde à La Chaux-de-Fonds sont estimées entre 0,2 à 0,5 m^3/s, en fonction des apports des eaux usées épurées, et de la source locale de la Ronde. Le Doubs, rivière de base dans laquelle se déversent ces exutoires, a un débit beaucoup plus important que celui de l'Areuse, puisqu'il draine une partie de la Franche-Comté, avant de jouxter le nord du canton de Neuchâtel. De ce fait, cette rivière subit des variations beaucoup plus marquées entre les étiages et les crues. Son débit moyen, mesuré aux Brenets, est de 29,1 m^3/s (minimum de 0 m^3/s en 1962 et maximum de 360 m^3/s lors de la grande crue de 1990 !).

Dans le détail, la vallée synclinale du Locle et de La Chaux-de-Fonds, située entre 900 et 1000 m d'altitude, est bordée au sud par l'anticlinal de Sommartel – Mont Cornu (1300 - 1180 m d'altitude) et au nord par

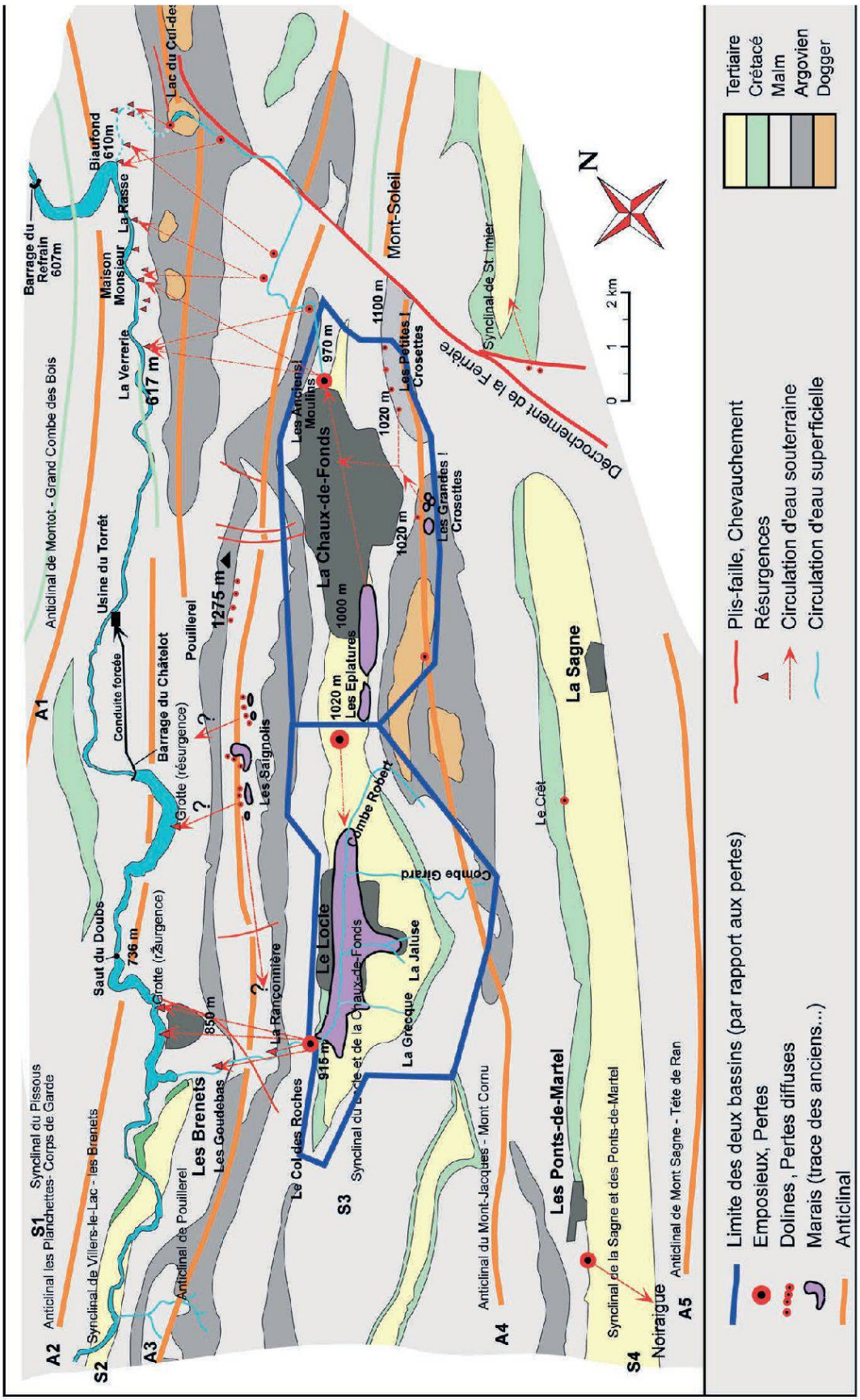


Figure 13 : Esquisse hydrogéologique simplifiée de la vallée du Locle et de La Chaux-de-Fonds.

l'anticlinal de Larmont - Pouillerel (1100 - 1270 m d'altitude). Ce dernier est parallèle à la vallée du Doubs. A l'ouest, la rivière coule dans la vallée synclinale des Brenets - Morteau (env. 750 m d'altitude). Durant le Quaternaire, des éboulements de la rive droite ont obstrué le Doubs et formé le barrage du Saut du Doubs, créant un lac d'accumulation qui s'étend presque jusqu'à Morteau (SCHARDT, 1903). Après cet obstacle, il poursuit son chemin dans un profond canyon taillé dans le cœur de l'anticlinal Les Planchettes - Corps de Garde, pour continuer son cours à l'est dans le synclinal du Pissoux jusqu'à Biaufond (607 m d'altitude) sur une distance d'environ 20 km. Les roches calcaires de ces régions se succèdent du Jurassique moyen au Quaternaire, en passant par le Crétacé et la Molasse tertiaire supérieure.

Du point de vue hydrogéologique, les vallées du Locle et de la Chaux-de-Fonds occupent le même synclinal, constitué de deux bassins versants séparés à la hauteur des Eplatures, qui collectent les eaux superficielles et souterraines (BURGER, 1996). La vallée du Locle représente le bassin occidental de ce système. Elle est drainée par le Bied qui s'écoulait antérieurement par l'échancrure en V du Col-des-Roches qu'il a contribué à creuser. L'écoulement s'est poursuivi ensuite par voie souterraine dans l'actuel émissaire qui a constitué le gouffre du Col-des-Roches (915 m) à l'emplacement des moulins souterrains du même nom. Cet enfoncement souterrain a probablement été favorisé par un glacier local qui recouvrait la vallée du Locle et celle de la Brévine (BURGER & SCHAER, 1996). La vallée de La Chaux-de-Fonds constitue le bassin oriental du synclinal, qui a pour émissaire souterrain les pertes de l'ancien moulin de la Ronde (970 m) et en surface les gorges de la Ronde au Valanvron. Les nombreux écoulements de ce secteur oriental sont influencés par le décrochement géologique (cassure transversale) de la Ferrière.

En résumé, les dolines et emposieux de la vallée du Locle et de La Chaux-de-Fonds sont tous branchés sur des voies d'écoulements souterraines reliées aux exutoires situés aux extrémités opposées des vallées.

Dans la vallée de La Chaux-de-Fonds, la zone où se produisent les pertes de la Ronde est séparée du Doubs par l'anticlinal érodé des Côtes du Doubs. Toutefois, des essais de traçages (MONTANDON *et al.*, 1995 et 2004) ont montré que les circulations d'eau avaient traversé l'anticlinal, probablement par l'effet du décrochement de la Ferrière qui est contigu, et qui sépare le plateau des Franches-Montagnes de celui du Haut Jura neuchâtelois, ainsi que par un chevauchement de l'ensemble « anticlinal de Pouillerel - synclinal de la Combe du Valanvron ». De ce fait, il existe plusieurs résurgences importantes en contrebas, sur la rive droite du Doubs, en particulier celles de la Verrerie, de la Rasse, ainsi que celles de la Ronde supérieure et inférieure à Biaufond, conditionnées pour la plupart par des marnes et des marno-calcaires de l'Oxfordien (GOGNIAT *et al,* 1996). Actuellement à La Chaux-de-Fonds, l'ancienne source de la Ronde, captée, s'écoule dans une canalisation le long de la Combe des Moulins où se déversent aussi les eaux usées de la Ville, jusqu'à la STEP. Au-delà, les eaux épurées s'écoulent à l'air libre dans les gorges de la Ronde par la Combe du Valanvron, pour s'infiltrer progressivement dans le sous-sol, et rejoindre, après un trajet souterrain d'un peu plus de 2 km, les sources du bord du Doubs, principalement celles de la Verrerie et de la Rasse. Un projet de microturbinage des eaux épurées, étudié par VITEOS, devrait dans le futur modifier ces rejets qui deviendraient entièrement souterrains.

Dans la vallée du Locle, la région du Col-des-Roches a de tout temps constitué la zone de drainage des anciens lacs et des eaux de la vallée. C'est un couloir transversal recoupant l'anticlinal de Pouillerel et qui

s'est transformé progressivement en cluse. Il conduit les eaux du Locle vers le Doubs, niveau de base régional des écoulements karstiques, soit à ciel ouvert dans la gorge de la Rançonnière, soit par des écoulements souterrains. Une partie de ceux-ci emprunte les calcaires du Dogger pour aboutir aux sources de l'Arvoux au fond du lac des Brenets ; l'autre partie traverse les calcaires du Malm pour rejaillir à la grotte de la Toffière surnommée grotte du roi de Prusse, plus en aval dans le lac des Brenets. La perte du Col-des-Roches dans le Malm a été utilisée au 17ème siècle pour y construire les célèbres moulins souterrains. Depuis 1805, un tunnel artificiel conduit l'eau du Bied vers le Doubs par la Rançonnière, où elle est turbinée et exploitée par la société VITEOS.

Du fait de la différence d'altitude (modeste toutefois : 55 m) de leurs émissaires, les deux bassins versants ont des pertes contrastées : le relief est très marqué au Locle, alors qu'il est beaucoup plus adouci dans la vallée de La Chaux-de-Fonds. Cela est dû au fait que la vallée du Locle est rattrapée par l'évolution régressive du Doubs, alors que la région de La Chaux-de-Fonds, comme celle de la Brévine d'ailleurs, subit une évolution tranquille, dans laquelle toutefois la profonde combe du Valanvron amorce progressivement une timide ouverture.

AUTRES BASSINS

Le long du pied du Jura le réseau karstique est beaucoup moins unifié (MATHEY, 1976). Le réservoir du Malm s'enfonce sous le Crétacé et le Tertiaire et la nappe généralement captive qu'il contient se décharge soit par débordement, soit directement au travers du Crétacé, par quelques dizaines de sources d'importance variable. C'est ainsi qu'au sud des crêtes du Chasseron - Mont Aubert - Montagne de Boudry, on distingue les bassins versants de la Béroche, Gorgier et Bevaix, jouxtant le bassin versant de l'Arnon plus à l'ouest, et celui de la Basse-Areuse à l'est. On rencontre dans ces bassins les résurgences de la Diaz et de la Raisse à Concise, du Petit-Bois à St-Aubin, des Tannes à Gorgier, du Biaud à Bevaix, du Merdasson à Bôle (Basse-Areuse). Citons également le bassin versant du flanc sud de Chaumont avec les sources de l'Ecluse à Neuchâtel (rattachées au bassin du Seyon) et le ruisseau de Monruz qui sourd à l'extrémité inférieure du décrochement de Fontaine-André. Plus à l'est, la région de l'Entre-deux-Lacs, entre St-Blaise et Le Landeron, est alimentée par la Combe d'Enges et la vallée synclinale de Lignières-Diesse. Les principales sources issues de ces bassins versants sont celles du Vigner et du Ruau à St-Blaise, de la Prévauté à Cornaux, du Ruhaut à Cressier et de la Baume au Landeron.

