

# La pile

Cycles 3 et 4

Une séquence du projet *L'Europe des découvertes*

## Résumé

Nombre de jouets utilisent des piles. Les enfants ont l'habitude de les acheter, de les placer, de les changer, mais ils ne connaissent pas leur fonctionnement. Cette séquence propose aux élèves de découvrir le fonctionnement de la pile de Volta, et par là, de s'initier à la notion de particule chargée, autrement dit d'électron.

# Volta, de l'électrophore perpétuel à la pile

*Lidia Falomo et Fabio Bevilacqua*  
Traduction par Marie-Ange Patrizio

Dans la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, les phénomènes électriques, merveilleux et excitants, conquièrent toute l'Europe. On multiplie les expériences et on « électrifie » 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 « électrificateurs » 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, électrifie 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'électrifier 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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'électro-physiologie, 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.

# Construire une pile en classe

Angela Turricchia, Grazia Zini et Leopoldo Benacchio

Traduction par Marie-Ange Patrizioi

## Considérations initiales

Actuellement, nombre de jouets utilisent des piles. Les enfants ont l'habitude de les acheter, de les placer, de les changer, mais ils ne connaissent pas leur fonctionnement. Et pourtant, l'introduction de l'électricité dans la vie quotidienne, qu'elle provienne de centrales électriques ou plus simplement de piles, a profondément modifié notre mode de vie.

Par ses travaux, Volta tient une place extrêmement importante dans le développement des réalisations techniques à base d'électricité. L'étude de sa vie, de son œuvre et en particulier de la pile dont il est l'inventeur, est particulièrement riche de sens et adaptée aux programmes de sciences de l'école élémentaire. La pile a mis à la disposition des hommes une nouvelle forme d'énergie très flexible, ce qui leur a permis de développer la production d'électricité.

Si la réalisation d'une pile de Volta, très simple et assez économique, peut se faire en classe, la théorie qui sous-tend cette activité est bien moins simple à concevoir : elle nécessite en effet d'introduire la notion de particule chargée, autrement dit d'électron, dont les élèves n'ont pas une connaissance concrète.

## Préparer la séance en classe

### La lettre de Volta à la Royal Society

Comme point de départ pour cette activité, on pourra s'appuyer sur la description de la pile faite par Volta dans sa lettre adressée en 1800 au président de la Royal Society, un texte simple et accessible :

« Je vais donner ici une description plus détaillée de cet appareil et de quelques autres analogues, aussi bien que des expériences y relatives les plus remarquables. Je me fournis de quelques douzaines de petites plaques rondes ou disques de cuivre, de laiton, ou mieux d'argent, d'un pouce de diamètre, plus ou moins (par exemple des monnaies), et d'un nombre égal de plaques d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc de la même figure et grandeur, à peu près – je dis à peu près, parce que la précision n'est pas requise, et en général la grandeur aussi bien que la figure des pièces métalliques est arbitraire ; on doit avoir égard seulement qu'on puisse les arranger commodément les unes sur les autres en forme de colonne. Je prépare, en outre, un nombre assez grand de rouelles de carton, de peau ou de quelque autre matière spongieuse, capable d'imbiber et de retenir beaucoup d'eau ou de l'humeur dont il faudra pour le suc-

cès des expériences qu'elles soient bien trempées. Ces tranches ou rouelles, que j'appellerai disques mouillés, je les fais un peu plus petites que les disques ou plateaux métalliques, afin qu'interposées à ceux-ci de la manière que je dirai bientôt, elles n'en débordent pas. »

Ce texte incitera les élèves à reproduire l'empilement décrit.

### **Comment fonctionne une pile ?**

L'image que nous avons de l'objet que Volta présente est celle d'un empilement régulier de disques de cuivre et de zinc séparés par un carton imprégné d'eau salée. Les enfants pourront ainsi comprendre d'où la pile tire son nom ! Les disques de cuivre et de zinc sont appelés « électrodes » et la solution de sel, « électrolyte ». Ce sont les réactions chimiques entre ces différents composants qui vont donner naissance à de l'électricité, c'est-à-dire à une circulation d'électrons (toute cette nomenclature sera introduite par le Britannique Michael Faraday en 1834, en même temps que le reste de la terminologie électrochimique).

