

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 79 (1961)  
**Heft:** 46

**Artikel:** Echange de chaleur dans les générateurs à pistons libres  
**Autor:** Huber, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65627>

### **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:** 27.01.2026

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

- [1] M. Berchtold: Zur Entwicklung der stationären Gasdynamik. SBZ 1960, Heft 28, S. 463.
- [2] W. Ritzmann: Neue Mercedes-Benz-Wagen. «ATZ» Sept. 1961.
- [3] J. S. Bright: Diesel Engines for use in light Delivery Vehicle and Taxi Service. «SAE Transactions» 1959 p. 449.
- [4] J. E. Mitchell: An Evaluation of Aftercooling in Turbocharged Diesel Engine Performance. «SAE Transactions» 1959 p. 401.
- [5] P. de Haller: Ueber eine graphische Methode in der Gasdynamik. «Techn. Rundschau Sulzer» 1945, Nr. 1.
- [6] G. Rudinger: Wave Diagrams for Nonsteady Flow in Ducts. D. van Nostrand Company, Inc. New York 1955.
- [7] M. Berchtold and H. P. Gull: Road Performance of a Complex Supercharged Diesel Truck. «SAE Transactions» 1960 p. 367.
- [8] H. Burri: Nonsteady Aerodynamics of the Complex Supercharger. ASME Presentation Gas Turbine Conference, Washington DC 1958.

## Echange de chaleur dans les générateurs à pistons libres

DK 621.438

Par R. Huber, Société d'Etudes Mécaniques et Energétiques, Rueil-Malmaison

La transmission de chaleur dans les moteurs thermiques a été l'un des domaines de recherche du professeur Eichelberg et sa formule, universellement connue, a fortement contribué au développement des machines thermiques et à l'analyse de leurs performances.

Lorsqu'il s'agissait de développer des générateurs à pistons libres comportant des moteurs deux temps à très forte suralimentation, la formule Eichelberg a joué un rôle décisif. Ce développement avait eu lieu en deux étapes. La première concernait la mise au point de compresseurs à pistons libres et permettait de résoudre les problèmes essentiels de la marche sans bielle ni vilebrequin. La deuxième étape, la transformation de ces compresseurs en générateurs avec des moteurs à très forte suralimentation avait soulevé deux questions importantes qui, sans réponse satisfaisante, risquaient de compromettre toute cette évolution d'une technique nouvelle.

Ces questions étaient: 1) Est-il possible de réaliser des moteurs deux temps alimentés en air à plusieurs atmosphères? 2) Peut-on, malgré les pertes additionnelles dans la turbine de détente, obtenir un rendement thermique acceptable?

Ces questions étaient d'autant plus justifiées qu'à l'époque la suralimentation, même des moteurs quatre temps, était à ses débuts et que les projets des générateurs à pistons libres prévoyaient des taux de suralimentation de moteurs deux temps de plusieurs atmosphères. Des taux aussi élevés sont encore de nos jours tout à fait exceptionnels et dépassent de loin les valeurs les plus élevées atteintes jusqu'à maintenant dans des moteurs classiques deux temps.

Les réponses à ces deux questions ont pu être données grâce aux calculs de l'échange de chaleur basés sur la formule

de Eichelberg. Ces calculs laissaient prévoir des échanges thermiques acceptables, ils montraient en plus que les pertes par les parois étaient si faibles que les gains en rendement ainsi réalisés compensaient en grande partie les pertes additionnelles de la turbine.

Les essais des premiers générateurs avaient confirmé les prévisions des calculs, les pertes dans les liquides de refroidissement de ces machines ne dépassaient pas 15 % de la chaleur introduite et le rendement du générateur était supérieur à 43 %.

Le développement ultérieur, se traduisant par une importante augmentation de la puissance massique, a conduit à un refroidissement plus intense de sorte que, sur les générateurs construits de nos jours, les pertes de chaleur du moteur atteignent environ 18 %; elles restent donc encore bien inférieures aux pertes des moteurs classiques.

