**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles

**Band:** 57 (1929-1932)

**Heft:** 224

**Artikel:** Sur une classification des énergies électroniques et le mécanisme des courants électroénergétiques dans les métaux

**Autor:** Perrier, Albert

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-284172

**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:** 06.07.2025

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

## Albert Perrier. — Sur une classification des énergies électroniques et le mécanisme des courants électroénergétiques dans les métaux.

*N. XXI. — Séance du 19 février 1930.*

I. — *Rappel de propositions essentielles.* — Dans des notes antérieures [1], j'ai émis et appliqué l'hypothèse que tout courant électrique du type métallique doit être simultané d'un courant d'énergie dont la densité coïncide en direction avec celle de la densité de courant et lui est proportionnelle; j'ai fait usage des termes « flux d'énergie longitudinaux », « courants électrocaloriques », puis « *courants électroénergétiques* »; je retiendrai dans la suite le dernier nom de préférence aux autres, car il s'adapte plus exactement à la nature du phénomène, mouvement d'énergie électronique qui n'est pas proprement ou exclusivement de la « chaleur » [2].

J'ai démontré en outre, sur la base de faits expérimentaux certains, la *nécessité* de cette hypothèse, au moins pour les milieux anisotropes naturellement ou accidentellement.

J'ai souligné enfin dès le début que, si les énergies des électrons déjà connues antérieurement (d'équipartition par exemple de la théorie de Drude-Lorentz) sont, bien entendu, englobées dans ces courants, l'hypothèse comporte des notions essentielles, toutes différentes et nouvelles, qui sont, elles, précisément les éléments indispensables de la théorie; comme du reste les actions *électromotrices intérieures*, qui suggèrent d'elles-mêmes les courants électrocaloriques.

Les propos du présent travail sont, d'une part, d'expliciter

[1] N. IX et XV, ce recueil v. 56, p. 129 et 645; aussi: *Société Suisse de Physique*, séances Lausanne, sept. 1928, Soleure, mai 1929, et Davos, août 1929, — *Helvetica Physica Acta* I, p. 154, II p. 149 et 308 (en même temps N. XIX. *S. V. S. N.*).

[2] Cp. différence entre «énergie interne» et «chaleur» de la thermodynamique classique.

avec beaucoup plus de détails les caractères essentiels de ces courants, de l'autre d'établir quelques règles commodes pour leur application théorique. On reconnaîtra facilement ces caractères et l'usage de ces règles dans des publications antérieures, si succinctes qu'elles soient[1].

La plupart des propositions antérieurement établies par moi n'exigent pas le choix entre électrons « libres » ou « liés »; et je conserverai la même généralité, sauf nécessité d'indication contraire. J'observerai seulement une fois de plus que le terme « *électrons de conduction* » a un sens statistique et expérimental parfaitement précis[2].

Mais j'observerai aussi, et ceci est tout à fait particulier aux idées que j'ai développées, que le nombre des électrons de conduction pourrait dépendre, outre de la nature et de la température des conducteurs, aussi du « type » de courant dans un même conducteur (notion des courants hétérogènes).

II. — *Deux types de courants d'énergie.* — On sait que les électrons de conduction représentent une *énergie moyenne* déterminée, comprenant une partie cinétique et une partie potentielle, mais qui sont d'ailleurs numériquement différentes dans les diverses hypothèses invoquées (p. ex. pour la fraction cinétique, grandeur ancienne d'équipartition ou récente de la statistique de Fermi et Sommerfeld). Je reviens plus bas sur quelques propriétés générales de ces énergies; il nous suffit ici de constater que tout courant, soit tout transport moyen d'électrons peut être envisagé comme comportant le transport simultané de la totalité de ces énergies, en les supposant liées aux électrons; *le courant d'énergie ainsi constitué est évidemment proportionnel à l'intensité.*

Mais, ai-je dit plus haut, la théorie suppose autre chose. Considérons une cause quelconque capable de provoquer un courant dans un métal (champ électrique, champ d'accélération, gradient de température, etc.) et appelons une fois pour toutes *action électromotrice* une de ces causes, qui pourra le

[1] Quelques évaluations et considérations des notes IX et XV ne sont pas correctes au sens du développement acquis de la théorie; elles n'entachent pas les applications faites depuis lors.

