



HAL
open science

Exposé des recherches entreprises sur la thermodiffusion

J. Violle

► **To cite this version:**

J. Violle. Exposé des recherches entreprises sur la thermodiffusion. J. Phys. Theor. Appl., 1875, 4 (1), pp.97-104. 10.1051/jphystap:01875004009700 . jpa-00237142

HAL Id: jpa-00237142

<https://hal.science/jpa-00237142v1>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EXPOSÉ DES RECHERCHES ENTREPRISES SUR LA THERMODIFFUSION;

PAR M. J. VIOLLE.

I. — Lagrange, dans sa *Mécanique analytique* ⁽¹⁾, établit que l'équilibre d'une masse gazeuse n'est possible qu'à la condition que la température θ de la masse en chaque point soit une fonction de Π , la fonction des forces, laquelle existe toujours, comme l'on sait, dans le cas de la nature, et est définie analytiquement par la relation $Xdx + Ydy + Zdz = d\Pi$. En partant de ce résultat, M. Neumann ⁽²⁾, dans une étude préliminaire sur les causes des courants thermo-électriques, est arrivé à cette conclusion que, si une portion limitée d'un gaz renfermé dans un tube indéfini se trouve à un autre état de densité que le reste du gaz, toute différence de température artificiellement maintenue entre les deux extrémités de la portion considérée doit engendrer un mouvement continu dans la colonne gazeuse tout entière, le sens de ce mouvement étant parfaitement déterminé dans chaque cas, savoir de la face froide à la face chaude à travers la portion considérée, si le gaz a dans cette portion une densité plus considérable que dans le reste du tube.

Cette proposition théoriquement déduite de l'incompatibilité de l'existence d'une fonction des forces avec les conditions d'équilibre d'un gaz obéissant aux lois de Mariotte et de Charles, M. Feddersen ⁽³⁾ a cherché à la vérifier expérimentalement : j'ai rendu compte dans ce journal ⁽⁴⁾ des tentatives de vérification entreprises par M. Feddersen ; mais ces efforts n'ont pas été pleinement récompensés par le succès. Si effectivement le sens du phénomène observé a toujours été celui qui est prévu par la théorie, l'effet produit a été très-faible et toute mesure précise impossible.

En regard de ces expériences, il faut placer celles de M. Dufour ⁽⁵⁾

(1) LAGRANGE, *Mécanique analytique*, t. I, p. 204, Paris, 1853.

(2) CARL NEUMANN, *Vorläufige Conjectur über die Ursache der thermoelektrischen Ströme*. (*Berichte d. kön. Sächs. Gesells. d. Wissensch.*, Leipzig, 1872, p. 49.)

(3) W. FEDDERSEN, *Ueber Thermoeffusion von Gasen*. (*Pogg. Ann.*, 1873, t. CXLVIII, p. 302.)

(4) Voir *Journal de Physique*, t. II, p. 343.

(5) L. DUFOUR, *Sur une variation de température qui accompagne la diffusion des gaz à travers une cloison de terre poreuse*. (*Archives de Genève*, 1874, t. XLIX, p. 103.)

