

# Formation des concepts d'électrocinétique

## UN POINT DE VUE HISTORIQUE

Congrès S.F.P. de Strasbourg - Juillet 1987

par Abdelmadjid BENSEGHIR

L.D.P.E.S., Paris 7

---

Dans cette étude, on propose de montrer comment historiquement les connaissances sur l'électricité statique ont fait obstacle à la formation des concepts d'électrocinétique.

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, la seule approche de l'électricité correspondait aux phénomènes d'électricité statique développée essentiellement par le frottement et avait pour cadre ce qu'on appelait alors, la «science de l'électricité», ancêtre de l'actuelle électrostatique. Au tournant du siècle, suite aux expériences de Galvani (1789) et à la mise au point du premier électromoteur par Volta (1800), les phénomènes d'électricité dynamique s'imposent comme un fait scientifique.

Dès lors, et au moins jusqu'à l'avènement de l'électromagnétisme en 1820, l'interprétation prépondérante de ces phénomènes se référera étroitement à la «science de l'électricité».

### 1. LA «SCIENCE DE L'ÉLECTRICITÉ» AU DÉBUT DU XIX<sup>e</sup> SIÈCLE

#### 1.1. Objets et concepts

Deux types de phénomènes constituent l'objet de cette science, les attractions et les répulsions entre corps électrisés d'une part, les décharges électriques occasionnant des effets divers (étincelles, fonte de fils métalliques, commotions, etc), d'autre part. Ces phénomènes ont lieu généralement dans des situations de circuits ouverts (pôles de machines électrostatiques, armatures de bouteilles de Leyde seules ou reliées à un conducteur, etc).

Les propriétés électriques observées sont considérées comme les manifestations de l'état d'accumulation sur les corps électrisés, d'une substance spécifique, le «fluide électrique». Pour décrire le degré d'accumulation de ce «fluide» sur un corps chargé, il est fait appel aux termes de «tension» ou d'«intensité»\* dont le sens semble se stabiliser autour de l'idée de densité de charge, comme l'illustre cet extrait de Haüy :

*«On appelle ainsi (tension) la force répulsive avec laquelle les molécules du fluide vitré ou résineux répandu sur la surface d'un corps, tendent à s'écarter les unes des autres : cette force est proportionnelle à la densité du fluide ou au nombre de molécules renfermées dans un espace donné» [1]*

et cette mise au point d'un commentateur du XIX<sup>e</sup> siècle :

*«L'intensité dans ce cas, donc, quand c'est rigoureusement interprété, n'est rien de plus ou moins que la quantité d'électricité en un point donné»\*\*.*

«Tension» et «intensité» correspondent donc indistinctement à l'état d'accumulation de l'électricité, lequel peut constituer la phase préparatoire d'une décharge. Le phénomène de décharge auquel est attribué un caractère violent et instantané, est conçu comme la neutralisation de quantités d'électricités positive et négative à travers une substance donnée ; ces électricités étant préalablement accumulées à un certain degré de «tension» aux pôles de machines électrostatiques ou aux armatures de bouteilles de Leyde.

## 1.2. Activités scientifiques

Les activités scientifiques ont trait, au plan théorique, principalement aux études mathématiques des distributions d'électricité sur les corps électrisés (sphère, sphéroïde, bouteille de Leyde, etc.). La formalisation de la «science de l'électricité» engagée par Cavendish, Coulomb et Laplace, donne à ces études un caractère assez systématique.

Les activités expérimentales concernent pour l'essentiel les mesures de quantités d'électricité, de «tensions» à l'aide d'électroscopes, et l'observation, un peu anecdotique par ailleurs, des effets de décharge.

\* On doit insister sur le fait que ces termes ne désignent pas les concepts actuels de tension et d'intensité.

\*\* «Intensity in this case, therefore, when ridigly interpreted, is nothing more nor less than the quantity of electricity at a given point...». [2]

### 1.3. Statut de la «science de l'électricité»

Au seuil du XIX<sup>e</sup> siècle, la «science de l'électricité» bénéficie chez les physiciens d'une grande crédibilité [3], au point que certains voient en elle une science qui «n'a plus de pas importants à faire et ne laisse à ceux qui la cultiveront par la suite que l'espoir de confirmer les découvertes de leurs prédécesseurs et de répandre un plus grand jour sur les vérités dévoilées». [4]

## 2. TRANSITION ÉLECTRICITÉ STATIQUE - ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

Ce sont les expériences de Galvani (1789) qui mettent en jeu pour la première fois, de façon systématique, une situation de circuit fermé avec production d'effets électriques relativement continus. Le principe général de ces expériences est de mettre en contact deux métaux différents (argent et zinc, par exemple) et de les relier l'un au muscle d'un animal, l'autre au nerf de ce muscle. Au moment où un tel dispositif — «cercle ou chaîne galvanique» dira-t-on en la circonstance — est formé, le muscle éprouve des convulsions.

