

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 62 (1936)
Heft: 4

Artikel: Les essais sur ouvrages existants (suite et fin)
Autor: Huebner, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47560>

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: 30.06.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs

Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs

Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements

s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. — Organe de publication de la Commission centrale pour la navigation du Rhin.

COMITÉ DE RÉDACTION. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève. — Secrétaire : EDM. EMMANUEL, ingénieur, à Genève. — Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. C. BUTTICAZ, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur cantonal ; E. PRINCE, architecte ; *Valais* : MM. J. COUCHEPIN, ingénieur, à Martigny ; HAENNY, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION : H. DEMIERRE, ingénieur, 11, Avenue des Mousquetaires,
LA TOUR-DE-PEILZ.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DU BULLETIN TECHNIQUE

A. DOMMER, ingénieur, président ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER ; E. SAVARY, ingénieur.

ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,
largeur 47 mm. :

20 centimes.

Rabais pour annonces
répétées.

Tarif spécial
pour fractions de pages.

Régie des annonces :

Annonces Suisses S. A.
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)
Lausanne

SOMMAIRE : *Les essais sur ouvrages existants* (suite et fin), par M. FRITZ HUEBNER, ingénieur. — *Moteurs Diesel suisses pour l'étranger*, par M. C.-H. WAETJEN, ingénieur-conseil. — *Etude comparative du coût d'exploitation des procédés usuels de chauffage domestique central*. — *La locomotive Franco*. — *Les autorails Diesel des Chemins de fer fédéraux*. — *Plan d'étude du problème des transports*. — *III^{me} Cours supérieur de photogrammétrie, à l'Ecole polytechnique fédérale*. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des ingénieurs et des architectes*. — *Société vaudoise des ingénieurs et des architectes* : *Aide aux ingénieurs, architectes, techniciens et dessinateurs au chômage*. — « *La parole est aux architectes...* » — *Le mécanisme du coup de bélier*. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS.

Les essais sur ouvrages existants.

(Suite et fin.)¹

Ce qui nous préoccupe dans la question du retrait du béton — question très importante pour la longévité des constructions en béton armé se trouvant en plein air — ce n'est pas précisément la simple déformation linéaire ou axiale, qui est une contraction assez bien connue que subit le béton sous l'influence aujourd'hui encore inévitable du retrait. Où nous nous trouvons encore un peu dans le vague, c'est au sujet de l'influence très spéciale des armatures, qui diminuent les variations linéaires en question suivant la proportion des barres. Or, dans le béton armé, nous nous trouvons presque continuellement en présence de sections inégalement armées et par suite de contractions variables dans une même section de poutre. Sous leur effet la poutre subit inévitablement non seulement la déformation linéaire dite axiale de 0,2 pour mille que seule on a l'habitude de faire intervenir dans les calculs, mais encore et surtout une courbure secondaire. Or, dès qu'elle est empêchée par des encastrements quelconques aux appuis de la poutre, cette déformation secondaire entraîne nécessairement des moments supplémentaires, que l'expérience enseigne être suffisants pour entraîner des fissurations qui peuvent être dangereuses. Nos calculs hyperstatiques rendent avec une exactitude pratiquement suffisante les contraintes qu'engendre ledit retrait axial. Les effets de déformations secondaires auxquelles est exposée toute poutre encastree et inégalement armée sont, par contre, encore trop peu étudiés et, au surplus, on ne leur prête pas toute l'attention qui leur est due.

Quoique la théorie de la poutre continue nous apprend que l'élasticité verticale des appuis peut altérer les moments fléchissants de la poutre, bien souvent les ingénieurs ne se rendent pas encore suffisamment compte du fait que spécialement les poutres en béton armé sont extrêmement sensibles à des dénivellations inégales des appuis. Nous reconnaissons qu'aujourd'hui encore la complication des calculs y relatifs est la raison majeure de la trop faible attention prêtée à la question. Mais puisque les conséquences sont parfois même sérieuses, il importe d'étudier de plus près le problème, en ayant recours plus fréquemment que jusqu'ici à des essais systématiques sur

ouvrages. Car seuls ces essais démontreront les particularités dues au caractère plus ou moins monolithique d'une construction, qui déterminent l'application convenable des théories mathématiques et la solution juste du problème.