Les générateurs à pistons libres, parrainés par la formule de Eichelberg, ont aujourd'hui atteint une utilisation importante et variée puisque plus de 300 000 ch sont installés dans des centrales électriques, sur des bateaux ou pour des applications diverses et plus de 200 000 ch sont en construction.

Nous mentionnons comme exemple une installation dans une usine de produits chimiques comportant 15 générateurs du type GS.34, fig.1. Ces générateurs alimentent, comme le montre le schéma fig.2, un collecteur de gaz sur lequel se trouvent branchées cinq turbines à détente entraînant des compresseurs. Ce groupe fonctionne sans interruption depuis plus de deux ans et chacun de ces générateurs a environ 15 000 h de marche. Le nombre de bateaux, propulsés par des groupes à pistons libres, s'élève à 40 et nous montrons

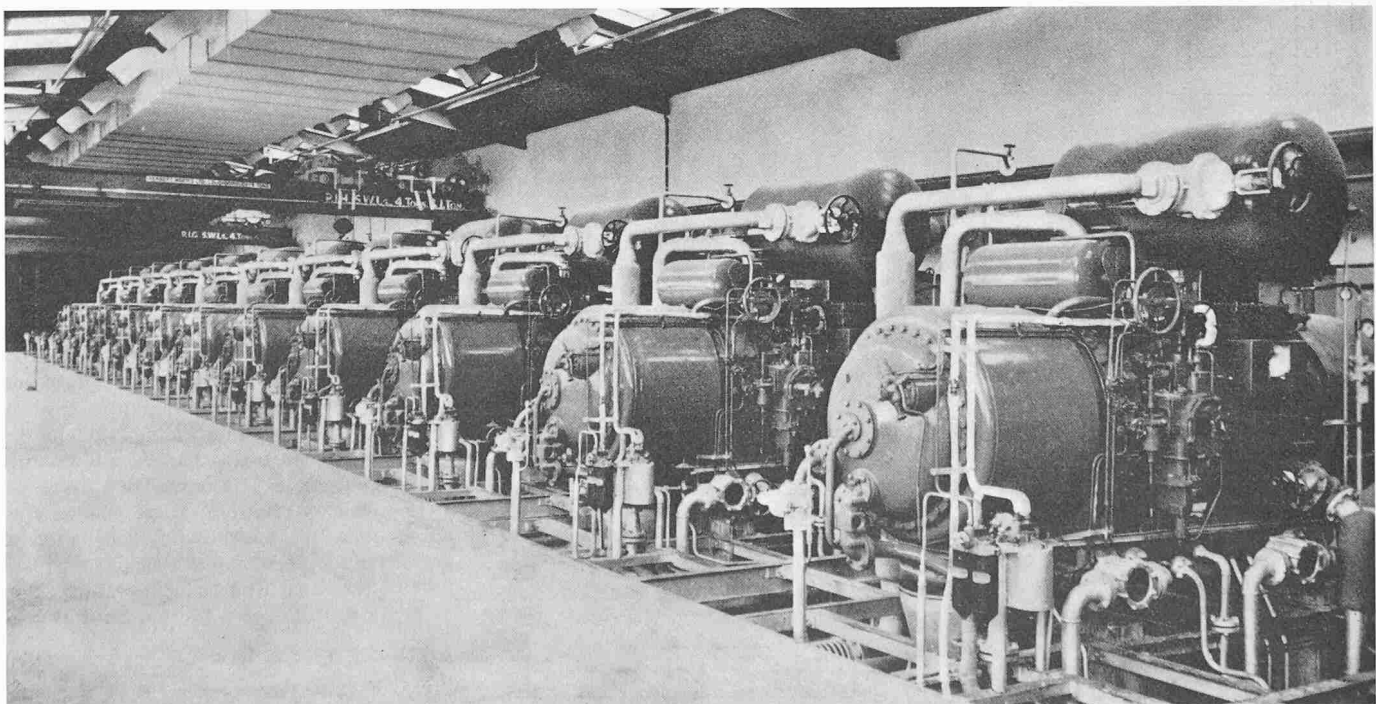


Fig. 1. Groupe de 15 000 ch dans une usine de produits chimiques, Salle des générateurs



