

Volta, de l'électrophore perpétuel à la pile

Lidia Falomo et Fabio Bevilacqua
Traduction par Marie-Ange Patrizio

Dans la première moitié du XVIII^e siècle, les phénomènes électriques, merveilleux et excitants, conquièrent toute l'Europe. On multiplie les expériences et on « électrise » tout, des objets d'usage courant au corps humain, des tables de banquet aux jeunes dames, qui donnent des baisers électriques et piquants, et jusqu'aux enfants, qui attirent de leurs mains des objets légers et qui, parfois, sont tellement électrisés que leur corps se trouve auréolé de lumière – comme on le voit de saints peints dans leur Gloire. Bricoleurs, amateurs, et même certains physiciens « électriseurs » se mettent à fréquenter les salons ou sortent dans la rue pour pratiquer des activités de vulgarisation et de divertissement. « Vulgariser en divertissant » est même considéré comme un devoir pour les scientifiques.

On apporte sans cesse des améliorations aux machines susceptibles de produire, après frottement avec les instruments appropriés, de l'électricité statique – celle qui, les journées venteuses et sèches, produit une décharge quand nous touchons notre voiture, ou que nous pouvons par exemple produire en frottant, avec un drap de laine, un objet de verre. Parallèlement, on commence à formuler les premières théories pouvant expliquer les phénomènes observés.

C'est alors qu'advient un fait véritablement prodigieux, qui passera à la postérité sous le nom d'« expérience de Leyde », du nom de cette ville des Pays-Bas où elle eut lieu. En 1745, Ewald Jürgen von Kleist, ecclésiastique et scientifique amateur allemand, électrise un fil métallique placé à l'intérieur d'un récipient contenant de l'alcool et un peu de mercure, récipient qu'il tient à la main : quand, de l'autre main, il touche le fil, il reçoit une terrible secousse. Quelque temps plus tard, l'avocat Andreas Cuneus, une connaissance de Petrus Van Musschenbroek, professeur de mathématiques et de physique à Leyde – dont nous reparlerons –, qui essayait d'électriser de l'eau par l'intermédiaire d'un fil métallique en contact avec une machine électrostatique, est victime de la même mésaventure. Tenant la bouteille à la main, à l'encontre de la règle en vigueur qui préconisait de la poser sur un support isolant, il avait touché de l'autre main le fil en partie plongé dans l'eau.

La bouteille de l'expérience de Leyde, plus précisément le système formé par la main qui tient la bouteille, le verre et l'eau, constitua ainsi le premier condensateur de l'histoire de l'électricité, c'est-à-dire le premier dispositif capable d'accumuler et de garder, pour un temps limité, de l'électricité – laquelle, en s'échappant brusquement, produit de très violentes décharges. On s'aperçut rapidement que l'eau ou les autres liquides et la main ne jouaient qu'un rôle de conducteur et pouvaient

donc être remplacés par d'autres conducteurs, par exemple par un revêtement métallique adhérent aux parois du verre. On commença peu après à changer la forme même du condensateur et, à la place des bouteilles, à employer des plaques de verre recouvertes de lamelles métalliques.

L'expérience de Leyde fut un jalon très important de l'histoire de l'électricité car elle stimula la mise en œuvre d'un grand nombre d'expériences, toujours plus spectaculaires et fascinantes, et l'apparition de théories visant à expliquer pourquoi il était possible de « condenser » autant d'électricité.

C'est justement en 1745 que naît, à Côme, en Italie, Alexandre Volta, l'un des grands acteurs de la culture scientifique du XVIII^e siècle. Dès son jeune âge, il consacre une bonne partie de son temps à l'étude des phénomènes naturels. Après une formation classique, il poursuit en autodidacte, s'intéressant surtout aux phénomènes électriques.

