

Remarques sur un article de M. Dembno-Tchaikowsky paru dans les présentes Annales

J. DAYANTIS

Institut Charles Sadron, 6 rue Boussingault, F-67083 Strasbourg

RÉSUMÉ. Dans un article paru dans les présentes Annales en 1987, et concerné par l'énergie véhiculée par les molécules éjectées d'un réservoir de gaz sous pression, M. Dembno-Tchaikowsky a cru pouvoir affirmer qu'il existe une contradiction entre les résultats de ses expériences et les prévisions de la thermodynamique statistique. Cependant, un examen attentif des résultats expérimentaux de M. Dembno-Tchaikowsky, suggère plutôt qu'il faudrait des expériences nettement plus précises, avant de pouvoir affirmer que la contradiction est réelle et non pas un artefact d'origine expérimentale.

ABSTRACT. In an article which has appeared in the present review in 1987, and which is concerned with the energy accompanying gas molecules ejected from a gas reservoir under pressure, Mr Dembno-Tchaikowsky was able to assert that his experimental findings were in disagreement with the estimates of statistical mechanics. However, careful examination of his data rather suggests that much more precise measurements are needed, in order to confirm or discard his assertion.

M. Dembno-Tchaikowsky a publié il y a quelques années dans les présentes Annales [1], un article intitulé "Une expérience de détente gazeuse révélant un désaccord entre les thermodynamiques classique et statistique". Comme l'indique le titre de l'article, son auteur a imaginé une expérience de détente gazeuse qui serait en conflit avec les prévisions de la thermodynamique statistique (TS). A ce jour, jamais à notre connaissance on n'a pu mettre en évidence une quelconque incohérence entre l'expérience et la TS , ou entre cette dernière et la thermodynamique

phénoménologique classique (TC). La chose étant d'importance, il convient de soumettre l'expérience réalisée par M. Dembno-Tchaikowsky à une analyse critique constructive.

Nous référons le lecteur à l'article ci-dessus cité pour les détails de l'expérience et autres considérations, nous nous contentons ici de reproduire le schéma de l'expérience et d'indiquer les conclusions auxquelles est arrivé M. Dembno-Tchaikowsky : Deux compartiments en isolation thermique A et B sont reliés par une conduite munie d'un robinet et d'un brise-jet. Le compartiment B , en cuivre, est à la pression atmosphérique (que l'on peut, sans inconvénient, assimiler à un bar), alors que le compartiment A est à une pression variable, supérieure à un bar. En ouvrant le robinet, on peut faire s'écouler le gaz de A en B à une vitesse variable, un thermocouple chromel-constantan enregistrant continuellement la température de l'enceinte B .

Selon la différence de pression entre les compartiments A et B on trouve expérimentalement une élévation de température dans le compartiment B de 0.3 à 1.5°C , correspondant à un effet thermique de 30 à 150 calories respectivement (excès d'énergie contenue dans le gaz migrant de A à B par rapport à une masse égale de gaz dans A à l'instant initial). M. Dembno-Tchaikowsky croit alors pouvoir établir la relation exacte

$$Q = V_B \Delta P \quad (1)$$

Q étant la chaleur d'excès, V_B le volume du compartiment B et ΔP la différence de pression entre compartiments.

A partir de (1) on établit par des considérations simples que l'excès d'énergie des molécules migrantes par rapport à celles initialement dans le réservoir est de kT par molécule (k , constante de Boltzmann, T , température absolue).

Par ailleurs, un calcul classique de TS montre que l'excès d'énergie des molécules migrantes doit être seulement de $kT/2$.