[2] J'ai imaginé plusieurs méthodes (*S. V. S. N.* — Notes I. IV, V, XII, v. index v. 56 p. 146), de mise en œuvre malaisée, mais permettant en principe de déterminer expérimentalement le nombre d'électrons de conduction, indépendamment de tout mécanisme particulier de courant.

plus souvent être représentée quantitativement par un vecteur. De la sorte, un concept fondamental de la théorie se désigne très commodément et clairement: un champ électrique, un champ d'accélération, etc., seront des *actions électromotrices extérieures*. Et si la matière intervient activement sous l'influence d'un de ces agents, il se développe une *action électromotrice intérieure*, telle que je l'ai invoquée systématiquement. Cette dernière hypothèse est tout à fait équivalente à celle de l'intervention de courants de superconduction, de supercourants, ou, comme j'ai préféré dire pour éviter toute confusion, d'*autocourants* (divers d'ailleurs).

Cela posé, j'ai admis d'une manière tout à fait générale:

*Dès qu'agit une cause de courant, une action électromotrice de type quelconque, les électrons transportent d'une molécule à l'autre des quantités d'énergie en moyenne différentes selon le sens de la composante de leur vitesse dans la direction de l'action électromotrice. Autrement dit, il existe simultanément un flux statistique d'énergie.*

Ainsi ce flux accompagne un courant électrique, mais il existe encore dès qu'il y a *action électromotrice, même sans courant* (v. paragr. IV plus bas). Et inversement, les énergies qui entrent en ligne de compte n'*existent pas lorsqu'il n'y a pas action électromotrice.*

Mes recherches antérieures ont progressivement accentué la netteté de la démarcation entre la première contribution aux courants électroénergétiques et celle qui vient d'être rappelée: ce qui suit immédiatement et d'autres recherches feront ressortir davantage encore les différences de leur origine et de leur rôle. Aussi m'est-il apparu nécessaire de faire usage dorénavant de deux néologismes pour les désigner.

Les énergies potentielle et cinétique que les électrons de conduction possèdent en tout état de cause dans le métal, qu'ils soient statistiquement au repos ou en mouvement, seront qualifiées de *statroniques*; quant aux parts d'énergie transportées par un processus dyssymétrique *provoqué* par la présence d'une action électromotrice, elles seront caractérisées par l'adjectif *dynatronique*.

Bien que, dans de précédents travaux, j'aie fait usage quantitatif de cette dernière grandeur, je ne l'ai pas explicitée dans l'expression *symbolique* générale d'un courant d'énergie

au moyen de *facteurs de transport* $w$ [1]. La densité du courant électrique étant comme d'habitude $J$, la densité du courant d'énergie y afférent est un nouveau vecteur $\mathfrak{W}$ tel que:

$$\mathfrak{W} = wJ.$$

Il conviendra dès lors de scinder ce vecteur, s'il est nécessaire, et selon ses composantes connues; dès à présent nous pouvons poser

$$w = w_{st.} + w_{dyn.}$$

symboles dont l'interprétation découle immédiatement de ce qui précède. Il est clair d'ailleurs que tous les facteurs de transport $w$ mesurent des débits d'énergie par unité de charge électrique: ils sont donc homogènes avec le potentiel électrique.

J'ai eu souvent, et nous aurons souvent encore à envisager des circonstances où il n'y a pas d'intensité résultante; on a vu qu'alors nous considérons toujours comme existantes des intensités sous-jacentes. Mais, si l'on préfère, il est parfaitement loisible d'exprimer le vecteur $\mathfrak{W}$ en fonction de l'action électromotrice convenable. Par exemple dans le cas d'un champ électrique,

$$\mathfrak{W} = a\mathfrak{E}$$

où $a$ est encore un facteur de transport, mais, bien entendu, de dimension différente des $w$,

$$a = \frac{w}{\rho}$$

Nous allons examiner de plus près quelles doivent être les propriétés essentielles de nos deux catégories d'énergie, ainsi que quelques conséquences expérimentales qui en découlent.

III. — *Des énergies statroniques.* — Il n'y a aucune difficulté à définir le flux de l'énergie cinétique correspondant à un déplacement d'ensemble des électrons; il a été invoqué d'ailleurs à plusieurs reprises plus ou moins explicitement. Mais l'énergie statronique comporte une part sans doute même prépondérante d'énergie potentielle. Or, parler d'un flux d'énergie potentielle est chose conventionnelle à un haut degré, de par la définition même de ce type d'énergie (« de position »),

[1] *S. V. S. N.* — N. XV et XIX; aussi *H. P. A.* I, p. 154; II, p. 308.

ce dont je suis pleinement conscient. Mais on sait que la valeur et le signe même des énergies potentielles dépendent de suppositions parfaitement arbitraires: seules leurs variations ont un sens bien déterminé. Autant en peut-on dire des courants d'énergie potentielle; leurs variations seules importent, car seules elles apparaissent dans les équations.