Pour Volta, la production d'électricité était essentiellement due au contact entre ces trois éléments, même s'il avait compris l'importance de la solution pour le « passage des particules chargées ». Pour préparer les activités de la classe, il est important de comprendre comment fonctionne une pile, tout en gardant à l'esprit que ce n'est pas à la portée des élèves de primaire. La pile de Volta comporte une électrode de cuivre « réduite » sous l'action de l'électrolyte : elle libère des électrons qui vont s'associer avec les ions  $H^+$  de l'électrolyte et migrer jusqu'à l'électrode de zinc, produisant un courant électrique (si un circuit est constitué, c'est-à-dire si les électrodes sont reliées par une suite de conducteurs).

On peut dire que l'électrode de cuivre « perd » des électrons : on dit qu'elle est « chargée positivement » (elle devient le pôle positif). Au contraire, l'électrode de zinc se dissout partiellement dans la solution et « gagne » des électrons : on dit qu'elle est « chargée négativement » (elle devient le pôle négatif). Une tension s'établit entre les deux pôles de la pile.

La cathode (c'est-à-dire le cuivre) se reconstitue en permanence : le cuivre ayant réagi avec la solution est reconstitué grâce aux électrons « récupérés » dans le circuit. Seule l'électrode de zinc (c'est-à-dire l'anode) est consommée. Le processus peut donc continuer jusqu'à ce que celle-ci soit complètement dissoute.

### **Le matériel**

Nous proposons d'utiliser des pièces de monnaie : il s'agit d'une solution assez simple, surtout depuis l'introduction de l'euro. Nous suggérons d'utiliser les pièces de 20 centimes, fondues dans un alliage de cuivre particulier que l'on a l'habitude de désigner sous le nom de « Nordic Gold » et qui comprend 89 % de cuivre, 5 % de zinc, 5 % d'aluminium et 1 % d'étain, ainsi que des pièces de 5 centimes en acier cuivré : un matériel expérimental facile à trouver

et... recyclable ! Seule difficulté, ces pièces sont petites et les empiler aboutit à un édifice fragile et instable. Les classes confrontées à ce problème ont choisi de construire une base sur le modèle de celle décrite par Volta en utilisant un morceau de polystyrène sur lequel repose l'empilement (on peut consulter les dessins sur le cédérom).

### **Quelques recommandations**

À l'issue de l'activité, les élèves devront notamment identifier les deux pôles de la pile. Or, la désignation des pôles « plus » et « moins » est déterminée par convention. Pour éviter d'induire les enfants en erreur et battre en brèche les idées fausses sur le sens du courant, il est important que les enseignants puissent répondre à cette question (et à d'autres de ce type).

Les piles peuvent être dangereuses : les normes de sécurité de la Communauté européenne nous indiquent qu'on ne peut pas appliquer au corps humain une tension supérieure à 24 V, tension qui s'obtient avec trois piles de 9 V montées en série (il est très important de se rappeler cette limite quand nous devons travailler avec des élèves).

Les piles peuvent polluer notre environnement : certaines (les piles-boutons) contiennent du mercure nocif pour le milieu dans lequel nous vivons. Un problème qu'il faut présenter aux élèves en les invitant à la collecte et au tri des déchets...

Il est important enfin que les élèves puissent observer ce que contiennent les piles, mais seul l'enseignant devra les ouvrir. À ce propos, il sera plus approprié de choisir une pile plate car les piles cylindriques sont souvent « blindées » et impossibles à ouvrir !

