

Rapport, 18 octobre 2017

Réseau thermique Genève-Lac- Nations (GLN)

Etude de cas

Auteurs

David Crochet, Service Industriels de Genève, Ingénieur thermique, Genève

Julien Ducrest, Service Industriels de Genève, Ingénieur d'exploitation, Genève

Michel Monnard, Service Industriels de Genève, Responsable de la Thermique, Genève

La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.

La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale : 3003 Berne

Infoline 0848 444 444, www.suisseenergie.ch/conseil

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch

1	Fiche descriptive	4
2	Contexte / objectifs	8
3	Organisation du projet	10
4	Procédure	10
4.1	Planification	10
4.2	Réalisation	12
4.3	Exploitation.....	13
5	Conclusion	16

1 Fiche descriptive

Informations générales

Nom du projet	Genève-Lac-Nations (GLN)
Lieu	Quartier des Nations, 1202 Genève
Investisseur	Services Industriels de Genève
Maître d'ouvrage	Services Industriels de Genève, Thermique
Exploitant	Services Industriels de Genève, Thermique
Année de construction	2008-2016
Type de réseau thermique	Réseau d'eau du lac à basse température (6-10 °C) en circuit ouvert, fermé et partiellement fermé en hiver
Description du projet	Le principe de GLN consiste à amener l'eau du lac Léman directement aux bâtiments consommateurs pour les rafraîchir, en les raccordant à un réseau de transport et de distribution d'eau profonde du lac (-37 m). La production de froid est assurée par des échangeurs raccordés en direct sur le réseau secondaire de distribution des bâtiments. Lorsque la demande de froid est trop importante ou pour les prestations de froid « contraintes » à basse température, une machine frigorifique peut être installée en série, le condenseur étant raccordé sur GLN ce qui améliore son rendement. Le système permet également de chauffer les constructions neuves par l'adjonction de pompes à chaleur haute performance.

Domaine d'approvisionnement

Utilisation	Bâtiments administratifs principalement (Organisations Internationales), écoles et habitats collectifs
Surface (SRE)	~840'000 m ²
Construction	Existants (~640'000 m ² SRE) et Nouveaux (~2010) (~200'000 m ² SRE)
Besoin en énergie utile	
Besoin en énergie de chaleur	5'000 MWh/a
Besoin en énergie de refroidissement	20'000 MWh/a
Niveau de température	
ECS	60 °C

Chauffage	40-45 °C, essentiellement dans les bâtiments neufs
Refroidissement	initialement systèmes 6-12 °C, aujourd'hui acceptent des régimes supérieurs à 11 °C.
Contrôle	<p>Le réseau GLN et les sous-stations d'échange sont régulés par un système de contrôle. Le réseau est piloté par la demande en température des sous-stations. Le débit de pompage de l'eau du lac est ajusté en fonction de l'écart entre la température requise et la température du lac. Les sous-stations les plus complexes (chaud et froid avec pompes à chaleur et chaudières) ont un pilotage plus fin permettant d'optimiser l'énergie soutirée au lac.</p> <p>Tout le réseau est sous surveillance et le système de contrôle est accessible à distance (télégestion). Les données mesurées (température, débit, puissance, etc.) sont enregistrées et archiver à des fins d'analyses et d'optimisation.</p>

Production d'énergie

Système de production de chaleur bâtiment

Type de pompe à chaleur	Pompes à chaleur eau/eau.
Système pompe à chaleur	PAC décentralisées dans les bâtiments, PAC pour le chauffage + ECS et sur certaines sous-stations PAC spécifique haute température pour l'ECS (60 °C).
Puissance pompe à chaleur	2.9 MW _{th} puissance thermique installée pour le chauffage dont 1.4 MW _{th} de production combinée chauffage + ECS, 100 kW _{th} puissance thermique installée pour l'ECS.
Source de chaleur	Eau du lac
Préparation ECS	Décentralisée
Complément de chaleur	Dans certains bâtiments, une chaudière à gaz naturel permet de compléter l'apport de chaleur ou d'assurer une redondance en cas de défaillance d'une pompe à chaleur.
Puissance chaudières gaz	1.2 MW _{th}

Système de production de chaleur réseau

Chaleur fatale	En hiver, le réseau fonctionne en circuit fermé lorsque les conditions le permettent avec injection ponctuelle d'eau du lac pour maintenir la température. Ce fonctionnement
----------------	--

permet de récupérer la chaleur des bâtiments rafraîchis pour chauffer les bâtiments avec les pompes à chaleur.

