

SADI CARNOT : UNE SOURCE D'INSPIRATION TOUJOURS D'ACTUALITÉ

Daniel ROUSSE^a, Yvan DUTIL^{a,*}, Sadok BEN JABRALLAH^b, Hassan HAMDİ^c

^a *Chaire de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique,
École de technologie supérieure, Université du Québec, Montréal, Canada*

^b *Faculté des sciences de Bizerte, Bizerte, Tunisie*

^c *Faculté des sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc*

RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est de montrer, à travers une réflexion sur l'œuvre et le siècle de Carnot, que la valeur intrinsèque de la recherche ne dépend pas des moyens qui sont à notre disposition pour la réaliser et que, parfois, l'empressement de certains à développer les savoir-faire occulte l'acquisition des savoirs eux-mêmes. Cet objectif consiste donc à donner envie aux jeunes chercheurs de se poser des questions sur les paradigmes de la science contemporaine, de reléguer au second plan les instruments qui serviront à nourrir leur réflexion et de ne pas hésiter à remettre en question toute interprétation qui passe pour une loi ou un dogme.

Côté théorique, le contexte d'aujourd'hui peut mener certains jeunes thermiciens à croire que tout a été fait et que toutes les lois, toutes les grandes réflexions sur la thermodynamique sont choses connues, sentiers battus, et que rien de neuf ne semble pouvoir émerger de la convergence des connaissances actuelles.

Ainsi en était-il, en quelque sorte, de l'époque de Carnot où l'on se concentrait davantage sur le détail et les machines que sur la recherche d'une théorie qui aurait pu expliquer par des lois ce que l'on apercevait partiellement en filigrane derrière les machines de l'époque. Carnot, avec la seule puissance de son raisonnement, a su naviguer à travers confusion, contradiction et absence même de théorie pour jeter les fondements d'une science dont la société moderne dépend aujourd'hui totalement : la maîtrise de l'énergie.

Mots Clés : thermodynamique, science fondamentale, histoire, Carnot

1. INTRODUCTION

Depuis son premier cours de thermodynamique, le thermicien connaît Carnot : certains s'en souviennent surtout pour son cycle représenté par un rectangle sur un diagramme T - s , d'autres pour sa conception de la chaleur à la fois différente et semblable au calorique, d'autres pour ses réflexions ayant trait aux propriétés des fluides ou sur les machines à vapeur. Enfin, plusieurs travaillent, directement ou indirectement, chaque jour en faisant appel aux principes qu'il fut le premier à formuler et à établir.

Aujourd'hui, contrairement à Carnot et aux autres scientifiques de son époque, les chercheurs des pays du Nord disposent d'un arsenal de moyens de calculs et de mesures formidables qui permet lorsqu'employé adéquatement d'obtenir des prédictions justes et de déterminer avec précision la valeur d'un paramètre. Or, il apparaît que ces mêmes instruments peuvent éradiquer toute contribution originale d'un travail lorsqu'il s'agit de

reprendre encore et toujours les mêmes idées et de les mettre en œuvre avec des moyens différents, qu'ils soient expérimentaux ou numériques.

L'objectif de cet article est de montrer, à travers une réflexion sur l'œuvre et le siècle de Carnot, que la valeur intrinsèque de la recherche ne dépend pas des moyens qui sont à notre disposition pour la réaliser et que parfois l'empressement de certains à développer les savoir-faire occulte l'acquisition des savoirs eux-mêmes. Cet objectif consiste donc à donner envie aux jeunes chercheurs de se poser des questions sur les paradigmes de la science contemporaine, de reléguer au second plan les instruments qui serviront à nourrir leur réflexion et de ne pas hésiter à remettre en question toute interprétation qui passe pour une loi ou un dogme.

Un autre objectif de cet article consiste à montrer que malgré la grandeur d'une théorie, l'envergure d'un travail ou l'originalité de concepts révolutionnaires, une époque doit être prête à accepter ce qui viendra changer les

* auteur correspondant

Adresse électronique : courriel.de.lauteur.correspondant

idées reçues. Ce n'était certes pas le cas du début du XIXe siècle.

