

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 75 (1949)
Heft: 4

Artikel: Quelques reflexions à propos de machines et d'installations thermiques
Autor: Colombi, Ch.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-56856>

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: 24.04.2026

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, 20 francs
Etranger : 25 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 17 francs
Etranger : 22 francsPour les abonnements
s'adresser à la librairie**F. ROUGE & Cie**
à LausannePrix du numéro :
1 Fr. 25

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 polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. † L. HERTLING, architecte; P. JOYE, professeur; *Vaud* : MM. F. CHENAU, ingénieur; E. D'OKOLSKI, architecte; A. PARIS, ingénieur; CH. THÉVENAZ, architecte; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur; E. MARTIN, architecte; E. ODIER, architecte; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte; G. FURTER, ingénieur; R. GUYE, ingénieur; *Valais* : MM. J. DUBUIS, ingénieur; D. BURGNER, architecte.

Rédaction : D. BONNARD, ingénieur. Case postale Chauderon 475, LAUSANNE

TARIF DES ANNONCES

Le millimètre
larg. 47 mm.) 20 cts.
Réclames : 60 cts. le mm.
(largeur 95 mm.)
Rabais pour annonces
répétées

ANNONCES SUISSES S.A.5, Rue Centrale
Tél. 2 33 26LAUSANNE
et Succursales**CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE**

A. STUCKY, ingénieur, président; M. BRIDEL; G. EPITAUX, architecte; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Quelques réflexions à propos de machines et d'installations thermiques.* Allocution du professeur CH. COLOMBI, prononcée à l'occasion de la séance de remise des diplômes de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne. — *Flambage par compression axiale.* Application de la théorie de la plasticité, par A. SZÉCSI, ingénieur. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT.

Quelques réflexions à propos de machines et d'installations thermiques

Allocution du professeur Ch. COLOMBI, prononcée à l'occasion de la séance de remise des diplômes de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne¹.

Lorsque m'échut le périlleux honneur de vous entretenir pendant quelques instants, à l'occasion de cette cérémonie qui consacre l'entrée dans notre carrière d'une nouvelle volée d'ingénieurs auxquels je tiens à présenter mes vives félicitations et mes souhaits les plus cordiaux pour une longue et harmonieuse activité, je me suis senti, je l'avoue, en proie à de pénibles hésitations.

Ne pouvant ni ne voulant parler de sujets étrangers à mon activité, un choix parmi les questions dont il m'était possible de vous dire quelques mots m'apparut immédiatement fort délicat à faire.

Aborder des questions de détail — et elles sont presque innombrables — relatives à telle ou telle autre particularité constructive ou de conception de machines et d'installations thermiques est chose pratiquement impossible sans le secours de démonstrations et de calculs dont je tiens à vous faire grâce. D'autre part, discuter de lois fondamentales qui sont à la base de notre discipline en cherchant à en extraire toutes les notions générales qu'elles englobent eût été séduisant,

mais des volumes entiers ont été publiés sur ces questions et certaines des études qu'ils contiennent sont signées par des princes de la science. Je n'aurais donc, en l'occurrence, eu d'autre possibilité que celle de répéter ce qui a déjà été dit, et dit bien mieux certainement que je ne puis avoir la prétention de le faire.

Entre ces deux extrêmes toutefois, pour nous, ingénieurs, il existe un domaine d'investigation qui peut être utilement exploré, car si nous pouvons nous le représenter comme limité par les bornes que constituent en quelque sorte les problèmes spéciaux auxquels il vient d'être fait allusion, il est tel qu'au-delà de ces bornes la vue s'étend sur des horizons vastes et lointains.

Ce domaine est celui non pas de la nature de l'énergie thermique à proprement parler, mais de l'utilisation de cette énergie par l'homme. De ce fait il appartient à ce qui constitue la raison d'être même de notre profession, dont le but ultime m'apparaît toujours d'asservir les forces de la nature aux besoins de l'humanité et à ses légitimes désirs de mieux-être.