Solaire thermique (PT)

Un seul bâtiment est équipé de panneaux solaires thermiques, 100 kW

Rendement du système de chauffage $COP_{PAC} = 3.1$ (valeur annuelle moyenne 2016)
 $COP_{PAC+pompes} = 2.5$ (valeur annuelle moyenne 2016)
 $COP_{Global} = 6.5$ (valeur annuelle moyenne 2016, ventes chaud et froid / électricité totale)
 Rendement chaudières gaz = 94 %_{PCI}

Système de refroidissement

Système de refroidissement (ruban) Rafraîchissement « freecooling » (passif)
 16.2 MW puissance souscrite
 Débit max 2700 m³/h

Machine frigorifique (de pointe) Majoritairement sous responsabilité Client
 Dans les bâtiments équipés, récupération sur condenseur des PAC avec possibilité de fonctionner en mode froid

Rendement du système de froid $COP_{freecooling} = 8.8$ (valeur annuelle moyenne 2016, livraison froid / électricité des pompes)
 COP fluctuant selon les années et les conditions climatiques (2015 : COP = 12, 2014 : COP = 10.9)

Stockage thermique

Stockage thermique

Fonction Le réseau est utilisé comme stockage tampon en hiver lorsque le réseau fonctionne en boucle fermé.

Distribution

Typologie Réseau ouvert, l'eau est prise dans le lac à -37 m sous la surface et est rejetée après avoir été utilisée pour réaliser la prestation énergétique dans le lac à -4.5 m.
 Le réseau fonctionne complètement ou partiellement en boucle fermée en hiver lorsque les conditions le permettent.

Longueur 6 km

Diamètre 700 - 100 mm

Matériel de conduite Acier inox

Caractéristiques d'isolation	Aucune
Structure du réseau	unidirectionnel, dirigé
Nombre de conduites	2 conduites
Températures dans le réseau	
Conduite Aller	max. 17 °C («retournement du lac», jour de grand vent en mi-saison), min 5 °C
Conduite Retour	min. 5 °C (en plein hiver, les besoins chaud et froid s'équilibrent), max. 12 °C
Besoin en électricité pour pompes de circulation	2'400 MWh/a (2016) 70 % de la consommation d'électricité totale
Médium	Eau du lac traitée (chloration)
Critères économiques	
Investissement total	33 Mio. CHF
Émissions de gaz à effet de serre	L'électricité utilisée pour les pompes à chaleur et les pompes de distribution est 100 % renouvelable Pour le froid il y a zéro émission de CO ₂ Pour la chaleur, en moyenne entre 200 et 300 téq.CO ₂ /a
Monitoring	
Monitoring	existant, très détaillé, archivage

2 Contexte / objectifs

Les études liées à la construction du siège mondial du groupe Merck-Serono¹ prévu en 2001 ont constitué une opportunité pour l'étude du développement d'un réseau hydrothermique au niveau du quartier des Nations situé au Nord de la Ville de Genève.

Ce quartier est constitué de gros consommateurs énergétiques qui est l'une des cibles de la Conception Générale de l'Energie (CGE) de 2005 à 2010 qui définit tous les 4 ans les objectifs et priorités à moyen et long terme du canton en matière énergétique.

Ce quartier, en pleine mutation depuis le début des années 2000 avec un certain nombre de zones en réaménagement et la présence de projets de construction d'ampleur, constituait une zone propice à la mise en œuvre d'une politique innovante du fait de sa demande en froid importante.

Le concept initial développé sous l'égide du ScanE (Service de l'Energie du canton de Genève, aujourd'hui nommé Office cantonal de l'énergie, OCEN) a permis d'aboutir à la conclusion d'un partenariat public-privé avec Merck-Serono pour la construction d'une station permettant d'accueillir les installations techniques de pompage de Merck-Serono, mais également celles d'un futur réseau hydrothermique qui sera désigné sous le nom de Genève-Lac-Nations (« GLN »).