La science, disait Langley [1], semble à posteriori, avoir évolué comme un processus ordonné comme la marche d'une armée poursuivant un but spécifique. Il ne s'agit cependant que de la manière dont elle semble progresser pour qui la contemple rétrospectivement. En réalité, c'est faire abstraction de la confusion réelle, de l'antagonisme des pensées, de l'indifférence aux théories qui s'avèrent ultérieurement les plus justes et inversement de l'adhésion à celles qui sont aujourd'hui caduques, toutes ses impulsions, vraies ou fausses, qui font partie de la réelle évolution d'une science.

La naissance de la thermodynamique illustre parfaitement ces contradictions et l'époque de Carnot est formidable en ce sens qu'avec la seule puissance de son raisonnement, il a su naviguer à travers confusion, contradiction et absence même de théorie pour jeter les fondements d'une science dont la société moderne dépend aujourd'hui totalement : la maîtrise de l'énergie.

Après une courte biographie contextuelle, l'article parlera d'abord de la théorie substantielle de la chaleur alors en vigueur, de la puissance de son raisonnement qui aboutit à des conclusions exactes sur les propriétés, la réversibilité, la nature du calorique, malgré de fausses prémisses i.e. l'existence même de ce calorique. Ensuite, un passage fera ressortir ce qu'il y avait de révolutionnaire dans les travaux de Carnot dont le fameux cycle qu'on lui attribue. Enfin, la dernière partie sera consacrée à l'accueil de cette théorie par les plus illustres savants français de l'époque, scientifiques dont les noms emplissent encore les cours du secondaire à l'Université, qui furent bien incapables de reconnaître tout le génie contenu dans une courte publication de 118 pages, In-8^o (voir format, Figure 4).

Cet article ne se contentera pas de rappeler historiquement les réalisations du savant/ingénieur, mais fera ressortir ce qui dans la démarche devrait inspirer les chercheurs d'aujourd'hui.

L'intérêt pour ce sujet provient d'une lecture d'une biographie critique de Carnot et de son temps par Viktor Mihailovich Brodiansky, traduite en 2006 [2].

2. RAPPEL BIOGRAPHIQUE

Nicolas Sadi Carnot est né le 1^{er} juin 1796 à Paris d'un père (Lazare Carnot) mathématicien, mécanicien, ingénieur, militaire et homme d'état et d'une mère (Sophie Dupont), fille d'un chef de district militaire.

Carnot, le fils, est donc né 5 ans après la Révolution française à laquelle participa activement son père Lazare [ref sur Lazare Carnot]. La vie militaire du capitaine Carnot débuta donc à 39 ans, en 1791, alors qu'il fut élu à l'Assemblée législative. Il occupa pendant un quart de siècle un rôle prépondérant sur les échiquiers politique, militaire et scientifique de la France [3]. Ce père imposant, qu'il ne connut que très peu, fut pourtant un allié solide et un ami pour Sadi Carnot qui en fut considérablement influencé. Il eut été pertinent de discuter plus abondamment sur Lazare, membre fondateur de l'Institut de France, afin de mieux

comprendre le fils, ce que le format de cet article ne permet hélas pas.

Sadi Carnot entra donc à seize ans à l'École Polytechnique qui en 1812 était dirigée par Gaspard Monge. Ses professeurs furent notamment, Dulong, Petit, Le Gendre et surtout Poisson et Arago. D'autres grands noms de la science y enseignaient aussi à savoir Ampère, Gay-Lussac et Prony alors que Lagrange, Fourier, Laplace et Berthollet en étaient tout juste retraités. C'était sans conteste la meilleure École de France.

Alors que Poisson et Arago siégeaient avec son père à l'Institut, la pression fut énorme pour voir le fils réussir avec brio ses études. Il sut s'en acquitter brillamment en terminant 6^e de sa promotion (fig.1) ce qui lui permit de s'inscrire à l'École Militaire de Metz de laquelle il ressortit en 1817 avec en poche un brevet de lieutenant du génie. Faute de guerre à livrer, il s'investit dans la carrière scientifique.

Lorsqu'il revit son père en exil à Magdebourg en 1821, il y avait 7 ans qu'il ne l'avait pas rencontré. Carnot publia son œuvre majeure : « Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance » [4,5]



Fig. 1 Sadi Carnot (1796-1832) dans l'uniforme de l'École Polytechnique

3. DE LA PRATIQUE ET DE LA THÉORIE

Dans l'armée des Bourbons, sous la restauration, nombre d'officiers se retrouvaient avec peu à faire si bien que ceux-ci pouvaient se livrer à n'importe quelle activité. Sadi, outre ses activités musicales et équestres, se consacra donc à la fréquentation de la Sorbonne, du Conservatoire National des Arts et Métiers et de l'École des Mines. Sa curiosité l'orienta sur la théorie des machines à feu, sur la détermination du zéro absolu de la chaleur et du calorique spécifique des gaz [2].