Ces observations une fois formulées, les problèmes traités m'ont montré qu'il y a des avantages considérables à englober toutes les énergies potentielles aussi dans les courants *statroniques*.

En particulier, cette méthode évite complètement la considération explicite des énergies de dissociation des électrons: elles font partie en effet des énergies potentielles. Je montrerai dans des communications suivantes comment l'*énergie statronique* peut être amenée à identité avec la *chaleur spécifique d'électricité*.

Il est clair que l'énergie statronique globale est fonction de la nature du conducteur et, généralement, de la température. On la rapportera suivant les besoins, soit à l'unité de charge de conduction, soit à l'électron, soit à l'unité de volume du conducteur; il est alors manifeste qu'elle est de nature proprement scalaire et que cela implique ces deux conséquences essentielles:

1. *Même dans un milieu d'anisotropie quelconque, le facteur de transport statronique* $w_{st}$ *est isotrope.*

2. *Le facteur de transport statronique est le même pour n'importe quel type de courant dans un corps donné, le même encore par conséquent pour un courant résultant de plusieurs composantes hétérogènes.*

La question de savoir si l'énergie statronique est modifiée par la présence d'une action électromotrice (par exemple un champ électrique ou un champ magnétique) est abordée au § V.

Nous avons établi dans des travaux antérieurs [1] que l'existence des courants électrocaloriques est nécessaire pour expliquer les anisotropies électrocaloriques. Nous venons d'obtenir quelque chose de singulièrement plus précis: les composantes statroniques étant de toute nécessité isotropes (v. § V

[1] N. XV. — *loc. cit.* et *H. P. A.*, v. I, p. 454.

ci-dessous), *cela nous démontre la nécessité des énergies dynatroniques, donc leur existence objective.*

IV. — *Des énergies dynatroniques.* — Introduits d'une manière aussi générale que je l'ai fait jusqu'ici, ces courants dynatroniques ne laissent pas d'apparaître quelque peu étranges, voire contradictoires avec d'autres notions. Or, bien des mécanismes peuvent être imaginés pour les réaliser; en voici un modèle absolument schématique, uniquement à des fins d'illustration.

Soit dans un conducteur quelconque deux ensembles d'électrons répartis l'un et l'autre à densité uniforme dans toute son étendue. Dès qu'il y a mouvement de l'un ou de l'autre ou des deux simultanément, il y a courant électrique; mais on peut réaliser ce même courant d'*une infinité de manières* en choisissant à volonté les densités (différentes) des groupes « montants » et « descendants », ainsi que leurs vitesses; et à tout choix particulier correspond un flux d'énergie cinétique différent: on peut même parfaitement bien imaginer des conditions telles que ce flux soit de *sens inverse de l'intensité du courant.* On peut encore particulariser davantage, faire que le *courant électrique soit nul* et cependant que le *flux d'énergie ait telle valeur que l'on voudra*; il suffit que les vitesses d'ensemble, de sens contraire, soient entre elles en raison inverse des densités. Convenons enfin que les dernières conditions soient réalisées dans un cylindre droit limité par des faces planes et que chacun des groupes d'électrons soit réfléchi contre ces faces en acquiérant immédiatement la vitesse de l'autre groupe: l'une de ces faces absorbe continuellement de l'énergie cinétique et se chauffe, la face opposée est le siège d'un phénomène exactement inverse; c'est là une image très simple de phénomènes électrocaloriques à courant nul. Je laisse au lecteur le soin de rapprocher ce modèle de phénomènes électroniques en présence d'atomes. J'ai déjà traité tels phénomènes et nous allons les retrouver avec plus de détails (§ VII et notes suivantes); pour que l'intensité de courant soit en particulier nulle, on doit considérer la superposition de *deux* actions électromotrices hétérogènes au moins. Il importe au reste de noter ici encore que ces transports dynatroniques peuvent atteindre des valeurs numériques considérables — de l'ordre des courants ordinaires de conduction calorifique.

Considérons encore un conducteur de *résistivité anisotrope*; la même densité de courant dans des directions différentes requiert alors des champs électriques électromoteurs différents à proportion des résistivités, c'est-à-dire, de ce fait déjà, des actions électromotrices différentes et en conséquence des courants dynatroniques différents; l'anisotropie des phénomènes électrocaloriques n'offre donc plus d'obstacle de principe à ce mode d'interprétation.