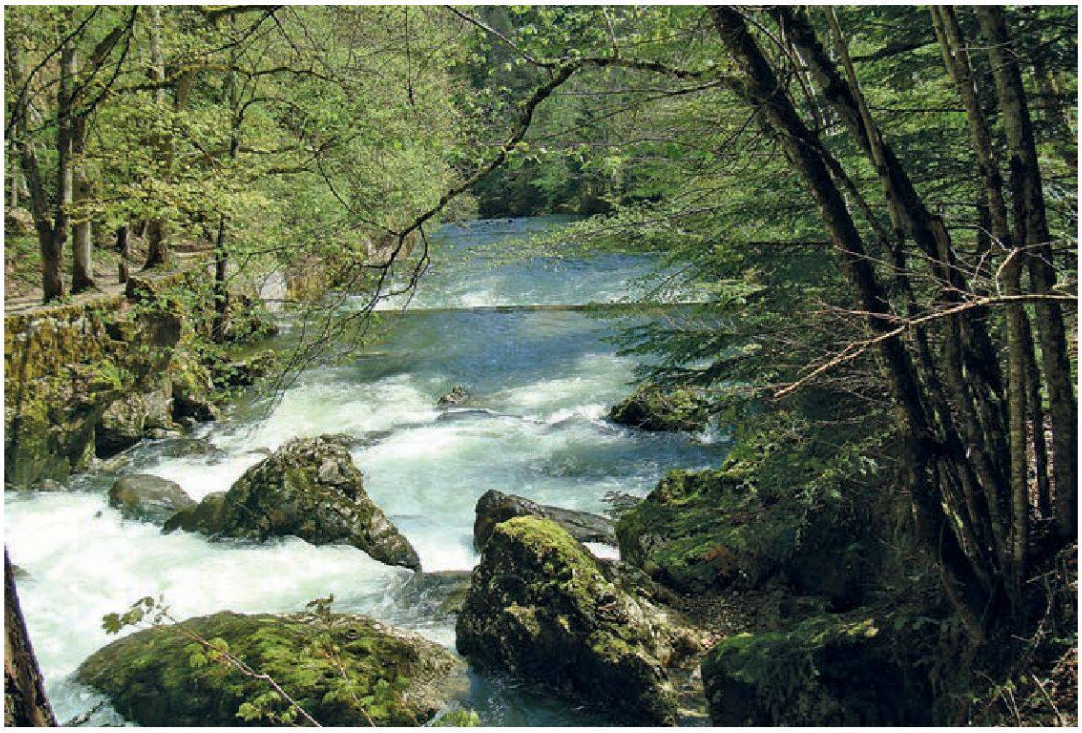
Enfin, il faut noter le départ du bassin limitrophe de la Suze - St-Imier, intercalé entre les bassins de La Chaux-de-Fonds et du Val-de-Ruz, et qui remonte jusque dans la vallée des Convers.

Planche 1 : Quelques sites riches en eau du canton de Neuchâtel

Vue sur les Gorges de l'Areuse depuis le Creux-du-Van, avec à gauche la vallée perchée de la Sagne, et au fond le Val-de-Ruz

La vallée de Champ-du-Moulin au pied du Creux-du-Van

Planche 2 : Quelques sites riches en eau du canton de Neuchâtel (suite)

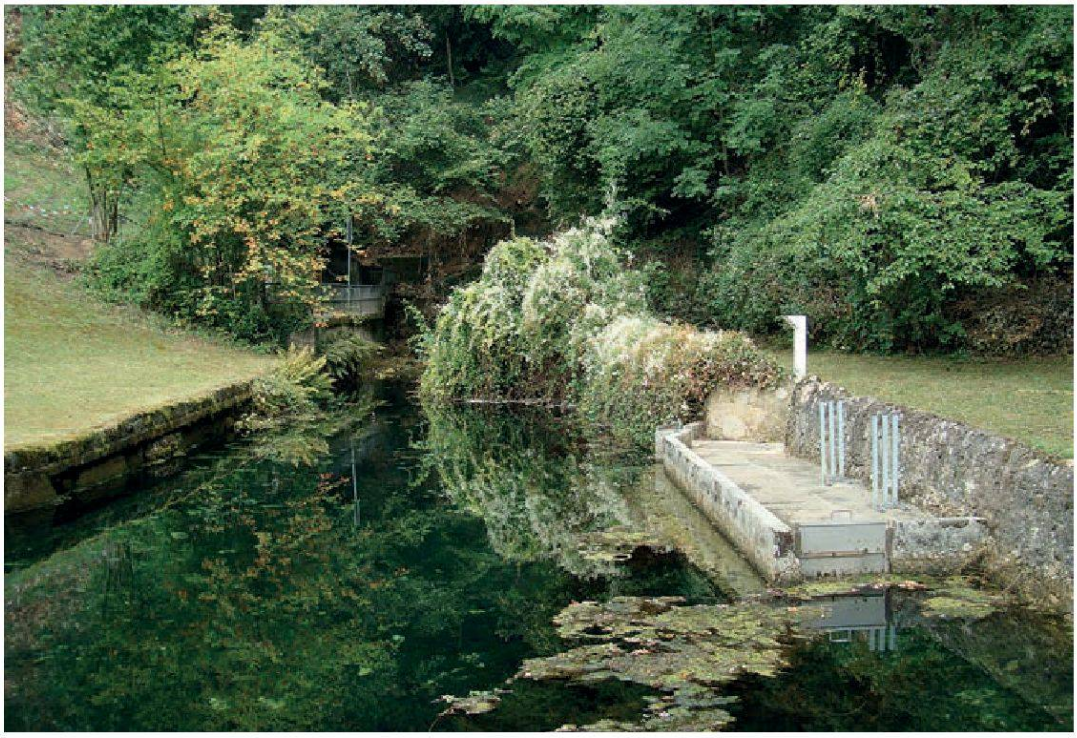


L'Areuse en aval de Champ-du-Moulin, en bordure de captages de sources, sur la rive gauche

Jaillissement d'eau karstique au fond du captage de la source de la Dalle nacrée aux Moyats

Planche 3 : Quelques sites riches en eau du canton de Neuchâtel (suite et fin)

Source de la Noiraigue en crue (janvier 2009)



Source de la Serrière (été 2011)

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 :

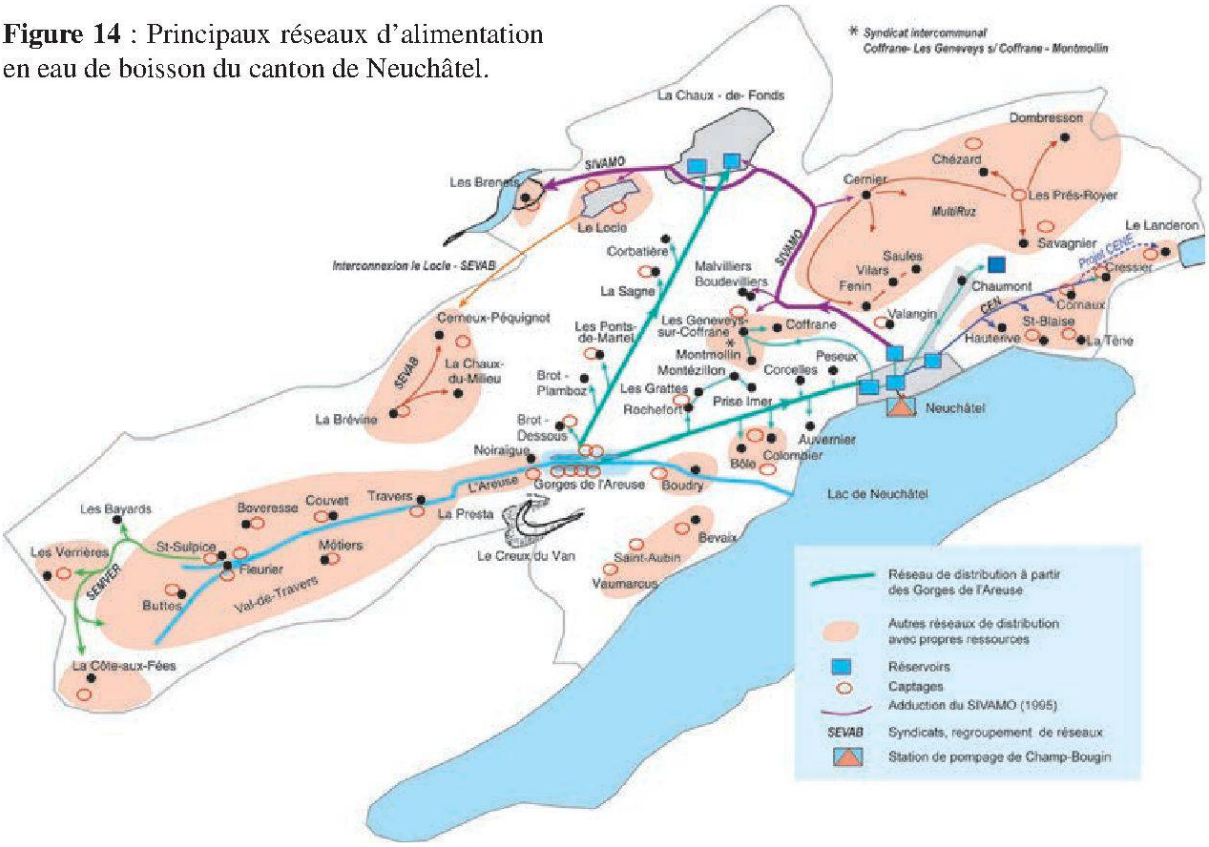
- 53 % des localités neuchâteloises sont autonomes, alimentées par des ressources leur appartenant et situées sur leur territoire;
- 11 % des communes interconnectées sont autonomes en tant que propriétaires des biens-fonds, mais elles captent de l'eau hors de leur territoire communal, comme La Chaux-de-Fonds, 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