Il lit les textes de Petrus Van Musschenbroek, Jean-Antoine Nollet, abbé et physicien français, et Giambatista Beccaria, ecclésiastique et savant italien, trois des plus fameux chercheurs de l'époque dans le domaine de l'électricité. À peine âgé de dix-huit ans, Volta entame une correspondance avec ces deux derniers, à qui il expose courageusement ses propres théories. Deux ans plus tard, il a la chance de pouvoir utiliser pour ses propres expériences le cabinet de physique que son ami Cesare Gattoni s'est fait construire à Côme. Il communique alors à Beccaria ses premiers résultats, obtenus en 1765 : il reste en correspondance avec lui jusqu'en 1769, année où il publie le *De vi attractiva ignis electrici*, un mémoire en latin en forme de lettre ouverte adressée à Beccaria lui-même. Il y expose son désaccord avec les théories de l'électrophysicien turinois, en particulier la plus récente, qui lui est très chère : l'« électricité vengeresse ». Les désaccords d'interprétation semblent particulièrement stimuler l'orgueil et l'application de Volta : de la querelle scientifique avec Beccaria, qui durera plusieurs années, naîtra sa première invention, en 1775, l'électrophore perpétuel ; de même, de la divergence avec le médecin et physicien bolognais Luigi Galvani sur l'« électricité animale » naîtra la dernière, la pile. L'électrophore lui procurera la renommée, la pile une « gloire immortelle ». Mais examinons un peu plus en détail ces deux appareils et le processus qui conduisit Volta à leur invention.

Selon la théorie de Beccaria, lorsqu'on met un isolant et un conducteur au contact l'un de l'autre, le premier étant chargé positivement et le second négativement – on disait, selon la théorie la plus répandue à l'époque, que le premier possédait plus de « fluide électrique » qu'à l'état naturel et que le second en manquait –, leurs électricités respectives, contraires, s'annulent. Au moment où on les sépare, l'isolant « revendique pour lui » et reprend son électricité originelle en la soustrayant au conducteur, qui se trouve à nouveau chargé négativement. S'opposant fermement à cette interprétation, Volta soutient que l'électricité présente dans le conducteur et dans l'isolant quand ils sont séparés ne disparaît pas lorsqu'ils sont réunis, le contact entre les deux corps annulant les « signes extérieurs » de l'électricité, non l'électricité elle-même.

Pour démontrer sa théorie, il a recours au « cadre de Franklin », du nom du

savant et homme politique américain Benjamin Franklin – cet instrument, au principe analogue à celui de la bouteille de Leyde, est formé d'une plaque de verre sur les côtés de laquelle sont appliquées deux lamelles métalliques très fines. Pour mettre davantage en évidence sa théorie, Volta apporte à son instrument d'importantes modifications : il substitue au verre une couche de résine (celle-ci conserve plus longtemps l'électricité déposée sur sa surface), qu'il colle à un disque conducteur (lequel remplace l'armature inférieure), et change l'armature supérieure par un couvercle arrondi (une forme qui permet une dissipation moins importante de l'électricité). Ce couvercle de métal ou de bois métallisé, plus léger et plus maniable, est muni d'une poignée isolante « pour pouvoir le soulever commodément et le reposer ». Le nouvel instrument, annoncé en 1775 dans une lettre à Joseph Priestley, semble magnifiquement correspondre aux présupposés théoriques de Volta : quand la couche de résine est chargée par contact, elle conserve bien l'électricité qui lui a été transmise ; quand le couvercle et le disque sont, par simple pression du doigt, mis en contact électrique avec la Terre, l'électricité de la couche de résine, loin de disparaître, comme le prétend Beccaria, y demeure par adhérence, induisant, « pour qu'il y ait un certain équilibre », des électricités contraires dans le couvercle et dans le disque. Soulevé, le couvercle se révèle donc électrisé. Une fois déchargé, il peut de nouveau être posé sur la couche de résine, touché (c'est-à-dire relié à la Terre) et rechargé. En répétant les mêmes opérations, le couvercle peut continuer à fournir de l'électricité pendant de très longues périodes, ce qui, comme l'écrit Volta, « m'a surpris moi-même et ceux qui, jusqu'à présent, assistèrent à un tel spectacle » et vaut à l'appareil son nom d'« électrophore perpétuel ».

Simple et compact, l'électrophore permet d'avoir à disposition, pratiquement à tout moment et sans exiger le frottement continu nécessaire aux autres machines électrostatiques, une grande quantité d'électricité statique : son succès est énorme et il est vite utilisé dans tous les cabinets de physique européens.