qui n'étaient pas encore publiées à l'époque où j'analysai les recherches de M. Feddersen, et qui n'étaient alors connues que par une communication sommaire de l'auteur à la Société helvétique des Sciences naturelles (1). M. Feddersen avait reconnu que, si l'on maintient à des températures différentes les deux faces extrêmes d'un diaphragme poreux, installé dans un tube et renfermant condensé dans ses pores le gaz dont le reste du tube est rempli, il se produit dans la masse gazeuse entière un courant dirigé dans le sens de la face froide à la face chaude du diaphragme. M. Dufour établit que, réciproquement, dans la diffusion d'un gaz à travers une paroi poreuse, il y a élévation de température du côté de la diffusion entrante et abaissement de température du côté où le gaz diffusant ressort de la paroi; de sorte que, si nous prenons deux gaz différents, l'hydrogène et l'air par exemple, traversant en sens inverse une paroi poreuse avec des vitesses différentes, l'effet dû au gaz qui diffuse le plus devant nécessairement l'emporter, il y aura abaissement de température à la face de sortie de l'hydrogène, et élévation de température à la sortie de l'air. La diffusion s'opérait dans les expériences de M. Dufour entre deux gaz séparés par la paroi poreuse d'un vase de pile contenant un thermomètre. Les variations de température les plus considérables accusées par ce thermomètre ont précisément été observées dans le cas de la diffusion entre l'hydrogène et l'air : elles ont été au maximum $+ 0^{\circ},37$, l'hydrogène étant à l'intérieur du vase poreux et l'air à l'extérieur, et $- 0^{\circ},48$, l'hydrogène étant à l'extérieur. Les variations observées ont donc toujours été très-petites, mais la faible masse de gaz employée ne permettait guère de les espérer plus considérables. Ces variations sont d'ailleurs, quant à leur sens, tout à fait d'accord avec l'idée que l'on se fait habituellement de l'action d'une paroi poreuse, laquelle condenserait le gaz sur la face par où il pénètre dans la paroi et le maintiendrait ainsi condensé jusqu'à l'autre face par laquelle il sortirait en se dilatant; il y aurait donc échauffement à l'entrée et refroidissement à la sortie. Observons en outre, comme le remarque M. Feddersen, qu'entre ces expériences et celles de M. Dufour il y a une sorte de réciprocité tout à fait semblable à

(1) *Compte rendu de la réunion de la Société helvétique des Sciences naturelles à Fribourg*, en août 1872. (*Archives de Genève*, 1872, t. XLV, p. 11.)

cette réciprocité déjà connue entre la chaleur et l'électricité, qui se manifeste dans les courants thermo-électriques et dans le réchauffement des soudures de Peltier. Les variations de température observées par M. Dufour seraient analogues à ce dernier phénomène, et la diffusion observée par M. Feddersen, diffusion due à une différence de température et se produisant dans un sens tel que cette différence tend, d'après la loi indiquée par M. Dufour, à devenir plus faible par le fait même de son existence, cette diffusion serait l'analogie des courants thermo-électriques, et pourrait très-exactement être appelée *thermodiffusion*, comme le propose M. Feddersen.

II. — Les variations de température qui accompagnent la diffusion des gaz étant, dans tous les cas, très-faibles, ainsi que nous l'avons vu plus haut, les moindres causes d'erreur devaient être scrupuleusement écartées. C'est en cherchant à évaluer l'influence de l'une de ces causes d'erreur, la présence de la vapeur d'eau dans les gaz soumis à l'expérience, que M. Dufour a été amené à l'étude d'un autre phénomène d'un grand intérêt, la diffusion entre deux masses d'air à des états hygrométriques différents ⁽¹⁾. Les longues et minutieuses recherches de M. Dufour sur ce sujet ⁽²⁾ le conduisirent à affirmer l'existence d'une diffusion gazeuse entre l'air sec et l'air humide ; mais cette diffusion dans le sens qu'il lui assigne, c'est-à-dire *avec prédominance du courant gazeux de l'air le plus sec à l'air le plus humide* serait en contradiction formelle avec les lois de Graham. Je suis donc porté à croire que, dans ses expériences, M. Dufour n'a pas eu affaire réellement à la diffusion entre deux masses d'air inégalement humides ⁽³⁾, mais bien à un phénomène

⁽¹⁾ Le fait de la diffusion entre l'air sec et l'air humide, avec quelques-unes de ses conséquences, fut annoncé par M. Dufour à la réunion de Fribourg, en 1872, en même temps que ses expériences sur les variations de température accompagnant la diffusion des gaz. (*Archives de Genève*, 1872, t. XLV, p. 11.)

⁽²⁾ L. DUFOUR, *Recherches sur la diffusion qui se produit entre l'air sec et l'air humide à travers une paroi de terre poreuse*. (*Archives de Genève*, 1874, t. XLIX, p. 316.)