L'usage que l'on fait couramment de la chaleur est devenu quelque chose de tellement banal que notre attention ne se fixe que rarement sur les actes qui le déterminent ou l'accompagnent. Il n'en fut pas toujours ainsi et le rôle dévolu aux gardiennes du feu dans des religions encore relativement récentes et dont nous connaissons presque tous les rites, en est la preuve. En fait, nul doute que depuis l'antiquité la plus reculée l'homme ne se soit servi de ce que les Grecs

¹ Dans les pages qui suivent, on retrouvera certaines des idées que j'ai énoncées à l'occasion d'une autre cérémonie et dont le *Bulletin technique de la Suisse romande* a bien voulu publier l'essentiel en son numéro du 24 novembre 1945. Tel est en particulier le cas pour ce qui concerne le très (trop, à vrai dire) rapide aperçu de l'histoire des turbines à vapeur que j'ai esquissé. Je m'excuse de ces répétitions auprès des lecteurs qui m'auraient fait l'honneur de prendre connaissance de la publication précitée, mais elles sont inévitables lorsque l'on traite des sujets aussi proches, de par leur nature même, que ceux que j'ai cherché à développer le 8 novembre 1945 et le 22 décembre 1948. C. C.

classaient comme un élément, le feu, pour subvenir à ses besoins les plus pressants : pour travailler certains métaux (bronze, fer) ; pour se protéger contre les rigueurs de l'hiver ; pour satisfaire aux nécessités de son alimentation, voire aux désirs de sa gourmandise. Ce mot fera sourire peut-être ; il n'est cependant nullement déplacé. Voyez plutôt : la première image d'une turbine à gaz que je connaisse (une roue mue par les fumées sortant d'un foyer) résulte d'un dessin de Leonardo da Vinci accompagné d'une inscription qui débute par ces mots : « Voici le meilleur moyen de cuire un rôti à la broche » ; la fameuse marmite de Denis Papin (dont on a célébré l'an dernier le tricentenaire) a été imaginée par son inventeur pour permettre de cuire des os et toutes sortes de viandes : ce qui ne l'empêche pas d'être le vénérable ancêtre de nos générateurs de vapeur.

Si les utilisations modestes et banales de la chaleur que je viens de rappeler ont donc de tout temps préoccupé la race humaine, d'autres possibilités pour son emploi ont été envisagées à des époques déjà fort lointaines. Je ne cite que pour mémoire à ce propos (ces choses étant par trop connues) le projet de turbine à vapeur à réaction de Héron d'Alexandrie (qui date de plus de vingt siècles) et celui de la turbine à vapeur à action de Branca (vieux de trois siècles environ).

La simple mention de ces lointains précurseurs, jointe au rappel fait du besoin dans lequel s'est trouvé, on pourrait dire depuis toujours, l'homme de satisfaire à des nécessités impérieuses et modestes à la fois, fait surgir immédiatement une question que je tiens pour essentielle. Comment s'expliquer qu'à certains moments du développement des civilisations prennent naissance des besoins qui n'avaient pas été ressentis auparavant ou bien que seul quelque chercheur isolé, précédant de loin les idées courantes de son temps, avait seulement entrevus ?

Je note, afin de chercher à être le moins incomplet que possible, que l'on pourrait, à vrai dire, se poser cette même question au sujet de bien d'autres branches de la technique, de sorte que le cas des machines et installations thermiques n'apparaît que comme un exemple entre de nombreux autres, encore qu'il soit particulièrement démonstratif.

Nous allons chercher à élucider quelques aspects de ce problème en considérant les conditions dans lesquelles ont pris effectivement naissance et se sont développées les applications de la chaleur à la production d'énergie mécanique.

