L'électricité , les Piles Batteries Accumulateurs

L'électricité

Le mot électricité désigne un ensemble de phénomènes créés par le déplacement de particules élémentaires et se manifestant sous forme calorifique, chimique, lumineuse, magnétique ou mécanique, dont les manifestations naturelles sont la foudre et la capacité d'attraction/répulsion qu'ont certains matériaux préalablement frottés.

Il y a 2600 ans, Thalès est parvenu à attirer des brins de pailles à l'aide d'ambre, une pierre, dont le nom grec est « **elektron** », qui a donné son nom à l'électricité.

En **1672**, l'Allemand Otto von Guericke construisit un générateur primitif à friction : une boule de soufre tournant à grande vitesse sur un axe. Quand Guerick posé sa main sur la boule et a tourné l'axe rapidement, une charge d'électricité statique s'est accumulée. C'est la première d'une longue série de machines qui vont servir aux scientifiques étudiant l'électricité, et à l'amusement du grand public grâce aux effets électrostatiques parfois spectaculaires présentés.

Dans les années 1720, l'anglais Stephen Gray établit expérimentalement que l'électricité peut être transmise par certains matériaux et ne l'est pas par d'autres : c'est le début de la notion de matériaux conducteurs et isolants. Il constate aussi qu'un corps électrisé peut en électriser un autre qui lui est proche . Poursuivant les travaux de Gray, le français Charles-Antoine Dufay constate que deux corps électrisés peuvent soit s'attirer, soit se repousser, ce qui le conduit à émettre l'hypothèse de l'existence de deux sortes d'électricité statique : l'électricité « vitrée », obtenue en frottant verre, pierres ou fourrure, et l'électricité « résineuse », obtenue en frottant ambre, résine ou soie. Il formule la théorie selon laquelle deux corps contenant la même électricité se repoussent, alors que deux corps contenant de l'électricité de nature différente s'attirent. Ses travaux, publiés dans plusieurs Mémoires adressés à l'Académie royale des Sciences à partir de 1733, relancent la polémique entre scientifiques sur la nature de l'électricité, qui durera jusqu'à la fin du siècle.

En **1745**, l'Allemand, Ewald von Kleist, trouva une méthode pour stocker cette charge dans une bouteille en verre remplie à moitié d'eau et refermée à l'aide d'un bouchon de liège. Il stocka l'électricité dans l'eau par l'intermédiaire d'un clou inséré dans le liège et touchant le fluide, le clou étant chargé à l'aide d'un générateur à friction. Alors qu'il tenait la bouteille d'une main, il reçut une puissante décharge lorsqu'il toucha le clou avec son autre main. Kleist se convainquit qu'une charge substantielle pourrait être accumulée lorsqu'il reçut ce choc électrique significatif.

Cette invention est restée sous le nom de « **bouteille de Leyde** » parce qu'en 1746, Pieter van Musschenbroek, professeur de l'université de Leyde, fit indépendamment la même découverte et la fit connaître au monde scientifique. Musschenbroek décrit ainsi son expérience dans une lettre du 20 avril 1746, adressée à Réaumur :

« *Dans ce but, j'avais suspendu à deux fils de soie bleue (toujours de la soie bleue) un canon de fer, qui par communication recevait l'électricité d'un globe de verre qu'on faisait tourner rapidement sur son axe, pendant qu'on le frottait en y appliquant les mains. À l'autre extrémité pendait librement un fil de laiton dont le bout était plongé dans un vase de verre rond, en partie plein d'eau, que je tenais dans ma mains droite ; avec l'autre main, j'essayais de tirer des étincelles du canon de fer électrisé. Tout à coup ma main droite fut frappée avec tant de violence, que j'eus tout le corps ébranlé comme d'un coup de foudre*. »

Daniel Gralath combina le premier plusieurs bouteilles en parallèle dans une « batterie » de capacité totale supérieure à celle d'une seule bouteille.

En 1756, le philosophe allemand Æpinus fabrique sur le même principe le condensateur plan qui porte son nom, le diélectrique est maintenant l'air compris entre deux plaques de métal que l'on peut rapprocher ou éloigner pour changer la capacité de celui-ci.

La première application de cette invention était de donner des commotions (chocs électriques ou électrisations) au public dans les foires. Par exemple, à Versailles, on présenta au roi Louis XV l'expérience de la décharge d'une grosse bouteille de Leyde à travers le circuit formé de plus de deux cents courtisans.

La bouteille de Leyde est un condensateur formé de deux conducteurs séparés par le verre de la bouteille. Le premier conducteur est généralement constitué d'une électrode supérieure, reliée par une petite chaîne à des feuilles en étain chiffonnées contenues dans la bouteille. Le second conducteur est formé par une feuille métallique enveloppant la bouteille. Les faces intérieure et extérieure stockent une charge électrique égale mais de signe opposé.

La bouteille originale était constituée d'une bouteille en verre recouverte d'une feuille de métal et contenant accidentellement de l'eau impure agissant comme un conducteur, reliée par une chaine à une sphère métallique. L'hypothèse initiale était que le courant électrique était analogue au courant de l'eau et donc que l'électricité pouvait être stockée dans l'eau. On a découvert ensuite que les charges s'accumulent sur les surfaces en vis-à-vis, séparées par le verre formant un diélectrique, et que le liquide pouvait être remplacé par des feuilles métalliques reliées à l'électrode par une tige conductrice. Les charges sont stockées à la surface des éléments, à la frontière avec le diélectrique. Plus le diélectrique est fin et donc plus l'espace entre les plaques est mince, plus la charge cumulable à une tension donnée est importante.

En 1768, la « machine de Ramsden » voit le jour, elle permet de créer de l'électricité statique en actionnant une manivelle.

...

Avant de revisiter la version officielle de l'histoire des inventions scientifiques, il existe, depuis plus de quatre-vingts ans, une histoire parallèle qui est censée remonter la date de l'invention de la pile électrique à il y a près de deux mille ans ! Cette histoire parallèle est anonyme et n'a pas de fondement « historique », mais une origine archéologique.

La pile électrique des Parthes

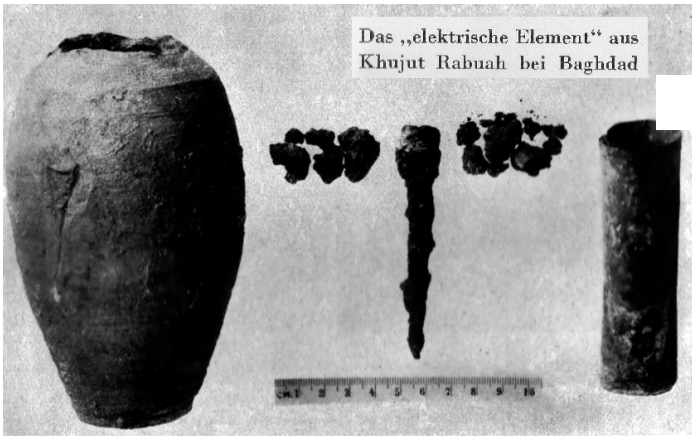
En 1936, des archéologues européens ont mené des fouilles dans des ruines antiques datant approximativement du début de notre ère, sur une colline située près de Khujut Rabu, un village qui se trouve au sud-est de Bagdad, et où se situait autrefois la ville de Ctésiphon, ancienne capitale de la dynastie parthe des Arsacides (247 av. J.-C.-224 apr. J.-C.), puis de la dynastie perse des Sassanides (224-651 apr. J.-C.).

Ctésiphon fut construite par les Arsacides face à Séleucie du Tigre, ancienne capitale des Séleucides.

La ville parthe s'étendait sur 30 km². Ctésiphon fut longtemps la résidence d'hiver des rois arsacides. Plus tard, la ville devint l'une des capitales de la dynastie des Sassanides. Dès 317 de notre ère, Ctésiphon fut le siège principal de l'Église de l'Orient. En 637, la capitale sassanide fut envahie par les troupes arabes musulmanes pendant la conquête de la Perse. En 762, les Arabes commencèrent à utiliser les matériaux de Ctésiphon pour construire Bagdad, bâtie à quelques kilomètres de la ville antique.

Lors des fouilles de 1936 à Khujut Rabu, les archéologues découvrirent de nombreux objets dont un vase qui les laissa perplexes sur son usage antique. Ces objets furent transférés aux caves du Musée archéologique de Bagdad où travaillait l'Autrichien Wilhelm König.

Wilhelm König se rendit en Irak en 1930 pour accompagner une mission archéologique de la Deutsche Orient-Gesellschaft (DOG, Société allemande d'Orient). Il travailla pendant un an pour le compte de la DOG sur le site d'Uruk, cité de l'ancienne Mésopotamie dans le sud de l'Irak. En 1931, König s'installa à Bagdad et accepta un poste d'assistant technique au Musée archéologique de Bagdad (aujourd'hui, Musée national irakien). Wilhelm König occupa ce poste jusqu'en février 1939 avant son retour à Vienne suite à une infection sanguine. Dès son retour en Autriche, König publia un livre intitulé « Im verlorenen Paradies, Neun Jahre Irak » dans lequel il raconte son séjour irakien.



Le Tâq-e Kasrâ, un palais sassanide, à 35 km au sud-est de Bagdad, est le seul vestige visible de Ctésiphon.

En 1936, König se mit à étudier les objets découverts à Khujut Rabu et s'intéressa particulièrement au vase « mystérieux ». Il s'agissait d'un petit vase de terre cuite de 15 centimètres de hauteur sur environ 7,5 centimètres de diamètre. Le vase lui-même n'avait rien d'étrange, c'était son contenu qui le rendait énigmatique. Il était fermé initialement avec un bouchon en bitume. Sous le bouchon se trouvait une tige de fer insérée à l'intérieur d'un cylindre de cuivre. Les deux éléments métalliques avaient été isolés soigneusement l'un de l'autre à la base du vase par un tampon en bitume. D'ailleurs, le cylindre de cuivre était soudé en son fond par un alliage de plomb et d'étain.
Ce dispositif était familier à König et aux archéologues qui avaient découvert l'objet. Ce vase de la dimension d'une lampe de poche ordinaire ne semblait pas pouvoir être autre chose qu'une pile électrique ! N'y manquaient qu'un acide (électrolyte) et un fil conducteur allant du cylindre de cuivre à l'extérieur (et qui s'était peut-être décomposé au cours des siècles ?).

D'après König, l'ensemble trouvé dans chaque vase pouvait constituer une pile électrique dont il reconstitua le schéma . « Il suffit pour la compléter de verser une solution saline ou acide dans le tube de cuivre. », écrit-il en 1938.

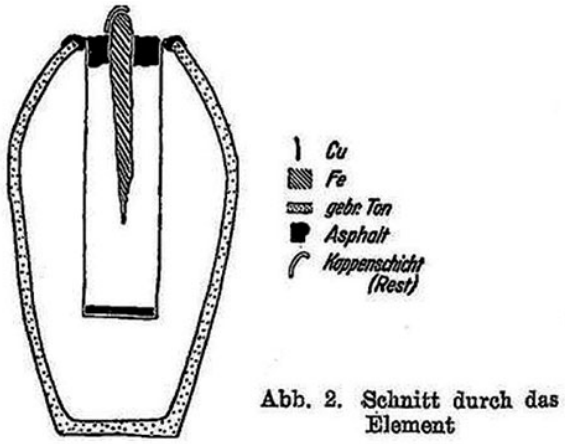
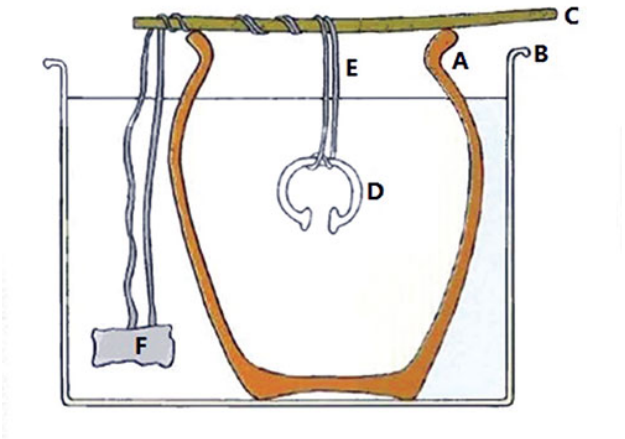


Schéma de la pile de Bagdad, présenté par Wilhelm König.

Au grand étonnement de König, le vase n'était pas un objet isolé. Les archéologues en avaient découvert quelques-uns à Khujut Rabu et une dizaine d'autres sur le site de Ctésiphon.
Wilhelm König pensait que ces poteries étranges dataient de l'époque de l'Empire parthe des Arsacides. Mais plus tard, le docteur St John Simpson du département du Proche-Orient antique du British Museum a estimé que le vase daterait plutôt du début de l'ère des Sassanides.

En tout état de cause, dès le début, Wilhelm König fut convaincu qu'il s'agissait d'une pile électrique.
Mais comment expliquer l'invention et surtout l'usage d'une batterie électrique qu'on peut dater de la période parthe, entre le Ier siècle avant et le Ier siècle après J.-C.? Admettons, pour le moment, qu'il s'agirait vraiment d'une pile produisant un faible courant électrique : à quoi cela pouvait-il servir ? Pour présenter sa découverte, König publia en 1936 un court article de deux pages dans la revue scientifique « Forschungen und Fortschritte » intitulé « Un élément galvanique de la période parthe ? »



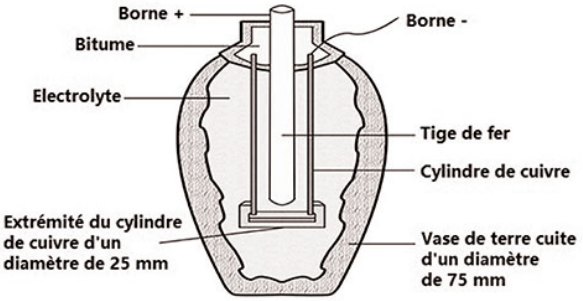
Dispositif des orfèvres de Bagdad au début du XXe siècle pour dorer les petits objets métalliques.

A : poterie poreuse contenant une solution de cyanure d'or
B : récipient contenant de l'eau salée à l'extérieur de la poterie
C : tige soutenant le fil métallique de conduction
D : objet à dorer
E : fil métallique
F : morceau de zinc

Pour appuyer son hypothèse, Wilhelm König se référa à une technique élémentaire de galvanisation utilisée vers le début du XXe siècle par les orfèvres de Bagdad pour dorer les bijoux. Il avait vu les orfèvres de Bagdad utiliser une pile rudimentaire grâce à laquelle il se produisait une réaction électrochimique dorant les petits objets métalliques. L'archéologue autrichien croyait que cette technique pouvait être issue d'un dispositif plus ancien : la pile électrique des Parthes (Figure ci dessus).
Mais la « pile de Bagdad » fonctionne-t-elle réellement ? Des chercheurs ou des centres scientifiques ont testé de nombreuses fois ces objets archéologiques en tant que pile électrique en procédant avec des répliques exactes des « piles électriques » des Parthes.