Ses lectures, ses visites l'amènèrent à bientôt centrer ses efforts sur la machine à vapeur. Non pas que celle-ci fût la seule – les frères Niepce avaient travaillé sur le moteur à explosion, Stirling proposait aussi ses moteurs – mais sans doute en raison de la place prépondérante qu'elle occupait à son époque. On note donc que l'époque conditionne toujours les activités des

individus qui auront une influence historique. Rien ne sort absolument du néant et les découvertes, aussi importantes soient-elles, prennent leur origine dans les grands courants de pensée d'une époque. Ainsi en fut-il pour Carnot alors que les machines de l'entreprise Boulton & Watt proliféraient depuis la fin du 18^e siècle.

Pour prendre un instantané de l'état d'évolution des machines thermiques de l'époque des *Réflexions...* [4], on peut résumer en affirmant que la machine originale de Watt avait été améliorée principalement en la séparant en quatre composantes pouvant chacune être améliorées presque indépendamment. On désirait alors ardemment augmenter la pression dans le cylindre se doutant intuitivement que cela permettrait une augmentation de la puissance. On s'attardait alors au détail, si l'on peut se permettre l'expression, sans réfléchir à l'ensemble qui formait un cycle depuis que l'on récupérait l'eau du condenseur pour la retourner à la chaudière. On était davantage intéressé par les essais pratiques que par la réflexion. On pourrait affirmer, comme Brodianski [2] le propose, que « le rôle prépondérant de l'expérience, du bon sens et de l'intuition de l'ingénieur » faisaient que « la théorie était de loin plus chancelante que la pratique ». Carnot proposa hardiment que l'augmentation de la quantité de travail produite par unité de combustible ne provenait pas uniquement de l'augmentation de la pression, mais aussi de la température comme on le verra plus loin.

4. THÉORIE SUBSTANTIELLE DE LA CHALEUR

Il faut aussi comprendre que la théorie du calorique, un fluide inaltérable que l'on retrouve dans chaque corps, rendait impossible l'idée même de la transformation de chaleur en travail mécanique. On ne désirait que tenter de produire la vapeur (ou l'air chaud) possédant le potentiel le plus élevé de produire un travail d'où une recherche active, parallèle au développement des machines, sur les propriétés des fluides caloporteurs. Pourtant même à cette époque cette théorie « craquait de partout » puisque de nombreux faits mesurables venaient la réfuter. De nombreux savants de l'époque lui préféraient une théorie cinétique et moléculaire, dont Bernoulli, Boyle ou même Hooke avant eux.

Les raisons qui la firent perdurer longtemps après sa réfutation par certains ne se distinguent aucunement du succès de toute vérité raisonnée i.e. qu'elle s'appuie essentiellement sur sa propre histoire, sur ses propres paradigmes tant qu'une nouvelle théorie ne vient pas la remplacer progressivement, souvent longtemps après que la première eusse révélé ses imperfections [6].

De nombreux savants du XVIII^e siècle, et non les moindres, renforcèrent le crédit de la théorie substantielle (matérielle ou corpusculaire) de la chaleur que l'on appelait le calorique. On peut dire que la raison de la prédominance de cette fausse théorie sur une théorie cinétique et moléculaire est que le besoin de lier chaleur et travail ne s'était pas encore fait sentir clairement ni ne le sera avant la moitié du XIX^e siècle, soit vingt ans après la publication des *Réflexions...*[4]. C'est peut-être là le grand pas en avant de Carnot. Ce coup que l'on peut dire fatal ou cette réflexion définitive qui réfute le calorique.

Pour bien comprendre combien il pouvait être difficile de se débarrasser de la conception erronée, on peut citer qu'encore aujourd'hui, deux mille ans après les Grecs, comme le souligne Poutilov [7], cité par Brodianski [2], les expressions *sources*, *accumulation* et *transfert* de chaleur, portent en elles, de même que « capacité ou pouvoir calorifique », l'idée même d'une substance contenue dans un corps. Ces expressions témoignent de la force, sans doute issue de sa simplicité et de sa tangibilité, d'une théorie vétuste depuis près de 200 ans.

