

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 58 (1932)
Heft: 16

Artikel: Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usines
Autor: Calame, Jules
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44864>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 26.01.2026

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

de protection à l'aval sont terminés. Les parties suivantes du barrage sont achevées : la culée droite, la pile 4, les fondations de la pile 3, les seuils 4 et 5. Le montage des vannes et leurs organes de manœuvre, les ponts de service inférieur et supérieur sont achevés dans la passe 5.

La navigation dispose toujours des ouvertures 3 et 4 et passe au-dessus des fondations de la pile 3 dont la partie en élévation ne sera exécutée que plus tard.

En ce qui concerne les travaux de la dérivation, les terrassements et bétonnages sont presque terminés ; aux écluses, le montage des vannes et organes de manœuvre est activement poussé ; il est à peu près terminé pour la porte aval de la grande écluse ; à l'usine, le montage des groupes et des vannes est en cours ; au bâtiment du tableau, le bétonnage des deux premiers étages est terminé. Quant au poste de transformation et à l'appareillage électrique, la construction du bâtiment sera achevée le 1^{er} février 1932. Le montage du poste extérieur est en cours.

Le nombre d'ouvriers occupés est actuellement d'environ 2800 dont 2400 pour les travaux de la dérivation.

On se rappellera (voir compte rendu de l'année 1929) que, d'après le programme des travaux du barrage, la navigation devait disposer jusqu'au 15 mars 1932 d'une largeur de 55 m entre les piles 2 et 4, déduction faite de l'espace occupé par les échafaudages (la construction de la pile 3 était arrêtée au niveau du seuil) ; à partir du 15 mars on devait reprendre les travaux de la pile 3 et la navigation devait utiliser jusqu'au 15 mai 1932, date de la mise en service du canal, l'ouverture N° 1 de 30 m de largeur. D'après la déclaration des commissaires français, dans la deuxième session de 1931, une avance a pu être réalisée sur l'exécution de ce programme et on se propose de commencer l'achèvement de la pile 3 dès le 1^{er} janvier 1932, ce qui permettra d'ouvrir le canal à la navigation à partir du 1^{er} mai au lieu du 15 mai. Du 1^{er} janvier au 1^{er} mai 1932, la navigation devra utiliser la passe de 30 m, mais comme la grande navigation ne s'effectue pas entre le mois de janvier et le commencement de mai, cette modification n'intéressera que les péniches de canal pour lesquelles une passe de 30 m est plus que suffisante.

3. *Revision de l'étiage équivalent 1923.* — La Commission centrale a décidé d'entreprendre la révision de l'étiage équivalent fixé en 1923 et a chargé à cet effet un Comité technique présidé par M. Schlingemann, commissaire des Pays-Bas, d'étudier la question et de présenter un rapport à la Commission. Le comité s'est réuni au cours de l'année 1931 et a établi son plan de travail ; les études se poursuivent sur cette base avec le concours de la Preussische Landesanstalt für Gewässerkunde.

Affaires judiciaires.

Appels portés devant la Commission centrale pour la navigation du Rhin. — La Commission centrale, en sa qualité de juridiction de seconde et dernière instance, dans les affaires jugées par les tribunaux pour la navigation du Rhin, a été saisie, en 1931, de neuf recours en matière civile. En 1930, dix appels en matière civile et quatre appels en matière pénale avaient été portés devant elle.

Affaires économiques et fiscales.

a) *Régime douanier du canal latéral au Rhin (section de Huningue à Kembs).* — Toute question de principe étant réservée, la Commission centrale a pris acte d'une note de la délégation française au sujet de ce régime. Le règlement qui mettra en application les mesures prévues dans ladite note, ainsi que les accords éventuels entre administrations douanières, seront portés, dans le plus bref délai possible, à la connaissance de la Commission.

b) *Taxes sur les appareils radiophoniques à bord des bâtiments rhénans.* — Un échange de vues s'est produit au sujet de cette question au cours de la deuxième session de 1931. Il sera poursuivi dans la session suivante.

Droit privé et droit social.