Il apparaît indubitable que les efforts conjugués de tous ceux (Papin, Savery, Huygens, Watt) qui ont fini par doter l'industrie des premières machines à vapeur coïncident dans le temps avec la nécessité d'une forte augmentation de la production manufacturée anglaise, nécessité due spécialement aux possibilités d'exportation offertes par les immenses et riches colonies de ce pays. Que cette nécessité puisse être considérée comme un « besoin social » ainsi que le prétendent certains commentateurs, cela me paraît pour le moins douteux ou, plus exactement, cela me paraît confondre un besoin social, soit un besoin ressenti par la collectivité, avec les désirs d'une catégorie de producteurs intéressés — à juste titre d'ailleurs — au développement du travail de leurs entreprises.

De quelque façon qu'on les baptise, les circonstances économiques auxquelles je viens de faire allusion ont été déterminantes, en ce sens qu'elles ont dirigé les efforts d'une pléiade de chercheurs vers un but bien défini : celui de la réalisation de machines capables de remplacer du travail manuel ou d'augmenter le rendement industriel de ce travail.

D'autre part cependant, il m'apparaît fort difficile d'admettre que les méditations d'un Sadi Carnot aient été pro-

voquées par un désir de ce génial créateur de la thermodynamique moderne d'aboutir à des réalisations industrielles. Que le développement qu'il pouvait déjà constater, plus encore que l'avenir qu'il devait certainement prévoir à ce qu'il nomme les machines à feu ait guidé ses pensées vers ce nouveau domaine de la science, on ne saurait en douter. Mais ses écrits sont empreints d'un tel caractère d'intellectualité pure que l'on est conduit à penser que si l'aspect industriel du problème a pu être la cause immédiate de ses recherches, il n'en fut ni le but ultime, ni le mobile essentiel. Avec autant de raisons, on ne peut considérer l'œuvre d'autres pionniers que comme relevant de préoccupations n'ayant que des rapports très lointains avec des problèmes de nature pratique. Tel est indubitablement le cas en particulier pour Clausius dont les recherches ont abouti, il y a près d'un siècle, à l'introduction dans notre discipline du concept d'entropie, dérivé exclusivement de ses déterminations analytiques et au sujet duquel il n'a pas hésité à énoncer la proposition fameuse : « L'énergie de l'univers est constante ; l'entropie de l'univers tend vers un maximum », proposition qui relève bien plus de la spéculation philosophique que de la recherche technique et qui souleva — elle soulève d'ailleurs encore — des discussions sans fin.

Ainsi apparaissent ce que je crois pouvoir désigner comme les deux pôles entre lesquels semblent osciller les opinions que l'on voit le plus souvent émettre au sujet des causes du développement industriel en général et de celui des machines thermiques en particulier : satisfaction de besoins économiques, sociaux aussi, d'une part ; recherches de pure intellectualité d'autre part.

Afin de définir ce qu'il convient de retenir de chacune de ces deux opinions et de voir quelle contribution d'autres facteurs peuvent avoir apporté à l'essor des machines thermiques auquel nous assistons maintenant, je vais retracer très sommairement, au moyen de quelques traits fort grossiers seulement, l'histoire d'une branche technique qui, au cours de ces dernières décennies, a modifié profondément non seulement les vues que l'on avait sur l'utilisation des sources d'énergie thermique que la nature met à notre disposition, mais même de nombreux aspects de notre vie courante : je veux parler des turbo-machines.

Les premières turbines à vapeur firent leur apparition devant le grand public lors de l'Exposition universelle de 1900 à Paris, où figuraient une turbine De-Laval et une turbine Parsons. Débuts très modestes et discrets auxquels fit suite presque immédiatement l'installation fameuse d'Elberfeld qui, jointe au fait que la maison Brown Boveri & C^{ie}, alors encore fort jeune, avait acquis la licence des constructions-Parsons, donna du coup à ces dernières une situation industrielle de premier plan. Presque simultanément cependant, les plus grandes entreprises industrielles d'Europe et des Etats-Unis vouèrent une attention soutenue au problème technique qui venait de surgir : tels sont entre autres la maison Escher Wyss de Zurich avec la turbine Zoelly, la Fabrique de machines Oerlikon, Rateau à Paris, l'A. E. G. à Berlin, Ansaldo à Gênes, Tosi à Legnano, la Westinghouse et la General Electric en Amérique, pour ne citer que quelques noms parmi bien d'autres. A cette époque, l'empirisme régnait encore en maître même dans le calcul des aubages et ce malgré qu'eussent déjà paru les premières éditions du traité du professeur Stodola, auquel revient le mérite d'avoir basé la théorie des turbo-machines sur les conceptions scientifiques de Carnot, de Clapeyron, de Joule, de Meyer, de Clausius, de Maxwell, de Thomson, les premières énoncées depuis près de trois quarts de siècle, les dernières depuis plusieurs décennies, mais qui n'avaient