Et, de l'avis des auteurs, c'est peut-être là la contribution la plus exceptionnelle de Carnot, qui bien que s'appuyant sur la théorie calorique, fut en mesure d'en démontrer l'inadéquation et de proposer en filigrane l'équivalence travail chaleur, en plus de proposer un modèle permettant de déterminer pourquoi il n'était pas possible de transformer toute la chaleur en travail mécanique.

C'est au printemps 1824 qu'il termina de consigner ses raisonnements dans ses *Réflexions...*[4].



Fig. 2 Facsimile de la couverture du livre de Carnot [4]

Ce qui est assez extraordinaire avec ce document de seulement 118 pages est qu'il aurait dû susciter un engouement formidable de la part de toute la communauté scientifique de l'époque. L'équation d'état des gaz, les mesures de c_p et c_v , le rapport c_p/c_v , tout le travail avait été fait et une loi générale venant conférer un sens à ses résultats n'attendait que sa formulation, l'équivalence chaleur travail viendrait couronner ses efforts pour expliquer, pour lier tous les éléments disparates récemment découverts. On aurait dû par la suite, découvrir le second principe à partir du premier, mais il n'en fut rien. La découverte du premier principe succéda à celle du second. Et en fait, il faut aussi convenir que ces deux principes furent dus à une seule et même personne qui mourut à 36 ans.

5. LES RÉFLEXIONS DE SADI CARNOT

Carnot ne cherche donc pas seulement à améliorer les machines à vapeur, il cherche à trouver une théorie

scientifique générale qui pourrait unifier toutes les connaissances de l'époque.

La force de ses réflexions est qu'il réfute l'hypothèse que les machines à vapeur consomment du calorique :

« La production de puissance motrice est donc due dans les machines à vapeur, non à une consommation réelle du calorique, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid, c'est-à-dire à son rétablissement d'équilibre, équilibre supposé rompu par quelque cause que ce soit, par une action chimique, telle que la combustion, ou par toute autre » [4].

Le calorique (il est difficile de s'affranchir de cette idée comme l'a montré la section précédente) n'est pas consommé, mais bien transporté d'une source chaude vers une source froide. C'est donc ce transport qui crée la puissance motrice [8].

Une seconde force du texte des Réflexions vient de ce que l'auteur nous indique que si l'eau – certes nous sommes à l'époque des machines à vapeur – peut-être employée comme vecteur énergétique, de nombreux sinon tous les éléments peuvent être employés à cette fin.

« La vapeur d'eau est un moyen de réaliser cette puissance, mais elle n'est pas le seul : tous les corps de la nature peuvent être employés à cet usage; tous sont susceptibles de changements de volume, de contractions, et de dilatations successives par des alternatives de chaleur et de froid (...) Un corps solide, une barre métallique, par exemple, alternativement chauffée et refroidie, augmente et diminue de longueur, et peut mouvoir des corps fixés à ses extrémités » [4] cité par [8].

Une fois l'indépendance du vecteur démontrée, Sadi Carnot expose clairement la réversibilité des transformations mises en jeu ainsi que l'équivalence entre différence de température et puissance motrice [8]:

« Partout où il existe une différence de température, il peut y avoir production de puissance motrice. Réciproquement, partout où l'on peut consommer cette puissance, il est possible de faire naître une différence de température » [4].

Cette réversibilité lui fait prédire la possibilité d'une pompe thermique et d'un dispositif frigorifique qui n'apparaîtront que quelques décennies plus tard.

Ensuite, il se livre à une analyse conséquente qui lui permet de déterminer que même le moteur idéal réversible comporte, pour un registre de température donné, une quantité de travail maximal qu'il appelle le maximum de puissance motrice à obtenir à partir d'une quantité de calorique donnée. Il jette donc les bases de la seconde loi qu'il généralise.

« On objectera peut-être ici que le mouvement perpétuel, démontré par les

seules actions mécaniques, ne l'est peut-être pas lorsqu'on emploie l'influence soit de la chaleur et de l'électricité : mais peut-on concevoir les phénomènes de la chaleur et de l'électricité comme dus à autre chose qu'à des mouvements quelconques de corps, et comme tels ne doivent-ils pas être soumis aux lois générales de la mécanique? » [4].

