

Freecooling en milieu urbain. Confrontation des besoins et des ressources pour la Ville de Neuchâtel

Pierre-Olivier Aragno, laboratoire des eaux et de l'environnement, 2000 Neuchâtel
(pierre-olivier.aragno@ne.ch)

Marc Affolter, Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., 2037 Montezillon
(info@masai-conseils.com)

Résumé

Une enquête auprès de consommateurs de froid reconnus ou potentiels en Ville de Neuchâtel (35'000 habitants) révèle une demande dépassant 15 MW.

Confrontée aux ressources naturelles disponibles (lac, la Serrière, nappes alluviales), il apparaît que ces besoins pourraient être couverts sans recourir à des machines frigorifiques.

La diversité des ressources et des puissances appelées conduira à choisir des systèmes de distribution très divers : puits individuels, réseaux regroupant quelques immeubles, réseaux de quartier.

La rentabilité économique de ces ressources ne devrait toutefois être atteignable qu'avec leur utilisation hivernale pour l'alimentation de pompes à chaleur.

Le "modèle de Neuchâtel" s'applique bien à d'autres villes suisses dont beaucoup sont situées à proximité d'une rivière et (ou) au bord d'un lac.

Zusammenfassung

Eine Umfrage unter bekannten respektive potentiellen Kälteverbrauchern in der Stadt Neuenburg (35'000 Einwohnern) hat eine Energienachfrage (Kälteleistung) von über 15 MW ergeben.

Berücksichtigen wir die natürlich vorkommenden Ressourcen (z. B. die Nutzung des Seewassers, der Serrière und Grundwasservorkommen) sollte dieser (Energie) Bedarf ohne Kältemaschinen gedeckt werden können.

Die Ressourcen-Vielfalt und die Art der zu erbringenden Leistung werden zu verschiedenen Verteilssystemen führen: beispielsweise individuelle Grundwasserbrunnen, kleine Verteilnetze für wenige Liegenschaften aber auch ganze Quartiernetze.

Eine ökonomische Rentabilität dieser Ressourcen sollte jedoch erst mit der saisonalen Nutzung (Winter) der Installationen mittels Wärmepumpen auch für die Beheizung der angeschlossenen Gebäude erreicht werden.

Das "Neuenburger-Modell" kann sehr gut auch von anderen Schweizer Städten umgesetzt werden, welche sich an einem Fluss oder an einem See befinden.

1. Situation et objectifs

La canicule de 2003, dont on dit qu'elle se reproduira de plus en plus fréquemment, a montré que les besoins en rafraîchissement et climatisation des bâtiments allaient en s'accroissant. D'autre part, les cantons sont relativement restrictifs pour donner des autorisations pour la production de froid à partir de machines frigorifiques. Enfin, les demandes d'électricité des climatiseurs entraînent actuellement des pointes électriques significatives sur les réseaux électriques.

La nature a mis à disposition un certain nombre de ressources de froid naturel que sont les lacs, les rivières, les nappes souterraines et le terrain lui-même.

La ville de Neuchâtel est située au bord d'un lac, déjà exploité pour des besoins de rafraîchissement par plusieurs utilisateurs (hôtels, industrie du tabac). Le long des rives, on trouve également des accumulations de graviers aquifères (moraines, deltas) qui sont le siège d'une nappe souterraine et qui sont exploitées à des fins de rafraîchissement. La combinaison des diverses ressources de froid constitue l'une des originalités du projet.

L'objet de l'étude vise à démontrer que dans le contexte topographique, hydrologique et géologique de la ville de Neuchâtel, il est techniquement et économiquement possible d'offrir du froid en été et partiellement du chaud en hiver pour alimenter des pompes à chaleur.

La distribution de froid à distance par une communauté publique est une idée pour l'instant très peu développée. Jusqu'à présent, les utilisateurs exploitent le froid disponible sur place de manière indépendante et non coordonnée. On dénombre toutefois quelques projets en cours, comme l'utilisation de l'eau du lac Léman par la ville de Genève pour un projet d'approvisionnement en froid du quartier abritant les institutions internationales. Autre exemple, la Ville de Toronto a un projet en voie de réalisation pour son quartier d'affaires.