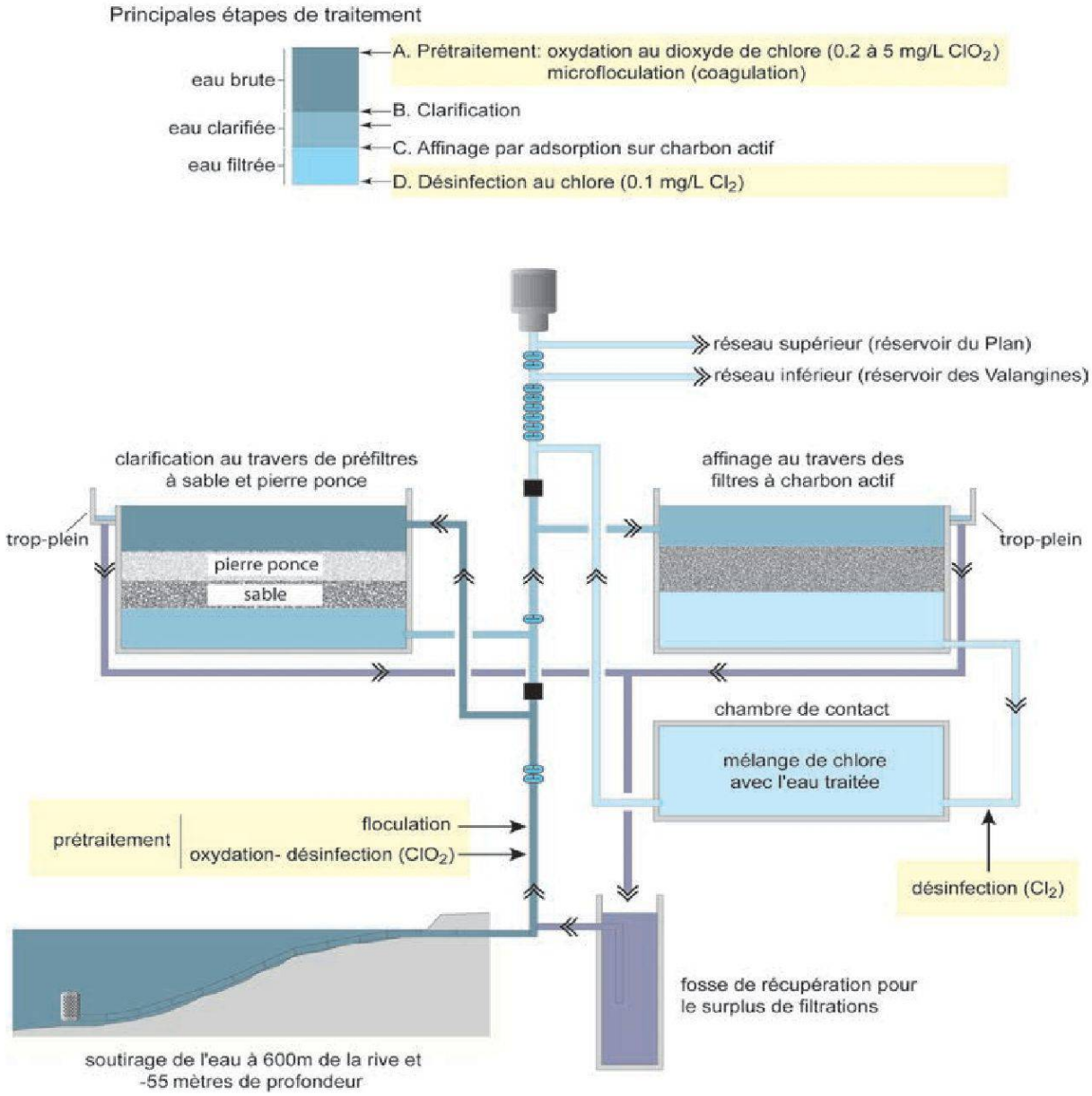


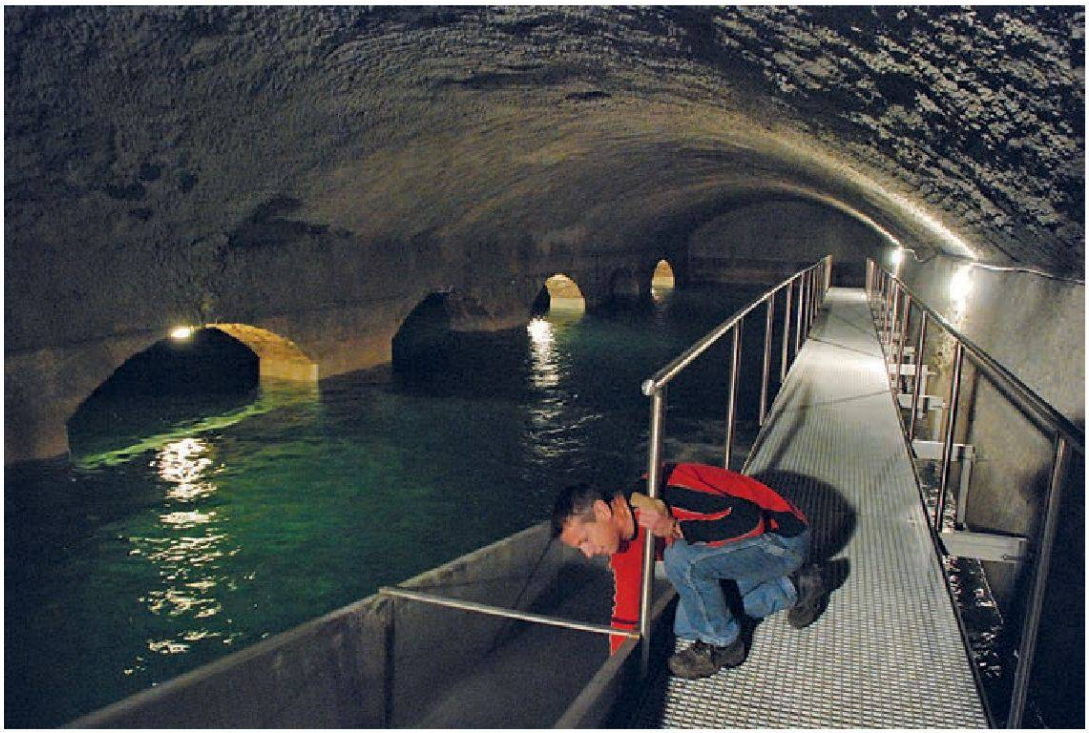
Figure 15 : Conditionnement de l'eau du lac dans la station de Champ-Bougin.

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.

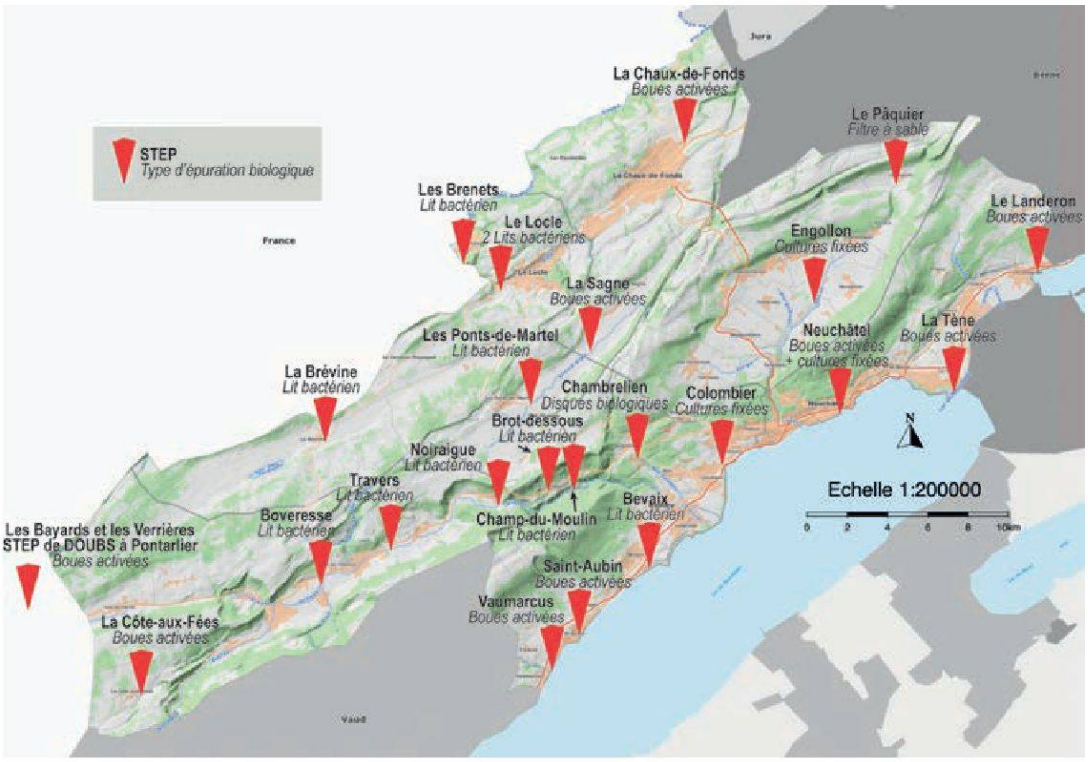


Figure 16 : Situation des 22 stations d'épuration de canton de Neuchâtel (D'après le SENE, 2011). © SITN 2011 – www.ne.ch/sitn

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

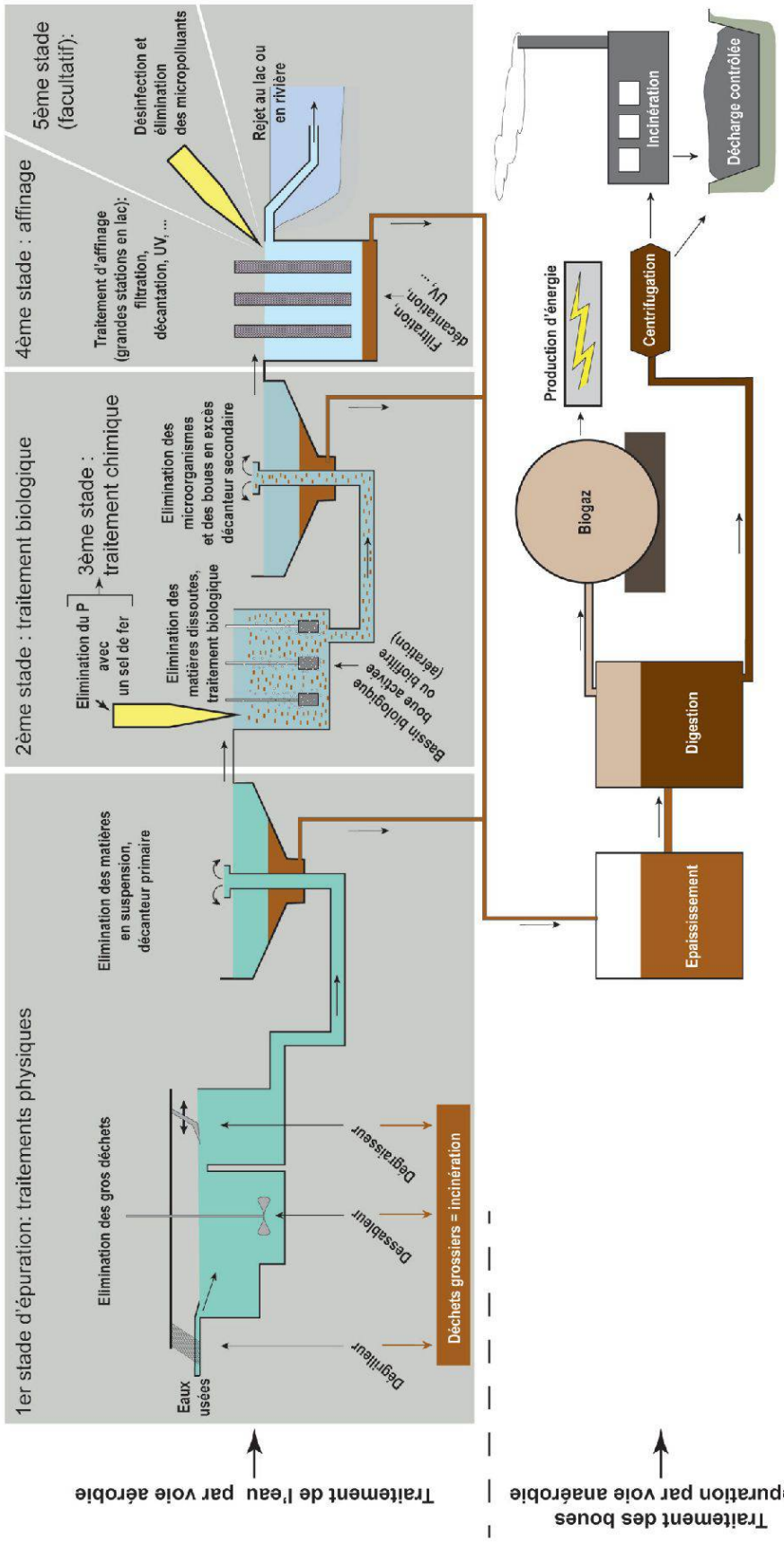


Figure 17 : Schéma de principe des différentes étapes de l'épuration de l'eau et du traitement des boues.