Le problème de la répartition des charges est certainement l'un des plus importants parmi les cas particuliers de la poutre continue sur appuis élastiques que nous venons d'effleurer. Si la répartition toute locale des surcharges isolées est réglée par les dispositions y relatives et suffisamment exactes des règlements de construction en vigueur, la répartition des charges qui s'effectue entre les divers éléments d'une construction, exige au contraire l'étude par essais systématiques sur des ouvrages. En principe cette dernière répartition se fait incontestablement d'après la théorie de la poutre continue sur appuis élastiques, facile à appliquer, mais compliquée par la difficulté de faire intervenir les effets réels des liaisons entre les divers éléments d'un ouvrage, le moment d'inertie de l'élément qui agit effectivement dans le travail de répartition et les flexions spécifiques des poutres qui lui servent d'appui.

Le désir de simplifier les calculs y relatifs, toujours compliqués, sans pour cela quitter le terrain théorique et tomber dans l'empirisme, conduisit celui qui vous parle à tirer parti, avec garantie d'une exactitude pratiquement suffisante, des tableaux concernant la poutre continue sur appuis élastiques, dressés par feu le professeur W. Ritter, de l'Ecole polytechnique fédérale. Les recherches dans ce but, faites à l'aide d'auscultations sur de nombreuses constructions métalliques, en béton armé et en bois nous ont prouvé que la méthode simplificatrice visée est effectivement applicable sans se heurter à des difficultés mathématiques. Par ailleurs, les expériences en question nous ont clairement enseigné comment il fallait évaluer les moments d'inertie et les flèches spécifiques, pour répondre à la réalité à l'aide de notre méthode expéditive et avec une exactitude pratiquement suffisante ; nous ne voulons toutefois pas en inférer que des études ultérieures seraient superflues.

Le biais des ponts pose également des problèmes d'importance pratique. Les essais y relatifs ont démontré que la sollicitation des poutres longitudinales est plus favorable que selon les calculs usuels, qui admettent ces poutres comme étant indépendantes les unes des autres. Le soulagement des poutres augmente sensiblement avec le biais et mérite donc d'être étudié de plus près encore par des essais systématiques.

¹ Voir *Bulletin technique* du 1^{er} février 1936, page 25.

Les effets dynamiques des surcharges sont aujourd'hui d'une importance capitale, notamment eu égard aux sollicitations admissibles suivant les nouveaux règlements. Les résultats d'expériences pratiquées sur les ouvrages sont très nombreux, mais ils diffèrent parfois fortement dans leurs conclusions. Cela tient au fait que de nombreux facteurs interviennent dans cette question qu'il sera toujours très difficile de déterminer d'une manière vraiment satisfaisante. Pour ce même motif, les études purement théoriques ne peuvent donner que des résultats approximatifs et ne satisfaire que dans des cas idéaux.

Dans un pont-rail par exemple, les causes principales des effets dynamiques sont les joints de rails et les méplats des roues des véhicules. Leur intensité varie d'après leur constellation tout accidentelle. Il en sera de même pour les ponts-routes, où les inégalités du chemin de roulement sont la cause principale des effets dynamiques. Puis, les efforts dynamiques se transmettent de leur point d'origine aux autres pièces porteuses par l'intermédiaire des tabliers; les effets d'élasticité spécifique qui interviennent sur ces chemins de translation sont une raison de plus pour varier le problème presque à l'infini. Néanmoins et malgré les difficultés mentionnées, ce n'est que l'auscultation d'ouvrages existants qui peut, en fin de compte, donner des valeurs acceptables pour la pratique.

Un problème spécial des effets dynamiques est celui des vibrations, auxquelles — à notre époque de circulation lourde sur voie ferrée ou routière et de bruits de tous genres — les bâtiments en particulier sont exposés. Le problème des vibrations qui entre ici en compte se distingue quelque peu de celui des effets dynamiques susmentionnés, parce qu'il s'agit là, en général, de vibrations extrêmement petites, mais néanmoins dangereuses pour une construction, le cas échéant. Lorsque de pareilles vibrations dépassent certaines limites aujourd'hui bien déterminées, elles peuvent être la cause ou de désagréments insupportables pour les habitants, ou de détériorations proprement dites aux planchers ou aux murs. Ce dernier cas peut devenir particulièrement grave lorsque des actions rythmées de charges quelconques conduisent à des phénomènes de résonance. L'observation des vibrations exige des appareils d'une extrême sensibilité, soit des espèces de sismographes. Vu la délicatesse de pareilles études, et le prix de revient plutôt élevé des appareils, il est évident qu'il s'agira nécessairement d'études expérimentales relativement coûteuses, ce qui cependant ne diminue en rien leur nécessité. Le problème de la sonorité dans les bâtiments étant également un problème de vibration, nous estimons qu'il pourra être bien éclairci à l'aide d'auscultations avec le sismographe.