jamais eu, dans le domaine de l'étude des machines, d'applications dont l'importance pût se comparer à celle qu'elles allaient prendre pour le calcul et l'analyse des phénomènes relatifs à la turbine à vapeur, cette nouvelle venue qui prétendait déjà détrôner la vénérable machine à piston, de même d'ailleurs qu'à ceux concernant toutes les autres turbo-machines thermiques.

Peu à peu cependant, l'influence des conceptions scientifiques s'affirme, premièrement pour ce qui concerne le calcul des aubages des turbines à vapeur, celui des turbo-compresseurs et les premières déterminations relatives aux turbines à gaz, puis pour la recherche de méthodes de plus en plus précises en vue du dimensionnement des éléments qui constituent les nouvelles machines, de la connaissance des matériaux nécessaires à leur exécution, en ayant d'ailleurs recours à des investigations expérimentales toujours plus finement agencées. Mais en même temps que s'accomplissait ce délicat travail au sein des bureaux de calcul, des laboratoires de recherche, la demande de puissance de la part de l'industrie croissait à un rythme inattendu, la production de biens de consommation devenant toujours plus intense. Si la guerre de 1914-1918 dirigea malheureusement vers d'autres buts l'emploi des machines génératrices d'énergie électrique et par voie de conséquences les turbines à vapeur, la fin de cette première conflagration mondiale révéla naturellement un besoin accru de cette énergie en même temps qu'une circonstance économique de première importance. Alors, comme aujourd'hui, nous ne le savons que trop, les prix des combustibles atteignent des niveaux extrêmement élevés. Il fut donc nécessaire de satisfaire des besoins urgents de puissance mécanique non seulement, mais d'y parvenir en économisant dans toute la mesure du possible sur la dépense d'énergie thermique, en deux mots, il fut nécessaire de créer des machines de grande puissance et à faible consommation de chaleur par kilowattheure. Cette double nécessité accentua des tendances qui s'étaient déjà manifestées auparavant : elle exerça une influence marquée sur le choix des températures et des pressions d'alimentation des machines, sur la conception générale des centrales, sur une foule de détails visant à la récupération de quantités de chaleur dont la perte paraissait auparavant négligeable. Sans insister sur des particularités ou sur des valeurs numériques, ce qui nous conduirait beaucoup trop loin, je rappellerai seulement qu'après quelques réalisations dont l'urgence était extrême, on en est finalement arrivé en Europe comme en Amérique à la réalisation de grandes centrales pourvues de groupes turbo-alternateurs de 50 000 à 80 000 kW, alimentés par de la vapeur à 80-130 ata. 500° C et davantage débitant dans des condenseurs où règnent des pressions de quelques centièmes d'atmosphère seulement, pourvus de tous les dispositifs qui peuvent en améliorer le rendement, installations dont les consommations spécifiques sont des plus réduites. Vraisemblablement, les années prochaines montreront un développement ultérieur des tendances qui résultent de ce que je viens de résumer. Dès maintenant, on peut être certain que la puissance unitaire des groupes turbo-alternateurs tend à augmenter. A titre d'exemple, on peut noter qu'une turbine de 100 000 kW est actuellement en construction pour une centrale de la région parisienne, que des puissances unitaires de 75 000 kW et plus sont standardisées aussi bien en Grande-Bretagne, où l'équipement des centrales à vapeur se fait à un rythme extraordinairement rapide, qu'en U. S. A. ; au surplus, d'autres tentatives de normalisation accusent des tendances identiques jointes à celles concernant, par exemple, l'emploi de températures de vapeur notablement plus élevées que celles appliquées jusqu'à maintenant. Ces tendances