⁽³⁾ Cette diffusion existe cependant sans aucun doute, en ce sens que, entre deux masses d'air à des états hygrométriques différents, séparées par une cloison poreuse, l'équilibre hygrométrique tend à s'établir et finit toujours par se réaliser. « Si, dit M. Dufour, on place dans un vase poreux bien fermé un corps mouillé et qu'on abandonne le vase à l'air libre, le corps mouillé est parfaitement sec au bout de quel-

d'un tout autre ordre, phénomène découvert par M. Merget ⁽¹⁾, et appelé par lui, un peu à tort, *thermodiffusion*, du nom même employé auparavant par M. Feddersen pour désigner un fait, en apparence du moins, complètement différent.

M. Merget formule comme il suit la loi essentielle de ce nouveau phénomène : Dans tout corps poreux ou pulvérulent humide, le mouvement de sortie de l'eau d'imbibition, à l'état de vapeur, s'accompagne obligatoirement d'un mouvement inverse de rentrée du gaz ambiant, lequel pénètre à l'intérieur du corps, sous pression, par tous les pores de la surface évaporatoire.

Tous les liquides volatils agissent comme l'eau, et d'autant mieux qu'ils sont plus volatils.

La nature du corps poreux est sans influence; il n'intervient que par les dimensions de ses pores.

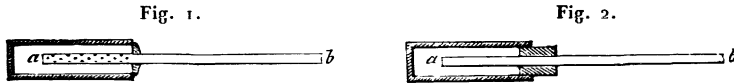
L'appareil dont M. Merget ⁽²⁾ se sert pour établir ces faits consiste en un vase poreux de pile (*fig. 1*), mouillé, dans l'axe duquel il introduit

ques jours. Si le vase poreux est installé dans un cylindre sec et y est maintenu, cette dessiccation est plus rapide. Si un godet à demi rempli d'acide sulfurique est placé dans un vase poreux, puis que ce dernier, parfaitement clos, soit installé dans un cylindre humide, on trouve, au bout de peu de temps déjà, que l'acide sulfurique a augmenté de poids et s'est étendu d'eau en absorbant de la vapeur aqueuse. » Tous ces faits, et bien d'autres analogues que l'on pourrait citer, prouvent donc incontestablement que la vapeur d'eau traverse une paroi poreuse; mais les lois numériques de ce passage sont encore inconnues : notre ignorance complète à cet égard n'est que trop établie par l'échec de M. Dufour, relativement à la création d'un nouvel hygromètre, basé sur la diffusion entre deux masses d'air inégalement humides. Et, cependant, ce but était poursuivi par M. Dufour avec une ardeur que comprendront tous ceux qui ont eu à faire des déterminations hygrométriques, surtout des déterminations hygrométriques en plein air : ils penseront certainement, comme je ne crains pas de l'affirmer après plusieurs années d'escalades dans les Alpes, qu'il n'existe pas actuellement d'instrument transportable permettant de mesurer exactement l'état hygrométrique de l'air à un instant donné. C'est sans doute sous l'empire de cette conviction que le savant professeur de Lausanne s'efforçait de doter la science d'un véritable hygromètre; et, s'il n'a pas pu y réussir, ce n'est certes pas faute d'avoir retourné sous toutes ses faces cette difficile question de la diffusion entre deux masses d'air inégalement humides, de l'avoir reprise sous vingt formes différentes avec une ingénieuse patience que la lecture du Mémoire peut seule mettre à même d'apprécier.

(¹) A. MERGET, *Sur des phénomènes de thermodiffusion gazeuse qui se produisent dans les feuilles, et sur les mouvements circulatoires qui en résultent dans l'acte de la respiration chlorophyllienne*. (*Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 1468; 1873.)