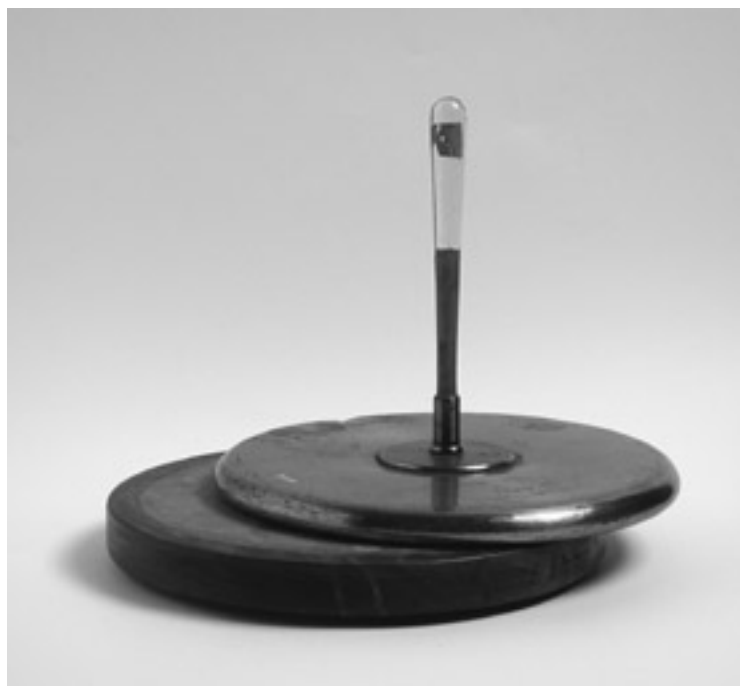
Si le fonctionnement de l'électrophore suscite la surprise chez Volta et les autres spectateurs, cette surprise n'est rien à côté de celle suscitée par la pile, le « nouveau dispositif de secousse ; qui a causé tant de stupeur à tous les physiciens et à moi tant de satisfaction. Si l'électricité portée et fournie discrètement par l'électrophore est perpétuelle, dans la pile c'est le mouvement du fluide électrique qui l'est : « Cette circulation sans fin du fluide électrique [ce mouvement perpétuel] peut paraître paradoxale, peut n'être pas explicable : mais elle n'en est pas moins vraie et réelle ». Dans la communication rendant compte de l'invention de son nouvel appareil, Volta insiste, avant d'employer l'adjectif « perpétuel », qui a une signification si forte en physique, sur le sentiment de « stupeur », de merveilleux, comme pour justifier l'usage d'un terme qui peut certes lui attirer des critiques, mais qui, en même temps, le remplit d'orgueil.

Voyons maintenant comment on en arriva là. Comme nous l'avons dit plus haut, la pile fut le résultat de la célèbre controverse qui opposa Volta à Galvani, controverse qui impliqua toute la communauté scientifique – et pas seulement celle-ci d'ailleurs ! – dans la dernière décennie du XVIII^e siècle.

Tout commence en 1791, année où Galvani publie un mémoire destiné à susciter une grande surprise, le *Commentarius de viribus electricitatis in motu musculari*. Il y décrit les expériences qui, menées pendant plusieurs années, l'ont conduit à supposer l'existence d'une électricité propre aux animaux. Parmi les expériences relatées, la plus significative pour ce qui va suivre est celle dans laquelle les pattes d'une grenouille décérébrée, écorchée et préparée présentent des contractions visibles lorsqu'on met en contact un nerf et un muscle par l'intermédiaire d'un petit archet métallique, tout particulièrement quand celui-ci est formé de deux métaux différents.

Pour Galvani, l'expérience démontre la présence d'une électricité animale, qui part du cerveau, rayonne à travers les nerfs et s'accumule dans les muscles. Chaque fibre musculaire est semblable à une toute petite bouteille de Leyde : le nerf exerce la même fonction que le fil métallique qui pénètre dans la bouteille tandis que sur les parois musculaires s'accumule une double électricité (positive et négative). La communication entre les deux parois produite par le petit arc (semblable à celle produite par le nerf lorsqu'il est directement en contact avec le muscle) provoque la décharge et la contraction des muscles.