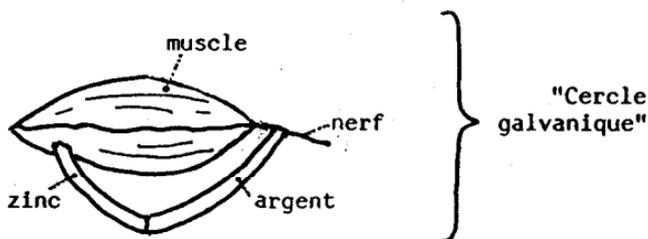


Figure 1

### 2.1. Les conceptions de Volta

La première interprétation physique des phénomènes ainsi observés correspond à la théorie de Volta, émise dès 1792. Volta identifie [5] l'agent causal de ces phénomènes au «fluide électrique ordinaire». Il attribue l'origine de ce fluide au contact de deux métaux différents. Cette conception est appuyée par le fait observable que de tels métaux, mis en contact et en circuit ouvert, voient leurs faces libres se charger d'électricités de signes opposés. Ce processus d'électrisation par contact est ainsi décrit :

*«L'un et l'autre (Argent, Zinc) bien nettoyés et polis, se touchant immédiatement par un ou plusieurs points, déplacent le fluide électrique, rompent son équilibre, de manière à ce qu'il passe de l'argent au zinc, se raréfie dans l'un et se condense dans l'autre, s'y maintient avec ce double état de raréfaction et de condensation...» [6].*

Le second fait mis en évidence [7] par Volta est la constance, pour un couple donné de métaux différents mis en contact, de la différence algébrique des «tensions» respectives de ces métaux. Lorsque ceux-ci sont en circuit ouvert, la valeur absolue de cette quantité est égale au double de la valeur absolue de leurs «tensions» (Figure 2).

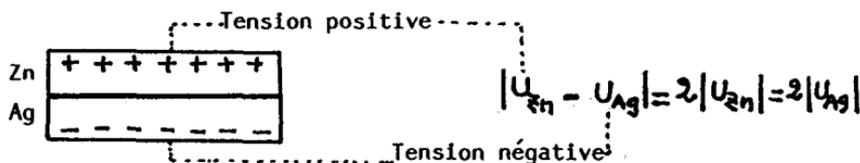


Figure 2

L'aspect proprement dynamique de la théorie de Volta apparaît surtout après la confection de son «appareil électromoteur», empilement alterné de couples identiques de métaux différents et de pièces de carton humidifiées dont le rôle présumé est simplement de conduire le fluide électrique et d'éviter l'annulation\* de l'effet additif de ces couples.

Pour rendre compte des effets produits en circuit fermé (décomposition chimique, effets calorifiques, etc.), Volta fait intervenir une entité de nature vague, la «force électrique motrice» [8] (force électromotrice), et lui fait assumer le rôle d'impulser de façon continue le fluide électrique dans le circuit, faisant penser à un régime de courant permanent. Dans ce sens, il argumente :

*«Ces effets si puissants et merveilleux ne sont absolument que la somme des effets de plusieurs couples métalliques pareils (...), des effets (...), de ce courant continu de fluide électrique, qui, par ladite action des métaux accouplés, s'établit sitôt qu'on fait communiquer par un arc conducteur les deux extrémités de l'appareil, et une fois établi, se soutient et dure tant que le cercle n'est point interrompu». [9]*

## 2.2. Réinterprétation «électrostatique» des idées de Volta

Les physiciens français de l'Institut, auprès desquels Volta défend en 1801 sa théorie du contact, dont certains ont grandement contribué à l'essor

\* «en effet sans leur intervention, chaque rondelle de zinc, communiquant de chaque côté avec deux pièces d'argent, éprouverait l'opposition de deux puissances égales, de manière que le résultat de toutes les actions serait égal à celui d'un seul couple de métaux, dans le cas où les deux extrémités de la pile seraient d'un métal différent». Voir ref. 6, p. 249.

de la «science de l'électricité» acceptent fort mal [10] l'aspect dynamique de cette théorie, et ne retiennent d'elle que le principe du développement de l'électricité par le contact. Dans le rapport [11] rédigé par Biot à l'instigation d'une commission de l'Institut, l'idée d'un courant de fluide électrique impulsé par la «force électrique motrice» disparaît complètement. Haüy, constatant cette «altération» de la théorie de Volta, tente de la justifier :

*«Ce célèbre physicien (Volta) paraît admettre une impulsion qui agit pour chasser dans le zinc une partie du fluide électrique que possédait le cuivre (...). Nous avons préféré d'en user ici comme par rapport à l'électricité produite par le frottement ou par la chaleur, c'est-à-dire de nous borner au simple énoncé des faits, sans entrer dans la considération de la force motrice qui ne semble pas encore bien connue». [12]*

### 2.3. Mise en œuvre de l'acquis électrostatique

Cette tendance à réduire le nouveau au familier fait apparaître la «science de l'électricité» comme le cadre approprié pour étudier les phénomènes obtenus avec la pile de Volta. Dans cette optique, Biot soutient que *«les lois du fluide galvanique résultent de la propriété répulsive des molécules qui le composent, et que sous ce point de vue, ces lois sont les mêmes que celles de l'électricité»* [13], statique s'entend !