Résumons alors les considérations générales et conclusions de M. Dembno-Tchaikowsky :

- 1° Dans une expérience de détente de Joule-Kelvin (à enthalpie constante) d'un gaz parfait [2], la TS montre que le transfert d'énergie d'un compartiment à l'autre est de $5kT/2$ par molécule.
- 2° Dans une expérience d'expulsion irréversible d'un gaz parfait par l'orifice d'un réservoir (jet gazeux) à la température T , la prévision

de la TS est que la perte d'énergie sera de $4kT/2 = 2kT$ par molécule. Si le gaz, au lieu d'être expulsé dans le milieu infini, l'est dans un réservoir B de volume fini et initialement vide, son énergie cinétique sera transformée en chaleur, et le gaz acquerra dans ce dernier réservoir une température T' supérieure à T et correspondant à une énergie cinétique moyenne de ses molécules de $2kT$. (Soit $T' = 4T/3$). Si au départ le réservoir B contenait du gaz à une certaine pression, l'élévation de température sera moindre mais facile à calculer à partir de la chaleur spécifique du gaz.

3° M. Dembno-Tchaikowsky trouve expérimentalement la loi (1), qui conduit à une perte d'énergie par molécule expulsée égale à $5kT/2$, en accord avec le résultat de la TC pour la détente de Joule-Kelvin, et en désaccord avec la prévision de la TS .

Remarquons de suite que l'échappement d'un gaz d'un réservoir sous pression par un orifice et la détente à enthalpie constante dans l'expérience de Joule-Kelvin ne sont pas des expériences équivalentes, et que par conséquent, si l'expérience donnait une valeur différente pour la perte d'énergie par molécule pour le premier de ces processus, ce ne serait pas là une raison suffisante pour mettre en cause la TC . Par contre, la différence entre la relation expérimentale (1) pour cette perte d'énergie, et les prévisions de la TS , pose évidemment problème.

Il convient alors d'examiner de plus près les résultats expérimentaux conduisant à la relation (1).

Il est indiqué dans l'article, p. 99, qu'à un effet thermique allant de 30 à 150 calories (soit dans un rapport de 5), correspondaient des pressions dans le compartiment A allant de 2.5 à 12.5 bars. C'est la différence de pression entre les deux compartiments qui est la quantité significative, et puisque la pression dans le compartiment B est au départ d'un bar, cela fait des différences de pression allant de 1.5 à 11.5 bars, soit dans un rapport de 9.33, au lieu du rapport 5 pour les échauffements ou effets thermiques. Aucune indication n'est donnée dans l'article au sujet de l'élévation de la pression dans le réservoir B suite à l'afflux de gaz, mais on peut penser que cette élévation est faible, vu la petitesse des effets thermiques de 0.3 à 1.5°C, en comparaison de $T' - T$ où $T' = 4T/3$ (voir ci-dessus), valeur correspondant au gaz en éjection accueilli dans un compartiment initialement vide et thermiquement isolé. Le chiffre de 8.33 pour le rapport des variations de pression serait donc significatif, et pourrait être interprété comme conduisant à une loi $Q =$

$V_B \Delta P/2$ (prévision de la TS) plutôt qu'à la loi (1), en désaccord avec cette prévision.

Pour un volume V_B égal à un litre, un calcul simple montre qu'un effet thermique de 30 calories correspond à une différence de pression de 1.25 bars, et un effet de 150 calories à une différence de pressions de 6.27 bars. Ce deuxième chiffre est presque la moitié de la valeur expérimentale indiquée dans l'article, conduisant aussi sensiblement à une loi $Q = V_B \Delta P/2$, et donc à une énergie d'excès par molécule éjectée égale à $kT/2$, en accord avec les prévisions la TS .

Il va de soi que si l'on désire mettre en évidence un effet nouveau, ou mettre en doute des théories bien établies, il faut pour cela pouvoir s'appuyer sur des faits expérimentaux précis et incontestables. Tel ne semble pas être le cas des expériences de l'article qui fait l'objet de la présente discussion. Nous pourrions par exemple suggérer de refaire ces expériences en établissant le vide dans le compartiment B , de façon à voir des effets thermiques beaucoup plus importants, et donc une précision accrue. Les techniques modernes permettent à n'en pas douter d'accéder à cela sans trop de difficultés. Par ailleurs, il n'est pas du tout certain que le brise-jet introduit conduit à une situation intermédiaire entre un jet gazeux irréversible et une expérience de Joule-Kelvin à enthalpie constante. Il faudrait aussi prendre soin à ce que l'isolation thermique soit aussi parfaite que possible, par exemple en remplaçant le cuivre de l'enceinte B par un matériau non-conducteur. On pourrait enfin suggérer de placer le thermocouple enregistreur à l'intérieur de l'enceinte, et non pas sur l'enceinte, afin d'éviter toute différence de température pouvant exister aux faibles densités entre la paroi et le gaz confiné (effet Warburg-Smoluchowski). Bref, de telles expériences ne peuvent être significatives que si elles sont menées avec le plus grand soin.