En 1939, Willy Ley, ingénieur et vulgarisateur scientifique américain d'origine allemande, popularise l'idée de König dans une revue de science-fiction. Un an plus tard, l'Américain Willard Gray, ingénieur au laboratoire de General Electric à Pittsfield (Massachusetts), lit la théorie de König. À l'aide de dessins et de détails fournis par Willy Ley, Gray créé une reproduction fidèle de l'objet antique. En utilisant une solution de sulfate de cuivre, il réussit à générer près de 0,5 volt d'électricité. Après cette expérience, le vulgarisateur Willy Ley dit qu'il était convaincu qu'« à l'époque de Jésus Christ, les Parthes avaient des piles électriques à Ctésiphon ».
En 1978, l'égyptologue allemand Arne Eggebrecht fabriqua une réplique de la pile de Bagdad et la remplit de jus de raisin fraîchement pressé, en estimant que l'acide acétique ou l'acide citrique comme électrolyte étaient aisément disponibles à l'époque antique. Sa réplique généra 0,87 V d'électricité. Il utilisa ensuite le courant de la batterie pour galvaniser une statuette en argent avec de l'or. Différents spécialistes ont reproduit la pile en utilisant du jus de raisin comme électrolyte et ont effectivement obtenu un courant électrique, suivant les expérimentateurs, entre 0,5 et 1,5 volt.
Les piles électriques de Bagdad deviennent de plus en plus populaires dans les années 2000.
En 2005, les équipes de « MythBusters », une émission télévisée de Discovery Channel, reproduisent l'expérience de dorure sous les yeux des téléspectateurs et disent que l'hypothèse de la pile de Bagdad est « plausible ».
Ces expériences suffisent-elles pour prouver que les batteries électriques ont été inventées et utilisées environ 1800 ans avant leur invention moderne par Alessandro Volta en 1799 ? On imagine que ces « piles électriques » étaient utilisées dans l'Antiquité pour galvaniser de l'or sur des objets métalliques, mais jusqu'à présent cette affirmation n'a pas été prouvée concrètement.

La communauté scientifique reste très dubitative quant à l'hypothèse de l'invention et de l'usage des piles électriques à Ctésiphon à l'époque des Arsacides, il y a 2000 ans. Les historiens des sciences mettent également en doute que cette « pile » ait été utilisée pour la dorure d'objets métalliques.



Les doutes exprimés par les savants se fondent sur une question de « méthode scientifique ». Autrement dit, ils mettent en doute le fondement scientifique et même historique de l'invention et de l'usage des piles électriques à l'époque des Parthes. Bien que les vases découverts à Khujut Rabu et Ctésiphon puissent servir de « pile électrique voltaïque », ils insistent à dire que certains éléments (dont les fils conducteurs) manquent à cet ensemble. En outre, la dorure d'objets métalliques par électrolyse supposerait, selon les savants, que dans l'Antiquité, les gens auraient eu accès à des sels d'or en solution, ce qui serait très peu vraisemblable, car ces derniers ne furent connus que beaucoup plus tard pendant le Moyen-Âge. Le procédé des orfèvres de Bagdad que König mentionne dans son article de 1936 suppose l'usage de sels d'or en solution. Or, dans l'Antiquité l'usage de tels sels est très hypothétique, selon les historiens des sciences. L'or est un « métal noble » qui résiste à la corrosion et à l'oxydation. L'or ne s'oxyde pas et on le trouve dans la nature uniquement à l'état métallique, car l'or n'est pas soluble dans les solutions basiques ou les acides forts, à l'exception de l'eau régale.
Avant les progrès de l'alchimie médiévale, dus essentiellement aux méthodes expérimentales des savants musulmans, on ne connaît pas, selon les historiens des sciences, de méthode permettant par une réaction chimique de « dissoudre » l'or pour obtenir des sels d'or solubles.
Les Parthes n'avaient-ils réellement pas la possibilité d'avoir accès au sel d'or soluble ? Pour répondre à cette question, le chimiste Emmerich Paszthory publia un article en 1989 pour montrer qu'il était théoriquement possible d'obtenir, il y a 2000 ans, des sels d'or en solution. Dans cet article, Paszthory explique que si on écrase des amandes amères ou des noyaux de cerises aigres avec un peu de levure de bière, de l'eau et de la poudre d'or, on pourra obtenir, avec de la chaleur et du temps, une « très bonne solution électrolytique de sel d'or » !

Cet exemple explique très clairement l'argument principal de la communauté scientifique qui rejette l'idée de l'invention et de l'usage des piles électriques à l'époque des Parthes à Ctésiphon en mettant en mettant en question la « méthode de recherche ». Les savants disent qu'il ne suffit pas que les archéologues se fondent sur nos connaissances actuelles pour montrer qu'une technique ancienne aurait été possible pour en conclure ensuite qu'ellea effectivement été appliquée.

1800 La pile Volta

Le physicien italien **Alessandro Volta** (1745-1827) s'intéresse de près aux expériences menées par Luigi Galvani en 1786. **Luigi Galvani** testait la machine de Ramsden, une machine conçue vers 1768, pour générer des étincelles mécaniquement à l'aide d'une manivelle, et sur les cadavres de grenouilles. Cette machine produisait des petits sursauts au niveau des muscles des cadavres.
C'est en 1799, que Volta pour trancher une controverse qui l'oppose au physicien Luigi Galvani, qu'il réalise une expérience qui montre que le contact entre deux matériaux différents, reliés par un conducteur, permet de fabriquer de l'électricité. Volta découvrit qu'un flux continu de force électrique était possible lorsqu'on utilisait certains fluides conducteurs pour engendrer une réaction chimique entre des métaux. De plus Volta s'aperçut que la tension augmentait lorsque les piles voltaïques étaient empilées. Ceci conduisit à l'**invention de la batterie**.

Pour la petite histoire : **Bonaparte et Volta**
Robertson (né à Liège) était le premier expérimentateur du galvanisme en France, il s'était intéressé très tôt aux expériences de Galvani à Bologne, en 1789. Il

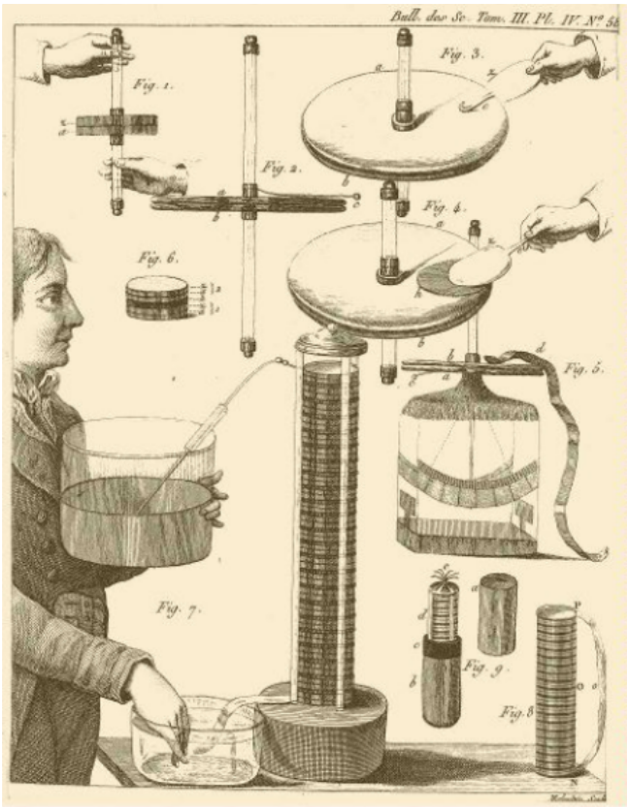
avait été impressionné par ces dernières au cours desquelles, ce qui sera identifié comme un courant galvanique, animait les nerfs et les muscles de grenouilles mortes. Il s'en explique dans ses Mémoires : Un paragraphe d'un journal italien me révéla les premiers phénomènes observés par Galvani et répétés par Volta. *J'essayai aussitôt de les reproduire ; et jugeant qu'ils étaient de nature à piquer la curiosité… et à étendre la science, je n'hésitai pas à les rendre publics*. Ils firent en effet beaucoup d'impression. Ses premières expériences galvaniques auront lieu au Pavillon de l'Échiquier, dès l'an VI. En 1800, il reprendra les expériences que Volta avait réalisées à la Société Royale de Londres. Aussi, lorsque ce dernier vint à Paris, en 1801, pour y démontrer la véritable théorie galvanisme, celle-ci y était déjà connue grâce à Robertson et à plusieurs appareils nouveaux dont il était l'auteur, tel un galvanomètre, le premier imaginé en France dont il avait donné la description dans un mémoire lu à l'Institut, le 8 fructidor an VIII (26 août 1800), et dont il détaille la constitution et le fonctionnement dans le tome premier de ses Mémoires13. Ce fut lui qui, dans des séances à l'Institut, les 16,18 et 21 brumaire an X (7, 9 et 12 novembre 1801), et devant Bonaparte, alors premier Consul, leva tous les doutes de l'identité du galvanisme avec l'électricité, en enflammant le gaz hydrogène avec l'étincelle galvanique. Il se présentera dans ses Mémoires comme un membre de la Société galvanique de Paris. Robertson apparait ici, sinon comme un inventeur, tout au moins comme un vulgarisateur préoccupé de diffuser dans le public les découvertes récentes en matière d'électricité.
Ces expériences de galvanisme associées à d'autres démonstrations de procédés électriques, comme l'usage spectaculaire du pistolet de Volta qui éclatait au contact d'un chat dont les longs poils se chargeaient d'électricité, se déroulaient, le plus souvent, en préambules des séances de fantasmagorie...

La période au cours de laquelle Volta effectua les travaux qui conduisirent finalement à la mise au point de la pile fut loin d'être sereine en Europe occidentale, en Italie notamment.

Napoléon Bonaparte commence le 12 avril 1796, à l'extrémité méridionale des Alpes, au col de Cadibone entre Nice et Gênes, la première campagne dite « d'Italie » qui se termina le 18 avril 1797 à Leoben, à l'extrémité orientale des Alpes : 18 batailles, 65 combats pour vaincre cinq armées autrichiennes sur le sol de l'Italie du nord. Le 15 mai 1796, Napoléon Bonaparte faisait une entrée triomphale dans Milan. Volta y assista en tant que représentant des patriciens de Côme. Ce fut sans doute la première fois qu'il voyait Napoléon. Le 17 octobre 1797, le traité de Campo-Formio préparait une large réorganisation de l'Italie du nord, avec la création en particulier de la République Cisalpine formée du Milanais, du duché de Modène et de la Romagne enlevée au pape. Volta devint ainsi citoyen de la République Cisalpine et à ce titre, comme tout autre citoyen en âge de porter les armes, il fut requis pour monter la garde avec la Legione Pavese en mai 1798. Cet événement se place donc à un moment particulièrement crucial pour Volta, alors qu'il allait tout juste mettre au point la pile ; on peut supposer que les préoccupations de Volta devaient être alors assez éloignées des soucis posés par un simple tour de garde. La même année, dans le courant du mois de décembre, le célèbre anatomiste bolonais, Luigi Galvani, dont Volta avait combattu la théorie de l'électricité dite « animale », beaucoup moins chanceux que lui, mourait dans la misère, après avoir été expulsé de l'Université de Bologne pour avoir refusé de jurer fidélité à la République Cisalpine, ceci afin de rester en accord avec ses principes religieux et sa fidélité au pape. Dans les mois qui suivirent, la situation politique en Italie se dégrada à nouveau. Avec la formation de la seconde coalition, les combats reprirent, entraînant la perte en 1799 pour le Directoire de toute l'Italie hormis Gênes. La campagne de 1800 permit la reconquête de l'Italie du nord au prix évidemment de nouveaux combats et le rétablissement de la République Cisalpine, qui fut confirmé lors du traité de Lunéville, le 9 février 1801. On voit donc que la découverte de la pile et la publication des résultats s'y rapportant, notamment la lettre à sir Joseph Banks, survinrent sur fond de combats et d'instabilité politique, en particulier dans le pays de son découvreur, Volta, dont le laboratoire de Pavie fut même endommagé par des boulets (français)...

Pendant les années qui précédèrent la découverte de la pile, Volta jouissait déjà d'une grande notoriété dans les milieux scientifiques. Ainsi, une lettre du 18 juillet 1791 de Charles Peter Layard lui apprenait qu'il venait d'être élu membre, à titre étranger, de la Royal Society, et en 1794, cette même institution lui décernait une médaille d'or (la médaille dite « de Copley » – une sorte de prix Nobel de l'époque).

Ni Bonaparte, ni Monge d'ailleurs, ne semblaient se douter qu'à Pavie, ils sont passés à côté d'un grand savant et des prémices d'une grande découverte. **Volta**, alors professeur de physique de l'Université est en discussions passionnées avec le professeur de Bologne Galvani, à propos du galvanisme, de l'électricité animale, de l'électricité des métaux. Volta est déjà crédité de deux découvertes importantes : l'électrophore (1775) et le condensateur, qui permettent de transporter et d'accumuler des charges électriques. Dans une lettre datée de 1797, il parle même « du galvanisme ou de l'électricité produite par le contact de conducteurs différents ». Aussi, plusieurs auteurs se sont demandés pourquoi Volta n'avait réalisé sa pile qu'en 1799. Deux raisons ont été avancées : d'ordre familial (il s'est marié en 1794 et a eu rapidement plusieurs enfants) et politique, car la situation est alors très troublée en Lombardie, possession autrichienne jusqu'en 1796, passée sous influence française après le traité de Campo-Formio et la création d'une « République cisalpine ». Bonaparte, parti en Égypte au printemps 1798, les hostilités reprennent, Moreau est battu à Cassano en avril 1799 et la Lombardie repasse sous domination autrichienne. L'Université de Pavie est fermée, en raison de son attitude « collaborationniste » avec les Français, mais Volta, qui a gardé ses distances avec l'occupant, n'est pas inquiété. L'intermède autrichien va durer 13 mois, jusqu'en mai 1800. C'est au cours de cette période que Volta, probablement fin 1799, découvre son « **organe électrique artificiel** », qui sera appelé « **pile** » du fait de sa première configuration en colonne.
Ce système électrochimique empile alternativement des couches de métaux différents (cuivre ou zinc et argent), séparées par des feutres imbibés d'acide (électrolyte). Volta conçoit ainsi une colonne, 'pila' en latin, constituée de plusieurs couples de disques de zinc et de cuivre, séparés par un tissu imbibé d'eau salée ou d'acide sulfurique. La toute première pile comporte environ 600 disques et mesure presque 1,5 m. Un fil métallique relie les deux extrémités : le zinc se charge de fluide positif, et le cuivre, de tension négative, créant un fort courant électrique.



Cette invention prodigieuse était cependant composée d'éléments assez simples : un récipient, des disques de deux métaux différents (cuivre et zinc) et de la saumure d'une solution aqueuse de sel (NaCl) qui servait d'électrolyte, c'est-à-dire une substance conductrice, car elle contient des ions mobiles.
Cette découverte, abondamment décrite par Louis Figuier, est annoncée officiellement par Volta dans une lettre de mars 1800 adressée de Côme à Joseph Banks président de la Société Royale de Londres, dont Volta est membre à titre étranger. Volta y décrit sa colonne de couples zinc-cuivre séparés par des cartons imbibés d'« humeur » (eau salée, lessive). Une partie de la lettre parvient à Londres début avril. Banks en fait part à quelques membres de la Société. Le 30 avril, le chirurgien Carlisle construit son « appareil électromoteur » d'après la description de Volta, et réalise diverses expériences dont, avec le physicien Nicholson, la décomposition de l'eau par le courant électrique. La fin de la lettre ne parvient à Londres qu'à la mi-juin et Banks donne connaissance de la totalité de la lettre lors d'une séance de la Société Royale. En juillet 1800, le Journal philosophique de Nicholson reproduit la lettre de Volta et rapporte une série d'expériences déjà réalisées par les Britanniques .