### 2.4. Le concept de décharge appliqué à la pile

Ce mouvement de réinvestissement de l'acquis «électrostatique» a pour support l'analogie de la pile avec la bouteille de Leyde. La pile, dont les pôles sont reliés par un conducteur est vue comme une situation analogue à celle d'une bouteille de Leyde en décharge. Ainsi, Thénard considérait-il *«que la batterie voltaïque agit de la même manière qu'une batterie ordinaire de bouteilles de Leyde : aussi une pile n'est-elle autre chose qu'une bouteille de Leyde qui aurait la propriété de se recharger d'elle-même aussitôt qu'elle serait déchargée»*. [14]

Pour tenir compte du caractère relativement continu des effets de courants observés, on conçoit à l'époque que la décharge de la pile, au lieu d'être vigoureuse et instantanée comme la décharge électrostatique, consiste plutôt en une «succession rapide de petites impulsions» [15] ; une décharge atténuée, mais plus longue en quelque sorte !

### 2.5. Les implications du réinvestissement électrostatique

#### La focalisation sur la pile isolée

L'implication principale est d'ordre méthodologique. Les conceptions

précédentes entraînent les physiciens concernés à focaliser leurs recherches sur la pile isolée [16] (en circuit ouvert). Cette situation permet, grâce à l'accumulation des fluides aux pôles, de reproduire les effets électroscopiques usuels (attractions, répulsions) et représente d'une certaine manière la phase préalable d'une décharge [17]. Cette disposition persistera chez certains physiciens même après 1820, date à laquelle la notion de circuit est clairement établie par Oersted. A ce sujet, on peut lire chez Pfaff :

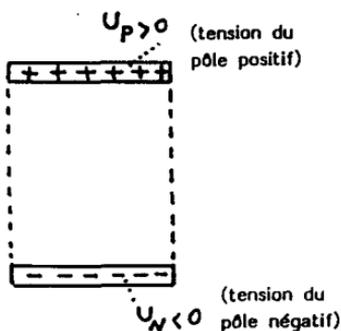
*«C'est aussi dans cet état, avant la réunion des deux extrémités, pour former la chaîne proprement dite, que le phénomène s'offre dans sa plus grande simplicité et qu'on peut espérer saisir plus sûrement les conditions vraiment essentielles que dans le cas d'une combinaison plus compliquée».* [18]

Au plan théorique, la pile devenant un objet régulier de la «science de l'électricité», on s'évertue à déterminer sa configuration électrostatique au même titre qu'une bouteille de Leyde. Pour Biot, *«l'appareil électromoteur deviendrait ainsi tout à fait analogue aux piles électriques\* (...). La disposition de l'électricité y serait exactement pareille, et la même théorie, les mêmes formules s'y appliqueraient».* [19]

### Principe de nullité des «tensions» en circuit fermé

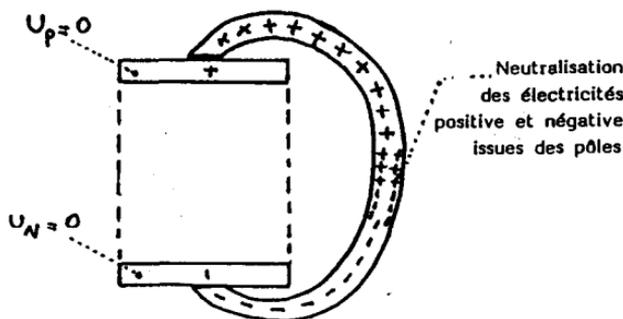
Lorsque la pile est en circuit fermé, on conçoit alors que les électricités positive et négative, produites par cette pile et devant en principe s'accumuler à ses pôles (Figure 3a), se neutralisent dans le conducteur de connexion (Figure 3b). De ce fait ces pôles perdent leur «tension» et ne manifestent plus d'effets électroscopiques.

Figure 3a



Pile isolée : l'accumulation d'électricités positive et négative aux pôles leur fait acquérir un état de «tension».

Figure 3b



Pile en circuit fermé : les pôles ne sont plus en l'état de «tension».