Pour compléter cette discussion critique de l'article de M. Dembno-Tchaikowski, nous voudrions contester la validité des raisonnements au moyen desquels cet auteur cherche à définir le travail effectué par un gaz s'échappant en jet de l'orifice d'un réservoir sous pression. De notre point de vue, *si le réservoir est fixe*, ce jet ne produit aucun travail. La situation est analogue à celle d'un mobile de masse macroscopique finie, animé au départ d'une certaine vitesse, et qui vient à l'arrêt suite aux frottements sur une surface rugueuse. Ce dispositif ne produit aucun travail, toute l'énergie cinétique du mobile étant transformée en chaleur. De même, l'énergie cinétique d'un jet de gaz, en l'absence de tout dispositif ad hoc pour en tirer du travail, va, selon la nature de l'environnement,

soit se transformer en chaleur sans fournir aucun travail, soit se conserver à l'infini.

Par contre, si le réservoir peut se mouvoir, alors, sous l'effet du jet de gaz il acquerra une certaine vitesse en sens contraire du jet, le barycentre de l'ensemble restant immobile. C'est le principe du mouvement par réaction. (Connu dans le monde animal des poulpes et utilisé par l'homme dans les avions à réaction). Alors, bien évidemment, il y a du travail fourni.

Il est peut-être amusant de rappeler ici les expériences fort anciennes de Clément et Desormes [3], non sans rapport avec les expériences présentes. Clément (le maître de Carnot à l'École des Arts et Métiers) et Desormes, qui se qualifient eux-mêmes de "Manufacturiers", étaient en quête du zéro absolu de la température, à définir à partir de la chaleur spécifique du "vide". Partant de cette idée audacieuse mais erronée, ils font toute une série d'expériences d'entrée irréversible de l'air ambiant ou d'autres gaz dans une enceinte où un vide partiel a été préalablement établi, et mesurent l'élévation de température qui en résulte en fonction du vide partiel. Cela leur permet d'établir, par des considérations astucieuses sur la chaleur spécifique du vide, que l'élévation de température pour le vide parfait lorsque c'est l'air atmosphérique qui est le gaz entrant, serait de 99°C. (Pour le gaz carbonique, leur résultat serait un accroissement de 116°C). Or, si on considère que l'air ambiant est à 300°K, la relation ci-dessus considérée, $T' = 4T/3$, conduit à $T' = 400^\circ\text{K}$, soit un accroissement de température de 100°C. La concordance, remarquable, n'est pas forcément un hasard, non plus que la valeur très bien approchée par Desormes et Clément de celle aujourd'hui admise pour le zéro absolu de la température, et soulève tout le problème de l'acquisition de résultats exacts à partir d'hypothèses inexacts. Mais ce problème sort complètement du cadre de la présente Note.

Pour conclure, nous dirions que les expériences de M. Dembno-Tchaikowsky méritent d'être reprises avec le plus grand soin, et que rien en l'état présent des choses ne permet d'affirmer qu'une contradiction a été mise en évidence entre les prévisions de la thermodynamique statistique et les résultats de l'expérience.

Références

- [1] M. Dembno-Tchaikowski, Ann. Fond. Louis de Broglie, **13**(1), 85(1987).

- [2] M.W. Zemansky and R.H. Dittman, Heat and Thermodynamics, International Student Edition, McGraw-Hill, 1981.
- [3] Desormes et Clément, Détermination Expérimentale du Zéro absolu de la chaleur et du calorique spécifique des Gaz, Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle, Tome 99, novembre 1819, pp. 321-346.

(Manuscrit reçu le 18 octobre 1994)