La situation politique s'est dégradée à Paris depuis le départ de Bonaparte en Égypte. Il rentre précipitamment en France et le coup d'État du 18 Brumaire an VIII (9-10 novembre 1799) porte Bonaparte au Consulat, d'abord comme Consul provisoire, puis Premier Consul par la Constitution de l'an VIII (décembre 1799). Bonaparte engage la seconde campagne d'Italie en mai 1800, le 6 juin il s'empare de Milan, le 10, c'est la victoire de Marengo qui marque la reconstitution de la république cisalpine. L'Université de Pavie est ouverte à nouveau, Volta y reprend ses cours et prête, cette fois, serment de fidélité à la nouvelle république.
Volta propose (de sa propre initiative, ou suite à des sollicitations ?) d'aller à Paris, avec un de ses collègues, le professeur de chimie Brunatelli, pour exprimer la reconnaissance de l'Université au Premier Consul. Volta souhaite aussi faire connaître son invention aux savants français et recevoir leur consécration. Mais les hostilités ne sont pas terminées, la guerre de la deuxième coalition ne prendra fin qu'avec la victoire de Hohenlinden (décembre 1800) et la signature du traité de Lunéville (février 1801). Si bien que le voyage de Volta, d'abord envisagé pour septembre 1800 est reporté d'un an. La mission politique « d'alliance du talent et de la science pour l'immortalité des deux Républiques » (françaises et cisalpine) va se transformer en marche triomphale, pour se terminer à Paris fin septembre. L'arrivée à Paris ne semble pas avoir été tellement triomphante.

Avant de parler de la rencontre de Robertson avec Volta, il faut revenir quelques mois en arrière. Comme indiqué précédemment, l'invention de Volta est publiée dans le Courrier de Londres fin août 1800 et va avoir quelques échos en France, d'abord de la part de Robertson, mais pas seulement de lui, ce qui n'apparaît pas dans l'œuvre de Figuier.
Robertson reconnu comme le premier expérimentateur du galvanisme en France, reprend les « Nouvelles d'Angleterre » sur Volta dans plusieurs articles du Journal de Paris autour du 15 fructidor (début septembre 1801) et, dans une communication à l'Institut de France le 11 fructidor (29 août), il relate ses « Expériences nouvelles sur le fluide galvanique », communication publiée dans les Annales de chimie (TXXXVII — Année 1801). Ce même tome des Annales comporte également un article du citoyen Desormes, « Expériences et observations sur les phénomènes physiques et chimiques que présente l'appareil électrique de Volta ». Or, Charles-Bernard Desormes n'est pas un inconnu. Né à Dijon en 1777, il est entré à l'École Centrale de Travaux Publics (future École Polytechnique) dans la première promotion de 1794. Retiré en 1797, il reste comme préparateur de chimie à l'École et est l'auteur, avec Guyton, professeur de chimie, d'une étude sur l'analyse et la recomposition des alcalis et des « terres ». Desormes aura pour gendre Clément, également dijonnais, qui s'intéresse à la chimie, les deux hommes signeront plusieurs communications des deux noms Clément-Desormes, si bien que certains biographes feront de ces deux savants une seule personne !
Nous passerons rapidement sur la communication de Robertson, longuement rapportée par Figuier. A remarquer toutefois, l'intérêt porté aux effets physiologiques du « contact galvanique » sur différentes parties du corps. Il utilise une pile de 65 pièces de zinc et autant d'argent et rapporte les sensations éprouvées par contact avec le bout du nez, le menton, la langue, les « dents œillères » (canines supérieures). Il remarque que les femmes et les enfants sont plus sensibles, et va jusqu'à payer de sa personne en s'enlevant avec un rasoir la surface de l' épiderme du pouce de la main et celle du petit doigt de pied : « la douleur ou plutôt la brûlure éprouvée était si insupportable qu'il m'était impossible de prolonger le contact ».
La grande question est évidemment de savoir si ce fluide « galvanique » est apparenté au fluide électrique, et s'ils sont même identiques. Robertson reconnaît que « les meilleurs conducteurs de l'un et de l'autre sont l'homme, l'eau et les métaux ». Mais il voit certaines différences et n'ose se prononcer définitivement. Robertson constate aussi que, dans ses expériences, « l'électromètre n'a jamais indiqué l'existence de fluide électrique », car les électromètres à paillettes ou feuilles d'or utilisés à l'époque ne sont guère sensibles. Par contre, l'emploi de « galvanomètres » détectant le fluide « galvanique » par effet chimique de décomposition de l'eau et dégagement de gaz donne des résultats positifs. Robertson décrit ainsi deux de ces appareils à tube de verre droit ou courbé. C'est probablement la première fois qu'on utilise ce terme de « galvanomètre » qui montre bien qu'on s'occupe d'un phénomène galvanique dont on n'est pas sûr qu'il soit électrique. Plus tard, cet appareil sera connu sous le nom de « voltamètre ».

Parlons maintenant de l'article de Desormes, moins connu car Figuier n'en parle pas. Les préoccupations de l'auteur sont ici surtout d'ordre chimique et, à part quelques considérations, toujours relatives aux sensations physiologiques de la pile (couples constitués de plaques cuivre-zinc plongés dans des bocaux de verre emplis d'eau et reliés entre eux), il étudie les variations de poids des plaques, les dépôts Bonaparte et les savants provoqués par la corrosion. Il n'y aurait rien de très excitant si Desormes n'évoquait deux idées intéressantes :
— d'abord; il parle des expériences d'Hassenfratz, professeur de physique à l'École Polytechnique, qui a tenté d'effectuer la décomposition de l'eau par l'électricité obtenue avec une machine de Naime en plongeant dans un vase plein d'eau, deux fils de laiton reliés aux côtés positif et négatif (on ne parle pas encore de « pôle ») de la machine ; rien ne se passe mais, si l'on ajoute à l'eau de l'acide acétique (vinaigre) le fil attaché au côté positif de la pile se couvre « d'oxide » (on utilise alors peu le y), alors que l'autre n'est pas attaqué.
Parlant de l'électricité produite par le contact de deux métaux différents, démontrée, dit-il par « le célèbre professeur de Pavie », il cite un mémoire de Hot, présenté à l'Institut, qui donne un « classement des métaux suivant leur rapport d'oxidation » (échelle électrochimique). On aurait pu déterminer ce classement d'après « le nombre de pièces métalliques suffisantes pour produire le plus grand effet », mais Hot a utilisé un moyen plus simple et plus rapide, en se basant sur la sensation ressentie par le contact de la langue, « avec le zinc on a toujours une sensation au contact des autres métaux, alors qu'avec l'argent, ou tout autre métal, la sensation ne s'éprouve plus au contact, mais dans le moment de rupture de la chaîne ».
Décidément, la langue est le meilleur électromètre connu alors ! et Desormes donne le classement des métaux établi par Hot, qu'il a complété par ses propres expériences : zinc, plomb, fer, étain, anti¬ moine, mercure, bismuth, cuivre rouge, platine, or, argent, plombagine. Il parle ensuite des substances conductrices autres que les métaux : potasse, muriate d'ammoniaque, soude, sulfates et borates de soude, etc.
Ceci montre que Hot et Desormes étaient bien près des célèbres découvertes annoncées par Davy quelques années plus tard : décomposition des alcalis par l'électricité et découverte des métaux alcalins ; découverte par le même de la protection contre la corrosion par galvanisation. Les savants français ont raté là une belle occasion de se distinguer !
— autre idée originale : celle relative à la construction de piles sèches. Desormes « veut voir s'il ne serait pas possible de former un appareil (une pile) sans substance humide ». Il utilise du charbon et de la plombagine et trouve qu'une pile de 30 pièces de zinc et d'argent ne produit guère plus d'effet qu'un seul couple, mais constate aussi que la pression augmente beaucoup l'effet et, « lorsqu'on éprouve la saveur avec la langue, cette sensation augmente à mesure que l'on comprime la pile (...). En établissant soi-même la communication, lorsque l'appareil est de 100 pièces zinc et argent, l'espèce de commotion que l'on éprouve est insupportable ; malgré cela, l'électromètre le plus sensible n'est presque pas affecté et la seule manière de bien reconnaître l'électricité est, comme l'ont fait M. Volta et d'autres physiciens, de se servir du condensateur ».
Figuier indique dans une note que, en 1803, Hachette et Desormes avaient construit une pile sèche en interposant entre les couples métalliques des couches de colle d'amidon. En réalité, l'idée de Desormes date de 1801, et sa pile était réellement sèche. La découverte est pourtant attribuée au genevois Deluc, qui présenta son appareil à la Société Royale de Londres. Puis, Zamboni, professeur de physique à Vérone, prendra la suite en 1812. Desormes conclut : « Tels sont les faits jusqu'à présent observés, je ne conçois pas comment il est possible de les expliquer par la simple théorie de M. Volta, je me garderai bien d'en proposer une autre, tant qu'elle ne pourra être fondée sur des expériences plus nombreuses. Au reste, le zèle et l'activité des physiciens doivent nous faire espérer que bientôt nos connaissances sur cet objet seront exactes et certaines ».

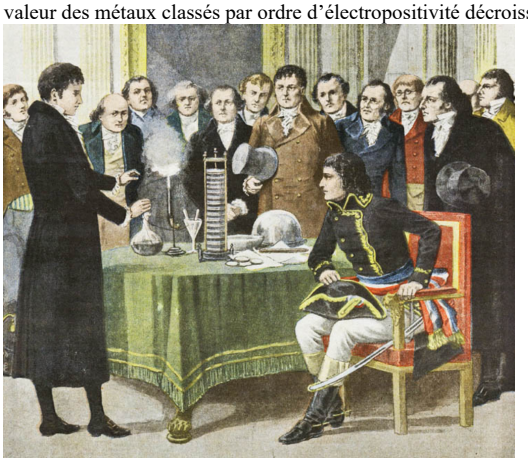
Telles sont donc les connaissances que les Français ont sur les travaux de Volta et sur la pile lorsque le savant italien arrive à Paris, en septembre 1801 (an X et non IX comme écrit chez Figuier, et même Robertson). Dans ses mémoires, Robertson raconte comment il fait la connaissance de Volta, presque fortuitement le 9 vendémiaire an X (2 octobre 1801). Exécutant dans son cabinet de physique des expériences publiques sur le galvanisme, il exprime des doutes sur l'identité des fluides électrique et galvanique, lorsque l'un des assistants, le docteur Brugnatelli, lui signale que M. de Volta aurait grand plaisir à dissiper ces doutes. Le lendemain, Volta se présente à son cabinet « portant dans sa poche de petits appareils galvaniques et une grenouille vivante ». Bien que les expériences ne réussissent pas, du fait probablement de la mauvaise qualité de ses condensateurs, Volta expose ses théories si brillamment que Robertson est convaincu, et des relations amicales s'établissent. Robertson se fait le guide de Volta dans le monde scientifique parisien. Il le conduit à l'École de médecine, à l'École Polytechnique (alors établie dans ses premiers locaux des communs de l'ancien Hôtel de Condé, aujourd'hui Palais Bourbon) et dans le cabinet de M. Charles (« physicien et habile expérimentateur », bénéficiant depuis Louis XVI d'une pension et du privilège d'installer son cabinet dans une partie du Louvre, membre de l'Institut). Volta est très étonné de constater que personne à Paris ne semble s'intéresser au galvanisme et à sa pile, ce qui, on l'a vu, n'est pas tout à fait vrai.
Finalement, l'Institut accueille le savant italien qui lit un mémoire détaillé sur ses diverses découvertes au cours de trois séances consécutives, les 16, 18 et 21 brumaire (8-10 et 12 novembre 1801). Il termine son exposé en réalisant diverses expériences. Le Premier Consul assiste en personne à la séance du 16 brumaire (fig. 3) et, à la fin de la séance, il propose de décerner à Volta une médaille en or destinée à « servir de monument à cette découverte importante, qui jettera probablement un jour nouveau sur la physique ». Il s'adresse à Fourcroy en notant que « ces phénomènes appartiennent plus à la chimie qu'à la physique » et qu'il devrait donc s'en emparer .
Une commission est nommée pour répéter en grand les expériences sur le galvanisme ; ses membres sont les grands savants de l'époque : Laplace, Coulomb, Halle, Monge, Fourcroy, Vauquelin, Pelletan, Charles, Brisson, Sabatier, Guyton et Biot ; elle comprend donc aussi bien des physiciens que des chimistes et des mathématiciens.
Après avoir répété les expériences de Volta, c'est Biot qui lit le rapport de la commission à la séance du 11 frimaire (2 décembre 1801). Le rapport reproduit en gros le mémoire de Volta, mais présente l'intérêt de définir pour la première fois la théorie de la « force électromotrice ». Biot se rend compte, sinon des lacunes, du moins des compléments à apporter au travail de Volta :
« *Il reste à déterminer l'action mutuelle des éléments métalliques de manière rigoureuse, à chercher si elle est constante pour les mêmes métaux, ou si elle varie avec les qualités d'électricité qu'ils contiennent et avec leur température (...). C'est alors qu'on pourra établir le calcul sur des données exactes, s'élever ainsi à la véritable loi que suivent dans l'appareil du citoyen Volta, la distribution et le mouvement de l'électricité, et compléter l'explication de tous les phéno¬ mènes que ces appareils présentent. Mais, ces recherches délicates exigent l'emploi des instruments les plus précis qu'aient inventés les physiciens pour mesurer la force du fluide. Enfin, il reste à examiner les effets chimiques de ce courant électrique, son action sur l'économie animale, et ses rapports avec l'électricité des minéraux et des poissons* ».
Réflexions fort intéressantes, qui ouvrent la porte à de vastes investigations, qui ne seront malheureusement guère suivies d'effets, tout au moins en France. Les Anglais seront plus rapides et plus fructueux avec Davy, et plus tard, Faraday.

Examinons quelques traits en rapport avec les conclusions de Biot, en particulier à propos des qualités de Volta, théoricien de la physique et des appareils disponibles à l'époque pour l'étude de l'électricité.
On a parfois reproché à Volta de posséder peu de connaissances mathématiques et d'être un piètre théoricien. C'était un excellent expérimentateur, qui comprit parfaitement la nécessité de mesurer les effets de son appareil. Il écrit dans le Journal de physique de 1801, (tome II) :
« *Après avoir vu quel degré d'électricité j'obtiens d'un seul de ces couples métalliques à l'aide d'un condensateur, je passe à montrer qu'avec 2, 3, 4 couples bien arrangés et communiquant par des couches humides, on a justement le double, le triple... de sorte que si, avec un seul couple, on arrivait à électriser le condensateur de façon à lui faire donner à l'électromètre, par exemple 3°, avec deux couples, on aurait 6° (...). Voilà donc cette pile construite, elle ne donne pourtant pas encore de signe à l' électromètre sans le secours du condensateur. Pour arriver à un degré entier de tension électrique qu'on pourra à peine distinguer, étant marqué par une demi-ligne (environ 1 mm) que s'écarteront les pointes des paillettes, il faut qu'une telle pile soit composée d'environ 60 couples cuivre-zinc, à raison d'un soixantième de degrés que donne chaque couple* ». (Avec nos unités actuelles, la tension d'un tel couple est d'environ 1 volt).
Volta a très bien compris aussi la nécessité de définir une unité fondamentale de tension (la « force du flux électrique »). Il propose d'utiliser un disque métallique suspendu au bras d'une balance à une distance d au-dessus d'une surface conductrice, équilibrée par un poids W. L'unité, équivalente à une déviation de 0,35° de l'électroscope à paillettes valait environ 13,3V dans notre système actuel4. Volta ne pouvait supposer que son nom demeurerait éternellement célèbre par la dénomination de Volt donnée en 1881 à l'unité de tension électrique, plutôt que comme inventeur de la pile.