Parmi les problèmes qui exigent en tout cas des études simultanées ou parallèles d'après diverses méthodes expérimentales, nous mentionnerons d'abord *le jeu des contraintes dans les goussets d'attache des poutres métalliques évidées*. Ce problème, déjà bien expérimenté, se prête particulièrement à une étude plus approfondie par la méthode photo-élastique par exemple.

Les conditions d'encastrement des longerons et des entretoises devraient surtout être analysées par des études détaillées des déformations toutes locales, en se servant de modèles d'attaches. Ce problème est évidemment de grande importance pour des ouvrages neufs, mais il l'est surtout pour le renforcement de ponts ne répondant plus aux exigences du trafic moderne.

Les tensions secondaires qui résultent de la soudure sont appréciées très différemment par les constructeurs, malgré les nombreux essais déjà entrepris, essais de laboratoire avant tout. Les résultats acquis seraient incomplets, si l'on n'étudiait pas parallèlement — dans les ateliers et sur les ouvrages définitivement assemblés — les déformations locales et les contraintes parasites qui résultent de la soudure. Aujourd'hui, avec l'appareil dit « comparateur », ces mesures se pratiquent aisément. Mais elles exigent du temps, parce qu'il est indispensable d'exécuter ces mesures sur un nombre de points le plus grand possible.

Les variations du moment d'inertie de poutres en béton armé doivent être envisagées non seulement du point de vue du calcul et de l'exécution d'un projet, mais aussi de celui des auscultations d'ouvrages existants. Pour l'interprétation des résultats d'auscultations, il est indispensable de connaître la

variation toute particulière du moment d'inertie eu égard à la progression de la fissuration dans les régions tendues, compte tenu de l'effet du retrait, qui dépend de l'âge du béton et, ainsi que nous l'avons déjà dit, du pourcentage des armatures. Il s'agit là, avant tout, d'études de laboratoire.

L'efficacité d'encastrements provoqués par la *résistance des poutres à la torsion* doit être étudiée parallèlement sur des ouvrages existants, et par des essais de laboratoire pour déterminer, à titre de comparaison, la résistance d'éléments identiques, mais détachés des liaisons que l'on trouve dans un ouvrage.

Puis, les remarquables *études autrichiennes sur les encastrements* réalisables par le contact entre des poutres et des murs méritent — vu la grande importance pratique de ce genre d'encastrement — d'être complétées par des études sur modèles en chantiers spéciaux et, parallèlement, par des auscultations sur ouvrages existants.

Enfin, *les encastrements des blocs de fondations*, réalisables suivant les diverses natures de terrain exigent toute notre attention. Ce problème nécessite impérieusement la poursuite des études suivant des méthodes précises de laboratoire, embrassant systématiquement nos principaux sous-sols de fondation. Ces études très compliquées ne devraient plus être simplement traitées au hasard de nécessités accidentelles et locales; il s'agit là, bien au contraire, de questions d'un intérêt vraiment général. Des études sur ouvrages existants, visant les déformations que subissent effectivement les fondations, sont tout aussi indispensables; il est surtout de haute nécessité de poursuivre ce genre d'observations durant de longues périodes, vu le rôle décisif que joue ici la durée des sollicitations de tout sous-sol qui n'est pas du roc.

Dans le domaine des résistances des sols rentre aussi le problème de *la poussée des terres*. Les théories connues diffèrent quelque peu au sujet de la valeur de la poussée, ce qui ne peut guère étonner, puisque la cohésion entre les particules de terre, dont dépend la pente de la surface de glissement, peut varier pour des raisons diverses. Puisqu'en fin de compte ce n'est pas la poussée elle-même qui intéresse, mais plutôt son influence sur les tunnels et sur les murs de soutènement, compte tenu du frottement entre le terrain et la face arrière des murs, il nous semble de haute importance de poursuivre le problème de la poussée des terres non seulement par des études de laboratoire, mais encore au moyen d'auscultations directes des contraintes développées dans les constructions qui sont appelées à supporter ces poussées. Ces observations sont aujourd'hui faciles, depuis que nous possédons le « comparateur » déjà mentionné, qui permet — nous le répétons — des contrôles aussi nombreux que nécessaires et que précisément la durée des poussées de terre peut jouer un grand rôle, eu égard au fait surtout, que la poussée varie, entre autres, avec le degré d'humidité du terrain.