## **Construire une pile en classe**

### **Initier la réflexion**

Pour commencer, on peut inviter les élèves à apporter en classe les différentes piles qu'ils trouveront chez eux : on rassemblera ainsi des piles plates, des piles cylindriques, des piles salines ou alcalines... On leur demandera ensuite de s'interroger sur l'origine et sur le devenir de chaque type de pile. Il est également possible de partir de l'observation d'un jeu qui fonctionne avec des piles et de poser aux élèves la question : « Qu'est-ce qui fait fonctionner le jeu ? » La discussion qui s'ensuivra permettra d'établir une liste des fonctions de la pile et ses modes d'utilisation. On pourra, si nécessaire, ôter la pile du jeu pour montrer qu'il ne fonctionne plus. Quelle que soit l'option choisie, nous proposons d'amener les élèves à réfléchir sur l'origine de la pile et à lire le texte de Volta pour fabriquer leur propre pile.

### **Quel matériel utiliser ?**

On pourra alors lister le matériel utilisé par Volta et imaginer quels objets de la vie quotidienne pourraient le remplacer (ci-contre, en haut) :

## Définir un protocole

On définira ensuite un protocole pour fabriquer la pile :

- prendre la base de polystyrène et y fixer les piques à brochettes de manière à ce qu’elles soient parfaitement verticales : on obtiendra ainsi une structure qui empêchera les disques empilés de tomber ;
- faire des « sandwiches » de pièces de 20 et 5 centimes avec, au centre, un petit disque de coton imbibé de jus de citron (ou d’eau salée) ;
- glisser et empiler ces sandwiches sur la structure d’appui.

Lors de la fabrication de leur pile, les élèves s’apercevront qu’ils doivent prendre certaines précautions :

- lorsque les disques de coton sont pressés (en particulier ceux situés à la base de l’empilement), ils perdent leur jus de citron, ce qui rend la pile moins efficace (les élèves découvriront ainsi le rôle de l’électrolyte : si le jus s’assèche, il n’accomplit plus sa fonction). Pour réduire cet effet, on peut intercaler du coton entre toutes les pièces. Volta n’avait pas compris l’importance de l’électrolyte, il pensait que l’électricité était générée par le contact entre deux métaux différents !
- il faut se rappeler que les disques de coton doivent être plus petits que les pièces pour éviter que deux morceaux de coton ne viennent à se toucher (Volta l’indique bien dans son texte).

Nous pouvons utiliser un « contrôleur » pour tester la pile et la comparer à une pile du commerce. Un enfant s’est ainsi exclamé : « Mais ce n’est pas possible, avec ma pile, j’ai lu 195 [mV], et avec la pile que j’ai achetée, j’ai lu 1 590 ! » Après discussion, les élèves ont convenu que pour obtenir les mêmes résultats qu’avec la pile achetée, il fallait huit empilements en série.

<b>Volta a utilisé</b>	<b>Nous pouvons utiliser</b>
20 disques de cuivre de 4 cm de diamètre	20 pièces de 20 centimes d’euro
20 disques de zinc de 4 cm de diamètre	20 pièces de 5 centimes d’euro
20 disques de papier pressé	20 petits disques de coton de la taille d’une pièce de 5 centimes
Une solution d’eau salée pour baigner les disques de papier pressé	Le jus d’un citron pour imbiber les disques de coton
Trois tiges fixées verticalement sur une base de bois	Une base de polystyrène pour y fixer trois petites piques à brochettes (ou des pailles en plastique) qui soutiendront l’empilement.

## En plein empilement

Si les élèves mènent leur construction à bien, ils verront que la surface des pièces utilisées est altérée, surtout celle des pièces de 5 centimes. « Nous n'aurons plus de pièces, je ne pourrai plus faire mes achats ! » s'est plainte une élève !

Nous avons aussi cherché à faire la même expérience avec moins de sandwiches mais les élèves ont alors constaté que le contrôleur affichait une valeur moindre. Dans une classe, un groupe d'élèves a cherché à construire une mini-pile : « On lit toujours quelque chose... » Au cours de cette activité, il est important de laisser les élèves expérimenter toutes leurs idées, tout en faisant attention à ce qu'ils ne fassent varier qu'une variable à la fois, condition nécessaire pour comprendre d'où viennent les différences de résultat.