(²) A. MERGET, *Sur la reproduction artificielle des phénomènes de thermodiffusion gazeuse des feuilles par les corps poreux et pulvérulents humides*. (*Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 884; 1874.)

un tube de verre ab , ou mieux un tube métallique percé de petits trous en la portion intérieure ac de sa paroi; autour de ac est tassée une substance pulvérulente quelconque, puis le tube est scellé en c avec



un peu de plâtre gâché. On peut même, dans bien des cas, se contenter d'un vase poreux fermé par un simple bouchon de liège que traverse le tube ab (fig. 2). Enfin une vulgaire pipe de terre, dont on a bourré le fourneau avec de la poudre de terre de pipe, constitue un appareil souvent fort commode pour ce genre de recherches, le tuyau de la pipe servant de tube de dégagement.

Si l'on met l'un de ces appareils bien imbibé d'eau dans une étuve à air, dans la flamme d'un bec de gaz ou d'une lampe à alcool, ou bien au-dessus d'un feu clair, il perd, par évaporation superficielle, toute son eau d'imbibition, et, en même temps, l'air du dehors afflue à l'intérieur, *sous pression*, par tous les pores de la surface.

La pression intérieure, accusée par un manomètre en relation avec ab , croît régulièrement avec la température; et, en employant un appareil de très-petit modèle (12 centimètres de haut sur 4 centimètres de large), porté au rouge sombre, on la voit s'élever en peu de temps jusqu'à 3 atmosphères.

Quand on fait de ab un tube abducteur, l'échauffement de l'appareil détermine, par l'extrémité b , une sortie abondante de bulles gazeuses, et le gaz recueilli est toujours celui du milieu environnant, c'est-à-dire, dans les conditions ordinaires, de l'air atmosphérique pur. Le volume de gaz qui se dégage par b est en relation avec la quantité d'eau d'imbibition possédée par le corps poreux; il peut atteindre jusqu'à 30 ou 40 fois le volume de l'appareil.

En présence de ces faits, les expériences de M. Dufour me paraissent pouvoir s'expliquer d'une manière assez probable par cette circonstance que les vases dont il s'est servi avaient longtemps trempé dans l'eau, puis avaient été soigneusement lavés ⁽¹⁾, de sorte

(¹) Mémoire complet de M. Dufour, dans le *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, n° 72, t. XIII, p. 2.

que l'eau d'imbibition, s'évaporant légèrement du côté de l'air le plus sec, devait déterminer, de la part de celui-ci, un mouvement en sens contraire; ce mouvement ne pouvait d'ailleurs être que très-faible relativement à ceux qu'obtient M. Merget avec ses appareils, où se produit une évaporation bien autrement active. Et, en effet, tandis que M. Merget obtient des dégagements de 1 litre par minute et des pressions de plusieurs atmosphères, M. Dufour ne réalise, avec des appareils de mêmes dimensions, que des dégagements gazeux d'une bulle par trente-deux secondes et des pressions de quelques millimètres d'eau.

Que, d'autre part, dans les expériences de M. Merget, il y ait bien un fait nouveau, différent des phénomènes de l'échange gazeux par diffusion, c'est ce qui résulte nettement des expériences suivantes :

1° Un appareil Merget, que l'on a préalablement bien mouillé afin d'assurer la saturation de son atmosphère intérieure, est introduit dans un grand flacon de verre hermétiquement fermé par un bouchon que traverse le tube ab ; une couche d'acide sulfurique concentré versée au fond du flacon établit la siccité parfaite de l'air dans lequel le corps poreux est plongé. En cet état, et tant que la température de l'appareil reste la même que celle de l'air ambiant, le tube abducteur ab ne donne qu'un dégagement nul ou insignifiant; mais dès qu'on soumet l'appareil au plus faible rayonnement calorifique, en le faisant, par exemple, passer de l'ombre au soleil, on le voit immédiatement entrer en activité, et, pour des échauffements ne dépassant pas une vingtaine de degrés, donner dix à douze bulles de gaz par minute, encore même que l'on n'ait exposé à la radiation solaire qu'une faible partie de la surface du corps poreux.