Semblablement on éclaircira sans difficultés, toujours au moyen du comparateur, *les contraintes que subit un élément quelconque d'un barrage*. Ici la pression de l'eau est bien déterminée, mais les états de sollicitation de ces ouvrages sont variables et dépendent d'hypothèses diverses.

L'influence du retrait inégal du béton ou de températures inégales ne saurait être déterminée par des considérations mathématiques. Des essais de laboratoires sont indispensables pour nous renseigner sur les *déformations* mêmes que subissent des éléments dépourvus de liaisons effectives avec d'autres éléments, lorsqu'ils sont exposés à des températures n'agissant que sur une partie de leur section, ou bien au retrait, compte tenu de la dissymétrie de l'armature. Seuls les résultats de pareils essais permettent des calculs plus rigoureux qui tiennent compte de ces effets accidentels, sur lesquels nos nouveaux règlements appellent du reste l'attention. Mais nous sommes obligés de contrôler ensuite ces phénomènes accessoires dans les ouvrages mêmes, parce que leurs effets dépendent finalement des conditions individuelles d'un ouvrage et surtout de la durée des actions mentionnées.

Enfin, pour être complet, nous ne devons pas oublier les *observations spéciales* auxquelles ont donné lieu nos *grands barrages*. Il est hors de doute que les divers problèmes abordés, savoir les études spéciales sur l'oscillation de la température à l'intérieur des barrages et sur les déformations des barrages

dans l'espace, ainsi que l'observation des déformations locales déjà mentionnées, linéaires ou angulaires, méritent plus d'attention. A ce propos, nous tenons à relever que les méthodes géodésiques appliquées par le Service fédéral de topographie, sont très recommandables et qu'elles peuvent aussi rendre de grands services dans la recherche des causes de mouvements inattendus d'ouvrages autres que des barrages.

* * *

Notre exposé vise évidemment à mettre en lumière les essais systématiques sur ouvrages existants ; nous nous hâtons cependant de dire que ce genre d'essai ne suffit pas à lui seul, notamment lorsqu'il s'agit de questions de détails ou de propriétés fondamentales des matériaux dont l'étude doit s'aider des méthodes plus précises de laboratoire.

On peut dire sans exagérer que les essais sur ouvrages existants sont indispensables pour se déterminer sur l'économie du renforcement de ces ouvrages, ou bien lorsqu'il s'agit de s'assurer du degré de sécurité qui subsiste dans un ouvrage mis en danger ensuite de quelque phénomène accidentel, mais qui serait difficile à renforcer. Ce dernier cas se présentera spécialement pour des ouvrages en béton armé, qui sont à cet égard dans une position nettement plus désavantageuse que les constructions métalliques ou les constructions en bois.

Les essais sur ouvrages existants sont enfin un excellent moyen d'éducation professionnelle ; ils nous permettent de pénétrer dans la vie intime des ouvrages, tâche qui serait bien souvent impossible par le seul moyen des calculs mathématiques. Nous avons voulu justifier en somme que les essais sur ouvrages existants peuvent et doivent venir en aide aux calculs mathématiques, sans lesquels aucun projet ne saurait être étudié et exécuté. Cette coopération est d'autant plus nécessaire aujourd'hui que les circonstances, d'une manière générale, et la concurrence acharnée entre l'acier, le béton armé et le bois nous obligent aux plus grandes économies sans toutefois porter atteinte à la sécurité des ouvrages.

Les tâches et les obligations qui incombent aux ingénieurs civils sont aussi belles que vastes ; mais, hélas, par le temps qui court, et alors que tant d'incompétences croient pouvoir discuter de ponts, de charpentes ou de constructions similaires, il leur faut du courage, de la volonté et du cœur pour imposer la science et l'intégrer dans la pratique ainsi que nous l'avons mis en évidence. Et pourtant il faut réserver de plus en plus aux ingénieurs qualifiés les tâches relevant du génie civil.

Nous disions tout à l'heure que les essais sur ouvrages existants étaient un excellent moyen d'éducation professionnelle. Or, pour les étudiants — et je tiens à en parler, puisque j'ai l'honneur de professer à l'Ecole d'ingénieurs — nous pouvons le faire dans un milieu qui n'est pas encore atteint par des considérations accessoires, souvent très étrangères à la science. Nous avons le bonheur de guider les plus jeunes d'entre nous vers le respect de la science, et la conviction que ce n'est qu'à l'aide des connaissances théoriques acquises, mais appliquées en pleine connaissance de cause, que nous arriverons à faire face aux plus hautes exigences d'ordre pratique, tout en restant dans les limites des capacités de résistance propres à chacun des matériaux de construction.