Un groupe, lassé de voir ses empilements tomber, a décidé de construire une pile « horizontale » : « Nous avons réussi à mettre plus de pièces, mais on n'avait plus la pile de Volta ! » Ils ont alors cherché d'autres textes historiques. C'est ainsi que la classe a découvert la « pile à couronnes de tasses » de Volta. Dans l'expérience réalisée par les élèves, une demi-orange est une pile bien plus naturelle que celle de Volta : « Nous avons cherché à construire une pile différente : nous avons planté des électrodes de cuivre et de zinc dans des oranges : nous avons eu besoin de douze oranges pour allumer une petite lampe. » Les élèves peuvent utiliser d'autres fruits et même d'autres électrolytes (voire de l'eau) : ils se rendront ainsi compte que la plupart fonctionne. Dans une classe, on a même cherché à utiliser des kiwis et deux verres d'eau...



## Et après ?

Il est possible, pour prolonger cette activité, de donner aux élèves des piles plates et des ampoules pour aborder les circuits électriques. On peut former des groupes de quatre ou cinq élèves, leur donner une ampoule, des fils électriques, une pile et leur demander de faire briller l'ampoule. Laissez les élèves tâtonner et s'interroger sur la façon d'utiliser la pile de Volta qu'ils auront fabriquée dans la première partie de la séquence. Ils pourront la tester avec une ampoule et étudier ainsi la notion de circuit fermé. Avec un nombre limité de sandwiches, il sera difficile de faire briller l'ampoule mais certains auront l'idée d'associer plusieurs piles et d'observer ce qui se passe alors.

Les élèves pourront aussi rechercher les caractéristiques des ampoules en regardant les boîtes ou le culot des ampoules. Ce sera l'occasion de s'interroger sur les valeurs indiquées et les unités utilisées et d'introduire l'unité de mesure de la tension, le volt, dont les enfants n'auront aucun mal à comprendre l'origine !

Dans le laboratoire où travaillait Alessandro Volta, le désordre régnait en souverain. Objets et matériaux divers - cuivre, verre, bouteilles et petits vases pleins, vides, ouverts, fermés, disques de métal, de peau - s'étaient accumulés et le bureau était tellement encombré qu'il ne pouvait plus bouger. Il en avait même interdit l'entrée aux domestiques : l'idée que quelqu'un déplace ne serait-ce qu'un seul de ses instruments ou de ses papiers le faisait frémir. Lui seul savait où trouver les " choses " dans ce désordre. Les autres étaient bien incapables de deviner quoi ranger et comment le faire. Sans compter que, dans ce capharnaüm, il conservait aussi les notes qui lui servaient à écrire les comptes rendus de ses recherches.

Alessandro se rappelait justement la lettre écrite à Priestley où il lui décrivait l'une de ses découvertes, formulant ce souhait : " À cela ne vous déplaît, je souhaiterais donner un nom à mon petit appareil, et ce serait celui d'électrophore perpétuel. "

L'électrophore... Comme le temps avait passé ! Débordé par d'autres curiosités, il avait négligé ce petit instrument prometteur. Tout était devenu tellement compliqué - surtout depuis que Galvani s'était mis lui aussi à travailler sur l'électricité. Un homme vraiment étrange, ce Galvani, avec ses grenouilles... Quelle polémique s'en était suivie ! Pourtant, lui, Volta, était assez sûr de ses idées !

Perdu dans ses pensées, il alla de nouveau contrôler l'électrophore : il souleva le couvercle de bois (l'électrophore proprement dit) de la base de résine. En le touchant, il vérifia que l'appareil fournissait encore de l'électricité négative. On ne pouvait peut-être pas aller jusqu'à dire qu'il était réellement " perpétuel ", mais il fonctionnait quand même pendant un bon bout de temps ! Il contrôla ses notes : l'expérience avait commencé trois jours plus tôt. Tout allait bien.