Cette section se termine en présentant le cycle tel que Carnot lui-même l'expliquait dans ses *Réflexions* [4] (Figures 3 et 4).

Cette description contient tout d'abord la notion fondamentale de cycle, de processus cyclique. On n'y discerne certes pas la terminologie propre à la thermodynamique, mais l'essence de concepts qui seront introduits beaucoup plus tard.

Il serait certes passionnant de continuer à énumérer toutes les trouvailles, toutes les réflexions et tous les concepts nouveaux contenus dans le manuscrit des *Réflexions*, mais le but des auteurs n'est pas de critiquer l'œuvre de Carnot mais de montrer que sans moyens extravagants, sans outils autres que la documentation publiée à cette époque et le contact des machines existantes, il a été possible à un individu de transcender la pensée scientifique de l'époque et de l'unir dans un ensemble cohérent et presque complet.

En outre, ce qu'il importe de retenir de l'ensemble de cette section est qu'au-delà de la formulation du célèbre cycle auquel nous avons attribué le nom de Carnot, le manuscrit de 118 pages comportait une foule de concepts nouveaux, hardis et déterminants pour l'avenir pour la science qui allait naître. Le contexte historique appelait cette découverte qui pourtant mit des années à être reconnue. C'est ce que présente la section suivante.

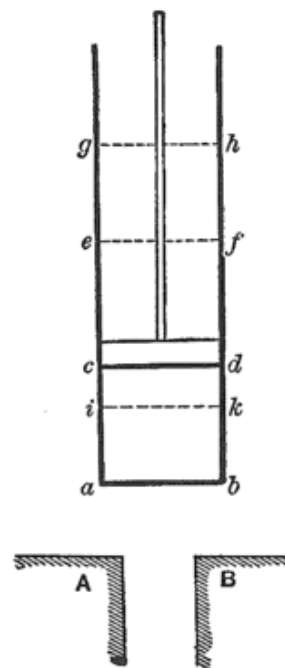


Fig. 3 Cycle idéal d'après la première édition du livre de Carnot [4]

6. ACCUEIL DU MANUSCRIT

On imprima 600 exemplaires des réflexions qui ne firent pas l'objet d'une campagne publicitaire. L'auteur n'était pas connu ni des scientifiques, ni des ingénieurs : c'était sa première publication. Il était dans la situation de celui que se présente pour la première fois à un congrès ou soumet sa première publication à un journal aujourd'hui.

L'Académicien Pierre Girard, ingénieur en chef des Ponts et chaussées, en fit toutefois sur demande de Carnot une présentation à l'Académie des sciences dont on trouve l'annonce dans le procès verbal de la rencontre [9]. Une autre présentation détaillée fut effectuée par le même Girard devant un parterre qui regroupait des sommités telles que : Arago, Prony, Dupin, Navier, Laplace, Fourier, Ampère, Gay-Lussac, Poisson, Dulong, Legendre, Fresnel et d'autres [2]. Plusieurs avaient connu l'illustre père de ce jeune inconnu de 28 ans.

(52)

lorique employé dans ces occasions où il ne se fait aucun changement de température, calorique dû au changement de volume. Cette dénomination n'indique pas que le calorique appartient au volume, il ne lui appartient pas plus qu'il n'appartient à la pression, et pourrait être tout aussi bien appelé calorique dû au changement de pression. Nous ignorons quelles lois il suit relativement aux variations de volume : il est possible que sa quantité change soit avec la nature du gaz, soit avec sa densité, soit avec sa température. L'expérience ne nous a rien appris sur ce sujet; elle nous a appris seulement que ce calorique se développe en quantité plus ou moins grande par la compression des fluides élastiques.

Cette notion préliminaire étant posée, imaginons un fluide élastique, de l'air atmosphérique par exemple, renfermé dans un vaisseau cylindrique $abcd$, fig. 1, muni d'un diaphragme mobile ou piston cd ; soient en outre les deux corps A, B, entretenus chacun à une température constante, celle de A étant plus élevée que celle de B; figurons-nous maintenant la suite des opérations qui vont être décrites :

1° Contact du corps A avec l'air renfermé dans la capacité $abcd$, ou avec la paroi de cette

(53)

capacité, paroi que nous supposons transmettre facilement le calorique. L'air se trouve par ce contact à la température même du corps A; cd est la position actuelle du piston.