En 2004, les Services Industriels de Genève (SIG) se joignent au projet en proposant un « élargissement » du réseau. En intégrant de nouveaux clients, le périmètre du quartier initial est élargi, permettant dès lors d'atteindre une puissance potentielle critique pour que SIG puisse s'engager dans la phase de construction.

Le projet final s'affine pour aboutir en 2005 à un projet novateur et intégrateur au niveau du quartier:

- Connexion à des bâtiments existants et de nouveaux bâtiments à faible consommation énergétique au réseau d'eau du lac (réseau GLN)
- La mise à disposition de l'eau de retour du réseau afin d'assurer des prestations d'arrosage dans les divers espaces verts de la zone.

¹ Le bâtiment est aujourd'hui occupé par le « Campus Biotech » qui accueille différents instituts et entreprises en biotechnologies.

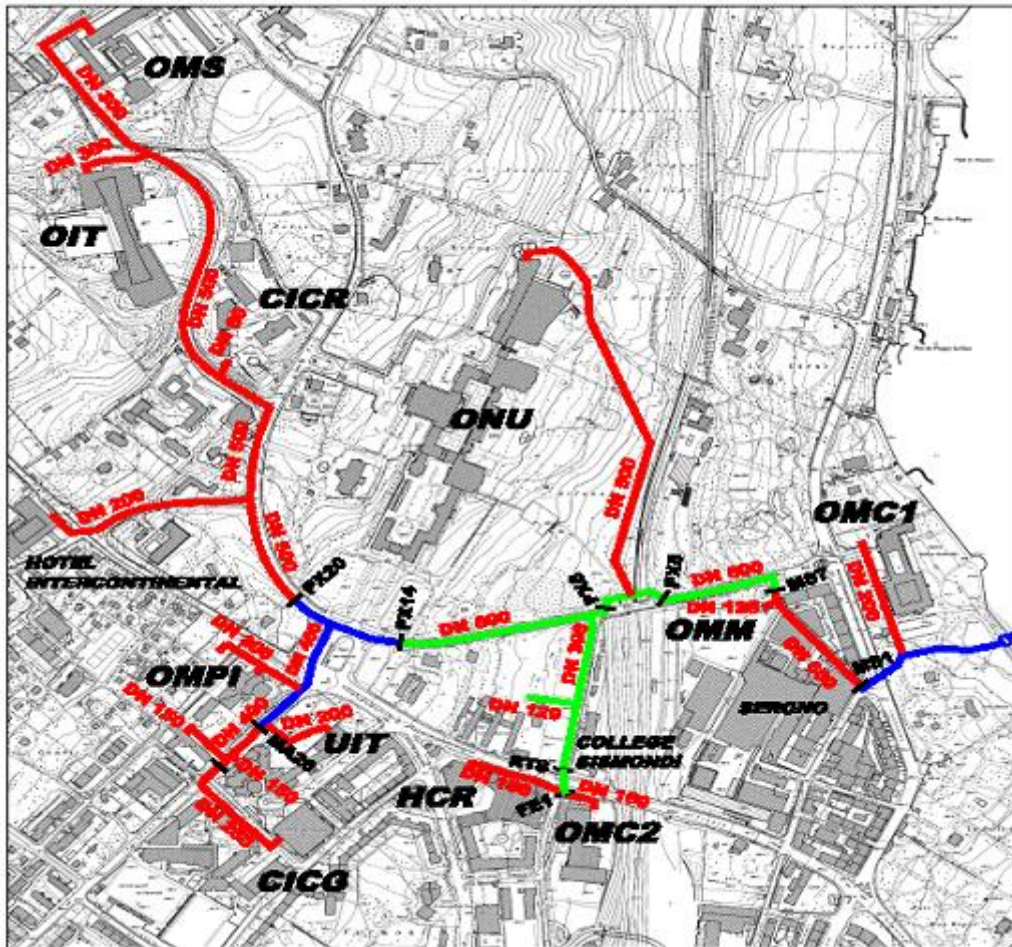


Figure 1 : Plan du réseau GLN

Le projet se situe dans le quartier des Nations de la Ville de Genève qui est un quartier avec une forte densité énergétique, notamment en besoins de rafraîchissement, du fait de la présence importante de bâtiments administratifs. Le quartier en pleine mutation, accueille aussi des nouveaux bâtiments ayant des besoins de chauffage à basse température. Le lieu était donc propice au développement d'un réseau de froid à base d'eau du lac permettant de rafraîchir tous les bâtiments et chauffer les plus récents.