Oui, beaucoup d'autres choses avaient occupé son esprit depuis qu'à la suite de cette découverte, il avait occupé sa première chaire : la chaire de physique du lycée de Côme. Il avait beaucoup voyagé : en Suisse, en Allemagne, en Hollande, en Angleterre, en France. Il avait rencontré et collaboré avec des gens passionnants. Lavoisier, Laplace... il gardait un souvenir de chacun d'eux.

Aujourd'hui, il avait également prévu de ranger les notes sur son " appareil électromoteur ".

Dieu que cet appareil, formé de disques de deux matériaux différents empilés les uns sur les autres, lui avait donné du fil à retordre ! Pour sûr, il s'était amusé à tailler des morceaux de mêmes dimensions pour faciliter l'empilement ! Jusqu'au récipient lui-même, qui n'avait pas été facile à construire... Maintenant qu'il était satisfait du résultat, il lui fallait encore décrire l'instrument pour préparer la communication qu'il devait faire à la Royal Society, la société de scientifiques de Londres qui validait les découvertes et les inventions.

" Il ne s'agit que d'un ensemble de bons conducteurs de différentes espèces, disposés de façon particulière. Trente, quarante, soixante morceaux, ou plus, de cuivre, ou mieux, d'argent, appliqués chacun sur un morceau d'étain ou, ce qui est bien mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau pure, ou de quelque autre liquide qui soit un meilleur conducteur que l'eau simple, comme de l'eau salée, de la lessive, etc., ou des morceaux de carton, de peau, etc., bien imbibés de ces liquides. De telles couches placées entre chaque couple ou combinaison de deux métaux différents, une telle série alternée, et toujours dans le même ordre de ces trois conducteurs, voilà tout ce qui constitue mon nouvel instrument. "

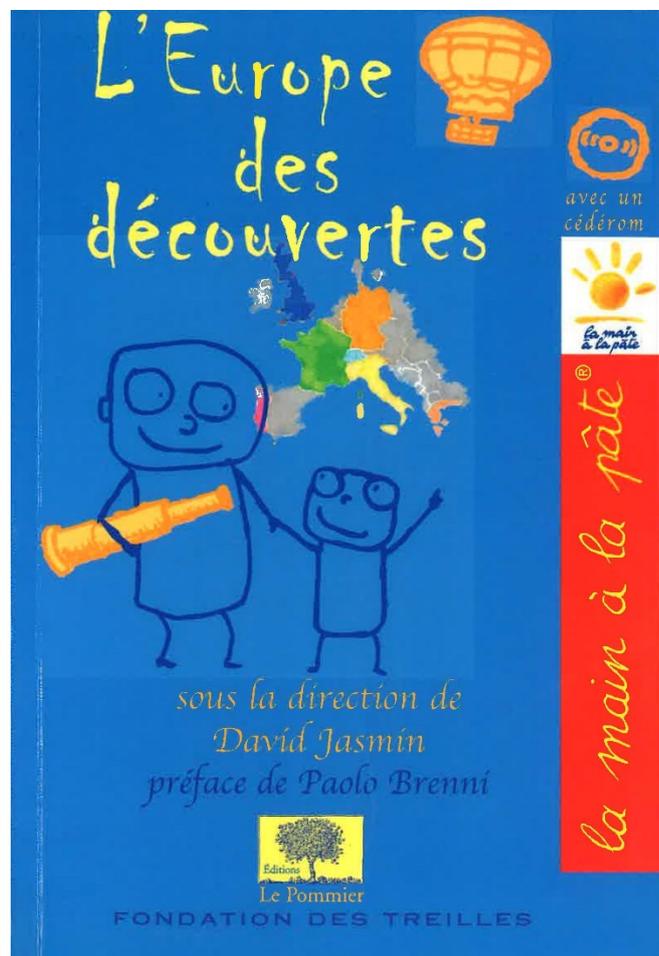
Il leva soudain les yeux de sa feuille - qu'est-ce qui lui venait à l'esprit maintenant ? Il pensait à ce jour lointain, sur le lac Majeur, quand, de sa barque, il avait vu monter du fond du lac une foule de petites bulles. Qu'avait-il fait à ce moment-là ? Il avait remué le fond avec un bâton : d'autres petites bulles de gaz étaient apparues à la surface, qu'il avait recueillies. Grâce aux expériences qu'il avait faites dans son bureau, il s'était aperçu que le gaz recueilli était inflammable. Et s'il utilisait l'étincelle électrique pour le faire exploser ? C'était un phénomène à étudier, on pouvait peut-être en tirer quelque chose... Repoussant les papiers les plus proches, il fit tomber les plus éloignés de la table et les ramassa en ronchonnant : " J'écrirai une autre fois la communication pour la Royal Society. Pour le moment, cette idée me paraît valoir la peine d'y réfléchir. " Il prit une nouvelle feuille de papier, rapprocha l'encrier et commença à dessiner : il devait envisager comment faire exploser ce gaz qu'il avait vu remonter du fond du lac. Il fallait un contenant fermé pour que le gaz ne s'échappe pas, gaz qu'il fallait ensuite faire exploser à l'intérieur. Voilà qui promettait un beau problème à résoudre.