A propos des premières connaissances sur les grandeurs électriques et les appareils de mesure, qui constituent un très vaste domaine, le Cours de physique et chimie expérimentales à l'usage des élèves des lycées , publié en l'an XII (1804 ou 1805) de Pierre Jacotot (dijonnais, premier bibliothécaire de l'École Centrale de Travaux Publics, puis professeur de physique et chimie à l'École Centrale de la Côte d'Or, puis au Lycée de Dijon, enfin recteur de l'Université de Dijon, en 1808), fournit des éléments intéressants, un chapitre entier étant consacré à la description des « électromètres », instruments servant à « reconnaître la présence et

l'énergie de l'électricité », réalisés sous des formes diverses, ainsi les « électrophores » inventés par Wlik, professeur de physique à Stockholm et le condensateur de Volta, « servant à manifester la présence d'une électricité trop faible pour être observée par les moyens ordinaires ».
Notons que ce cours de physique est la réédition d'un Cours à l'usage des élèves des Ecoles Centrales publié en l'an IX (1801), complété par quelques chapitres justement relatifs à « L'électricité des métaux que l'on met en contact » avec cette introduction : « C'est au citoyen Volta, professeur de physique à Pavie, que nous devons la connaissance et la théorie de ce nouveau phénomène ». Il n'est plus question ici de fluide galvanique, mais toujours d'électricité.
Revenons au rapport de Biot en décembre 1801. Dans une note annexe, Biot essaie de soumettre la pile au calcul, d'après la théorie du contact, mais les résultats calculés ne s'accordaient que de très loin avec les résultats d'observation. La commission propose — conformément au vœu exprimé par Bonaparte — d'offrir la médaille de l'Institut comme témoignage de satisfaction de la classe, « pour les belles découvertes dont il vient d'enrichir la théorie de l'électricité, et comme une preuve de sa reconnaissance pour les lui avoir communiquées ». La médaille porte l'inscription : « A Volta, séance du 11 frimaire an X » (et non IX comme l'écrit Figuier). En même temps, Volta reçoit une somme de 6 000 livres pour frais de route. Pas un mot, bien sûr, sur le fait que Volta avait déjà reçu de la Société Royale de Londres en 1794, sa plus haute distinction, la médaille d'or Copley, et que c'est à la Société anglaise qu'il avait réservé en 1800 la primeur sa découverte.

Les relations de Volta avec Bonaparte et la France ne s'arrêtent pas là.
En 1801, Napoléon Bonaparte assiste à la présentation de Volta devant l'Institut de France : le physicien montre sa pile, énonce la loi des tensions, ainsi que la valeur des métaux classés par ordre d'électropositivité décroissante, du zinc à l'argent.



C'est ainsi que fut construite, sur l'ordre de Napoléon et aux frais de l'Etat, la magnifique pile voltaïque de l'École polytechnique. Cette pile était composée de 600 cellules de cuivre et de zinc de 9 décimètres carrés pour chaque plaque ; toute la batterie avait 54 mètres carrés de surface.
Par la suite de nombreux inventeurs vont améliorer ce procédé en trouvant d'autres combinaisons susceptibles de fournir plus d'électricité avec moins d'inconvénients d'utilisation.
Volta quitte Paris en décembre 1801. Bonaparte le fait nommer député de l'Université de Pavie et il est « prié » à ce titre de passer par Lyon pour prendre part à la réunion de la Consulta chargée d'organiser la république cisalpine. La session se tient au début de pluviôse an X (fin janvier 1802) et les députés italiens ont la bonne idée — tout à fait spontanée ! — de désigner le Premier Consul comme président de cette république « sœur ».
Un peu plus tard, Volta est nommé dans la première liste d'associés étrangers de l'Institut National. Il sera chargé d'honneurs, sénateur en 1809 du royaume d'Italie (dont le roi est Napoléon), anobli comme comte d'Empire par lettres patentes du 11 octobre 1810, avec des armes comportant « un quartier de gueule à une pile voltaïque et un condensateur d'argent ». Napoléon a donc tenu la promesse de Bonaparte de porter quelques savants éminents au sein de la noblesse d'Empire.

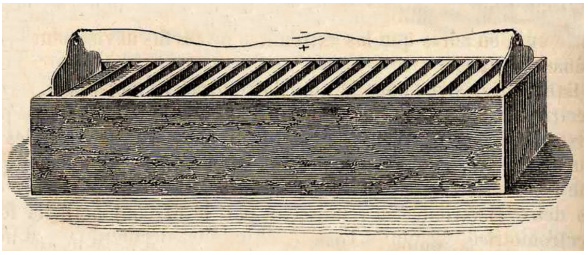
Bonaparte éprouve le désir d'encourager les travaux relatifs au galvanisme et fonde un prix « à décerner par l'Institut en faveur du physicien qui réaliserait la découverte la plus importante en ce domaine ». Le 26 prairial an X (juin 1802), il écrit de Paris (et non d'Italie, d'après Figuier) au ministre de l'Intérieur Chaptal, une lettre en ce sens. La classe de l'Institut nomme une commission (Laplace, Halle, Coulomb et Biot) pour tracer le programme du concours. Le 11 messidor (1er juillet 1802), Biot fait son rapport, il est institué un prix annuel consistant en une médaille de 3 000 F et un grand prix d'encouragement de 60 000 F pour « celui dont les découvertes formeront dans l'histoire de l'électricité et du galvanisme, une époque mémorable ». Bonaparte écrivait dans sa lettre : « celui qui fera faire un pas comparable à celui qu'ont fait faire à ces sciences Franklin et Volta ». Il s'agissait donc bien d'une récompense insigne, si mémorable qu'elle ne sera jamais décernée, la chute de l'Empire ayant évidemment mis fin prématurément à ce concours !
Il est précisé que « tous les savants d'Europe, les membres même et les associés de l'Institut sont admis à concourir ». On se demande pourquoi le concours est limité à l'Europe, alors que la lettre de Bonaparte évoquait l'américain Franklin et visait « les savants de toutes les nations ». Le rapport est adopté à l'hunanimité par l'Institut le 17 messidor, et le programme imprimé rendu public ...

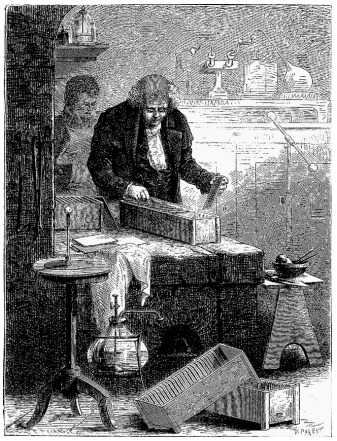
Du point de vue scientifique, disons qu'après sa découverte géniale, un peu due au hasard et basée sur des hypothèses discutables, Volta ne produira plus rien d'important et, ce sont essentiellement les physiciens et chimistes anglais qui vont exploiter au mieux la pile comme source d'électricité pour leurs expériences.

1802 Nicolas Gautherot constate lors d'expériences d'électrolyse de l'eau que les électrodes en platine utilisées restent polarisées après l'expérience (par adsorption d'oxygène et d'hydrogène) et observe en court-circuitant ces deux électrodes un courant « secondaire ». Le terme de batterie secondaire qui tient son origine de ces courants secondaires, est associé aux batteries rechargeables.

1802 le Docteur William Cruickshank conçut la première batterie électrique capable d'être produite en série.
Sir Humphry Davy installa la plus grosse et la plus puissante batterie électrique dans les chambres fortes de la 'Royal Institution' de Londres. Il raccorda la batterie à des électrodes en charbon et produisit la première lumière électrique. Comme il le fut rapporté par des témoins, sa lampe voltaïque à arc produisit « l'arc ascendant de lumière d'une brillance encore jamais vue »
Cruickshank arrangea des feuilles carrées de cuivre soudées à leurs extrémités et intercalées avec des feuilles de zinc de même taille. Ces feuilles étaient placées dans une longue boîte en bois rectangulaire qui était ensuite refermée étanchement à l'aide de ciment . Des encoches à l'intérieur de la boîte permettaient de maintenir les plaques métalliques bien en place. La boîte était remplie d'une solution aqueuse salée (saumure) ou d'acide dilué.
Jusqu'à une certaine époque toutes les batteries comportaient des éléments/accumulateurs primaires, ce qui voulait dire qu'elles n'étaient pas rechargeables.

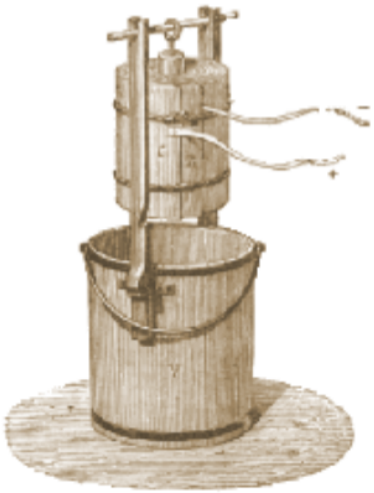
1802 La pile à auge était une variante de la pile Volta, inventée par William Cruickshank
La pile Volta était formée d'un empilement de disques de zinc et de cuivre séparés par des disques de feutre imbibés de saumure. La pression de la colonne sur les disques du bas provoque un assèchement des cylindres de feutre qui finissent par ne plus contenir d'électrolyte.
Cruickshank a résolu ce problème en plaçant la pile horizontalement dans une boîte rectangulaire. La pile (au sens empilement) n'en est plus une, même si le nom est resté.





L'intérieur de la boîte était isolé à l'aide de gomme-laque, et des paires de plaques de zinc et de cuivre (ou d'argent) de grande surface étaient placées dans la boîte de manière régulière. L'espace entre les plaques (les auges) était rempli d'acide sulfurique dilué ou de chlorure d'ammonium. Tant que la caisse ne bougeait pas, il n'y avait aucune déperdition d'électrolyte. La pile contenait typiquement une soixantaine de cellules.
Du fait de la taille des plaques, agrandie par rapport au modèle de Volta, la résistance interne devient beaucoup plus faible.
Les piles à auge ont pu être associées en batterie.
Autour de 1810, plusieurs centaines d'auges seront reliées, à la Royal Institution de Londres ou à l'École Polytechnique de Paris. Elles seront fréquemment utilisées pour les expérimentations d'électrochimie au début du XIXe siècle, incluant celles de Humphry Davy, qui isole le sodium et le potassium grâce aux tensions atteintes par ces piles.
A la demande explicite de l'Empereur Napoléon Bonaparte, une pile du même type fut réalisée à l'Ecole Polytechnique. Elle fut utilisée par de nombreux savants et par Ampère lui-même pour des expérimentations scientifiques.

1819 La Pile en hélice
Dans la pile en hélice imaginée par le chimiste américain Robert HARE, les lames de cuivre et de zinc, séparée par des lanières de drap, sont enroulées et placées dans un récipient plein d'eau acidulée.



1815 La Pile de Wollaston
Afin de retarder la polarisation de la pile voltaïque, la chimiste anglais William HydeWOLLASTON proposa une solution dans laquelle l'électrode de cuivre entoure l'électrode de zinc.
De cette façon, la surface de l'électrode est doublée et le fonctionnement de la pile est prolongé. Plusieurs éléments sont montés en série pour obtenir la tension désirée.

La pile de MÜNCH est une variante de la pile de Wollaston dans laquelle les lames de cuivre sont pliées en U dans le sens vertical et viennent s'intercaler entre

les lames de zinc.

1829 Cependant, le dépôt de minuscules bulles d'hydrogène sur le cuivre freinait le passage du courant. Les chercheurs de l'époque découvrirent que cet inconvénient était dû à des phénomènes chimiques complexes auxquelles on donna le nom de polarisation.
Un grand savant français, Antoine César **Becquerel**, se préoccupa de cette question de polarisation et inventa en **1829** une pile qui évitait le phénomène
C'est la pile à deux liquides séparés. Becquerel eut l'idée d'enfermer la plaque de zinc baignant dans l'eau acidulée à l'intérieur d'un petit sac de baudruche, c'est-à-dire d'une pellicule très fine fabriquée avec le gros intestin du beuf, dont on faisait aussi des ballons. Le tout est plongé dans un vase rectangulaire en cuivre rempli d'une solution saturée de sulfate de cuivre. La baudruche empêche le mélange défavorable des deux liquides, mais ne gène pas les phénomènes électriques. Cet instrument est reconnu comme la première pile à courant constant.
Le physicien Becquerel avait écrit :
« *La pile porte avec elle la cause des diminutions qu'éprouve le courant électrique ; car, dès l'instant qu'elle fonctionne, il s'opère des décompositions et des transports de substances, qui polarisent les plaques, de manière à produire un courant en sens inverse du premier. L'art consiste à dissoudre ces dépôts à mesure qu'ils se forment, avec des liquides convenablement placés.* »

1832 Qui fut le premier à faire fonctionner un télégraphe au moyen d'une pile ?
Cet honneur revient tout entier au **baron Schilling**, officier de l'armée russe, qui construisit à Saint-Pétersbourg le premier télégraphe à aiguilles électro-magnétique qui utilisait six fils pour la signalisation, lors d'une démonstration à Saint-Pétersbourg. Un projet avait été lancé par le gouvernement pour l'installer en Russie, mais l'idée a été abandonnée après la mort de Schilling. C'est **Samuel Morse**, en 1837, aux États-Unis, qui constitue le point de départ du télégraphe électrique.

D'autres types de piles ont été inventés qui peuvent se classer en deux familles principales :
- Les piles impolarisables dans lesquelles le passage du courant ne modifie pas la nature des contacts électrochimiques,
- Les piles à dépolarisant dans lesquelles l'hydrogène qui se forme au pôle positif doit être réduit par l'oxygène sous peine de voir la pile cesser de fonctionner (polarisation).
Les piles actuelles font presque toutes partie de cette deuxième famille.

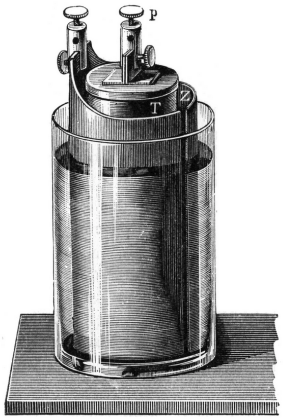
1836 La Pile Daniell
Le physicien anglais **John Frédéric Daniell**, membre de la Société Royale, eut l'idée de remplacer la baudruche par un vase en terre de pipe poreuse, poreuse parce qu'elle n'a été cuite qu'en partie. La pile de Daniell au chlorure de platine, très proche de celle de Becquerel, eut un grand succès. Elle fut longtemps utilisée par ceux qui recherchaient un courant stable.

1840 La pile d'Oxford, ou de Clarencon

Ce carillon conservé à l'université d'Oxford (Angleterre) est alimenté par la même pile expérimentale installée au Laboratoire Clarendon depuis 1840. Il est aujourd'hui exposé dans une vitrine, dans un couloir du foyer du laboratoire Clarendon, au département de physique de l'université d'Oxford (Angleterre). On ne l'entend plus, mais derrière les parois de verre, le battant continue son mouvement d'une cloche à l'autre. Depuis au moins 1840, date de sa mise en service officielle, ce carillon n'a pas cessé de sonner, émettant plus de 10 milliards de "dings" et "dongs".
Le secret de cette longévité, c'est une pile, la même depuis 176 ans. Baptisée "pile sèche de Clarendon", elle a été placée sur le carillon par Robert Walker, enseignant à l'université, pour une expérience. C'est lui qui a placé une étiquette sur le carillon indiquant qu'elle avait été mise en service en 1840. Mais d'autres documents retrouvés à l'université laissent penser que la pile a été fabriquée 15 ans plus tôt.
Aujourd'hui encore, cette pile intrigue les scientifiques, qui ne connaissent pas exactement le secret de sa confection : ils n'osent pas la démonter, de peur d'interrompre ce fonctionnement d'une durée record.
La pile de Clarendon ne fait pas exception : elle aussi fonctionne avec une réaction chimique. Alors, pourquoi ne s'use-t-elle pas ? Le Dr A.J. Croft, du laboratoire Clarendon, a consacré un article au carillon en 1984 dans l'"European Journal of Physics", avec un descriptif précis. "La période est variable, dépendant du temps. Les oscillations sont plus lentes lorsque le temps est humide, et l'humidité amène le mouvement à cesser de temps en temps. Il recommence sans assistance extérieure". La pile, elle, est enrobée de soufre.