2° Conservant ce premier appareil ainsi disposé avec une atmosphère intérieure saturée et une atmosphère extérieure sèche, on en monte un deuxième dans des conditions exactement inverses : pour cela, on prend un vase poreux de pile bien mouillé, on le remplit de chaux vive fortement chauffée pour lui constituer une atmosphère intérieure sèche, on lui adapte rapidement son bouchon muni du tube abducteur ab et on l'expose au soleil, à l'air libre, en même temps que le premier vase poreux maintenu dans les conditions de l'expérience précédente. Dans ces deux états respectifs, qui,

d'après les vues de M. Dufour, devraient leur assurer des modes de fonctionnement inverses, les deux appareils se comportent à très-peu près identiquement de la même manière et donnent sensiblement le même nombre de bulles dans le même temps aux extrémités de leurs tubes de dégagement.

3° Le deuxième appareil, successivement employé avec de la chaux vive fortement chauffée ou avec une éponge mouillée, à l'intérieur, fournit des dégagements gazeux sensiblement égaux lorsqu'on l'expose dans les deux cas à un même rayonnement calorifique.

La rentrée de l'air dans les appareils de M. Merget est donc bien un phénomène spécial, complètement distinct de la diffusion gazeuse, bien qu'ayant aussi une origine thermodynamique évidente. Sans vouloir, en effet, tenter une explication théorique qui pourrait paraître prématurée, sans chercher si l'afflux de l'air est provoqué par le départ même de l'eau d'imbibition à l'état de vapeur, ou par la distribution particulière des températures que ce départ occasionne dans la masse du corps poreux ⁽¹⁾, on peut remarquer que les faits découverts par M. Merget offrent un exemple très-net de la transformation directe de la chaleur en mouvement ; car le gaz extérieur qui pénètre dans l'appareil s'y refroidit en le traversant, et c'est la force vive devenue ainsi disponible, par suite de la transformation du mouvement calorifique moléculaire, que l'on retrouve dans le mouvement de masse du gaz se dirigeant vers l'intérieur du corps poreux.

Ces faits jouent un rôle important dans certains phénomènes naturels.

Nos vêtements, les pierres de nos maisons, le sol, lorsqu'ils sont tant soit peu échauffés après humectation préalable, fonctionnent comme des appareils Merget, et cela avec une activité parfois surprenante.

Chez les animaux, le mouvement gazeux étudié par M. Merget intervient certainement dans la respiration pulmonaire et trachéenne, mais c'est chez les végétaux surtout que les phénomènes de cet ordre ont une importance capitale. Chez les végétaux aqua-

(1) Cette distribution des températures serait particulièrement intéressante à étudier, et l'on y trouverait sans doute le lien qui doit rattacher ces phénomènes à ceux observés par M. Feddersen.

tico-aériens, les feuilles possèdent, à ce point de vue, une activité considérable qui leur permet, dans quelques espèces (le *Nelumbium speciosum*, par exemple), de lancer, par leurs orifices stomatiques, jusqu'à $\frac{1}{2}$ litre d'air par minute à travers le réseau des grandes lacunes qui s'étend d'un bout à l'autre de la plante, entretenant ainsi dans ce système de canaux aérifères une circulation gazeuse bien autrement active que celle d'un grand nombre d'animaux.

Chez les végétaux aériens, le pouvoir d'action des feuilles est sensiblement moindre; mais aussi elles ne sont pas seules à le posséder, car les rameaux et les tiges le partagent avec elles et donnent accès, soit par les lenticelles, soit par les cicatrices des blessures de l'écorce, à l'air atmosphérique qui pénètre sous pression dans l'intérieur de l'organisme par toute la portion de la surface aérienne échauffée, pour se porter à travers les tissus vers les points relativement froids.

Je ne puis insister ici sur cette portion du travail de M. Merget, bien qu'il lui ait donné un développement considérable; ce que j'en ai dit suffira toutefois pour faire comprendre le rôle de ces phénomènes en Botanique, et montrera une fois de plus l'importance pour la Physiologie de tout progrès réel de la Physique.