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 !

4ÈME PARTIE :

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'eau, la sève de la vie ! Elle est présente indifféremment chez tous les êtres vivants. Dans le corps humain, il y a en a plus de 60 % (2/3 dans les cellules et 1/3 dans le sang et la lymphe) et les réactions biochimiques qui s'y produisent ne peuvent s'accomplir sans elle. Elle est à la fois solvant et aliment; elle hydrate les cellules, régularise la température, transporte les nutriments et évacue les déchets, etc. De ce fait, on peut survivre quelque temps sans manger, mais pas sans boire, 3 à 5 jours tout au plus; perdre 15 % de son eau peut être mortel, alors qu'on peut perdre sans dommages 50 % de graisses et de glucides.

La planète Terre, à l'instar des organismes, est elle aussi totalement soumise à l'activité de l'eau grâce à son cycle majeur qui régit tout l'équilibre du globe. Comme le sang des animaux et la sève des plantes, l'eau circule sur la Terre au travers des ruisseaux, rivières et fleuves, à partir des réserves océaniques et glaciaires. Elle permet la photosynthèse des végétaux (algues dans les océans, grandes forêts tropicales), indispensable à la production d'oxygène, et participe à l'évapotranspiration liée à la végétation et aux autres êtres vivants.

Le visage de la croûte terrestre est sans cesse remanié et façonné par les jeux de l'érosion et de la gélifraction, ou par la corrosion dans les pays calcaires. C'est précisément le cas dans le microcosme karstique neuchâtelois, région où les torrents de surface n'existent pas, et où des rivières souterraines abondantes et pour une grande part inviolées jusqu'ici donnent naissance aux sources et aux aquifères qui ont permis d'assurer le développement de la population du canton. Ceci à grand renfort d'aqueducs et de canalisations pour alimenter les secteurs pauvres en eau. Ce sont les spécialistes, géologues, hydrogéologues, spéléologues qui ont entrouvert les mystères de cette extraordinaire évolution souterraine, restée inconnue et mystérieuse pour le grand public; ils en ont extirpé progressivement les secrets, et se sont appliqués à les protéger des atteintes agressives de l'homme, dans le but d'améliorer la qualité des eaux de boisson, et de conserver la biodiversité des eaux de surface.

Mais qu'il paraît lointain le temps des pionniers dont les découvertes et les exploits sont relatés au travers des anciens bulletins de la SNSN ! Les préoccupations concernant le manque d'eau dans les régions élevées, puis la création des principales adductions et distributions d'eau de boisson ; ainsi que le manque de connaissances de ces époques de pionniers au sujet de la pollution et des contaminations de l'eau, toutes ces étapes paraissent bien élémentaires actuellement. Pourtant c'est grâce à ces précurseurs, à leurs efforts, à leurs doutes, aux incidents qu'ils ont traversés (à l'instar de l'épidémie de typhoïde de Neuchâtel en 1882) qu'une infrastructure de base concernant les eaux de boisson a été mise en place avant 1900, encore largement utilisée de nos jours. Par contre ce n'est que beaucoup plus tardivement, pratiquement après les années 1950, qu'on a pris conscience des nuisances occasionnées par le tout-à-l'égoût ainsi que par les dépôts de déchets et d'immondices de tous types dans la nature. On s'est rendu compte des graves perturbations que ces habitudes occasionnaient au cycle de l'eau, et du fait que continuer de procéder de la sorte menait droit à la catastrophe ; l'autoépuration naturelle de l'eau, compliquée par le système karstique, ne suffisant plus à corriger les atteintes dont elle faisait l'objet. A cela se sont ajoutés la croissance de la population et de l'industrie à partir de la fin

du 19ème siècle, la modernisation de l'agriculture et son cortège de nouveaux produits qui ont fini par peser lourd dans l'ensemble du système karstique et hydrologique. La croissance démographique surtout a été responsable de deux principaux impacts négatifs : d'une part l'augmentation des besoins en eau qu'il a bien fallu résoudre en faisant appel aux eaux de surface, dont le degré de pollution élevé avait causé des catastrophes en son temps ; d'autre part, la nécessité de disposer de surfaces de terrains à bâtir toujours plus importantes, dont l'impact environnemental se concrétise par des atteintes sensibles aux ressources hydriques.

Dans le canton de Neuchâtel, la prise de conscience de la dégradation de la qualité des eaux est venue plus tard (dans les années 1965-1970) que dans l'est de la Suisse (années 1950-1955). Deux raisons principales : d'une part le lac de Neuchâtel est un important réservoir capable d'absorber une grande quantité de substances polluantes sans que cela se remarque concrètement; d'autre part le Doubs, collecteur des déchets des villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds, coule enfoui dans sa profonde vallée éloignée des deux villes, si bien que sa pollution n'a pas fait l'objet d'une inquiétude démesurée, puisque à l'abri des regards, si ce n'est les remarques périodiques exaspérées des pêcheurs.

Comme autre exemple de cette ignorance, on peut rappeler qu'en Ville de Neuchâtel, les déchets carnés (intestins, matières fécales, etc.) des anciens abattoirs de Serrières étaient rejetés directement dans le lac jusque dans les années 1980, faisant par ailleurs le bonheur d'innombrables poissons et par voie de conséquence, des pêcheurs locaux, lesquels organisaient de grands concours de pêche dans le secteur, malgré des eaux de qualité repoussante !

Cependant, peu à peu, le progrès des connaissances scientifiques et techniques dans les domaines environnementaux, a permis de découvrir des solutions performantes pour réduire au mieux ces nuisances. Il faut rappeler que les publications multidisciplinaires de la SNSN ont contribué à l'amélioration des connaissances géologiques et hydrogéologiques régionales. De plus, les échanges, notamment dès l'époque de Guillaume Ritter, entre les scientifiques et les ingénieurs, ont fait naître un réseau de compétences inégalé depuis lors. Mais à partir du 20ème siècle, la spécialisation de la recherche comme celle des revues scientifiques et techniques (Schaer, 2009) ont fait perdre l'aspect multidisciplinaire des publications de la SNSN. Le perfectionnement des connaissances dans tous les domaines liés à l'eau (analyses toujours plus précises, techniques plus performantes, juridiction plus efficace) ont progressivement été publiés dans les revues essentiellement réservées aux spécialistes.

Dans le canton de Neuchâtel, l'amélioration fondamentale qui a permis la croissance régionale est due à la construction des réseaux de distribution qui ont apporté de l'eau à tous. Les Bulletins de la SNSN en ont largement rendu compte.

La désinfection de l'eau potable, plus tardive (dès les années 1940 dans le canton), a assuré d'autres progrès importants, en envoyant aux oubliettes les craintes de contamination par les désastreuses maladies d'origine hydrique. Mais même cet aspect n'est pas allé de soi en fonction des habitudes : combien de fois n'a-t-on pas entendu dans des communes rurales réfractaires à la conception de désinfection, que le fait de boire de l'eau contaminée renforçait la résistance ! Ou encore qu'une bonne diarrhée printanière, consécutive à des purinages de fin d'hiver, ne pouvait faire que du bien! En fait, ces phénomènes ne deviennent compréhensibles qu'au travers d'expériences chocs. Pour nos prédécesseurs, il s'agissait de l'épidémie de typhoïde

de 1882 à Neuchâtel, causée par les eaux usées du Seyon. Pour nos contemporains, le rappel a été l'épidémie de gastro-entérites de La Neuveville en 1998, occasionnée par une fuite d'eau d'égout qui a provoqué la souillure de la nappe phréatique, dont l'eau était livrée sans traitement. Cet accident a provoqué de graves ennuis de santé à plus de 1200 personnes. Il a démontré qu'une maintenance soignée des installations d'eau était vitale, ce qu'on a tendance à oublier à notre époque d'automatisation à tous crins. De plus cette catastrophe a bien fait comprendre qu'il ne suffit pas d'avoir d'abondantes ressources en eau : encore faut-il qu'elles soient saines !

Il convient de signaler par ailleurs un incident de moindre envergure, mais tout aussi inquiétant, qui a vu en 1993 la contamination de quelques sources des Gorges de l'Areuse destinées à l'alimentation de Neuchâtel, suite à un épandage accidentel de benzine sur la route cantonale du Val-de-Travers. Les conséquences n'ont pas été trop tragiques, malgré une pollution temporaire de tout le réseau de la Ville de Neuchâtel. Cependant, cet événement a démontré la grande fragilité des aquifères de ce karst, et a obligé le canton à modifier fondamentalement la structure de la route cantonale qui les surmonte. Il a permis également d'établir une directive concernant le comportement des spécialistes dans des accidents de ce genre, et les mesures de sécurité à appliquer.

Durant la seconde moitié du 20ème siècle, le perfectionnement des techniques (traitements de l'eau plus performants, gestion automatisée, contrôles physico-chimiques en continu, etc.), ainsi que les progrès de l'électronique et de l'informatique et l'automatisation qui s'en est suivie, ont favorisé une gestion bien plus efficace des processus de conditionnement d'eau que précédemment. Parallèlement, le perfectionnement des techniques d'épuration et de la gestion des égouts a été la cause de l'assainissement progressif et réjouissant des eaux de surface.

Les aspects juridiques, de leur côté, ont aussi évolué par rapport aux progrès de la technique, grâce à une meilleure compréhension des phénomènes qu'ils impliquent. De 1950 à 2000, la législation suisse concernant la protection et la qualité de l'eau est partie de pratiquement rien, pour parvenir à définir des concepts élaborés et performants :

Au début du 20ème siècle, dans le **domaine environnemental**, il n'existait que la loi sur la pêche (1888) puis celle sur les forêts (1902). Elles ont permis de réguler les prélèvements et destructions systématiques de la nature institutionnalisés jusqu'alors. La *première loi sur la protection des eaux* a vu le jour en 1955, quand on s'est rendu compte de l'effrayante dégradation des eaux de surface. Elle est à l'origine des exigences de construction des stations d'épuration, dont on connaissait les principes depuis 1930. En 1971, cette loi sur la protection des eaux a été révisée, et son ordonnance d'application qui a paru en 1975 a permis de lancer le principe des zones de protection. Mais ce n'est que la deuxième mouture de 1991 et la nouvelle ordonnance sur la protection des eaux de 1998, qui aboutissent à une protection complète des ressources dans tous les domaines : écologie, loisirs, et toutes les utilisations de l'eau, avec notamment la problématique des eaux usées : réhabilitation des anciennes STEP, réseaux séparatifs, infiltration des eaux pluviales, plan général d'évacuation des eaux (PGEE), etc.