Genève Lac Nations a été soutenu par le programme CONCERTO de la Commission Européenne. Ce programme avait l'ambition de répondre aux défis du développement durable en développant des solutions proactives aux questions énergétiques à l'échelle européenne : promouvoir l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables au niveau local. Au travers de ce programme, l'Union Européenne souhaitait que les collectivités locales et les responsables politiques assurent un rôle moteur auprès des autres acteurs du territoire.

3 Organisation du projet

Le projet a été initié par les pouvoirs publics sous l'égide du ScanE. SIG qui opère des réseaux sur le Canton de Genève (eau potable, électricité, gaz naturel, chauffage à distance), dont le siège est au Lignon à Vernier, s'est joint au projet et a réalisé le réseau sous un modèle de contracting. Le projet est financé, planifié, mis en œuvre et exploité par l'activité « Thermique » de SIG.

4 Procédure

4.1 Planification

DECISION DU PROJET

L'évènement clé pour la réalisation du projet GLN a été le cautionnement à hauteur de 4 MCHF par le Canton de Genève du surdimensionnement de la station de pompage créée en 2001-2002 par Merck-Sereno pour leur nouveau siège mondial. L'Etat de Genève souhaitait réaliser un projet plus grand intégrant les Organisations Internationales (« OI ») afin de notamment diminuer l'impact environnemental du quartier.

SIG a été sollicité en 2004 pour élaborer un projet innovant utilisant l'eau du lac sur le quartier des nations. Le projet GLN a été intégré dans le programme européen CONCERTO qui visait à soutenir des projets de démonstration innovants en matière énergétique. Ce programme a permis de travailler en concertation avec d'autres villes européennes (San Sebastian et Francfort dans le cas de Genève). Les données recueillies des projets de démonstration étaient partagés entre les partenaires. CONCERTO a apporté une aide financière pour réaliser les études universitaires qui ont été très importantes pour le bon dimensionnement du projet.

De par son caractère innovant, une large part d'activités de Recherche et Développement (R&D) a été nécessaire afin de réaliser ce projet. Celles-ci ont principalement été menées par des partenaires académiques.

CONCEPT DU PROJET

Réalisation d'audits énergétiques

Des audits ont été réalisés dans le cadre de l'étude des problématiques spécifiques liées à la compatibilité de bâtiments existants à un réseau d'eau lacustre. Les audits effectués ont eu pour but d'analyser les systèmes de production-distribution-émission de froid liées à l'utilisation d'une source renouvelable à relativement « haute température ». En effet, un certain nombre d'adaptations (technique, régulation) doivent être réalisées sur les infrastructures existantes afin d'exploiter au mieux le froid par l'eau du lac. Ces audits menés par UNIGE² ont permis de développer une méthode de diagnostic de compatibilité des bâtiments à un réseau de froid « haute température ».

² Université de Genève

Cette étape a été essentielle et a montré la faisabilité technique du projet et la compatibilité des bâtiments, moyennant certaines adaptations.

Réalisation d'un modèle informatique précis du lac

Un modèle CFD (Computational fluid dynamics), réalisé avec l'aide de l'Institut Forel (Versoix, Suisse) a servi de base pour l'étude du comportement du lac (thermique, courantologie), et plus spécifiquement de l'influence de GLN (pompage et rejet) sur le système lacustre naturel. Il a permis d'optimiser la conception et la localisation des prises et rejets d'eau ainsi que d'étudier l'étude d'impact thermique sur l'environnement de ce rejet.