\* Groupement de condensateurs

A propos de cette disparition des « tensions » en circuit fermé, Erman écrit :

*« Tant que le cercle galvanique demeure fermé par la réunion des deux pôles, il n'y a aucun effet électroscopique, même en mettant le pôle opposé à l'électromètre en communication parfaite avec le sol ». [20]*

Ce résultat observé en fait sur les premières piles — de résistance élevée et où intervient fortement le phénomène de polarisation — s'érigera en principe\* chez la plupart des physiciens pendant presque toute la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, en dépit de l'amélioration progressive des piles pendant cette période.

### Activités expérimentales et causalité « polaire »

Jusqu'à la découverte d'Oersted en 1820, les savants s'efforcent obstinément de produire des effets chimiques et magnétiques à partir des pôles d'une pile isolée. Bien après cet événement et en dépit du fait que leur caractère inopérant soit reconnu, ces procédures sont reprises par des physiciens de renom tel que De La Rive, qui note en 1825 :

*« Ainsi je me suis assuré qu'on ne réussit point à produire de décompositions chimiques en plongeant uniquement dans le liquide l'un des pôles de la pile, et pas mieux en plongeant les deux pôles opposés de deux piles différentes ». [23]*

Figure 4a

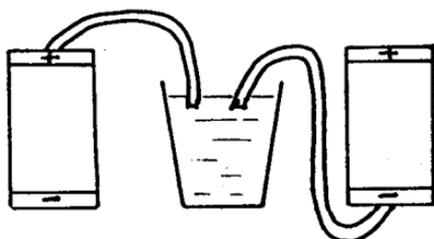
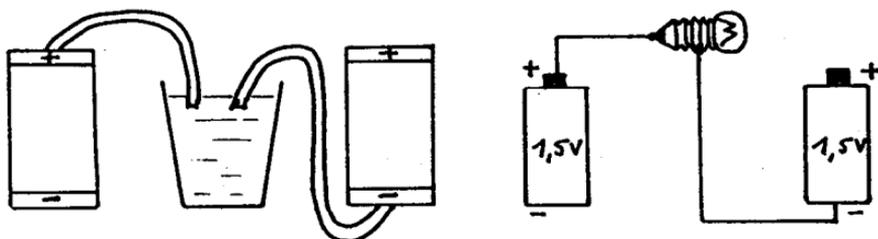


Figure 4b



Cette situation (Figure 4a) peut être remarquablement rapprochée de la situation didactique représentée en figure 4b où l'ampoule est considérée comme allumée pour un nombre non négligeable d'élèves du secondaire\*\* !

\* Pour Ampère par exemple, lorsque les pôles de la pile sont réunis par un corps conducteur, « il n'y a plus de tension électrique... » [21] et pour Lamé : « ... l'accumulation des fluides à l'état de tension n'a plus lieu en général » [22]

\*\* Etude en cours au L.D.P.E.S., Paris 7

## 2.6. Difficultés de formation de la notion de courant

Au moins jusqu'en 1820 donc l'intérêt des physiciens est porté principalement sur la pile isolée. Les situations de la pile en circuit fermé sont associées à une idée de décharge, certes conciliée avec l'aspect plus ou moins continu des phénomènes de courant, mais recelant tout de même une certaine idée de discontinuité ; idée liée à celle de «neutralisation des fluides électriques» dans le conducteur de connexion.

Ces éléments rendent compte dans une certaine mesure des difficultés des physiciens de l'époque à user de l'analogie avec la circulation des fluides mécaniques pour concevoir l'idée d'un courant de «fluide électrique».

## 3. DISTINCTION ÉLECTROSTATIQUE - ÉLECTRODYNAMIQUE

Les expériences d'Oersted (1820) inaugurent en quelque sorte la deuxième transition entre électricité statique et électricité dynamique. Elles permettent de mettre en évidence l'effet de déviation d'une aiguille aimantée placée près d'un fil conducteur faisant partie du circuit fermé d'une pile voltaïque. Cette observation montre que l'effet magnétique a lieu en circuit fermé et non avec une pile isolée *«procédé que des physiciens célèbres avaient vainement essayé il y a quelques années»*. [24]

Vite classé parmi les effets observés auparavant, pendant la «décharge de la pile», l'effet de déviation de l'aiguille aimantée contribue à l'accentuation des différences phénoménologiques entre électricité statique et électricité dynamique ; accentuation qui se soldera par une distinction entre les deux ordres de phénomènes.