Par ailleurs, il faut signaler que la *Loi fédérale sur la protection des eaux de 1991 (LEaux)*, est complétée encore par deux importantes ordonnances concernant les aspects sécuritaires de la distribution de l'eau. Soit l'*Ordonnance sur la garantie de l'approvisionnement en eau potable en temps de crise (OAEC)* et l'*Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM)*, toutes deux publiées en 1991 également. L'OPAM est appliquées dans tous les domaines des eaux pour sécuriser le transport et l'utilisation des produits chimiques utilisés, en particulier le chlore gazeux, etc.

En ce qui concerne la **protection des consommateurs**, donc la potabilité de l'eau, on constate une évolution identique, mais sur un étalement plus important de 1905 à 2000. La première loi sur les denrées alimentaires de 1905 ne s'occupait que très succinctement de l'eau de boisson. Des progrès sont

visibles avec l'*Ordonnance sur les denrées alimentaires*, de 1936. Mais il a fallu attendre presque la fin du 20ème siècle pour que paraisse la nouvelle *Loi fédérale sur les denrées alimentaires* (LDAl) du 9 octobre 1992, évoquant pour la première fois les pratiques d'auto-contrôle, et son Ordonnance d'application du 1er juillet 1995, accompagnée de l'*Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC)* du 26 juin 1995 ; de l'*Ordonnance sur l'hygiène (OHyg) du 23 novembre 2005* ; de l'*Ordonnance sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale (du 23 novembre 2005)* ; et de l'*Ordonnance sur les denrées alimentaires et les objets usuels (ODAlOUs) du 23 novembre 2005* également. Cette dernière version est particulièrement progressiste, puisqu'elle implique la **responsabilité directe des distributeurs (auto-contrôle)** et la **nécessité d'information des abonnés** sur la qualité et l'origine des eaux distribuées. Elle traite également de la problématique des additifs. Ces lois fédérales et leurs ordonnances d'application doivent être mises en vigueur par les cantons, qui peuvent également légiférer de façon plus ciblée à partir des exigences fédérales. Dans le canton de Neuchâtel, rappelons que deux Services se partagent le contrôle et la surveillance des différents domaines liés à l'eau. D'une part le Service de l'énergie et de l'environnement (SENE), ancien Service de la Protection de l'Environnement (SCPE), qui est responsable des différents aspects liés à la protection des eaux et à l'assainissement. Et d'autre part, le Service de la consommation et des affaires vétérinaires (SCAV), ancien Laboratoire cantonal, qui lui, s'occupe de la problématique des eaux potables, de l'hygiène des eaux de piscines et de plages, etc. Sur le plan légal, le canton s'est inspiré des dernières ordonnances fédérales du domaine de l'eau, et a proposé le 14 mars 2012, un projet de Loi cantonale sur la protection et la gestion des eaux (LPGE), traitant de tous les aspects liés à ce sujet, et destinée à remplacer les anciennes versions obsolètes. Cette loi devrait être ratifiée à fin 2012. Pour davantage de renseignements, le lecteur pourra consulter avec profit le site cantonal du SCAV : www.ne.ch/scav/eaupotable/baseslegales.

Toutefois il faut savoir que les législations fédérales et cantonales, centrées sur la protection des eaux n'abordent pas les aspects pratiques concernant les stations de traitement d'eau, les réseaux de distribution ou d'assainissement, les éléments techniques, les tâches dévolues aux distributeurs, etc. Pour ces questions, les spécialistes se réfèrent aux règles de la technique et aux guides de bonne pratique publiés par les diverses associations de métiers, et qui font force de loi dans les domaines appartenant aux différentes utilisations de l'eau.

Pour l'**eau potable**, des guides constitués de directives et de recommandations sont conçus, édités et constamment mis à jour par la Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE), implantée à Zurich et à Lausanne. Citons en particulier quelques-unes de ces notices :

Directive W1 (2005) : Surveillance qualité de la distribution d'eau.
Directive W3 (2005) : Directive pour l'établissement d'installations d'eau de boisson.
Directive W6 (2004) : Directive pour l'étude, la construction et l'exploitation de réservoirs d'eau.
Directive W13 (2010) : Désinfection de l'eau potable aux UV.
*Recommandation W1005 (2009) : **Recommandation pour la planification stratégique de l'approvisionnement en eau potable**. Cette récente synthèse contient tout ce que devrait savoir le gestionnaire d'une distribution d'eau, à savoir les aspects techniques, économiques, organisationnels et structurels.*

Pour les **piscines**, il existe sur le plan cantonal, un règlement sur les piscines, les plages et les lieux de baignades publics, publié en 2004 et qui concerne les contrôles et les normes de qualité de ces types d'eau. Pour les constructions d'établissements de bains, ce sont les règles techniques de la société des ingénieurs et architectes (SIA), qui sont appliquées, notamment la norme SIA 385/9 de mai 2011.

Pour les **stations d'épuration**, outre différentes normes pratiques de la SIA concernant les techniques d'épuration et la construction, les spécialistes et chefs d'exploitation font partie de différents groupements et associa-

tions qui examinent tous les sujets traitant de l'épuration et des eaux usées, et qui publient des guides et des cahiers d'exploitation. Les principales associations professionnelles suisses et romandes liées au domaine de l'épuration sont les suivantes :

Association Suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA).
Association romande pour la protection des eaux et de l'air (ARPEA). Cette association a beaucoup œuvré pour l'assainissement des STEP.
Groupement romand des exploitants des stations d'épuration des eaux (GRASE).
Groupement romand pour la formation des exploitants des STEP (FES). Ce groupement organise régulièrement des cours qui permettent aux candidats d'obtenir un ***brevet fédéral d'exploitant de station d'épuration****, à l'instar de ce qui est organisé dans le domaine des eaux potables par la SSIGE pour le* ***brevet de fontainier****.*

Toutes ces sociétés et associations éditent des revues et des bulletins - à l'exemple de la revue «AQUA & GAZ» de la SSIGE - destinés à informer leurs lecteurs sur le niveau des connaissances et des progrès de leurs domaines respectifs, au moyen d'articles spécialisés.

En définitive, grâce à cette législation toujours mieux ciblée, à laquelle il convient d'ajouter des directives techniques toujours plus précises, et des associations professionnelles permettant une formation continue et rigoureuse, on se rend compte que la Suisse et par voie de conséquence le canton de Neuchâtel, se sont munis d'outils de contrôle et de gestion performants, susceptibles d'appréhender tous les aspects de la qualité et de la gestion durable de l'eau, en ce début du 21ème siècle.

Mais ces progrès réjouissants ont aussi leur revers, comme toutes les activités humaines. Dans le cas de l'eau, ce sont surtout des problèmes économiques. Alors que dans le canton, il y a encore une vingtaine d'années, on ne faisait pas de bénéfices sur la vente de l'eau en ne facturant que les frais effectifs, ce n'est plus envisageable actuellement, puisqu'un certain nombre de redevances, notamment celles liées à l'environnement selon le principe du pollueur-payeur, sont directement taxées sur le prix de l'eau. Par ailleurs, l'eau représente un potentiel de gain appréciable et pas trop difficile à exploiter pour des compagnies privées. L'eau source de vie est devenue source de revenus et les distributeurs commencent à subir des pressions (demandes de rachats, de privatisation de captages, etc), heureusement encore fort discrètes en Suisse.

Par contre sur le plan mondial dans bien des pays, cette notion de bien commun en principe inaliénable est depuis longtemps dépassée : l'eau y est considérée comme un **produit de spéculation** à l'instar de n'importe quel autre, susceptible de fournir des revenus appréciables, presque au même titre que le pétrole. Rappelons que le modèle de développement qui domine en ce début du 21ème siècle est celui de la mondialisation de l'économie, dotée de règles universelles instaurées par les entreprises et les marchés financiers (BARLOW, 2002). C'est la spéculation financière sur les marchés boursiers qui préside à l'expansion de l'économie mondiale. Etant donné la rareté de plus en plus alarmante des réserves d'eau douce dans les régions arides, les spéculations des investisseurs sur les marchés des matières premières pourraient faire monter en flèche les prix de ce qu'on appelle dorénavant « **l'or bleu** ». Les pionniers dans ce domaine sont des entreprises françaises, car la privatisation de l'eau en France a débuté déjà sous Napoléon III. Il s'agit en particulier de Véolia Environnement (anciennement Vivendi Universal) et de Suez-Lyonnaise des Eaux (entreprise qui a réalisé à l'origine le canal du même nom), qui sont présentes dans plus de 130 pays et qui régissent 70 % du marché mondial de l'eau, tout en étant actives dans d'autres secteurs bien différents comme les médias et le cinéma. Ces entreprises qui doivent engendrer du profit n'incitent pas leurs

clients à faire des économies. Ces derniers, tout en bénéficiant toutefois d'installations hautement performantes, sont soumis aux fluctuations du marché, et les prix de l'eau de ces sociétés sont le plus souvent à la hausse, ce qui entraîne l'abandon d'une grande partie de la population pauvre, tandis que la conservation des ressources n'est pas forcément assurée à long terme[1)].

Est-ce qu'on se dirige vers une même évolution en Suisse ? On y rencontrait encore jusque dans les années 1990 de très nombreux distributeurs d'eau (environ 3000) de petite taille, voire de très petite taille. La distribution de l'eau étant de la compétence des cantons qui la délèguent directement aux communes, il en est résulté que son exploitation est en général assurée par un Service communal : par exemple un Service des Eaux ou une corporation de droit public. Au début du 19ème siècle, elle était souvent le fait d'une coopérative de droit privé, à l'exemple de la Société des Eaux de Neuchâtel, fondée par Guillaume Ritter dans les années 1860. Mais ces entités ont disparu au profit de Services publics au bénéfice de meilleures possibilités techniques, administratives et financières. Dans les villes, ce sont souvent des polydistributeurs tels que les Services industriels, qui assurent à la fois la distribution d'électricité, de gaz naturel (autrefois de gaz de ville), d'eau potable, voire de chauffage à distance. De plus, pour des raisons économiques et sécuritaires, un certain nombre de cantons, à l'instar de celui de Neuchâtel, ont encouragé la **régionalisation de la distribution d'eau potable par le biais de syndicats régionaux ou interrégionaux**, à l'exemple du récent Sivamo qui regroupe le Haut et le Bas du canton. De ce fait, la privatisation pure et dure de l'eau à grande échelle, au travers de laquelle se dessinent des inégalités sociales et de possibles dégradations de l'environnement semble n'avoir que peu d'avenir en Suisse. Ceci d'autant plus que la volonté des politiciens y est très peu favorable (contrairement à la privatisation de l'électricité). La population elle, est totalement restrictive et chacun s'accorde à dire qu'il s'agit d'un bien commun qu'on ne peut impunément brader. Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds et Le Locle ont bien compris cette problématique en transformant et en regroupant leurs Services Industriels respectifs en SA, seul moyen de mettre en commun les patrimoines de ces villes et de les conserver en mains des collectivités publiques, tout en reliant le haut et le bas du canton. La nouvelle société Viteos qui en est résultée, est non seulement en mesure d'obtenir des conditions optimales pour l'achat de l'électricité et du gaz, mais elle permet également d'obtenir de très bonnes conditions pour l'eau, tout en sachant que les réseaux et les installations restent propriété des communes. Une autre approche récente et très innovante est celle envisagée par le syndicat de Multiruz au Val-de-Ruz, en liaison avec la fusion des communes partenaires. Dans ce cas, ce syndicat régional fait figure de «projet pilote» sur le plan national, car il regroupe à des fins d'optimisation et d'économie, l'ensemble des éléments liés à l'eau, ceci dans le cadre de la gestion intégrée des eaux par bassin versant. Sont concernés les captages, le traitement, la distribution et les réseaux d'eau potable, auxquels s'ajoute l'entier du domaine des eaux usées avec leur évacuation par les réseaux d'assainissement, les stations d'épuration, la protection des eaux souterraines et des eaux de surface, la prévention des risques d'inondation, ainsi que l'entretien des drainages agricoles et des cours d'eau. Le nouveau syndicat, qui deviendra par la suite le Service des Eaux de la Commune de Val-de-Ruz, assure depuis 2011 cette gestion globale du cycle de l'eau pour l'ensemble du district. Le tout étant exploité par une même équipe intercommunale. Avec ces optiques originales et bien neuchâteloises qui ne sont pas centrées sur l'apport de bénéfices excessifs, mais sur une exploitation équilibrée et performante, les résultats qui en découlent redonnent un