Fig. 3. Remorqueur japonais de 2000 ch

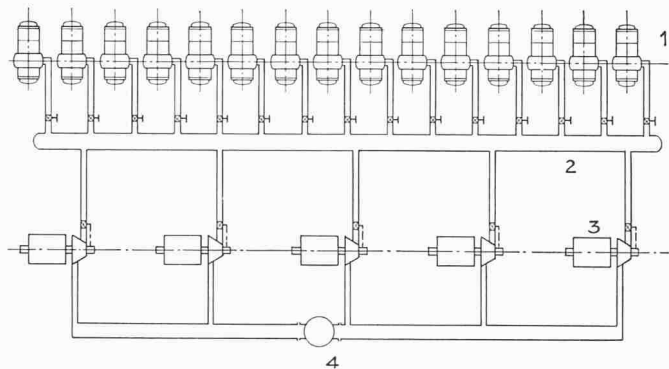


Fig. 2. Disposition schématique du groupe de la fig. 1. 1 générateur, 2 collecteurs de gaz, 3 compresseurs entraînés par les turbines de détente, 4 cheminées

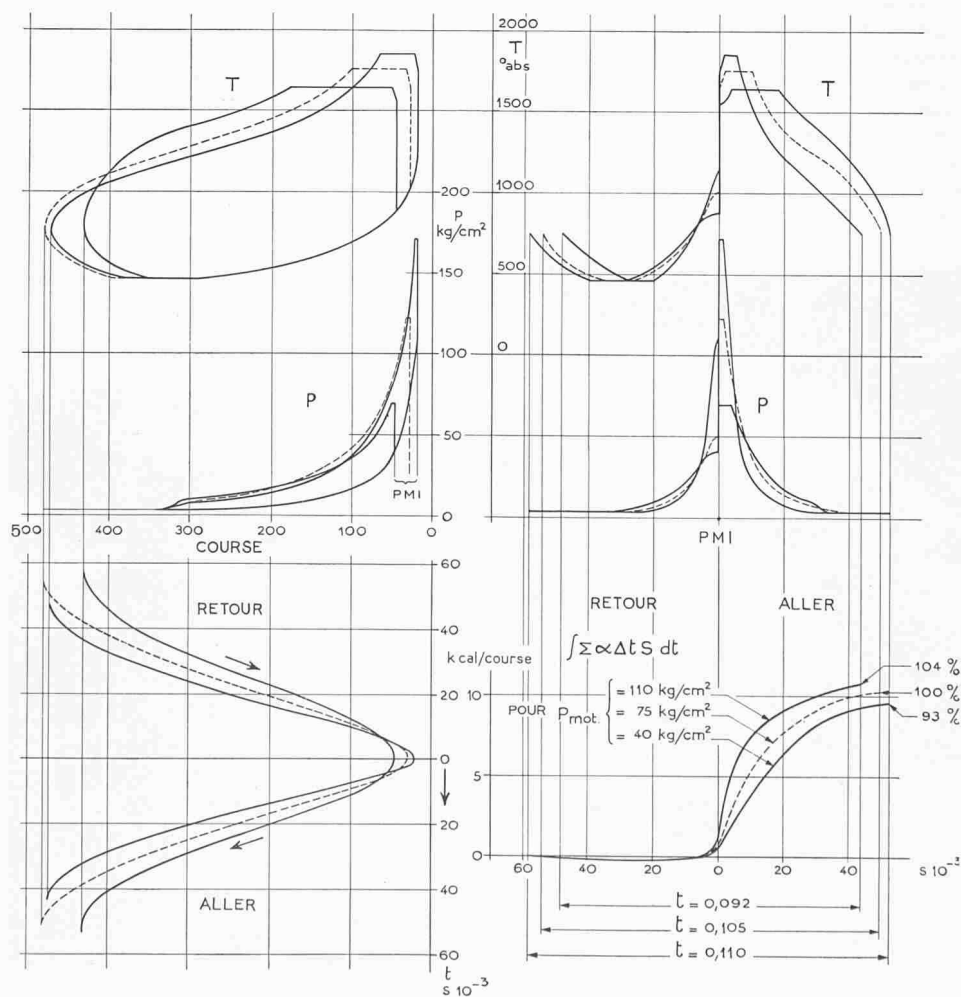


Fig. 4. Comparaison de la transmission de chaleur dans un générateur pour différentes compressions moteur

(fig. 3) le dernier de ces bateaux mis en service, un remorqueur japonais.

Eichelberg avait établi sa formule pour des moteurs non suralimentés et son application à des générateurs donne des valeurs quelque peu inférieures aux pertes de chaleur mesurées. Il devient alors nécessaire d'appliquer un facteur de correction tenant compte du degré de suralimentation. Cette influence a été récemment l'objet de recherches du Prof. W. Pflaum à Berlin et une formule Eichelberg modifiée fut publiée dans la littérature technique. En utilisant cette formule pour des calculs de l'échange de chaleur dans un générateur du type GS. 34, nous trouvons une très bonne concordance entre les pertes calculées et mesurées. En % de la chaleur introduite, nous obtenons pour les conditions de pleine charge:

	calculs	mesures
dans l'eau du cylindre moteur	11,1 %	12 %
dans l'huile de refroidissement des pistons	7,5 %	7 %
perte totale	18,6 %	19 %

La concordance des chiffres est encore plus satisfaisante si l'on se rappelle qu'une fraction de la chaleur qui pénètre dans les pistons passe à travers les segments dans le cylindre moteur.

La formule Eichelberg-Pflaum est très utile pour faire une estimation des charges thermiques et des pertes à différentes conditions de marche, par exemple à différents taux de compression dans le cylindre moteur.