Ampère, auquel revient le mérite d'avoir établi de façon systématique cette distinction, classe dans «l'électrostatique» *«les attractions ou répulsions connues depuis longtemps»*, correspondant à l'état de «tension» de l'électricité et dans «l'électrodynamique», les «phénomènes de courant», à savoir *«la décomposition chimique des substances, le changement de direction de l'aiguille aimantée, une sorte d'attractions et répulsions toutes différentes\* des attractions et répulsions ordinaires»*. [25]

### 3.1. Courant et circulation électriques

Dans les expériences ayant suivi celles d'Oersted, les physiciens constatent que l'effet de déviation de l'aiguille aimantée est observable à

\* Il s'agit des interactions entre courants électriques.

proximité de toutes les parties du circuit. Ce fait leur suggère l'idée d'une circulation de «quelque chose» dans le circuit qu'Ampère appelle «courant électrique»; notion à laquelle le même physicien associe la grandeur intensité, entendue comme ce «*qu'il passe d'électricité en temps égaux*» [26]; c'est-à-dire un débit d'électricité.

Cette importante acquisition ne doit pas masquer cependant une certaine ambiguïté de la notion en question qui englobe en fait deux aspects pour le moins contradictoires. Le «courant électrique» a, d'une part, un caractère circulatoire dont l'évidence est de nature empirique, et, est d'autre part, au niveau explicatif, interprété au moyen d'un modèle de «courants antagonistes». Dans ce modèle, où l'idée de décharge est présente, on conçoit que les fluides électriques opposés, issus des pôles de la pile et mus spontanément vers le conducteur de connexion, s'y neutralisent continuellement (Figure 5).

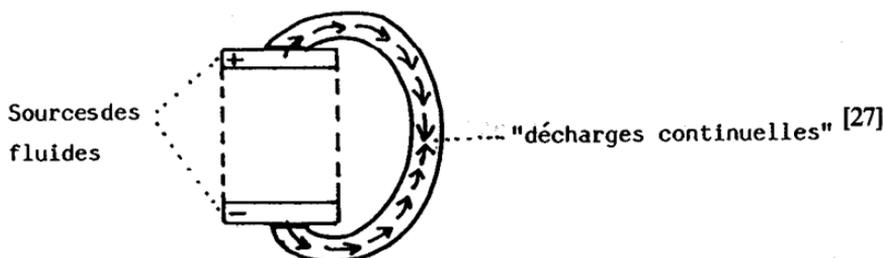


Figure 5

Voici comment Ampère explicite cette conception :

*«On est généralement d'accord qu'elle (action électromotrice) continue à porter les deux électricités dans les deux sens où elle les portait auparavant, en sorte qu'il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens inverse des points où l'action électromotrice a lieu et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points».* [28]

### 3.2. Courant et «tension».

Le principe de nullité des «tensions» en circuit fermé auquel adhèrent Ampère et ses contemporains équivaut à une relation d'exclusion entre «tension» et courant. On doit revenir aux figures 3a et 3b pour comprendre que pour les physiciens de l'époque, «tension» et courant ne peuvent «coexister». Ce principe empêche d'envisager, en tant que première approche de la loi dite d'Ohm  $U = Ri$ , une relation de concomitance entre «différence de tension» et courant électrique.

### 3.3. Résistance interne de la pile et aspect systémique du circuit.

Avec l'avènement de l'électromagnétisme, l'intérêt des physiciens se transfère de la pile au conducteur de connexion. Si l'idée de résistance et les facteurs de la conductibilité sont dégagés graduellement à force de multiples expériences effectuées à l'époque, ces éléments ne concernent en fait que le conducteur de connexion. En outre l'attachement au modèle des courants antagonistes empêche de concevoir le mouvement de l'électricité dans la pile elle-même. La focalisation des recherches sur le seul conducteur de connexion semble être ainsi à l'origine des difficultés d'émergence de la notion de résistance interne d'une pile [29]. Cette focalisation, persistant bien après l'apparition de la théorie d'Ohm, éclaire aussi les difficultés de prise en compte de l'aspect systémique du circuit électrique. Preuve en est qu'en 1836 encore, Peltier ait à attirer l'attention des physiciens sur le fait que *«pile et conducteur de connexion constituent un système unique dont toutes les parties sont solidaires, en sorte que l'électromoteur n'est plus dans les mêmes conditions quand, par exemple, le conducteur est modifié»* [30].

## 4. UNE RÉPONSE AUX DIFFICULTÉS D'ANALYSE DU CIRCUIT : LA THÉORIE D'OHM

Outre la mise en évidence des facteurs de la conductibilité (section, largeur et nature du conducteur), la multiplicité des expériences précitées fait déceler de nouvelles propriétés du circuit dont l'analyse avec la seule grandeur intensité du courant, définie par Ampère, s'avère insuffisante. [31]

C'est dans ce contexte qu'émerge en 1827 la théorie d'Ohm [32]. Traitant la propagation de l'électricité dans un conducteur de dimensions transversales négligeables, en analogie complète avec la conduction thermique, Ohm conjecture l'existence en circuit fermé, de «tensions» distribuées le long du conducteur de connexion, d'un pôle à l'autre de la pile ; «tension» désignant ici une densité volumique de charge.