1) Un problème délicat impliquant «l'Or Bleu» est celui des eaux minérales et des sodas, dont l'expansion depuis la fin de la deuxième guerre mondiale est exponentielle. En 2010 par exemple, il s'est vendu 152 milliards de litres d'eau minérale dans le monde. Sans oublier depuis les années 1990, l'apparition des «fontaines à eaux», susceptibles de contenir entre 10 à 30 litres d'eau réfrigérée, dispositifs qui sont très à la mode actuellement dans la plupart des entreprises. Ces nouvelles habitudes de consommation d'eau, outre les transports importants qu'elles nécessitent, représentent des gouffres à énergie avec des bilans de CO2 importants, en particulier en ce qui concerne les différents types de récipients nécessaires pour leur stockage et leur distribution. Sans compter l'épuisement des aquifères dans les zones arides.

visage humain à une économie qui tend à perdre de vue sa finalité, c'est-à-dire le bien-être des personnes. Puisse l'avenir continuer à se profiler dans ce sens.

Au terme de ce dossier, il nous semble encore particulièrement intéressant de souligner les nouvelles perspectives d'utilisation de l'eau envisagées d'ici quelques années. On aurait pu croire un peu avant l'horizon 2000, avoir fait le tour complet des différentes possibilités d'exploitation de cet élément, que ce soit au niveau des eaux potables aussi bien que des eaux usées, de l'hydroélectricité, du chauffage, des pompes à chaleur, des loisirs, etc. Mais d'autres perspectives ont récemment vu le jour grâce aux recherches d'économie d'énergie. Il s'agit entre autre de deux domaines liés aux propriétés thermiques de certains types d'eau, à savoir d'une part le «freecooling» qui recherche et utilise de l'eau très froide d'origine naturelle pour des procédés de refroidissement, notamment dans les climatisations ; et d'autre part et à l'opposé, la géothermie profonde qui elle, s'intéresse à des eaux très chaudes en vue d'en soutirer l'énergie. Le freecooling est théoriquement possible en bordure de lacs suffisamment profonds pour y puiser de l'eau dans l'épilimnion ou les températures basses (4 à 10 °C en principe) sont constantes toute l'année. La géothermie profonde, quant à elle, et contrairement à la géothermie de surface utilisée pour les pompes à chaleur, obtient ses ressources en eau chaude dans les profondeurs de l'écorce terrestre, grâce aux propriétés du gradient géothermique de la Terre qui s'accroit en moyenne de 1°C tous les 33 mètres.

C'est en Ville de Neuchâtel, dont la situation en bordure du lac est idéale, qu'un important chantier conduit par la Société Viteos et destiné au **freecooling**, vient de débuter en 2012. Ces travaux sont destinés à remplacer le traditionnel système frigorifique de production de froid des grands bâtiments du quartier de la Maladière, importants consommateurs d'énergie électrique. Il s'agit notamment du Csem, de Microcity, de l'Hôpital Pourtalès, de la STEP, de l'Express, et peut-être par la suite du complexe technico-commercial de la Maladière-Centre. L'eau de lac préalablement filtrée, outre la production de froid pour les systèmes frigorifiques industriels, pourra également être utilisée comme source chaude pour les pompes à chaleur de certains bâtiments. Viteos prévoit une consommation annuelle de 12'250 MWhfrig, ce qui nécessitera un débit d'eau de lac (restituée après coup bien entendu) de 170 m^3/h environ, soit 1'500'000 m^3/an. Pour mémoire, les prélèvements d'eau de la station de Champ-Bougin, sont compris entre 360 à 1800 m^3/h.

Le domaine de la **géothermie profonde** est rendu possible grâce aux techniques de sondage permettant de forer à des profondeurs atteignant 1 à 4 km, voire davantage. A ces limites, en fonction du gradient géothermique terrestre, la température de l'eau peut atteindre 40°C à -1000 m, jusqu'à 130 -150°C à - 4000 m, selon les endroits, et probablement près de 200°C à - 6000 m. Ces eaux très chaudes peuvent être exploitées, pour autant que leur débit dépasse les 1000 l/min, afin de faire fonctionner des chauffages à distance susceptibles de desservir de vastes quartiers, quand ce ne sont pas des centres thermaux consacrés à la thérapie et aux loisirs. Le canton de Neuchâtel bénéficie à cet égard de circonstances particulièrement favorables, en ce sens qu'il abrite le nouveau Laboratoire suisse de géothermie ou Centre de recherche en géothermie (Crege), rattaché au Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, appelé dorénavant «Centre d'hydrogéologie et de Géothermie» (Chyn). Cet organisme, en collaboration avec quelques bureaux d'ingénieurs locaux, a lancé en mai 2010 le programme GeoNe, subventionné à raison de 800 000 francs par le canton. Ces études de faisabilité ont pour but d'explorer la géothermie de quelques aquifères profonds en vue de produire de la chaleur, voire de l'électricité à plus long terme, énergies qui pourraient être

exploitées par la Société VITEOS. Le choix de ces aquifères s'est porté sur des sites abritant des failles importantes susceptibles de concentrer l'eau souterraine : les sites de Monruz sur la trace du décrochement de Fontaine-André et celui de St-Blaise (pli-faille de Châtoillon) sur le littoral neuchâtelois; le site des Eplatures près du Locle ainsi que celui des Cornes-Morel situé à proximité de la Ronde à l'est de La Chaux-de-Fonds[1]. Ces endroits sélectionnés ont l'avantage d'être situés à proximité des deux bassins de population majeurs du canton. Ils répondent en outre aux futurs critères d'exploitation des eaux de forage, à savoir la profondeur et la température des aquifères, ainsi que leur perméabilité, laquelle dépend de la fracturation des roches concernées. Différents modèles géologiques en 3D ont été réalisés à cet effet par les spécialistes du CHYN[2], afin de tenter de définir la géométrie des failles et des aquifères profonds, et partant, d'estimer les températures susceptibles d'être atteintes à ces niveaux. Des mesures gravimétriques ont été effectuées en parallèle afin de corréler les anomalies gravimétriques avec les structures géologiques. Ces observations ont permis de définir trois niveaux régionaux potentiels d'aquifères profonds : d'abord celui du Malm, le plus proche de la surface (environ 100 à 200 m), mais avec des débits d'eau importants, dont les températures seraient comprises entre 20 et 30°C. Puis celui du Dogger, à environ 300 m de profondeur, où on pourrait rencontrer des températures proches de 50°C. Et enfin le plus profond, soit environ 2000 m dans l'étage du Muschelkalk (Trias), dont la température de l'eau pourrait monter jusqu'à 80°C, ceci pour les sites du littoral uniquement. A noter que ces recherches géothermiques sont particulièrement favorables dans le canton de Neuchâtel, du fait notamment de son éloignement de zones sismiques sensibles. Elles constituent une approche beaucoup plus intéressante au niveau de la production énergétique que celle de l'énergie éolienne, dont les rendements sont nettement plus faibles, pour des impacts démesurés, ce qui n'est pas le cas de la géothermie.

Signalons qu'un bureau d'ingénieur-hydrogéologue de la région[3] avait déjà proposé un premier projet de forage profond sur le site de Monruz en 1985, puis à l'occasion de l'exposition nationale en 2002. Le prix du mazout étant largement inférieur au prix de l'eau thermale à l'époque, ce projet n'a jamais vu le jour. Toujours est-il que ces perspectives modernes de forages vont exactement dans le sens de développement des techniques que préconisait déjà à son époque l'ingénieur Guillaume Ritter. Nul doute qu'il serait passionné et convaincu par ces nouvelles gageures.

Au final, ce dossier, bien que succinct, a été rédigé dans le but de permettre au lecteur de parcourir les principaux domaines liés à l'exploitation de l'eau dans le canton de Neuchâtel.

La vision envisagée examine une tranche de temps d'environ 180 ans, qui commence avec les débuts de la SNSN en 1832 et dont il ne faut pas omettre l'importance dans l'implantation des grandes distributions d'eau du canton, toujours en usage à l'heure actuelle depuis leur mise en service il y a 125 ans.

Grâce aux Bulletins de la Société, on peut reconstituer l'historique des progrès réalisés jusqu'en ce début du 21ème siècle, et entrevoir à quels autres défis il faudra répondre à l'avenir. À cet égard, il serait souhaitable que les chercheurs et autres responsables du domaine de l'eau puissent à nouveau laisser des traces de leurs travaux et de leurs projets dans les futurs Bulletins de la SNSN. Ceci pour autant bien entendu que cette Société et sa Revue existent encore longtemps. Serait-il même présomptueux de suggérer que nos lointains successeurs puissent, dans 180 ans (soit en l'an 2192), rédiger une nouvelle synthèse des progrès accomplis durant ce nouveau laps de temps ? Il est certain que la matière ne leur manquera pas, car bien des améliorations et des surprises sont à prévoir d'ici là !

1) Journal l'Express à Neuchâtel, 10.11.2010
2) Exposé de Monsieur François Negro, à la SNSN le 09.11.2011
3) Projet du bureau d'ingénieur-conseil B. Matthey à Montézillon

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude il m'est particulièrement agréable de remercier les principaux intervenants qui m'ont fourni une part importante des données nécessaires à cette synthèse. Sans eux, ce travail aurait été impossible, notamment en ce qui concerne les données actuelles. Il s'agit des partenaires suivants :

Société VITEOS :
Monsieur Charles-F. GNAEGI, sous-directeur, projets spéciaux.
Monsieur Paul-Etienne MONTANDON, chef du Laboratoire des eaux, ainsi que le personnel de ce laboratoire.
Monsieur Christian ROCHAT, responsable de la production au Service des eaux.
Monsieur Steve GOBERT, chef d'exploitation des usines.
Monsieur Thierry BROGLIE, responsable du bureau technique Eau.
Monsieur François DREYER, responsable Marketing.

Ville de Neuchâtel :
Service des infrastructures et énergies :
Monsieur Didier GRETILLAT, ingénieur communal-adjoint.
Piscines du Nid-du-Crô :
Monsieur Mario ZANETTI, chef d'exploitation

Canton de Neuchâtel :
Service de la consommation et des affaires vétérinaires :
Monsieur André PITTET, chimiste des Eaux.
Monsieur Jean-Pierre GIRARD, inspecteur cantonal des eaux.
Madame Myriam KHRONE, responsable du contrôle des piscines et baignades publiques.