Il a été décidé que le Comité de droit fluvial se réunirait dans le courant de 1932 sous la présidence de M. Rossetti pour étudier les questions suivantes : 1^o assistance et sauvetage ; 2^o saisie conservatoire ; 3^o compétence civile en ma-

tière d'abordage. (Pour le surplus voir ci-dessus : relations avec d'autres organismes internationaux.)

Plaintes.

L'examen de la plainte relative à des questions sociales (assurances contre les maladies, les accidents, etc.) mentionnées dans les comptes rendus précédents a été réservé en attendant la suite des travaux du Comité mixte mentionné plus haut.

Au cours de l'année, la Commission n'a été saisie que d'une plainte nouvelle relative à l'article 23 a) interdisant la descente à la dérive des bâtiments de plus de 50 tonnes aux abords de Dusseldorf. Cette plainte a été jugée non fondée.

Affaires intérieures.

Le budget pour 1932 a été fixé à 875 000 fr. français.

Divers.

Le « Lloyd Anversois » a été agréé comme organe de publication de la Commission centrale. La Commission centrale a été représentée par deux de ses membres au XV^e Congrès de navigation.

Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usines,

par JULES CALAME, ingénieur-conseil à Genève.

(Suite.¹⁾

§ 4. Influences de la pente du canal et du frottement.

Jusqu'ici nous avons admis que la section du canal demeurait constante sur tout le parcours de l'onde et qu'avant la perturbation l'écoulement était uniforme, ce qui revenait à admettre une pente constante et un tirant d'eau constant C .

Rien n'empêche cependant de tenir compte de la variation de la pente et du frottement, mais il faut alors suivre l'onde point par point ou tout au moins établir sa valeur particulière à chaque changement de pente et de section.

Remarquons d'abord qu'on tient compte de la pente et de la section automatiquement en introduisant dans la valeur (12) de a les valeurs de f_0 et de Δf .

Quant au frottement dont l'ordre de grandeur est généralement petit, comparé aux dimensions du canal, on en peut tenir compte avec une exactitude suffisante en raisonnant comme suit :

La force d'impulsion qui, dans l'application du théorème de l'accroissement de la quantité de mouvement, s'exprime par le second membre de l'égalité (11) devrait comporter en réalité un terme additionnel et négatif : la force de frottement, qui est de la forme :

$$-\gamma \cdot P_w f$$

expression dans laquelle P_w désigne une colonne d'eau proportionnelle notamment au carré de la vitesse moyenne d'écoulement W_m , proportionnelle aussi à la longueur X du canal entre l'origine et la section considérée. D'après la formule de Gauckler-Strickler, il faudrait l'écrire :

$$P_w = \frac{X \cdot W_m^2}{k^2 S_m^{4/3}} \quad (15)$$

¹ Voir *Bulletin technique* du 23 juillet 1932, page 174.

k désignant le facteur de rugosité moyen, voisin de 80 dans les galeries revêtues,

\mathfrak{R}_m une valeur moyenne du rayon hydraulique des sections situées entre les profils $X = O$ et $X = X$.

Remarquons qu'on peut écrire aussi

$$P_w = \psi^2 X \frac{W_m^2}{2g} \text{ en posant } \psi = \frac{\sqrt{2g}}{k \mathfrak{R}_m^{2/3}}$$

mais comme d'après (1 ter)

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{\Delta f_m}{f_m} a_m \\ P_w &= \psi^2 X \left(\frac{\Delta f_m}{f_m} \right)^2 \frac{a_m^2}{2g} \end{aligned}$$

et la force de frottement, qui s'ajoute au second membre de l'équation (11) s'exprime par :

$$-\gamma \psi^2 X \left(\frac{f_m \Delta f}{f_m} \right)^2 \frac{a_m^2}{2g} f.$$