2°. Le piston s'élève graduellement, et vient prendre la position ef . Le contact a toujours lieu entre le corps A et l'air, qui se trouve ainsi maintenu à une température constante pendant la raréfaction. Le corps A fournit le calorique nécessaire pour maintenir la constance de température.

3°. Le corps A est éloigné, et l'air ne se trouve plus en contact avec aucun corps capable de lui fournir du calorique; le piston continue cependant à se mouvoir, et passe de la position ef à la position gh . L'air se raréfie sans recevoir de calorique, et sa température s'abaisse. Imaginons qu'elle s'abaisse ainsi jusqu'à devenir égale à celle du corps B : à ce moment le piston s'arrête et occupe la position gh .

4°. L'air est mis en contact avec le corps B; il est comprimé par le retour du piston, que l'on ramène de la position gh à la position cd . Cet air reste cependant à une température constante, à cause de son contact avec le corps B auquel il cède son calorique.

5°. Le corps B est écarté, et l'on continue la

(54)

compression de l'air, qui, se trouvant alors isolé, s'élève de température. La compression est continuée jusqu'à ce que l'air ait acquis la température du corps A. Le piston passe pendant ce temps de la position cd à la position ik .

6°. L'air est remis en contact avec le corps A; le piston retourne de la position ik à la position ef ; la température demeure invariable.

7°. La période décrite sous le n° 3 se renouvelle, puis successivement les périodes 4, 5, 6, 3, 4, 5, 6, 3, 4, 5, ainsi de suite.

Dans ces diverses opérations, le piston éprouve un effort plus ou moins grand de la part de l'air renfermé dans le cylindre; la force élastique de cet air varie, tant à cause des changements de volume que des changements de température; mais l'on doit remarquer qu'à volume égal, c'est-à-dire pour des positions semblables du piston, la température se trouve plus élevée pendant les mouvemens de dilatation que pendant les mouvemens de compression. Pendant les premiers, la force élastique de l'air se trouve donc plus grande et par conséquent la quantité de puissance motrice produite par les mouvemens de dilatation est plus considéra-

La présentation fut assez élogieuse et bienveillante à l'égard du jeune homme. L'exposé est fidèle et il considère que l'auteur des *Réflexions* « a mérité une ... haute appréciation ».

Girard passe cependant à côté de l'essentiel, la notion de cycle, d'une part, et celle de réversibilité, d'autre part. Enfin, il ignore aussi les doutes soulevés par Carnot sur la validité de la matérialité de la chaleur (du calorique). Son esprit, pourtant fin critique et parmi les meilleurs de son temps, ne peut aller outre les paradigmes scientifiques de l'époque et appréhender l'entière des nouveautés intrinsèquement révolutionnaires de la pensée de Carnot.

De manière plus générale, c'est toute l'académie qui a failli à l'époque reconnaître le génie de Carnot : ils restèrent tous de marbre après la présentation de Girard [10].

Fig. 4 Description originale du cycle de Carnot telle que publiée dans l'édition de 1824, pages 32 à 34. Le raisonnement peut être suivi à l'aide de la figure 3. [4]

Même le livre d'Arago sur les machines à vapeur, professeur de Carnot, dont trois éditions parurent après 1824 (1827, 1829, 1837), reste muet sur l'œuvre de ce dernier.

On aurait pu s'attendre à ce que plusieurs attaquent les idées ou la méthodologie : rien. L'absence de réaction est assez unique dans l'histoire de la science.

Il faut en fait attendre de nombreuses années pour que l'on accorde à Sadi Carnot à juste place de père de la reine des sciences la thermodynamique. Les premières publications qui font spécifiquement et à juste titre référence aux *Réflexions*, sont de Clapeyron [11] en

1834. Mais il faut attendre le XXe siècle pour voir des publications plus générales sur l'œuvre de Carnot. Il n'entre dans les publications de la maison Dover qu'en 1960 [12], l'année où cette maison publie le *Radiative Transfer* de Chandrasekhar publié pour la première fois en 1950.

On peut aussi ajouter que le CNRS a consacré une table ronde sur Carnot en 1976 [13] et qu'il est entré dans la vie quotidienne avec la publication de *Scientific American* de 1981 [14].