On sait que dans un générateur à pistons libres les positions des fins de course ne sont pas fixées mécaniquement et que l'on peut, par simple action sur un organe de réglage, varier à volonté le taux de compression moteur. A taux de compression croissant, la charge thermique augmente puisque les pressions et températures du cycle moteur sont plus

élevées, mais comme d'autre part l'accélération des pistons au point mort moteur, proportionnelle à la pression, croît également, le temps pendant lequel les parois sont exposées aux fortes pressions et températures diminue.

Les résultats de ces calculs pour des pressions de compression moteur de 40, 75 et 110 kg/cm<sup>2</sup> sont données sur le graphique fig. 4. Ces calculs ont été faits pour un même  $\lambda$  donc pour une même quantité de combustible par course. On y voit qu'en portant la pression de 75 kg/cm<sup>2</sup> valeur normalement adoptée, à 110 kg/cm<sup>2</sup>, la perte de chaleur passe de 10,2 kcal/course à seulement 10,6 kcal/course et, en abaissant la pression à 40 kg/cm<sup>2</sup>, elle diminue à 9,5 kcal/course. Malgré cette augmentation des pertes, le rendement est, pour des raisons thermodynamiques, en marche à forte compression moteur nettement plus élevée et la puissance fournie est également plus grande puisque le nombre de battements croît. On aura d'après ces calculs tout intérêt de marcher à des taux de compression aussi élevés que possible aussi longtemps que la charge thermique des parois reste dans des limites acceptables. Il y a toutefois des facteurs qui aggra-

Fig. 5. Comparaison de la transmission de chaleur entre un générateur à pistons libres et un moteur à bielle-vilebrequin

vent les conditions de marche à taux élevé. L'un est le temps disponible à la combustion (temps entre PMI et ouverture des lumières d'échappement) qui diminue de 27 millisecc. à 40 kg/cm<sup>2</sup> de compression moteur à 19 millisecc. à 110 kg/cm<sup>2</sup>, et un autre facteur est l'effet des pressions élevées sur la tenue des segments moteurs.