correspondent du reste aux idées énoncées par le Dr Ad. Meyer, dont la très grande compétence en ces questions n'a certes pas besoin d'être soulignée, qui dans un article publié en juillet-août 1943 déjà, dans la *Revue BBC*, aboutissait, outre qu'à de nombreuses conclusions fort intéressantes, à la prévision de consommations spécifiques de l'ordre de 2450 kcal/kWh.

Mais des consommations de même ordre de grandeur, peut-être plus faibles encore, sont envisagées pour le cas de centrales pourvues de certaines turbines à gaz dont les qualités techniques ne seraient certainement pas ce qu'elles sont déjà maintenant, s'il n'avait pas été possible de résoudre non seulement de nombreux problèmes thermiques, mais d'autres encore de nature aérodynamique. A la solution de ces problèmes, souvent fort complexes, la science et l'industrie de notre pays ont largement contribué et c'est avec plaisir que je mentionne dans ce domaine l'œuvre personnelle de M. le professeur Ackeret et celle de constructeurs tels que Brown Boveri, Escher Wyss, Sulzer ou des équipes de jeunes ingénieurs ont largement donné les preuves de leurs capacités : j'ai plaisir à relever parmi eux plusieurs de nos camarades qui, il y a peu d'années encore, se trouvaient ici en qualité d'étudiants. Dans ce domaine donc, en particulier, la thermique a eu comme auxiliaire une science nouvelle, l'aérodynamique, dont les fondements mathématiques sont extrêmement développés et se basent sur des méthodes parfois fort spéciales.

J'arrête ici ces quelques indications, malgré que j'aie conscience de leur caractère plus que sommaire et du fait qu'elles ne donnent qu'une idée bien incomplète de tout ce qu'il conviendrait d'exposer, en observant que ce qui a été dit pourrait en somme s'appliquer, à bien peu de chose près, aux installations hydrauliques par exemple, et je vais chercher maintenant à déduire de ce que nous venons de voir quelques conclusions. Celles-ci me paraissent pouvoir se résumer en quatre propositions :

1. Le facteur économique, social si l'on considère la nécessité sans cesse plus croissante de produire en abondance des biens de consommation (ou, actuellement, de remplacer les innombrables biens que la guerre a détruits) a certainement joué, et joue, un rôle déterminant dans le développement des machines et des installations dont nous venons de nous occuper.

2. Il n'eût pas été possible (et il ne serait pas possible actuellement) de faire face aux besoins auxquels nous avons fait allusion (encore moins de les provoquer ou d'en provoquer de nouveaux) si les données scientifiques qui sont à la base même de la conception des machines visées, le principe de la conservation de l'énergie et celui de la dégradation de l'énergie n'avaient pas été acquis d'abord, si leur importance et leur signification n'avaient pas été saisies et mises en lumière ensuite par des hommes de science qui étaient en même temps des ingénieurs de haute valeur.

3. Ces données fondamentales n'eussent servi à rien si on ne les avait pas progressivement incorporées à la formation scientifique de l'ingénieur de façon qu'elles deviennent le substratum même de sa façon de penser.

4. Actuellement, plus encore que par le passé, toute réalisation technique implique la collaboration de personnes spécialisées dans des domaines souvent très divers, et l'exemple donné au sujet des turbines à gaz le prouve de façon évidente.