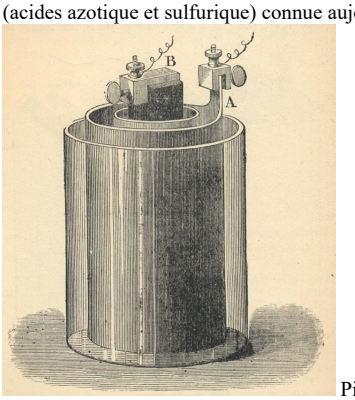
La pile de Zamboni est une variante de la "pile de Volta" : les empilements de couches où se produisent les réactions chimiques qui fournissent l'électricité sont branchés "en série", ce qui fournit un voltage suffisant pour les applications désirées, un peu comme s'il y avait des milliers de mini-piles dont les puissances s'ajoutent.
Pour le Dr Croft, la pile d'Oxfordest "similaire à celles qui étaient fabriquées par **Zamboni**, qui étaient constituées d'environ 2.000 paires de disques de feuille d'étain collés à un papier imprégné de sulfate de zinc et recouvert de l'autre côté de dioxyde de manganèse. Les piles ne sont pas sèches, mais contiennent la quantité d'eau nécessaire pour fournir l'électrolyte sans causer un court-circuit".

1838 La pile Grove est une pile électrique du nom de son inventeur, le chimiste William Grove.
Elle consistait en une anode de zinc dans de l'acide sulfurique diluée, et une cathode de platine dans de l'acide nitrique concentré. Les deux liquides étaient séparés par un pot en céramique poreuse.



L'invention de la pile Grove a fait l'objet d'un mémoire intitulé : « Pile voltaïque d'une grande énergie électro-chimique; par M. W. Grove », présenté pour la première fois à l'Académie des Sciences de Paris par Henri Becquerel, le 1er janvier 1839.
La pile Grove était la source d'énergie privilégiée du télégraphe système américain au début de la période 1840-1860 parce qu'elle offrait une sortie de courant électrique élevée et une tension supérieure à la pile Daniell (respectivement 1,9 et 1,1 volt).
Mais la pile Grove entraînait le dégagement de fumées toxiques de dioxyde d'azote par réaction redox qui sont dangereuses pour la santé.
Le 8 août 1839, le physicien russe d'origine prussienne Moritz von Jacobi a utilisé à Saint-Pétersbourg sur la Néva, une batterie composée de 64 piles Grove, en faisant naviguer contre le courant un bateau propulsé par 40 moteurs électriques de 700 W de son invention avec 14 passagers à bord pendant 7 heures à une vitesse d'environ 4,2 km/h. Sa batterie était particulièrement puissante mais onéreuse car elle a nécessité 3 m2 de surface de platine.

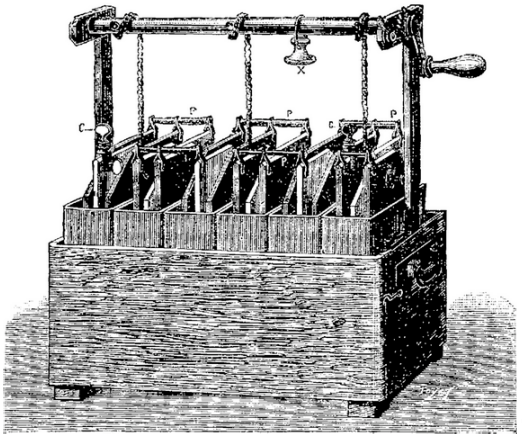
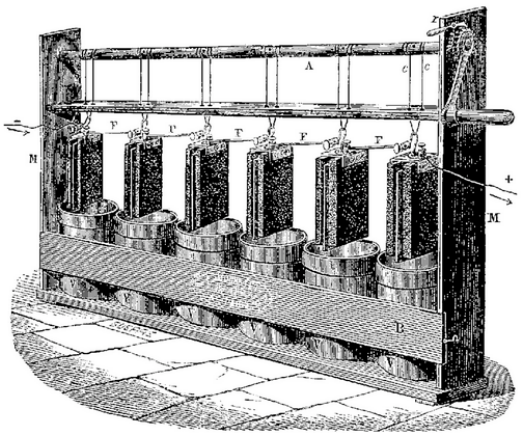
1841 La pile Bunsen
On a vu, dans la Notice sur la Pile de Volta, des Merveilles de la science, comment le physicien Grove, pour produire la dépolarisation du zinc, le phénomène funeste qui arrête la continuation du courant, fit usage d'acide azotique, qui détruit l'agent polarisateur, c'est-à-dire le gaz hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, Nous avons dit aussi comment Bunsen, profitant d'une première tentative du physicien français Archereau, créa la pile à deux liquides (acides azotique et sulfurique) connue aujourd'hui sous le nom de **pile de Bunsen**.



Pile Bunsen

En 1843, le chimiste allemand Robert Wilhelm BUNSEN perfectionne la pile de GROVE en remplaçant l'électrode en platine par une électrode en charbon artificiel, beaucoup plus économique. Cette pile convient parfaitement à l'éclairage électrique à condition d'associer plusieurs éléments : une trentaine au minimum pour un arc électrique. Elle consistait en une anode de zinc dans de l'acide sulfurique dilué, et une cathode de carbone dans de l'acide nitrique concentré. Les deux liquides étaient séparés par un pot en céramique poreuse. C'est une modification de la pile Grove, Bunsen ayant remplacé la cathode de platine par une électrode de carbone.
L'abbé MOIGNO écrit dans la revue "Les Mondes" du 24 juillet 1879 « Après trois mois d'expériences et d'observations constantes, nous avons pu constater que la dépense de la pile, pour une lampe à incandescence, est d'environ un litre d'acide nitrique et d'eux litres d'eau acidulée par jour, et celle de la lampe de 15 à 20 centimètres de charbon par heure. » Ce type de pile, qui porte le nom de son inventeur, sera perfectionné par la suite par Georges LECLANCHE.

Les Piles au bichromate de potasse
Diverses améliorations (pile TROUVE, pile CARDIN, pile VOISIN et DROBIER…) suivront pour isoler cette électrode.

Piles à treuil

Trouvé


Ducretet

M. Gustave Trouvé a découvert le moyen de lui fournir une constance grandement suffisante pour les usages domestiques et médicaux, tout en lui conservant sa simplicité et son intensité primitives. Voici la modification qu'il a imaginée et qui est très ingénieuse.
On sait que le bichromate de potasse se dissout dans l'eau froide, dans la proportion d'environ 100 grammes pour 1 litre, c'est- à -dire au dixième en poids. Si on dissout ce sel à chaud, l'eau en prend une plus forte proportion ; mais il se produit un grave inconvénient.
Une fois le liquide refroidi, le sel se dépose et forme des cristallisations tellement adhérentes aux parois des vases, qu'il les déforme toujours et les brise souvent. De plus, quand la pile au bichromate de potasse a fonctionné pendant un certain temps, il se forme de l'alun de chrome qui, à son tour, cristallise avec

les mêmes inconvénients et encrasse les charbons, qui sont à la fin recouverts d'une gaîne tout à fait nuisible au fonctionnement. M. Gustave Trouvé a imaginé de modifier ainsi la préparation du liquide chargé de donner de la constance à la pile.
Il jette dans de l'eau du bichromate de potasse réduit en poudre (125 à 150 grammes pour 1 litre), il ajoute ensuite, en versant lentement et en mince filet, et en agitant constamment le liquide, jusqu'à 450 grammes d'acide sulfurique par litre, soit un quart en volume. Le mélange liquide s'échauffe peu à peu, et le bichromate de potasse, une fois dissous, demeure limpide et ne dépose pas par la cristallisation en se refroidissant. Pendant la fonction et même après épuisement complet, cette solution de bichromate de potasse acidulé ne laisse pas se former des cristaux d'alun de chrome.
On n'en trouve aucune trace, même après plusieurs mois, si on a eu le soin d'éviter l'évaporation.
Le résultat est très important et ouvre des horizons nouveaux à l'étude des mélanges et des combinaisons des liquides.
On dirait, dans le cas présent, que ce liquide a été fait tout d'une pièce, et qu'on se trouve en présence d'une solution nettement définie.
Il y a là, sans aucun doute, un maximum de saturation atteint une fois pour toutes, une sorte de point précis où, la sursaturation étant produite, il ne peut y avoir aucune oscillation ni en deçà ni au delà. Le résultat est d'autant plus remarquable et précieux, qu'il devient inutile de constituer un réservoir d'acide ou de sel de chrome, comme dans la pile de Daniell, qui emmagasine le sel de cuivre, car le bichromate de potasse ajouté après le mélange ne se dissout plus dans le liquide déjà acidulé. Les proportions indiquées plus haut sont définies et constituent un liquide normal incapable de recevoir d'autres mélanges étrangers. La constance de cette pile est donc absolument assurée par ce fait seul, qui frappera suffisamment l'esprit, que le liquide se trouve sursaturé. En effet, tant que le bichromate qui est en excès, et pour ainsi dire mis en réserve, n'est pas épuisé, la constance dure et ne cesse qu'au moment où tout rentre dans les conditions ordinaires des piles au bichromate de potasse à solution non sursaturée.
La préparation spéciale, imaginée par M. Gustave Trouvé, ne pouvait que renforcer la puissance de cette pile, puissance due aux indications de Poggendorff, qui, en réalisant le premier le liquide au bichromate, a découvert la combinaison qui donne la force électro-motrice la plus considérable.

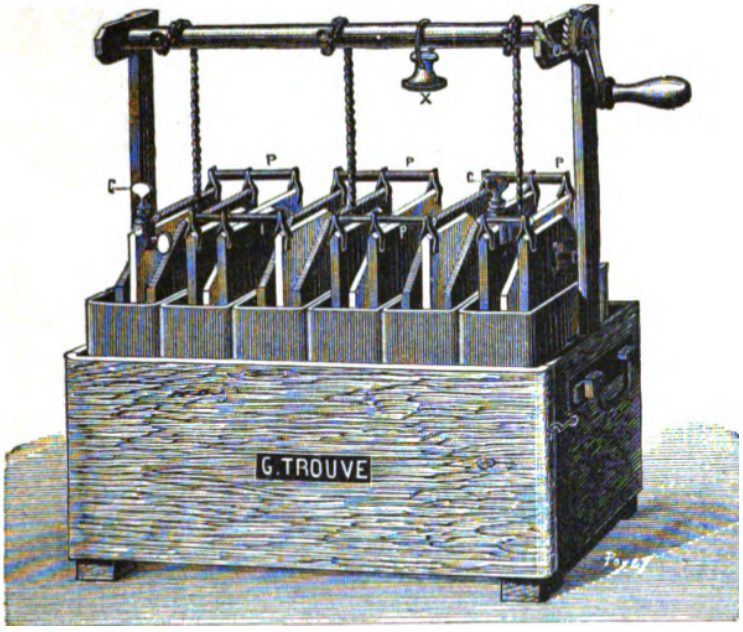


Fig. 26. — Pile de M. Gustave Trouvé, constante et à grand débit, avec auge et treuil perfectionné, et munie de pinces élastiques et mobiles, pour établir la relation des éléments entre eux.

Quant à la simplicité, elle s'explique d'elle-même; elle découle de la constitution de la pile qui, étant à un liquide unique, ne peut pas être moins com pliquée.
Cependant le probleme n'était pas encore entièrement résolu. Il restait une dernière difficulté, celle de la mise en service ou de la manipulation de la pile. Si on laisse les zincs et les charbons séjourner dans le liquide excitateur, la pile s'épuise, même à circuit ouvert et sans fonctionner. Si on ne sort que le zinc seulement, comme dans la pile-bouteille, par exemple, le charbon, demeurant toujours dans le liquide, ne tarde pas å se saturer, à s'encrasser, c'est- à-dire à être couvert de cristaux d'alun de chrome.
M. Gustave Trouvé a eu soin de parer à ces deux inconvénients graves en montant sur sa pile un treuil particulier qui, au moyen d'une manivelle, relève les charbons et les zincs et empêche ainsi tout contact inutile entre le liquide et les éléments. Le mécanisme de ce treuil a encore été perfectionné par un petit arrêt en bois que l'on peut voir en X dans la figure 26 et qui est destiné à empêcher les éléments de remonter trop haut et de sortir des vases.
M. Georges Dary, dans une excellente brochure sur la Navigation électrique, a donné une description fort détaillée et très claire de cette pile nouvelle, á auge et å treuil, qui s'est répandue rapidement dans les cabinets de physique.
Nous lui empruntons les détails explicatifs suivants sur toutes les parties qui la cons tituent.
Elle se compose :
1 ° D'une auge en bois de chêne, munie d'autant de cuves en ébonite (caoutchouc durci) qu'il y a d'éléments, et surmontée d'un treuil, avec rochet, encliquetage et point d'arrêt automatique.
2° D'un nombre d'éléments variant de 6 à 12, mais plus généralement de 6, pour en faciliter le maniement.
3° Du liquide excitateur : acide sulfurique et bichromate de potasse, dans les proportions que nous avons indiquées plus haut.
L'auge a été construite d'une façon ingénieuse, afin de pouvoir, au moyen du treuil, plonger à volonté les éléments dans le liquide ou les en faire sortir complètement.
De cette manière, il est facile de varier la production d'électricité suivant le plus ou moins d'immersion, et de la faire cesser en élevant les éléments au - dessus du liquide, sans que ceux- ci sortent complètement des cuves. L'arrêt de bois, auquel nous avons fait allusion, remplit cet office. En le supprimant, ou bien en le poussant de côté, à droite ou à gauche, la hauteur du treuil permet alors de rendre les éléments indépendants, et on peut vider ou remplir avec aisance les cuves.
La face antérieure de l'auge est munie d'une charnière qui lui permet de s'abattre et de faire sortir les vases sans déranger les éléments.
Il est alors facile de les nettoyer et de les remplir à moitié avec du liquide neuf. Il est utile aussi de faire tremper de temps en temps les charbons dans de l'eau ordinaire un peu chaude, afin d'en revivifier les surfaces.
Les éléments sont formés d'une lame de zinc et de deux charbons cuivrés galvaniquement dans leur partie supérieure, comme on peut le voir dans la figure 27. Ce cuivrage a pour but de consolider les charbons, matière toujours un peu friable, et de diminuer considérablement la résistance du cicuit extérieur de la pile, en augmentant ainsi la conductibilité du charbon.

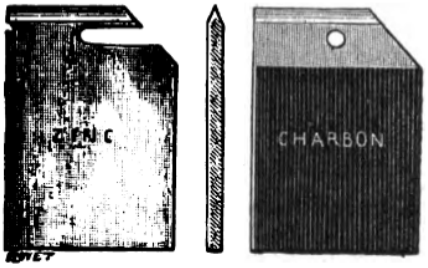


FIG. 27. Éléments de la pile de M. Gustave Trouvé dont les charbons sont cuivrés à la partie supérieure.