Volta lit le *Commentarius* en mars 1792 et, dans un premier temps, est enthousiaste. Il reproduit les expériences de Galvani, cherche à définir quelle peut être l'électricité artificielle minimale susceptible de provoquer les contractions des membres de la grenouille et découvre qu'elle est très faible : la grenouille se comporte donc comme un révélateur extrêmement sensible de l'électricité. Au bout de deux mois, il commence à prêter attention au rôle joué dans les contractions par le contact entre deux métaux différents et en vient très vite à l'affirmation que des métaux différents mis en contact sont non seulement conducteurs, ce que l'on savait déjà, mais également moteurs d'électricité : « Ils sont au sens pro-



pre excitants et moteurs. » Les contractions des muscles de la grenouille ne sont pas dues, comme le prétend Galvani, à l'électricité animale accumulée dans les muscles et mise en circulation à travers le petit arc qui unit le nerf et le muscle, mais à l'électricité commune, très faible, générée dans la patte par le contact des deux métaux qui forment l'arc. En appliquant l'arc bimétallique sur ses yeux et sa langue, Volta démontre, en « payant de sa personne », que le contact entre deux différents métaux produit de l'électricité et peut exciter les nerfs.

Poursuivant le débat, Galvani parvient à obtenir des contractions des pattes des grenouilles en mettant seulement en contact le nerf et le muscle (donc sans recourir à des métaux). Volta réagit en faisant l'hypothèse que les corps humides peuvent eux aussi transporter le fluide électrique : « C'est la diversité des conducteurs qui est nécessaire. » Il était impossible de départager les deux hypothèses, difficulté que Galvani résuma ainsi : « Il prétend que cette électricité est la même que celle commune à tous les corps ; moi qu'elle est particulière et propre à l'animal ; il établit la cause du déséquilibre dans les artifices qu'on utilise, et précisément dans la différence des métaux ; moi dans la machine animale : en somme, il attribue lui, tout aux métaux, rien à l'animal ; moi, tout à celui-ci, rien à ceux-là, si l'on ne prend en considération que le déséquilibre. »

En 1796, Volta parvient, en se servant d'un instrument de sa propre invention, l'électromètre condensateur, à mesurer la tension produite aux extrémités d'un couple de disques faits de métaux différents – dans son programme de recherche, Volta utilise abondamment les analogies entre les diverses disciplines de la physique, en cherchant des lois et des principes unificateurs : ainsi compare-t-il la tension, qui pour lui représente la grandeur intensive impliquée dans les phénomènes électriques, à la pression et à la température dans les phénomènes pneumatiques et thermiques. Galvani, avec une expérience publiée en 1797, obtient des contractions des deux pattes de la grenouille, désolidarisées l'une de l'autre. En mettant le nerf de l'une en contact avec celui de l'autre, replié en petit arc, il élimine l'hypothèse du contact entre deux corps humides différents. Son expérimentation, qui peut être considérée comme le point de départ de l'électrophysiologie, passe cependant presque inaperçue. De son côté, Volta essaie de multiplier les effets qu'il a déjà obtenus en superposant des couples de disques de deux métaux différents (cuivre et étain ou, mieux, argent et zinc) et, vers la fin de l'année 1799, y parvient en introduisant entre les paires de disques un conducteur humide (un disque de carton, ou d'un autre matériau, imbibé d'eau salée ou acidifiée) : c'est la pile.

Il annonce sa découverte le 20 mars 1800 par une lettre à sir Joseph Banks, président de la Royal Society de Londres, la plus prestigieuse académie scientifique de l'époque. Volta nomme plusieurs fois l'appareil « organe électrique artificiel », et le décrit comme « semblable dans le fond [...] et même tel que je viens de le construire, pour la forme, à l'organe électrique naturel de la torpille, de l'aiguille tremblante, etc. ». Il pense que la réalisation d'une « torpille artificielle » peut démontrer que même l'électricité produite par les « poissons électriques » – que Galvani considérait comme une preuve incontestable de l'existence de l'électricité

animale – est électricité « ordinaire ». L'idée de bâtir une machine qui imite l'organe électrique de la torpille fut suggérée à Volta par le chimiste et physicien anglais William Nicholson. En observant la conformation de cet organe, formé d'un groupe de colonnes, chacune composée d'une superposition de petites lames, Nicholson avait suggéré la possibilité d'empiler des électrophores. Suivant sa théorie, Volta compare ces colonnes à une série de couples de conducteurs différents superposés de telle sorte que les effets de chaque couple se cumulent.