Quoiqu'il me semble que chacune de ces propositions se justifie à tous points de vue, je voudrais insister sur le fait que les mérites des hommes de science qui, les premiers, ont fait usage dans la technique des deux principes que nous

venons de rappeler n'apparaissent pas, dans toute la valeur, à certains d'entre nous. Ceci est certainement dû au fait que chaque ingénieur se sert d'instinct du principe de la conservation de l'énergie et que tout thermicien raisonne en tenant compte du principe de la dégradation de l'énergie, quitte à l'envisager sous la forme la plus directement adaptée aux buts de sa spécialité¹.

Or si l'on se rapporte à l'époque à laquelle ces notions furent utilisées pour la première fois dans notre discipline technique, on doit reconnaître qu'il fallait aux hommes qui firent cette tentative d'emploi une singulière hardiesse de pensée, à laquelle il est équitable de rendre un hommage particulier. Ceci d'autant plus qu'à ce moment la façon dont était présenté spécialement ce qui concerne le principe de la dégradation de l'énergie rendait cette conception peu accessible à la plupart des ingénieurs par la forme exclusivement mathématique (à vrai dire souvent assez rébarbative) qui avait été conférée aussi bien à la notion de température absolue qu'à celle d'entropie.

Cette forme est si nettement accusée que des penseurs parmi les plus vaillants de notre époque ont jugé indispensable de se pencher longuement sur les problèmes ardues que pose une juste interprétation de la signification profonde de nos deux lois fondamentales : ainsi que j'ai déjà eu l'occasion de le dire, des volumes entiers ont été consacrés à de telles études et je précise maintenant que certaines d'entre elles sont signées du grand nom d'Henri Poincaré. La puissante préface qu'il écrivit pour son cours de Thermodynamique, que je tiens à citer spécialement, contient une analyse du principe de la conservation de l'énergie dont la clarté n'a d'égale que la subtilité, analyse dont une des conclusions est que ce principe apparaît enfin comme une limite imposée à la liberté. Que dire alors du principe de la dégradation de l'énergie qui n'est pas autre chose que l'expression non seulement d'une limite à la liberté, mais d'un sens, d'une direction imposée à tout phénomène naturel ?

Une limite imposée à la liberté ! Une direction imposée à tout phénomène ! Voici des mots qui nous conduisent bien loin de nos préoccupations techniques, utilitaires, courantes et, apparemment tout au moins, bien loin de considérations relatives aux machines et aux installations thermiques.

Apparemment, dis-je, car en fait ces mots nous ramènent en tout premier lieu à repenser aux répercussions sociales de la technique. Cette limite à la liberté m'apparaît en effet de prime abord comme rappel à l'ingénieur, au scientifique de notre temps, qu'il ne vit pas, qu'il n'agit pas pour lui seul et que toutes ses actions, donc tous les efforts de sa pensée peuvent avoir sur le corps social auquel il appartient leur répercussion parfois modeste, parfois considérable. Qu'on

¹ On a en effet énoncé le principe de la dégradation (ou de l'évolution) de l'énergie de différentes façons. Parmi les plus connus de ces énoncés se trouve le postulat de Clausius : « Il est impossible de transporter de la chaleur d'un corps froid sur un corps chaud sans compensation. » Malgré les critiques, en partie justifiées, auxquelles il a donné lieu, il est indubitablement fort utile comme point de départ des raisonnements qui conduisent à la définition de l'entropie. Le colonel Ariès, dans son ouvrage *L'œuvre scientifique de Sadi Carnot*, préconise une autre formule, qui a, pour l'ingénieur, un attrait particulier : « Une machine thermique, fonctionnant avec une seule source, ne peut lui emprunter de la chaleur. » Enfin, tenant compte des résultats auxquels on peut arriver (notion d'entropie en particulier) en partant de l'une ou de l'autre de ces propositions, celle que nous allons rappeler nous paraît spécialement utile pour les calculs relatifs aux applications pratiques : « La diminution en la faculté de produire un travail mécanique (ou équivalent) que subit une quantité de chaleur livrée à une installation thermique motrice est égale à la somme des variations d'entropie de tous les corps qui participent aux transformations, multipliée par la température absolue du plus froid de ces corps. » Il convient de considérer cet énoncé comme une règle de calcul, assez souple d'ailleurs pour qu'on puisse commodément l'adapter à certains cas particuliers sur lesquels il nous est impossible de nous arrêter en ces quelques pages.