Service de l'énergie et de l'environnement :
Madame Isabelle BUTTY, hydrogéologue responsable de la qualité et de l'adduction de l'eau, ainsi que des zones de protection.
Monsieur Jean-Daniel ROSSELET, responsable du secteur des eaux usées du canton.

Système d'Information du Territoire Neuchâtelois (SITN) :
Madame Nadia ROGNON-JEANDROZ, ingénieure en géomatique.

Université de Neuchâtel :
Professeur honoraire Jean-Paul SCHAER, ancien directeur de l'Institut de Géologie; un merci tout spécial pour son aide précieuse.
Professeur François ZWAHLEN, Centre d'Hydrogéologie.
Professeur honoraire Michel ARAGNO, ancien directeur de l'Institut de Microbiologie.

Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE) :
Monsieur Philippe COLLET, responsable du bureau romand de la SSIGE à Lausanne.

Je tiens en outre à témoigner de ma reconnaissance à l'égard des spécialistes et amis qui ont participé très étroitement à l'élaboration de ce dossier. En premier lieu, Pierre-Olivier ARAGNO, auteur des remarquables graphiques et autres illustrations. Puis notre cher et regretté Willy MATTHEY, dont la disponibilité fut sans limites; il effectuait là un des derniers travaux de correction pour le bulletin de la SNSN, et est malheureusement décédé en janvier 2012, peu avant la parution du présent bulletin. Ma reconnaissance va également à son collègue Jacques AYER, responsable de la mise en page qui a repris et achevé la tâche, malgré un emploi du temps surchargé. Je manifeste également ma gratitude à Marcel GARIN, qui s'est chargé des corrections de dernière minute, et de la relecture finale du manuscrit. Sans oublier le président de la SNSN, Stefan BUCHER, pour son appui et sa grande patience.

A tous, j'adresse encore mes plus chaleureux remerciements pour le soutien sans faille obtenu tout au long des nombreuses heures de rédaction que cette synthèse a nécessité. Et je prie tous ceux que j'aurais omis de citer ici, de bien vouloir me pardonner cet oubli.

BIBLIOGRAPHIE

ACHERMANN, F. & SOLLBERGER, H. 1961. Les problèmes des eaux polluées. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 84 : 197-201.

AGUSTONI, J-G. 1987. Alimentation en eau de la ville de La Chaux-de-Fonds, Revue Gaz - Eaux - Eaux usées, Société suisse de l'industrie du gaz et de l'eau (SSIGE), *Zurich*, 67e année, no 9 : 551-560.

ARAGNO, M. 1992. La source sulfureuse de la vallée des Ponts : aspects microbiologiques. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 115 : 97-100.

ATLAS SUISSE DE L'EAU 2003. Bulletin de la Fédération suisse des aveugles et malvoyants. *Lausanne,* 80 pp.

BARLOW, M. & CLARKE, T. 2002. L'or bleu : l'eau, le grand enjeu du XXIe siècle. *Ed. Fayard, Paris.* 390 pp.

BAUER, E. 1900. Etude bactériologique des eaux d'alimentation de la ville de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 28 : 103-122; 261-261.

BAUERMEISTER, N. (sous la direction de) 2009. Utopierre, Guillaume Ritter, de Vieux-Châtel à Neuchâtel. Ed. G.d'Encre, Le Locle. 211 pp.

BICHET, V. & CAMPY, M. 2009. Montagnes du Jura, géologie et paysages. *Ed. Néo-éditions, Besançon.* 304 pp.

BILLETER O. 1916. Guillaume RITTER, ingénieur à Neuchâtel, 1835-1912. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat*, 41 : 159-164.

BLANT J-D. & STETTLER R. 1982. Survie des bactéries indicatrices de pollution fécale dans un cours d'eau. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat,* 105 : 89-105.

BLANT M. sous la direction de. 2001. Le Jura, les paysages, la vie sauvage, les terroirs. Bibliothèque du naturaliste. *Ed. Delachaux et Niestlé, Lausanne-Paris*, 351 pp.

BLANT M. *et al.* 2003. Point(s) d'eau. *Ed. Affaires culturelles et institutions culturelles de la Ville de La Chaux-de-Fonds.* 175 pp.

BOECHAT C-A. & ARAGNO M. 1982. Comportement des bactéries fécales dans les boues activées d'une station d'épuration. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat* . 105 : 79-88.

BOICHARD J, 1986. Le Jura, de la montagne à l'homme. *Ed. Privat, Toulouse*, 432 pp.

BOREL J. 1849. Epidémie de fièvre typhoïde au Val-de-Ruz. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 2 : 294-295.

BOREL, C.-L. & LADAME, B. 1860-61. Fontaines de Neuchâtel (qualité et température de l'eau). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 5, 246-247, 526-527, 528-531, 762.

BOUYER. Y. 2000. Dynamique du fer depuis les marais et tourbes de la vallée des Ponts-de-Martel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.,* 123 : 105-125.

BRIANDET, R., FECHNER, L., NAÏTALI, M. & DREANNO, C. 2012. Biofilms, quand les microbes s'organisent. *Editions QUAE (Cirad, Ifremer, Inra, Irstea).* 175 pp.

BURGER, A. 1959. Hydrogéologie du bassin de l'Areuse. *Thèse de doctorat. Bull. Soc. neuchâtel. Géographie.* Tome LII, faSci.1, nouvelle série 11. 304 pp.

BURGER, A. 1987. Itinéraires hydrogéologiques dans les gorges de l'Areuse. Revue Gaz – Eaux– Eaux usées, Société suisse de l'industrie du gaz et de l'eau (SSIGE), *Zurich*, 67e année 9 : 561-568.

BURGER, A. & SCHAER, J-P. 1996. La vallée du Locle, oasis jurassien. Cahier de l'Institut neuchâtelois. *Ed. Gilles Attinger, Hauterive.* 244 pp.

BURKHARD, M. 1998. Excursion géologique dans le Jura central. *Cahier de l'Institut de géologie. Université de Neuchâtel.*

BURKARD, M., ATTELA, O., SOMMARUGA, A., GOGNIAT, S. & EVARD, D. 1998. Tectonique et hydrogéologie dans le Jura neuchâtelois. *Eclogae géol. Helv.* 91 : 177-183.

BURKARD, M. & SOMMARUGA A. 1998. Evolution of the western Swiss Molasse basin : structural relations with the Alps and the Jura belt. *In* : Mascle A. et al : Cenozoic Foreland Basins of Western Europe. Geological Society Special Publications, 134 : 279-298.

CHABLE, R. & ACHERMANN, F. 1939. Les eaux dites potables du canton de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 64 : 103-105.

CHAVANNES, R. 1896. Sur les causes de l'encrassement des conduits par le tuf. *Bull.Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 24 : 243-244.

CONNE, F. 1900. L'eau d'alimentation de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 28 : 123-128; 261-262.

CONNE, F. 1904. La valeur de l'eau du lac de Neuchâtel pour l'alimentation. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 32 : 215-220; 350-353.

COP, R. 1987. Moulins oubliés du Haut Jura neuchâtelois. La Chaux-de-Fonds. Chez l'auteur, 215 pp.

CUCHE, F. 2010. Cadre géologique, géographique et climatique de la région neuchâteloise. *In* Flores neuchâteloises au cœur de l'arc jurassien : 25-36. *Association Neuchâteloise Flore et Nature. La Chaux-de-Fonds.*

FAVRE J. 1911. Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. *Ecolog. géol. Helv.* 11/4 : 369-475.

GARIN, M. 1987. Le Gor de Vauseyon. *Nouvelle Revue neuchâteloise.* 16 : 56 pp.

GARIN, M. 1998. Géographie du canton de Neuchâtel. Département de l'Instruction publique et des affaires culturelles. *Office du matériel scolaire, Neuchâtel.* 128 pp.

GIGON, R. 1976. Inventaire spéléologique de la Suisse. Tome I : canton de Neuchâtel. *Commission de spéléologie de la Société helvétique des sciences naturelles.* 224 pp.

GILLI, E., MANGAN, C. & MUDRY, J. 2004. Hydrogéologie, objets, méthodes et applications. *Editions DUNOD, Paris.* 303 pp.

GIRARDBILLE, O. *et al.*, 2008. Neuchâtel et ses établissements de bains : des baignades d'hier au ski nautique d'aujourd'hui. *Nouvelle revue neuchâteloise 98, 25ème année.* 93 pp.

GOBAT, L. 2001. Guillaume Ritter, Ingénieur civil. In Biographies neuchâteloises T.3, sous la direction de Michel Schlupp. *Editions G. Attinger, Hauterive*. p.299-304.

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

GOUJON L. & PRIE, G. 2010. Les voyageurs de l'eau. Ed. Dunod, Paris. 191 pp.

GUILLAUME, L. 1882. L'eau du Seyon et la fièvre typhoïde à Neuchâtel. Rapport présenté à la Direction de l'Intérieur au nom de la Commission d'Etat de santé. *Imprimerie Borel, Neuchâtel.*

GUILLAUME, L. & FAVRE, L., 1883. Sur une épidémie de fièvre typhoïde à Neuchâtel et au Val-de-Ruz et sur ses causes probables. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 13 : 393-394.

HANTSPERGER, P. & BICHET, V. 2007. Jurassique…Jura, métamorphose d'un paysage. *Société jurassienne d'émulation, Porrentruy.* 111 pp.

HAPKA, R. & WENGER, R. 1997. Baumes et gouffres neuchâtelois : découverte d'un monde fascinant. *Ed. Gilles Attinger. Hauterive*, 128 pp.

HARTMANN, E. 1903. Les eaux d'alimentation de la Ville de Neuchâtel. *Imprimerie Wolfrath & sperlé.* 448 pp.

INSTITUT SUISSE DE KARSTOLOGIE ET SPELEOLOGIE, 2008. De l'Areuse au Doubs, sur les traces de l'eau de La Chaux-de-Fonds. *Ed. ISSKA. La Chaux-de-Fonds.* 47 pp. 1 carte.

INSTITUT SUISSE DE KARSTOLOGIE ET SPELEOLOGIE, 2011. Gorges de l'Areuse, guide d'excursions hydrogéologiques. *Ed. ISSKA, La Chaux-de-Fonds.* 50 pp.

JACCARD, A. 1874. Hydrographie souterraine du Jura. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 10 : 124-125.

JACCARD, A. 1875. Un nouveau projet d'alimentation d'eau à La Chaux-de-Fonds. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 10 : 1-18; 134-135.

JEANJAQUET, L. 1878. Analyses du mémoire publié par M. G. Ritter, Ingénieur civil, sur un nouveau projet d'utilisation rationnelle des forces hydrauliques de La Reuse. *Imprimerie Wolfrath & Metzner, Neuchâtel.* 32 pp.

JEANNIN, P.-Y. & WACKER, C. 1984. Coloration à la Baume de la Roguine, un remarquable exemple de diffluence dans le Jura plissé. Cavernes, *Bull. Sections Neuchâtel, Soc. Suisse Spéléo* 1 : 11-14/33-35.

JORDI, B. 2012. Des STEP bientôt au top. Revue « Environnement », thème : les ressources naturelles en Suisse. *OFEV*, no 1 : 53-56.

KIRALY, L. 1973. Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel. Supplément *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 96 : 1-15 p + 1 carte en couleur.

KUBLER B, 1972. Le sel, agresseur méconnu de notre environnement. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*, 95 : 133-163.