La caractéristique de la pile, bien au-delà de ce qu'elle devait démontrer, est la circulation continue du fluide électrique qu'elle produit, propriété sur laquelle Volta insiste dans sa missive à Banks. Elle distingue en effet la pile de tous les appareils de l'époque, qui ne pouvaient produire, une fois chargés, que de brèves décharges électriques. L'électricité produite par la pile provient d'un phénomène chimique et se trouve donc, ironie du sort, bien différente de l'électricité « ordinaire » qu'on connaissait alors – ironie du sort à nouveau, elle sera qualifiée de « galvanique ».

Mais comment cette circulation continue de l'électricité est-elle possible ? Toujours attaché à sa théorie du contact entre deux métaux différents, Volta nie l'interprétation chimique, qui, pourtant, prévaudra rapidement et selon laquelle le fonctionnement de la pile s'explique par les réactions chimiques qui ont lieu entre le premier métal, le conducteur humide et le second métal. Ce contact des deux métaux joue donc un rôle important dans l'ancienne comme dans la nouvelle théorie ; pour autant, l'interprétation du processus à l'œuvre a toujours été difficile. L'existence de l'électricité animale et, plus encore, les processus physiologiques qui en sont à la base furent encore plus ardues à démontrer. Ni Galvani ni Volta n'eurent la tâche aisée.

Le succès de la pile, premier générateur de courant électrique continu, est immense. Il entraîne, immédiatement, la naissance de l'électrochimie – qui utilise le courant électrique pour provoquer des réactions chimiques (dès le mois de mai de cette année 1800, le courant fourni par une pile permet à William Nicholson et à Antony Carlisle, d'obtenir l'électrolyse de l'eau, c'est-à-dire sa décomposition en ses deux composants, l'oxygène et l'hydrogène) –, de l'électrodynamique – qui étudie les actions de type magnétique produites par les charges électriques en mouvement –, et donc de l'électromagnétisme – qui unifie la compréhension des phénomènes électriques et magnétiques. La pile peut ainsi être considérée comme la « base fondamentale de toutes les inventions modernes », pour reprendre les mots d'Einstein.

Avec le succès ne tardent pas à arriver les honneurs : Volta présente la pile à Napoléon, qui lui attribue la médaille d'or de l'Institut de France en 1801, le nomme sénateur du royaume d'Italie en 1809 et lui confère le titre de comte un an plus tard. Volta ne fut pas seulement un « dévoué sujet » de Napoléon : il sut manœuvrer adroitement au gré des événements politiques, des guerres et des fréquents changements de gouvernement. Dans les années qui avaient suivi l'invention de l'électrophore, le comte Firmian, ministre de l'empire des Habsbourg pour la Lombardie, lui avait attribué la chaire de physique expérimentale à l'uni-

versité de Pavie, laquelle, grâce à la politique innovante de Marie-Thérèse et de son successeur, Joseph II, était entrée dans le cercle des meilleures universités européennes. Volta obtint de Firmian puis de l'Empereur lui-même les fonds nécessaires pour accomplir plusieurs voyages en Europe et acheter les instruments qui lui semblaient nécessaires à la fois pour son cabinet de physique et pour ses cours publics, très fréquentés. Il fut enfin fait membre de nombreuses académies scientifiques, italiennes et européennes.

Entre l'invention de l'électrophore et celle de la pile, Volta réalisa de nombreuses autres études et obtint d'autres résultats importants. Il mena également des recherches approfondies sur les gaz, découvrit le « gaz inflammable » (qui deviendra « méthane » en 1866 lorsque l'Allemand August Wilhelm von Hofmann proposera une méthode de nomenclature des hydrocarbures), inventa le pistolet à air inflammable puis l'eudiomètre, qui mesure la quantité d'oxygène de l'air. Il établit encore la loi de la dilatation de l'air et de celle des gaz.

Les honneurs faits à Volta ne s'arrêtèrent pas en 1827, année de sa mort. On pourrait même écrire une petite histoire des célébrations qui le fêtèrent, dont la dernière en date s'est tenue en 1999 à l'occasion du bicentenaire de l'invention de la pile. Ces cérémonies ont non seulement été l'occasion d'approfondir et de revisiter son œuvre scientifique et d'organiser un grand nombre de manifestations, mais aussi de revenir sur les lieux où il vécut, qui constituent aujourd'hui une étape intéressante de « tourisme scientifique ». Ainsi le cabinet de physique de Volta a-t-il été reconstitué au musée d'histoire de l'université de Pavie, avec les instruments que le savant utilisait pour ses recherches et ses cours ainsi qu'avec les meubles d'origine.