Imaginons successivement dans un même conducteur des intensités égales, mais *hétérogènes* (par différence de potentiel, par accélération, etc.). Cela suppose par définition même des actions électromotrices hétérogènes et par conséquent encore des *facteurs dynatroniques de transport numériquement différents.*

Ces propositions seront mises avec avantage en regard des deux qui concernent les énergies statroniques au § III. Il convient d'y joindre la suivante, qui d'ailleurs a déjà été formulée autre part, pour compléter la comparaison:

*Dès qu'il n'y a pas de courant électrique (résultant), seuls les flux dynatroniques peuvent entrer en jeu pour les transports d'énergie.*

V. — *Conditions de conservativité et phénomènes électrocaloriques.* — Mes publications antérieures ont relevé à maintes reprises que les courants électroénergétiques échappent — pour le moment — à toute expérience, aussi longtemps qu'ils ne subissent pas de modifications; et ces modifications se manifestent alors par des créations ou destructions de chaleur (phénomènes électrocaloriques).

Nous allons soumettre ces modifications à un nouvel examen, en nous attachant à certains points laissés quelque peu dans l'ombre jusqu'ici.

In abstracto, la condition générale pour qu'un courant électroénergétique entraîne un phénomène calorifique se formule évidemment de cette manière aussi simple que générale:

*Il faut et il suffit que le flux du vecteur* $\mathfrak{K}$ *(résultant) ne soit pas conservatif.*

On trouve ces conditions réalisées dans trois cas déjà invoqués, savoir:

Les lignes de courant électrique (ou à leur défaut, les lignes d'action électromotrice) traversent des régions où la

nature du conducteur est hétérogène, où la température n'est pas uniforme, où enfin l'anisotropie n'est pas uniforme (en direction ou en valeur quantitative). Un quatrième cas a été encore considéré par moi, qui n'a de sens que dans la théorie des courants hétérogènes [1], celui où précisément le vecteur $J$ lui-même est résultante de deux vecteurs hétérogènes à flux non conservatifs, mais dont la superposition seule est conservative.

Une dernière question requiert enfin, même dans cette publication abrégée, un examen attentif: toutes les conditions de conservativité énoncées ci-dessus étant remplies, le flux d'énergie est-il nécessairement conservatif? ou l'uniformité du vecteur $J$ est-elle en outre nécessaire? En d'autres termes, *les vecteurs* $\mathfrak{W}$ *et* $J$ *sont-ils rigoureusement proportionnels?*

Supposons qu'ils ne le soient pas, et représentons généralement $\mathfrak{W}$ par une série de puissances de $J$; tous ces phénomènes changeant de signe avec cette grandeur, la série ne comprend que des puissances impaires, arrêtons-la au second terme déjà:

$$\mathfrak{W} = w_1 J + w_1 J^3$$

le vecteur comprend de nouveau ici toutes les contributions statroniques et dynatroniques, discutons séparément les unes et les autres.

Il apparaît de prime abord que l'énergie *proprement* statronique caractérisée plus haut ne saurait conduire à une autre loi que la loi linéaire en $J$ puisque l'énergie moyenne d'un électron est fixe ; cependant, en présence d'un champ électrique, l'énergie potentielle des électrons quels qu'ils soient est modifiée par la déformation diélectrique du réseau cristallin, et cette modification d'énergie proportionnelle au carré du champ correspondrait en effet à un terme en $J^3$ dans le flux dû au transport des électrons.

Pour une évaluation théorique, on doit partir des constantes diélectriques; mais, en les admettant anormalement grandes devant celles, connues, des isolants, on obtient des modifications relatives d'énergie tout à fait *insensibles* [2]. Il sub-

[1] V. en particulier N. XIX, *H. P. A.* II, p. 308.
[2] cf. N. XVII, *H. P. A.* II, p. 149.

siste cependant une incertitude en ce fait qu'on ne sait nullement quelle polarisation considérable pourrait représenter l'état de l'atome au moment précis où un électron le quitterait pour passer à un ion voisin.

D'autre part enfin, pour ce qui touche les courants *dynatroniques*, on peut déjà concevoir qualitativement, et sans pénétrer plus avant dans des mécanismes particuliers, qu'ils puissent ne pas être linéaires en $j$.

Or nos raisonnements antérieurs ont postulé que les flux statroniques ne sauraient présenter d'anisotropie; le terme cubique qui nous occupe est en fait statronique, et cependant il peut être anisotrope puisque fonction de $\mathcal{E}$ (ou de la résistivité). On voit l'importance logique, pour tout cet aspect de la théorie, qu'il y a à élucider cette question. Aussi allons-nous ajouter à ces quelques considérations théoriques celle de l'expérience.

VI. — *La dépendance de $\mathcal{W}$ et de $j$ devant l'expérience.* — Les faits expérimentaux connus permettent à mon avis de conclure déjà. En effet, si les termes du troisième ordre étaient en cause pour rendre compte des anisotropies caloriques, on devrait voir s'évanouir ces manifestations avec des courants suffisamment faibles; or toutes les anisotropies observées gardent les mêmes proportions pour toutes les intensités. Cela seul autorise sans doute à conclure qu'il n'y a pas de termes d'ordres supérieurs au premier, ni dans les flux statroniques, ni dans les courants dynatroniques.

Néanmoins la question revêt une telle importance, elle reparaît si souvent dans d'autres problèmes encore, que j'ai tenu à la soumettre moi-même à l'épreuve expérimentale, au moins rapidement; voici le principe de cette épreuve: si un courant électroénergétique n'est pas proportionnel exactement à l'intensité de courant électrique, on pourra provoquer des *manifestations calorifiques simplement en envoyant des courants le long de conducteurs à section variable*; ces phénomènes doivent en outre changer de signe et au changement du sens de variation de la section et au renversement du courant. L'anisotropie ici n'est pas requise et on peut expérimenter sur des milieux microcristallins. On trouvera à la fin de cet article quelques données sur ces expériences dont le

résultat *doit être considéré comme négatif* dans les limites de leur certitude [1].

En outre, des connaissances d'un tout autre ordre viennent renforcer les conclusions. D'après mon interprétation de la conduction calorifique [2], la non proportionnalité des flux *dynatroniques* à l'intensité du courant conduirait à prévoir que la loi élémentaire de la conduction calorifique ne serait pas linéaire vis-à-vis du gradient thermique, autrement dit que la conductance calorifique dépendrait du gradient de température. On sait qu'aucune mesure n'a fait présumer jusqu'ici, que cette dépendance soit appréciable.

Nous admettrons donc comme une base de la théorie que les courants statroniques et les courants dynatroniques sont proportionnels à l'intensité du courant électrique (ou à défaut à l'action électromotrice correspondante).

VII. — *De la conduction calorifique.* — Pour élucider le sens physique des notions précisées dans le présent travail, reprenons la théorie de la conduction calorifique résumée ailleurs [3]), et qui au surplus trouvera son expression quantitative complète comme simple déduction d'une équation présentée dans cette même séance. (*N. XXIII.*)

Considérons donc un conducteur métallique siège d'un gradient de température, mais non d'un courant électrique; les idées maintenant classiques admettent qu'il s'établit spontanément un champ électrique qui équilibre la tendance des électrons à se déplacer parallèlement au gradient de température; elles admettent encore que la chaleur est transportée suivant le gradient ensuite de la différence des énergies cinétiques des électrons « montants » et « descendants », différence

[1] Guidé d'ailleurs par des idées théoriques différentes, M. C. Benedicks a exécuté des recherches expérimentales du même ordre et obtenu des résultats positifs (v. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, v. 8, p. 25 (1929) chez Springer, Berlin). Je n'ai pas eu la possibilité jusqu'ici d'examiner ses mémoires détaillés, mais comme ces recherches ont été certainement plus extensives et plus prolongées que les expériences indiquées ici, il y a lieu de leur attribuer un degré de certitude plus élevé.

D'ailleurs, pour intéressants que soient ces phénomènes en eux-mêmes, ils ne sauraient infirmer nos conclusions, car tels qu'ils apparaissent, ils sont d'un ordre beaucoup trop faible; l'interprétation des anisotropies exige des effets du même ordre pour la troisième puissance que pour la première.

[2] V. N. XVIII, *H. P. A.* II, p. 149 et § VII ci-dessus.

[3] N. XVIII. *S. V. S. N.* loc. cit.

attribuée *exclusivement* au fait que cette énergie est fonction de la température.