Ainsi nous paraît-il plus indispensable que jamais d'enseigner la construction des ponts et des charpentes sans jamais nous lasser de saisir toute occasion et de tirer parti de tous les problèmes qui se présentent pour attirer l'attention sur la fonction de chaque élément dans l'ensemble de l'ouvrage, compte tenu des enseignements des auscultations. On arrivera ainsi à inculquer aux jeunes une manière de flair pour pénétrer les secrets de la vie intime des ouvrages — appelons cela un diagnostic, si vous voulez — ainsi que le vrai sens de cette considération fondamentale qu'aucune construction n'offre une solidité supérieure à celle de son élément le plus faible. Ce n'est, en effet, que par l'étude complète de la sensibilité des éléments d'un ouvrage aux actions les plus diverses qui se manifestent dans les constructions que réside l'art de manier les théories fondamentales en vue des nécessités pratiques, ainsi que cet autre art aussi — non moins important — de faire intervenir la réflexion scientifique là où des calculs trop considérables et coûteux ne se justifient plus.

Tous nos efforts tendant à associer ainsi la science à la pratique, ou en d'autres termes, toutes nos aspirations de construire économiquement, mais en respectant les propriétés spécifiques des matériaux, seront paralysés et même vains, si nous ne pouvons compter sur l'entière collaboration de tous les intéressés. Nous dépendons, au premier chef, de l'attitude que prendront les ingénieurs eux-mêmes à l'égard des questions soulevées dans notre exposé.

C'est aussi de la mentalité de nous, ingénieurs, que dépend en particulier la collaboration aujourd'hui si importante de nos collègues les architectes. Dans les édifices modernes qu'ils sont appelés à ériger de nos jours, ils se trouvent souvent placés devant des problèmes du pur domaine de l'ingénieur et — ce qu'il importe de spécifier — devant des problèmes parmi les plus compliqués et les plus difficiles à résoudre.

Mais, ce n'est pas des ingénieurs privés seulement, sollicités pour la plupart par de multiples soucis dus à la crise actuelle que dépend la réalisation de nos justes revendications ; ce sont aussi et surtout les ingénieurs des administrations qui, se trouvant momentanément dans une situation moins précaire que leurs collègues, sont le mieux placés pour se faire les champions de la profession et inculquer dans les milieux intéressés la foi en la science et la valeur des opérations qui sont uniquement destinées à sauvegarder les intérêts de la communauté. Amener les administrations — à tous les degrés — à plus de confiance en nos tendances et obtenir leur appui moral et matériel pour la réalisation des essais que nous avons exposés, voilà la condition essentielle pour la réussite des efforts que nous avons essayé d'esquisser dans leurs grandes lignes, et qui nous préoccupent à un si haut degré.

Puisse notre voix être entendue.

F. HUEBNER.

Moteurs Diesel suisses pour l'étranger,

par C. H. WAETJEN, ingénieur-conseil.

Les applications des moteurs Diesel au domaine des transports maritimes : Les premières applications des moteurs Diesel aux transports se trouvent dans la marine, où ils ont rapidement acquis une place très importante. Le tonnage mondial des navires propulsés par moteurs Diesel passe de 0 à 11 millions de tonnes entre les années 1910 et 1934. La vitesse des cargos à moteurs atteint facilement 16, celle des bateaux rapides 24 nœuds, de sorte que le Diesel-marin approche de près des résultats de la propulsion à vapeur.

L'économie des Diesel dans la marine : L'augmentation de la vitesse est moins onéreuse avec le Diesel qu'à la vapeur.

Un navire de 8000 tonnes à moteur, marchant à 14 nœuds, ne consommera que 12 à 15 tonnes de plus de combustible par jour pour une élévation de sa vitesse à 17 ou 18 nœuds, alors que cette même élévation de vitesse se traduirait par une augmentation de consommation de combustible de plus du double pour la vapeur.

Le Diesel s'est développé plus vite dans la marine que sur rails : Si le moteur Diesel s'est développé bien plus rapidement dans la marine que dans ses applications aux transports terrestres, cela tient simplement au fait des vitesses de rotation des hélices qui se rapprochent suffisamment de celles des moteurs pour permettre l'accouplement direct. Le couple de démarrage est aussi plus avantageux dans la marine. D'autre part, le logement du Diesel dans une coque de bateau est chose facile et la question de l'eau de refroidissement est simple à résoudre.