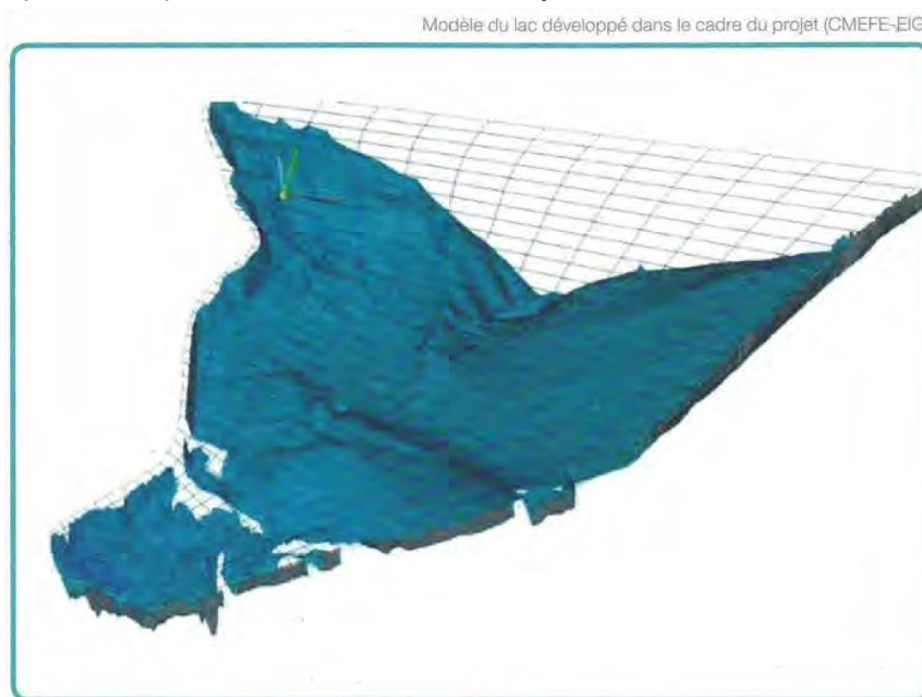


Figure 2 : Modèle du lac développé dans le cadre du projet (Ecole d'Ingénieurs de Genève)

DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

L'installation est composée d'une station de pompage connectée à une conduite d'aspiration d'une longueur de 2.5 km qui puise l'eau profonde du lac à -37 m. Une crépine permet d'aspirer l'eau tout en la filtrant grossièrement pour éviter l'aspiration de corps non désirés (débris, poissons, etc.). Une injection de chlore est réalisée afin d'empêcher le développement d'algues et de moules zébrées dans la conduite et le réseau. L'eau arrive dans la station de pompage dans un puisard, réserve d'eau permettant de réaliser un tampon entre le lac et les pompes de distribution. L'eau est alors distribuée dans les bâtiments connectés via un réseau de conduites enterrées.

Les bâtiments sont équipés d'une sous-station d'architecture différente selon leurs besoins. Dans les bâtiments existants, l'eau est utilisée pour alimenter le système de rafraîchissement en direct (« freecooling ») grâce à un échangeur ainsi que pour refroidir les condenseurs des groupes frigorifiques lorsque ceux-ci sont nécessaires. Dans les bâtiments récents, la température de distribution de la chaleur est plus basse et la température de distribution du froid plus élevée.

L'eau peut alors être utilisée en directe pour la production de froid ainsi que pour chauffer les évaporateurs d'une ou plusieurs pompe à chaleur qui assurent la production de chaud pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Une fois utilisée par les bâtiments, l'eau est rejetée dans le lac à 200 m de la rive à une profondeur de -4.5 m sous la surface par un diffuseur.

Le schéma ci-dessous résume le fonctionnement du réseau GLN.