2. Méthodologie retenue

La première étape de l'étude, initiée en septembre 2005, a consisté à définir précisément les stratégies et la méthodologie à adopter pour la conduite du projet. Pour ce faire, des partenaires représentant les institutions publiques communales et cantonales mais aussi des spécialistes du secteur privé (bureau d'ingénieurs spécialisé en thermique du sous-sol et du bâtiment, spécialistes dans le dimensionnement des conduites d'approvisionnement) ont été réunis au sein d'un groupe de travail.

La stratégie (figure 1), a consisté d'abord à confronter la demande et les ressources en freecooling. Cette première étape achevée, il est prévu d'établir un concept de distribution dans chaque secteur de la ville (forages en nappe, captages en rivière, captage dans le lac, petit ou grand réseau de distribution, systèmes individuels ou centralisés).

Actuellement, en l'état d'avancement du projet, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Evaluation de la demande et de l'exploitation actuelle en froid d'origine naturelle. Dans un premier temps, un **recensement des installations existantes** a été effectué avec la collaboration notamment des services industriels de la Ville de Neuchâtel.
- **Conférence de presse** auprès des médias régionaux pour présenter le projet. Les médias présents ont largement diffusé l'information par plusieurs articles de presse, sujets d'actualité en radio/télévision et publications dans des magazines.
- Recensement des utilisateurs potentiels et informations complémentaires sur les installations existantes par une **enquête** menée auprès des entreprises privées et des services publics de Neuchâtel. Un questionnaire simple, mais permettant de dresser une image claire de la demande en froid a été élaboré et envoyé à 1'150 entreprises. Celles-ci devaient notamment répondre à des questions concernant l'usage actuel de froid (type et quantité) ainsi que l'intérêt pour un raccordement à un réseau de freecooling (type de besoin à combler et puissance demandée). Une version électronique du questionnaire a été mise à disposition des utilisateurs sur la page web du projet.

- Inventaire des **ressources naturelles en froid** disponibles (lac, rivières, eaux souterraines), tant en quantité qu'en température, à partir de données existantes, sur l'hydrologie, l'hydrogéologie et la limnologie.
- Délimitation d'un **périmètre d'action** (9 secteurs) selon la situation géographique, la proximité et le type de ressource en froid disponible et l'organisation urbanistique des quartiers de la ville.

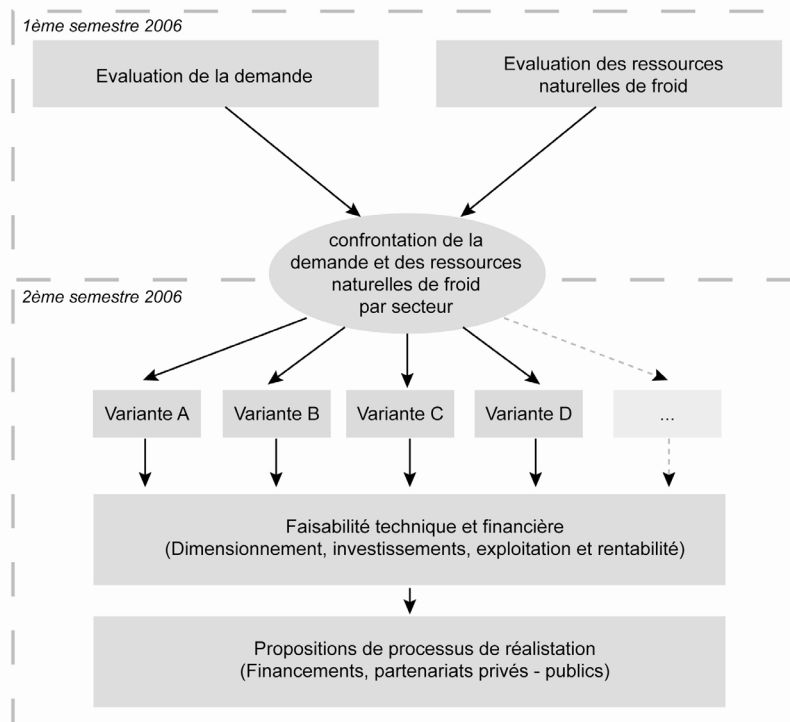


Figure 1 : description des principales étapes de l'étude et programme d'avancement

3. Résultats intermédiaires

3.1 Enquête

Les résultats techniques de l'enquête sont donnés au tableau 1.

ETAT AU 30 JUIN 2006		
Questionnaires envoyés :	1'145	100.0 %
Questionnaires parvenus aux destinataires :	1'040	90.8 %
Réponses reçues :	200	19.2 %
dont : Documents incomplets	41	20.5 %
Clients intéressés par freecooling	95	47.5 %
Pas intéressés par freecooling	62	31.0 %
Consommateurs actuels de froid	85	42.5 %
Consommateurs actuels de froid pas intéressés par freecooling	16	8.0 %

Tableau 1 : principaux résultats de l'enquête auprès des consommateurs

On constate que :

- 19.2 % des personnes contactées ont répondu au questionnaire.
- 47.5 % des personnes ayant retourné le questionnaire se sont dites intéressées par l'utilisation d'une source de freecooling. La proportion atteint 58.0 % si on tient compte des utilisateurs intéressés, mais n'ayant pas d'opinion affirmée sur le sujet.
- 20.5 % des questionnaires reçus étaient incomplets, et nécessitent une enquête téléphonique complémentaire.
- Les principaux intéressés sont dans le domaine de la santé (cabinets médicaux, hôpitaux, homes, laboratoires, etc.).
- 8.0 % seulement des utilisateurs actuels de froid ayant répondu ne sont pas intéressés à changer leur installation pour une alimentation en freecooling à prix compétitif.
- 31.0 % des personnes ayant retourné le questionnaire disent ne pas avoir d'intérêt pour le freecooling.

Enfin, de grands consommateurs de froid (bâtiments industriels et administratifs) ont manifesté un intérêt pour un raccordement à un système de distribution de freecooling, ce qui démontre que le projet est en phase avec les besoins actuels de la Ville de Neuchâtel.

3.2 Répartition spatiale de la demande en freecooling

A partir des résultats de l'enquête et de recherches complémentaires, on a établi une carte provisoire (état au 30 juin 2006) de la demande en froid (figures 2 et 3).

La demande en Ville de Neuchâtel est maximale dans les secteurs Maladière (4'435 kW), Rives-Ouest (4'310 kW), Centre-Ville (2'461 kW) et Pierre-à-Bot (1'820 kW).

- Au Centre-Ville, on observe une forte densité d'utilisateurs de petite à moyenne taille, en majorité des commerces, cabinets médicaux et infrastructures communales. Vers l'Est, les utilisateurs s'espacent.
- Dans les secteurs Monruz et Portes-Rouges (Est de la Ville), les utilisateurs potentiels et existants sont espacés et de taille moyenne.
- Les secteurs Maladière et Pierre-à-Bot sont caractérisés par la présence de quelques grands utilisateurs industriels.
- Dans le secteur de la Gare CFF, on dénombre plusieurs utilisateurs regroupés de petite à moyenne taille.
- A Serrières et Vauseyon, les clients potentiels sont peu nombreux et dispersés.
- La demande située hors des secteurs sélectionnés est négligeable (113 kW).

Au total, à partir des questionnaires reçus et des recherches complémentaires les besoins au 30 juin 2006 pour la Ville de Neuchâtel sont les suivants :

- | | | |
|---|------|----|
| • Exploitation actuelle en freecooling | 5.2 | MW |
| • Demande identifiée en froid technique et freecooling | 10.5 | MW |
| • Total des besoins et de l'exploitation actuelle en froid technique et freecooling | 15.7 | MW |

Il est certain que la mise à disposition de froid naturel et bon marché entraînerait à moyen terme au moins un doublement de cette valeur.

Image non disponible, confidentialité des données

Figure 2 : localisation des utilisateurs potentiels en froid d'origine naturelle, y compris installations existantes. Etat au 30 juin 2006.

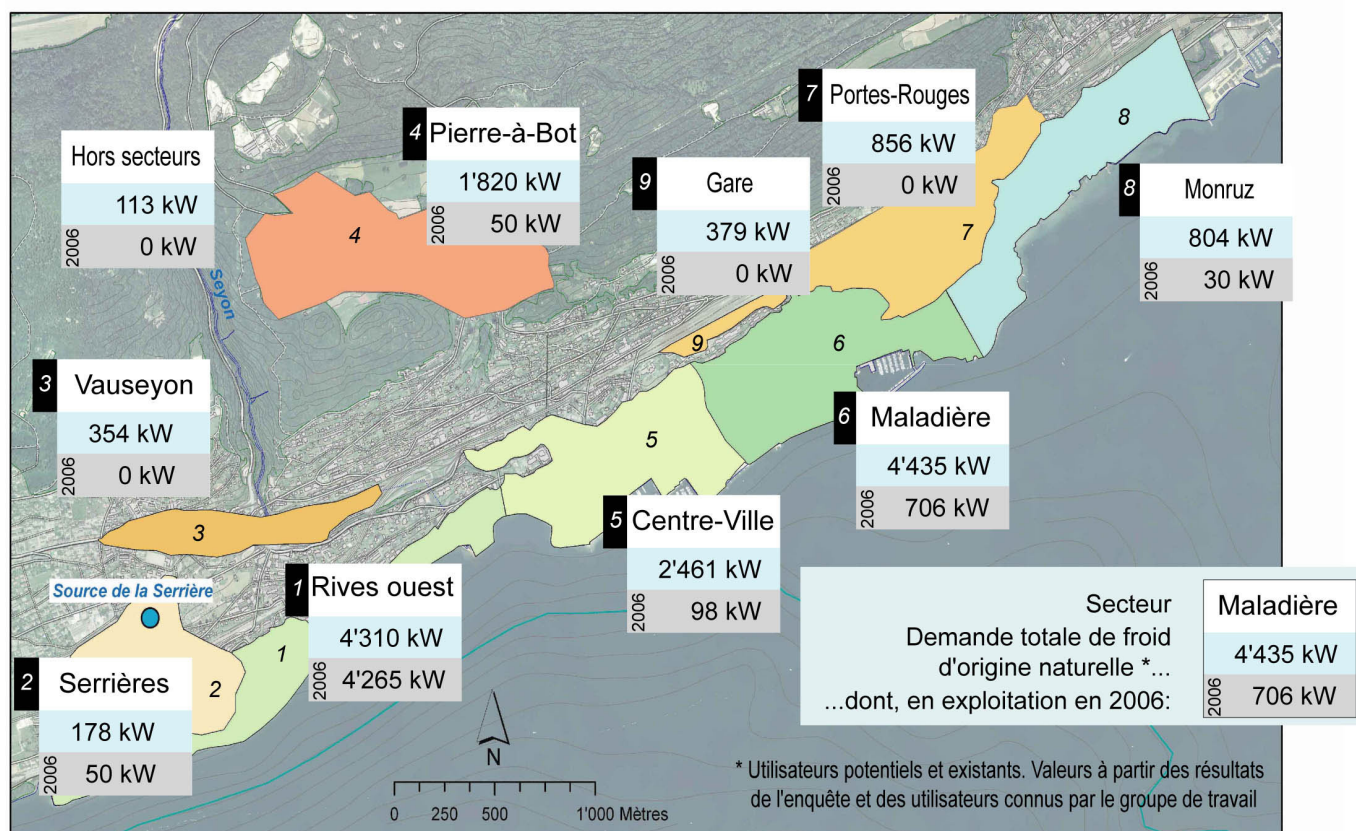


Figure 3 : estimation provisoire par secteur de la demande en froid d'origine naturelle, y compris installations existantes, établie sur la base d'un questionnaire envoyé à 1'145 entreprises. Taux de réponses 19.2 %. Etat au 30 juin 2006.

3.3 Identification des ressources en froid naturel

Sur le territoire de la Ville de Neuchâtel, les ressources en froid naturel facilement disponibles sont par ordre d'importance (figure 4) :

- Le lac.
- La source de la Serrière, (débit moyen 2.5 m³/s).
- La nappe du delta du Seyon située sous le Centre-Ville.
- Les nappes souterraines périlacustres.

Plus généralement, et déjà exploités par des sondes en terre, on ajoutera les calcaires constituant le substratum rocheux présent sur le coteau. Les nappes souterraines profondes ne sont pour l'instant pas considérées (température plus élevée, difficulté d'accès).

A Neuchâtel, les ressources en froid s'articulent autour du lac de Neuchâtel et d'une source karstique, la Serrière (figure 4). On rencontre également une nappe phréatique bordant le rivage, située dans les terrains gagnés sur le lac depuis plusieurs siècles, ainsi que dans un ancien delta graveleux formé par le Seyon. L'aquifère situé dans les calcaires constituant le soubassement de la Ville de Neuchâtel a été écarté d'emblée des ressources à envisager en raison de la difficulté technique d'exploitation des eaux souterraines. De même, le Seyon, s'écoulant pourtant non loin du Centre-Ville, présente de variations de température trop importantes.

3.3.1 Le lac

Le lac est une ressource presque inépuisable en regard de l'utilisation pour la production de froid. Cependant, les niveaux recherchés, avec une température stable toute l'année, sont situés au-dessous de la cote 390 m.s.m., soit à plus de 40 mètres de profondeur. Ces niveaux sont situés en dessous de l'épilimnion, soit la partie supérieure du lac qui se réchauffe en période estivale [1].

A ces profondeurs, la température de l'eau du lac oscille entre 7 et 10°C. La légère augmentation est liée au brassage des eaux du lac qui s'effectue en général en fin d'année lors du passage des dépressions entre les mois d'octobre et décembre.

La distance à parcourir pour atteindre ces niveaux d'eau froide à partir du rivage de la commune de Neuchâtel varie de 0.5 km à plusieurs km (figure 4). Ce paramètre sera un des facteurs limitant pour l'exploitation de cette ressource, et on remarque que le l'installation de conduites de pompage dans le lac n'est a priori envisageable que pour la zone littorale située entre Serrières et le Centre-Ville.

La réflexion intègre les installations existantes. Parmi celles-ci, une station de pompage des services industriels pour le conditionnement des eaux de boisson pourrait être utilisée pour le pompage et la distribution d'eau froide. La station possède une conduite de 700 mm de diamètre prélevant de l'eau à 55 mètres de profondeur. Actuellement, la capacité de pompage est d'environ 1'800 m³/h. A Serrières, l'entreprise Philip Morris utilise également le lac comme source de froid.

3.3.2 La Serrière

La source de la Serrière jaillit à une altitude de 475 m.s.m. dans l'ouest de l'agglomération neuchâteloise (figure 4). Son débit annuel moyen est de 2.5 m³/s et montre une bonne stabilité, malgré l'origine karstique de la source. Le bassin d'alimentation de la Serrière est constitué par des calcaires jurassiques sur une surface totale de 88 km² [2]. La température annuelle moyenne de la source est de 8.8 °C, avec de faibles variations annuelles de température (Tmax. 9.2 °C; Tmin. 8.3 °C). Ces caractéristiques en font une ressource thermique d'excellente qualité pour le freecooling. Le potentiel frigorifique est de 11.1 MW, pour le débit minimal de 0.38 m³/s et pour un différentiel de température ΔT de 7.0 °C. Actuellement, une très petite partie des eaux de la Serrière est utilisée à des fins de refroidissement.

3.3.3 L'ancien delta du Seyon

La rivière du Seyon n'est pas directement exploitable pour du freecooling. Son débit en étiage est parfois inférieur à 200 l/seconde et sa température estivale s'élève jusqu'à 20 degrés. Pour protéger le Centre-Ville des crues, cette rivière a été détournée au XIX^{ème} siècle. Son delta orphelin renferme toujours une nappe, qui draine une partie des reliefs calcaires du Valanginien et probablement en partie des eaux provenant du Malm. Cette nappe, en équilibre avec le lac, est disponible dans tout le Centre-Ville à quelques mètres sous les rues piétonnes.

Actuellement, il existe peu d'indications sur le potentiel de cette ressource. Les perméabilités sont considérées comme bonnes à moyennes (entre 10^{-2} et 10^{-5} m/s).

Cette nappe est actuellement exploitée par quelques petites installations de pompage à l'échelle d'un immeuble pour la production de froid notamment pour des centres commerciaux (Interdiscount, Coop de la Treille).

Dans cette situation, la réflexion pourrait s'étendre au-delà de la simple demande de froid. Il serait intéressant de pouvoir utiliser ce réservoir souterrain relativement fermé comme bassin thermique tampon permettant ainsi l'été de la réchauffer l'utilisant pour du freecooling et la refroidir l'hiver en l'utilisant pour du chauffage (pompe à chaleur).

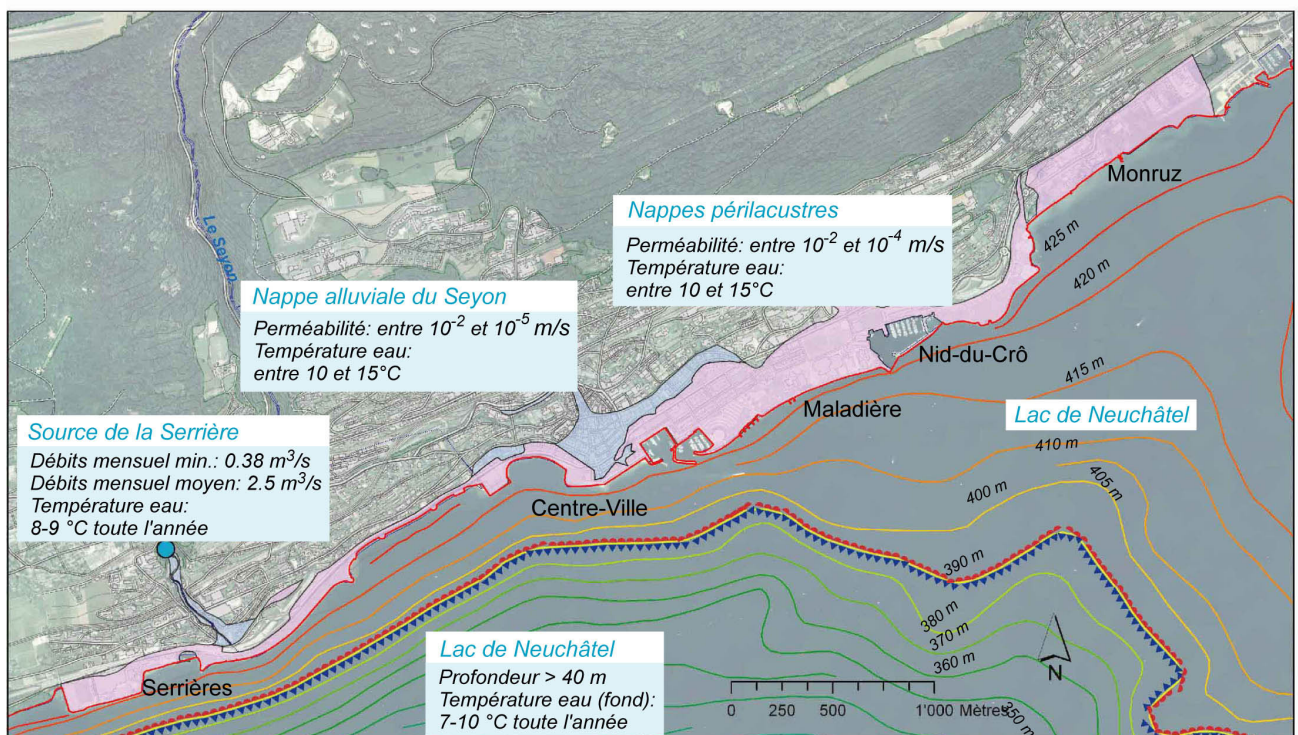


Figure 4 : inventaire et localisation des ressources naturelles de froid en Ville de Neuchâtel.

3.3.4 Les nappes périlacustres

Le comportement de cette nappe souterraine littorale est largement influencé par le niveau de base formé par le lac. Elle est l'interface entre le lac et les premiers reliefs formés par les calcaires hauteriviens. Sa partie supérieure est constituée par les accumulations sédimentaires quaternaires depuis Serrières jusqu'à Monruz. Sa largeur varie de quelques dizaines de mètres à près de 500 mètres dans le secteur Maladière (figure 4).

Le potentiel d'utilisation du froid de la nappe souterraine est important, en raison de la stabilité de la température. Des mesures ponctuelles indiquent que la température de l'eau pompée varie habituellement entre 10 et 15 °C. La température maximale de 15 °C a été observée lors d'une

situation peu favorable, où le pompage donnait lieu à un apport d'eaux superficielles et chaudes du lac.

La perméabilité de l'aquifère est bonne à moyenne (10^{-2} à 10^{-4} m/s), car il s'agit de nombreux cas de remblais assez lâche en surface. En profondeur, on trouve entre des niveaux limoneux et des niveaux de graviers assez productifs.

Cette nappe est actuellement utilisée pour refroidir en partie la patinoire de la Ville. Un projet de pompage conséquent prévoit dans le cadre du futur complexe multifonctionnel de la Maladière (Stade et centre commercial) de pomper jusqu'à 400 m³/h pour produire du froid.

3.4 Confrontation des besoins et de la ressource

L'avancement de l'étude ne permet pas encore d'arrêter et de dimensionner des solutions d'approvisionnement en froid. On remarque cependant après cette première phase que la demande est assez bien adaptée à la ressource disponible, sauf pour les secteurs de Pierre-à-Bot, Gare et Portes-Rouges où, en raison de l'importance de la demande, des solutions économiquement acceptables devront être trouvées pour transférer le froid provenant d'autres secteurs (lac, Serrière).

4. Ce qui reste à faire

Parmi les travaux à réaliser pour achever l'étude, citons :

- Compléter au mieux la carte des besoins en freecooling.
- Rechercher la demande actuelle de froid par interprétation des consommations électriques d'été.
- Choix de solutions de distribution adaptées à la ressource et à la demande de chaque secteur.
- Estimation du potentiel de consommation pour l'alimentation en hiver.
- Estimation du coût et du prix de revient du kWh froid.
- Proposition d'organisation administrative pour la distribution de froid technique en ville de Neuchâtel.
- Identification des problèmes environnementaux.

Une première analyse montre qu'il n'y a pas de solution universelle et que l'on va vers des systèmes de distribution peu centralisés ou très centralisés selon la situation de la ressource et l'importance locale des besoins.

5. Bibliographie

- [1] Sollberger Henry (1974) : Le lac de Neuchâtel (Suisse). Ses eaux, ses sédiments, ses courants sous-lacustres. Thèse, Université de Neuchâtel, 434 p.
- [2] Matthey Bernard (1976) : Hydrogéologie des bassins de la Serrière et du Seyon. Thèse, Université de Neuchâtel, 324 p.
- [3] Le Nouveau Pohlmann (1983) : Manuel technique du froid. Eds. Pyc éditions, 75740 Paris Cedex 15.

Neuchâtel, le 17 juillet 2006