D'après Ohm donc, deux sortes d'électricités sont présentes dans le circuit fermé : celle relative au flux uniforme d'électricité constituant le courant traversant le circuit, et celle correspondant à la distribution stationnaire des «tensions», considérée comme une électricité statique répartie en volume dans le conducteur et qualifiée de «libre» à l'époque

Ces conceptions que l'on pourrait représenter par la figure 6 se résument dans le fameux principe d'Ohm :

*«La grandeur du flux d'électricité (intensité du courant) entre deux*

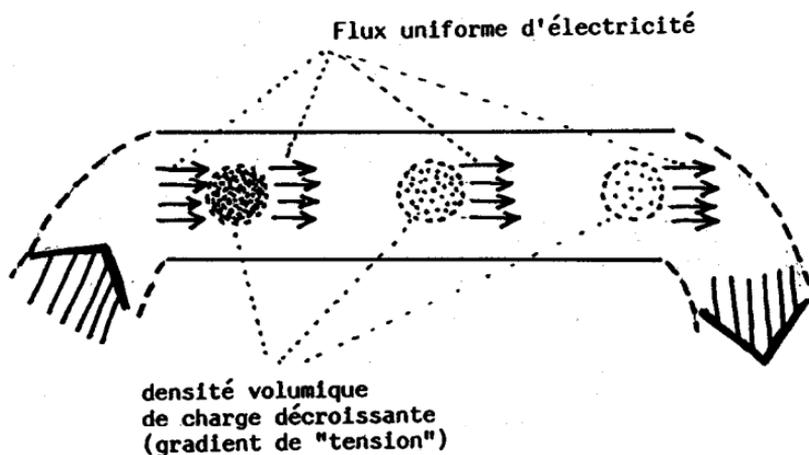
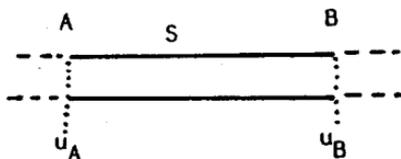


Figure 6

*molécules contigües est proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, à la différence des tensions que possèdent les deux molécules, de la même manière que dans la théorie de la chaleur on considère le flux de chaleur entre deux molécules comme proportionnel à la différence de leurs températures». [33]*

Pour le cas simple d'une portion résistive AB du circuit, Ohm déduit de ce principe à l'aide d'un développement différentiel, la formule suivante :  $S = \frac{Kw}{l} \cdot (u_A - u_B)$  où S, K, w et l sont respectivement l'intensité du courant traversant la portion AB, le coefficient de conductibilité, la section et la longueur de cette portion ;  $u_A$  et  $u_B$  sont les «tensions» relatives aux extrémités A et B (fig. 7a).

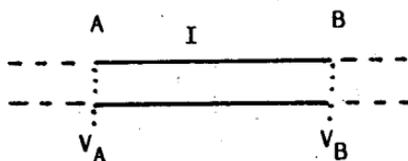
Fig. 7a  
Loi d'Ohm originelle



$u_A - u_B$  : différence de tension

$$S = \frac{Kw}{l} (u_A - u_B)$$

Fig. 7b  
Loi d'Ohm actuelle



$V_A - V_B$  : différence de potentiel

$$I = \frac{\sigma s}{l} (V_A - V_B)$$

La partie  $S \propto \frac{Kw}{l}$ , regroupant les lois de la conductibilité dégagées empiriquement à l'époque, n'est pas tout à fait nouvelle pour les contemporains d'Ohm. Par contre la relation partielle  $S \propto (u_A - u_B)$ , traduisant un rapport de concomitance entre «différence de tensions» et courant électrique, sort du cadre conceptuel de ce temps. [34] [35]

## 5. CARACTÈRE TARDIF DE L'INTRODUCTION DU POTENTIEL EN ÉLECTROCINÉTIQUE

Pendant assez longtemps (1827-1845), les contemporains d'Ohm n'attachent d'intérêt, relatif d'ailleurs, qu'à la partie de sa théorie liée à la conductibilité. La raison majeure [36] de ce discrédit semble résider dans le rejet par ces contemporains de l'hypothèse de l'existence de «tensions», i.e. d'électricité statique en circuit fermé. A l'appui de ce fait, on peut évoquer ces propos de Kohlrausch, l'un des rares physiciens à s'être engagé, tard par ailleurs, à mettre à l'épreuve cette hypothèse :

*«Pendant longtemps les formules relatives à l'intensité des courants ont seules fixé l'attention des physiciens et l'existence même de l'électricité libre dans le circuit fermé, n'étant démontré que par les principes d'Ohm, qu'on regardait en général comme peu exacts, n'a pas semblé très probable».* [37]

Il faut attendre 1845 pour que la théorie d'Ohm soit prise en considération, par Kirchhoff [38] et Smaasen [39] en l'occurrence, qui étendent cette théorie aux cas de conducteurs à deux et trois dimensions. Kirchhoff déduit de la théorie d'Ohm ainsi étendue des conséquences qu'il vérifie expérimentalement en se passant, par une méthode indirecte, de la mesure des «tensions»,

En 1848, Kohlrausch s'emploie, au moyen d'une «*sorte de balance de torsion dont la construction très délicate permet la mesure exacte des forces les plus petites*» [40], à vérifier la présence des «tensions» en circuit fermé. Ce travail est suivi en 1849 par la vérification expérimentale d'autres conséquences [41] de la théorie d'Ohm.