me permette à ce propos de conserver jusqu'au bout de mon chemin la croyance que souvent un progrès apparemment insignifiant dans le domaine technique a des répercussions plus profondes sur le bien-être de milliers d'individus, sur le sens même qu'ils peuvent attribuer à leur vie, que dix volumes de théories plus ou moins fumeuses au moyen desquelles on prétend réformer l'ensemble d'une société. Mais ici surgit un problème moral auquel je ne puis faire qu'une rapide allusion, d'autant plus qu'il est âprement discuté dans d'autres domaines : celui de savoir si le technicien peut et doit prêter son œuvre sans se préoccuper des suites que d'autres sont susceptibles de lui donner. Problème complexe et délicat entre tous, aussi bien ne puis-je que le mentionner car il dépasse non seulement les bornes de ces quelques notes, mais encore celles de mes modestes compétences.

Mais il y a bien autre chose encore. Cette idée de limite à la liberté que représente (et avec quelle force !) la direction inéluctablement fixée aux phénomènes que nous connaissons, conduit à des méditations qui sont à mon sens la manifestation des plus précieuses prérogatives de l'être humain.

Cette loi doit-elle signifier que le règne de l'homme aboutira fatalement à une éternité de silence et de mort ? Devons-nous admettre que ce qui se passe sous nos yeux après avoir cessé dans ce que nous connaissons de l'univers, se sera répété au bout de temps dont nous ne pouvons même pas concevoir l'étendue, à des distances qui dépassent notre imagination la plus hardie, un nombre de fois incalculablement grand sombrera finalement, malgré tout, dans l'immobilité absolue que semble nous annoncer le principe de la dégradation de l'énergie, dans une absence de toute possibilité ?

Si notre raison nous fait apercevoir quelque chance d'échapper un tel aboutissement non seulement parce que la notion d'entropie nous est présentée maintenant comme une donnée de probabilité, mais aussi parce que la loi de Nernst sur le zéro entropique et l'énoncé métaphysique de Clausius que je vous ai cité ne se concilient pas facilement, il convient d'ajouter que notre instinct s'insurge contre l'extension que l'on peut être tenté de faire du principe de la dégradation de l'énergie à l'infini du temps et de l'espace.

Si notre instinct en sa forme la plus tenace, l'instinct de la conservation, s'insurge dis-je contre la perspective d'un aboutissement de toutes choses au néant, notre intellect en fait autant par la voix d'une autre sommité de la science. C'est en effet par la phrase suivante que Jean Perrin termine la septième partie de son œuvre *A la surface des choses* (Evolution) : « Grâce aux êtres vivants de plus en plus différenciés où s'organise sa substance, l'Univers s'élève graduellement à une Pensée de plus en plus vaste, au point de devenir une Volonté qui dirige elle-même son histoire. »

Devant ces interrogations qui restent fatalement sans une réponse définie, ces hésitations, ces doutes tempérés par quelques espérances, qui, s'ils ne troublent pas nos activités de tous les jours hantent parfois les heures sans sommeil, devant la faiblesse ainsi accusée de ce que nous tenons pour plus valide et plus fort en l'homme, sa faculté de penser, il ne reste guère qu'un refuge : la Foi. La Foi en une Volonté suprême (celle passée, présente et future à la fois, à laquelle Jean Perrin semble penser comme à un devenir ?), seule capable de créer, seule capable de changer ce que nous croyons être le cours fatal des choses, celle qui fit dire au poète en des vers que rend plus touchants encore l'effroi que lui inspire le lieu dans lequel il place son action :

« Par-devant moi ne furent créées que des choses éternelles et je durerai éternellement... on m'a voulu là où l'on peut ce que l'on veut. »