Les essais ont démontré qu'il n'est pas facile de réaliser la combustion complète dans un cylindre de cette dimension et dans un temps aussi réduit.

L'influence primordiale du taux de compression moteur dans un générateur du type GS. 34 ressort du tableau 1.

La question se pose de savoir si des taux de suralimentation aussi élevés seraient réalisables dans un moteur à embiellage classique. La loi de la vitesse avantage les générateurs puisque les accélérations au point mort intérieur sont plus élevées que dans un moteur à vilebrequin, la détente des gaz s'effectue de ce fait plus rapidement et le temps d'exposition des parois aux pressions et températures élevées devient plus court. La différence entre moteur classique et moteur à pistons libres est montrée sur la fig. 5. Le diagramme  $p, V$  des deux types de moteur est le même; il est établi pour un  $\lambda = 2$  et en admettant une combustion à 50 % à volume constant, 10 % à pression constante et 40 % à température constante. Pour un même nombre de battements ou de tours, le temps entre le PM moteur et l'ouverture des lumières d'échappement est dans le cas du générateur 15 % plus court. Ces calculs montrent que les pertes de chaleur par les parois seraient dans un moteur à embiellage classique 18 % plus élevées que dans le cas des pistons libres. Cette influence est donc loin d'être négligeable et explique, du moins en partie, la possibilité de la marche à très forte suralimentation.

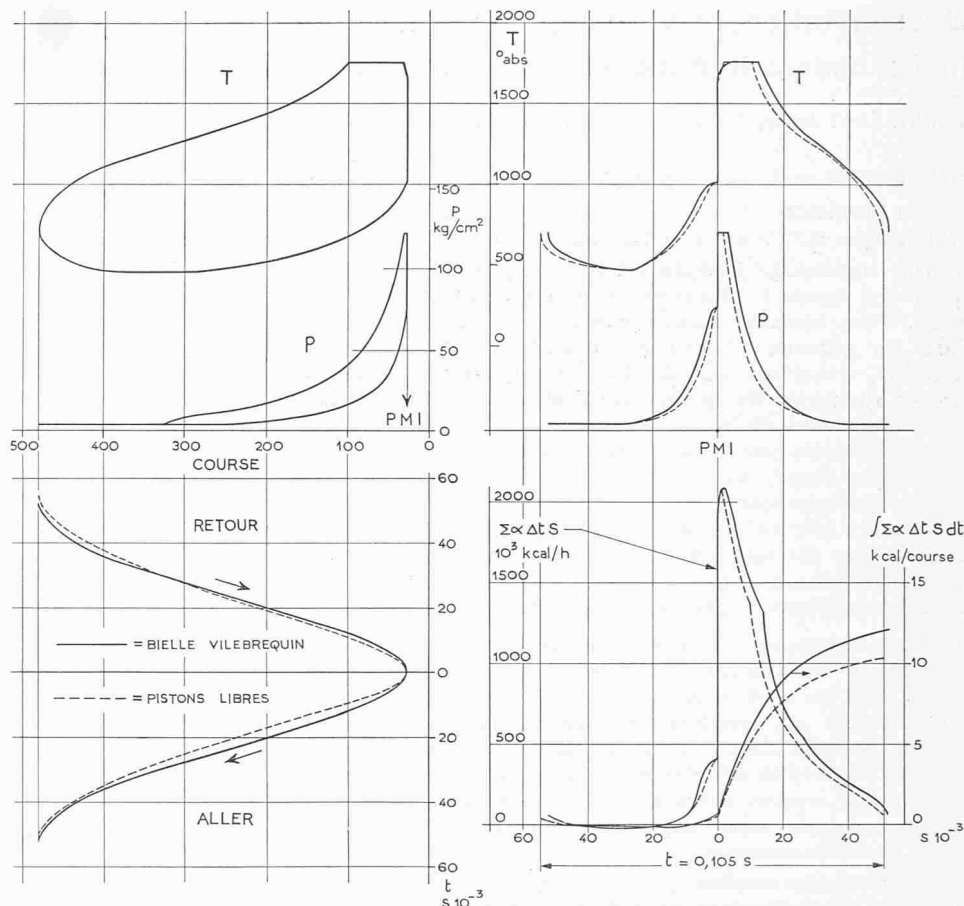
Tableau 1:

Compression moteur	kg/cm <sup>2</sup>	40	75	110
Nombre de battements	min <sup>-1</sup>	538	570	653
Puissance en gaz	ch	1100	1225	1430
Perte de chaleur par course	kcal	9,5	10,2	10,6
Perte de chaleur par unité de temps	%	88	100	121
Rendement en gaz	%	40	42	43

## Aussprüche Eichelbergs

(Fortsetzung)

Wer die Wirklichkeitsnähe technischer Arbeit erlebt hat und selbst Hand anlegte in gestaltendem Neuschaffen, der erfährt das Beglückende, dass unsere Hände mit Formkraft begabt sind. Ich möchte damit ausdrücken, dass die Prägekräft, die letztlich den Bau der Technik zu fügen vermochte, auf einem breiteren schöpferischen Grund des Menschen ruht, dass dafür der hellwache Intellekt allein nicht ausreichend wäre; denn jedes technische Neuwerk will geformt sein, es kann nicht bloss rein rational errechnet werden. Ueberall da, wo nicht schon eingefahrene Geleise angewandter Technik ausreichen, sondern wo schöpferisches technisches Wirken verlangt ist, da geht es um weit mehr als um ein bloss me-



chanisches Anwenden der mathematischen Regeln und der naturwissenschaftlichen Grunderkenntnisse.

Zwar müssen wir über beides verfügen: über das unserer Zeit gemässe mathematische Denken in Kurven, Funktionen und Differentialgleichungen — mit ihren modulationsreichen Lösungen und ihrer Anpassbarkeit an vorgegebene Bedingungen —, und auch über die aus der Analyse des Naturgeschehens gewonnenen Grundgesetze der Physik und Chemie; denn dies sind die Fundamente, auf denen unser Bau gegründet sein muss, und wo wir gegen Naturgesetze verstossen, da erfüllen sie sich gleichwohl, doch in ungewollten Bahnen, und die Folgen fallen auf uns.

Die Grundgesetze der Natur sind aber — im Suchen des Neuen — nicht selbstschöpferisch; sie sind nur die notwendigen, nicht die hinreichenden Bedingungen für das Gelingen eines Werkes. Sie sind die Rand- und Grenzbedingungen, die nicht verletzt sein dürfen. Das überraschend Neue aber einer technischen Synthese entsteht immer nur aus einer über die Elemente weit hinausreichenden Zusammenschau des Ganzen, und alle Berechnung ist stets nur Nachrechnung des Geschauten. Jeder Konstrukteur weiss, was hier gemeint ist; er muss die Kräfte vor sich sehen, die in seinem Motor spielen werden, um sie fassen und einformen zu können, und zugleich mit den Material- und Herstellungsmöglichkeiten muss er die oft sich widerstrebenden Anforderungen im Auge behalten, die für das spätere Funktionieren — etwa in strömungstechnischer oder verbrennungstechnischer Hinsicht — gleichzeitig befriedigt werden müssen. Und es ist die gleiche Gabe der Schau, die uns die künftigen Formen sehen lässt, die auch die Vorgänge, die sich abspielen werden, fassbar macht. Ohne solche Synthese einer verbindenden Schau bleiben die Bausteine der naturwissenschaftlichen Analyse ungefügt.

Es ist nicht zuletzt dieser Appell an schöpferische Schau- und Baukräfte, der den Zug der Technik so mächtig zu formieren vermochte.

Aus dem Festvortrag an der VDI-Tagung in München 1948. Z. VDI 90 (1948) Nr. 10, S. 297.