La même année, Kirchhoff entreprend d'examiner les principes d'Ohm et de «*faire disparaître ce qu'ils semblent impliquer de contradictoire avec les lois ordinaires de l'électricité statique*» [42]. Dans la théorie d'Ohm l'électricité correspondant en circuit fermé au «gradient de tension» est en équilibre tout en étant répartie en volume dans le conducteur. La théorie électrostatique établit au contraire que l'électricité statique doit se confiner à la surface du conducteur. Cette contradiction est surmontée par la substitution à la notion erronée de «tension», du concept de potentiel

électrostatique ; concept introduit dans l'étude de l'électricité statique depuis 1811 par Poisson [43].

Cette opération de rectification de la théorie d'Ohm permet de faire la jonction entre électricité statique et électricité dynamique.

## CONCLUSION

Dans cette analyse, on a d'abord mis en valeur l'importance de l'état d'accumulation de charges électriques pour la science de l'électricité au début du XIX<sup>e</sup> siècle. La causalité des phénomènes électriques observés alors (attractions, répulsions, décharges) est intimement associée à cet état, caractérisé par l'emploi du terme de «tension» qui recouvre en fait une densité de charge. On a ensuite essayé de montrer qu'à la même époque, les physiciens confrontés aux phénomènes d'électricité dynamique, apparus nouvellement, font appel pour interpréter ces phénomènes, aux concepts en usage en ce temps, dont ceux de «tension» et de décharge.

De 1800 — date d'invention de la pile par Volta — jusqu'à 1820 au moins, les recherches se focalisent sur la pile isolée, l'intérêt des physiciens étant porté sur l'état de «tension» de l'électricité aux pôles de la pile. En circuit fermé, la pile, comparée à une bouteille de Leyde, est «vue» comme étant en situation de décharge ; une décharge nuancée, certes, mais sans rapport avec la notion actuelle de courant électrique. Dans cette situation, on conçoit que la neutralisation dans le conducteur de connexion, des électricités positive et négative issues des pôles, fait perdre à ceux-ci leurs «tensions». La situation de circuit fermé ne semble, dans cette mesure, offrir aux physiciens concernés qu'un intérêt relatif, celui de simplement reproduire les effets habituels d'une décharge électrostatique.

Ces éléments peuvent être mis en relation avec les difficultés d'émergence des notions de courant, de circuit, et de circulation électriques.

En 1820, la découverte d'Oersted consacre la notion de circuit électrique et permet en accentuant la différence phénoménologique entre électricité statique et électricité dynamique, d'établir entre elles une distinction. A la faveur de cette distinction, les recherches se centrent sur le conducteur de connexion et une notion de courant très entachée encore de l'idée de décharge se forme. Ces données jettent une lumière sur les difficultés de formation de la notion de résistance interne de la pile et de considération du circuit électrique comme système.

La persistance après 1820 du principe de nullité des « tensions » en circuit fermé, justifie chez la majorité des physiciens la relation d'exclusion entre « tension » et courant. Cet élément d'analyse rend compte du caractère tardif de l'introduction du potentiel en électrocinétique.

Ainsi, la succession historique d'idées et de recherches entreprises, dégagée tout au long de cette étude, a permis de révéler des difficultés ayant jalonné le passage de l'électrostatique à l'électrocinétique. Une étude en cours permettra d'évaluer dans quelle mesure ces difficultés se retrouvent actuellement chez les élèves.