Le zinc des éléments (fig. 27) est amalgamé dans toute la masse , et il présente supérieure une encoche, qui sert à le fixer à l'axe métallique isolé et recouvert d'une chemise en caoutchouc, sur lequel repose tout le système. Cette encoche permet de déplacer très rapidement les zincs, soit pour les amalgamer, soit pour tout autre motif. Enfin les contacts sont établis par des pinces mobiles d'un modèle fort ingénieux, spécial encore à M. Gustave Trouvé, et déjà employées, bien longtemps avant, pour sa pile galvano-caustique, dont nous allons parler plus loin.
Il faut veiller à ce que les zincs soient toujours amalgamés avec soin.
Cette opération peut se faire facilement, car ils sont placés à cheval sur l'axe qui les supporte, au moyen d'une fente transversale pratiquée dans leur partie supérieure. Il n'y a donc qu'à desserrer les écrous qui maintiennent tout le système et qui sont placés aux deux extrémités. L'amalgame des zincs s'effectue très facilement dans une assiette contenant de l'eau acidulée au 1/20° environ et un peu de mercure que l'on étale sur les zincs en les frictionnant énergiquement avec une brosse. Si l'on veut se dispenser de cette opération un peu laborieuse, on se contente d'immerger les zincs dans une solution de mercure, dans de l'eau régale, suivant la formule que voici : Acide chlorhydrique : 750 grammes et Acide azotique : 250grammes.
Dans le mélange, on fait dissoudre à chaud 200 grammes de mercure, puis on ajoute 1000 grammes d'acide chlorhydrique. L'immersion du zinc ne doit pas durer plus d'une seconde. Telle est l'énergie du liquide, que ce temps suffit pour amalgamer et décaper l'élément, quelque sale qu'il puisse être.
La batterie de la pile à treuil est composée couramment de six éléments.
Elle donne un courant de grande intensité et sert à exciter les moteurs de M. Gustave Trouvé ; mais elle peut, avec · les mêmes avantages, être utilisée à animer les grandes bobines d'induction, les lampes à incandescence, etc. Elle est indispensable dans les cabinets de physique où elle s'est, du reste, prompte ment répandue.
M. d'Arsonval, qui a fait faire de grands progrès aux applications de l'électricité, à la physiologie expérimentale, et qui est un des meilleurs élèves de Claude Bernard, a trouvé, après de nombreuses expériences avec cette pile, que la force électro-motrice était en moyenne de 2 volts par élément, et la résistance de 0 ohm 0016. L'intensité est considérable en court circuit; elle peut atteindre centaine d'ampères.
En débit normal, les constantes sont, pour la force électro-motrice de chaque couple, de 1 volt, 9 et 0 ohm 08 pour la résistance.
Dans ces conditions, on obtient d'une batterie de six éléments un courant constant de 20 à 25 ampères et de 11 à 12 volts pendant plusieurs heures. C'est un beau résultat, comme on le voit, et dont on peut modérer à volonté les effets par l'immersion plus ou moins prononcée des éléments dans leur solution.

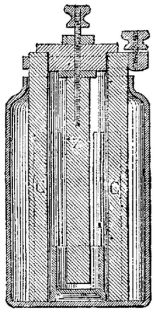
Fig.28. – Pile ou batterie portative à grande surface de M. Gustave Trouvé.

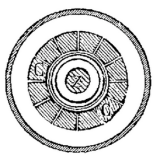
Pour l'usage spécial de la galvanocaustique thermique, M. Gustave Trouvé a rassemblé, sous la forme portative et sous un très petit volume (fig. 28), dix éléments de sa pile au bichromate, occupant environ 2 décimètres cubes. Cette pile, si connue et si appréciée du monde médical, est celle qui, jusqu'à ce jour, fournit, sous le volume le plus réduit, la plus grande somme d'énergie et le minimum de résistance intérieure. Son poids est d'environ 5 kilogrammes, et, malgré son exiguïté, elle a donné, en court circuit, à M. d'Arsonval, au Collège de France, 118 ampères, 4 volts, avec une résistance de O ohm, 0010. La partie immergée représente un cube de 0 m,12 de côté. Elle (est composée de 10 charbons et 10 zincs.
La cage de cette pile à grande surface est formée simplement par trois plaques d'ébonite. L'une sert de base et les deux autres constituent les montants. Le tout est maintenu, à la partie supérieure, par la poignée même. L'écartement des éléments, zinc et charbon, est obtenu facilement au moyen de jarretières de caoutchouc élastique que l'on place spécialement en haut et en bas des charbons. Ces jarretières ou bracelets, que l'on obtient en sectionnant un tube de caoutchouc souple, servent encore de coussins en cas de chocs violents, et évitent la rupture des charbons. Dans cette pile, comme dans celle à auge et à treuil, les mêmes contacts mobiles à pinces sont employés, et ils offrent, comme nous l'avons vu, le grand avantage de se placer et déplacer instantanément pour être nettoyés et faciliter l'amalgame des zincs.
De plus, ils servent å relier, suivant les cas, les éléments en quantité ou en tension.
Une batterie de six éléments, soumise à des essais au Collège de France, sur un moteur de M. Gustave Trouvé, ayant un poids de 3 kilogrammes 300 grammes, a développé au frein un effort mécanique de 3 kilogrammètres 75 par seconde, ce qui est très remarquable pour un appareil d'un volume aussi minime.
En passant, n'hésitons pas à rappeler que le kilogrammètre est l'unité de force équivalente à l'effort nécessaire pour elever, en une seconde de temps, un poids de 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur. D'après une autre série d'expériences, entreprises par le même savant dans le même établissement, avec des moteurs d'une

force d'un demi-cheval et d'un poids de 8 kilogrammes, et d'une force d'un cheval et d'un poids de 16 kilogrammes, le rendement obtenu a été de 60 à 65 pour 100, pour un nombre d'éléments variant de 24 à 48, et à une vitesse moyenne de 2400 tours par minute, ainsi qu'il résulte de l'examen du tableau qui se trouve en tête de la page suivante.
Il va de soi qu'en augmentant les dimensions du moteur Trouvé, et en même temps la puissance de la pile électrique, on obtient un rendement mécanique supérieur. Ce rendement est d'autant plus élevé que le moteur est plus puissant. Il peut alors atteindre 90 et 92 pour 100

M. Fuller, physicien anglais, a construit un élément au bichromate de potasse qu'utilise avantageusement l'administration des télégraphes du Post-Office de Londres. Cet élément est disposé de la manière suivante. Un zinc, de forme pyramidale, et dont la base baigne dans du mercure recouvert d'eau acidulée, occupe le fond du vase poreux. Autour de ce dernier et dans le vase extérieur, se trouve l'électrode de charbon, qui plonge dans un mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique étendu d'eau.
Cet élément, dont la force électro-motrice est de 2 volts et la résistance égale à 1 ohm, est très intense, assez constant et très économique. Les lignes télégraphiques anglaises ont employé plus de 20 000 éléments ; ce qui est une preuve suffisante de ses qualités, au point de vue de la télégraphie.
La **Pile Camacho.** M. Camacho obtient la dépolarisation de la pile au bichromate de potasse en disposant les éléments en cascade, ce qui établit la circulation du liquide, et en augmente la surface du charbon. La figure ci-dessus donne le dessin exact de la pile Camacho.
Les vases contenant la solution de bichromate de potasse sont placés sur des gradins, et comme en escalier. D'un réservoir supérieur A, le liquide excitateur tombe dans le vase poreux de l'élément le plus élevé ; il en sort par la partie inférieure de ce vase, et au moyen d'un siphon en caoutchouc, B, il passe dans le vase poreux suivant, et ainsi de suite. L'électrode négative (charbon) est composée d'une tige de charbon de cornue et d'une masse convenable de fragments de charbon, qui remplit tout le vase poreux. La surface énorme que représente l'électrode rend très lente la polarisation de cette pile. Au bout de quelque temps de service il faut laver les vases poreux et l'électrode, en faisant passer, au lieu du liquide acide, de l'eau pure, qui le débarrasse du dépôt de chrome qui s'y est formé, par la réaction chimique.
ET :
Dans la batterie de M. **Stohrer**, la surface du charbon est totalement utilisée et les plaques de zinc plus étroites que celles du charbon, ce qui est encore un avantage.
M. **Chuteaux** remplace, dans son élément, la solution ordinaire de bichromate par un mélange formé d'eau, de bisulfate de mercure, de bichromate de potasse et d'acide sulfurique. En outre, il dispose ses éléments d'une façon très ingénieuse, qui en facilite la vidange. Cette pile, qui est peu constante, fut utilisée pendant le siège de Paris, pour l'éclairage électrique.
M. **Delaurier** emploie un mélange plus économique que les précédents, et qui consiste en 5 parties de bichromate de potasse, 5 de sulfate de soude, 4 de sulfate de fer, 25 d'acide sulfurique à 66° B. et 30 d'eau.
M. **Cloris Baudet** a construit une pile impolarisable à courant constant qui est douée d'une grande force électro-motrice. Cette pile, qui ne dégage aucune odeur et n'occasionne qu'une très faible dépense, peut s'appliquer indifféremment à la télégraphie, aux moteurs électriques et aux horloges électriques, à la galvanoplastie, à la lumière électrique, à la médecine, etc., etc. ; Elle est à un ou deux liquides, suivant l'usage auquel on la destine.
La pile à un seul liquide se compose : d'un vase de grès, rempli d'une dissolution de bichromate de potasse, de sel marin et d'acide sulfurique, dans laquelle plonge une lame de charbon ; et d'un vase poreux, à trois compartiments, plongeant aussi dans le vase de grès ; l'un des compartiments contient des cristaux de bichromate de potasse, l'autre de l'acide sulfurique, et celui du milieu, qui est percé d'un trou à sa base, afin de permettre au liquide extérieur d'y pénétrer, contient une lame de zinc.
La pile à deux liquides est formée des mêmes éléments que la première, mais le compartiment du milieu du vase poreux est rempli d'une dissolution de sel marin. M. Cloris Baudet a également construit une batterie à courant constant, qui doit cet avantage à ce que les liquides de la pile se renouvellent constamment autour des éléments. Cet écoulement a pour effet de maintenir les liquides dans le même état, et d'éviter les métallisations et les encrassements. La pile étant montée une première fois, l'entretien se borne à remplir les réservoirs lorsqu'ils sont vides ; ce qu'on peut faire sans arrêter le fonctionnement de la pile, et à changer les zincs lorsqu'ils sont usés.
M. le capitaine Putot a imaginé, pour les opérations militaires, une pile au chlorochromate de potasse, qui donne d'excellents résultats. Elle se compose de quatre éléments associés en tension. Chaque élément est formé d'un cylindre en zinc, au milieu duquel est un bâton de charbon. Ils sont placés en carré, et noyés tous les quatre dans une masse cylindrique de gutta-percha.
Le mélange excitateur est formé de 6 grammes de bisulfate de potasse et de 20 grammes de chlorochromate de potasse dissous dans 100 grammes d'eau acidulée.
Pour actionner les machines à coudre, M. Griscom a construit une batterie à bichromate, dans laquelle le relèvement des éléments s'opère à l'aide d'un ressort que l'on met en action en pressant plus ou moins sur un levier angulaire, ce qui les fait plonger plus ou moins dans le liquide excitateur. On peut ainsi modérer ou accélérer la marche de la machine, et même l'arrêter complètement.

M. Partz a aussi perfectionné la pile au bichromate et en a fait une pile à courant constant, qui ne s'use que quand le circuit est fermé. Dans chaque élément, le liquide excitateur est composé d'une solution de bichromate d'ammoniaque et de chlorure de zinc, dans laquelle plongent une lame de zinc et une plaque de charbon de cornue.





Coupe et plan de la pile au bichromate d'ammoniaque de M. Partz.

Le liquide est sans action sur le zinc tant que le courant n'est pas fermé. Dès que la communication est établie entre les deux pôles, la pile travaille : le bichromate d'ammoniaque est décomposé, et il se forme sur le zinc un dépôt de couleur olive, formé de chromo-oxychlorure de zinc, qui se détache bientôt du zinc, comme d'une enveloppe, en laissant le métal à nu. Il se dégage, du pôle positif, du gaz hydrogène et de l'ammoniaque, grâce à l'élimination des produits de la réaction qui se fait soit par la précipitation du composé insoluble, soit par le dégagement gazeux. Le liquide conserve une composition constante. Il suffit donc, pour entretenir le courant, de renouveler le sel et de remplacer le zinc, quand il est usé.
Le pôle négatif de la pile Partz est un morceau de charbon de cornue formant un cylindre creux que l'on a scié extérieurement dans le sens de la longueur de manière qu'il forme une rangée circulaire de barres de charbon C, C, ainsi qu'on le voit par la coupe que présente la figure 323. La baguette de zinc Z, qui forme le pôle positif, est suspendue au milieu de ce cylindre. Par sa partie inférieure le zinc plonge dans un petit vase plein de mercure, M, placé au fond. La pile Partz est d'un grand usage en Amérique.

Enfin, MM. **Grenet** et **Jarriant** ont construit une batterie au bichromate de soude et à un seul liquide, qui a servi à l'éclairage du Comptoir d'escompte de Paris. En 1883, la pile au bichromate de potasse de MM. Grenet et Jarriant, fut employée pour l'éclairage électrique du Comptoir d'escompte à Paris. Mais les résultats se montrèrent très défavorables ; car, au bout de quelques mois, l'éclairage électrique et la pile au bichromate de potasse furent supprimés.

1850 La pile de GRENET
La formule initiale de cette pile découle des travaux de Poggendorff qui préconisa d'utiliser le couple carbone/zinc comme dans la pile Bunsen, mais en dissolvant du dichromate de potassium dans l'électrolyte constitué par une solution d'acide sulfurique. La pile de Grenet, conforme à cette formule, est proposée à partir des années 1850.
La pile GRENET est une pile à un seul liquide, avec des électrodes en charbon et en zinc amalgamé (préalablement trempé dans du mercure) plongées dans une solution de bichromate additionnée d'acide sulfurique. Quand la pile n'est pas utilisée, il est nécessaire de relever l'électrode centrale en zinc pour la préserver.

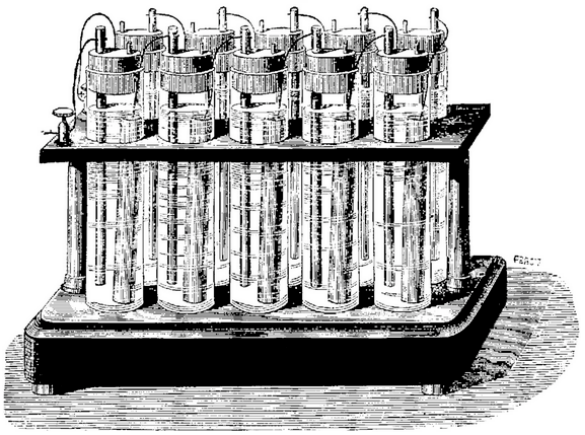
La pile GRENET, aussi appelée pile bouteille à cause de sa forme, se compose d'un corps en verre contenant une solution acide de bichromate de potassium dans laquelle sont plongées des électrodes fixées sur le couvercle en ébonite. Les charbons, reliés à une borne en cuivre, sont fixés définitivement tandis que la plaque en zinc située entre les deux charbons, relié à l'autre borne en cuivre, peut coulisser verticalement à l'aide d'une tige en laiton retenue par une vis afin de l'économiser lorsque l'on ne se sert pas de la pile. Celle-ci peut fonctionner neuf à dix heures et suffit pour pratiquer certaines expériences ou alimenter une ampoule électrique de faible consommation.
On trouvait dans le commerce des piles de différentes tailles suivant les applications à alimenter.
Les plus petites piles que l'on retrouve avaient un volume d'environ 1/4 de litre et les plus grosses pouvaient avoir une hauteur de plus de 30 cm et contenir plusieurs litres d'électrolyte.
La pile brevetée par le Dr A. Vincent était une variante de la pile de Grenet qui était équipée d'un syphon latéral qui permettait de remplacer l'électrolyte au fur et à mesure de son usure pendant le fonctionnement de la pile.