La difficulté est d'introduire les valeurs moyennes de $f_m \Delta f_m$ et a_m . On peut remarquer cependant que l'application de ces formules se fait sur des ouvrages fort peu variables entre deux sections extrêmes et que le terme additionnel est en soi petit comparé aux autres termes de l'égalité (11). C'est pourquoi on ne commet, en général, pas une grande erreur si l'on admet, comme première approximation :

$$f_m = f \quad \Delta f_m = \Delta f \quad a_m = a$$

Dans cette hypothèse, et en remarquant que, d'après (1 ter)

$$W_0 = \frac{\Delta f}{f} a$$

l'application plus complète du même théorème conduit à l'égalité :

$$\frac{\gamma}{g} f_0 a^2 \frac{\Delta f}{f} = \gamma Y \left(f_0 + \frac{1}{2} \xi \Delta f \right) - \gamma \psi^2 X \frac{\Delta f^2}{f} \cdot \frac{a^2}{2g}$$

d'où l'on tire, en tenant compte du frottement

$$a = \mp \sqrt{g Y \frac{f}{\Delta f} \left(1 + \frac{1}{2} \xi \frac{\Delta f}{f_0} \right) : \left(1 + \frac{1}{2} \psi^2 \frac{\Delta f}{f_0} X \right)} \quad (16)$$

valeur de la célérité dans le profil d'abscisse X à partir de l'origine de l'onde, qui doit d'ailleurs satisfaire à la relation de continuité du débit.

Comme on le voit, en confrontant les valeurs (12) et (16), le frottement apparaît sous la forme d'un dénominateur > 1 , mais qui est = 1 à l'origine de l'onde, pour $X = O$; alors (16) = (12). Le frottement a donc pour tendance de réduire légèrement la vitesse a de propagation de l'onde.

Application numérique.

A quelle hauteur Y , s'élève le plan d'eau aux deux extrémités du canal de fuite de 432,6 m de longueur d'une usine hydraulique, lors de l'ouverture des turbines, pour une augmentation de débit de 0 à 120 m³/s?

Le plan d'eau de la rivière à la restitution est à la cote 358,64 et c'est à ce niveau que l'eau est en équilibre, dans tout le canal de fuite, avant l'ouverture des turbines.

La cote du radier ayant pour valeur	à la tête amont	à la tête aval
on en déduit le tirant d'eau	352,85	352,50
$C = 5,79$	6,14 m	
et la section occupée	$f_0 = 46,26$	$49,24 \text{ m}^2$
Par tâtonnement, on admet	$Y = 1,80$	$1,95 \text{ m}$
et l'on vérifie (confr. fig. 8)	$\Delta f_1 = 15,58$	$12,60 \text{ m}^2$
	$\Delta f_2 = 3,29$	$1,00 \text{ m}^2$
	$\Delta f = 12,29$	$11,60 \text{ m}^2$
	$j = f_0 + \Delta f = 58,55$	$60,84 \text{ m}^2$
	$g Y f \cdot \Delta f = 12690$	13500

Influence du poids

de l'onde.	$B_2 = 5,27$	$3,64 \text{ m}$
	$G = 0,94$	$1,01 \text{ m}$
$\frac{1}{2} \xi = G : Y = 0,525$	0,525	0,518
$1 + \frac{1}{2} \xi (\Delta f : f_0) = 1,439$	1,439	1,422

Influence du frottement.

$X = 0,0$	432,6 m
$\mathfrak{R}_m =$	2,52 m
$k = 80$ (Strickler) $\psi =$	0,03
$1 + \frac{1}{2} \psi^2 \cdot X (\Delta f : f_0) = 1,0$	1,046

De ces valeurs on tire : $a = 9,80$ $10,40 \text{ m/s}$
 $Q^2 = 14,400$; $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$; $W = 2,05$ $1,98 \text{ m/s}$

On obtiendra ainsi les valeurs de la célérité de l'onde, aux deux bouts du canal, et de la vitesse de régime, une fois ce régime établi pour un débit constant de $120 \text{ m}^3/\text{s}$.

§ 5. Calcul de l'onde dans le cas où son volume remplit le profil de la galerie. Galerie de fuite.