Ainsi, si convaincu que le principe que vous défendez est original, que les résultats que vous obtenez sont inédits,

que la théorie reconnue que vous décrivez n'a plus sa place, ne vous laissez ni abattre par l'indifférence dans laquelle tombe votre œuvre pendant les 20 années qui suivent sa publication, ni par le mépris ou les attaques dont ont fait l'objet, par exemple, Mayer, qui finit ses jours en institution psychiatrique ou Boltzmann qui s'est suicidé.

7. CONCLUSION

L'objectif de cet article consistait à montrer que la valeur intrinsèque de la recherche ne dépend pas des moyens qui sont à notre disposition pour la réaliser. Il avait aussi trait à illustrer que l'empressement de certains à développer les savoir-faire occulte parfois l'acquisition des savoirs eux-mêmes.

Carnot n'avait que peu de moyens à sa disposition sinon les bibliothèques royales, du CNAM, de la Sorbonne et de l'École des Mines, les Compendex et Science Direct de l'époque. Il ne bénéficiait d'aucune infrastructure sophistiquée et ce n'est que la synthèse et la force de son raisonnement qui lui permirent de si grandes avancées dans ce qui allait devenir la thermodynamique.

L'époque de la restauration était aussi propice à remettre en question les paradigmes sociétaux et par conséquent ceux de la science. Mais encore fallait-il s'opposer aux défaillances de la théorie calorique encore en force jusqu'au milieu du XIXe siècle.

Un autre objectif de cet article consistait à montrer qu'il ne faut jamais renoncer à défendre les idées, qui nous apparaissent justes, devant les parterres les plus érudits même si elles renferment les germes d'une contradiction avouée avec les idées du jour du domaine où vous œuvrez.

À travers les commentaires choisis sur l'œuvre de Carnot qu'ont présenté les auteurs, il est à espérer que la lecture de cet article et, pourquoi pas, des *Réflexions* complètes puissent donner envie aux jeunes chercheurs de se poser des questions sur les paradigmes de la science contemporaine, de reléguer au second plan les instruments qui serviront à nourrir leur réflexion et de ne pas hésiter à remettre en question toute interprétation qui passe pour une loi ou un dogme.

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier les organisateurs du second Colloque International Francophone

d'Énergétique et Mécanique pour avoir permis d'aborder ce sujet lors d'un événement à caractère plus technique.

Nous remercions le Programme Interdisciplinaire Énergie du CNRS et le concours de CARTECH, Unité CNRS2407 pour la traduction de l'ouvrage de Brodianski [2].

Les auteurs désirent remercier les partenaires de la Chaire de recherche t3e qui s'investissent dans la réalisation de leurs projets. Daniel Rousse est reconnaissant au CRSNG pour une subvention à la Découverte et aux partenaires financiers de t3e.

RÉFÉRENCES

- [1] Barr, E.S., Historical survey of the early development of the infrared spectral region, *American Journal of Physics*, Volume 28, Issue 1, pp. 42-54, 1960.
- [2] Brodiansky, V.M., Sadi Carnot, 1796-1832, *Collection Études, Presse Universitaires de Perpignan*, 240 p., 2006
- [3] Coulston-Gillispie, C., *Lazare Carnot, savant*, Princeton University Press, 334 p., 1989.
- [4] Carnot, S, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Bachelier, Paris, 1824.
- [5] Carnot, S, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Disponible en ligne sur le site suivant : <http://www.bibnum.education.fr/files/42-carnot-texte-f.pdf>.
- [6] Kuhn, T., *La structure des révolutions scientifiques*, éditions Champs Flammarion, France, 1983.
- [7] Poulitov, K., *La thermodynamique*, Hauka, Moscou, 1971.
- [8] Bradu, B., *Réflexions sur la puissance motrice du feu de Sadi Carnot*, disponible en téléchargement sur : <http://www.bibnum.education.fr/files/carnot-analyse-42.pdf>
- [9] Procès verbaux, Académie des Sciences, (8), p.101, 1824
- [10] Girard, P., *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance de S. Carnot*, *Revue encyclopédique*, Paris, 23 :411-414, 1824.
- [11] Clapeyron, E., *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur*, *Journal de l'école Royale Polytechnique*, (14)23, Paris 1834.
- [12] Carnot, S., *Reflection on the Motive Power of Fire*, Dover, 1960
- [13] Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique, *Actes de la table ronde du CNRS (École Polytechnique, Paris 11-13 juin 194)*, Paris, 1976
- [14] Wilson, S. S., "Sadi Carnot", *Scientific American* 245 (2): 102-114, 1981