LADAME, P. 1869. Assainissement et salubrité du Locle, et les épidémies de typhoïde et de choléra. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 8 : 288-352.

MARTIN, F. 1961. La future station d'épuration des eaux de la Ville de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat* pp. 84 : 201-204.

MATHEY[1], B. 1976. Hydrogéologie des bassins de la Serrière et du Seyon. *Thèse. Université de Neuchâtel*, 323 pp.

MATTHEY, B. 1986. Les ressources en eau du canton de Neuchâtel dans le cadre de l'aménagement du territoire (situation 1984). *Ed. B. Matthey, 2205 Montézillon,* 324 pp.

MATTHEY, B. 1999. L'eau, *in* : Dossier Animé (Association neuchâteloise en matière d'énergie). 16 pp.

MATTHIEU, C. 1847. Présence de l'arsenic dans les sources ferrugineuses. *Bull.Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 2. 91-92, 104-105.

MEIA, J. 1976. Aperçu géologique pp.8-11 *in* : GIGON, R. Inventaire spéléologique de la Suisse. Tome 1, Canton de Neuchâtel. *Publ. de la Soc. helvét. Sci. Nat.* 224 pp.

MEIA, J. 1981. Quelques compléments sur un ancien cours du Seyon à Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 104. 167-171.

MEIA, J. 1986. La géologie, *in* : Les gorges de l'Areuse pp. 51-76. *Ed. la Baconnière et Société des sentiers des gorges de l'Areuse, Neuchâtel.* 219 pp.

MISEREZ, J-J. 1973. Géochimie des eaux du karst jurassien. *Thèse. Université de Neuchâtel.* 313 pp.

MOLLIA, L. 1971. Visite de la station d'épuration des eaux de la Ville de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 94 : 146-147.

MONTANDON, P.-E., MAGES, J. & MISEREZ, J-J. 1995. Etude de l'écoulement et de l'autoépuration du système karstique. Exemple de la vallée de la Ronde (1a, Suisse). Bulletin d'hydrogéologie 14 : 177-198. *Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel.*

MONTANDON, P-E., DAVAL, S. & MISEREZ, J-J. 2004. Traitement et évacuation des eaux usées de la ville de La Chaux-de-Fonds. Impact des travaux de rénovation et d'agrandissement de la STEP sur le milieu récepteur. *Bull.Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 127 : 83-102.

MONTANDON, P-E. 2006. Evacuation des eaux épurées, à l'exemple d'un système karstique. Revue Gaz–Eaux–Eaux usées. *Société suisse de l'industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE).* No 11.1-7.

NICOLAS, C. 1883. Des microbes en général et de leur qualité pathogénique. *Bull. Soc. Neuchâtel. Sci. nat.* 13 : 244-267.

NICOLAS, C. 1883. Des causes de la fièvre typhoïde en général et à Neuchâtel en particulier. *Bull. Soc. Neuchâtel. Sci. nat.* 13 : 283-328 ; 429.

POKORNI–AEBI, B. 2002. Suivi de la qualité des eaux du lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat* 125.1 : 135-143.

POKORNI-AEBI, B. 2010. Limnologie et hydrobiologie neuchâteloise à travers le Bulletin de la SNSN. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat,* 131 : 91-104.

QUARTIER, A. 1974. Lacs et rivières neuchâteloises. *Ed. Paul Attinger. Neuchâtel.* 109 pp.

1) Cet auteur a par la suite modifié son nom en ajoutant un t à Mathey (d'où Matthey dès 1986).

REBEAUD, H. 1964. Géographie de la Suisse. *Ed. Librairie Payot, Lausanne.* 176 pp.

RITTER, G. 1864. Alimentation de la Ville de Neuchâtel en eau. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat,* 6 : 494-496.

RITTER, G. 1876. Carte des stations lacustres ; discussion et lettre à ce sujet. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11. 5-6, 17, 323.

RITTER, G. 1878. Mémoire sur un nouveau projet d'utilisation rationnelle des forces hydrauliques de La Reuse et d'une distribution générale en eau et en force pour le vignoble, de Bevaix à Saint-Blaise, et du lac de Neuchâtel à Chaux-de-Fonds. *Imprimerie Wolfrath et METZNER, Neuchâte*l. 27 pp. ; 1 pl.

RITTER, G. 1878. Projet d'alimenter en eau Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat*, 11 : 324-329.

RITTER, G. 1879. Découverte d'un ancien pont entre la Sauge et la Maison-Rouge. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 11. 452-454.

RITTER, G. 1883. Eau, force, lumière, électricité, ou utilisation rationnelle des forces hydrauliques de la Reuse. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 13 : 76-93, 392-393.

RITTER, G. 1883. Mémoire sur l'hydrologie des Gorges de la Reuse et du bassin de la Noiraigue. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 13 : 329-383.

RITTER, G. 1886. Alimentation d'eau pour Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds au moyen des sources de Champ-du-Moulin. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 15 : 149-166.

RITTER G. & BOREL F. 1886. Transmission des forces motrices de la Reuse à Neuchâtel par voie hydraulique. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 16 : 184-204.

RITTER, G. 1887. Le lac glaciaire de Champ-du-Moulin. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 16 : 93-100.

RITTER, G. 1887. Travaux de captation des sources de Champ-du-Moulin destinés à l'alimentation de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 16 : 240.

RITTER, G. 1887. La révolution agricole au Val-de-Ruz (et compléments et discussion). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 16. 112-118, 272, 278-281.

RITTER, G. 1888. Alimentation de Paris par les eaux du lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 16 : 155-166, 287.

RITTER. G. 1888. Pureté des eaux profondes des lacs suisses. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 17. 241-244.

RITTER. G. 1889. Notice sur la formation des lacs du Jura et sur quelques phénomènes d'érosion des rives de ces lacs. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 17 : 87-107, 235.

RITTER, G. 1889. Alimentation de Paris par les eaux du lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 17 : 218-221, 241-244.

RITTER, G. 1892. Projet d'utilisation des forces motrices des cours d'eau du Jura français. Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat, 20 : 101-110, 186.

RITTER, G. 1893. Hydrologie des sources de Gorgier et de St Aubin. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.,* 21 : 88-99.

RITTER, G. 1899. Sur la force motrice du Seyon. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 27 : 146-166, 291.

RITTER, G. 1900. Sur l'hydrologie neuchâteloise. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 28 : 158-179.

ROUSSY, A. 1986. L'énergie, pp. 191-199 *in :* Les Gorges de l'Areuse. *Ed. la Baconnière et Société des sentiers des Gorges de l'Areuse. Neuchâtel.* 219 pp.

SAIOD 1979. Traitement intégré des déchets solides et liquides. Rapport scientifique et économique pour la réalisation d'un pilote industriel. *Rapport interne de la Société SAIOD, Colombier.* 50 pp. 6 plans.

SCHAER, J-P. *et al.* 1998. Géologie du Creux-du-Van et des gorges de l'Areuse, *in* : Nature au Creux-du-Van. *Ed. du Club jurassien. Colombier.* pp. 143-221.

SCHAER, J-P. 1998. Les géologues et le développement de la géologie en pays de Neuchâtel. *Museum d'histoire naturelle de Neuchâtel.* 81 pp.

SCHAER, J-P. 2009. Contributions géologiques d'une société scientifique de Province : la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel. *Travaux du Comité français d'histoire de la géologie.* 3ème série, t. XXIII, no 7, pp 147 à 183.

SCHARDT, H. 1903. Note sur l'origine du lac des Brenets. *Bull. Soc.neuchâtel. Sci.nat.* 31. 312-324.

SCHARDT, H. 1904. Origine de la source de l'Areuse (la Doux). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 32 : 118-139.

SCHARDT, H. 1904. Les sources issues des terrains calcaires et leurs qualités comme eau d'alimentation. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 32 : 221-242.

SERVICE CANTONAL DE L'ENERGIE ET DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (SENE) 2005-2010. Divers documents «eau potable - eaux usées» du site www.ne.ch/environnement, notamment l'épuration de l'eau par M. Jean-Daniel Rosselet.

SERVICE DE LA CONSOMMATION (ancien Laboratoire Cantonal) 2005. Documents de l'Inspectorat cantonal des eaux, par MM. Jean-Claude Gaffner et Raymond Droz.

SERVICE DE LA CONSOMMATION ET DES AFFAIRES VETERINAIRES (SCAV) 2010. Documents transmis par MM. André Pittet et Jean-Pierre Girard.

SOCIETE SUISSE DES INDUSTRIES DES EAUX ET DU GAZ (SSIGE). 2008-2010. L'eau potable suisse, une marque de qualité. Diverses fiches sur le site web www.trinkwasser.ch/fr.

SOLLBERGER, H. 1969. La pollution des eaux. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 92 : 97-98.

SOMMARUGA, A. 1997. Geology of the central Jura and the Molasse Basin. *Thèse de doctorat : Mémoire de la Société neuchâteloise des sciences naturelles.* Tome XII. 176 pp.

STETTLER, R. 1986. Captage et conditionnement d'eau de boisson. In "Les Gorges de l'Areuse". *Editions de la Baconnière et Société des Sentiers des Gorges de l'Areuse, Neuchâtel.* Pp. 168-199.

STETTLER, R. 1987. Centenaire du Service des eaux de la Ville de Neuchâtel (1887-1987). *Bulletin de l'ARPEA (Association romande pour la protection des Eaux et de l'Air)*, no 143, pp. 39-63.

STETTLER, R. 1987. Qualité et traitement de l'eau de boisson distribuée dans les villes de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds. Revue Gaz – Eaux – Eaux usées. *Société suisse de l'industrie du gaz et de l'eau (SSIGE), Zurich.* 67e année, no 9, pp. 569-586.

STETTLER, R. 1990. Aspects géologiques et hydrogéologiques des sources des Gorges de l'Areuse. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat*, 113 : 157-178.

STETTLER, R. 1995. Neuchâtel et la distribution d'eau de boisson à l'approche de l'an 2000. *Brochure Services industriels de Neuchâtel.* 32 pp.

STETTLER, R., MULHAUSER, B. & ARAGNO, P-O. 2009. Neuchâtel, cité de l'eau. *Muséum d'histoire naturelle de Neuchâtel.* 155 pp.

STRAUB, F. 2002. Note algologique **II**. Apparition envahissante de la diatomée «*Achnanthes catenata*» dans le lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 1251 : 59-65. 2 fig.

STRAUB, F., POKORNI, B., MISEREZ, J-J. & MONTANDON, P-E. 2004. Note algologique **III**. Naissances algales dans le Jura suisse en 2003. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.*127. 57-67.

STRAUB, F. & JEANNIN, P-Y. 2006. Efficacité autoépuratoire de tracé aérien et karstique d'un effluent de station d'épuration (La Ronde, Jura suisse) : valeur indicative des diatomées. *Revue Symbiose*, no 14. 35-41.

TRIPET, J-P. 1972. Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse. *Mat. carte géol. suisse, série hydrologie* 21. 183 pp.

Ouvrages recommandés concernant les principales thématiques de l'eau :

KERVASDOUE, J. DE, & VORON, H. 2012. Pour en finir avec les histoires d'eau, l'imposture hydrologique. *Ed. Plon, Paris.* 309 pp.

LEFEUVRE, J.-C. (sous la direction de). 2011. De l'eau et des hommes. *Editions de Monza, Unesco, Paris.* 400 pp.

MERCIER, J. 2000. Le Grand Livre de l'Eau. *La Renaissance du Livre, Tournai, Belgique.* 186 pp.