Jusqu'ici il n'a pas été question de considérer un profil fermé, mais les formules qui précèdent s'appliquent facilement à un tel profil, pourvu que ce profil ait un axe de symétrie vertical et qu'il s'agisse d'un libre écoulement de l'eau.

Un cas intéressant se produit dans certaines usines hydrauliques ayant comme canal de fuite une galerie à profil fermé d'assez grande longueur. Si le niveau du cours d'eau qu'on utilise varie sensiblement au point de restitution de l'ouvrage de fuite, on peut être amené à envisager certains états du niveau d'aval pour lesquels la galerie de fuite se mettrait complètement en charge.

Dans un cas pareil, on est presque toujours conduit à envisager une chambre d'équilibre de dimensions énormes, surtout si la chute utilisée est faible, car on tient en général à réduire entre certaines limites l'amplitude de l'oscillation.

On serait même parfois amené, pour ne pas donner à la chambre des dimensions extravagantes, à renoncer purement et simplement au fonctionnement de l'usine en cas de crue, c'est-à-dire quand le niveau d'aval conduirait à mettre la galerie de fuite *sous pression* ou bien on est poussé à situer la galerie de fuite trop haut — donc à perdre de la chute — et à choisir pour elle un profil trop grand — et par conséquent trop cher — de façon qu'elle puisse fonctionner *toujours à libre écoulement*.

Or il n'est pas, en général, nécessaire d'exiger de la galerie de fuite à libre écoulement que sa calotte, restée libre, puisse emmagasiner tout le volume d'eau soulevé par l'onde de démarrage. On peut souvent, au contraire, envisager en tête de la galerie de fuite, à la sortie des turbines, une chambre d'équilibre, mais *de dimensions beaucoup plus modestes* que celles nécessitées lors d'une galerie en charge, si on se borne à exiger de cette chambre qu'elle n'emmagesine momentanément que le surplus du volume d'eau soulevé par l'onde, qui n'aurait pas trouvé place dans la calotte, ordinairement libre, de la galerie.

Il s'agirait alors du calcul d'un *régime mixte* dont la *première phase* serait constituée par le remplissage progressif du profil jusqu'alors resté libre le long de la galerie dans lequel l'onde est régie par les formules développées plus haut.

Dès l'instant cependant où l'onde aurait rempli le profil, le niveau monterait d'une part dans la chambre d'équilibre dont il vient d'être question et l'onde, d'autre part, continuerait à avancer, à une certaine célérité, jusqu'au moment où elle aurait atteint l'extrémité aval de la galerie.

C'est cette *seconde phase* que nous voulons examiner maintenant et dans laquelle les niveaux caractéristiques sont représentés schématiquement sur la fig. 9.

Il s'agit, en d'autres termes, d'établir la valeur de la célérité ou vitesse de propagation de l'onde en fonction d'une certaine pression Z mesurée au-dessus du niveau statique initial dans la chambre d'équilibre.

A cet effet, désignons (fig. 9) par

A ... la hauteur du profil de la galerie de fuite comptée au-dessus du radier.

C ... le tirant d'eau dans le profil, *avant la mise en marche* des turbines ; ce niveau règne

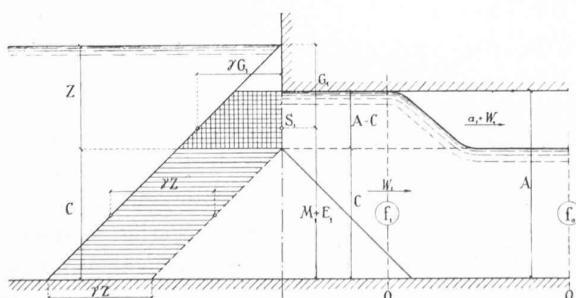


Fig. 9.

alors tout le long de la galerie de fuite et coïncide avec le niveau de restitution dans le cours d'eau.

B_1 ... la largeur du profil correspondant au tirant d'eau C .

f_0 ... la section du profil, de hauteur C au-dessous de B_1 occupée par l'eau avant le passage de l'onde.

Z ... la hauteur d'eau à l'instant t , mesurée dans la chambre d'équilibre au-dessus du niveau statique initial.

Δf_1 ... la part de la section du profil remplie d'air avant le passage de l'onde et qui se remplit d'eau complètement dans la suite.

f_1 ... la section complète du profil de la galerie qui, dans ce cas particulier, est occupée entièrement par l'onde,

$$f_1 = f_0 + \Delta f_1$$

a_1 ... la célérité de l'onde dans un profil déterminé situé à la distance X à partir de la tête amont de la galerie.

La relation cherchée entre les diverses grandeurs peut s'obtenir à l'aide des mêmes relations que précédemment, à savoir :

1. la relation de continuité.

Si l'on désigne par Q_1 le débit qui, à l'instant t et sous la pression Z s'écoule par la galerie, et par W_1 la vitesse moyenne correspondante dans le profil complet de section f_1 , on a

$$Q_1 = f_1 W_1 = \Delta f_1 \cdot a_1 \quad (17)$$

2. le théorème de l'accroissement de la quantité de mouvement.

Pendant l'unité de temps, la relation peut s'écrire maintenant :

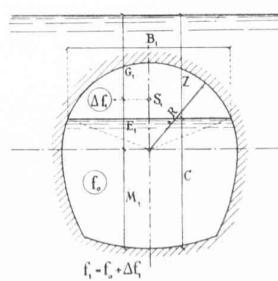
$$\frac{\gamma}{g} f_0 a_1 W_1 = \gamma f_0 Z + \gamma \Delta f_1 \cdot G_1 - \gamma P_{w_1} f_1. \quad (18)$$

G_1 désigne ici la distance (horizontale) des centres de gravité de deux sections normales au plan de la figure, à savoir : la distance du centre de gravité de la section oblique délimitant le cylindre des pressions, à celui de la section droite dont l'aire est Δf_1 .

Si l'on compare ici aussi l'aire Δf_1 de la section droite quelconque à celle d'un rectangle de même largeur B_1 et de même hauteur $Z - (A - C)$, on peut écrire le 2^e terme du second membre sous la forme :

$$\gamma \cdot \Delta f_1 \cdot \xi_1 \left\{ Z - \frac{1}{2} (A - C) \right\} \quad (19)$$

car, en effet, la pression totale résultant d'une répartition trapézoïdale de la même hauteur d'eau Z sur la hauteur $(A - C)$ de la sec-



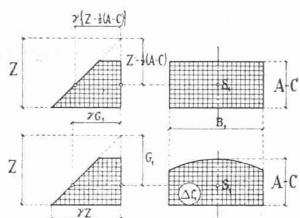


Fig. 10.

tion primitivement libre du profil s'écrit (fig. 10).
a) dans le cas d'un rectangle :

$$\frac{1}{2}\gamma B_1(A-C)\left\{Z+Z-(A-C)\right\}=\gamma\Delta f_1\left\{Z-\frac{1}{2}(A-C)\right\}$$

b) pour une surface quelconque Δf_1 ayant même base B_1 et même hauteur $(A-C)$ que le rectangle :

$$\int pd\bar{f}_1=\gamma\int Zd\bar{f}_1=\gamma\cdot\Delta f_1\cdot G_1=\gamma\cdot\xi_1\cdot\Delta f_1\left\{Z-\frac{1}{2}(A-C)\right\}$$

d'où l'on tire :

$$\xi_1=\frac{G_1}{Z-\frac{1}{2}(A-C)} \quad (20)$$

Dans le cas du *profil circulaire* (fig. 9 et 11) :

$$G_1=Z-(A-C)+R-E_1$$

expression dans laquelle R désigne le rayon du profil circulaire et

$$E_1=\frac{1}{12}\cdot\frac{B_1^3}{\Delta f_1}$$

la distance du centre de gravité S_1 du segment primitivement aéré au centre du cercle.

Quant à la *force de frottement*, on l'exprimera comme précédemment sous (15) en faisant usage de la même

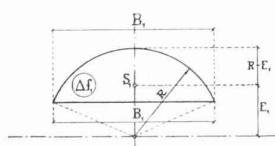


Fig. 11.

hypothèse simplificatrice. L'équation (18) se transforme dès lors, en tenant compte de (17)

$$W_1=\frac{\Delta f_1}{f_1}a_1$$

comme suit :

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{g}f_0a_1^2\frac{\Delta f_1}{f_1} &= \gamma Z(f_0+\xi_1\Delta f_1)-\frac{1}{2}\gamma(A-C)\xi_1\Delta f_1 - \\ &- \gamma\psi^2 X\frac{\Delta f_1^2}{f_1}\frac{a_1^2}{2g}. \end{aligned}$$

En tenant compte de :

$$f_1:f_0=(f_0+\Delta f_1):f_0=1+\frac{\Delta f_1}{f_0}$$

on en tire :

$$a_1=\pm\sqrt{\left\{\frac{gZ}{f_1}\left(1+\xi_1\frac{\Delta f_1}{f_0}\right)-\frac{1}{2}\gamma(A-C)\xi_1\left(1+\frac{\Delta f_1}{f_0}\right)\right\}\left(1+\frac{1}{2}\psi^2\frac{\Delta f_1}{f_0}X\right)} \quad (21)$$

valeur de la célérité, à la distance X de la tête amont de la galerie, sous la pression Z mesurée au-dessus du niveau statique initial. Cette valeur de a_1 doit satisfaire en outre à l'équation de continuité (17) :

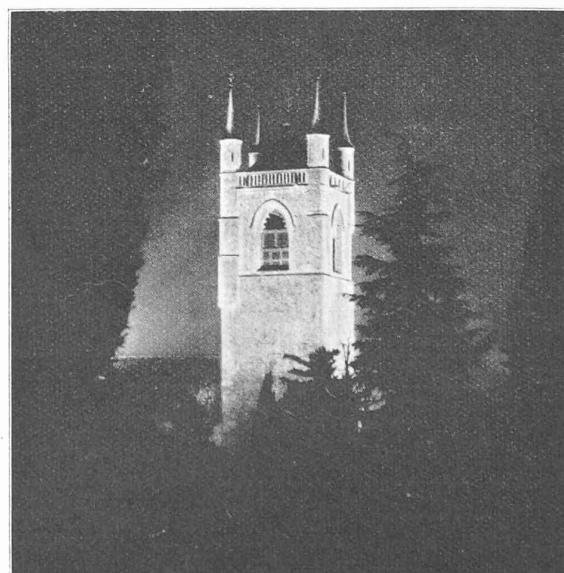
$$Q_1=\Delta f_1\cdot a_1.$$

Cette nouvelle expression (21) a une forme semblable à (16), mais elle en diffère essentiellement par la présence de la hauteur Z dans la chambre qui précède la galerie (au lieu de la hauteur Y de l'onde elle-même), par l'absence du facteur $\frac{1}{2}$ devant le coefficient ξ_1 , par la présence d'un 3^e terme au numérateur. Elle permet enfin d'estimer plus aisément l'effet du frottement, puisque les valeurs de $f_1\Delta f_1$ et \mathcal{R} (que contient implicitement ψ) se rapportent maintenant à la section complète du profil.

(A suivre.)

Un cas intéressant d'éclairage des édifices par projection (« floodlighting »).

L'éclairation des édifices publics présentant quelque caractère architectural est, depuis quelques années, toute à l'ordre du jour. Il ne se passe pas de fête d'une certaine importance sans que l'électricité vienne apporter sa part à l'allégresse générale. Nous rappellerons, pour mémoire, les illuminations de la Fête des narcisses, à Montreux, et celles de la Fête des vignerons de 1927, à Vevey, où la lampe à incandescence de toutes couleurs fut reine et maîtresse sur les rives de notre bleu Léman. A la Fête des vignerons plus de 40 000 lampes furent installées, ce qui représente près de 20 km de cordon.



La tour de l'église St-Martin, à Vevey,
éclairée par projection.