## RÉFÉRENCES

- [1] Haüy, *Traité élémentaire de physique*, 1806, T.1, p. 339.
- [2] Snow Harris, W., *On the correct interpretation of the terms Intensity and Tension*, *Phil. Mag.*, Vol. 26 (1863), p. 506.
- [3] Blondel, C., *Ampère et la création de l'électrodynamique*, Paris, Bibliothèque Universelle, 1982, p. 18.
- [4] Haüy, *Traité élémentaire de physique*, 1803, T.2, p. 1.
- [5] Volta, «*On the electricity excited by the mere contact of conducting substance of different kinds*», *Phil. transactions* 90 (1800), p. 403.
- [6] Volta, *De l'électricité dite galvanique*, *Annales de Chimie*, 1801, T. 40, p. 228.
- [7] Fischer, L.H., *Contact potentials between metals : History, concepts, and persistent misconceptions*, *Am. J. Phys.* 44 (5), may 1976, p. 464.
- [8] Volta, *op. cit.*, réf. 6, p. 254.
- [9] Volta, *Lettre du professeur Volta à J.C. de la Méthérie sur les phénomènes galvaniques*, *Journal de Physique*, 1801, T. 53, p. 310.
- [10] Brown, T., *The electrical Current in Early Nineteenth Century French Physics*, in «*Historical Studies in the Physical Sciences*», Vol. I, 1969, pp. 61-103.
- [11] Biot, *Rapport fait à la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut National, sur les expériences du Cit. Volta*, *Annales de Chimie*, 1801, T. 41, pp. 3-23.
- [12] Haüy, *Op.cit.*, réf. 4, p. 18.
- [13] Biot, «*Sur le mouvement du fluide galvanique*», *Journal de Physique*, 1801, T. 53, p. 273.
- [14] Thénard, *Traité élémentaire de chimie*, 1813, T. 1, p. 103.
- [15] Haüy, *Op.cit.*, réf. 4, p. 56.
- [16] Brown, T., *Op.cit.*, réf. 10, p. 62.

- [17] Haüy, *Op.cit.*, réf. 4, p. 56.
- [18] Pfaff, *Annales de chimie et de physique*, 1829, T. 41, p. 237.
- [19] Biot, *Traité de physique expérimentale et mathématique*, 1816, T. 2, p. 502.
- [20] Erman, sur les phénomènes électrométriques de la colonne de Volta, *Journal de Physique*, 1801, T. 53, p. 126, cité par Blondel, *op.cit.*, réf. 3.
- [21] Ampère, *Recueil d'observations électrodynamiques*, 1822, p. 4.
- [22] Lamé, *Cours de l'école Polytechnique*, 1837, T. 2, 2ème partie, p. 293.
- [23] De La Rive, *A.C.P.*, 1825, T. 28, p. 193.
- [24] Oersted, *Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée*, *A.C.P.*, 1820, T. 14, p. 418.
- [25] Ampère, *Op.cit.*, réf. 21, p. 5.
- [26] *Archives de l'Académie des Sciences de Paris*, VIII, p. 162, cité par Blondel, *op.cit.*, réf. 3, p. 92.
- [27] Pécelet, *Traité élémentaire de physique*, 1832, 2ème édition, T. 2, p. 146.
- [28] Ampère, *Op.cit.*, réf. 21, p. 7.
- [29] Tyndall, 3., *Reports on the Progress of the physical sciences*, *Phil. Mag.*, 19 (1852).
- [30] Peltier, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1836, T. 2, p. 476.
- [31] Benseghir, A., *Influence des conceptions électrostatiques du début du XIX<sup>e</sup> siècle sur la formation des concepts d'électrocinétique*, D.E.A., Paris I - Sorbonne, 1986, pp. 46-58.
- [32] Ohm, *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*, 1827 ; la traduction française de cet ouvrage n'est réalisée qu'en 1860 par Gaugain sous le titre «*Théorie mathématique des courants électriques*».
- [33] Ohm, *Théorie mathématique des courants électriques*, 1860, p. 26.
- [34] Winter, H.J.J., *The reception of Ohm's Electrical Researches by his contemporaries*, *Phil. Mag.*, 35, 1944, p. 373.
- [35] Schagrin, M.L., *Resistance to Ohm's Law*, *Am. J. Phys.*, 21, 1963, pp. 536-547.
- [36] Schagrin, *Idem*.
- [37] Kohlrausch, *A.C.P.*, 1854, T. 41, p. 362 (traduction).

- [38] Kirchhoff, G., Mémoire sur la propagation de l'électricité dans une plaque conductrice, A.C.P., 1854, T. 40 (extrait), pp. 115-127.
- [39] Smaasen, Mémoire sur l'équilibre dynamique de l'électricité, A.C.P., 1854, T.40, pp. 236-247.
- [40] Kohlrausch, Note sur la proportionnalité de la force électromotrice et de la tension électrique d'un élément voltaïque, A.C.P., 1854, T. 41, p. 358.
- [41] Kohlrausch, Mémoire sur les phénomènes électroscopiques d'une pile dont le circuit est fermé, Ibid, p. 362.
- [42] Kirchhoff, G., Démonstration des lois d'Ohm fondée sur les principes ordinaires de l'électricité statique, A.C.P., Ibid., p. 496.
- [43] Poisson, Mémoire sur la distribution de l'électricité à la surface des corps conducteurs, (lu les 9 mai et 3 août 1812), publié dans «Mémoires de la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut de France», 1811, T. 12 pp. 1-92, 163-274.