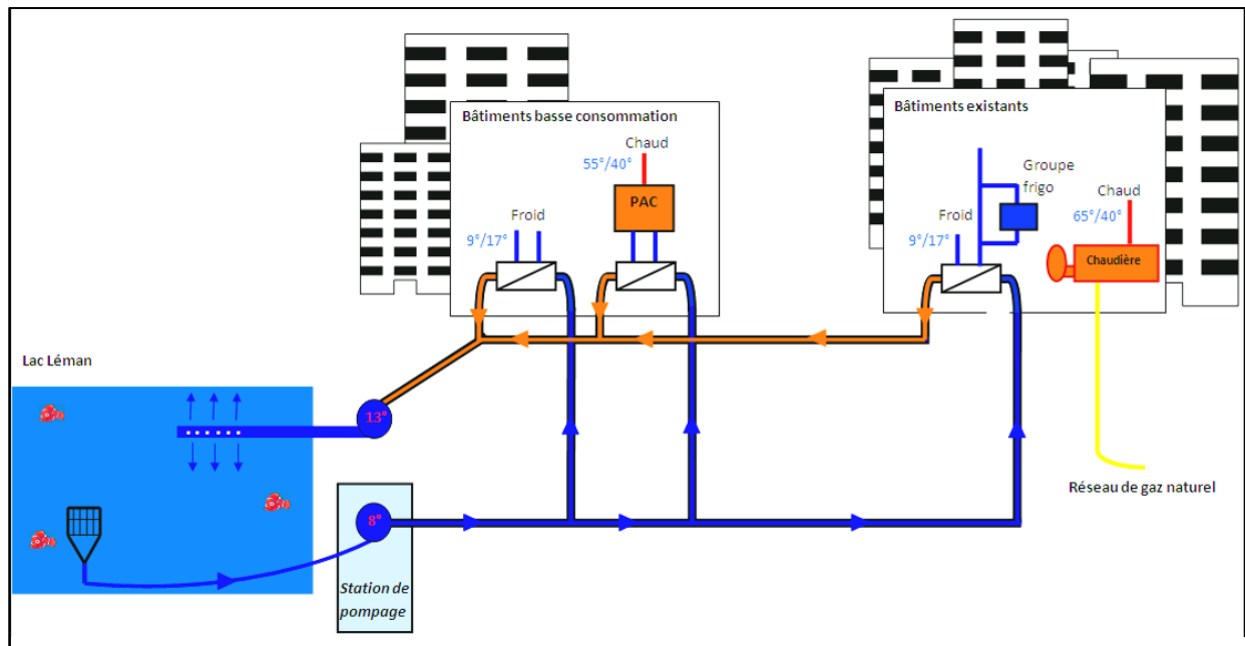


Figure 3 : Schéma du principe de fonctionnement de GLN

En hiver, avec l'adjonction de nouvelles pompes à chaleur et les besoins permanent de froid de certains bâtiments, les besoins en chaleur et en froid ont tendance à s'équilibrer. Un système avec des pompes de circulation a été mis en place pour faire fonctionner le réseau GLN en « boucle fermée » de telle sorte que les rejets de froid des pompes à chaleur alimentent les besoins de froid des bâtiments. En cas de dérive de la température, le réseau est équilibré grâce à l'injection d'eau du lac dans la boucle. Le réseau fonctionne alors en « boucle semi-ouverte ».

4.2 Réalisation

Challenges techniques

Le projet a utilisé des technologies connues et maîtrisées par SIG de par son expérience dans la production d'eau potable grâce au Lac Léman et dans les réseaux de chauffage urbain. Le défi technique était donc plutôt situé chez les Clients et l'adaptation de leurs installations de rafraîchissement à des régimes de température un peu plus élevés.

Challenges législatifs

Afin de pomper l'eau du lac Léman, de l'utiliser comme source d'énergie et de la rejeter dans le lac, il a été nécessaire d'obtenir une concession de pompage. Comme cela n'avait jamais été fait,

il a été nécessaire de convaincre que le rejet n'aurait pas d'incidence néfaste sur la thermique ou la biologique du lac. La solution proposée a été de réaliser une analyse d'impact environnementale comprenant un suivi sur cinq années (deux avant la mise en place de GLN et trois après la mise en service). Les conclusions ont montré que l'impact était faible et acceptable (absence d'impacts néfastes) permettant ainsi d'assurer la pérennité du projet et de valider l'utilisation de cette ressource énergétique à l'avenir.

Challenges économiques

Le choix du modèle économique du projet était nouveau pour SIG. Il était nécessaire de définir les limites du périmètre desservi afin d'assurer un équilibre financier et un impact environnemental significatif. La limite de fourniture de la prestation énergétique a été décidée différemment pour les bâtiments existants et ceux nouveaux. Sur les premiers la fourniture s'arrête aux échangeurs de freecooling et aux condenseurs. Sur les seconds, SIG prend en charge les équipements de production de chaleur et s'arrête aux échangeurs pour le freecooling. Le modèle de tarification a aussi été judicieusement choisi afin d'associer viabilité économique et optimisation énergétique du réseau (voir chapitre exploitation).

Il a été nécessaire de convaincre les Clients d'adhérer au projet avant que celui-ci ne soit réalisé afin d'atteindre une taille critique permettant de lancer les travaux. L'acceptation du projet était conditionnée aux questions économiques de la fourniture de chaleur. L'axe de travail principal a été de démontrer que, à coût complet, GLN était bon marché par rapport aux systèmes conventionnels tout en ayant une qualité environnementale supérieure.

4.3 Exploitation

En 2017, le réseau GLN est pleinement opérationnel et est arrivé à sa capacité maximale en terme de puissance raccordée. SIG possède une équipe dédiée à l'exploitation et la maintenance de ses réseaux de chaleur et de froid à distance. L'équipe, qualifiée en thermique industrielle par la pratique et par la théorie (brevet fédéral), exploite et optimise le projet depuis maintenant 9 ans. Le système est aujourd'hui très bien maîtrisé et a permis l'élaboration de nouveaux projets similaires à plus large échelle tel GeniLac³.

Monitoring et optimisation

Le réseau, les sous-stations et la station de pompage, sont monitorés 24h/24 grâce à la fibre optique permettant une surveillance à distance. Les données (températures, débits, pressions, etc.) sont stockées dans une base de données en moyenne horaire ou par point de mesure toutes les 10 minutes. Cette archive des données est primordiale pour optimiser le réseau.

En plus du suivi permanent des installations, une campagne de mesures a été réalisée pendant 2 années (2012 et 2013) dans le cadre d'une thèse universitaire sur les systèmes de rafraîchissement

³ Découvrez en image GeniLac, une innovation énergétique 100% renouvelable, qui utilise l'eau du lac pour rafraîchir et chauffer Genève sur : bit.ly/video-genilac

en freecooling. Ce monitoring a permis de réaliser des optimisations sur l'utilisation des débits d'eau et sur les installations secondaires des bâtiments alimentés (Clients).

Un suivi régulier des installations par le service d'exploitation du réseau a permis de réaliser une optimisation des consommations électriques de la station de pompage depuis 2014, notamment grâce à la mise en place d'un système de fonctionnement en boucle fermée et boucle semi-ouverte non prévu initialement.

Les paramètres de régulation et consignes jouant un rôle important dans l'efficacité du système sont

- Les consignes des Clients (demandes en température),
- Les cascades des pompes et des échangeurs,
- Les limitations en débit et en température,
- Le différentiel de pression selon le mode de pompage,
- La récupération de froid et chaud dans les sous-stations avec pompe à chaleur,
- La liste des évènements des 3 premières années pour relever toutes les informations importantes et tous les défauts au départ du projet.

Ces optimisations techniques et économiques ont permis d'assurer une totale compatibilité des bâtiments du réseaux et ainsi contribuer à la fiabilité de l'approvisionnement.

Exploitation technique

Le réseau GLN est aujourd'hui un système maîtrisé. Après 9 ans de fonctionnement, le réseau n'a connu aucune panne majeure mettant en péril l'approvisionnement en énergie. Cette fiabilité a été permise grâce à :

- La simplicité technique du système de pompage d'eau du lac (robustesse, technologie maîtrisée au sein de SIG),
- Un contrôle commande performant et un pilotage à distance permettant réactivité et finesse de réglage,
- L'absence d'impacts néfastes sur l'environnement et le lac (effets thermiques et aspects biologiques),
- Au choix des tuyauteries en acier inox.

De par sa nature de projet pilote, certaines contraintes n'ont pas été anticipées. Des corrections ont été apportées lorsqu'elles étaient réalisables. Il s'agit principalement :

- Des températures plus élevées du lac pendant 50 à 100 heures par an (phénomène de « retournement du lac » lors de grands vents du nord-ouest en mi-saison). Inévitable, ce phénomène est aujourd'hui géré par une communication aux Clients pour qu'ils puissent prendre les mesures nécessaires (utilisation de groupes frigorifiques par exemple).
- Du choix de matériel spécifique pour le transport d'une eau chargée, point qui a été résolu entre 2010 et 2012 grâce au premier retour
- Du choix des tuyauteries en acier dans les sous-stations qui se corrodent plus rapidement que prévue et qui devront être changées de manière anticipée. Elles font l'objet d'un suivi régulier pour déceler tout problème de fuites.

Modèle de facturation

Le facturation dépend de la prestation énergétique (chaud ou froid) et est pour chaque scindée en deux parties : un abonnement fixe qui dépend de la puissance souscrite et une part énergie liée à la quantité d'énergie consommée en kWh. En ce qui concerne la vente d'énergie froid en direct sur l'eau du lac, le montant de la part énergie est dégressive selon la température retournée au réseau. Plus la température de retour est élevée, c'est-à-dire que la différence de température entre l'approvisionnement et le retour est grande, plus le prix diminue. En effet, une grande différence de température entre l'aller et le retour permet de mieux utiliser l'eau pompée ce qui diminue l'électricité nécessaire aux pompes.



Figure 4 : Structure de prix de la prestation de froid

Cette incitation financière favorise une utilisation optimale du m³ d'eau pompé et permet non seulement aux consommateurs d'économiser à la fois de l'énergie et de l'argent, mais assure aussi la réserve de puissance nécessaire pour tout le réseau.

Relation Client

Des échanges importants ont eu lieu en 2012 avec les Clients du projet afin de communiquer l'expérience acquise lors des premières années du projet. Ces rencontres ont permis de faire le point sur les différentes problématiques rencontrées et la campagne d'optimisation en cours alors. Ces échanges, portant sur les questions de retournement du lac, d'augmentation des consignes de température Clients, des accès et entretien, du nettoyage des filtres, des protocoles de communication des automates et d'autres points, ont permis d'installer une relation très positive avec nos Clients.

5 Conclusion

L'impulsion donnée par le Conseiller d'état lors de la construction de la station de pompage pour Merck-Sereno en cautionnant la création d'une station plus grande, a été essentielle au projet. L'appui du Canton et des Communes est essentiel afin de réaliser des projets ambitieux de réseaux énergétiques permettant de soutenir la transition énergétique.

La bonne utilisation du réseau par les bâtiments raccordés est importante. D'un point de vue de la conception, le projet nous enseigne qu'une installation utilisant l'eau du lac pour répondre à 100 % de ses besoins utilise mal l'infrastructure. Il est bien plus efficace d'utiliser des machines d'appoint permettant de gérer les pointes ponctuelles. Par exemple, les besoins du bâtiment de la mission de l'ONU à Genève, lors de grandes conférences internationales sur un ou quelques jours, peuvent dépasser d'un facteur 6 sa consommation normale. D'un point de vue de l'exploitation, l'efficacité du réseau dépend très fortement de la performance des installations situées dans les bâtiments. Le réseau est contraint par ces installations. Le long travail de caractérisation et d'optimisation des installations Clients a permis d'améliorer considérablement l'efficacité de tout le réseau, améliorant la sécurité d'approvisionnement, le confort des usagers et diminuant les factures énergétiques.

Le projet est aujourd'hui un grand succès pour le Canton de Genève grâce à l'étroite collaboration entre SIG, ses Clients et l'Etat. La diminution des consommations d'électricité associées à la production de froid sont très importantes. Toute l'expérience acquise sur GLN a permis à SIG de lancer de nouveaux projets utilisant l'eau du lac, particulièrement à une échelle beaucoup plus large avec GeniLac⁴ sur le Canton de Genève afin de soutenir la transition énergétique.

⁴ Découvrez en image GeniLac, une innovation énergétique 100% renouvelable, qui utilise l'eau du lac pour rafraîchir et chauffer Genève sur : bit.ly/video-genilac