La pile VOISIN et DRONIER est une autre variante de la pile bouteille.

La pile "à treuil" inventée par Gustave TROUVE (1838-1902) constructeur français d'instruments scientifiques en est un autre exemple. Les électrodes de cette pile étaient équipées d'un système de relevage à manivelle.

Dans certaines piles, la dépolarisation s'effectue par le chlore, et non par l'oxygène ou les oxydes métalliques : ce sont les piles dites à chlorures.
La première de ce genre (après celle de Daniell au chlorure de platine) est la pile de **M. Marié Davy**, au **chlorure d'argent**.

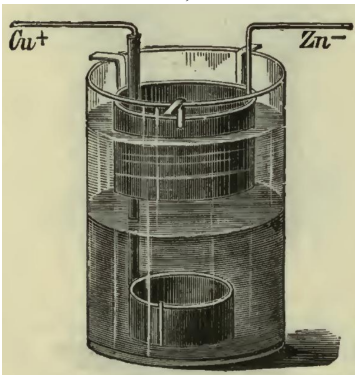
Chaque élément se compose d'un vase extérieur, en forme de cylindre, de 13 centimètres de long et de 3 centimètres de diamètre, dans lequel un crayon de zinc non amalgamé tient lieu d'électrode soluble. Au crayon est soudée une lame d'argent, qui constitue le pôle du couple suivant, et autour duquel on a fondu un petit bâton de chlorure d'argent (pôle positif) qu'on isole à l'aide d'un petit cylindre en papier parchemin. Le vase extérieur est fermé par un bouchon en paraffine, et contient une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque formée de 23 grammes de sel pour 1 000 d'eau. Cette pile, dont le comburant est un corps solide, insoluble, qui n'a d'autre rôle que de fournir le chlore nécessaire à la dissolution du zinc, est à courant constant, et ne s'use que quand son circuit est fermé. Sa résistance dépend de son temps de service et de la grandeur de chaque élément. Quant à sa force électro-motrice, elle est relativement énergique.



Pile au chlorure d'argent de M. Warren de la Rue.
La pile au chlorure d'argent, imaginée par M. Marié Davy, en 1860, a été perfectionnée en 1868, par M. Warren de la Rue, qui lui a donné la forme que représente la figure ci-dessus.
M. Marié Davy a encore essayé, comme dépolarisant, le chlorure de plomb. Mais vu le prix assez élevé de ce corps et le peu d'énergie des éléments au chlorure, cette pile n'a pas reçu d'application.
M. Duchemin a essayé, mais sans succès, de dépolariser les piles au moyen du perchlorure de fer.
M. Niaudet a construit une pile constante et assez énergique, dans laquelle il utilise les propriétés dépolarisantes du chlorure de chaux.
Dans le vase poreux, on place une plaque de charbon, autour de laquelle on entasse du charbon concassé, puis une couche de chlorure de chaux, une nouvelle couche de charbon, etc., etc., jusqu'à ce qu'on arrive au bord supérieur ; on ferme le tout avec une couche de poix. À la distance voulue, et retenu par de petits bâtons en bois, le vase poreux est entouré d'un cylindre de zinc, qui trempe dans de l'eau salée, où il peut rester impunément, puisque ni ce sel, ni le chlore ne peuvent l'attaquer.

Le vase poreux, ainsi que le cylindre de zinc qui y est fixé, sont cimentés avec le col du vase, pour éviter tout dégagement de chlore, et on ne laisse qu'une ouverture pour le remplissage de l'eau salée, que l'on prépare en dissolvant dans 100 parties en poids d'eau 24 parties de sel de cuisine, proportion qui donne la plus petite résistance.
Au début, la force électromotrice est de 1,5 volt, mais elle tombe, au bout de quelques mois, à 1,38 volt. Toutefois, la réduction de l'hydrogène ne se fait pas complètement ; de sorte que la force électro-motrice peut tomber à 1,28 volt, même à 1,03 si l'on ferme la pile à court circuit ; mais il suffit d'un court r qu'elle reprenne sa force primitive.
Enfin Gaiffe a construit une petite pile au chlorure d'argent.
L'élément se compose d'un petit cylindre de caoutchouc durci, qui porte un couvercle vissé se fermant hermétiquement. Les deux électrodes sont fixées au couvercle par des écrous. L'électrode négative est un petit creuset en cuivre qui contient du chlorure d'argent fondu, enveloppé dans de la toile. De petits buttoirs de caoutchouc assurent la distance nécessaire de l'électrode zinc, et un bracelet en caoutchouc les serre tous deux contre ces buttoirs.
Cet élément qui contient du liquide ne peut pas être retourné, puisque quand le couvercle est mouillé il se produit aussitôt une fermeture ; aussi Gaiffe rempla d'ordinaire le liquide par des couches de papier buvard imprégné d'une dissolution de chlorure de zinc à 5 pour 100.
Ces éléments sont très économiques et très commodes pour les usages médicaux.
De même que le chlore, l'iode, le brome et le soufre ont été employés comme dépolarisants.
Ainsi, **M. Laurie** a construit une pile dont les électrodes plongent dans une dissolution d'iodure de zinc, à laquelle on ajoute de l'iode.
Dans l'élément de **M. Doat**, le vase extérieur contient du mercure, où plonge un fil de platine, et le vase poreux renferme une dissolution d'iodure de potassium qui entoure le charbon.
M. Regnault a remplacé l'iode par le brome et l'iodure de potassium par du bromure, sans obtenir de meilleurs résultats.
Enfin **MM. Blanc et Savary** ont essayé de réduire l'hydrogène par le soufre, et de construire, avec ce métalloïde, des piles impolarisables.
Aucune de ces piles, dont la force motrice est d'ailleurs très faible, n'a reçu d'application pratique.

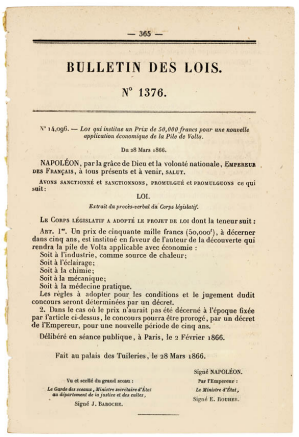
1853 La pile de Callaud est aussi appelée gravity battery.
Cette pile électrique, inventée par Armand Callaud en 1853, est constituée comme la pile Daniell d'un réservoir contenant deux électrolytes différents, sulfate de cuivre et eau acidulée, les deux solutions étant séparées par simple différence de densité.



Cette pile doit débiter en continu, et rester immobile afin d'éviter tout mélange des deux solutions. C'est pour cela que ce type de pile fut employée pour la téléphonie.

1859 La pile Planté la pile secondaire au plomb
Jusqu'à une certaine époque toutes les batteries comportaient des éléments/accumulateurs primaires, ce qui voulait dire qu'elles n'étaient pas rechargeables. En 1859, Le physicien français Gaston Planté inventa la première batterie rechargeable.
La batterie secondaire était basée sur un couple chimique acide plomb, qui est toujours utilisée de nos jours . Il l'améliore en 1865 ; Camille Faure l'améliorera encore en 1881.
Nous manquerions à nos devoirs si nous ne signalions pas le nouvel hommage qui a été rendu à la mémoire de cet électricien aussi éminent qu'il était modeste et désintéressé. Le jury lui a décerné un grand prix d'honneur et le public s'est intéressé vivement à la belle collection des éléments Planté, parmi lesquels se trouvaient ses premiers types, ratifiant ainsi d'avance le jugement qui, accordait au créateur des accumulateurs la plus haute récompense de l'Exposition.

En France, une loi du 28 mars 1866 stipule que « un prix de cinquante mille francs (50,000f), à décerner dans cinq ans, est institué en faveur de l'auteur de la découverte qui rendra la pile de VOLTA applicable avec économie : soit à l'industrie comme source de chaleur ; soit à l'éclairage ; soit à la chimie ; soit à la mécanique ; soit à la médecine pratique. »


— 365 —

BULLETIN DES LOIS.

N° 1376.

N° 14,096. — *Loi qui institue un Prix de 50,000 francs pour une nouvelle application économique de la Pile de Volta.*

Du 28 Mars 1866.

NAPOLÉON, par la grâce de Dieu et la volonté nationale, EMPEREUR DES FRANÇAIS, à tous présents et à venir, SALUT.

AVONS SANCTIONNÉ ET SANCTIONNONS, PROMULGUÉ ET PROMULGUONS CE QUI SUIT :

LOI.

Extrait du procès-verbal du Corps législatif.

LE CORPS LÉGISLATIF A ADOPTÉ LE PROJET DE LOI dont la teneur suit :

ART. 1er. Un prix de cinquante mille francs (50,000f), à décerner dans cinq ans, est institué en faveur de l'auteur de la découverte qui rendra la pile de Volta applicable avec économie :
Soit à l'industrie, comme source de chaleur;
Soit à l'éclairage;
Soit à la chimie;
Soit à la mécanique;
Soit à la médecine pratique.
Les règles à adopter pour les conditions et le jugement dudit concours seront déterminées par un décret.
2. Dans le cas où le prix n'aurait pas été décerné à l'époque fixée par l'article ci-dessus, le concours pourra être prorogé, par un décret de l'Empereur, pour une nouvelle période de cinq ans.
Délibéré en séance publique, à Paris, le 2 Février 1866.

Fait au palais des Tuileries, le 28 Mars 1866.

Signé NAPOLÉON.

Pour l'Empereur :
Le Ministre d'État,
Signé E. ROUHER.

Vu et scellé du grand sceau :
Le Garde des sceaux, Ministre secrétaire d'État au département de la justice et des cultes,
Signé J. BAROCHE.

Bulletin des lois – 28 mars 1866

Au lieu de produire un dégagement d'oxygène, pour réduire l'hydrogène, cause de la dépolarisation des piles, on peut se servir d'un oxyde métallique, qui produise la même réduction de l'hydrogène.
Auguste de la Rive eut le premier l'idée de se servir d'un oxyde métallique pour produire la réduction de l'hydrogène, et par conséquent, la dépolarisation du zinc. La pile à oxyde de manganèse proposée par Auguste de la Rive ne fut jamais mise en usage, mais un physicien français, **Léclanché**, construisit, trente ans plus tard, une pile, qui repose sur le même principe, et qui est adoptée aujourd'hui dans le monde entier.

La Pile Crosse
M. Crosse a imaginé quelques modifications qui peuvent donner de bons résultats. L'électrode positive de ses piles chromiques est constituée par un sac cylindrique en plomb, rempli de fragments de coke ; l'électrode positive de ses piles du genre Daniell, est de même formée d'un sac de plomb, renfermant des

cristaux de sulfate de cuivre.
Ce dispositif présente une grande surface et réduit conséquemment la résistance extérieure des éléments.

Pile Crosse à électrode de plomb pour sonneries, galvanoplastie, etc.

Pour lampes de 12 bougies :	20 heures	12	»
—	25 —	14	»
—	35 —	16	»
—	60 —	20	»
Pour lampes de 6 bougies	20 —	22	»
—	25 —	26	»
—	35 —	30	»
—	60 —	40	»

La Pile Bazin
On a eu recours maintes fois à des moyens mécaniques pour aider à l'action dépolarisante des liquides chromiques : M. Bazin en est revenu à faire tourner sur elles-mêmes les électrodes de charbon, d'une manière continue, par l'action d'un petit moteur électrique. Les vases de pile sont placés sur un support qu'on peut élever ou abaisser à volonté pour mettre les éléments en activité ou au repos : les charbons et leurs axes sont au contraire fixes dans l'espace.

La Pile Renard 1896
Cette pile, rendue célèbre par les expériences de direction du ballon la France, était exposée dans le pavillon de l'aérostation militaire, suy l'Esplanade des Invalides.
C'est une pile chlorochromique : le liquide excitateur est constitué par une dissolution d'acide chromique dans de l'acide chlorhydrique, de densité 1,088, Cro3 et Hc£ étant à équivalents égaux ; le même liquide joue le rôle de dépolarisant, car la pile est à un seul liquide. Le zinc est employé sous forme de crayons cylindriques ; l'électrode conductrice est formée d'une lame d'argent platinée sur ses deux faces par laminage, de 1/10e de millimètre d'épaisseur. Il est à remarquer que le zinc n'est pas amalgamé.
Le liquide est renfermé dans des tubes de verre relativement longs, dont la hauteur égale au moins 10 diamètres, de manière à présenter une surface considérable de refroidissement. Les éléments sont réunis en groupes qui constituent des faisceaux tubulaires.
Les piles du ballon la France étaient semi-tubulaires, c'est-à-dire que chaque élément était formé de six tubes assemblés en surface : les tubes avaient 40 millimètres de diamètre. Un tel élément pouvait donner 120 ampères avec un potentiel utile de 1,2 volt.
Grâce à l'emploi du liquide chlorochromique, la pile Renard peut fournir une puissance supérieure à celle de toute autre pile : au potentiel normal de 1,2 volt, on l'estime à 25 ampères par décimètre carré de zinc. Deux éléments semi-tubulaires en tension, produisent l'incandescence blanche d'un tube de platine de 5 millimètres de diamètre et 1/2 millimètre d'épaisseur, ce qui répond à 150 ampères par 1,8 volt : ce groupe pèse 10 kilogrammes. Une pile de 48 kilogrammes donne un cheval de 736 watts.
La stabilité du liquide permet de le conserver quelques jours : mais il se produit alors un dégagement de chlore. On l'atténue en substituant, équivalent à équivalent, l'acide sulfurique à l'acide chlorhydrique ; la capacité du liquide ne diminue pas sensiblement.

La Pile Aron
C'est une adaptation nouvelle de la pile du commandant Renard, que nous venons de décrire ; MM. Aron frères l'ont modifiée dans le but de l'appliquer à l'éclairage direct sans accumulateurs. Nous retrouvons le liquide excitateur chlorochromique et les électrodes d'argent platiné. Les éléments sont réunis dans un grand vase cylindrique en verre : les lames d'argent et de zinc sont renfermées dans des tubes de verre, qui plongent dans le liquide excitateur par leur extrémité inférieure légèrement rétrécie ; normalement le liquide ne baigne pas les lames. Mais une poire de caoutchouc permet d'exercer une pression d'air dans le vase et de faire monter le liquide dans les tubes ; la pile est dès lors en service. Une vis permet de rétablir la pression atmosphérique en débouchant une petite ouverture : le liquide baisse aussitôt et la pile cesse de fonctionner.
Cette installation très ingénieuse et fort pratique, a valu à MM. Aron frères une médaille d'argent.

La Pile Pillet
Le bichromate fait l'office de polarisant dans cette pile. Les vases sont à deux étages ; leur partie inférieure sert de réservoir au liquide, les lames de zinc et de charbon occupent la partie supérieure. En déterminant une pression d'air dans la cloche qui occupe le centre de l'élément, on fait monter le liquide au niveau des électrodes et l'appareil est à même de fonctionner Tous les éléments semblables d'une pile étant reliés par des tuyaux, on peut du même coup agir sur tous les vases, ce qui présente de grandes facilités et paraît préférable au soulèvement des lames par un treuil.

1866 La Pile Leclanché

Une pile Leclanché est un type de pile électrique (cellule primaire) fonctionnant par oxydoréduction entre le zinc et le dioxyde de manganèse, avec un électrolyte constitué de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium.

