



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final 23 décembre 2009

Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments.
Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel,
Suisse

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Energie dans les bâtiments
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Cofinancement:

Bruggrohrsysteme AG, CH-1400 Yverdon
Service cantonal de l'énergie, CH-2000 Neuchâtel
Services industriels de Neuchâtel (actuellement Viteos SA) CH-2000 Neuchâtel

Mandataire:

Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A.
19, rue de la grande-Fin
CH-2037 Montezillon
www.masai-conseils.com

Auteurs:

Bernard Matthey, Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., info@masai-conseils.com
Marc Affolter, Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., affolter@masai-conseils.com

Responsable de domaine de l'OFEN: Andreas Eckmanns

Chef de programme de l'OFEN: Charles Filleux

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 101229 / 151460

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Table des matières

1. Objectifs	5
1.1. Description du projet.....	5
1.2. Résultats recherchés.....	5
1.3. Méthode et voies de réalisation.....	6
1.4. Délimitation du projet.....	6
1.5. Organisations et institutions ayant collaboré à l'étude	6
1.6. Personnes ayant participé au projet.....	7
1.7. Publications	8
2. Méthodologie.....	8
3. Analyse de la demande en froid	9
3.1. Enquête auprès des usagers potentiels	9
3.2. Caractéristiques de la demande en froid	10
4. Identification des ressources en froid naturel	10
4.1. Généralités	10
4.2. Le lac de Neuchâtel.....	10
4.3. La Serrière et autres cours d'eau	11
4.4. L'ancien delta du Sèyon	11
4.5. Les nappes périlacustres	12
4.6. Confrontation des besoins et de la ressource	12
5. Solutions proposées pour la fourniture d'eau froide en Ville de Neuchâtel	13
5.1. Secteur Centre-Ville	13
5.1.1. Solution A : création d'un réseau de distribution d'eau froide par captage d'eau de lac	13
5.1.2. Solution B : captage dans la nappe souterraine (complément au réseau de distribution d'eau de lac)	13
5.1.3. Solution C : Utilisation du réseau d'eau de la Ville (solution transitoire)	14
5.2. Captages dans la nappe en dehors du Centre-Ville.	15
5.3. Alimentation de la partie haute de la Ville	15
5.4. Serrières et sa source	16
5.4.1. La source de la Serrière	16
5.4.2. Situation, données de base	16
5.4.3. Température, débit et potentiel thermodynamique	16
5.4.4. Quelques scénarios envisageables.....	17
5.4.5. Les consommateurs potentiels.....	18
5.4.6. Un réseau pour le chaud et le froid	18
5.4.7. Bilan énergétique et aspects financiers.....	19
6. Remarques finales et conclusions	20
7. Bibliographie	21

Résumé

Une enquête auprès de consommateurs de froid reconnus ou potentiels en Ville de Neuchâtel (35'000 habitants) révèle des besoins en froid dépassant 15 MW. Confrontée aux ressources naturelles disponibles (lac, source de 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 demandées nécessite de recourir à des systèmes de distribution divers et complémentaires : puits individuels, réseaux regroupant quelques immeubles, réseaux de distribution d'eau de lac à l'échelle du quartier.

Trois variantes d'approvisionnement du Centre-Ville sont évaluées : eau brute de lac, eau de la nappe souterraine, eau du réseau existant. L'analyse montre l'attractivité économique de la construction d'un réseau d'eau brute du lac destinée au freecooling et à des pompes à chaleur en hiver. Dans une première étape et pour susciter la demande, la fourniture de froid par le réseau d'eau potable existant peut être envisagée. Dans le quartier de Serrières, le pré-dimensionnement d'un réseau de distribution de chaleur et de froid à partir de la rivière Serrière a démontré que l'opération est techniquement et économiquement réalisable.

Abstract

The potential cooling demand in the city of Neuchâtel (35'000 inhabitants) is estimated to a minimum of 15 MW. Considering the natural cooling resources available (Lake, Serrière spring, groundwater), these needs can be satisfied without electrical refrigeration equipment.

However, the multiplicity of resources and needs implicates the use of multiple and complementary water supply systems: individual wells, multiple building network, lakewater distribution network for an entire district.

Three exploitation systems to supply cooling water to the center of Neuchâtel have been evaluated : lake water, groundwater, existing drinking water network. The analysis indicates that the realization of a lakewater network for freecooling and heat pumps is economically attractive. In a first step and to meet the short-term demand, the providing of cool water through the existing drinking water network can be considered. In Serrières, the use of the thermal and cooling resource of the Serrière river has been evaluated. The results demonstrates the technical and economical faisability of a heating and cooling water supply network.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

1. Objectifs

1.1. Description du projet

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. Des exploitations d'eau froide à des fins de rafraîchissement existent, dont certaines ont été établies par l'auteur du projet (Musée Laténium, hôtel Palafittes, CPLN), ou ont fait l'objet de repérages et de mesures (Brasseries Müller, Belcoop, Galeries du Louvre).

L'objet de l'étude était de 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 combinaison des diverses ressources de froid (nappe souterraine, lac) constitue l'une des originalités de l'étude proposée.

L'étude débute par une enquête auprès de clients potentiels sélectionnés (industries, instituts de recherche, banques, grands magasins, etc.) pour connaître leurs besoins actuels et idéaux.

Ensuite, on fait l'inventaire des ressources disponibles (lac, eaux souterraines), tant en quantité qu'en température, à partir de données existantes, sur l'hydrologie, l'hydrogéologie et la limnologie. Quelques relevés de température sur des installations existantes seront effectués.

En combinant demande et ressource, on a établi un concept de distribution, centralisé ou non, adapté au site de Neuchâtel qui n'est pas unique, puisque beaucoup de villes suisses sont établies au bord d'un lac.

Un prix de l'énergie froide a été estimé en fonction des options possibles.

L'étude examine également s'il est raisonnable de solliciter ce système de distribution d'eau froide pour alimenter des pompes à chaleur en hiver et évalue les obstacles administratifs et environnementaux.

1.2. Résultats recherchés

Les résultats recherchés sont les suivants :

- Fournir du froid en été et du chaud en hiver en maîtrisant les coûts de production, en optimisant la technique de production et en respectant l'environnement ;
- Tenir compte des réseaux existants et des ressources naturelles (lac, nappe souterraine, source de la Serrière) ;

- Obtenir un prix de vente du froid ou (et) du chaud pour les clients privés et publics. Compte tenu des ressources existantes, de la disposition de la basse ville de Neuchâtel, examiner s'il est préférable de construire un seul réseau, des réseaux décentralisés ou des exploitations individuelles. Examiner également si le dispositif envisagé n'est rentable que dans la mesure où on utilise à la fois la ressource chaude et la ressource froide.

1.3. Méthode et voies de réalisation

L'étude proposée comprenait les étapes suivantes :

- Création d'un groupe d'étude et attribution des tâches (Services industriels de la Ville de Neuchâtel, Service de l'énergie, Bruggrohrsysteme AG, AJS Ingénieurs Civils SA) ;
- Enquête auprès de consommateurs sélectionnés (industries, grands magasins, centres de recherche, bureaux, etc.) ;
- Choix d'un périmètre d'extension des clients ;
- Calcul des puissances de froid (pointe) en été ;
- Evaluation des demandes annuelles (froid) ;
- Ressources potentielles en hiver (nappe souterraine, lac); potentiel à disposition en termes de débits et températures;
- Inventaire des équipements existants avec prélèvements d'eau froide en lac ou en nappe souterraine ;
- Définition et dimensionnement du mode de distribution. Différentiels de température exploitables. Nature des conduites. Comment créer un ΔT maximum ;
- Gestion de l'évacuation des eaux réchauffées (eaux claires, nappes souterraines) ;
- Essai de tracés. Plusieurs réseaux ou un seul réseau ;
- Analyse technico-économique, investissements, frais de fonctionnement, prix du froid, prix de la chaleur (en hiver), obstacles techniques, environnementaux et administratifs ;
- Propositions pour la mise en place d'un "Trägerschaft". Quel rôle doivent jouer les services publics ;
- Rédaction d'un rapport ;
- Publication des résultats de l'étude dans une revue technique.

1.4. Délimitation du projet

La distribution de froid à distance par une communauté publique est pour l'instant très peu développée. Les villes de Genève et l'entreprise Serono ont récemment réalisé un projet pour le quartier abritant les institutions internationales qui utilisera l'eau du lac.

La Ville de Toronto a un projet en voie de réalisation pour son quartier d'affaires.

Plus généralement, jusqu'à ce jour, les utilisateurs sont isolés et chacun cherche à exploiter le froid disponible sur place.

1.5. Organisations et institutions ayant collaboré à l'étude

L'étude a été dirigée et effectuée pour l'essentiel par les collaborateurs de Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils SA, bureau qui comprend à la fois des ingénieurs CVC (chauffage, ventilation, climatisation) et un hydrogéologue.

Les Services industriels de Neuchâtel, actuellement Viteos SA, étaient concernés par l'étude dans la mesure où la réalisation d'un tel projet concerne leurs clients actuels, et qu'ils endosseraient probablement le rôle de maître d'ouvrage et d'exploitant en cas de réalisation. Ce service s'est occupé de l'envoi des documents de l'enquête et ont fourni des informations précieuses sur le cadastre souterrain et les coûts de réalisation.

Le Service cantonal de l'énergie était concerné par le projet dans la mesure où il s'inscrit dans la politique énergétique cantonale.

Bruggrohrsysteme AG à 1400 Yverdon, que nous avons sollicité, dispose d'une grande expérience dans la distribution de fluides et a été à même de faire des recommandations précieuses en ce qui concerne le choix des équipements.

AJS Ingénieurs Civils SA à 2000 Neuchâtel a participé au dimensionnement et au calcul du coût des ouvrages souterrains (fouilles, stations de pompage, prises d'eau).

L'entreprise Hildenbrand A. & Cie à 2072 St-Blaise a validé le coût des conduites de distribution d'eau froide en ville de Neuchâtel.

1.6. Personnes ayant participé au projet

- Direction de l'étude, coordination, rédaction du rapport
Bernard Matthey
Dr. ès Sciences
Hydrogéologue, spécialiste des transferts de chaleur dans les milieux poreux
La Grande-Fin 19, 2037 Montezillon
- Responsable du projet, dimensionnement des installations, évaluation des ressources
Marc Affolter
Hydrogéologue, géologue diplômé de l'Université de Neuchâtel
La Grande-Fin 19, 2037 Montezillon
- Dimensionnement des installations et évaluation des ressources, soutien à l'enquête administrative
Pierre-Olivier Aragno
Délégué à l'environnement, laboratoire des eaux et de l'environnement des Services industriels de Neuchâtel, actuellement Viteos SA
Quai Max-Petitpierre 28
2000 Neuchâtel
- Recherche et évaluation des ressources en eau
Pascal Monnot
Hydrogéologue, géologue diplômé de l'Université
Responsable de projet (jusqu'à fin 2005)
La Grande-Fin 19, 2037 Montezillon
- Dimensionnement des installations CVC
Sylvain Langel
Ingénieur mécanicien CVC
Economie d'énergie, utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment
La Grande-Fin 19, 2037 Montezillon
- Systèmes freecooling
Jeremy Dupuy
Ingénieur CVC
Calcul des investissements
La Grande-Fin 19, 2037 Montezillon
- Documentation sur installations existantes, calcul des prix de vente de l'énergie
Charles-Frédéric Gnaegi
Directeur technique adjoint aux services industriels de Neuchâtel,
actuellement Viteos SA
Quai Max Petitpierre 4, 2000 Neuchâtel

- Génie civil
 Séverine Scalia
 AJS Ingénieurs Civils SA
 Dimensionnement et calcul des fouilles
 Place-d'Armes 5
 2001 Neuchâtel

- Assistance technique pour le choix des matériaux
 Jacques Breguet
 Bruggrohrsysteme AG
 Coût des conduites isolées
 Jordils 20
 1400 Yverdon

- Assistance technique pour le choix des matériaux
 Michel Alberca
 Responsable département réseaux
 A. Hildenbrand & Cie
 Coût des conduites non isolées
 Rte de Soleure 10
 CH-2072 St-Blaise

- Présence de l'administration
 Jean-Luc Juvet
 Chef du Service cantonal de l'énergie
 Tivoli 16
 2000 Neuchâtel

1.7. Publications

Au cours de l'étude, les résultats intermédiaires ont été présentés par Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils SA avec la collaboration du délégué à l'énergie de la Ville de Neuchâtel Pierre-Olivier Aragno, aux 14^e (juillet 2006) et 15^e (juillet 2008) Status-Seminar BRENET (Building and Renewable Energies Network of Technology) organisés par l'EMPA. Les rapports présentés sont joints en annexe au présent rapport (Annexe 1).

2. Méthodologie

L'approche choisie comprenait les étapes suivantes (figure 1) :

- **Evaluation de la demande en froid** d'origine naturelle.
 - o Evaluation de l'exploitation actuelle, recensement des installations existantes.
 - o Evaluation de la demande potentielle par une enquête menée auprès des entreprises privées et des services publics de Neuchâtel. Diffusion de l'information par les médias (conférence de presse) afin d'augmenter l'impact de l'enquête. Envoi d'un questionnaire et analyse des résultats permettant de dresser une image représentative de la demande en froid.

- **Evaluation de la ressource en froid** disponible (lac, rivières, eaux souterraines), tant en quantité, température et potentiel énergétique, à partir de données existantes sur l'hydrologie, l'hydrogéologie et la limnologie.

- **Confrontation de la demande et de la ressource.**
 - 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 2).
 - Evaluation des solutions d'approvisionnement et de distribution pour chaque secteur. Choix des variantes prioritaires.
- **Etude de faisabilité** pour les variantes prioritaires. Dimensionnement et calcul du prix de vente au m³ d'eau délivré et au kWh consommé.
- **Propositions de solutions d'approvisionnement** et de distribution pour chaque secteur de la ville.

3. Analyse de la demande en froid

3.1. Enquête auprès des usagers potentiels

Un questionnaire accompagné d'une lettre de la direction des Services industriels a été envoyée à 1'040 entreprises et commerces sélectionnés sur la base de leur domaine d'activité. L'envoi du questionnaire a été précédé d'une conférence de presse auprès des médias locaux et régionaux. Une copie du questionnaire et du texte d'accompagnement sont fournis à l'annexe 2. En parallèle, les besoins en froid pour les bâtiments communaux ont été évalués en collaboration avec le délégué à l'énergie de Ville de Neuchâtel.

Les résultats de l'enquête auprès des consommateurs privés amènent les commentaires suivants :

- Parmi les 1'040 questionnaires envoyés, 200 réponses ont été reçues (19.2% de taux de réponses). 95 entreprises privées ont manifesté leur intérêt.
- 92 % des utilisateurs actuels de froid ayant répondu sont intéressés à changer leur installation pour une alimentation en froid naturel à prix compétitif.

Les besoins identifiés pour la Ville de Neuchâtel sont résumés par secteur au tableau 1 et résumés ci-dessous :

Demande en froid d'origine naturelle à satisfaire (juin 2008)	15.4	MW	100 %	soit ~ 41'800 MWh/an
Nombre d'utilisateurs à satisfaire	182			
dont :				
Demande en rafraîchissement (freecooling)	8.8	MW	57 %	soit ~ 8'800 MWh/an
Demande en froid technique (refroidissement de machines frigorifiques, industrie)	6.6	MW	43 %	soit ~ 33'000 MWh/an
Exploitation actuelle de froid d'origine naturelle (juin 2008)	5.6	MW		soit ~ 15'800 MWh/an

L'intérêt pour un raccordement à prix compétitif à un réseau de distribution de froid est manifeste. La puissance totale à satisfaire est de **15.4 MW**, dont 8.8 MW pour la production de rafraîchissement en été. La nouvelle demande à satisfaire est trois fois supérieure à l'exploitation actuelle, en termes de puissance et d'énergie. La mise à disposition de froid naturel et bon marché entraînera certainement à moyen terme un accroissement de la demande.

3.2. Caractéristiques de la demande en froid

A partir des résultats de l'enquête et de recherches complémentaires, une carte des utilisateurs potentiels et une carte des besoins en froid par secteur ont été établies (figures 3 et 4).

La demande est maximale dans les secteurs Maladière (9 utilisateurs pour 6.1 MW), Centre-Ville (104 utilisateurs pour 2.7 MW) et Pierre-à-Bot (9 utilisateurs pour 1.9 MW). La demande à combler est pratiquement nulle dans le secteur Rives-Ouest et très faible dans le secteur Serrières (0.2 MW).

Les caractéristiques de la demande par secteur sont résumées ci-dessous :

Secteurs	Caractéristique des utilisateurs	Puissance moyenne par utilisateur	Répartition des utilisateurs	Type des besoins en froid, en % de la puissance totale demandée
Centre-Ville	Commerces et services	26 kW	regroupés	rafraîchissement (76%)
Maladière	Infrastructures, services et industrie	680 kW	espacés	froid technique (68%)
Serrières et Vauseyon	Services, infrastructures, industrie	40 kW	dispersés	rafraîchissement (95%)
Cadolles et Portes-Rouges	Industrie, commerces et infrastructures	200 kW	espacés/ dispersés	rafraîchissement / Froid technique (50%)
Monruz	Services, infrastructures et industrie	140 kW	espacés	rafraîchissement (99%)
Gare	Commerces et services	88 kW	regroupés	rafraîchissement (86%)
Hors secteurs	Commerces, services et infrastructures	37 kW	dispersés	rafraîchissement (78%)

Les caractéristiques des utilisateurs (industries, commerces,...) sont relativement différenciées selon les secteurs de la ville. On remarque en particulier que les consommateurs potentiels du Centre-Ville sont de petite taille, regroupés et avec d'avantage de besoins en rafraîchissement. A l'opposé, les utilisateurs du secteur Maladière sont espacés, avec des puissances demandées importantes, en majorité de froid technique (réfrigération, refroidissement de compresseurs, procédés industriels).

4. Identification des ressources en froid naturel

4.1. Généralités

Sur le territoire de la Ville de Neuchâtel, les ressources disponibles en froid naturel sont par ordre d'importance (figure 5) :

- Le lac de Neuchâtel.
- La source de la Serrière, (débit moyen 2.2 m³/s).
- La nappe du delta du Sèyon située sous le Centre-Ville.
- Les nappes souterraines périlacustres.

4.2. Le lac de Neuchâtel

Le lac est une ressource pratiquement inépuisable en regard de l'utilisation pour la production de froid. La puissance totale exploitable sur la partie Neuchâteloise du lac est estimée à 509 MW [3]. 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 [1].

A ces profondeurs, qui correspondent à la base de l'épilimnion, 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 0.4 Km (Centre-ville, Serrières) à plusieurs Km (figure 6). La longueur des conduites sous lacustres à poser est un des facteurs limitant pour l'exploitation de cette ressource.

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 65 mètres de profondeur. Actuellement, la capacité de pompage est d'environ 1'800 m³/h et la température de l'eau pompée est de 6 à 7°C (figures 7 et 8). A Serrières, l'entreprise Philip Morris utilise également le lac comme source de froid.

4.3. La Serrière et autres cours d'eau

La source de la Serrière jaillit à une altitude de 475 m.s.m. dans l'ouest de l'agglomération neuchâteloise et donne naissance à un cours d'eau qui se jette dans le lac de Neuchâtel à moins de 600 m (figures 4 et 5). Le débit annuel moyen du cours d'eau est de 2.2 m³/s et montre une bonne stabilité en période sèche, 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 8.5 °C, avec de faibles variations annuelles de température (Tmax. 9.8 °C; Tmin. 7.6 °C). Ces caractéristiques en font une ressource thermique d'excellente qualité pour le freecooling et pour la production de chaleur [3]. Le potentiel frigorifique est de **11.9 MW**, pour le débit minimal de 0.38 m³/s et pour un différentiel de température ΔT de 6.3 °C. Actuellement, seule une très petite partie du potentiel de la Serrière est utilisée pour le refroidissement.

On trouvera au tableau 3 les données thermiques de la Serrière et des autres cours d'eau s'écoulant en ville de Neuchâtel (Le Seyon et le Monruz). La variabilité de ces cours d'eau en termes de débit et de température montre que leur possibilité d'utilisation est limitée.

4.4. L'ancien delta du Seyon

Le delta du Seyon contient une nappe phréatique qui draine une partie des reliefs calcaires du Valanginien et probablement en partie des eaux provenant du Malm. Cette nappe, en équilibre hydraulique avec le lac, est disponible à environ 4 mètres sous les rues piétonnes du secteur Centre-Ville.

La nappe du delta du Seyon a une superficie de 130'000 m² et une épaisseur moyenne (zone saturée) de 10 à 15 m (tableau 8). L'énergie frigorifique exploitable par captage d'eau souterraine est estimée à **1.8 GWh/an** et permettrait de fournir une puissance de 1.8 MW pour le rafraîchissement estival. En raison de sa localisation en zone urbaine et, la nappe n'est pas exploitée comme ressource en eau potable de sorte que son utilisation hydrothermique est envisageable. Les eaux souterraines sont actuellement exploitées par 5 installations de pompage individuelles pour la production de froid exclusivement. L'énergie prélevée en 2008 est estimée à 0.4 GWh/an, soit 22 % du potentiel exploitable sans recharge thermique saisonnière. Une gestion précise du stock de chaleur, avec une exploitation de la nappe pour la production de chaleur en hiver permettrait d'équilibrer le bilan thermique à l'échelle annuelle, avec pour résultat une augmentation de la puissance de froid exploitable.

4.5. Les nappes périlacustres

Les nappes périlacustres, constituées par des remblais graveleux d'origines diverses et des moraines perméables est présente en bordure de lac sur la quasi-totalité du littoral communal. La nappe atteint une largeur de quelques dizaines de mètres à près de 500 mètres dans le secteur Maladière (figures 15 à 17).

On recense en 2008 une dizaine d'installation de captage hydrothermique dans les nappes périlacustres, pour une énergie totale exploitée de 2.24 GWh/an, dont 1.75 GWh/an pour la production de froid. Parmi ces installations, on peut citer la patinoire du Littoral, le musée Laténium, la piscine du Nid-du-Crô et l'Hôtel Palafitte.

Le potentiel d'exploitation du froid de la nappe littorale est important notamment dans le secteur Monruz, en raison de la bonne perméabilité des terrains et de la stabilité de la température. En revanche, dans le secteur Maladière, on doit parfois faire face à des problèmes de qualité de l'eau pompée (présence de fer dissous), ce qui nécessite des précautions particulières au niveau de l'installation de production de chaleur ou de froid.

4.6. Confrontation des besoins et de la ressource

La confrontation des besoins par secteur avec les ressources disponibles en froid naturel a permis d'évaluer diverses solutions de captage, distribution et d'exploitation (tableau 2). Certaines variantes apparaissent comme prioritaires par rapport aux critères techniques (potentiel de la ressource, accessibilité,...) et environnementaux (aspects légaux, équilibre thermique du milieu,...) retenus. L'analyse indique que :

- Le captage et la **distribution d'eau de lac** est l'option à étudier en priorité pour de nombreux secteurs de la Ville. La distribution se fera de manière centralisée (Vauseyon, Pierre-à-Bot, Centre-Ville, Portes-Rouges, Gare) ou par groupe d'immeubles (Rive-ouest, Maladière, Monruz). Pour les secteurs éloignés de la rive, une partie de l'énergie nécessaire au pompage pourra être récupérée par turbinage.
- **L'exploitation de la nappe** est envisagée comme une option prioritaire à Monruz et comme un second choix à Rive-ouest et Maladière. Au Centre-Ville, l'exploitation de la nappe est considérée comme complément à un réseau de distribution d'eau de lac.
- A Serrières, la demande en froid recensée en 2008 ne permet pas de rentabiliser un réseau de distribution de froid seulement. Etant donné le potentiel exceptionnel de la ressource, on doit envisager en priorité la création d'un **réseau de distribution d'eau pour la production de chaleur**, avec possibilité de raccordement pour la production de froid.

Parmi les solutions choisies, les variantes les plus représentatives ont été sélectionnées pour un dimensionnement plus précis et une estimation des coûts (investissements, frais d'exploitation, prix de revient du kWh). Les variantes choisies sont :

- **Centre-Ville :**
 - o Réseau de distribution d'eau froide au Centre-Ville par captage d'eau du lac.
 - o Dans les endroits non desservis, alimentation complémentaire par puits de captage individuels.
 - o Distribution d'eau de lac traitée par le réseau d'eau potable existant, calcul du prix de vente sur la base du coût marginal d'exploitation.
- **Monruz :**
 - o Captage dans la nappe souterraine et distribution par groupe d'immeubles (pré-dimensionnement sans calcul de prix).
- **Serrières :**
 - o Réseau de distribution d'eau pour l'alimentation de pompes à chaleur et pour la production de froid à partir de la source de la Serrière.

5. Solutions proposées pour la fourniture d'eau froide en Ville de Neuchâtel

5.1. Secteur Centre-Ville

5.1.1. Solution A : création d'un réseau de distribution d'eau froide par captage d'eau de lac

En vue de répondre à la demande importante en froid d'origine naturelle dans le secteur Centre-Ville (2.7 MW), un réseau de distribution d'eau froide par captage dans le lac a été dimensionné. Ce travail de recherche de tracé pour le réseau a été fait en collaboration avec les Services industriels de Neuchâtel et le bureau d'ingénieur AJS.

La puissance nominale du réseau est de **1.8 MW**, avec le raccordement de 59 utilisateurs. L'annexe 3 donne le détail des caractéristiques techniques du réseau et le calcul des coûts. Le tableau 4 donne la liste des consommateurs potentiels annoncés et les figures 9 et 10 le tracé du réseau.

L'installation de captage comprend une conduite lestée sous lacustres de 370 m de longueur (DN 300) captant les eaux du lac à 40 m de profondeur par l'intermédiaire d'une crépine. A cette profondeur, la température moyenne de l'eau captée est de 7 ± 1 °C. La station de pompage est abritée par une chambre enterrée implantée en bordure du lac. Une pompe de 37 kW ainsi qu'une pompe de secours permettent de pomper le débit nécessaire (6'500 l/min). Les figures 11 et 12 indiquent l'emplacement prévu de la chambre de pompage en bordure du lac et l'aménée d'eau. La figure 13 donne le plan de crépine à placer au fond du lac.

Le réseau de distribution a été imaginé de façon à tirer parti de la présence de galeries techniques existantes et d'autres particularités du Centre-Ville, soit la disposition des immeubles en rangées perpendiculaires à ces galeries. Les eaux pompées sont amenées à l'intérieur de la ville par des conduites posées en galerie techniques. L'eau froide est ensuite distribuée par conduites isolées dans le sous-sol des immeubles. Au total, le réseau de distribution est constitué de 2'450 m de conduites, dont 1'330 m sont posés en sous-sol des immeubles et 600 m en galeries existantes. Seuls 310 m de fouilles sont nécessaires pour la pose des conduites au Centre-Ville, et 200 m en bordure de quai.

Les eaux réchauffées après utilisation sont infiltrées dans la nappe par l'intermédiaire de puits perdus avec tranchée d'infiltration, à l'échelle de l'immeuble ou du groupe d'immeubles. Cette solution permet de s'affranchir de la taxe d'épuration des eaux et est rendue possible par la bonne perméabilité du sous-sol. L'infiltration dans la nappe implique le respect de certaines contraintes, comme le respect de l'équilibre thermique de la nappe, la limitation de la température des eaux rejetées (ΔT d'exploitation) et le respect des puits de captage voisins.

Le prix de revient de l'eau délivrée est estimé à **~25 cts/m³ (~5.4 cts/kWh)**. Ce prix comprend l'acheminement d'eau froide chez l'utilisateur, les sous stations et le rejet en nappe souterraine (tableau 5, annexe 3).

Le montant de l'investissement est de frs. 2'500'000.- et les frais d'exploitation estimés à frs./an 72'000.-.

5.1.2. Solution B : captage dans la nappe souterraine (complément au réseau de distribution d'eau de lac)

L'exploitation décentralisée (par immeuble) de la nappe souterraine dans le secteur Centre-Ville peut être envisagée comme un complément au réseau de distribution d'eau de lac, notamment pour les utilisateurs non desservis. L'eau de nappe ne suffit toutefois pas à satisfaire l'ensemble de la demande restante, car son extension est limitée.

Le tableau 8 donne une estimation de la quantité de chaleur exploitable dans la nappe souterraine du delta du Seyon à partir d'un calcul volumétrique simple. On considérera ces valeurs comme plutôt sous évaluées sachant que l'aquifère est tout de même le siège d'un écoulement actif mais mal connu. En première approximation on peut considérer que la nap-

pe souterraine serait à même de fournir en doublet et en admettant que la recharge annuelle en froid ou en chaud est garantie :

– En freecooling pour climatisation	1'800 kW
– En froid technique	360 kW
– En chaleur pour PAC	820 kW

Les valeurs pour la climatisation et le froid technique ne sont pas cumulables. En revanche l'utilisation combinée de chaud et de froid devrait augmenter la ressource tant en hiver qu'en été.

Au cas où le nombre d'ouvrage devrait se multiplier, il est clair que ces valeurs devraient être précisées par des calculs (simulations numériques) appropriés et un plan de gestion de la nappe établi. Les utilisateurs potentiels avec accès à la nappe souterraine sont au nombre de 22 pour une puissance de demandée de 315 kW.

Un calcul préalable pour divers cas réels montre que le coût des infrastructures (puits, pompage et rejet) est d'autant plus attractif que le débit est important et que la durée d'exploitation s'accroît (freecooling seul, froid technique, froid et pompe à chaleur). Un calcul type est donné à l'annexe 4.

Le seuil de **70 cts/m³** d'eau délivrée (investissements chez le client non compris) n'est pratiquement pas dépassé dans le cas de petites installations (100 l/min, 1'000 heures/an).

Le prix de l'énergie frigorifique ou thermique est ainsi d'autant plus intéressant que le débit est élevé, variante de **17,9 à 5,7 cts/kWh** selon le débit soutiré (tableau 6). Dans le cas où le rejet à lieu dans une tranchée d'infiltration et non dans un puits, le prix est abaissé et varie de 15.0 à 4,7 centimes par kWh.

5.1.3. Solution C : Utilisation du réseau d'eau de la Ville (solution transitoire)

La Ville de Neuchâtel distribue actuellement 7 millions de mètre cubes d'eau potable par an, dont une part importante en été est produite à partir de l'eau de lac pompée à 65 m de profondeur. Actuellement, la quantité d'eau vendue est en diminution et la station de production/distribution est surdimensionnée.

Sachant que les utilisateurs vont se raccorder progressivement, il a été étudié en collaboration avec la Ville de Neuchâtel la possibilité d'utiliser temporairement l'eau du réseau d'eau potable pour la production de freecooling. Dans ce cas, la fourniture d'eau potable (eau de lac traitée) à des fins hydrothermiques permet de raccorder immédiatement tout consommateur qui en fait la demande.

Après quelques années, au moment où les consommateurs seront en nombre suffisant, un réseau de distribution d'eau de lac brute, utilisée pour la production de froid en été et de chaleur en hiver est alors réalisé.

Une proposition dans ce sens a été faite au conseil communal de la Ville de Neuchâtel qui a approuvé le principe d'une réalisation d'un projet pilote (annexe 5). Dans le cas où l'on envisage de réaliser un système de réseau de distribution d'eau de lac en ville de Neuchâtel, on pourrait donc proposer aux premiers clients un raccordement immédiat au réseau d'eau de la ville, dans l'attente d'un raccordement ultérieur. Des discussions sont en cours avec le délégué à l'énergie de la Ville pour mettre en place une installation test sur une durée de 3 ans.

Le prix de vente calculé par la Ville de Neuchâtel est proche du coût marginal, c'est-à-dire qu'il couvre les frais d'exploitation et d'entretien, mais pas les intérêts et les amortissements des installations (réseau et station de pompage).

Le prix de vente proposé par la Ville est de **80 cts/m³ d'eau**, ce qui porte le prix du froid à :

$\Delta T = 4^\circ K$	17.2	cts/kWh
$\Delta T = 6^\circ K$	11.5	cts/kWh
$\Delta T = 8^\circ K$	8.6	cts/kWh

L'eau consommée ne serait pas soumise à la redevance cantonale, ni à la taxe d'épuration. A cet effet, des investissements pour le rejet par infiltration ou vers les eaux claires seront à charge du client, de même que la pose de compteurs d'eau.

Ce principe de vente a été admis par le Conseil communal de Neuchâtel. Il prévoit que le « petit » bénéfice sur la vente d'eau de réseau soit réservé à l'investissement pour la création du réseau d'eau brute dévolu au freecooling.

5.2. Captages dans la nappe en dehors du Centre-Ville.

La Ville de Neuchâtel dans sa partie basse dispose de belles ressources hydrothermiques et frigorifiques dont le lac est sans doute la plus intéressante de par sa ressource presque infinie.

De cas en cas et en dehors des réseaux d'eau de lac que l'on pourrait construire, la nappe souterraine du delta du Seyon et les nappes en bordure du lac (alluvions, moraines) sont à même de fournir des ressources précieuses que l'on pourra accroître en créant de véritables doublets saisonniers.

A l'Est de la Ville le lac est peu profond et sa température estivale peut être trop élevée pour faire du freecooling. Les auteurs du rapport l'ont bien compris puisqu'ils ont réalisé plusieurs ouvrages de captage dans les alluvions en bordure du lac entre Neuchâtel et St-Blaise (Laténium, Piscine, Palafitte).

Les calcaires de l'Hauterivien sont aquifères mais leur perméabilité est aléatoire et la productivité des puits est généralement faible (CPLN, Ecole de droguerie) (figure 15). L'eau souterraine qui pourrait être captée plus profond (figure 16) est en principe considérée comme une réserve d'eau potable, au point que les forages par sondes géothermiques sont le plus souvent limités en profondeur pour éviter le perçement d'aquiclades.

A plusieurs reprises (stade de la Maladière, Piscine du Nid-du-Crô on a retrouvé des eaux pauvres en oxygène et chargée de fer, ce dernier précipitant facilement entraînant un colmatage des filtres et échangeurs. Il s'agit là sans doute de l'obstacle le plus grand à l'exploitation économique de ces nappes, sachant qu'une filtration est toujours très onéreuse (figure 17).

Si dans le cas d'investigations pour la recherche d'eau potable des moyens sont généralement à disposition, la recherche d'eau à des fins hydrothermiques est généralement mal financée et le résultat des forages réserve parfois de mauvaises surprises.

Des relevés de température en absence de pompage effectués à proximité du nouveau stade de la Maladière montrent que la température de cet aquifère assez typique de ce qu'on trouve le long du Lac varie entre 12,5 et 15,5 degrés, avec un déphasage saisonnier de 3 à 4 mois (figure 18).

Le plan d'un projet de doublet hydrothermique dans la nappe souterraine en bordure du Lac est donné aux figures 19 et 20. Le système est prévu pour fonctionner "dans les 2 sens" avec freecooling en été et pompe à chaleur en hiver. Ce projet est en voie de réalisation partielle avec malheureusement présence d'eau réductrice contenant du Fe++.

La ressource hydrothermique représentée par les aquifères en bordure de Lac est intéressante mais à examiner de cas en cas. Ces eaux n'ont pas d'autre intérêt qu'hydrothermique. Un des obstacles qui est apparu ces dernières années est constitué par les eaux réductrices chargées de fer pour lesquelles on devra trouver un traitement adapté et moins coûteux que lorsqu'il s'agit d'eau potable.

5.3. Alimentation de la partie haute de la Ville

Un quartier de bureaux et d'artisanat dans le haut de la ville de Neuchâtel (quartier Pierre-à-Bot - Puits Godet) est un fort demandeur de froid (figure 3, figure 4). La demande de pointe atteint 2 MW.

Plusieurs scénarios ont été imaginés pour "monter l'eau du Lac" :

- Circuit fermé
- Circuit ouvert avec turbinage du rejet
- Système mixte, pompage turbinage jusqu'à l'ancien réservoir des Valangines et circuit en boucle.

L'établissement d'un projet chiffré dépassait le cadre de la présente étude et devrait faire l'objet d'une étude spécifique, sachant qu'il s'agit d'une situation plutôt particulière.

On peut conclure en disant qu'une solution est possible à partir d'eau du Lac, mais qu'une analyse financière doit être réalisée. Il est probable qu'elle conclue, pour être économiquement acceptable, que l'on utilise cette ressource à la fois en été et en hiver.

5.4. Serrières et sa source

5.4.1. La source de la Serrière

Le vallon de Serrières a été historiquement le lieu où se sont établi de nombreuses industries qui firent et font encore la prospérité de la région grâce à une source karstique au débit très régulier.

La source de la Serrière jaillit à une altitude de 475 m à l'Est de Neuchâtel. Son débit annuel moyen est de 2,20 m³/seconde. La ville de Neuchâtel lui doit une part essentielle de son développement artisanal et industriel, grâce à la régularité de son débit et par conséquent sa force mécanique. Dès la création de la chocolaterie Suchard, elle fut régulièrement utilisée comme source de refroidissement. Aujourd'hui, les bâtiments de EEMA-Engineering sont chauffés par une pompe à chaleur dont l'évaporateur est alimenté par l'eau de la Serrière.

Au moment où la Ville de Neuchâtel planifie l'urbanisme du vallon de Serrières et de ses environs, il paraît judicieux de penser à mettre en valeur le potentiel thermique et frigorifique de cette rivière.

5.4.2. Situation, données de base

Sur l'histoire des industries de Serrières à travers les âges, en relation avec la source, on consultera Habicht (1922) [5].

Pour ce qui touche à l'origine de la source et ses caractéristiques hydrologiques, la thèse de Bernard Matthey (1976) [2] donne l'essentiel.

Le bassin alimentaire de la Serrière (88 km²) est constitué par les affleurements calcaires jurassiques qui entourent le Val-de-Ruz, du Mont-Racine aux Bugnenets, puis sur le versant nord de Chaumont.

Les principales caractéristiques hydrologiques et physicochimiques de la source sont données dans la thèse Matthey [2]. L'eau est de qualité bicarbonatée calcique. Elle est trouble en période de crue, ce qui fait que la Ville de Neuchâtel a dû renoncer à l'utiliser au moment où elle recherchait à compléter ses ressources en eau au milieu des années cinquante. Il faut dire que l'existence des concessions hydroélectriques des Papeteries et de Suchard constituait un obstacle supplémentaire.

5.4.3. Température, débit et potentiel thermodynamique

On trouvera dans la thèse Matthey [2] un tableau des températures relevées chaque semaine à la source durant l'année hydrologique 1969-1970. On a :

– Température annuelle moyenne (1969-1970)	8,8°C
– Température maximum (1969-1970)	9,2°C (janvier !, novembre)
– Température minimum (1969-1970)	8,3°C (février)

En valeur absolue, sur l'ensemble des valeurs disponibles jusqu'en 2009, la température de la source peut s'abaisser à 7,6 °C et s'élever à 9,7 °C, mais ces minima/maxima de température peuvent montrer un décalage avec les températures les plus froides et le plus chaudes de l'air.

La faible variabilité de température, associée à un débit d'étiage soutenu en fait une ressource thermique d'excellente qualité pour l'utilisation de pompes à chaleur, mais aussi pour l'obtention d'une source de froid de qualité sans machine frigorifique (freecooling).

Les débits ont été mesurés par l'ingénieur de la société Suchard entre 1901 et 1925 et l'Office fédéral de l'environnement. Le tableau 3 résume les caractéristiques du débit. On a:

– Débit annuel moyen	2,22 m ³ /s
– Débit instantané maximum	10,70 m ³ /s
– Débit instantané minimum	0,19 m ³ /s
– Débit mensuel maximum	7,5 m ³ /s (avril 1906)
– Débit mensuel minimum	0,38 m ³ /s (octobre 1921)

Dans une étude réalisée pour le compte du Service cantonal de l'énergie dont les résultats ont été publiés dans la revue de l'ARPEA (Association romande pour la protection des eaux, 1986) B. Matthey et Philippe Donner [3] ont étudié les ressources thermiques des principaux cours d'eau neuchâtelois dont la Serrière. En faisant l'hypothèse d'une température minimale de 7.5°C et d'un différentiel de température exploitable de 4.5°C (rejet à 3,0°C) une première estimation des ressources thermiques donne un potentiel de :

- Pour le débit minimum de 0.38 m³/s 7.1 MW (chaleur)
- Pour le débit moyen de 2.22 m³/s 42 MW (chaleur)

Les ressources frigorifiques dépendent fortement du différentiel de température utilisé. Avec un différentiel de 6.3°C (16-9.7°C) la ressource frigorifique serait de :

- Pour le débit minimum 0,38 m³/s : 10 MW (froid)
- Pour le débit moyen 2,22 m³/s : 58.5 MW (froid)

La figure 21 résume les potentialités de la source de la Serrière, en tenant compte également des contraintes environnementales, à confirmer (différentiel de température de 1.5°C).

Ces ressources thermiques et frigorifiques sont donc suffisamment importantes pour que l'on songe à les mettre en valeur dans le cadre d'une révision de l'urbanisme du site de Serrières (figure 22).

5.4.4. Quelques scénarios envisageables

La situation exceptionnelle de la Serrière dans une zone bien habitée, mais aussi en voie d'urbanisation, conduit donc à devoir rechercher des solutions pour tirer parti de ses ressources énergétiques.

Exploitation de la chaleur

La première solution qui vient à l'esprit consisterait à placer quelque part à proximité de la rivière une centrale avec pompe à chaleur électrique et groupe chaleur-force à gaz et de distribuer de la chaleur par un réseau à distance dans le quartier. Les températures aller et retour doivent être les plus basses possible. Globalement, on peut tabler sur une économie d'énergie des immeubles raccordés de l'ordre de 40 %, représentant la participation de la Serrière.

Une autre solution consisterait à prélever de l'eau dans la Serrière et la distribuer aux immeubles du quartier dans lesquels seraient installées des pompes à chaleur électriques. Une installation chaleur-force produisant annuellement l'équivalent de l'électricité consommée par ces pompes à chaleur serait raccordée quelque part sur le réseau de la Ville. Cette variante

présente l'avantage d'éviter toute perte de transport de chaleur. En revanche, les quantités d'eau à transporter sont importantes et coûteuses en électricité si on ne crée pas un réseau aller-retour en circuit fermé. L'avantage principal de cette solution tient au fait que les conduites de distribution d'eau de la Serrière pourront servir sans autre pour le transfert d'eau pour le rafraîchissement des bâtiments et le contrôle de certains processus industriels.

Exploitation du froid

Si l'on envisage d'exploiter l'énergie frigorifique de la source, la solution la plus simple consiste à créer un réseau de distribution d'eau froide jusque sur les points de consommation. Les utilisateurs d'eau froide étant moins nombreux que les utilisateurs de chaleur, il n'est pas exclu que l'on soit amené à créer un réseau de distribution d'eau froide pour quelques bâtiments bien identifiés et un autre réseau destiné au chauffage.

5.4.5. Les consommateurs potentiels

Partant d'indicateurs fournis par la Ville de Neuchâtel (taxe des déchets, type d'immeubles, surfaces et volume habitables et consommations spécifiques d'énergie), il a été établi un cadastre de la demande de chaleur du quartier de Serrières (tableau 9 et figure 22). Il s'agit d'une approche n'ayant pas fait l'objet d'une enquête auprès des propriétaires.

Les demandes de froid sont connues par l'enquête générale réalisée pour toute la ville de Neuchâtel.

Pour la demande de chaleur on fait l'hypothèse que les immeubles sont équipés d'une pompe à chaleur dont le coefficient de performance est de 3.2.

Les principaux points de soutirage sont représentés à la figure 22.

5.4.6. Un réseau pour le chaud et le froid

Sachant que :

- Chaque bâtiment de Serrières est alimenté en électricité et beaucoup sont raccordés au gaz;
- Une demande de chaud en hiver et une demande de froid en été existent dans le quartier;
- La densité de population est élevée;
- Que le dénivelé entre le consommateur le plus haut et le point le plus bas est au minimum de 100 m ;
- Que la rivière peut être chargée de limons en période de crue.

Il est proposé de réaliser un réseau aller et retour, enterré de type chauffage à distance en PE soudé non isolé (à l'exception des parties aériennes) alimentant les principaux consommateurs potentiels de chaleur ou de froid.

Chaque consommateur soutire la chaleur ou le froid dont il a besoin au travers d'un échangeur de chaleur ou de l'évaporateur de sa pompe à chaleur.

De manière à favoriser l'exploitation de la chaleur ou du froid et d'inciter les consommateurs à créer un bon différentiel de température, la société exploitant le réseau facture les quantités d'eau transitant par l'échangeur de chaleur et non l'énergie thermique ou frigorifique.

Le réseau fermé est à eau glycolée pour éviter la formation d'éventuelles lentilles de glace sur les évaporateurs des pompes à chaleur.

Les pompes à chaleur peuvent être électriques ou gaz à absorption par exemple.

Les températures du réseau seront :

Aller hiver	+ 7 °C
Retour hiver	+ 2 °C
Delta T	5 °K
Aller été	+ 8 °C
Retour été	+15 °C
Delta T	7 °K

Compte tenu de la demande, le réseau doit être dimensionné pour l'hiver.

Si l'on souhaite maintenir les pertes de charge liées au transport de l'eau dans les conduites au dessous de 100 Pa/m le diamètre de la conduite au départ sera de 400 mm (tableau 10).

5.4.7. Bilan énergétique et aspects financiers

En admettant que 70 % des immeubles du quartier seront à terme raccordés la puissance du réseau est de 5'200 kW (chaud) et de 220 kW (froid) et la consommation d'énergie thermique à basse enthalpie de 16'500'000 kWh/an équivalent à 1'600 tonnes de mazout par an (tableau 11).

On admet 170 raccordements pour un réseau principal de 4'600 m et secondaire (piqueages) de 4'000 mètres. Sur la base des prix du marché obtenu par la consultation d'entreprises de la branche, on peut établir le coût des investissements (tableau 12). L'investissement total pour la création d'un réseau à basse enthalpie dans le secteur de Serrières est de

Frs 11'500'000.-

Le prix de revient de la chaleur comprend essentiellement des frais financiers auxquels s'ajoutent des frais administratifs, de maintenance et d'énergie électrique (tableau 13). Dans ces conditions le prix de revient de la chaleur à basse enthalpie est de

4,2 cts par kWh

En admettant un COP de 3,2 pour les pompes à chaleur et un coût de l'électricité de 25 cts par kWh, le prix moyen de la chaleur délivrée aux bornes de la pompe à chaleur des clients est alors de

10,7 cts par kWh

Dans ces conditions on peut admettre que la faisabilité économique de ce réseau est démontrée, le prix de revient de la chaleur étant comparables à celui des combustibles usuels.

6. Remarques finales et conclusions

La confrontation des ressources et des besoins en froid sur le territoire de la ville de Neuchâtel confirme que :

- Le lac constitue le plus grand réservoir de froid mais aussi un réservoir de chaleur potentiellement exploitable;
- L'exploitation hydrothermiques du lac exige la construction de réseaux de distribution à basse enthalpie pouvant fonctionner en été mais aussi en hiver;
- La nappe du delta du Seyon peut-être un complément bienvenu mais ne suffit pas à couvrir la demande de chaud ou la demande de froid des usagers habitant à l'aplomb de la nappe;
- Les nappes bordant le lac sont intéressantes mais l'eau y est souvent réductrice, ce qui exige que les promoteurs de projet disposent d'informations préalables sérieuses;
- L'exploitation de la chaleur de la Serrière est économiquement intéressante compte tenu de la densité de l'habitat. La demande en freecooling de ce quartier est pour l'instant marginale;
- L'analyse des coûts montre que l'on peut préparer un raccordement des premiers clients à un réseau de freecooling par leur branchement provisoire au réseau d'eau potable. Le coût marginal de l'eau délivrée et une exploitation rationnelle (gros delta T) rendent ces "frigories" intéressantes au plan financier, ce qui laisse le temps au promoteur du réseau d'eau de lac d'installer son réseau et déjà de disposer de consommateurs.

Des entretiens que nous avons eu avec les représentants des Services industriels de Neuchâtel (actuellement Viteos SA) et du fait du caractère monopolistique de la distribution de froid ou de chaleur, il est certain que la maîtrise d'ouvrage, ce que les allemands appellent le "Trägerschaft" doit rester sous contrôle public.

A Neuchâtel cette fonction pourrait être attribuée à une société indépendante mais propriété de la Ville. Le risque existe en effet que la société distributrice d'eau, de gaz et d'électricité retienne le développement d'un réseau à basse enthalpie pour éviter une concurrence certaine.

Enfin l'utilisation de pompes à chaleur électrique exigera que l'on envisage l'installation de quelques stations avec couplage chaleur-force dans les secteurs non desservis par un réseau à basse enthalpie.

Le présent rapport a identifié des consommateurs et des ressources. On démontre que des solutions acceptables au plan économique existent. Il reste à les mettre en œuvre, mais ceci est une autre affaire !

7. 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] Matthey Bernard & Donner Philippe (1986) : Evaluation du potentiel thermique des cours d'eau du canton de Neuchâtel. Bull. de l'Arpea n°130.
- [4] Le Nouveau Pohlmann (1983) : Manuel technique du froid. Eds. Pyc éditions, 75740 Paris Cedex 15.
- [5] Habicht W. (1922) : Les industries de Serrières à travers les âges. Bull. Soc. Neuch. de géographie 81, p. 1-127.

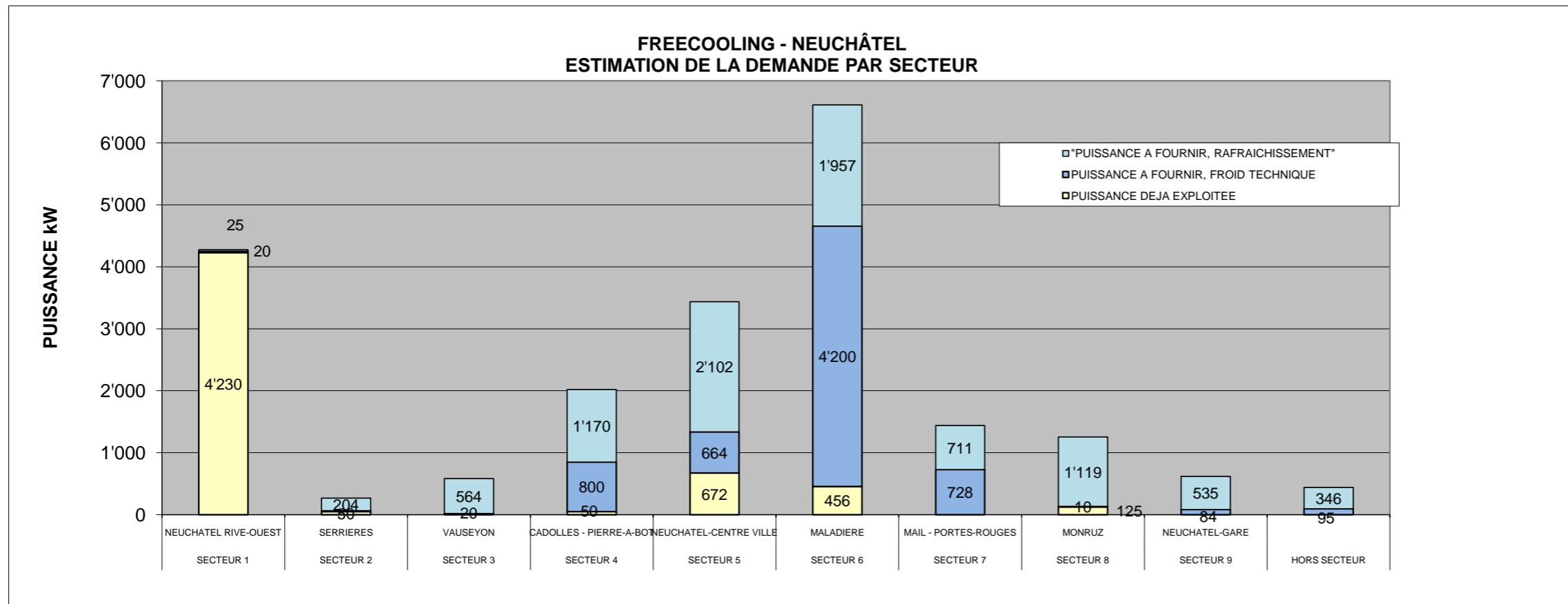
T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 1: Détail par secteur de l'usage et de la demande en froid en ville de Neuchâtel.

	DEMANDE EN FROID D'ORIGINE NATURELLE *)	SECTEUR 1	SECTEUR 2	SECTEUR 3	SECTEUR 4	SECTEUR 5	SECTEUR 6	SECTEUR 7	SECTEUR 8	SECTEUR 9	HORS SECTEUR	TOTAL	
Utilisation de froid	Froid: nombre d'utilisateurs connus		8	3	5	8	89	14	9	7	4	11	158
	Froid : usage total déclaré	kW	4'278	76	132	4'046	2'842	6'097	1'225	965	392	263	20'316
	dont climatisation	kW	2'073	60	112	1'196	2'440	1'757	925	955	270	74	9'862
	dont froid technique	kW	2'205	16	20	2'850	402	4'340	300	10	80	189	10'412
Utilisation de froid naturel	Froid naturel: nombre d'utilisateurs existants		2	1	0	1	6	4	0	2	0	0	16
	Froid naturel: puissance totale demandée	kW	4'275	269	584	1'970	3'412	6'613	1'439	1'204	619	113	20'498
	Dont puissance déjà exploitée	kW	4'230	50	0	50	672	456	0	125	0	0	5'583
besoins en froid naturel (clients)	Froid naturel: nombre d'utilisateurs potentiels à satisfaire (clients)		6	8	10	9	104	9	9	8	7	12	182
	Estimation de la puissance à fournir	kW	45	219	584	1'970	2'743	6'157	1'439	1'129	619	441	15'346
	Dont puissance à fournir pour rafraîchissement	kW	25	204	564	1'170	2'102	1'957	711	1'119	535	346	8'733
	Dont puissance à fournir pour froid technique	kW	20	15	20	800	664	4'200	728	10	84	95	6'636
	Puissance moyenne à fournir par client	kW	8	27	58	219	26	684	160	141	88	37	1'449

*) selon les résultats provisoires de l'enquête et les utilisateurs connus



T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 2: Evaluation des solutions pour l'exploitation et la distribution d'eau froide pour chaque secteur considéré

Ville de Neuchâtel - Freecooling			SECTEUR 1	SECTEUR 2	SECTEUR 3	SECTEUR 4	SECTEUR 5	SECTEUR 6	SECTEUR 7	SECTEUR 8	SECTEUR 9	HORS SECTEUR	
Choix des options de réalisation			NEUCHATEL RIVE-OUEST	SERRIERES	VAUSEYON	CADOLLES - PIERRE-A-BOT	NEUCHATEL-CENTRE VILLE	MALADIÈRE	MAIL - PORTES-ROUGES	MONRUZ	NEUCHATEL-GARE		
			Puissance totale à fournir (MW)	0.05	0.22	0.58	1.97	2.74	6.16	1.44	1.13	0.62	0.44
Ressource	technique d'exploitation	Mode de distribution											
	Pompage par aspiration (prof. 40 m)	Réseau de distribution centralisé	N	N	O ¹ TL	O ¹ TL	O ¹ I	N	O ¹ TL	N	O ¹ TL	N	
Eau de lac	Pompage par aspiration (prof. 40 m)	Réseau de distribution par groupe d'immeubles	O ¹ I	N	O ² TL	N	N	O ¹ IL	N	O ¹ IL	N	O ² TL	
	Pompage par aspiration, station de Champ-Bougin (prof. 65 m)	Réseau de distribution centralisé	O [*] I	N	O [*] IL	O [*] IL	O [*] I	O [*] IL	N	O [*] IL	N	O ¹ IL	
Eau de nappe souterraine	Puits de captage avec rejet	captage et distribution par immeuble	O ² I	C			C	O ² I		O ³ I			
	Puits de captage avec rejet	captage et distribution par groupes d'immeubles	O ³ I				N	O ³ I		O ² I			
	Puits de captage avec rejet	captage et distribution centralisée, rejet par infiltration	N				N	N		N			
Eau de source	Echangeur de chaleur	Réseau de distribution centralisé	C	O ^{**}									
Eau de rivière	Echangeur de chaleur	Réseau de distribution centralisé											

O ¹	Solution envisagée, avec ordre de priorité	*	Solution transitoire	en gras	Solution choisie
C	Solution complémentaire	**	Production de chaleur principalement	en grisé	Solution dimensionnée avec estimation des coûts
N	Solution non retenue	I	Rejet par infiltration	pointillé	solution pré-dimensionnée sans estimation des coûts
		T	Pompage/Turbinage	cross	Ressource thermique non-disponible
		L	Rejet eaux claires/lac		

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 3: Caractéristiques des sources et cours d'eau cours d'eau en Ville de Neuchâtel en terme de débit, température et potentiel thermique théorique. Synthèse des données existantes et calcul du potentiel théorique

Cours d'eau	Secteur	Commune	Coordonnées du point de mesure	Etat non exploité (automne 2009)							Puissance instantanée pour freecooling			Ressource thermique exploitabile en période hivernale ¹⁾		
				Débit mesuré			Température mesurée			Avec $\Delta T = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$			Avec $\Delta T = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$			
				moyen	mimumum (août)	maximum	moyenne	mimumum (février)	maximum (août)	moyenne	mimumum (août)	maximum	moyenne ²⁾	mimumum (février)	maximum	
				l/s	l/s	l/s	°C	°C	°C	KW	KW	KW	kW	kW	kW	
La Serrière	Serrières	Neuchâtel	559430	203520	2'220	380	10'700	8.5	7.6	9.7	13'972	2'392	67'343	13'969	4'090	67'330
Le Seyon	Sentre-Ville Serrières-sud	Neuchâtel	560500	204570	865	20.0	34'500	8.9	0.2	16.4	0	0	0	0	0	0
le Monruz	Monruz	Neuchâtel	563530	205730	60	0.1	250	10.0	8.8	16.7	378	1	1'573	378	315	1'573

1) Puissance exploitabile avec abaissement de la température de 1.5°C max. selon Oeaux Annexe 2

2) Calculé selon débit annuel moyen et température au mois de février

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 4: Liste des clients raccordés et puissances estimées. Pour des raisons de confidentialité, le nom des clients est masqué.

Activité détaillée	Adresse immeuble concerné	A) Usage actuel de froid				B) Intérêt et besoins en free-cooling				C) Intérêt et besoins en chaleur de l'environnement						
		O/N	kW	kW	kW	BMICSA Estimation de la puissance frigorifique utilisée	BMICSA Estimation de la puissance de froid technique utilisée	BMICSA Estimation de la puissance totale	BMICSA Estimation de la puissance frigorifique nécessaire pour froid rafraîchissement	BMICSA Estimation de la puissance nécessaire pour froid technique	BMICSA Estimation de la puissance totale	Dans le cas où serait établi un réseau de distribution d'eau technique permettant d'alimenter une pompe à chaleur en hiver, seriez-vous intéressés à vous y raccorder pour chauffer votre bâtiment?	BMICSA Estimation de l'énergie de la puissance chauffage thermique nécessaire (nette)	BMICSA Estimation de l'énergie de la puissance chauffage thermique nécessaire (nette)	Calcul débit pour froid, réseau existant delta T 4°C	
BUREAU DE POSTE	AVENUE DU PREMIER-MARS	N	0	0	0	160	0	160	0	0	399'840	182	573.3			
ECOLE DE POLICE	FAUBOURG DE L'HOPITAL	N	0	0	0	30	0	30	0	0	60'000	27	107.5			
BAR-GLACIER	FAUBOURG DU LAC	O	7	2	9	7	2	9	N	0	0	0	32.3			
FOURNITURE DE SERVICES FINANCIERS	FAUBOURG DU LAC	O	10	0	10	10	0	10	O	20'000	9	35.8				
CABINET MEDICAL	GRAND-RUE	N	0	0	0	6	0	6	N	0	0	0	19.7			
COURS LANGUES,	GRAND-RUE		0	0	0	5	0	5	N	0	0	0	17.9			
DIVERS	PLACE DES HALLES		0	5	5	0	5	5	O	20'000	9	17.9				
CABINET DENTAIRE	PLACE NUMA-DROZ	N	0	0	0	0	0	0	O	10'000	5	0	0.0			
BIJOUTERIE	PLACE PURY	O	9	0	9	9	0	9	N	0	0	0	32.3			
CARDIOLOGUE	PLACE PURY	O	1	0	1	6	0	6	O	0	0	0	19.7			
BANQUE COMMERCIALE,	PLACE PURY	O	372	0	372	185	0	185	O	285'600	130	662.9				
DIVERS	RUE DE FLANDRES	O	6	5.5	11.5	6	6	12		0	0	0	41.2			
CONFISERIE	RUE DE LA TREILLE	O	7	8	15	7	8	15	O	35'294	16	53.8				
CABINET	RUE DE LA TREILLE	N	0	0	0	7	0	7	O?	56'000	25	23.3				
RESTAURANT, CAFE, TEA	RUE DE LA TREILLE	O?	0	5	5	0	5	5	O	30'000	14	17.9				
MAROQUINERIE,	RUE DE LA TREILLE	N	0	0	0	5	0	5	N	0	0	0	17.9			
CONFISERIE SALON DE	RUE DE LA TREILLE	O	10	24	34	10	24	34	?	0	0	0	121.8			
VETEMENTS POUR	RUE DE L'HOPITAL	O	20.5	0	20.5	21	0	21	N	0	0	0	73.5			
OPTICIEN	RUE DE L'HOPITAL	N	0	0	0	13	0	13	O	0	0	0	44.8			
LABORATOIRE DENTAIRE	FAUBOURG DE L'HOPITAL	N	0	0	0	4	0	4	?	0	0	0	14.3			
DIVERS	RUE DES POTEAUX	O	1.7	0	1.7	2	0	2	O	0	0	0	5.9			
ART. D'OPTIQUE	RUE DES TERREAUX	O	7.5	0	7.5	8	0	8	O	0	0	0	26.9			
C. ART. MAROQUINERIE	RUE DU BASSIN	N	0	0	0	10	0	10	O	20'000	9	35.8				
DIVERS	RUE DU MUSEE	O	5.4	0	5.4	4	0	4	O?	0	0	0	14.3			
CABINET MEDICAL	RUE DU MUSEE	N	0	0	0	6	0	6	N	0	0	0	22.4			
PHARMACIE	RUE DU SEYON	O	10	0	10	10	0	10	O	20'000	9	35.8				
SPECIALISTE FMH	RUE DU SEYON	O	4.5	0	4.5	5	0	5	O	9'000	4	16.1				
HORLOGERIE	RUE DU SEYON	O	3.5	0	3.5	4	0	4	?	7'000	3	12.5				
MEDECIN SPECIALISTE	RUE DU SEYON	O	2.6	0	2.6	3	0	3	O	12'000	5	9.3				
BOUTIQUE VETEMENTS	RUE DU TEMPLE-NEUF	O	6.7	0	6.7	7	0	7	N	0	0	0	24.0			
DIVERS	RUE DU TEMPLE-NEUF	N	0	0	0	3		3	O	15'000	7	10.8				
CORDONNERIE	RUE DU TRESOR	N	0	0	0	1	0	1	O	2'500	1	3.9				
ASSURANCES	RUE SAINT-HONORE	N	0	0	0	5	0	5	N	10'000	5	17.9				
RESTAURANT, CAFE, TEA	RUE SAINT-HONORE	O	30	0	30	30	0	30	N	0	0	0	107.5			
BAR-A-CAFE	RUE SAINT-HONORE	N	0	0	0	2	5	7	O	4'000	2	25.1				
IMPRIMERIE	RUE SAINT-MAURICE	O	15		15	20	300	320	?	40'000	18	1146.7				
C/ARTICLES P/ENFANTS	RUE SAINT-MAURICE	N	0	0	0	9	0	9	N	0	0	0	32.3			
DIVERS	RUE SAINT-MAURICE	N	0	0	0	3	0	3	O	5'000	2	9.0				
TEXTILES, ARTICLES D'HABILLEM.	RUE SAINT-MAURICE	O	130	0	130	130	0	130	O	160'000	73	465.8				
BANQUE CANTONALE	PLACE PURY	O	9	0	9	9	0	9	O POT	300'000	136	32.3				
	RUE DE LA TREILLE	O	20	10	30	20	10	30	N POT	?	0	107.5				
GRAND MAGASIN	RUE DES EPANCHEURS	O	150	20	170	150	20	170	N POT	?	0	609.2				
BANQUE	RUE DU SEYON	O	25	0	25	25	0	25	N POT	?	0	89.6				
	FAUBOURG DU LAC	O	30	0	30	30	0	30	N	?	0	215.0				
RESTAURANT	RUE DE L'HOPITAL	O	15	5	20	15	5	20	O POT	20'000	9	71.7				
	RUE DU TEMPLE-NEUF	N	0	0	0	100	0	100	O	150		358.3				
CHAUSSURES	RUE DU BASSIN	O	7	0	7	7	0	7	N POT	?	0	25.1				
CONFETION	RUE SAINT-HONORE	O	14	0	14	14	0	14	N POT	?	0	50.2				
PHARMACIE, DROGUERIE	RUE DE L'HOPITAL	O	12	0	12	12	0	12	N POT	0	0	43.0				
PHARMACIE	RUE DES EPANCHEURS	O	12.7	0	12.7	13	0	13	N POT	0	0	45.5				
NETTOYAGE CHIMIQUE	RUE DU SEYON	O	7	0	7	7	0	7	N POT	0	0	25.1				
	Rue de l'hôpital	O	50	60	110	50	60	110	O	80'000	36	394.2				
BANQUE	AVENUE DU PREMIER-MARS	O	21	0	21	21	0	21	N POT	?	0	75.3				
PATISSE.	GRAND-RUE	O	20	10	30	20	10	30		200'000	80	107.5				
	PLACE NUMA-DROZ	O	20	0	20	20	0	20	N POT	0	0	71.7				
	FAUBOURG DE L'HOPITAL	O	30	0	30	30	0	30	N POT	0	0	107.5				
	FAUBOURG DE L'HOPITAL	O	10	0	10	10	0	10	N	0	0	35.8				
	FAUBOURG DE L'HOPITAL	O	15	0	15	15	0	15	N	0	0	53.8				
	PLACE NUMA-DROZ	O	10	0	10	10	0	10	O	300		35.8				
	TOTAL	1'137	155	1'292	1'326	490	1'815	TOTAL	1'821'234	#	6'504					

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 5: Dimensionnement d'un réseau de distribution d'eau de lac dans le Centre-Ville de Neuchâtel. Résumé des caractéristiques techniques et prix de revient de l'énergie

Longueur totale du réseau de distribution		2'450	m
Longueur de la conduite de captage sous lacustre		370	m
Différentiel de température de dimensionnement		4	°C
Température de l'eau de lac distribuée en été		7 ± 1	°C
Débit nominal du réseau		6'500	l/min
Puissance nominale du réseau	ΔT 4°C	1'820.00	kW
	ΔT 8°C	3'600.00	kW
Volume annuel exploité		~813'000	m ³ /an
Durée d'exploitation à pleine puissance (ΔT 4°C)		2'000	heures/an
Nombre de clients raccordés (prévision)		59	
Puissance moyenne par client		31	kW
Investissements jusqu'au client¹⁾	(réseau de distribution, station de pompage, prise d'eau dans le lac, rejet, ingénierie)	~2'470'000	Fr
Annuités	(3.5 %, 25 ans sur machines, 40 ans sur réseau)	5.1	%
		126'300	Fr/an
Frais de fonctionnement et maintenance	(concession, fonctionnement des pompes, frais administratifs)	72'000	Fr/an
Prix de revient de l'eau délivrée²⁾		~25	cts/m³
Contenu énergétique de l'eau		1.16	kWh/m ³ °C
Prix de revient du froid délivré²⁾	ΔT 4°C	5.4	cts/kWh
	ΔT 8°C	2.7	cts/kWh

¹⁾ Non compris investissements chez le client (distribution interne, équipements et production de froid)

²⁾ Sans prise en compte de taxe de raccordement, redevance cantonale, subventions, ni bénéfices d'exploitation

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 6: Secteur Centre-ville, Captage d'eau souterraine avec rejet dans **puits filtrants**, 1'400 h/an. Dimensionnement et estimation du prix moyen du kWh fourni par nappe à l'entrée de l'immeuble

INVESTISSEMENTS	Puits de captage	Débit demandé	l/min	100	300	500	1000
		Volume d'eau annuel délivré	m ³ /an	8'400	25'200	42'000	84'000
		Puissance délivrée (ΔT 3°C)	kWfroid	21	63	105	209
		Permeabilité moyenne du terrain	m/s	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
		Nb de puits de captage avec chambre d'accès		1	1	1	2
		Profondeur des forages	m	10	15	15	15
		Diamètre de forage/tubes	mm	250 /170	320/170	600/250	600/250
		Coût forage, y-c- chambre d'accès	CHF HT	15'000.00	19'000.00	24'000.00	48'000.00
		Rejet par tranchée d'infiltration ou puits filtrant	Puits filtrant, y-c- chambre d'accès	CHF HT	15'000.00	19'000.00	24'000.00
			Puits perdu avec tranchée d'infiltration et	CHF HT	4'000.00	6'000.00	7'000.00
		Fouilles et conduites de liaison	Fouilles (20 m)+ conduites	CHF HT	12'000.00	13'000.00	13'000.00
			Raccord chambres	CHF HT	2'000.00	2'000.00	3'000.00
			Perçements en immeuble	CHF HT	2'000.00	2'000.00	3'000.00
	Installation de pompage	Pompe immergée + moteur + réservoir à membrane + Variateur de fréquence type hydrovar		5'000.00	6'000.00	7'500.00	10'000.00
		filtre à retro-rincage	CHF HT	3'000.00	3'000.00	3'200.00	4'000.00
		Raccords inox au compteur en chaufferie	CHF HT	500.00	500.00	500.00	500.00
		Compteur de chaleur*	CHF HT	3'000.00	4'000.00	4'200.00	4'500.00
	Dimensionnement des installations, ingénierie (15%)		CHF HT	8'175.00	9'825.00	11'580.00	20'475.00
	Divers et imprévus (10%)			6'267.50	7'532.50	8'878.00	15'697.50
	TOTAL INVESTISSEMENTS*			68'942.50	82'857.50	97'658.00	172'672.50

PRIX DE REVIENT ¹⁾	Annuités (3.5% sur 25 ans)	Intérêts + amortissements	CHF HT/an	4'180.00	5'030.00	5'930.00	10'480.00
	Frais de fonctionnement annuels						
	Redevance (0.4 cts/Kcal	CHF HT/an	131.56	154.68	177.79	235.03	
	Frais de gestion	CHF HT/an	294.00	882.00	1'470.00	2'926.00	
	Durée de fonctionnement (90% freecooling, 10% froid technique)	h/an	1'400	1'400	1'400	1'400	
	Consommation pompe	kWh/an	3000	4900	6900	13800	
	Prix moyen de l'énergie (87.5% été, 12.5% hiver)	CTS HT/kWh	17.5	17.5	17.5	17.5	
	Coût énergétique de la pompe	CHF HT/an	525.00	857.50	1'207.50	2'415.00	
	entretien chambres et pompes	CHF HT/an	100.00	200.00	250.00	500.00	
	TOTAL PRIX DE REVIENT ANNUEL	CHF HT/an	5'230.56	7'124.18	9'035.29	16'556.03	

PRIX DE VENTE DU FROID AU kWh ¹⁾	Volume d'eau délivré (90% freecooling, 10 % froid technique, moyenne 1'400 h/an)		m ³ /an	8'400	25'200	42'000	84'000
	Energie fournie par la nappe (froid), ΔT 3°C		kWh/an	29'302	87'907	146'512	293'023
	Prix de vente du m3 d'eau délivré à l'entrée du bâtiment²⁾		CTS HT/m³	62.3	28.3	21.5	19.7
	Prix du kWh thermique délivré à l'entrée du bâtiment²⁾		CTS HT/kWh	17.9	8.1	6.2	5.7

Pour mémoire PRIX DE VENTE DU FROID + CHAUD AU kWh ¹⁾	Energie fournie par la nappe (chaud pour PAC + froid)		kWh/an	66'977	200'930	334'884	669'767
	Volume d'eau délivré (chaud + froid)		m ³ /an	19'200	57'600	96'000	192'000
	Prix de vente du m3 d'eau délivré à l'entrée du bâtiment²⁾		CTS HT/m³	30.8	14.3	11.0	10.3
	Prix du kWh thermique délivré à l'entrée du bâtiment (utilisation pour PAC et freecooling)		cts HT/kWh	8.8	4.1	3.2	2.9

* Prix pour eau fournie jusqu'à l'entrée de l'immeuble

¹⁾ non compris investissements chez le client (distributions interne et équipements)

²⁾ sans bénéfice, sans taxe de raccordement ni taxe de rejet

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments
– Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 7: Secteur Centre-ville, captage d'eau souterraine avec rejet dans **tranchée d'infiltration**, 1'400 h/an. Dimensionnement et estimation du prix moyen du kWh fourni par la nappe à l'entrée de l'immeuble

INVESTISSEMENTS	Puits de captage	Débit demandé	l/min	100	300	500	1000
		Volume d'eau annuel délivré	m ³ /an	8'400	25'200	42'000	84'000
		Puissance délivrée (ΔT 3°C)	kWfroid	21	63	105	209
		Perméabilité moyenne du terrain	m/s	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
		Nb de puits de captage avec chambre d'accès		1	1	1	2
		Profondeur des forages	m	10	15	15	15
		Diamètre de forage/tubes	mm	250 /170	320/170	600/250	600/250
		Coût forage, y-c- chambre d'accès	CHF HT	15'000.00	19'000.00	24'000.00	48'000.00
Rejet par tranchée d'infiltration ou puits filtrant		Puits filtrant, y-c- chambre d'accès	CHF HT	15'000.00	19'000.00	24'000.00	48'000.00
		Puits perdu avec tranchée d'infiltration et chambre d'accès	CHF HT	4'000.00	6'000.00	7'000.00	11'000.00
Fouilles et conduites de liaison		Fouilles (20 m)+ conduites	CHF HT	12'000.00	13'000.00	13'000.00	19'500.00
		Raccord chambres	CHF HT	2'000.00	2'000.00	2'000.00	3'000.00
		Percements en immeuble	CHF HT	2'000.00	2'000.00	2'000.00	3'000.00
Installation de pompage		Pompe immergée + moteur + réservoir à membrane + Variateur de fréquence type hydrovar		5'000.00	6'000.00	7'500.00	10'000.00
		filtre à retro-rincage	CHF HT	3'000.00	3'000.00	3'200.00	4'000.00
		Raccords inox au compteur en chaudière	CHF HT	500.00	500.00	500.00	500.00
		Compteur de chaleur*	CHF HT	3'000.00	4'000.00	4'200.00	4'500.00
Dimensionnement des installations, ingénierie (15%)			CHF HT	6'525.00	7'875.00	9'030.00	14'925.00
Divers et imprévus (10%)				5'002.50	6'037.50	6'923.00	11'442.50
TOTAL INVESTISSEMENTS*				55'027.50	66'412.50	76'153.00	125'867.50
PRIX DE REVIENT¹⁾	Annuités (3.5% sur 25 ans)	Intérêts + amortissements	CHF HT/an	3'340.00	4'100.00	4'621.00	7'640.00
Frais de fonctionnement annuels		Redevance (0.4 cts/Kcal	CHF HT/an	131.56	154.68	177.79	235.03
		Frais de gestion	CHF HT/an	294.00	882.00	1'470.00	2'926.00
		Durée de fonctionnement (90% freecooling, 10% froid technique)	h/an	1'400	1'400	1'400	1'400
		Consommation pompe	kWh/an	3000	4900	6900	13800
		Prix moyen de l'énergie (87.5% été, 12.5% hiver)	CTS HT/kWh	17.5	17.5	17.5	17.5
		Coût énergétique de la pompe	CHF HT/an	525.00	857.50	1'207.50	2'415.00
		entretien chambres et pompes	CHF HT/an	100.00	200.00	250.00	500.00
		TOTAL PRIX DE REVIENT ANNUEL	CHF HT/an	4'390.56	6'194.18	7'726.29	13'716.03
PRIX DE VENTE DU FROID AU kWh¹⁾	Volume d'eau délivré (90% freecooling, 10 % froid technique, moyenne 1'400 h/an)		m ³ /an	8'400	25'200	42'000	84'000
	Energie fournie par la nappe (froid), ΔT 3°C		kWh/an	29'302	87'907	146'512	293'023
	Prix de vente du m3 d'eau délivré à l'entrée du bâtiment ²⁾		CTS HT/m ³	52.3	24.6	18.4	16.3
	Prix du kWh thermique délivré à l'entrée du bâtiment ²⁾		CTS HT/kWh	15.0	7.0	5.3	4.7
Pour mémoire PRIX DE VENTE DU FROID + CHAUD AU kWh¹⁾	Energie fournie par la nappe (chaud pour PAC + froid)		kWh/an	66'977	200'930	334'884	669'767
	Volume d'eau délivré (chaud + froid)		m ³ /an	19'200	57'600	96'000	192'000
	Prix de vente du m3 d'eau délivré à l'entrée du bâtiment ²⁾		CTS HT/m ³	26.4	12.7	9.7	8.8
	Prix du kWh thermique délivré à l'entrée du bâtiment (utilisation pour PAC et freecooling)		cts HT/kWh	7.6	3.6	2.8	2.5

* Prix pour eau fournie jusqu'à l'entrée de l'immeuble

¹⁾ non compris investissements chez le client (distributions interne et équipements)

²⁾ sans bénéfice, sans taxe de raccordement ni taxe de rejet

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 8: Centre-Ville de Neuchâtel, calcul de l'énergie exploitable dans la nappe souterraine du Seyon

NAPPE DU SEYON, CENTRE-VILLE DE NEUCHATEL.

Surface de l'aquifère	~ 130'000 m ²
Epaisseur moyenne de la zone saturée	~10 m
Epaisseur de la zone non-saturée	~ 4 m
Volume des graviers saturés en eau V_n	~ 1'300'000 m ³
Volume d'eau souterraine V_f ($V_n * 0.2$)	~ 260'000 m ³

Quantité de chaleur exploitable ^{*)}:

Chaleur spécifique du milieu saturé en eau	γ_{nappe}	0.7 kWh/m ^{3*an}
Energie contenue dans la nappe	$V_n * \gamma_{\text{nappe}}$	0.9 GWh/°K
Energie exploitable (ΔT max. 2°C)	$V_n * \gamma_{\text{nappe}} * 2^{\circ}\text{K}$	1.8 GWh

Puissance de rafraîchissement exploitable à partir de la nappe (bassin fermé) (1.8 GWh/1'000 heures/an) **1.8 MW**

Puissance de froid technique exploitable à partir de la nappe (bassin fermé) (1.8 GWh/5'000 heures/an) **0.36 MW**

Puissance de chaleur exploitable à partir de la nappe (bassin fermé) (1.8 GWh/2'200 heures/an) **0.82 MW**

Utilisation actuelle :

5 installations débit total production de froid soit pourcentage du potentiel total calculé	746 l/min 0.41 GWh/an 22 %
---	---

^{*)} Approche simplifiée plutôt pessimiste ne tenant pas compte des effets de bord. Conditions : exploitation homogène de la nappe.

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 9: Inventaire des consommateurs de chaleur dans le quartier de Serrières-Neuchâtel

LIBELLE RUE	ID	X	Y	NB HABITANTS	NB MENAGES	Type	Utilisateur 0.7=oui, 70% de positif 0=non	Nombre de villas 150 m ²	surface commerces et industries	Nombre d'appartements (3pces 80 m ²)	Indice énergétique moyen appartements et villas, y.-c. ECS	Surface services	Consommation Services	Energie thermique demandée chauffage + ECS	Puissance thermique demandée (100%)	COP (W8/W65)	puissance soutirée à la Serrière	Débit (ΔT 5°C)
								(m ²)		(m ²)	(kWh/m ² *an)		(kWh/an)	(kWh/an)	(kW)	(kW)	(l/min)	
Rue des Amandiers	1	559395	203904	50	23	13 villas, gare + entrepôts+	0.7	13		10	160	125	20000	322'000	146	3.2	101	288
Rue des Battieux	2	559035	203842	357	156	grands immeubles	0.7	0		156	160	125	20000	1'411'760	642	3.2	441	1'265
Chemin-Vieux	3	559512	203673	24	8	7 villas 2 immeubles	0.7	7		5	160			162'400	74	3.2	51	145
Rue du Clos-de-Serrières (est)	4	559044	203556		130	immeubles + villas+salle de sport + Ecole +	0.7	5	600	125	160	2000	320000	1'495'200	680	3.2	467	1'339
Rue de la Coquemène	5	559236	203564	146	88	6 immeubles	0.7			88	160			788'480	358	3.2	246	706
Rue Erhard-Borel	6	559362	203616	27	16	petits immeubles + théâtre + restaurant	0.7			16	160	100	16000	154'560	70	3.2	48	138
Isabelle-de-Charrière	7	559025	203495	76	43	immeubles + villas	0.7	3		40	160			408'800	186	3.2	128	366
Rue Jean-de-la-Grange	8	558924	203772	219	102	immeubles	0.7	2		100	160			929'600	423	3.2	291	833
Rue Martenet	9	559481	203605	35	18	villas + 2 immeubles	0.7	7		11	160			216'160	98	3.2	68	194
Rue des Noyers	10	558782	203842	215	91	immeubles + villas	0.7	6		85	160			862'400	392	3.2	270	773
Rue de Pain-Blanc (est)	11	558992	203618	446	229	immeubles + quelques villas	0.7	3		226	160			2'075'360	943	3.2	649	1'859
Rue de la Perrière	12	558979	203727	305	154	immeubles	0.7			154	160			1'379'840	627	3.2	431	1'236
Cité-Suchard	14	559556	203659	73	37	logements villas?	0.7	18		19	160			472'640	215	3.2	148	423
Rue des Troncs	16	559001	203653	394	180	Gds Immeubles + Ecole enfantine	0.7			180	160	1000	160000	1'724'800	784	3.2	539	1'545
Rue des Usines	17	559219	203704	41	21	petits immeubles+industries	0.7		7000	21	160			972'160	442	3.2	304	871
Rue de Beauregard (ouest)	18	559355	203945		9	villas	0.7	9		0	160			151'200	69	3.2	47	135
Chemin de la Justice (est)	19	559066	203991		4	villas + 2 industries	0.7	4	3000	0	160			403'200	183	3.2	126	361
Rue Guillaume-Farel	20	559289	203595		30	9 petits immeubles (anciens)+ église	0.7			30	160			268'800	122	3.2	84	241
Rue de Tivoli	21	559412	203714		6	administraion 3petits bât + 1 grand),karting, 6 villas	0.7	6	5700	0	160		870000	1'348'200	613	3.2	421	1'208
Ruelle Bonhomme	22	559357	203793		0	Industries	0.7	0	4000	0	160			448'000	204	3.2	140	401
Rue Maillefer (sud)	23	559544	203850		14	villas	0.7	14		0	160			235'200	107	3.2	74	211
TOTAL				3244	1610			97	20300	1266	160	3350	1406000	16'230'760	7'378		5'072	14'540

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 10 Caractéristiques du réseau de distribution de chaud et de froid sur approvisionné par l'énergie de la source de la Serrière

▪ Température de départ hiver	+ 7°C
▪ Température de retour hiver	+ 2°C
▪ Delta T hiver	5°K
▪ Température de départ été	+8°C
▪ Température de retour été	+15°C
▪ Delta T été	7°K
▪ Puissance thermique réseau	
Hiver	5'100 kW
Eté	220 kW
▪ Débit nominal du réseau	
Hiver	900'000 l/h
Eté	27'000 l/h
▪ Diamètre des conduites au départ (perte de charge < 100 Pa/m)	
Hiver	DN 400
Eté	DN 80

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 11 Bilan thermique et dimensionnement du réseau de distribution d'eau froide provenant de la Serrière

▪ Nombre de villas		97	
▪ Nombre d'appartements (équivalent 3 pièces)		1'266	
▪ Surface habitables	villas	14'550	m ²
	locatifs	101'280	m ²
▪ Surfaces commerciales		20'300	m ²
▪ Surface tertiaires		3'350	m ²
▪ Total surfaces chauffées		139'480	m ²
▪ Nombre d'habitants concernés		3'240	m ²
▪ Nombre de ménages		1'610	
▪ Indice énergétique moyen considéré (chauffage + eau chaude)		160	kWh/m ² an
▪ Consommation d'énergie thermique du quartier		23'400'000	kWh/an
▪ Taux de raccordement estimé		70	%
▪ Consommation des clients raccordés (chaleur à basse enthalpie vendue)		16'500'000	kWh/an
▪ Puissance thermique des clients raccordés (2'200h/an)		7'500	kW
▪ Puissance soutirée par les PAC décentralisées (COP = 3,2)		5'200	kW
▪ Débit au départ de la centrale de pompage ($\Delta T = 5^{\circ}\text{K}$)		890'000	litres/heures
	Soit	15'000	l/min
	Soit	~ 250	l/s

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 12 Dimensionnement et coût du réseau de distribution

▪ Longueur du réseau principal		4'600	m
▪ Longueur du réseau secondaire (raccordement aux immeubles)		4'000	m
▪ Nombre de raccordement (estimation)			
	Villa	80	
	Locatifs	90	
	Total	170	
▪ Prix moyen du réseau principal			
	Conduites	2 x 200.--	Frs/m
	Fouilles	700.--	Frs/m
▪ Prix moyen du réseau secondaire			
	Conduites	2 x 120.--	Frs/m
	Fouilles	450.--	Frs/m
▪ Sous-station		4'500.--	Frs/p
▪ Coût du réseau			
- Station de pompage et échangeur		600'000.--	Frs
- Réseau principal		5'700'000.--	Frs
- Réseau secondaire		2'700'000.--	Frs
- Sous-stations		800'000.--	Frs
- Divers, études etc.		<u>1'700'000.--</u>	<u>Frs</u>
- Total		11'500'000.--	Frs

T- 1488 Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Tableau 13 Prix de revient de la chaleur à basse enthalpie pour le réseau de Serrières

▪ **Frais financiers**

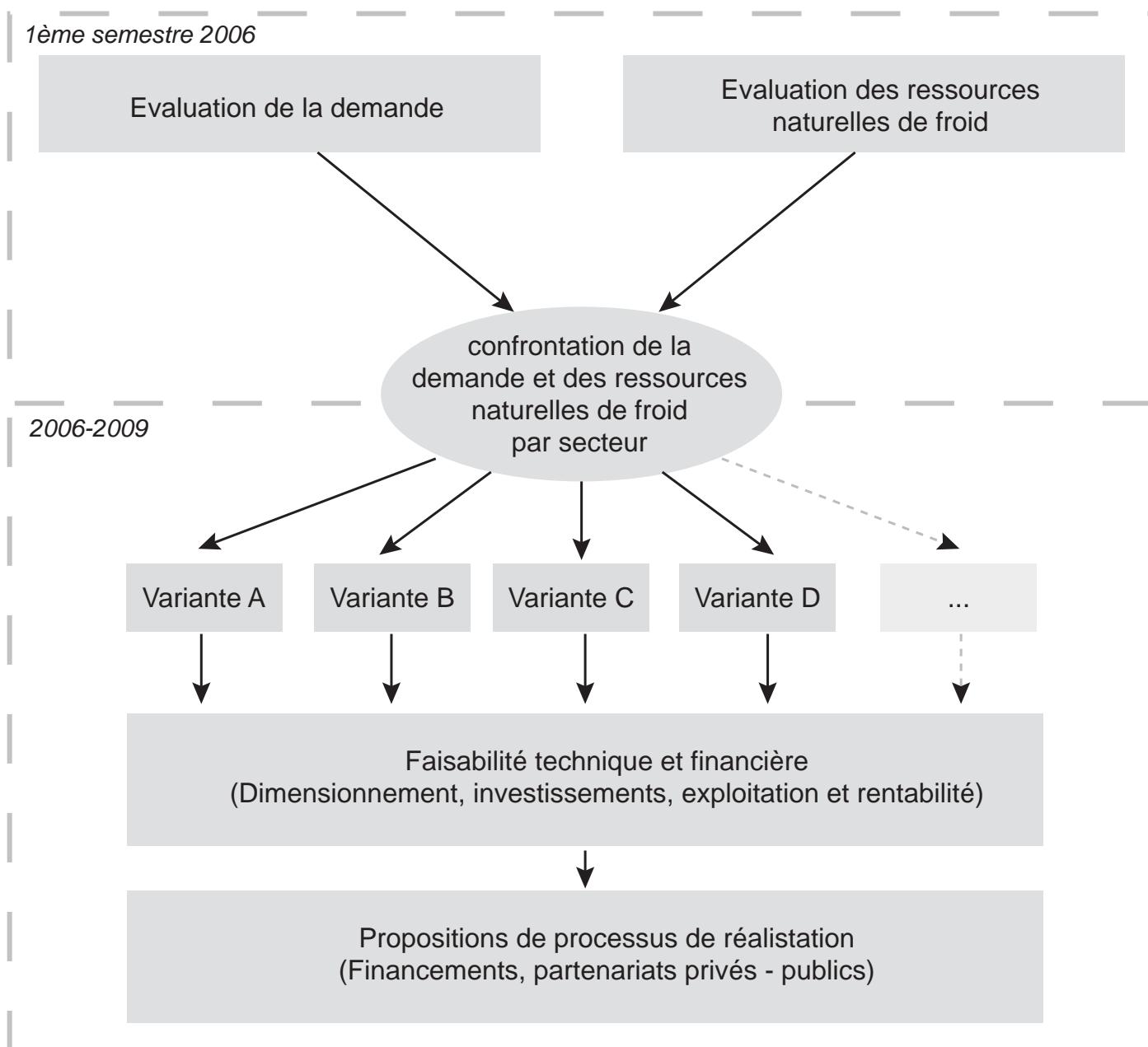
Investissement	11'500'000.--	Frs
Annuités (30 ans/3,5 %)	5,4 %	
Total frais financiers annuels	620'000.--	Frs/an

▪ Frais administratifs	25'000.--	Frs/an
▪ Frais de maintenance	30'000.--	Frs/an
▪ Energie de pompage	<u>25'000.--</u>	<u>Frs/an</u>
▪ Total coûts annuels	700'000.--	Frs/an

T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

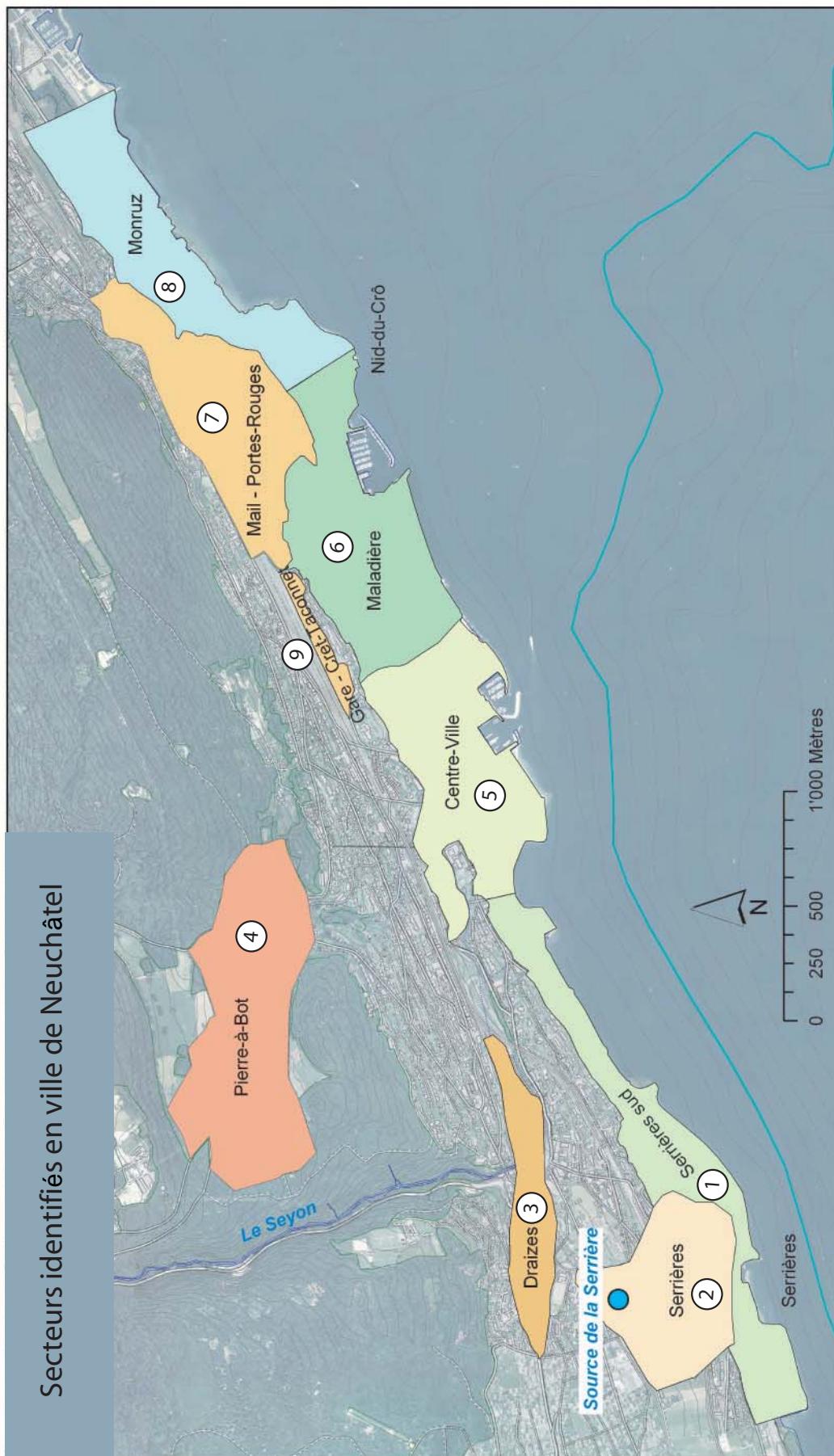
Figure 1 Méthodologie utilisée



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

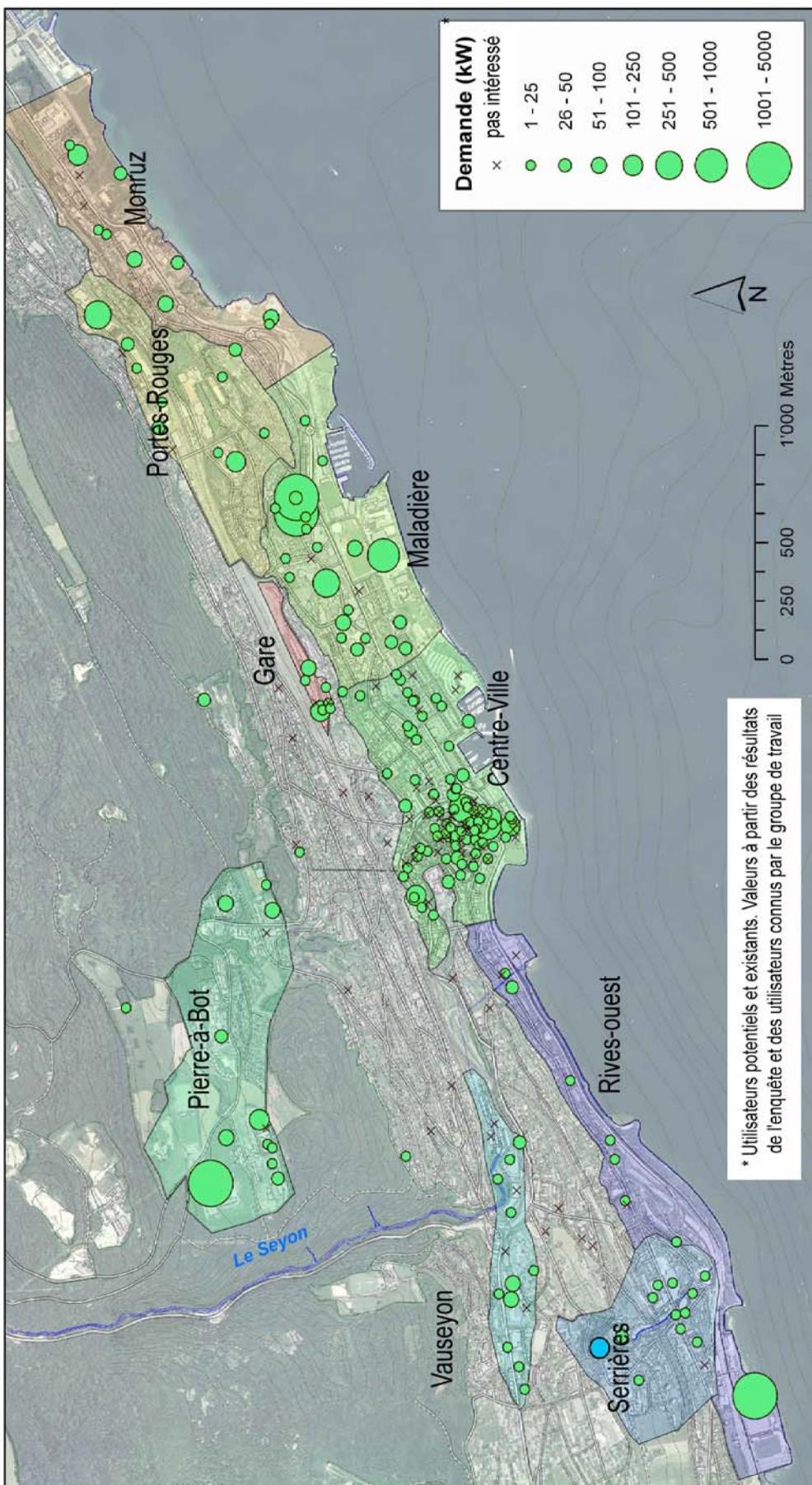
Figure 2 Identification des secteurs considérés en Ville de neuchâtel



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

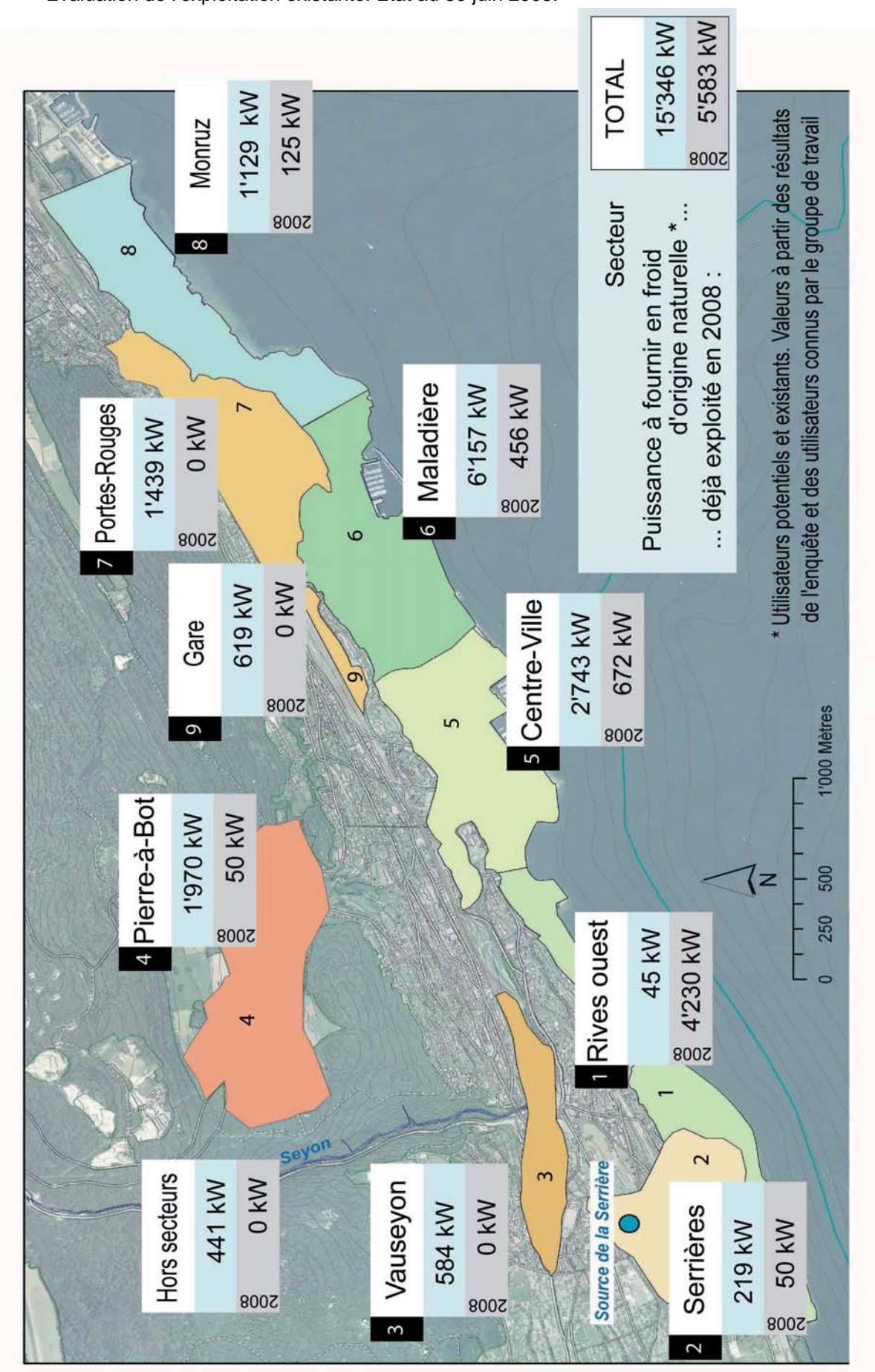
Figure 3 Evaluation de la demande: localisation des utilisateurs potentiels en froid d'origine naturel après enquête. Y-compris installations existantes. Etat au 30 juin 2008.



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

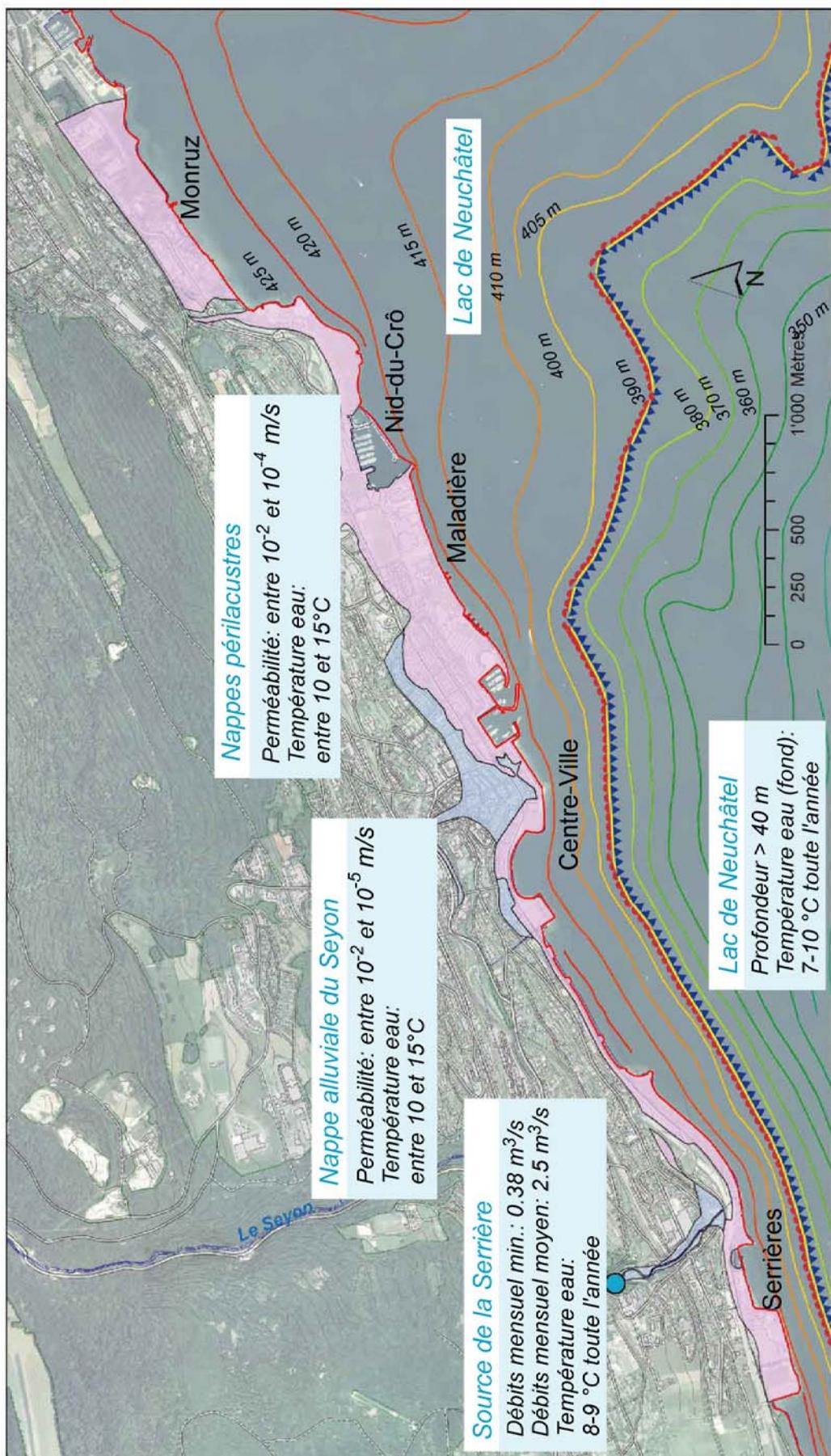
Figure 4 Evaluation de la demande en froid d'origine naturel par secteur selon résultats de l'enquête. Evaluation de l'exploitation existante. Etat au 30 juin 2008.



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 5 Inventaire et localisation des ressources naturelles de froid en Ville de Neuchâtel



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

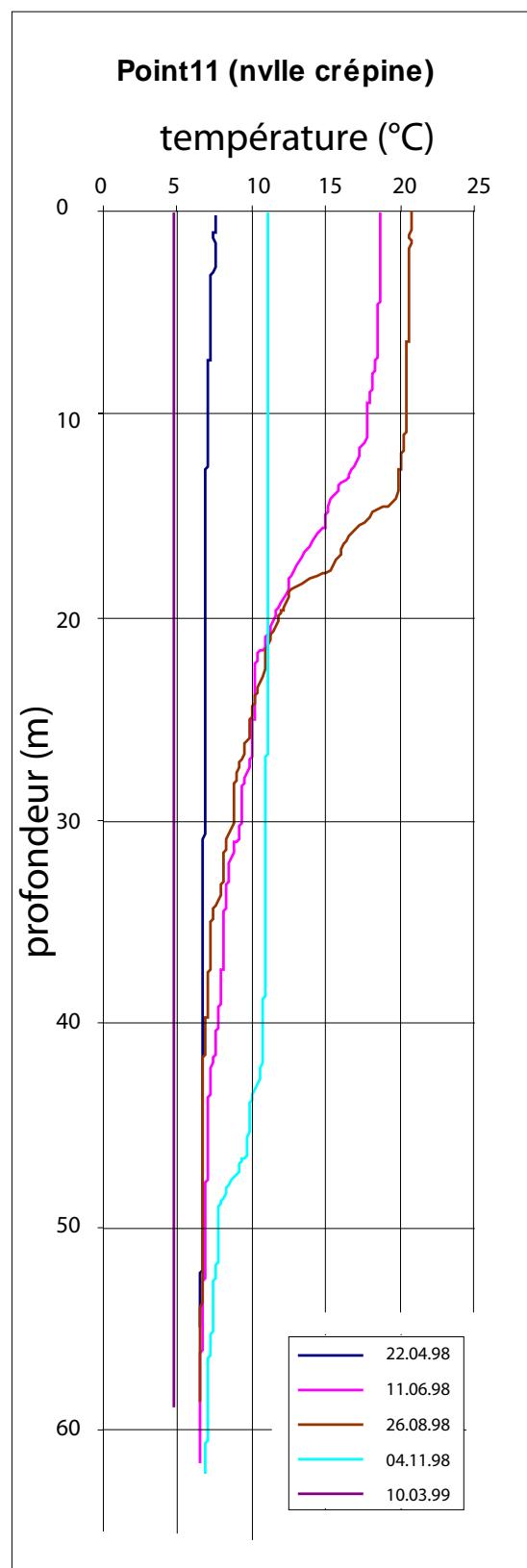
Figure 6 Topographie du lac de Neuchâtel et calcul de la distance horizontale pour atteindre la profondeur de l'épilimnion en été



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

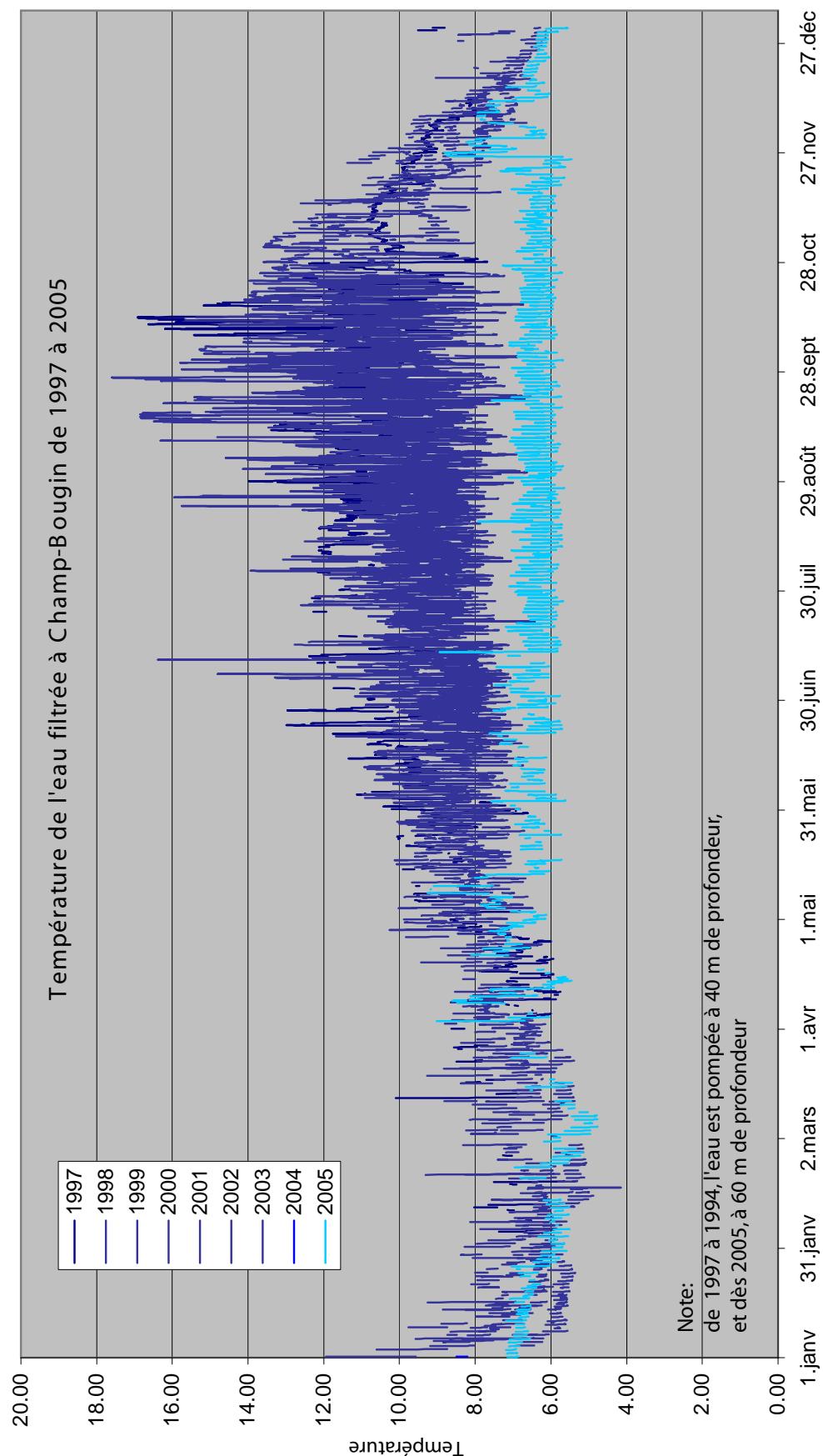
Figure 7 Profils de température relevés à l'aplomb de la nouvelle crête de captage de la station de Champ-Bougin, Neuchâtel (Services industriels de Neuchâtel)



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

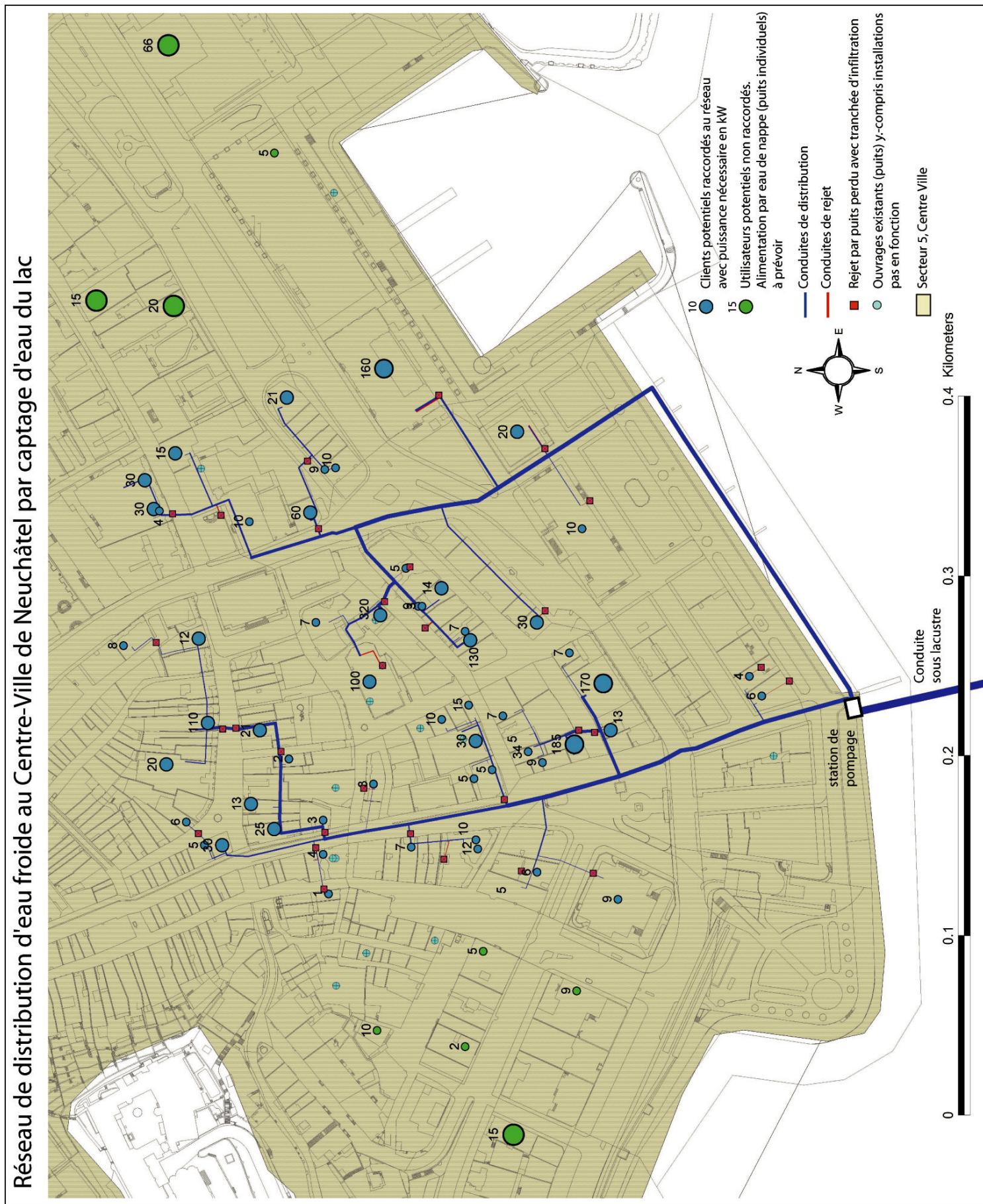
Figure 8 Température de l'eau brute pompée à la station de Champ-Bougin, Neuchâtel, de 1997 à 2005 (Services industriels de Neuchâtel)



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

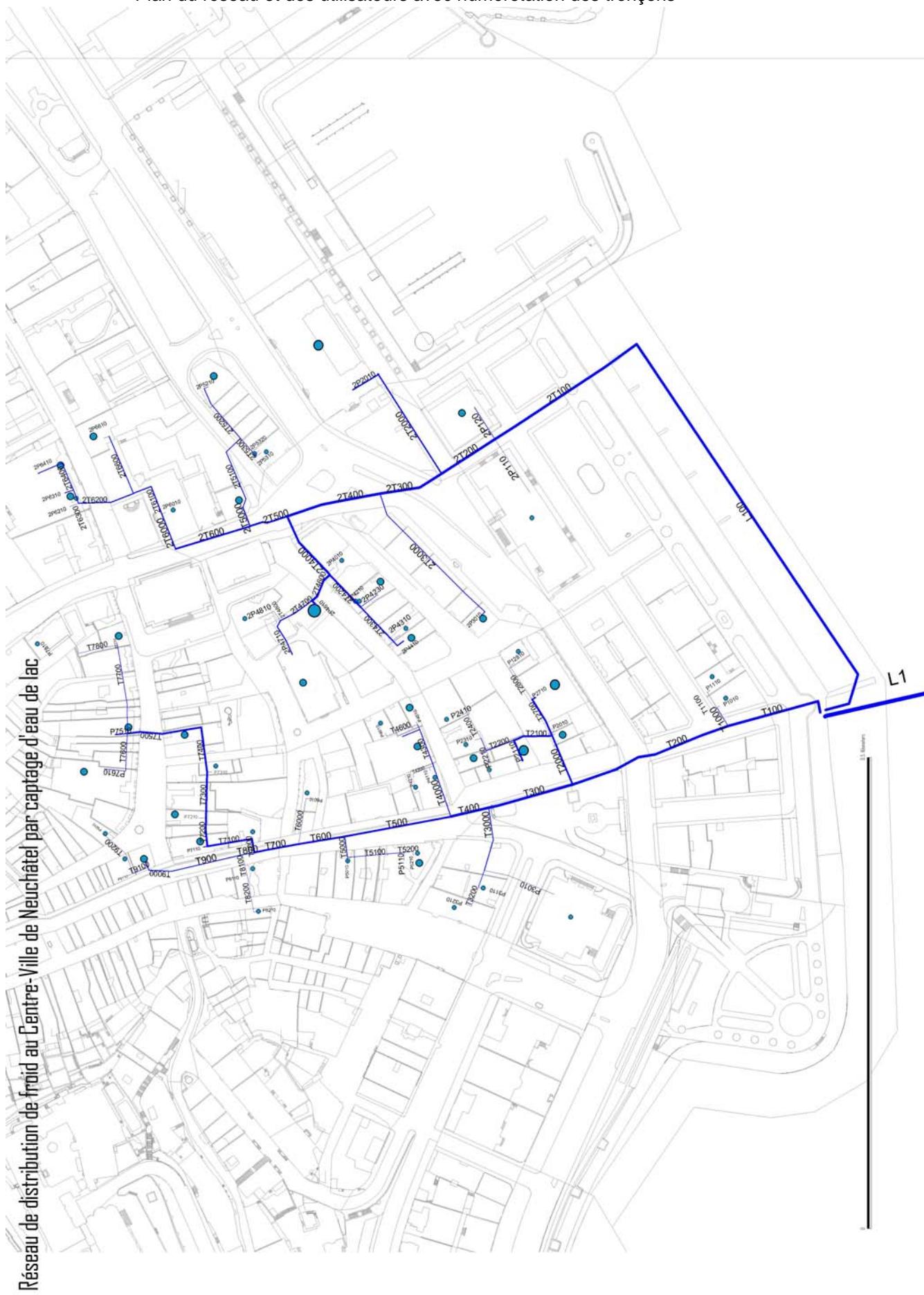
Figure 9 Réseau de distribution d'eau froide au Centre-Ville de Neuchâtel par captage d'eau du lac. Aperçu du système de distribution et des clients potentiels.



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 10 Réseau de distribution d'eau froide au Centre-Ville de Neuchâtel par captage d'eau du lac. Plan du réseau et des utilisateurs avec numérotation des tronçons



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

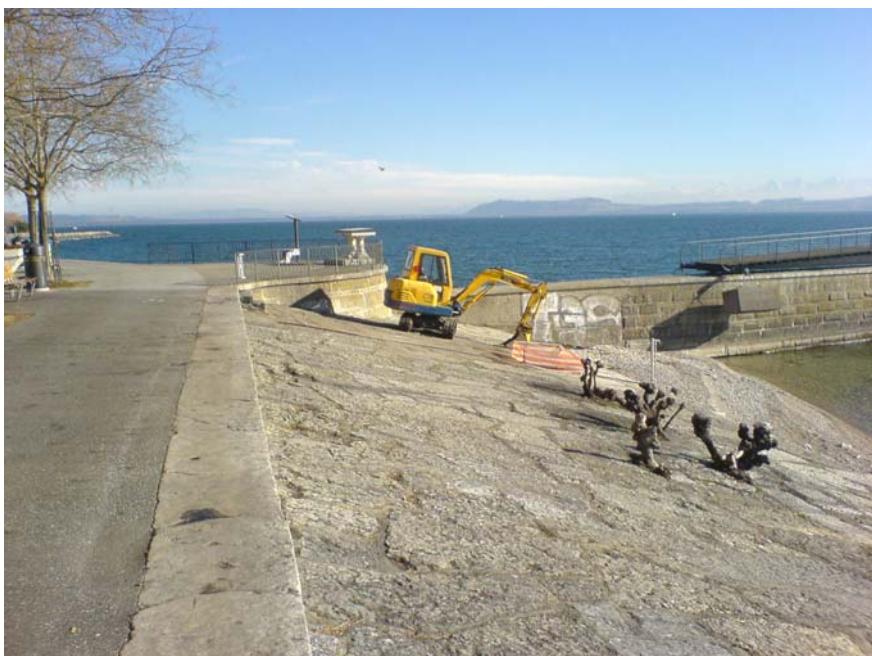
Figure 11 Sortie d'un déversoir d'orage en bordure de lac utilisable pour la pose d'une conduite d'eau froide



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

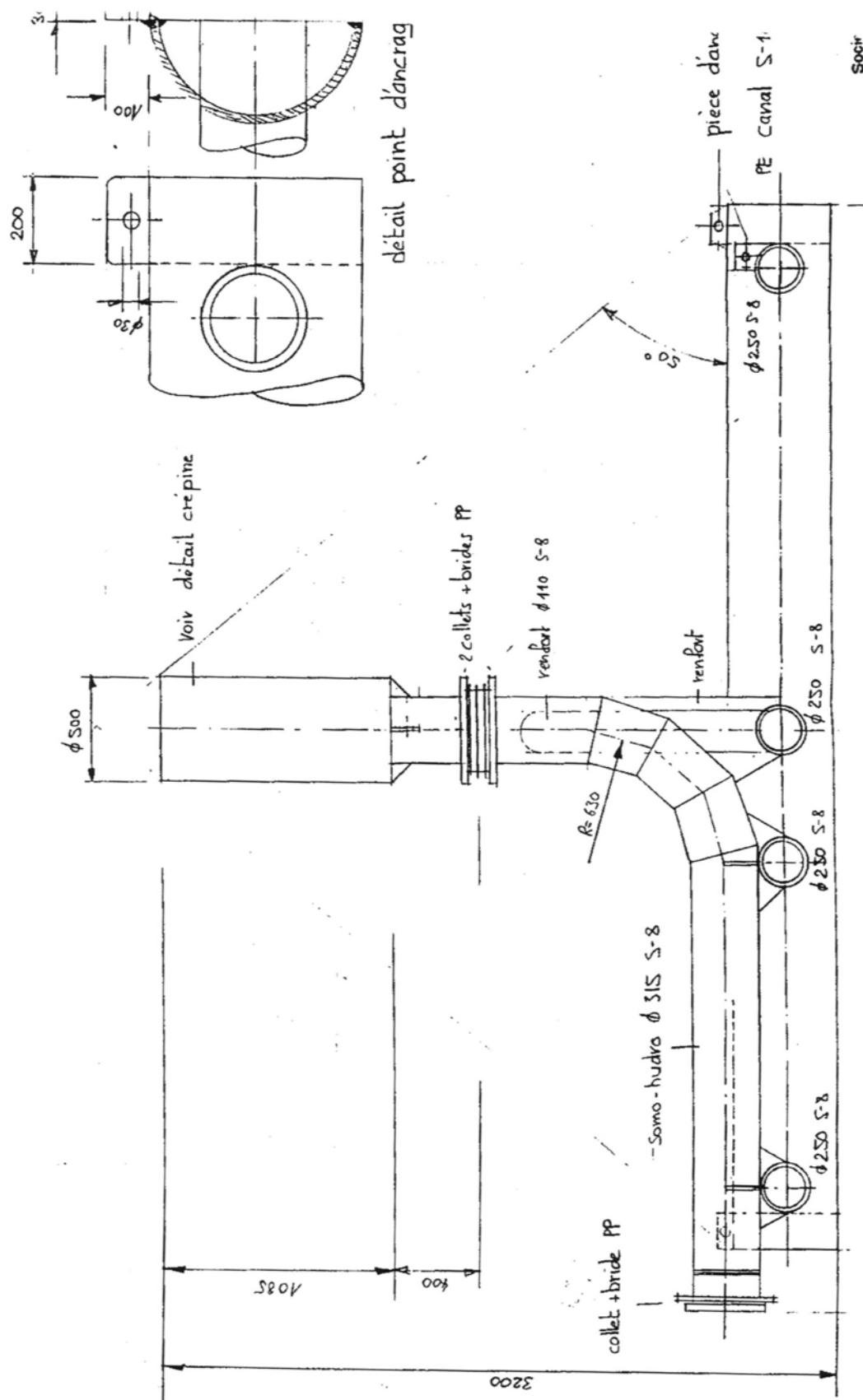
Figure 12 Emplacement proposé pour implanter la station de pompage d'eau de lac (chambre enterrée) pour la distribution d'eau froide.



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

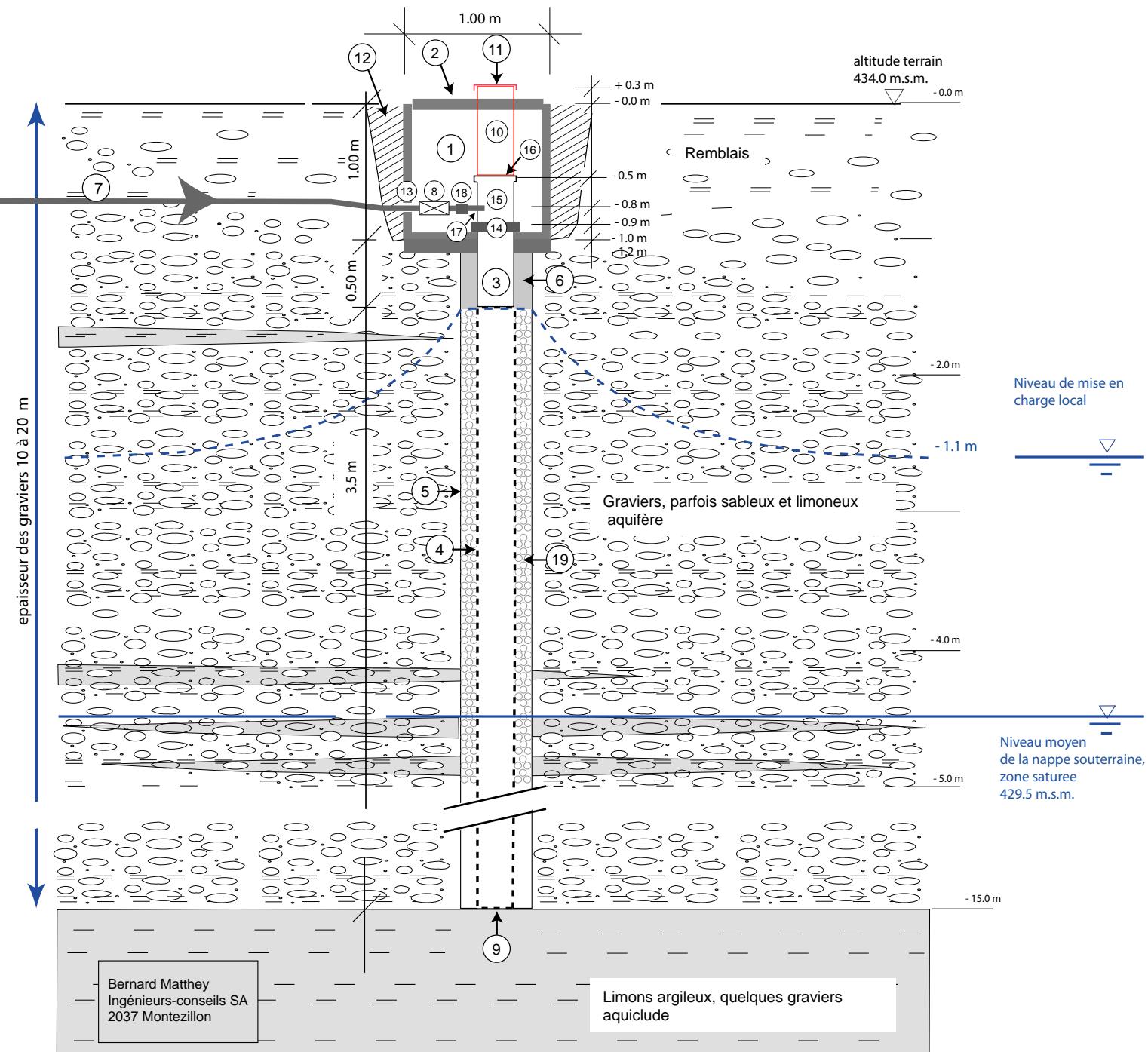
Figure 13 Schéma type d'une crépine de captage d'eau de lac (source Suisselectra, 1990, hôtel Beaurivage)



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 14a Caractéristiques du sous-sol et schéma type d'un puits d'infiltration dans la nappe souterraine au centre-ville de Neuchâtel



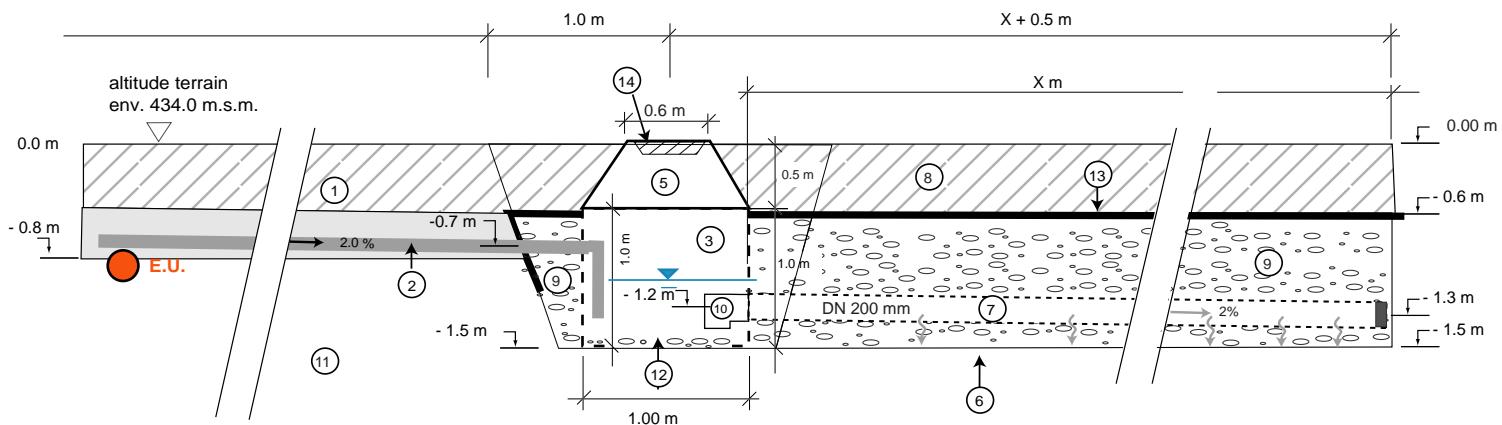
Légende:

1. Chambre d'infiltration, anneau en béton Φ 100 cm, H 100 cm type creabeton A20 01 (c.f. annexe 4). Socle étanche en béton maigre H=0.2 m. Décentré par rapport au tube du forage.
2. Couvercle en béton carrossable 5t type creabeton F41 02 Φ 100 cm, carrossable.
3. Tube plein PVC Type Bospi DN 150 mm.
4. Tube crépiqué PVC Type Bospi DN 150 mm. Ouverture des fentes 1.5 mm.
5. Forage, diamètre 200 mm.
6. Colmatage de l'espace entre le tube plein et le forage par billes d'argile.
7. Conduite flexible d'amenée des eaux à infiltrer PE 100 type Plastitech S-8 SDR 17,6 Φ ext. 75 mm Φ int. 66 mm.
8. Valve antiretour.
9. Bouchon de fond PVC pour DN 150 mm.
10. Tube plein PVC Type Bospi DN 150 mm, en place jusqu'à la construction de la chambre enterrée
11. Bouchon PVC sur tube DN 150 mm.
12. Remblai avec matériaux déblayée et compactés in situ
13. Passage du tuyau d'amenée des eaux et simalen, Φ 100 mm. Etanche.
14. Manchons de raccord PVC DN150 PE DN150 électrosoudés
15. PE DN 150 H 0.5 m.
16. Bouchon étanche soudé PE DN 150.
17. Raccord étanche PE DN65, L 0.4 m sur PE DN 150.
18. Manchons de raccord PE 100 électrosoudés Somo S-5 PN 16 Φ int. 75 mm
19. Massif filtrant, graviers propres Φ 8/16 mm.

T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 14b Schéma type d'une tranchée d'infiltration dans la nappe souterraine au centre-ville de Neuchâtel



perméabilités moyennes: $Kh = 1*10^{-3} \text{ m/s}$

$Kv = 2*10^{-4} \text{ m/s}$

Nappe
429.3 m.s.m.
- 4.5 m

Légende:

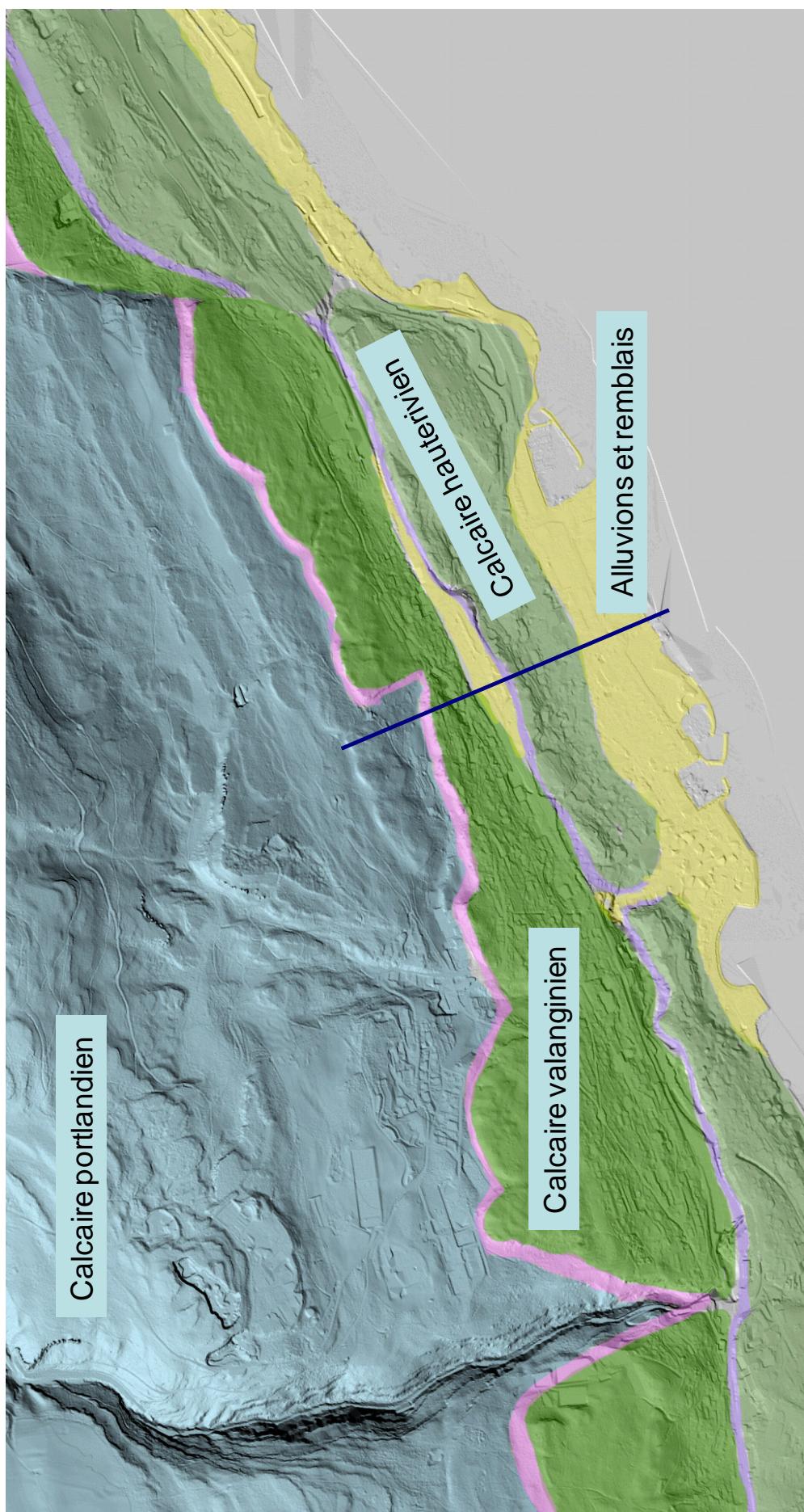
1. Fouille pour pose de la conduite de liaison + rejet, profondeur 0.8 m. Largeur 0.7 m
Enrobage de la conduite avec béton.
2. Conduite d'amenée des eaux rejetées PE, pente 2%.
3. Anneau perforé type Creabeton A 24 01, ϕ 1.00 m, hauteur 1.0 m. Largeur des fentes, 8 cm.
Percement pour passage de la conduite, diamètre variable. Rhabillage après la pose des conduites.
Percement pour passage du tube DN 200. Rhabillage après la pose des conduites.
4. Chambre symétrique type Creabeton A 40 02, ϕ base 1.00 m, ϕ sommet 0.6 m, hauteur 0.5 m. Raccord non étanche.
5. Tranchée d'infiltration, longueur variable, largeur, 0.8 m, profondeur, 1.5 m.
6. Conduite perforée PE DN 200 mm. Perforations placées vers le bas, longueur variable. Bouchon à l'extrémité.
Y compris manchon d'extrémité et raccordement à la chambre.
7. Remblai avec gravier I (0.3 m) et II (0.2 m) compactage + enrobé (7 cm).
8. Massif filtrant, galets du lac 80 - 160 mm. Compactage.
9. Coude plongeant PE DN 200 mm avec raccord soudé.
10. Terrain naturel, graviers, sables limoneux et remblais.
11. Graviers propres en fond de chambre, $e = 15$ cm.
12. Natte filtrante (géotextile).
13. Couvercle en fonte carrossable 10 To ϕ 0.6 m.

Bernard Matthey
Ingénieurs-conseils SA
2037 Montezillon

T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

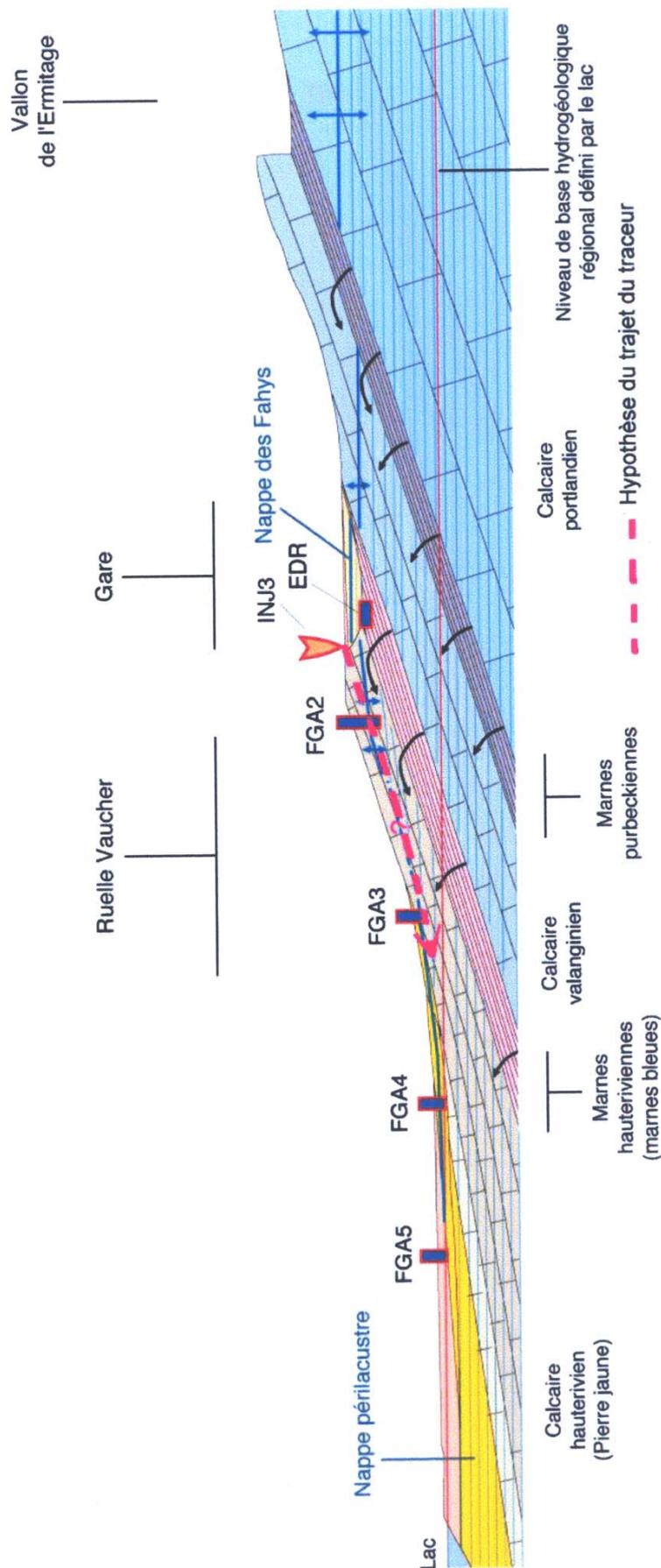
Figure 15 Caractéristiques géologiques et nature du sous-sol en ville de Neuchâtel.



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

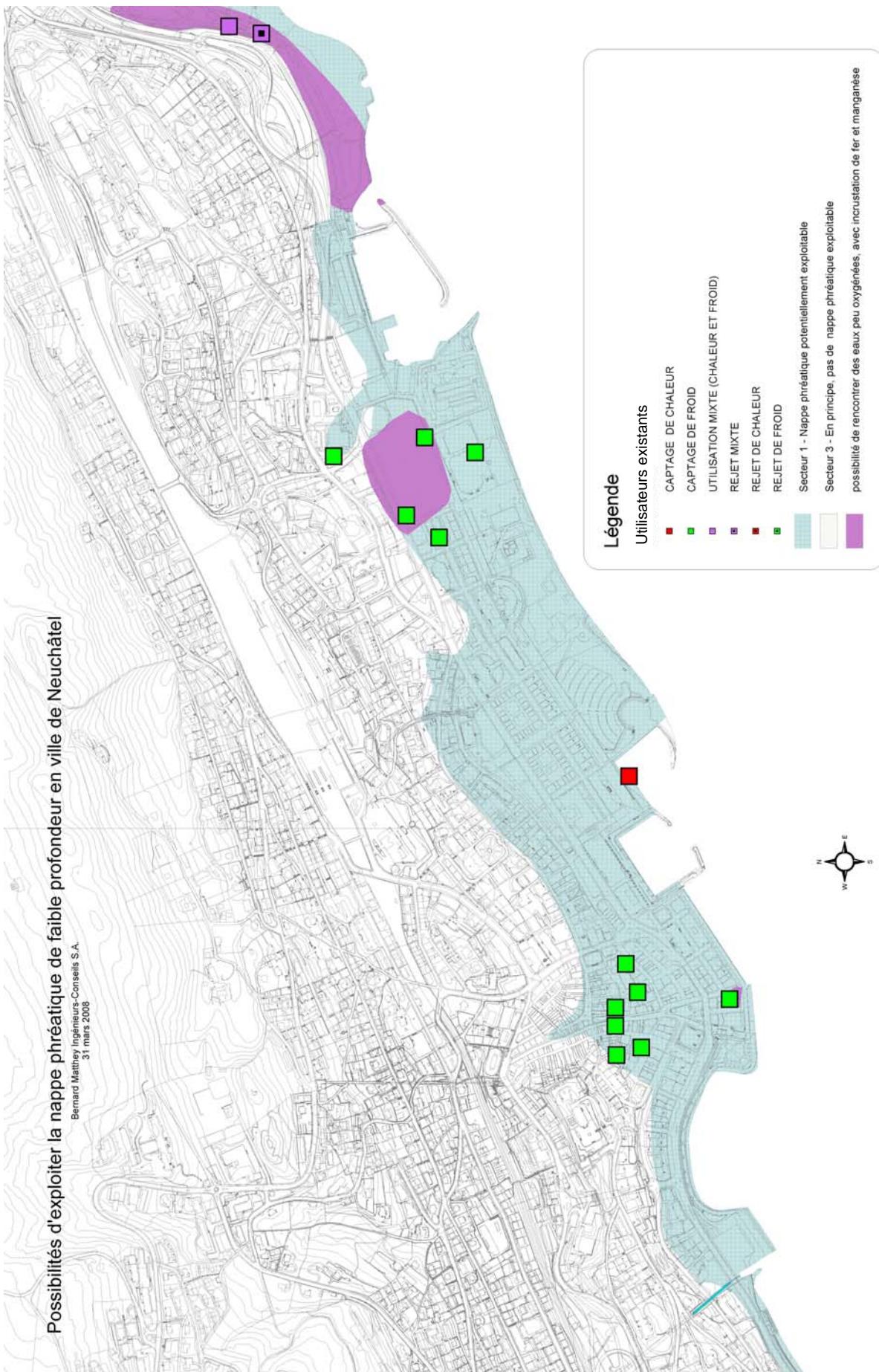
Figure 16 Caractéristiques géologiques et nature du sous-sol en ville de Neuchâtel.
Profil géologique et localisation de la nappe périlacustre



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 17 Localisation des nappes phréatiques exploitables production de froid et de chaleur en ville de Neuchâtel



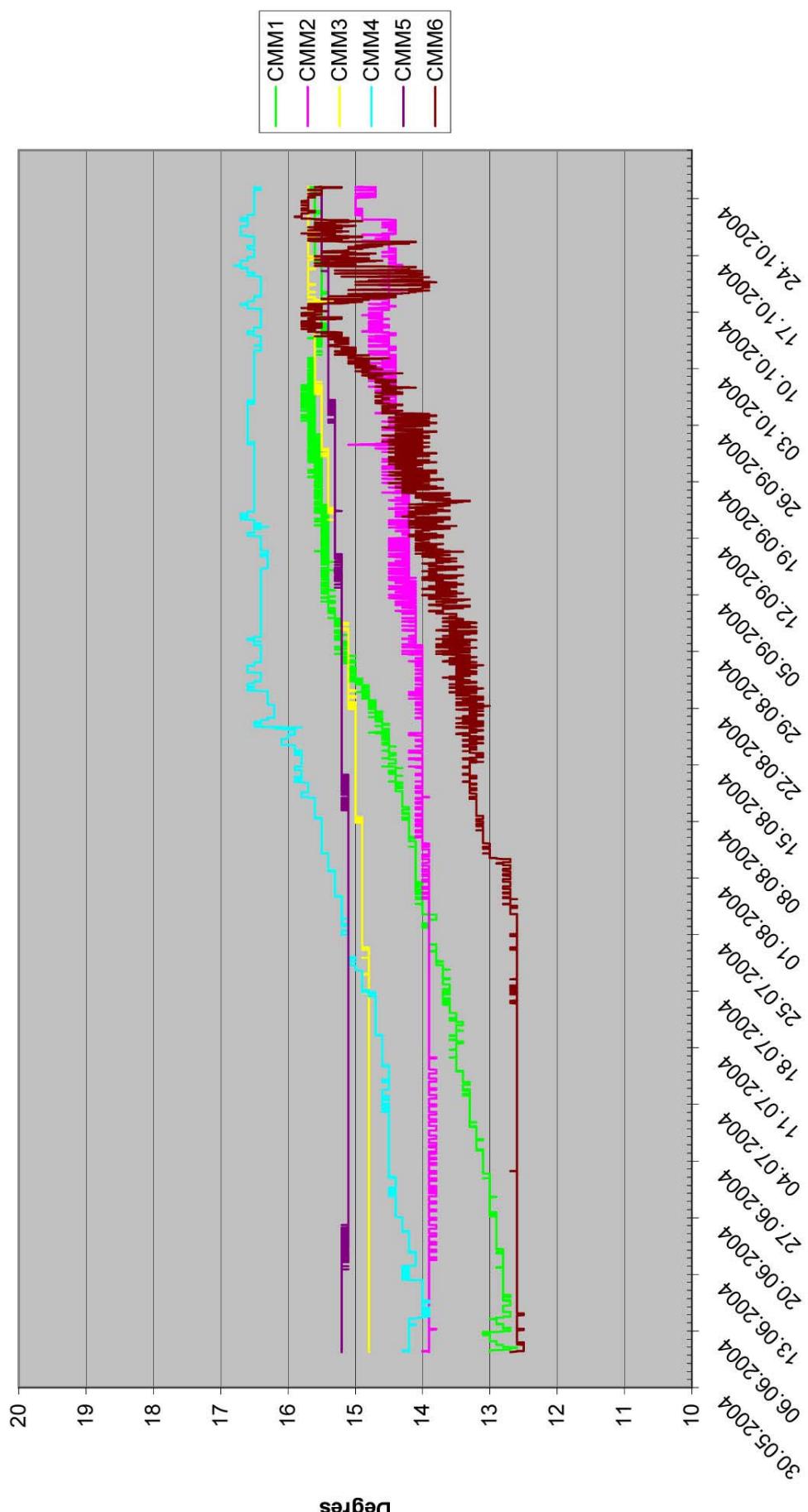
T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 18

Mesures de température de la nappe souterraine dans le secteur du stade de la Maladière en période estivale (source: Services industriels)

Bilan températures
période du 3 juin au 25 octobre 2004



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

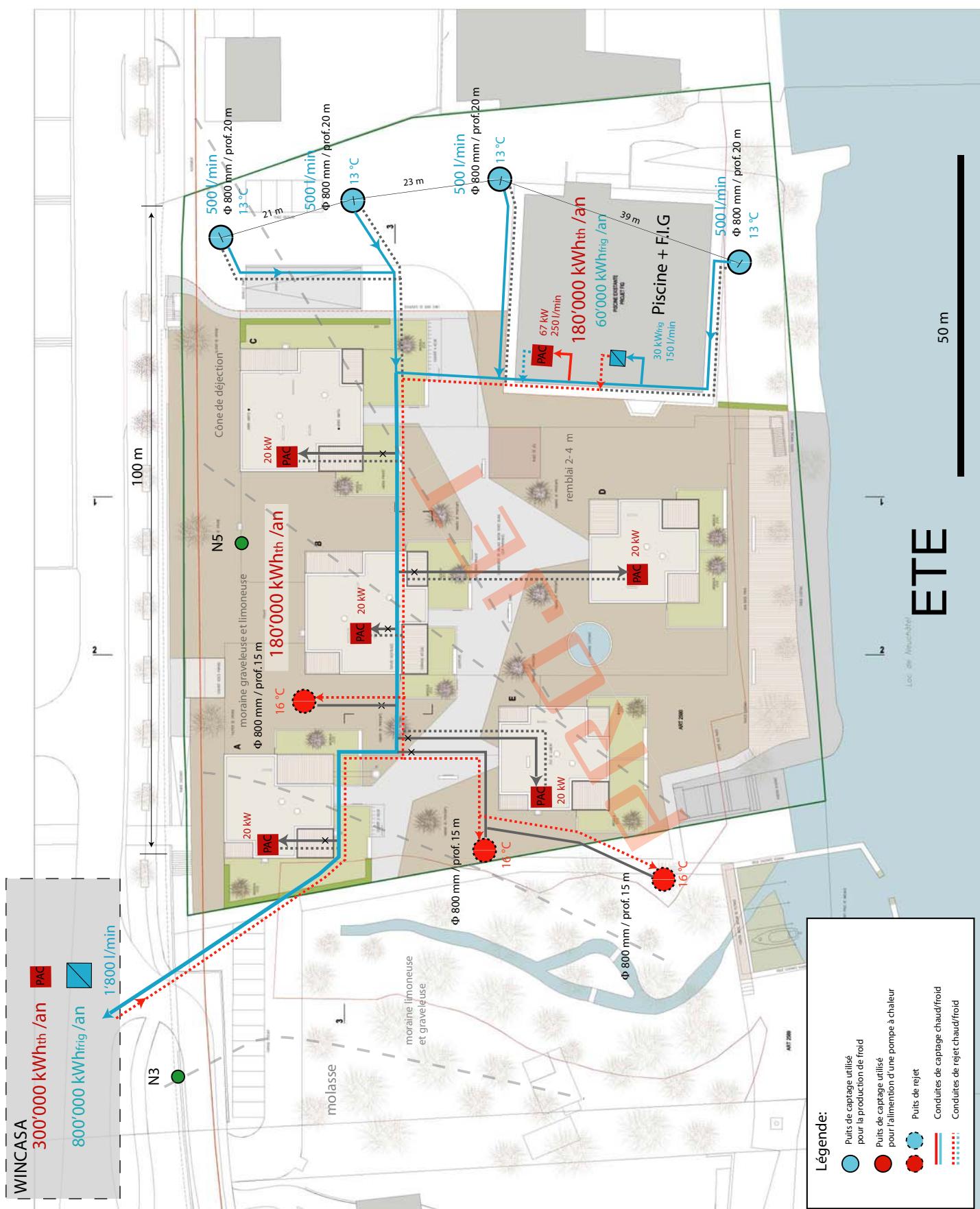
Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 19 Regroupement d'immeubles sur la nappe périlacustre.

Utilisation de la nappe en réseau de distribution d'eau basse température.

Schéma d'exploitation de la nappe en été.

Exemple d'avant-projet commun FIG, Ville de Neuchâtel, Winterthur et Wincasa



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

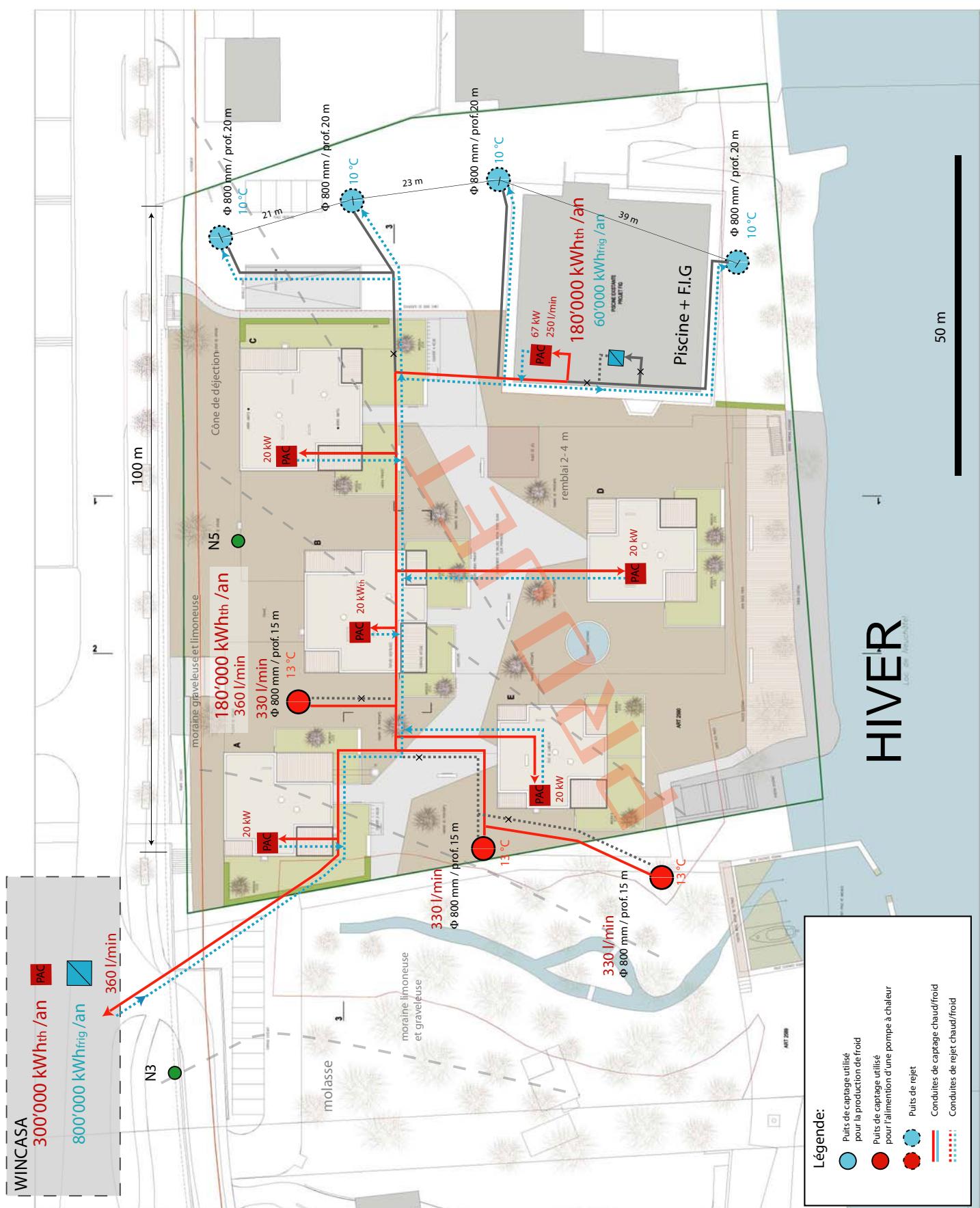
Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 20 Regroupement d'immeubles sur la nappe périlacustre.

Utilisation de la nappe en réseau de distribution d'eau basse température.

Schéma d'exploitation de la nappe en hiver.

Exemple d'avant-projet commun FIG, Ville de Neuchâtel, Winterthur et Wincasa



T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 21 La Serrière et ses ressources thermiques

La Serrière



Débit mensuel minimum (Qmin)	0.38 m ³ /s
Débit moyen (Qmoy)	2.22 m ³ /s
Température annuelle moyenne	8,5 °C
Température maximum (septembre)	9,8 °C
Température minimum (février)	7,6 °C

Puissance théorique moyenne de chaleur exploitable (Qmoy, ΔT -4.5 °C) 42 MW

Puissance potentielle moyenne de chaleur exploitable (Qmoy, ΔT -1.5 °C) 14 MW

Puissance minimale de chaleur exploitable, (Qmin, ΔT -1.5 °C) 2.4 MW

Puissance théorique moyenne de froid exploitable (Qmoy, ΔT +6.5 °C) 58.5 MW

Puissance potentielle moyenne de froid exploitable (Qmoy, ΔT +1.5 °C) 14 MW

Puissance minimale de froid exploitable, (Qmin, ΔT +1.5 °C) 2.4 MW

T- 1488 Freecooling en milieu urbain.

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments – Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel – Suisse

Figure 22 Demande de chaleur et de froid estimées pour le quartier de Serrières et esquisse d'un réseau de distribution à partir de la chaleur de la source de la Serrière.

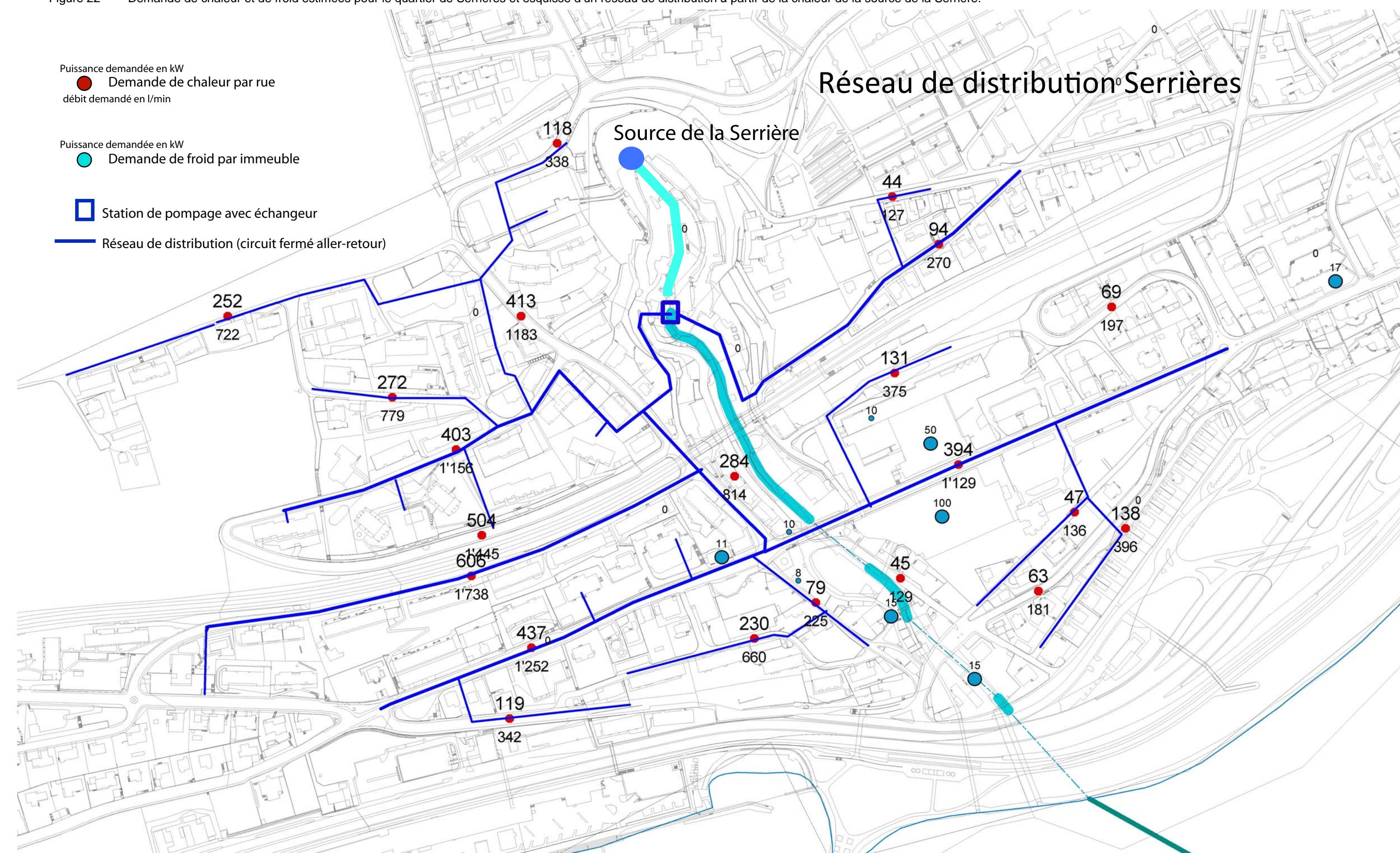
Puissance demandée en kW
● Demande de chaleur par rue
 débit demandé en l/min

Puissance demandée en kW
● Demande de froid par immeuble

■ Station de pompage avec échangeur

— Réseau de distribution (circuit fermé aller-retour)

Réseau de distribution Serrières



Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments
- Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel - Suisse

ANNEXES

Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments - Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel - Suisse

ANNEXE 1

- Texte de la présentation des auteurs du projet au Status-Seminar Energie Und Umweltforschung im Bauwesen /ETH Zürich/ 7-8 septembre 2006
 - Texte de la présentation des auteurs du projet au Status-Seminar Energie Und Umweltforschung im Bauwesen /ETH Zürich/ 11 et 12 septembre 2008
-
-

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 Verteilsystemen 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.

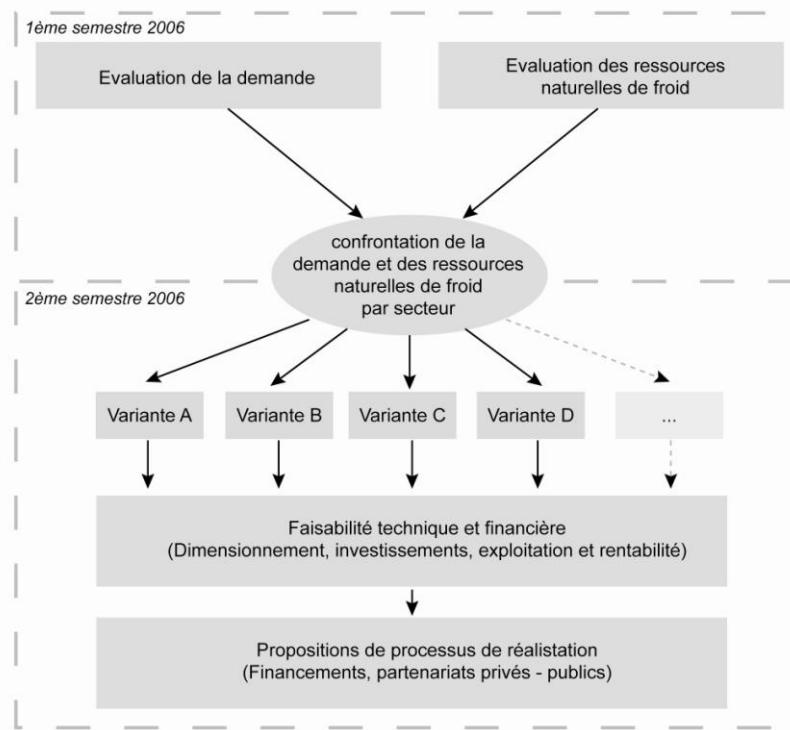


Figure 1 : description des principales étapes de l'étude et programme d'avancement

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) on 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.

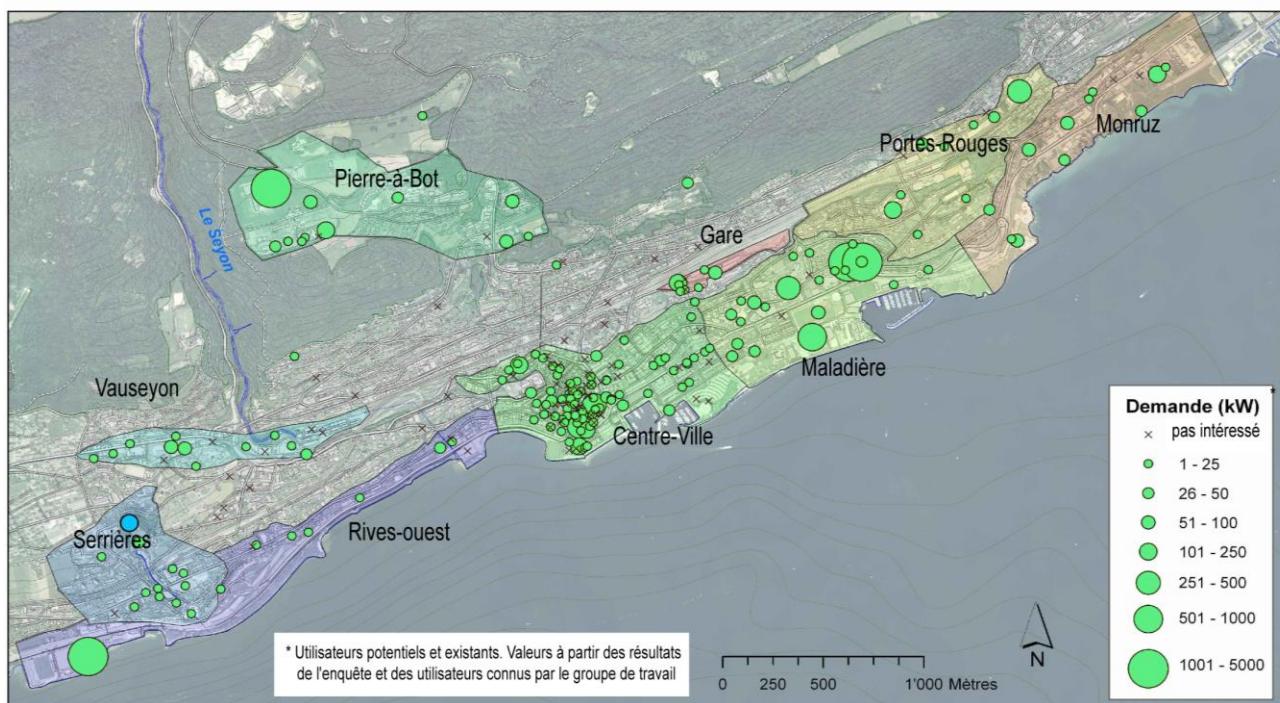


Figure 2 : localisation des utilisateurs potentiels en froid d'origine naturelle, y compris installations existantes. Etat au 30 juin 2006.

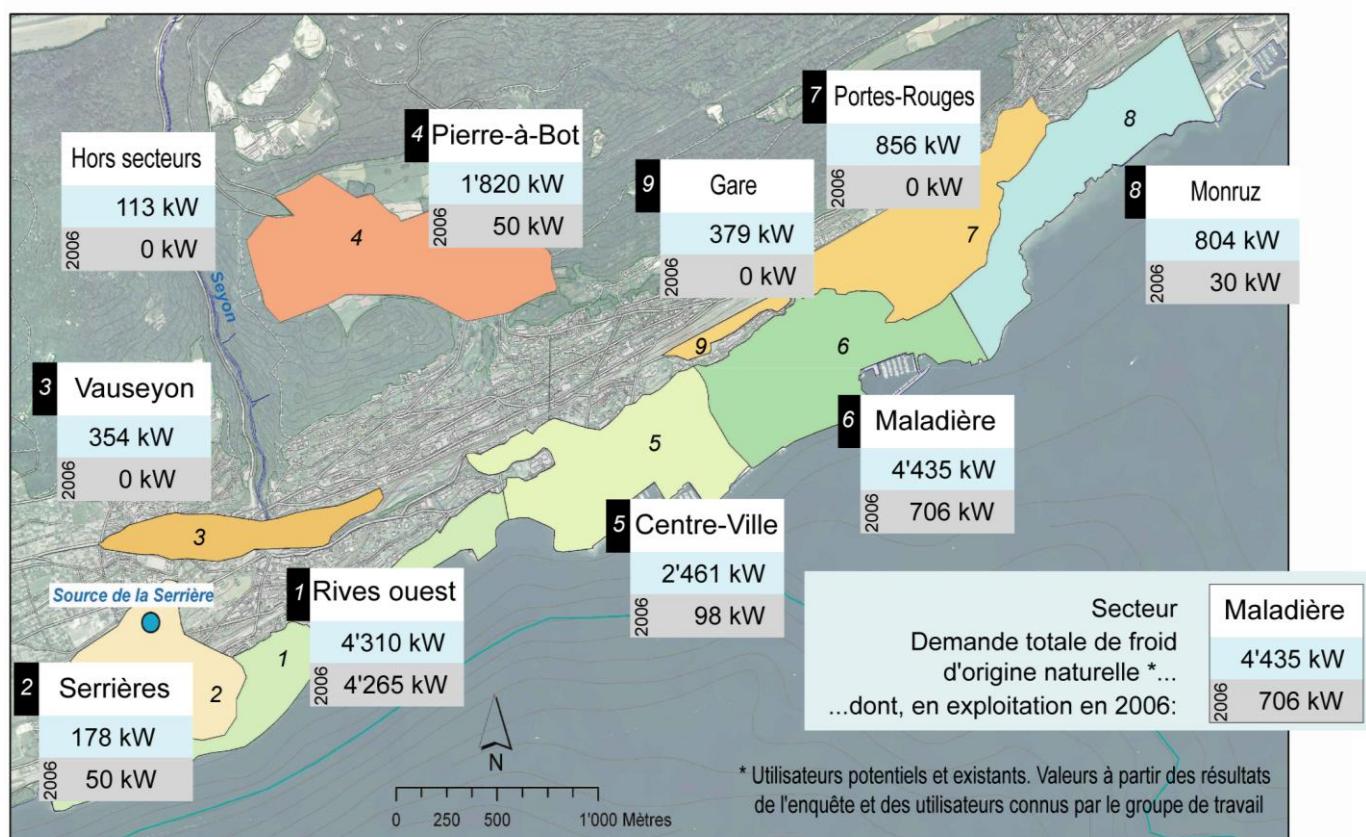


Figure 3 : estimation provisoire par secteur de la demande en froid d'origine naturelle, y compris installations existantes, établie sur la base d'un questionnaire envoyé à 1'145 entreprises. Taux de réponses 19.2 %. Etat au 30 juin 2006.

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 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 un 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.

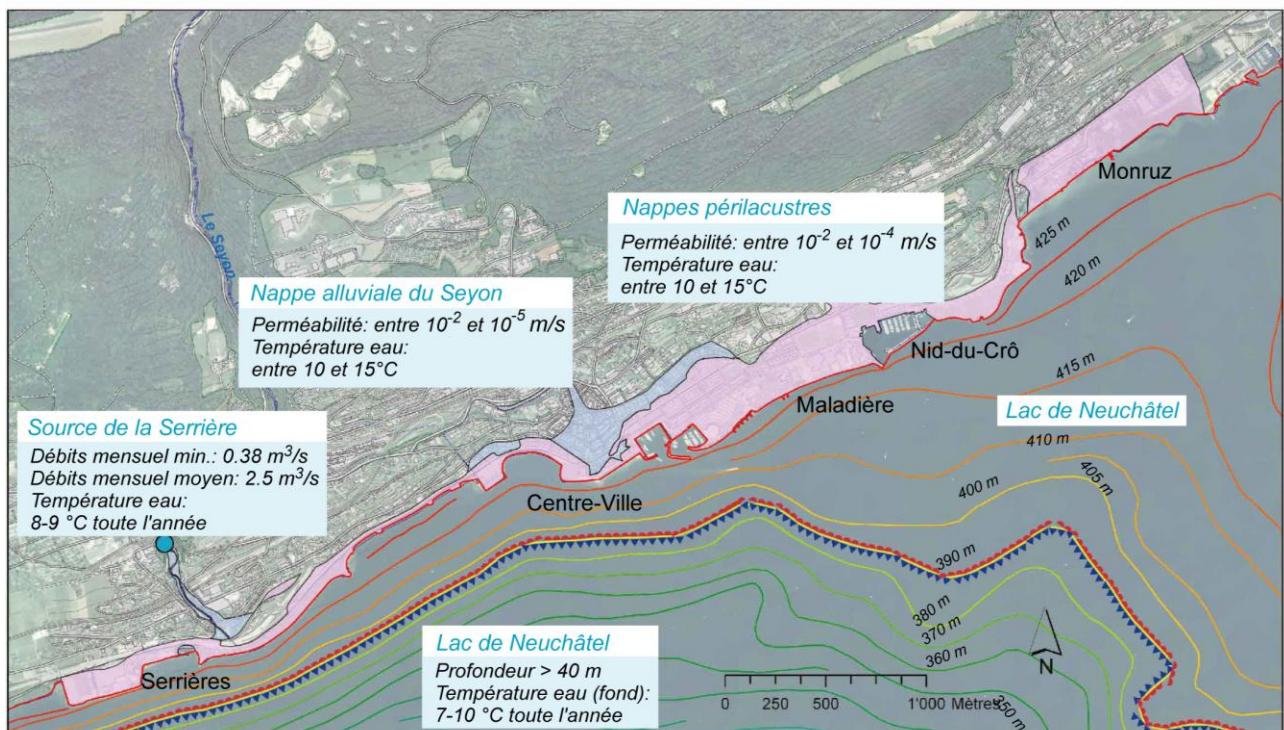
3.3.3 L'ancien delta du Seyon

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).



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.

Freecooling en milieu urbain. Distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en froid en Ville de Neuchâtel

Pierre-Olivier Aragno, laboratoire des eaux et de l'environnement, 2000 Neuchâtel

(pierre-olivier.aragno@ne.ch)

Bernard Matthey, Bernard Matthey ingénieurs-Conseils S.A., 2037 Montezillon

(info@masai-conseils.com)

Marc Affolter, Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., 2037 Montezillon

(affolter@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, source de 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 demandées nécessite de recourir à des systèmes de distribution divers et complémentaires : puits individuels, réseaux regroupant quelques immeubles, réseaux de distribution d'eau de lac à l'échelle du quartier.

Trois variantes d'approvisionnement du Centre-Ville sont évaluées : eau brute de lac, eau de la nappe souterraine, eau du réseau existant. L'analyse montre l'attractivité économique de la construction d'un réseau d'eau brute du lac destinée au freecooling et à des pompes à chaleur en hiver. Dans une première étape et pour susciter la demande, la fourniture de froid par le réseau d'eau potable existant peut être envisagée.

Abstract

The potential cooling demand in the city of Neuchâtel (35'000 inhabitants) is estimated to more than 15 MW. Considering the natural cooling resources available (Lake, Serrière spring, groundwater), these needs can be satisfied without the use of electrical refrigeration equipment.

However, the multiplicity of resources and needs implicates the use of multiple and complementary water supply systems: individual wells, multiple building network, lakewater distribution network for an entire district.

Three exploitation systems to supply cooling water to the center of Neuchâtel have been evaluated: lake water, groundwater, existing drinking water network. The analysis indicates that the realization of a lakewater network for freecooling and heat pumps is economically attractive. In a first step and to meet the short-term demand, the providing of cool water through the existing drinking water network can be considered.

1. Situation et objectifs

La Ville de Neuchâtel se situe à proximité d'importantes ressources en froid d'origine naturelle comme le lac, les nappes souterraines et les rivières. Ce potentiel énergétique est à l'heure actuelle sous-exploité. On observe parallèlement un accroissement de la demande en rafraîchissement et en froid technique d'origine naturelle en Ville de Neuchâtel. Une des raisons à cette situation est que les autorités cantonales sont relativement restrictives dans l'attribution des autorisations pour la production de froid à partir de machines frigorifiques et que les demandes d'électricité des climatiseurs entraînent des pointes électriques significatives sur les réseaux électriques.

L'objet de l'étude est de 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 à partir des ressources naturelles. La combinaison des diverses ressources de froid constitue l'une des originalités du projet.

En confrontant les besoins des utilisateurs avec la ressource disponible, on proposera un concept de distribution, centralisé ou non, adapté au site de Neuchâtel qui n'est pas unique, puisque beaucoup de villes suisses sont établies au bord d'un lac et ont accès à une nappe souterraine.

2. Méthodologie retenue

Le groupe de travail formé en septembre 2005 est constitué de partenaires représentant les institutions publiques communales, cantonales mais aussi de spécialistes du secteur privé.

L'approche choisie est composée des étapes suivantes (figure 1) :

- **Evaluation de la demande** en froid d'origine naturelle.
 - Evaluation de l'exploitation actuelle, recensement des installations existantes.
 - Evaluation de la demande potentielle par une enquête menée auprès des entreprises privées et des services publics de Neuchâtel. Diffusion de l'information par les médias (conférence de presse) afin d'augmenter l'impact de l'enquête. Envoi d'un questionnaire et analyse des résultats permettant de dresser une image représentative de la demande en froid.
- **Evaluation de la ressource** en froid disponible (lac, rivières, eaux souterraines), tant en quantité, température et potentiel énergétique, à partir de données existantes sur l'hydrologie, l'hydrogéologie et la limnologie.
- Confrontation de la demande et de la ressource.
 - 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.
 - Evaluation des solutions de d'approvisionnement et de distribution pour chaque secteur. Choix des variantes prioritaires.
- **Etude de faisabilité** pour les variantes choisies. Dimensionnement et calcul du prix de vente au m³ d'eau délivré et au kWh.
- Définition des solutions d'approvisionnement et de distribution pour chaque secteur.

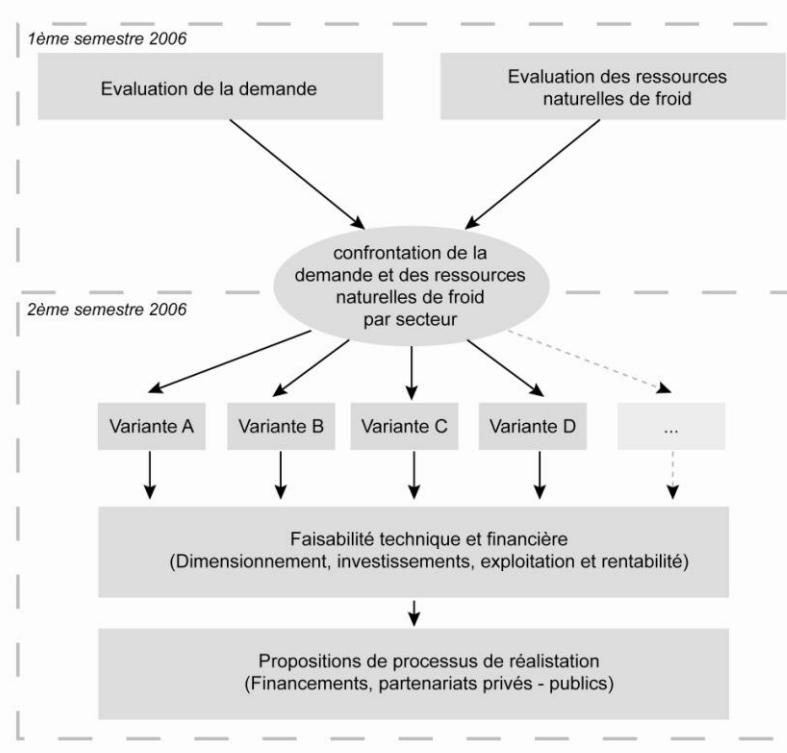


Figure 1 : Description des principales étapes de l'étude et programme d'avancement

3. Résultats

3.1 Evaluation de la demande

3.1.1 Résultats de l'enquête

Les besoins en froid d'origine naturelle ont été recensés par le biais d'un questionnaire auprès des consommateurs potentiels privés, mais aussi par les indications fournies par les autorités communales (service des bâtiments).

Les résultats de l'enquête auprès des consommateurs privés amènent les commentaires suivants :

- Parmi les 1'040 questionnaires envoyés, 200 réponses ont été reçues (19.2% de taux de réponses), et 95 entreprises privées ont manifesté leur intérêt.
- 92 % des utilisateurs actuels de froid ayant répondu sont intéressés à changer leur installation pour une alimentation en froid naturel à prix compétitif.

3.2.2 Demande recensée

Les besoins identifiés pour la Ville de Neuchâtel sont résumés au tableau 1 :

Demande à satisfaire en froid d'origine naturelle	15.4 MW	100 %	soit ~ 41'800 MWh
Nombre d'utilisateurs à satisfaire	182		
Dont :			
Demande en rafraîchissement (freecooling)	8.8 MW	57 %	soit ~ 8'800 MWh
Demande en froid technique (refroidissement de machines frigorifiques, industrie)	6.6 MW	43 %	soit ~ 33'000 MWh
Exploitation actuelle de froid d'origine naturelle	5.6 MW		soit ~ 15'800 MWh

Tableau 1 : Evaluation de la demande en froid d'origine naturelle en Ville de Neuchâtel. Etat au 30 juin 2008.

L'intérêt pour un raccordement à prix compétitif à un réseau de distribution de froid est manifeste, pour une puissance totale de **15.4 MW**, dont 57 % de besoins en rafraîchissement en été. La nouvelle demande à satisfaire est trois fois supérieure à l'exploitation actuelle, en termes de puissance et d'énergie. La mise à disposition de froid naturel et bon marché entraînera certainement à moyen terme un accroissement de la demande.

3.2 Caractéristiques de la demande en froid

A partir des résultats de l'enquête et de recherches complémentaires, une carte des besoins en froid a été établie (figures 2 et 3).

La demande est maximale dans les secteurs Maladière (9 utilisateurs pour 6.1 MW), Centre-Ville (104 utilisateurs pour 2.7 MW) et Pierre-à-Bot (9 utilisateurs pour 1.9 MW). La demande à combler est pratiquement nulle dans le secteur Rive-Ouest et très faible dans le secteur Serrières (0.2 MW).

Les caractéristiques de la demande par secteur sont résumées sur le tableau 2 :

Secteurs	Caractéristique des utilisateurs	Puissance moyenne par utilisateur	Répartition des utilisateurs	Type des besoins en froid, en % de la puissance
Centre-Ville	commerces et services	26 kW	regroupés	rafraîchissement (76%)
Maladière	infrastructures, services et industrie	680 kW	espacés	froid technique (68%)
Serrières et Vauseyon	services, infrastructures, industrie	40 kW	dispersés	rafraîchissement (95%)
Cadolles et Portes-Rouges	industrie, commerces et infrastructures	200 kW	espacés/ dispersés	rafraîchissement / Froid technique (50%)
Monruz	services, infrastructures et industrie	140 kW	espacés	rafraîchissement (99%)
Gare	commerces et services	88 kW	regroupés	rafraîchissement (86%)
Hors secteurs	Commerces, services et infrastructures	37 kW	dispersés	rafraîchissement (78%)

Tableau 2 : Aperçu des caractéristiques des utilisateurs et des types de besoins par secteur.

Les caractéristiques des utilisateurs (industries, commerces,...) sont relativement différenciées selon les secteurs de la ville. On remarque en particulier que les consommateurs potentiels du Centre-Ville sont de petite taille, regroupés et avec d'avantages de besoins en rafraîchissement. A l'opposé, les utilisateurs du secteur Maladière sont espacés, avec des puissances demandées importantes, en majorité de froid technique (réfrigération, refroidissement de compresseurs, procédés industriels)

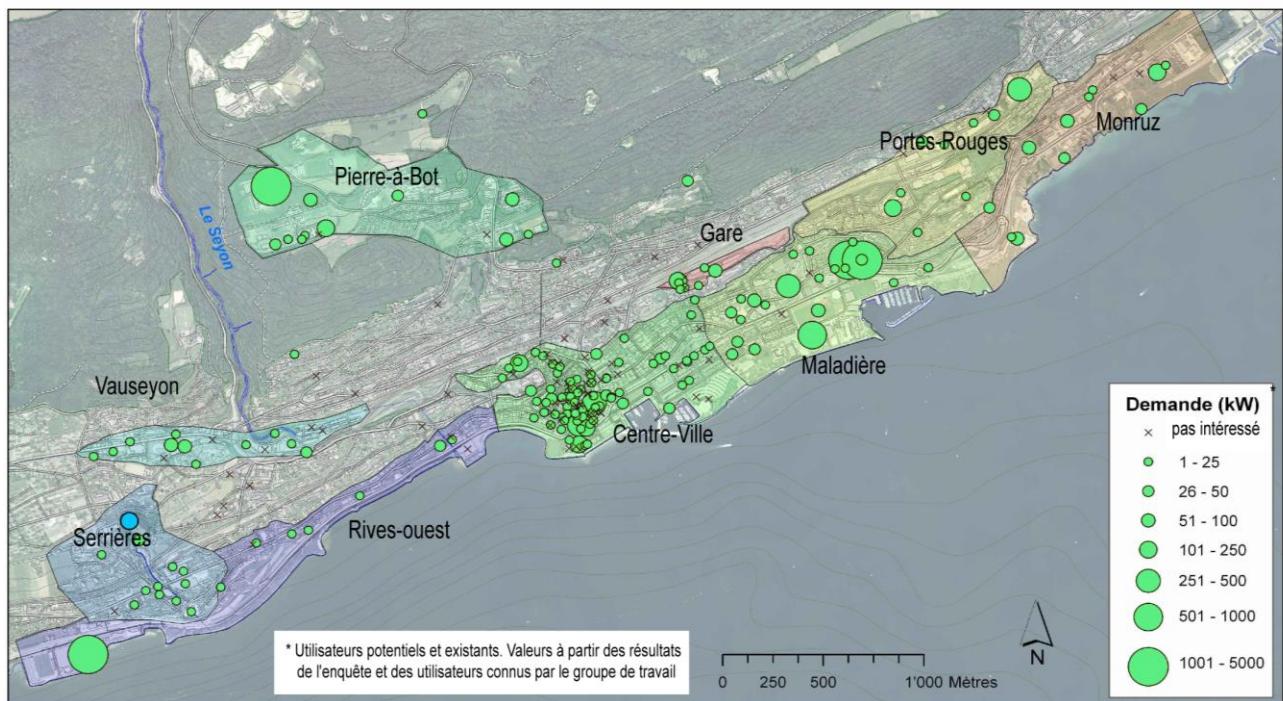


Figure 2 : Localisation des utilisateurs potentiels en froid d'origine naturelle, y compris installations existantes. Etat au 30 juin 2008.

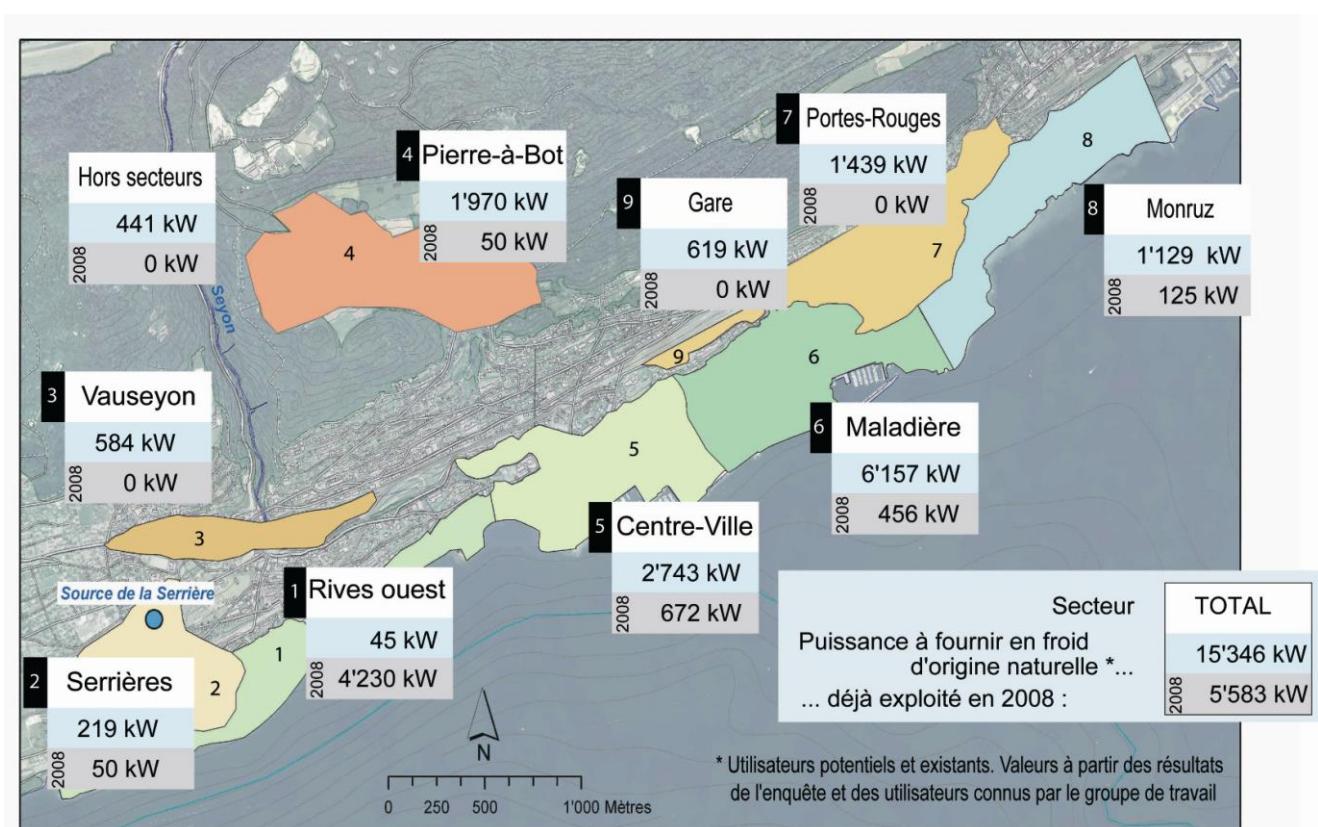


Figure 3 : Estimation par secteur de la demande en froid d'origine naturelle. Etat au 30 juin 2008.

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.

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 [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 0.4 Km (Centre-ville, Serrières) à plusieurs Km (figure 4). La longueur des conduites sous lacustres à poser est un des facteurs limitant pour l'exploitation de cette ressource.

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 et pour la production de chaleur [3]. 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, seule une très petite partie du potentiel de la Serrière est utilisée pour le refroidissement.

3.3.3 L'ancien delta du Seyon

Le delta du Seyon contient une nappe phréatique qui draine une partie des reliefs calcaires du Valanginien et probablement en partie des eaux provenant du Malm. Cette nappe, en équilibre hydraulique avec le lac, est disponible à environ 4 mètres sous les rues piétonnes du secteur Centre-Ville.

La nappe du delta du Seyon a une superficie de 130'000 m² et une épaisseur moyenne (zone saturée) de 10 à 15 m. L'énergie frigorifique exploitable par captage d'eau souterraine est estimée à **2.7 GWh** et permettrait de fournir une puissance de 2.7 MW pour le rafraîchissement estival. La nappe n'est pas exploitée comme ressource en eau potable de sorte que son utilisation hydrothermique est rendue possible. Les eaux souterraines sont actuellement exploitées par 5 installations de pompage individuelles pour la production de froid exclusivement. L'énergie exploitée est estimée à 0.4 GWh, soit 15 % du potentiel de froid. Une gestion précise du stock de chaleur, avec une exploitation de la nappe pour la production de chaleur en hiver permettrait d'équilibrer le bilan thermique à l'échelle annuelle, avec pour résultat une augmentation de la puissance de froid exploitable.

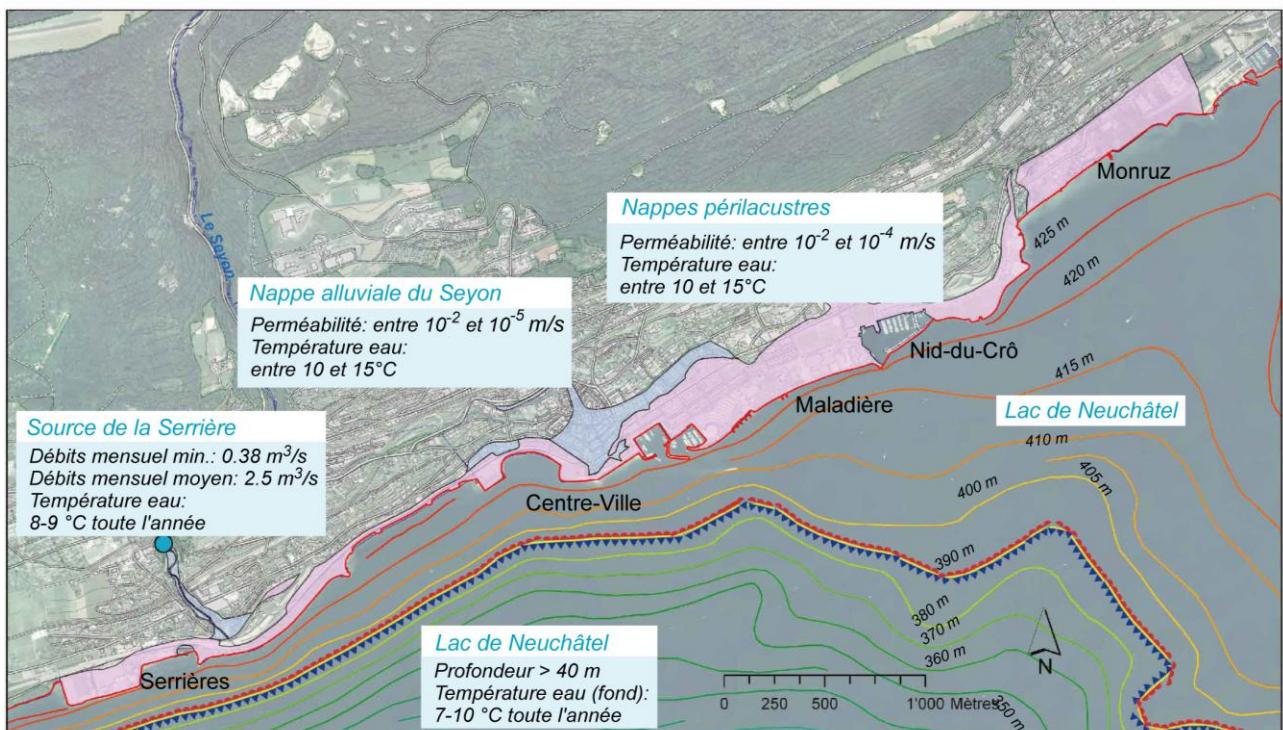


Figure 4 : Inventaire et localisation des ressources naturelles de froid en Ville de Neuchâtel.

3.3.4 Les nappes périlacustres

La nappe littorale, constitué par des remblais graveleux et des moraines perméables est présente en bordure de lac sur la quasi-totalité du littoral communal. La nappe atteint une largeur de quelques dizaines de mètres à près de 500 mètres dans le secteur Maladière (figure 4).

On recense en 2008 une dizaine d'installation de captage hydrothermique dans les nappes périlacustres, pour une énergie totale exploitée de 2.24 GWh, dont 1.75 GWh pour la production de froid. Parmi ces installations, on peut citer la patinoire du Littoral, le musée Laténium, la piscine du Nid-du-Crô et l'Hôtel Palafitte.

Le potentiel d'exploitation du froid de la nappe littorale est important notamment dans le secteur Monruz, en raison de la bonne perméabilité des terrains et de la stabilité de la température. En revanche, dans le secteur Maladière, on doit parfois faire face à des problèmes de qualité de l'eau pompée (présence de fer dissous), ce qui nécessite des précautions particulières au niveau de l'installation de production de chaleur ou de froid.

3.4 Confrontation des besoins et de la ressource

La confrontation des besoins par secteur avec les ressources en froid naturel disponibles a permis une première évaluation de solutions de captage, distribution et d'exploitation. Certaines variantes apparaissent comme prioritaires par rapport aux critères techniques (potentiel de la ressource, accessibilité,...) et environnementaux (aspects légaux, équilibre thermique du milieu,...) retenus. Cette première analyse indique que (tableau 3) :

- Le captage et la **distribution d'eau de lac** est l'option à étudier en priorité pour de nombreux secteurs de la Ville. La distribution se fera de manière centralisée (Vauseyon, Pierre-à-Bot, Centre-Ville, Portes-Rouges, Gare) ou par groupe d'immeubles (Rive-ouest, Maladière, Monruz). Pour les secteurs éloignés de la rive, une partie de l'énergie nécessaire au pompage pourra être récupérée par turbinage.

- **L'exploitation de la nappe** est envisagée comme une option prioritaire à Monruz et comme un second choix à Rive-ouest et Maladière. Au Centre-Ville, l'exploitation de la nappe est considérée comme complément à un réseau de distribution d'eau de lac.
- A Serrières, la demande en froid recensée en 2008 ne permet pas de rentabiliser un réseau de distribution de froid seulement. Etant donné le potentiel exceptionnel de la ressource, on doit envisager en priorité la création d'un **réseau de distribution d'eau pour la production de chaleur**, avec possibilité de raccordement pour la production de froid.

Ville de Neuchâtel - Freecooling			SECTEUR 1	SECTEUR 2	SECTEUR 3	SECTEUR 4	SECTEUR 5	SECTEUR 6	SECTEUR 7	SECTEUR 8	SECTEUR 9	HORS SECTEUR	
Choix des options de réalisation			NEUCHATEL RIVE-OUEST	SERRIERES	VAUSEYON	CADOLLES - PIERRE-A-BOT	NEUCHATEL - CENTRE VILLE	MALADIÈRE	MAIL - PORTES-ROUGES	MONRUZ	NEUCHATEL - GARE		
			Puissance totale à fournir (MW)	0.05	0.22	0.58	1.97	2.74	6.16	1.44	1.13	0.62	0.44
Ressource	technique d'exploitation	Mode de distribution											
Eau de lac	Pompage par aspiration (prof. 40 m)	Réseau de distribution centralisé	N	N	O¹ TL	O¹ TL	O¹ I	N	O¹ TL	N	O¹ TL	N	
	Pompage par aspiration (prof. 40 m)	Réseau de distribution par groupe d'immeubles	O¹ I	N	O ² TL	N	N	O¹ IL	N	O¹ IL	N	O ² TL	
Eau potable (eau de lac traitée)	Pompage par aspiration, station de Champ-Bougin (prof. 65 m)	Réseau de distribution centralisé	O¹ I	N	O ¹ IL	O ¹ IL	O¹ I	O ¹ IL	N	O ¹ IL	N	O¹ IL	
Eau de nappe souterraine	Puits de captage avec rejet	captage et distribution par immeuble	O² I	C	X	X	X	C	O² I	X	O³ I	X	
	Puits de captage avec rejet	captage et distribution par groupes d'immeubles	O³ I	X	X	X	X	N	O³ I	X	O² I	X	
	Puits de captage avec rejet	captage et distribution centralisée, rejet par infiltration	N	X	X	X	X	N	N	X	N	X	
Eau de source	Echangeur de chaleur	Réseau de distribution centralisé	C	O^{**}	X	X	X	X	X	X	X	X	
Eau de rivière	Echangeur de chaleur	Réseau de distribution centralisé	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

O¹ Solution envisagée, avec ordre de priorité
 C Solution complémentaire
 N Solution non retenue
 * Solution transitoire
 ** Production de chaleur principalement par infiltration
 I Rejet par infiltration
 T Pompage/Turbinage
 L Rejet eaux claires/lac

en gras Solution choisie
 en grisé Solution dimensionnée avec estimation des coûts
 hachuré Solution en cours de dimensionnement avec estimation des coûts
 X Ressource thermique non-disponible

Tableau 3 : Evaluation des solutions d'exploitation et de distribution d'eau froide pour chaque secteur.

Parmi les solutions choisies, les variantes les plus représentatives ont été sélectionnées pour un dimensionnement plus précis et une estimation des coûts (investissements, frais d'exploitation, prix de revient du kWh). Les variantes choisies sont :

- Centre-Ville :
 - Réseau de distribution d'eau froide au Centre-Ville par captage d'eau du lac.
 - Dans les endroits non desservis, alimentation complémentaire par puits de captage individuels.
 - Distribution d'eau de lac traitée par le réseau d'eau potable existant, calcul du prix de vente sur la base du coût marginal d'exploitation.
- Monruz :
 - Captage d'eau de lac et distribution par groupe d'immeubles (en cours).
 - Captage dans la nappe souterraine et distribution par groupe d'immeubles (en cours).
- Réseau de distribution d'eau pour l'alimentation de pompes à chaleur et pour la production de froid à partir de la source de la Serrière (en cours).

4. Solutions proposées pour la fourniture d'eau froide au Centre-Ville

A. Création d'un réseau de distribution d'eau froide par captage d'eau de lac

En vue de répondre à la demande importante en froid d'origine naturelle dans le secteur Centre-Ville (2.7 MW), un réseau de distribution d'eau froide par captage dans le lac a été dimensionné (figure 5) avec une estimation des coûts (tableau 4).

Longueur totale du réseau de distribution	2'450	m
Longueur de la conduite de captage sous lacustre	370	m
Différentiel de température de dimensionnement	4	°C
Température de l'eau de lac distribuée en été	7 ± 1	°C
Débit nominal du réseau	6'500	l/min
Puissance nominale du réseau	ΔT 4°C	1.82 MW
	ΔT 8°C	3.64 MW
Volume annuel exploité	~813'000	m ³ /an
Durée d'exploitation à pleine puissance (ΔT 4°C)	2'000	heures/an
Nombre de clients raccordés (prévision)	59	
Puissance moyenne par client	31	kW
Investissements jusqu'au client¹⁾	(réseau de distribution, station de pompage, prise d'eau dans le lac, rejet, ingénierie)	~2'470'000 Frs
Annuités	(3.5 %, 25 ans sur machines, 40 ans sur réseau)	5.1 %
		126'300 Frs/an
Frais de fonctionnement et maintenance	(concession, fonctionnement des pompes, frais administratifs)	72'000 Frs/an
Prix de revient de l'eau délivrée²⁾		~25 cts/m³
Contenu énergétique de l'eau		1.16 kWh/m ^{3*} K
Prix de revient du froid délivré²⁾	ΔT 4°C	5.4 cts/kWh
	ΔT 8°C	2.7 cts/kWh

¹⁾ Non compris investissements chez le client (distribution interne, équipements et production de froid)

²⁾ Sans prise en compte de taxe de raccordement, redevance cantonale, subventions, ni bénéfices d'exploitation

Tableau 4 : Prédimensionnement d'un réseau de distribution d'eau de lac au Centre-Ville de Neuchâtel. Données techniques et économiques.

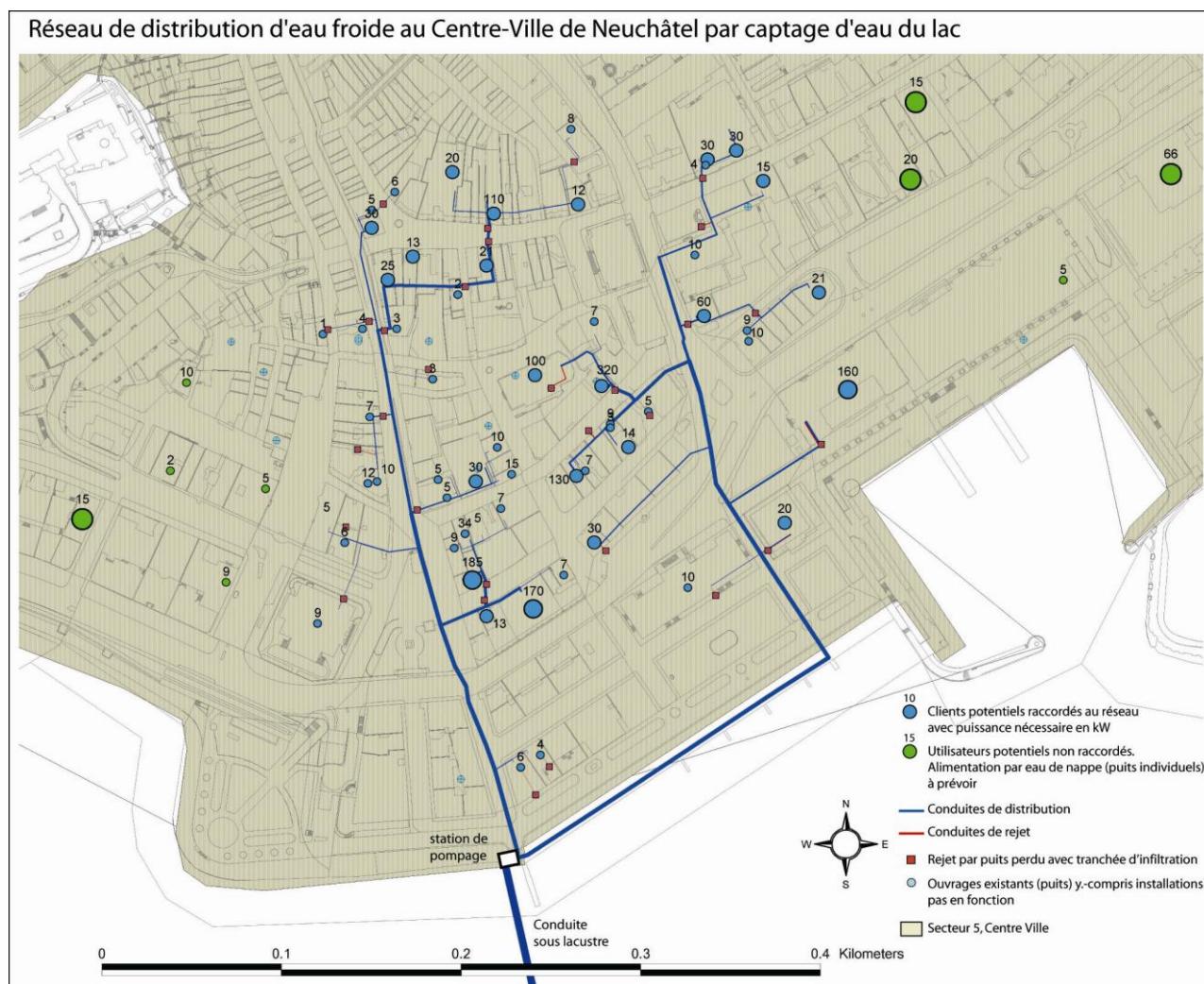
L'installation de captage comprend une conduite lestée sous lacustres de 370 m de longueur (DN 300) captant les eaux du lac à 40 m de profondeur par l'intermédiaire d'une crépine. A cette

profondeur, la température moyenne de l'eau captée est de 7 ± 1 °C. La station de pompage est abritée par une chambre enterrée implantée en bordure du lac. Une pompe de 37 kW ainsi qu'une pompe de secours permettent de pomper le débit nécessaire (6'500 l/min).

Le réseau de distribution a été imaginé de façon à profiter des particularités du Centre-Ville, soit des galeries techniques existantes, et des immeubles disposés en rangées perpendiculaires à ces galeries. Les eaux pompées sont amenées à l'intérieur de la ville par des conduites posées en galerie techniques. L'eau froide est ensuite distribuée par conduites isolées dans le sous-sol des immeubles. Au total, le réseau de distribution est constitué de 2'450 m de conduites, dont 1'330 m sont posés en sous-sol des immeubles et 600 m en galeries existantes. Seuls 310 m de fouilles sont nécessaires pour la pose des conduites au Centre-Ville, et 200 m en bordure de quai.

Les eaux réchauffées après utilisation sont **infiltrées dans la nappe** par l'intermédiaire de puits perdus avec tranchée d'infiltration, à l'échelle de l'immeuble ou du groupe d'immeubles. Cette solution permet de s'affranchir de la taxe d'épuration des eaux et est rendue possible par la bonne perméabilité du sous-sol. L'infiltration dans la nappe implique le respect de certaines contraintes, comme le respect de l'équilibre thermique de la nappe, la limitation de la température des eaux rejetées (ΔT d'exploitation) et le respect des puits de captage voisins.

Le prix de revient de l'eau délivrée est estimé à **~25 cts/m³** (~5.4 cts/kWh). Ce prix comprend uniquement l'acheminement d'eau froide chez l'utilisateur.



B. Captage dans la nappe souterraine avec distribution par immeuble et rejet par infiltration

L'exploitation décentralisée (par immeuble) de la nappe souterraine dans le secteur Centre-Ville est envisagée comme un complément au réseau de distribution d'eau de lac, notamment pour les utilisateurs non desservis. L'eau de nappe ne suffit toutefois pas à satisfaire l'ensemble de la demande restante, car son extension est limitée. Les utilisateurs potentiels avec accès à la nappe souterraine sont au nombre de 22, pour une puissance de demandée de 315 kW.

Un calcul préalable pour divers cas réels montre que le coût des infrastructures (puits, pompage et rejet) est d'autant plus attractif que le débit est important et que la durée d'exploitation s'accroît (freecooling seul, froid technique, froid et pompe à chaleur).

Le seuil de **70 cts/ m³** d'eau délivrée (investissements chez le client non compris) n'est pratiquement pas dépassé dans le cas de petites installations (100 l/min, 1'000 heures/an).

C. Distribution d'eau froide par le réseau d'eau potable existant

La Ville de Neuchâtel distribue actuellement 7 millions de mètre cubes d'eau potable par an, dont une part importante en été est produite à partir de l'eau de lac pompée à 65 m de profondeur. Actuellement, la quantité d'eau vendue est en diminution et la station de production/distribution est sous exploitée.

Sachant que les utilisateurs vont se raccorder progressivement il a été étudié en collaboration avec la Ville de Neuchâtel la possibilité d'utiliser temporairement l'eau du réseau d'eau potable pour la production de freecooling. Dans ce cas, la fourniture d'eau froide à des fins hydrothermiques permet de raccorder immédiatement tout consommateur qui en fait la demande.

Après quelques années, au moment où les consommateurs seront en nombre suffisant, un réseau de distribution d'eau de lac brute, utilisée pour la production de froid uniquement sera réalisé.

Le prix de vente calculé par la Ville de Neuchâtel est proche du coût marginal, c'est-à-dire qu'il couvre les frais d'exploitation et d'entretien, mais pas les intérêts et les amortissements des installations (réseau et station de pompage).

Le prix de vente proposé par la Ville est de **80 cts/m³ d'eau**, ce qui porte le prix du froid à :

$\Delta T = 4^\circ K$	17.2	cts/kWh
$\Delta T = 6^\circ K$	11.5	cts/kWh
$\Delta T = 8^\circ K$	8.6	cts/kWh

L'eau consommée ne serait pas soumis à la redevance cantonale, ni à la taxe épuration. A cet effet, des investissements pour le rejet par infiltration ou vers les eaux claires seront à charge du client de même que la pose de compteurs d'eau.

Ce principe de vente a été admis par le Conseil communal de Neuchâtel. Il prévoit que le « petit » bénéfice sur la vente d'eau de réseau soit réservé à l'investissement pour la création du réseau d'eau brute dévolu au freecooling.

5. Suite des travaux

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

- Terminer le dimensionnement et l'estimation des coûts pour toutes les solutions retenues.
- Propositions d'organisation administrative pour la distribution d'eau froide en ville de Neuchâtel.

Les premiers résultats montrent que des solutions raisonnables d'approvisionnement en froid d'origine naturelle et au prix compétitif peuvent être mises en œuvre dans un court délai. Pour

cela, une ligne de conduite politique doit être rapidement définie de manière à préparer l'application de ces solutions.

6. 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] Matthey Bernard & Donner Philippe (1985) : Evaluation du potentiel thermique des cours d'eau du canton de Neuchâtel. Bull. de l'Arpea n°130.
- [4] Le Nouveau Pohlmann (1983) : Manuel technique du froid. Eds. Pyc éditions, 75740 Paris Cedex 15.

Neuchâtel, le 11 juillet 2008

Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments

- Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel - Suisse

ANNEXE 2

- Questionnaires aux utilisateurs potentiels de froid avec lettre d'accompagnement
 - Extrait du journal l'Express relatant la conférence de presse
-

LA VILLE DE NEUCHATEL COMMUNIQUE

Aux représentants des médias

Madame,
Monsieur,

Nous vous invitons à participer à une conférence de presse le :

Jeudi 23 mars 2006 à 10h30
Hôtel Palafitte, Neuchâtel, Salle de séminaire 1

Afin de vous présenter un nouveau projet intitulé «**Freecooling-Neuchâtel**».

La production artificielle de froid demande beaucoup d'énergie. L'accroissement des pointes de consommations estivales est là pour en témoigner. Elles préoccupent les autorités et les responsables de l'approvisionnement en énergie du pays.

Hors, le froid peut également être capté naturellement dans notre environnement et pas seulement en période hivernale. En effet, un lac, une nappe souterraine, une rivière, le sous-sol, peuvent être utilisés comme source de froid de qualité, même au cœur de l'été.

De par sa situation topographique et hydrologique, Neuchâtel se prête bien à l'exploitation de ces ressources naturelles.

L'Office fédéral de l'énergie et le Service cantonal de l'énergie, sur proposition de la Ville de Neuchâtel, conjointement avec un bureau d'ingénieur de la place, ont décidé de financer un projet pilote englobant la zone urbanisée de la ville de Neuchâtel.

Cette étude vise à faire l'inventaire des ressources de froid disponibles, de les confronter aux besoins actuels et futurs des immeubles administratifs et commerciaux et de proposer des modes d'exploitation adaptés et attractifs financièrement.

La démarche se veut pratique et va **intégrer dès le départ les utilisateurs potentiels** au travers d'une enquête qui sera lancée ces prochains jours.

Un dossier de presse vous sera transmis à cette occasion.

Nous vous prions de croire, Madame, Monsieur, à l'expression de notre considération distinguée.

Neuchâtel, le 16 mars 2006

Les partenaires : Services industriels – Ville de Neuchâtel
Office fédéral de l'énergie
Service cantonal de l'énergie



Aux entreprises industrielles et
artisanales, et aux responsables des
bâtiments administratifs

Neuchâtel, le 6 avril 2006

**OBJET: EXPLOITATION ET DISTRIBUTION DE FROID NATUREL (FREECOOLING) EN
VILLE DE NEUCHATEL**

Madame, Monsieur,

En partenariat avec l'Office fédéral de l'énergie et le Service cantonal de l'énergie, la Ville de Neuchâtel a entrepris une étude des ressources en froid de l'environnement disponibles sur son territoire, à des fins de rafraîchissement et de climatisation mais aussi d'alimentation de pompes à chaleur en hiver.

La presse a parlé récemment de ce projet et vous pourrez retrouver certains articles le concernant sur le site www.freecooling-neuchatel.ch.

De manière à arrêter les solutions de distribution les plus appropriées au plan technique et le plus efficientes au plan économique, il est nécessaire de confronter l'offre de froid (lac, rivière, nappe souterraine) à la demande des utilisateurs potentiels ayant des besoins justifiés. C'est ce que nous faisons en vous remettant le présent questionnaire.

Les enjeux énergétiques, environnementaux et financiers du projet sont importants et rendent cette étude particulièrement intéressante aussi bien, pour la Ville que pour les entreprises.

Nous aimerions donc que vous puissiez prendre quelques minutes pour répondre au questionnaire joint, même partiellement, et le retourner à l'adresse indiquée. Nous pouvons vous garantir que ce questionnaire restera confidentiel et qu'en aucun cas, il ne sera fait un usage commercial ou administratif des données qu'il contient.

D'ores et déjà, nous vous remercions pour votre collaboration et nous réjouissons de connaître, avec vous, les résultats de ce projet novateur.

Le Conseiller Communal
Directeur des Services Industriels

Antoine Grandjean

Pour plus d'information, accédez sur le site www.freecooling-neuchatel.ch

Pour consulter les émissions et articles de presse concernant le projet Freecooling
www.tsr.ch - www.neuchatelville.ch/ - www.rtn.ch

ETUDE D'UN RESEAU DE DISTRIBUTION DE FROID EN VILLE DE NEUCHATEL (*Projet FREECOOLING*)

Questionnaire à l'intention des entreprises et organisations utilisant, du froid technique et/ou de la climatisation. Il s'adresse également à celles qui ont des besoins présents ou futurs de froid.¹⁾

Les données que vous nous avez fournies seront utilisées pour connaître les besoins en froid et chaleur à basse température en ville de Neuchâtel.

Aucun document permettant de connaître l'identité des personnes consultées ne sera diffusé ou publié en dehors du groupe de travail. Ce dernier s'engage à ce qu'il ne soit fait aucun usage administratif ou commercial des données fournies.

A) Votre bâtiment ou votre entreprise sont-ils équipés d'une installation de production de froid à des fins de climatisation ou de préparation de froid technique? Oui Non

Si oui:

Climatisation Usage technique

Utilisation du froid pour

Mode de fabrication du froid:

Oui Non

- A partir d'une source naturelle (rivière, nappe d'eau souterraine, lac, sous-sol)
- A partir d'un ou plusieurs climatiseurs individuels dans les locaux
- A partir d'une machine frigorifique centrale avec un réseau de distribution de froid

Surface estimée des locaux concernés m²

Puissance frigorifique totale estimée de la (des) machine(s) frigorifique(s) kW

¹⁾ Vous pouvez aussi remplir le présent questionnaire sous format informatique en accédant au site www.freecooling-neuchatel.ch et le retourner par courriel à l'adresse environnement.neuchatel@ne.ch

B) Votre bâtiment ou votre entreprise sont-ils équipés d'une pompe à chaleur? Oui Non

Si oui:

Quelle est sa source de chaleur?	air
	forage géothermique
	puits dans la nappe souterraine
	lac
	rivière

Puissance de la pompe à chaleur kW

C) Les Services industriels et la ville de Neuchâtel étudient la possibilité de créer un ou plusieurs réseaux de distribution de froid technique à partir d'eaux souterraines, d'eau de lac ou de rivière.

En cas de réalisation de ce type de réseau, et pour autant que le prix en soit compétitif, seriez-vous intéressés à vous y raccorder? Oui Non

Si oui:

Pour couvrir des besoins en climatisation?	Oui	Non
- Surface estimée des locaux	-----	m ²
Pour couvrir des besoins en froid technique?	Oui	Non
- Estimation de la puissance frigorifique nécessaire	-----	kW

D) Dans le cas où serait établi un réseau de distribution d'eau technique permettant d'alimenter une pompe à chaleur en hiver, seriez-vous intéressés à vous y raccorder pour chauffer votre bâtiment?

Oui

Non

Si oui:

Quel combustible utilisez-vous?

- Gaz	-----	Frs/an
- Mazout	-----	Litres/an
- Autre	-----	Frs/an

Vos coordonnées

- ⇒ *Entreprise, organisation* -----
- ⇒ *Personne responsable* -----
- ⇒ *Adresse de l'immeuble concerné* -----
- ⇒ *Adresse de contact (si différente)* -----
- ⇒ *Contact téléphonique* -----

Document à retourner jusqu'au 30 avril 2006 (par courrier, Fax ou E-mail) à:

*Pierre-Olivier Aragno
Délégué à l'environnement
Laboratoire des eaux et de l'environnement
Quai Max-Petitpierre 28
2000 Neuchâtel* *Fax.: 032 717 85 89 environnement.neuchatel@ne.ch*

Important!

Les expéditeurs des cent premiers questionnaires recevront une petite attention en guise de récompense pour leur diligence!

Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments

- Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel - Suisse

ANNEXE 3

- Réseau de distribution d'eau de lac au Centre-Ville de Neuchâtel.
Dimensionnement et calcul du coût de l'ouvrage
-

1. CARACTERISTIQUES DU RESEAU

Utilisateurs

Nombre de clients raccordés (prévision)	59	
Puissance de rafraîchissement demandée (été)	1'330	kW
Durée de fonctionnement	~1'000	h/an
Puissance de froid technique demandée (été + hiver)	490	kW
Durée de fonctionnement	~5'000	h/an

Distribution

Puissance totale fournie	1'820	kW
Energie totale fournie	~3'780'000	kWh/an
Température de l'eau de lac distribuée	7 ± 1	°C
ΔT de fonctionnement	4	°C
Débit de pointe (août)	6'500	l/min
Débit minimal (février)	1'755	l/min
Volume annuel délivré	~813'000	m ³ /an

Valeurs caractéristiques du réseau

Longueur totale du réseau de distribution	2'820	m
dont :		
tronçons posés dans galerie technique existante	597	m
tronçons posés en fouilles	313	m
tronçons posés en fouille (bordure de quai)	210	m
tronçons posés en sous-sol des immeubles	1'330	m
conduite sous-lacustre (prise d'eau)	370	m

Pertes de charge totales du réseau	20	m.C.E.
Pertes de charge unitaire moyenne	7	mm. C.E./m
Pression chez l'utilisateur en sous-sol	5	m. C.E.

Station de pompage

Chambre étanche enterrée en bordure du quai Osterwald, emprise 30 m², profondeur 4.3 m.

2x pompes monocellulaires horizontales basse pression, 37 kW, 1'500 t/min avec variateur de fréquence.

Profondeur du captage d'eau (crépine sous-lacustre)	40	m
hauteur d'aspiration	5	m. C.E.
hauteur de refoulement	20	m. C.E.
débit nominal	390	m ³ /h

Système de rejet

Puits perdus dans la nappe avec tranchées d'infiltration

Alternatives : rejet dans puits existants et eaux claires

2. ESTIMATION DES COUTS

1. RESEAU DE DISTRIBUTION (CONDUITES + FOUILLES)

1.1. CONDUITES PE POSEES EN GALERIE ET EN SOUS-SOL DES IMMEUBLES

- CONDUITES PE 100 type Plastag S-8 PN10 (PN16 pour DN 20-65) en barres 5 – 10 m et en rouleaux, longueur totale 2'150 m Fourniture matériel, pose, raccords manchonnés et fixation	CHF HT	192'000.-
- COUDES PE 100 PREMANCHONNES Fourniture matériel, pose et raccords	CHF HT	67'000.-
- REDUCTIONS, TES, BOUCHONS D'EXTREMITE Fourniture matériel, pose et raccords	CHF HT	58'000.-
- RACCORDS DIVERS Fourniture matériel, pose et raccords	CHF HT	5'000.-
- ISOLATION TYPE ARMAFLEX AF2 (1'330 m) Fourniture matériel, pose et raccords	CHF HT	54'000.-

TOTAL 1.1	CHF HT	376'000.-
1.2. CONDUITES PE PREISOLEES POSEES EN FOUILLES		
- CONDUITES PE PREISOLEES TYPE EIGERFLEX ET BRUGG PREMANT Fourniture matériel, pose, raccords électrosoudés	CHF HT	38'000.-
- COUDES PE 100 PREISOLES TYPE EIGERFLEX ET BRUGG Fourniture matériel, pose raccords électrosoudés et raccords isolés	<u>CHF HT</u>	<u>36'000.-</u>
TOTAL 1.2	CHF HT	74'000.-
1.3. PERCEMENTS EN IMMEUBLES		
- CAROTTAGES DIAM. 60 – 450 mm (255), longueur 400 et 800 mm Y –compris installation de chantier, génératrice d'appoint	<u>CHF HT</u>	<u>62'000.-</u>
TOTAL 1.3	CHF HT	62'000.-
1.4. TRAVAUX DE FOUILLES (GENIE CIVIL)		
- FOUILLES, profondeur 1.0 m, longueur totale 553 m, dont 313 m sur chaussée, 210 m sur quai et 30 m sous-lacustre. Y-compris installation de chantier, signalisation, passages provisoires, enrobage des conduites avec béton, repose de la chaussée et de l'enrobé	<u>CHF HT</u>	<u>235'000.-</u>
TOTAL 1.4	CHF HT	235'000.-
1.5. COMpteURS DE CHALEUR		
- COMpteURS DE CHALEUR CHEZ LE CLIENT, type Aquametro Calec-ST, avec filtre, débit mètre et sonde de température. Fourniture et pose. 59 pce.	<u>CHF HT</u>	<u>188'000.-</u>
TOTAL 1.5	CHF HT	188'000.-
SOUS-TOTAL 1. RESEAU DE DISTRIBUTION	CHF HT	935'000.-
- DIVERS ET IMPREVUS, 15% DE 1.1 à 1.3	<u>CHF HT</u>	<u>77'000.-</u>
- DIVERS ET IMPREVUS, 20% DE 1.4	<u>CHF HT</u>	<u>47'000.-</u>
TOTAL 1. RESEAU DE DISTRIBUTION	CHF HT	1'059'000.-

2. STATION DE POMPAGE

2.1.	INSTALLATION DE CHANTIER (5% de 2.2 et 2.3)	CHF HT	9'000.-
2.2	TRAVAUX DE TERRASSEMENT	CHF HT	113'000.-
2.3	GROS ŒUVRE	CHF HT	63'000.-
2.4.	SERRURERIE fourniture matériel et pose	CHF HT	12'000.-
2.5.	EQUIPEMENTS DE POMPAGE. Pompes type Vogel Isn 200-150-315 S1 NL1 3704 2 pce Débit nominal 390 m ³ /h Puissance nominale 37 kW Hauteur manométrique 25 m.C.E. y-compris variateurs de fréquence type Hydrovar HV 3.37-W 2 pce y-compris transmetteurs de pression 0-10 bar. 20 mA 2 pce y-compris levage, montage, alignement et mise en service pompe d'épuisement des eaux de fond avec évacuation.	CHF HT	63'000.-
2.6.	EQUIPEMENTS HYDRAULIQUES fourniture matériel et pose	CHF HT	39'000.-
2.7.	EQUIPEMENTS ELECTRIQUES fourniture matériel et pose	CHF HT	18'000.-
2.8.	EQUIPEMENTS DE TELECOMMANDÉ ET DE TELETRANSMISSION fourniture matériel et pose	CHF HT	<u>21'000.-</u>
SOUS-TOTAL 2. STATION DE POMPAGE		CHF HT	338'000.-
DIVERS ET IMPREVUS, 15 % de 2.1. à 2.8.		CHF HT	<u>51'000.-</u>
TOTAL 2. STATION DE POMPAGE		CHFHT	389'000.-

3. PRISE D'EAU DE LAC

3.1. CONDUITE SOUS-LACUSTRE

Longueur 370 m, PE 100 PN16 DN 300.

Y-compris crépine d'aspiration à 40 m de profondeur, ancrage par cavaliers en béton. Fourniture et pose par entreprise spécialisée.

CHF HT 119'000.-

DIVERS ET IMPREVUS, 20 % de 3.1

CHF HT 24'000.-

TOTAL 3. PRISE D'EAU DE LAC

CHFHT 143'000.-

4. REJET DES EAUX (INFILTRATION)

4.1. CONDUITES REJET POSEES EN SOUS-SOL DES IMMEUBLES ET TRANCHEES D'AMMENEE AUX PUITS PERDUS

- CONDUITES PE 100 type Plastag S-8 PN10 (PN16 pour DN 20-65) en barres 5 – 10 m et en rouleaux, longueur totale 1'055 m Fourniture matériel, pose, raccords manchonnés et fixation

CHF HT 55'000.-

- COUDES PE 100 PREMANCHONNES Fourniture matériel, pose et raccords

CHF HT 35'000.-

- REDUCTIONS, TES, BOUCHONS D'EXTREMITE Fourniture matériel, pose et raccords

CHF HT 35'000.-

- ISOLATION TYPE ARMAFLEX AF2 EN IMMEUBLE (990 m) Fourniture matériel, pose et raccords

CHF HT 30'000.-

TOTAL 4.1.

CHF HT 155'000.-

4.2. PERCEMENTS EN IMMEUBLES

- CAROTTAGES DIAM. 60 – 450 mm (175), longueur 400 et 800 mm Y –compris installation de chantier

CHF HT 32'000.-

TOTAL 4.2.

CHF HT 32'000.-

4.3. PUITS PERDU AVEC TRANCHEE D'INFILTRATION

Nombre total 30

CHF HT 164'000.-

TOTAL 4.3.

CHFHT 164'000.-

SOUS-TOTAL 4. REJET DES EAUX (INFILTRATION)

CHFHT 351'000.-

DIVERS ET IMPREVUS, 15 % de 4.

CHF HT 53'000.-

TOTAL 4. REJET DES EAUX (INFILTRATION)

CHFHT 404'000.-

5. INGENIERIE

5.1. HONORAIRES D'INGENIEURS SELON TARIFS SIA 15% des points 1 à 4	CHF HT	299'000.-
TOTAL 5. INGENIERIE	CHFHT	299'000.-

6. FRAIS D'EXPLOITATION

6.1. REDEVANCE SUR CONCESSION D'HYDROTHERMIE

6.1.1. Rafraîchissement

Puissance de rafraîchissement consommée (été) soit :	kW	1'330
	Kcal/h	1'142'470
Durée de fonctionnement	h/an	~1'000
Taux de redevance annuelle ¹⁾	cts/Kcal/h	0.4
Redevance annuelle	CHF HT	4'570.-
Redevance annuelle effective après réduction pour durée de fonctionnement réduite (88.5%)	CHF HT	530.-

6.1.2. Froid technique

Puissance de rafraîchissement consommée (été) soit :	kW	490
	Kcal/h	420'910
Durée de fonctionnement	h/an	~5'000
Taux de redevance annuelle ¹⁾	cts/Kcal/h	0.4
Redevance annuelle	CHF HT	1'684.-
Redevance annuelle effective après réduction pour durée de fonctionnement réduite (43%)	CHF HT	960.-

6.1.3. Taxes annuelles (octroi et renouvellement)

TOTAL 6.1. REDEVANCE	CHFHT	1'610.-
-----------------------------	--------------	----------------

¹⁾ Selon Arrêté sur les taxes et redevances relatives aux concessions portant sur les eaux de l'Etat du 15 avril 1981.

6.2. FRAIS ENERGETIQUES POUR STATION DE POMPAGE

6.2.1. Consommation énergétique estimée	kWh/an	110'000
---	--------	---------

6.2.2. Tarif énergétique admis (70% heures pleines, 30% heures creuses) selon tarif groupe E en 2008	cts/kWh	15.8
6.2.3. Coût énergétique annuel	<u>CHF HT</u>	<u>20'200.-</u>
soit: coût énergétique spécifique	cts/m ³	2.3
TOTAL 6.2. FRAIS ENERGETIQUES ANNUELS	CHFHT	20'200.-

6.3. FRAIS D'ENTRETIEN DU RESEAU

6.3.1. Maintenance station de pompage	CHF HT	10'000.-
6.3.2. Petits travaux sur réseau	CHF HT	10'000.-
TOTAL 6.3. FRAIS D'ENTRETIEN ANNUELS	CHFHT	20'000.-

6.4. FRAIS ADMINISTRATIFS

6.4.1. Frais administratifs, relevé des compteurs, facturation	<u>CHF HT</u>	<u>25'000.-</u>
TOTAL 6.4. FRAIS ADMINISTRATIFS	CHFHT	25'000.-
TOTAL 6. FRAIS DE FONCTIONNEMENT ANNUELS	CHFHT	66'810.-

3. RECAPITULATIF DES COÛTS

3.1. RESEAU DE DISTRIBUTION (CONDUITES + FOUILLES) *	CHF HT	1'059'000.-
3.2. STATION DE POMPAGE*	CHFHT	389'000.-
3.3. PRISE D'EAU DE LAC*	CHFHT	143'000.-
3.4. REJET DES EAUX PAR INFILTRATION*	CHFHT	404'000.-
3.5. INGENIERIE	CHFHT	<u>299'000.-</u>
TOTAL RESEAU FREECOOLING CENTRE VILLE	CHF HT	2'294'000.-
TVA (7.6%)	CHF	<u>174'344.-</u>
TOTAL RESEAU TTC	<u>CHF TTC</u>	<u>2'468'344.-</u>
3.6. FRAIS D'EXPLOITATION ANNUELS, SANS INTERÊTS NI AMORTISSEMENT	CHFHT	66'810.-
TVA (7.6%)	CHF	<u>5'077.-</u>
TOTAL FRAIS D'EXPLOITATION ANNUELS	<u>CHF TTC</u>	<u>71'887.-</u>

* Y-compris 15 à 20% divers et imprévus

4. INVESTISSEMENTS ET PRIX DE REVIENT DU RESEAU

4.1. CALCUL DES ANNUITES ¹⁾

A)	Réseau de distribution et de rejet.	CHF TTC	1'696'851.-
	Annuités (3.5% sur 40 ans)	<u>CHF TTC</u>	<u>79'460.-/an</u>
B)	Equipements et machines. Compteurs de chaleur, prise d'eau dans le lac, équipements de la chambre de pompage, puits perdus.	CHF TTC	771'493.-
	Annuités (3.5% sur 25 ans)	<u>CHF TTC</u>	<u>46'810.-/an</u>
	TOTAL ANNUITES	CHF TTC	126'270.-/an

4.2. PRIX DE REVIENT ¹⁾

Annuités	CHF TTC	126'270.-/an
Frais d'exploitation	<u>CHF TTC</u>	<u>71'887.-/an</u>
PRIX DE REVIENT	CHF TTC	198'157.-/an

4.3. PRIX DE VENTE ²⁾

Prix de vente estimé chez le client	~25 cts/m ³
Soit	<u>5.4 cts/kWh</u>

¹⁾ non compris investissements chez le client (distributions interne et équipements)

²⁾ sans bénéfice, sans taxe de raccordement ni taxe de rejet

Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments - Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel - Suisse

ANNEXE 4

- Dimensionnement d'un ouvrage de prélèvement d'eau dans la nappe souterraine pour une banque au Centre-Ville de Neuchâtel
-

1. DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Surface habitable	~4'000 m ²		
Besoins en rafraîchissement	puissance thermique	~100	kW
	durée de l'exploitation	~1'200	h
	consommation	~120'000	kWh
	Puissance soutirée à l'environnement (freecooling seul.)	~100	kW
Besoins en chaleur	consommation mazout actuelle	40'000	l/an
	consommation actuelle (brute)	400'000	kWh/an
	consommation nette (x 0.75)	300'000	kWh/an
	durée d'exploitation	~2'200	h/an
	puissance thermique de la PAC	140	kW _{th}
	puissance soutirée à la nappe (COP = 4)	100	kW
	puissance électrique de la PAC	40	kW _e
Température prévisible de la nappe	fin de l'été	14 à 15	°C
	Fin de l'hiver	8	°C
Débit d'eau nécessaire	été (ΔT 2°C)	700	l/min
	été (ΔT 3°C)	480	l/min
	hiver (ΔT 3°C)	480	l/min
Principe de fonctionnement de l'installation	captage d'eau souterraine avec rejet		
Distance entre captage et rejet		50	m
Energie soutirée à la nappe en été		120'000	kWh
Energie soutirée à la nappe en hiver		220'000	kWh

2. ESTIMATION DES COUTS

L'estimation des coûts pour l'ensemble des travaux proposés est la suivante :

1) Réalisation de 2 puits filtrants, avec chambres d'accès

- 2 puits filtrants (captage et rejet) de 15 mètres de profondeur chacun, équipés de tubes filtrants, nettoyé et développé avec essais de pompage de longue durée. Diamètre de forage, **600 mm**.
diamètre des tubes **250 mm**. Y compris installation et repli (entreprise à définir) CHF HT 37'000.-
 - (**Pour mémoire**). 2 puits filtrants (captage et rejet) de 15 mètres de profondeur chacun, équipés de tubes filtrants, nettoyé et développé avec essais de pompage de longue durée. Diamètre de forage, **320 mm**.
diamètre des tubes **170 mm** (entreprise à définir) CHF HT (27'000.-)
 - Percements préparatoires et préfouilles (2x) (entreprise de génie civil à définir) CHF HT 3'000.-
 - Aménagement de 2 chambres (une sur chaque ouvrage), avec regard (entreprise de génie civil à définir) CHF HT 8'000.-
- TOTAL 1** CHF HT **48'000.-**
(TOTAL 1* forage Ø 320 CHF HT 38'000.-)

2) Fouilles, conduites de liaison, raccordements

- Creuse des fouilles de liaison sur la chaussée publique entre le captage, le rejet et le sous-sol du bâtiment (longueur ~ 10 m), piquage et rhabillage de la chaussée, fourniture et pose conduites souples DN 100, remblayage (entreprise de génie civil à définir) CHF HT 8'000.-
 - Raccord des tubes filtrants avec conduites de liaison (2x) CHF HT 2'000.-
 - Conduites PE Ø 100 mm dans le sous-sol bâtiment pour liaison Chaufferie (longueur 60 m). Y-compris main-d'oeuvre CHF HT 3'500.-
 - Percements extérieurs (2x Ø 200 , e 1.0 m) CHF HT 2'000.-
 - Percements intérieurs (6x Ø 200 , e 0.4 m) CHF HT 3'000.-
- TOTAL 2** CHF HT **18'500.-**
(TOTAL 2* avec conduites DN 75 CHF HT 16'500.-)

3) Pompe, filtre, raccords inox

- Fourniture et pose pompe immergée + moteur + réservoir à Membrane (5 bar 500 l/min) CHF HT 7'500.-
 - Filtre à rétro-rincage CHF HT 3'200.-
 - Raccords inox en chaufferie CHF HT 500.-
- TOTAL 3** CHF HT **11'200.-**
(TOTAL 3* pompe (5 bar 300 l/min) CHF HT 10'200.-)

4) Intervention de l'hydrogéologue

- Dimensionnement des ouvrages, appels d'offres, suivi géologique des travaux de forage, programme de tests, suivi de la réalisation des chambres d'accès et des fouilles de liaison, contacts avec les autorités, mise en service, vérification du schéma hydraulique rapport technique

CHF HT 14'000.-

TOTAL 4

CHF HT 14'000.-

TOTAL HT

CHF HT 91'700.-

TOTAL* HT

CHF HT 78'700.-

Note*: Variante avec puits de diamètre réduit et débit exploitable de 300 l/min

Freecooling en milieu urbain

Réseau de distribution d'eau de lac et d'eau souterraine pour couvrir les besoins en rafraîchissement et en chaleur des bâtiments
- Etude de faisabilité pour la Ville de Neuchâtel - Suisse

ANNEXE 5

- Préavis de la Ville de Neuchâtel
-
-

Rapport à la direction générale

Rédigé par: C.-F. Gnaegi	Section, service ou secteur: Direction technique	Téléphone: 032 / 717.84.02	Date: 28.01.2008	Page de page(s) 1/2
Objet de la réunion :				
Financement d'un réseau de Freecooling				

Destiné à: A. Grandjean J. Frésard P. Burri P.-O. Thiébaud Archivage interne	Direction, service ou secteur: Direction des SIN Direction Viteos Direction technique Direction commerciale Secrétariat littoral	Nb. ex. 1 1 1 1	Remarque(s): Pour information Pour information Pour information
---	---	-----------------------------	--

1. Situation de départ

Depuis maintenant plus de vingt ans, régulièrement et inexorablement le volume d'eau potable vendue par la ville de Neuchâtel diminue. Cette tendance, due d'abord à une volonté d'économiser ce précieux liquide, a été initialisée par les nombreuses incitations et informations des services industriels. Elle s'est poursuivie ensuite par l'importante hausse du prix du mètre cube engendré depuis 2000 par la perception par le canton d'une redevance cantonale de septante centimes par mètre cube vendu.

Ainsi en 1985 les services industriels produisaient annuellement plus de 11 millions de mètres cubes d'eau potable alors qu'en 2007 ils en produisaient à peine moins de 7 millions de mètres cubes.

Il apparaît donc nécessaire de rechercher de nouveaux débouchés, des synergies ou d'autres marchés pour l'eau à notre disposition.

2. Situation actuelle

Les Services industriels de Neuchâtel ont participé depuis 2006 à un projet pilote, financé par l'OFEN, qui a pour objectif d'établir un concept d'utilisation et de gestion des ressources naturelles à l'échelle de la commune pour produire du froid (Freecooling, climatisation, froid industriel).

Une enquête sur les besoins auprès des consommateurs a déjà fait l'objet d'un rapport disponible sur le site de la Ville (www.freecooling-neuchatel.ch)

L'étude montre qu'une demande en froid existe en ville de Neuchâtel, qu'elle est importante dans les secteurs « Maladières », « Rives-ouest », « Centre-ville » et « Pierrabot » et qu'elle est au total estimée à 15 MW.

Produire du froid peut-être réalisé principalement de deux manières :

- En refroidissant l'air extérieur au moyen d'un climatiseur avant de le faire circuler dans le volume à refroidir. Ceci implique un besoin important en énergie électrique.
- A partir d'un échangeur de « chaleur » en utilisant une source froide (p. ex l'eau d'une rivière, une nappe phréatique, l'eau du lac). Ce système permet d'abaisser la température ambiante par un circuit adéquat. Le besoin en électricité est alors limité à l'énergie de pompage, le gain de température étant obtenu par la ressource naturelle de froid.

Si les ressources en froid sont bien déterminées, la gestion de la distribution est le point le plus délicat car les investissements sont souvent lourds.

L'étude confronte plusieurs variantes : l'utilisation de l'eau de nappe par utilisateurs ponctuels, par groupe d'utilisateurs ou à partir d'eau du lac via un réseau « eau froide » à créer notamment au centre-ville. Cette dernière variante offre une ressource stable, sûre et abondante de froid. Malheureusement,

elle implique un investissement initial important (conduite sous-lacustre, station de pompage, réseau de distribution vers les utilisateurs).

Si cette variante est séduisante techniquement, elle comporte un risque financier si un volume d'utilisateur minimum n'est pas garanti au départ. Comme les installations existantes des clients potentiels ne seront pas toutes amorties en même temps, nous proposons le scénario suivant afin de fidéliser les clients avant la réalisation de ce réseau de froid à distance :

Nous proposons aux utilisateurs d'utiliser temporairement un autre réseau d'eau existant dont le fluide est similaire (pour cette utilisation) à celui du futur réseau d'eau brute du lac à distance. Il s'agit de l'eau du réseau d'eau potable dont une partie provient également du lac. Mis à part le traitement et le cheminement, il s'agit de deux fluides tout à fait comparables pour du Freecooling ou du froid industriel. Cette démarche permettra de fidéliser les utilisateurs. Une fois que la puissance en froid cumulée vendue aux utilisateurs sera suffisante, la réalisation de ce deuxième réseau d'eau à partir du lac pourra être réalisé avec un minimum de risques financiers.

L'intérêt d'utiliser une ressource naturelle de froid est accueillie assez favorablement par les utilisateurs car le service de l'énergie du canton est très restrictif en matière de climatisation « tout électrique ».

Dans ce contexte, la question pour Viteos est de savoir si le réseau de distribution d'eau potable ne pourrait pas être mis à contribution pour, dans une période intermédiaire, produire du froid, en sachant qu'alors son prix de vente pour cet usage devrait être raisonnable. On parle ici d'un volume de l'ordre de 700'000 mètres cubes par an.

3. Situation proposée

Dans un premier temps, il pourrait être proposé de vendre le mètre cube d'eau au trois quart de son prix actuel soit environ huitante centimes.

L'eau utilisée devrait être, après passage dans l'échangeur, mise impérativement dans le réseau d'eau claire de la ville et ainsi ne pas avoir à payer la taxe d'épuration.

La redevance cantonale ne devrait pas non plus être perçue sur ce volume.

Le revenu de cette vente particulière serait affecté pour équilibrer les comptes de l'eau et pour créer un fonds permettant dans quelques cinq ans d'investir pour réaliser une conduite sous-lacustre et un réseau partiel pour de l'eau industriel de refroidissement.

Si une eau à 7-8°C est idéale pour la production de froid en rejetant de l'eau à 13-15°C, elle permet aussi de produire du chaud dans une pompe à chaleur en rejetant cette fois de l'eau entre 3 et 4°C. Ce réseau pourrait donc être également valorisé en hiver et ainsi assurer une rentabilité de l'installation au-delà d'un besoin saisonnier.

4. Propositions

Le Conseil communal devrait répondre aux questions suivantes :

- Peut-il envisager d'utiliser l'eau du réseau pour produire du froid, du moins durant une période transitoire d'au moins cinq ans.
- Si oui peut-il accepter de la vendre à un coût marginal.
- Si oui les recettes peuvent elles être d'une part affectée à l'équilibre du compte de l'eau et d'autre part affectée à la création d'un fond permettant à terme la réalisation d'un réseau de « freecooling ».