Plongé dans ses réflexions, il n'entendit pas frapper : sa femme apparut à la porte du bureau, c'était l'heure du

repas. Mais quand elle vit son mari occupé à écrire, cerné de piles de feuilles et de livres, elle s'éloigna en hochant la tête. Ça n'était pas la peine de le déranger, il était trop occupé par sa recherche et son travail. Ils mangeraient ensemble ce soir.

Leopoldo Benacchio et Angela Turricchia

Cette ressource est issue du projet thématique *L'Europe des découvertes*, paru aux Éditions Le Pommier.



Quelle meilleure façon de se familiariser avec l'esprit scientifique que d'observer Galilée découvrir les satellites de Jupiter dans sa lunette astronomique, s'élever dans les airs en compagnie des frères Montgolfier ou mesurer le bleu du ciel avec Ferdinand de Saussure, l'inventeur du cyanomètre? *L'Europe des découvertes*, un livre, accompagné d'un cédérom, pour permettre aux enfants de prendre le pouls de la science.

Issu d'un projet mis en œuvre par *La main à la pâte* et plusieurs partenaires européens, l'ouvrage présente douze découvertes qui nous font visiter sept pays d'Europe (Allemagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Portugal et Suisse). Du parachute de Léonard de Vinci au télégraphe de Chappe, de la caravelle à la pasteurisation... l'ouvrage propose, pour chaque découverte, une grande variété de documents : dans le livre, trois types de texte – historico-scientifique, pédagogique et pour enfant –, dans le cédérom, plus directement destiné aux petits, des animations interactives et des cahiers d'expériences.

*L'Europe des découvertes* ouvre ainsi la voie à une utilisation constructive de l'histoire des sciences et des techniques, au-delà du rôle de complément culturel qui lui est le plus souvent assigné.

Car la science a une histoire : elle évolue au gré des inventions, des nouveaux moyens mis en œuvre, mais aussi des échecs et des réfutations. Enseigner aux enfants cette merveilleuse aventure leur permet de retrouver le sens qui habite la science et ceux qui l'ont incarnée.

*la main à la pâte*®

Dynamique de rénovation de l'enseignement des sciences à l'école primaire (maternelle et élémentaire), *La main à la pâte* est une opération conduite par l'Académie des sciences, qu'un Plan de rénovation, mis en place par le ministère de l'Éducation nationale, a étendue à tout le territoire national. C'est aussi un label de qualité attribué à cet ouvrage par un comité issu de l'Académie des sciences.



168-01/1  
27 €

diffusion harmonia mundi

Diffusion  
BELIN  
depuis  
juin 2007

Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes  
75006 Paris  
01 85 08 71 79  
contact@fondation-lamap.org

Site : [www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

 FONDATION  
**La main à la pâte**  
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE