Rafraîchir des bâtiments par pompage d'eau

Autor(en): **Schmitt, Pierre-Louis / Tarruffi, Adrien / Haas, Patrick**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **135 (2009)**

Heft 01: **Négocier Minergie-Eco®**

PDF erstellt am: **09.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-99724

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Pierre-Louis Schmitt, Adrien Tarruffi,
Patrick Haas et Jacques Richard

Rafraîchir des bâtiments par **pompage d'eau**

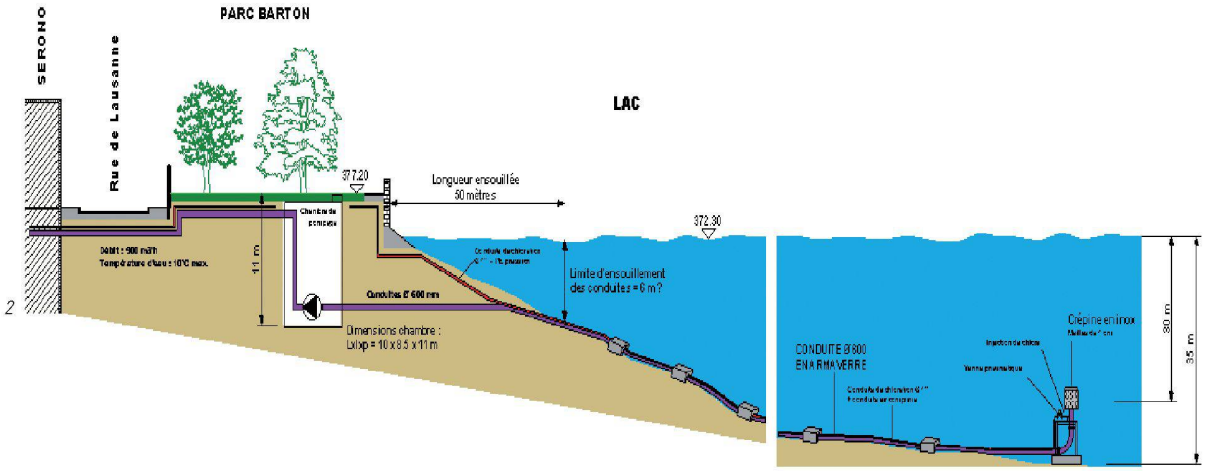
Dans le cadre du refroidissement de bâtiments et d'installations industrielles, les cours d'eau représentent une ressource convoitée. En effet, l'utilisation de ce type de source augmente l'efficacité des groupes frigorifiques de manière sensible. Cependant, pour être durable, une telle installation ne doit pas altérer l'écosystème et il devient alors primordial de pouvoir déterminer à priori, par le biais de modélisations, quelles seront les conséquences d'une installation.

Le CMEFE (Groupe de compétences en mécanique des fluides et procédés énergétiques) de la HES-SO Genève a réalisé deux modèles numériques permettant de simuler l'impact d'un rejet chaud dans une nappe d'eau. Le premier modèle, CARMEN, concerne le Rhône urbain (du pont du Mont-Blanc au pont du Seuget) et de l'ensemble des rejets chauds dans celui-ci. Le second est un modèle du Petit-Lac (portion du lac Léman allant de Genève à Coppet) qui a été réalisé dans le cadre du projet européen *TetraEner* (<www.tetraener.com>) qui a pour but de développer l'utilisation de ressources locales pour diminuer la consommation d'énergie des villes. Genève a ainsi été retenue comme ville test pour le rafraîchissement de bâtiments par l'eau du lac au travers du projet GLN (Genève-Lac-Nations) des SIG (Services Industriels de Genève). Une installation a été réalisée pour rafraîchir le quartier des Nations (fig. 1 et 2).

Anticiper les conséquences

Pour être durable, l'utilisation de l'eau d'un lac ou d'une rivière comme source de chaleur ou de rafraîchissement doit respecter le milieu concerné. En effet, un réchauffement trop important du milieu altèrerait considérablement l'écosystème, ce qui ne ferait que déplacer l'impact environnemental du dispositif. L'évaluation de l'impact d'une telle installation

1



2

Fig. 1 : Crépine d'aspiration du dispositif GLN

Fig. 2 : Schéma type d'une installation lacustre (GLN, Services Industriels de Genève)

Fig. 3 : Buse de rejet du dispositif GLN

Fig. 4 : Modèle du Rhône (CARMEN)

Fig. 5 : Localisation des rejets chauds dans le Rhône (rade de Genève). Les numéros (en jaune) correspondent aux autorisations du DIAE.

est primordiale pour choisir correctement les lieux de pompage et de rejet ainsi que pour définir la forme de la buse de rejet permettant de minimiser ses effets sur l'environnement.

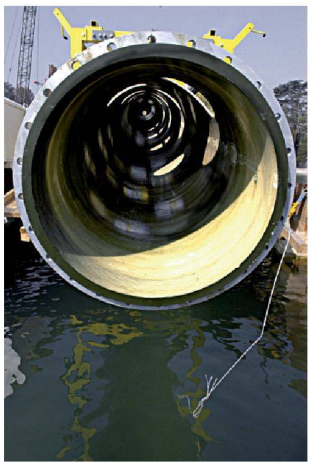
La législation Suisse impose trois conditions :

- l'élévation maximale de la température après mélange homogène entre les eaux de rejet et les eaux réceptrices est de 1,5°C,
- la température du cours d'eau ne doit pas dépasser 25°C,
- la température des effluents ne doit pas dépasser 30°C (zone à truite).

L'intérêt d'un modèle numérique est de prédire le réchauffement d'un volume d'eau considéré en cas d'ajout de rejets chauds et d'estimer ainsi l'impact écologique d'une installation avant sa mise en œuvre. L'exactitude du modèle doit être validée par des mesures.

Pour notre étude, les paramètres fixes sont d'une part les conditions climatiques, qui dépendent directement de l'emplacement géographique de l'installation et, d'autre part, les courants et la topographie du fleuve ou du lac. Les paramètres variables permettant d'évaluer différents scénarios concernent la localisation des points de pompage et de rejet, la forme du point de rejet (fig. 3) – rejet en un seul point, en plusieurs points plus ou moins éloignés, dans la même direction, dans des directions différentes, etc. – qui influence le mélange de l'eau rejetée avec celle du milieu récepteur et, enfin, la puissance de chauffe ou de refroidissement.

Une analyse CFD *(Computational Fluid Dynamics*, simulation d'écoulement fluide assistée par ordinateur) nécessite d'abord une parfaite définition des trois paramètres fixes évoqués ci-dessus. Le modèle numérique est alors construit par étapes :

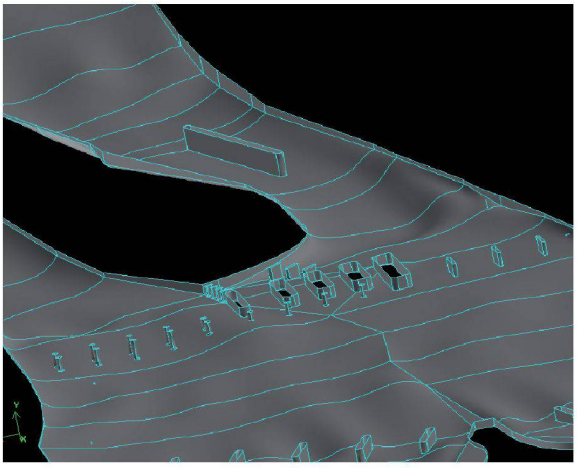


3

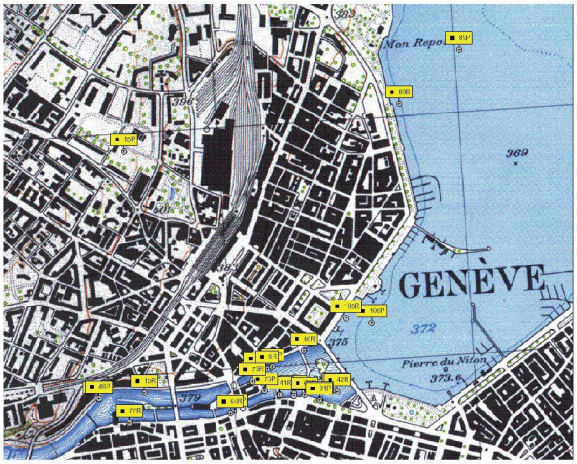
- réalisation d'une maquette virtuelle tridimensionnelle reproduisant la topographie du lieu étudié,
- maillage, c'est à dire division en petits éléments (les cellules) du volume de liquide considéré,
- définition des conditions aux limites pour reproduire les conditions météorologiques et la courantologie,
- calcul aboutissant à la résolution des équations de la mécanique des fluides pour chaque cellule,
- dépouillement et analyse des résultats,
- validation expérimentale des résultats.

Modèles pour la topographie

Pour les modèles CARMEN et GLN, il s'agissait de dessiner une géométrie virtuelle reproduisant au mieux le volume réel du liquide. Deux techniques différentes ont été utilisées.



4



5

Fig. 6 : Nuage de points obtenu par sondage (rade de Genève)
Fig. 7 : Définition du volume en le fermant à l'aide de trois autres surfaces
Fig. 8 : Maillage du lit du Rhône, avec les piles du Pont des Machines

Pour le premier modèle – consacré au Rhône urbain – le volume virtuel a été créé à partir de plans cadastraux reproduisant une multitude de coupes transversales du fleuve. La saisie de ces données a été effectuée à l'aide du logiciel *Pro-Engineers*, en entrant une à une les coordonnées des différents points du fond (fig. 4). La validation ultérieure de l'étude par des mesures expérimentales a impliqué d'inclure en outre l'ensemble des rejets existants (fig. 5).

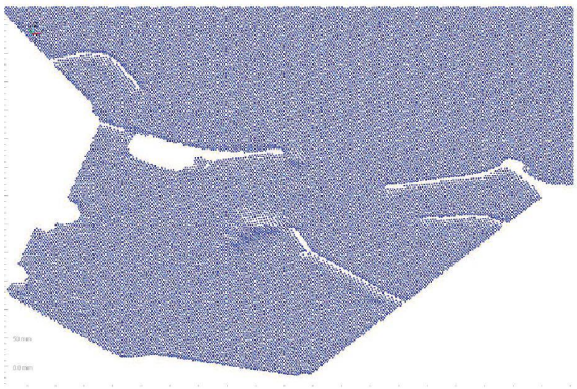
Le volume à considérer pour le Petit-Lac était sensiblement plus important. Par ailleurs, le type de données utilisées pour le Rhône n'existant pas, une autre technique a dû être employée. Elle passait par l'utilisation d'un bateau GPS-sonar, appartenant à l'Institut Forel, qui sondait le fond et fournissait directement un nuage de points correspondant à la topographie du lac (fig. 6). L'étape suivante consistait en une interpolation de ces points par des NURBS *(Non Uniform Rational Basis Spline)*, c'est à dire des courbes passant au plus près des points de ce nuage. Cette interpolation permet alors de disposer d'une surface beaucoup plus « légère » à manipuler. Pour obtenir le volume d'eau, il suffit alors de « fermer » cette surface en y ajoutant la surface libre de l'eau et les surfaces verticales d'entrée et de sortie de l'eau (fig. 7). Une fois ce volume défini, il ne reste plus qu'à lui soustraire le volume de la buse de rejet.

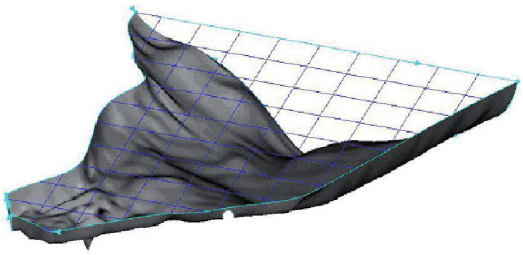
Définition du maillage

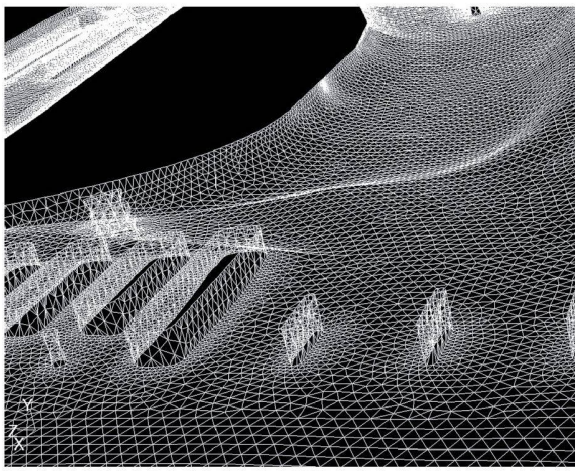
Le maillage, qui consiste à diviser le volume global en cellules, sert de base aux futurs calculs. Au cours de ceux-ci, les équations de la mécanique des fluides, insolubles de manière analytique, sont résolues de manière approchée dans chacune de ces cellules. Il est ainsi évident que plus un maillage est fin plus la solution sera précise. Il n'est en effet pas possible de capter des phénomènes d'une taille inférieure à celle des cellules. En contrepartie, un maillage fin se traduit par d'importants temps de calcul. A cet égard, notre étude présentait un problème majeur, puisque les volumes à mailler étaient considérables – tout particulièrement pour le lac – et que l'utilisation de mailles fines aurait engendré des temps de calcul élevés.

Le volume du Rhône urbain a été divisé en quelque deux millions de petits tétraèdres (fig. 8) dont la taille diminue à proximité des rives et des particularités (piles de ponts, points de rejets, etc.). Les arêtes des tétraèdres vont de 0,1 m pour les plus petites mailles à 1,5 m pour les plus grosses, et le facteur d'agrandissement entre deux couches voisines n'excède jamais 1,2. Ainsi, le nombre de cellules reste limité et les calculs peuvent être effectués en un temps raisonnable.

Dans le cas du Petit-Lac, la taille supérieure du volume et son fort ratio longueur/hauteur rendaient impossible l'utilisation de la même technique. Le maillage a donc été réalisé en deux temps. On a d'abord défini un petit volume autour de la buse de rejet, qui a été maillé avec des éléments tétraédriques similaires à ceux utilisé pour le Rhône. Le solde du maillage utilise des éléments hexaédriques plus grands et très fins, de manière à obtenir dix couches de cellules sur la


6


7



8

Fig. 9 : Vue globale du maillage du Petit-Lac et du point de rejet (en bas à droite)

Fig. 10 : Contours de température à 2m de profondeur. Les nombres indiquent la présence de rejets chauds (voir fig. 5).

Fig. 11 : Trajectoires des rejets colorées par la température en °C (rejets 41 et 39)

profondeur du lac permettant de suivre la distribution des vitesses. Les deux volumes ont finalement été reliés par une interface. Cette solution a permis de maintenir le nombre de cellules en dessous de deux millions (fig. 9).

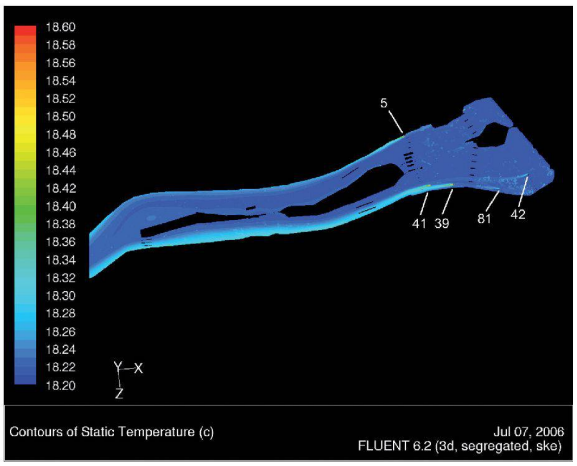
Conditions climatiques : charges thermique et mécanique

Dans le calcul, il faut aussi tenir compte des flux naturels de chaleur qui participent à l'équilibre thermique du lac et du Rhône. Ces échanges thermiques ont été définis à partir d'une étude précédente réalisée par le CUEPE (Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie) de l'Université de Genève.

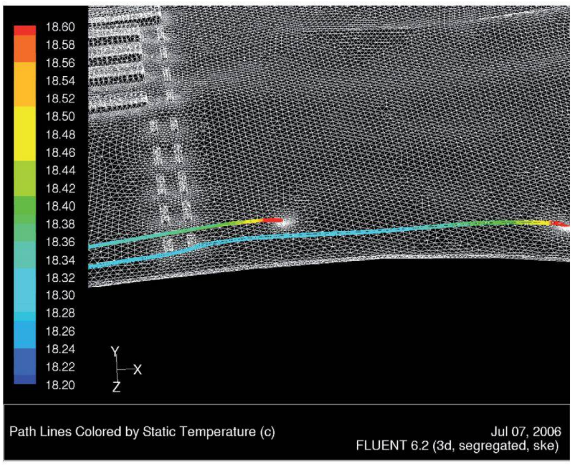
Le lac se caractérise par trois principaux flux de chaleur : le flux radiatif (soleil et émission infrarouge), le flux convectif (échange de chaleur entre l'air et l'eau) et le flux lié à l'évaporation ou à la condensation de l'eau.

Ces flux sont calculés en utilisant des résultats obtenus par le CUEPE lors d'une étude consacrée aux bilans thermiques de piscines. Ils dépendent des conditions climatiques, essentiellement à travers la température de l'air et de l'eau, la vitesse et la direction du vent, ainsi que l'humidité relative de l'air.

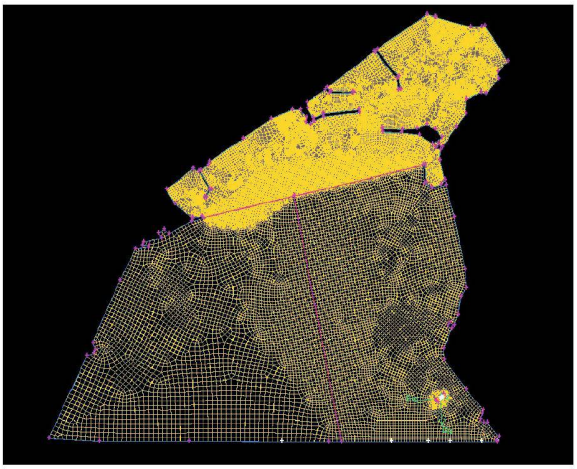
D'un point de vue purement mécanique, le vent induit un courant de surface dont l'influence sur la courantologie, et donc sur la dispersion des rejets chauds, est d'autant plus importante que la vitesse du vent est grande et que le courant est faible. Ce phénomène a été modélisé par l'application d'une contrainte de cisaillement agissant à la surface libre de l'eau. Cette contrainte dépend de la vitesse du vent et d'un coefficient de frottement.



10



11



9

Résultats

Les figures 10 et 11 montrent quelques-uns des résultats obtenus avec le modèle CARMEN pour le Rhône urbain. On a constaté une diminution importante de la température dans les premiers mètres suivant le rejet qui traduit la dissipation de l'essentiel de la chaleur (90 % de l'énergie en 2m). En revanche, un panache plus chaud que l'eau du fleuve de quelques dixièmes de degrés reste visible sur des centaines mètres (fig. 10), l'eau chaude est ainsi transportée dans le courant pratiquement sans échange thermique avec le milieu. De plus, le fait que tous ces rejets soient localisés sur les berges fait que ces augmentations s'additionnent : la température de l'eau pompée par une installation étant de quelques dixièmes de degrés supérieure à celle de l'eau située en amont, cette eau

Fig. 12 : Champ des vitesses en surface du lac

Fig. 13 : Température au fond du lac

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)

augmente de quelques dixièmes de degrés supplémentaires les températures des rives

Pour le Petit-Lac, on observe d'abord que la vitesse maximale se situe au niveau du pont du Mont-Blanc, là où le lac redevient le Rhône (fig. 12). La vitesse y est alors d'environ 0,5m/s. On remarque aussi la très bonne corrélation qui existe entre la profondeur du lac et la température de l'eau (fig. 13). Le modèle a enfin mis en évidence l'influence de la bise. En effet, les buses de rejet étant dirigées vers le haut, la bise crée un courant de surface ayant des effets sur les trajectoires des courant chauds, qui restent alors plus localisés à proximité des points de rejet.

Validation

Pour le modèle du Rhône, une validation expérimentale des résultats a consisté à comparer les résultats obtenus avec ceux d'une série de mesures de températures prélevées dans le cadre d'une thèse de Master à l'Université de Genève (CUEPE). Des mesures le long des berges et au travers du Rhône sur les ponts du Mont-Blanc et de la Machine ont été réalisées. Ces mesures ont dans l'ensemble confirmé les prévisions de notre modèle.

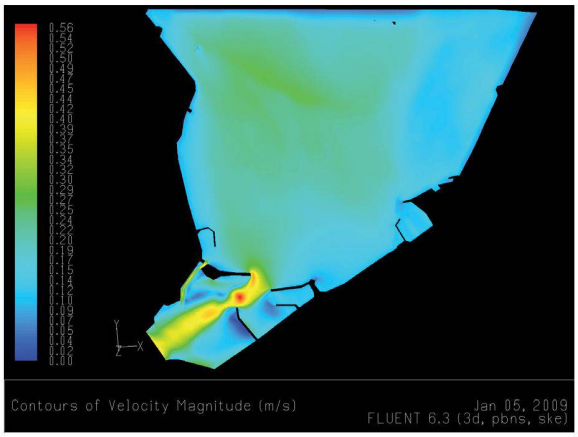
Dans le cas du projet *TetraEner*-GLN, le modèle pour le Petit Lac n'a pas encore été validé. Des campagnes de mesure de la température, ainsi que de la vitesse et de l'orientation du courant sont en cours et seront exploitées dans les mois à venir. Des bouées instrumentées ont été mise en place et mesurent depuis trois ans les profils de températures, ainsi que diverses grandeurs physico-chimiques. Des mesures effectuées lors de sorties régulières en bateau complèteront également ces dernières (pH, turbidité, oxygène dissout, etc.).

Des simulations efficaces

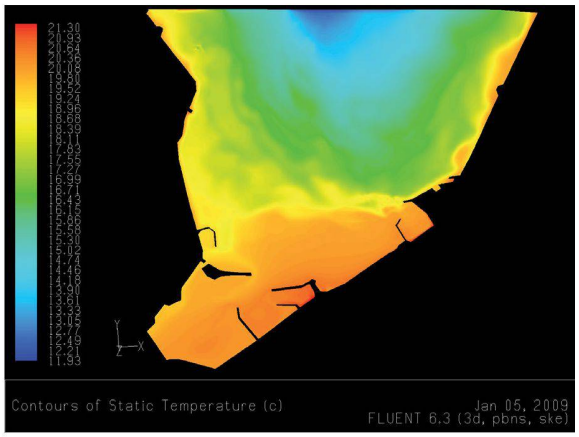
Les modèles de simulations réalisés au CMEFE se sont montrés particulièrement pertinents pour l'étude des impacts des rejets sur les cours d'eau. A ce stade, nous pouvons conclure que les techniques de modélisation mises en œuvre permettent d'obtenir une représentation fidèle des trajectoires des rejets chauds dans le milieu récepteur et d'évaluer les phénomènes de concentration qui peuvent se créer. Si, dans la situation actuelle du Rhône et du lac, les chaleurs dissipées semblent compatibles avec les aspects écologiques, l'utilisation de cette ressource naturelle à des fins de rafraîchissement doit être réalisée de manière réfléchie en évitant tant que possible les phénomènes de concentration des rejets et de superposition des nappes chaudes dans les zones sensibles des cours d'eau, c'est-à-dire essentiellement les berges. Les points de rejet doivent être répartis dans le milieu récepteur et les endroits où la vitesse est élevée doivent être choisis de manière préférentielle. Des buses de rejet utilisant l'énergie cinétique du courant peuvent être développées et utilisées pour favoriser le mélange.

Pierre-Louis Schmitt, ingénieur Arts et Métiers
Adrien Tarruffi, ingénieur EPFL
Patrick Haas, professeur HES
CMEFE, 7 route du Pont Butin
CH – 1213 Petit Lancy

Jacques Richard, professeur HES
CNMP, 4 rue de la Prairie
CH – 1202 Genève



12



13