J'ai préféré le mécanisme suivant qui diverge du précédent en ce sens — entre autres — qu'il ne disjoint plus les phénomènes thermiques des phénomènes électriques. J'ai admis que le conducteur est le siège de deux courants électriques égaux et de sens contraire : l'un, que l'on *observera* en l'absence de toute différence de potentiel, causé par la non uniformité des températures, et que j'appelle *autocourant thermoélectrique*, l'autre qui apparaît en même temps que le gradient électrique antagoniste, et qui est du type ohmique habituel (courant « de potentiel »). La « résistance » afférente au premier peut rationnellement être considérée comme nulle. Et nous avons ainsi un exemple très net d'un système à *deux courants hétérogènes* de résultante nulle. Mais chacun d'eux transporte un flux d'énergie dont la résultante n'a, elle, aucune raison d'être nulle, à cause de l'hétérogénéité. *C'est cette résultante qui est le flux de chaleur expérimental!* L'un et l'autre de ces courants électroénergétiques ne comportent d'ailleurs que des contributions *dynatroniques* ($J$ résultante nulle; règle § IV). Par le calcul, on établit alors que le coefficient $k$ de conduction calorifique est représenté dans cette théorie par

$$k = \varkappa + \frac{\upsilon}{\rho} w_{dyn.}$$

$\varkappa$ = coefficient de conduction calorifique « pur » correspondant à l'autocourant seul [1]. Cette théorie, on l'a vu, jette une lumière inattendue sur la liaison entre la conduction et le pouvoir thermoélectrique.

VIII. — *Note sur des expériences à densité de courant non uniforme.* — J'ai fait usage de conducteurs de section rectangulaire (largeur 20 mm., hauteur 5-10 mm.) sur la majeure partie de leur longueur (ordre de 20 cm.). En leur milieu (sur 15-20 mm.) la hauteur est réduite à 0,4-1,0 mm., la largeur étant conservée ou réduite elle aussi, selon les possibilités mécaniques de chaque matière. Toute la partie ainsi amincie est noyée dans une veine d'eau froide à grand débit et de température sensiblement constante.

[1] V. note XXIII, pour démonstration et autres symboles.

Dans les régions épaisses, mais à quelques dixièmes de mm. et de part et d'autre de l'étranglement, on a pratiqué des trous, traversant les conducteurs normalement de part en part; puis on y a passé des couples cuivre-constantan recuit, la soudure étant logée au milieu et les branches sortant de part et d'autre. Diamètre des fils 0,3 mm., des trous 0,5 mm., isolement à la bakélite, soigneusement contrôlé.

Par un jeu convenable de contacts (à température égale), les couples peuvent fonctionner à volonté séparément (détermination des températures) ou en opposition (différence des températures). On observe la force électromotrice au potentiomètre, sensibilité 0,01°.

Les expériences sont en principe claires et simples: Il s'agit d'envoyer dans les conducteurs des courants aussi intenses que possible, alternativement dans un sens puis dans l'autre, et d'observer attentivement le sens et la grandeur des différences de température. Si les facteurs de transport sont fonction de la densité de courant, on doit observer des dyssymétries thermiques qui se renversent avec le courant.

Mais une difficulté essentielle, qu'il est impossible d'exclure complètement des déterminations, réside dans les effets Thomson, conséquences secondaires des gradients de température que la chaleur Joule provoque nécessairement. C'est aux fins de réduire cet effet et d'accéder à des densités élevées de courants que l'on a prévu la circulation d'eau.

Les expériences ont été exécutées sur du bismuth, du fer et du plomb, choix qui est motivé par leurs propriétés conductives typiques à des titres divers; le bismuth et le fer doivent être le siège d'actions intérieures intenses, de signes inverses, le plomb ne manifeste pas d'effet Thomson sensible. On a pu pousser les densités de courants jusqu'à 60 A/mm$^2$ dans plusieurs essais. On a exécuté les opérations bien entendu suivant des modes variés: régimes permanents, régimes à variations rapides, très particulièrement en partant de l'uniformité de la température, etc.

Des dyssymétries réversibles de température sont effectivement apparues surtout dans le bismuth, mais elles étaient dans tous les cas du sens et de l'ordre de grandeur des effets Thomson. Avec le plomb, et cela est particulièrement démonstratif, on n'a même pas pu déceler de dyssymétrie. Or, avec des écarts de densités de courants mesurés par des rapports

de l'ordre de 1:20 à 1:50 selon les cas, donc des écarts sur $J^3$ mesurés par 1:8000 jusqu'à 1:125 000, un terme en $J^3$ d'un ordre comparable à celui du terme en $J$ pour des courants usuels aurait dû certainement se manifester en toute netteté. La conclusion que nous avons choisie dans cette note en nous basant sur d'autres phénomènes fort divers est donc fortement appuyée par ces expériences aussi.

*Lausanne, Laboratoire de physique de l'Université.*