Très jeune et talentueux ingénieur, Georges Leclanché inventa la première « **pile sèche** ». C'est en effet en 1866 que Georges Leclanché dépose un brevet pour une pile au carbonate de cuivre. Il améliore son prototype et un an plus tard met au point une pile au dioxyde de manganèse, qui reçoit un prix à l'Exposition universelle de Paris.
Cette pile est rapidement utilisée par les **télégraphes belges et les chemins de fer néerlandais,** car elle ne s'use pas au repos, contrairement aux piles existant jusque-là, qui consomment en permanence du métal.
Grâce à son invention, Georges Leclanché permet le développement de piles peu coûteuses, adaptées aux utilisations ne nécessitant pas une forte intensité.
Né en France en 1839 dans une famille d'opposants à Napoléon III, Georges Leclanché a effectué une partie de ses études à Londres en raison de l'exil de ses parents, avant de passer par l'Ecole Centrale des arts et manufactures de Paris, dont il sort ingénieur en 1860. Employé des chemins de fer de l'Est, il est peu satisfait des piles à sa disposition et c'est ainsi qu'il commence ses recherches. Il séjourne en Belgique, puis rentre en France après la chute de Napoléon III et y crée la première société française de piles, Leclanché-Barbier. Il meurt en 1882, à 42 ans.

Son principe est à l'origine des piles cylindriques ou bâton. Sa force électromotrice vaut 1,5 V ; sa densité d'énergie est de l'ordre de 0,18 W h cm-3, soit 650 kJ L. Après une pile au carbonate de cuivre (CuCO3) brevetée 8 janvier 1866, Georges Leclanché met au point en Belgique, en 1867, la première pile au dioxyde de manganèse. Récompensée à l'Exposition universelle de Paris la même année, elle est rapidement utilisée par l'administration belge des télégraphes et par les chemins de fer néerlandais.

Après 1871, Georges Leclanché fonde à Paris avec Ernest Barbier la fabrique des piles Leclanché-Barbier, qui est presque l'unique producteur de piles en France. En effet, la pile Leclanché est la première pile à être fabriquée massivement en grande série. Son fils et son frère améliorent les performances de cette pile en travaillant sur l'immobilisation des liquides (d'où le nom de "pile sèche").

En 1876, Leclanché gélifie l'électrolyte de sa pile en ajoutant de l'amidon au chlorure d'ammonium. Cette modification permet de rendre la pile transportable.

PILES LECLANCHÉ (Modèle courant, peroxyde de 1er choix)

Nos.	1	2	3
Hauteur des vases poreux en centimètres.	13	15	18
Vase poreux avec borne cuivre	1.10	1.20	1.40
Zinc amalgamé	0.20	0.20	0.25
Sel ammoniac en paquet	0.15	0.20	0.25
Vase en verre paraffiné	0.40	0.45	0.50
La pile complète	**1.70**	**1.90**	**2.25**
Boîte pour éléments, la case	0.50	0.55	0.60

Ce sont des piles peu coûteuses à l'achat, mais qui - comme les piles alcalines - sont à usage unique contrairement aux accumulateurs électriques qui peuvent être rechargés. Elles peuvent être employées dans des utilisations intermittentes ne nécessitant pas une forte intensité : **sonnerie**, **télégraphe**, **téléphone** puis télécommande, réveil, poste de radio ...

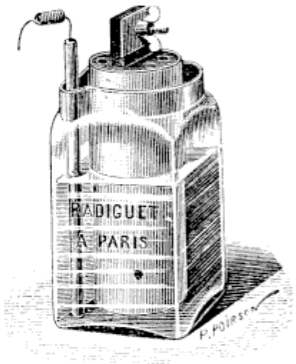


Fig 29.

PILES LECLANCHÉ PERFECTIONNÉES

La pince ordinaire est remplacée par un boulon en cuivre étamé vissant dans un écrou traversant le charbon, le fil se fixe entre le bouton et la plaque.

Vase poreux, avec boulon étamé	1.75	2 »	2.50
Zinc amalgamé	0.20	0.20	0.25
Sel ammoniac en paquet	0.15	0.20	0.25
Vase en verre paraffiné	0.40	0.45	0.55
La pile perfectionnée complète (fig. 29)	**2.35**	**2.70**	**3.35**
Boîte pour éléments, la case.	0.50	0.55	0.60

Bien avant que Victor Hérold ne fonde la première usine de batteries alcalines de France, Georges Leclanché avait créé la première fabrique de piles sèches françaises à Paris, après 1871 et la fin du second Empire. Lorsqu'il meurt en 1882, il laisse à son frère Maurice et à son fils une entreprise florissante.
Le nom Leclanché est également utilisé par une société suisse d'Yverdon (canton de Vaud) fondée en 1909, qui a acquis en 2006 la société allemande Bullith, devenue « Leclanché Lithium GmbH », basée à Willstätt, toujours dans le domaine des piles.

En 1881, il en avait vendu plus de 300 000 ! Relativement petite et mobile, elle était utilisée pour alimenter des petits objets portatifs, comme les premières lampes torches, les horloges et surtout les téléphones.

En effet, avant que l'électricité ne soit acheminée par les câbles téléphones eux-mêmes, chaque téléphone avait besoin d'une source d'énergie indépendante. La batterie était cachée dans une boîte en bois à côté du téléphone. Cependant, la batterie étant peu puissante, les longues conversations finissaient souvent par être inaudibles !

PILES LECLANCHÉ-BARBIER

à aggloméré cylindrique, zinc central

Nos.	1	2	3
Hauteur totale	22	22	22
Verre carré de cent. de coté	9	11	11
Aggloméré	2.25	3 »	3 »
Joint en caoutchouc	0.20	0.25	0.25
Vase verre	0.70	0.90	0.90
Bouchon central pour le zinc	0.15	0.25	0.25
Zinc	0.50	0.50	1.50
Sel ammoniac en paquet	0.15	0.20	0.20
La pile complète (*fig. 31*)	**3.50**	**4.50**	**5.50**

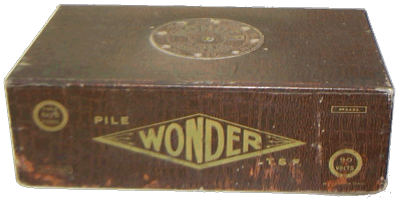
Le nº 3 possède un zinc plus fort.

Fig. 31.

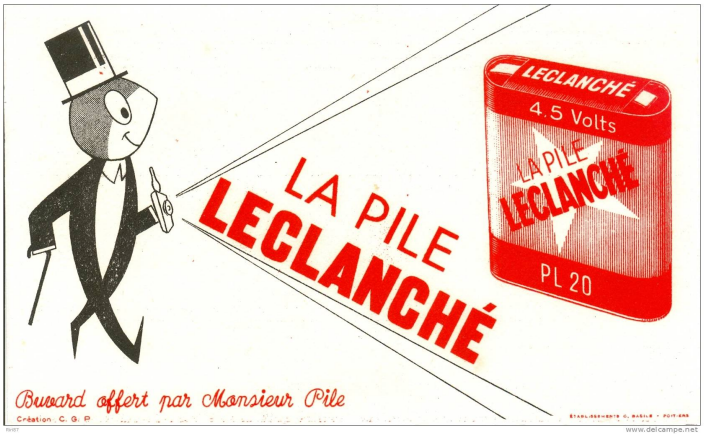
Les piles zinc-carbone et au chlorure de zinc sont deux des piles primaires à base d'acide. Les piles zinc-carbone existent depuis 1886, lorsque l'Allemand Dr **Carl Gassner** modifie la pile Leclanché pour la rendre sèche en utilisant un bloc comprimé de dioxyde de manganèse entouré par une boîte de zinc qui agit comme l'anode. Pour l'électrolyte, le Dr Gassner dissous le chlorure d'ammonium dans de l'eau mélangé avec du plâtre de Paris pour créer un gel. La pile zinc-carbone est devenue la première pile sèche commercialisée en 1900 lorsque la société EverReady a commencé à les vendre. Son succès fut immédiat : en moins de deux ans, plus de 2000 exemplaires étaient déjà utilisés pour les télégraphes.
Ce sont toujours les piles primaires les moins chères commercialisées pour un usage général, cependant, elles fonctionnent mieux pour un usage de faible consommation et pour des dispositifs à usage intermittent, comme les télécommandes, les lampes de poche ou les horloges. Les piles zinc-carbone en raison de

leur prix peu élevé sont encore largement utilisées comme les piles qui sont offertes lors de l'achat de certains appareils.
En raison du caractère véritablement novateur de la pile Leclanché, les clients potentiels doutent et la pile ne trouve guère d'acheteur.
De plus, il n'a pas de brevet pour cette invention. C'est au contraire Carl **Gassner** qui obtiendra un brevet fin 1887 pour une pile similaire

En 1933, la « société des piles Leclanché » passe un contrat avec la « société de l'accumulateur Fulmen », pour la fabrication d'accumulateur au plomb.
nombreux concurrents apparaissent, dont Wonder en France et l'entreprise périclite.

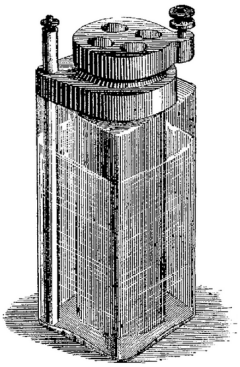


Elle change plusieurs fois de mains, passe sous le giron de la société Fulmen et se fond finalement dans le groupe CGE.
En 1938, Fulmen acheta à Chasseneuil-du-Poitou un ancien abattoir, transformé en fabrique de charcuterie, pour en faire une usine de petit matériel électrique.
Des piles électriques y sont aussi fabriquées, sous la marque Leclanché. C'est cette usine qui est ensuite reprise par Saft en 1952. Saft et Fulmen appartenaient alors toutes deux à la Compagnie Générale d'Electricité (CGE).
Dans les années cinquante, l'usine de Chasseneuil-du-Poitou a employé jusqu'à un millier de salariés pour fabriquer ces piles sèches dont les usages étaient en train de se démultiplier. L'usine était un pôle industriel important dans cette région rurale et attirait nombre de jeunes de la région, parfois par familles entières.
On appelait alors cette usine « Leclanché », tout simplement, ou encore « La Pile ».



Saft continua la production de piles grand public jusqu'à la reprise de cette activité par Bernard Tapie. Entretemps, en 1965, l'usine de Chasseneuil et sa production avaient été transférées non loin, à Poitiers. L'adresse de cette usine est … avenue Georges-Leclanché !

L'élément Binder n'est qu'une modification de la pile Léclanché. Il se compose d'un vase cylindrique, qui porte, à peu près vers son milieu, une saillie, servant d'appui à un cylindre de zinc, creux. Au centre du vase, se trouve un crayon de charbon, que l'on entoure d'un mélange de bioxyde de manganèse et de charbon, jusqu'à la hauteur de la saillie. Un couvercle percé de deux ouvertures par lesquelles passent les électrodes empêche l'évaporation de la solution de chlorhydrate d'ammoniaque.
Gaiffe a modifié la pile Léclanché en remplaçant le chlorhydrate d'ammoniaque par du chlorure de zinc à 45° B. Le courant résulte de l'oxydation du zinc aux dépens du bioxyde de manganèse, qui passe à l'état de sesquioxyde. L'oxychlorure de zinc étant soluble dans le chlorure de zinc, l'action n'est pas arrêtée. La force électromotrice du couple équivaut à un couple et demi de Daniell. Sa constance est assez grande, et sa polarisation très lente ; elle disparaît même lorsqu'on laisse quelque temps la pile en repos.



pile de Gaiffe au chlorure de zinc

Le charbon est prismatique ; mais il est percé, dans le sens de sa longueur, de 4 trous, dans lesquels on place le bioxyde de manganèse, en le tassant légèrement ; ce qui a pour effet de supprimer le vase poreux, tout en diminuant la résistance électrique. Ces trous servent à retirer le produit résultant de la réaction chimique qui a engendré l'électricité. Le vase de verre qui contient le charbon est carré, et fermé par un bouchon luté à la cire, et présentant seulement un trou, qui sert à introduire le liquide dans le vase, et à faire pénétrer le bâton de zinc.
La force électro-motrice de la pile au chlorure de zinc, de Gaiffe, est inférieure à celle de la pile Léclanché.

Pour éviter la décroissance rapide qu'éprouve la force électro-motrice des piles au bioxyde de manganèse, **M. Devos** a construit un couple dans lequel le vase

poreux est supprimé, et où l'élément dépolarisateur et l'élément actif sont mélangés autour du conducteur positif. Ce dernier consiste en une lame de charbon, qui divise la pile en deux parties : d'un côté est le zinc et le bioxyde de manganèse, de l'autre, un mélange de chlorhydrate d'ammoniaque et de coke concassé. On charge le couple avec de l'eau pure, qui dissout le sel ammoniac et met la pile en activité. Le zinc se transforme en chlorure, et le graphite joue le rôle de dépolarisateur mécanique.

MM. Leroux et Guiguet ont obtenu des piles à courant intense, en substituant à l'acide azotique de la pile Archereau, du bioxyde de manganèse, et en remplaçant l'acide sulfurique par de l'acide chlorhydrique étendu d'eau.

M. Edredge a fait une pile au protoxyde de plomb, que l'on dit être très constante, et qui est formée d'un vase au fond duquel est placée une plaque de plomb, constituant le conducteur positif. Au-dessus, se trouve la litharge, puis de l'eau salée, dans laquelle plonge le conducteur négatif. Celui-ci consiste en une lame de zinc amalgamé, suspendue, par trois agrafes, au vase de la pile. L'action est la suivante : l'hydrogène, dégagé par l'attaque du zinc, réduit la litharge, qui se dépose à l'état métallique sur la lame de plomb.

MM. Clamond et Gaiffe ont substitué au bioxyde de manganèse de la pile Léclanché le sesquioxyde de fer. Le défaut de cette pile est d'offrir une énorme résistance intérieure ; en revanche elle est impolarisable, et ne s'use que quand son circuit est fermé.

M. Reynier a construit une pile dont le vase poreux, constitué par du papier-parchemin, renferme du cuivre métallique et du sulfate de cuivre. Autour est une solution concentrée de soude caustique. Le principal avantage de cette pile réside dans son peu de résistance, qui lui donne une intensité considérable. Avec moins de 30 éléments on peut produire l'incandescence d'une lampe électrique Swam ou Edison.

M. Desruelles a construit des piles Daniell et Léclanché qu'il a rendues facilement transportables en entourant le vase poreux d'amiante imbibée de la solution excitatrice.

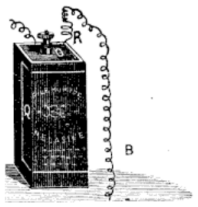


Fig. 32.

PILE A LA MÉLASSINE (*fig.* 32)

Hauteur totale 130 %

Vase verre enveloppé de carton ... **2.10**

Cette pile pouvant être placée dans tous les sens est employée avec succès dans les installations mobiles, elle sert aussi à actionner les jouets électriques demandant peu d'énergie. Mais pour ce dernier usage la durée en est très réduite.

Ces piles, analogues à celle que Zamboni proposa, en 1812, ne sont applicables que pour les actions discontinues, parce que le liquide, étant immobilisé, ne peut reprendre son homogénéité que par diffusion à travers l'amiante.

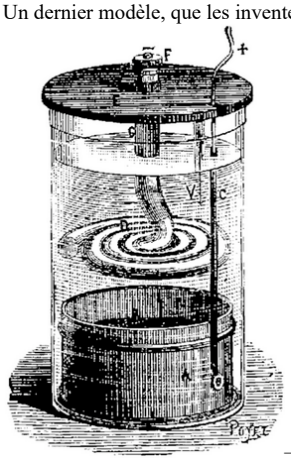
MM. de Lalande et Chaperon ont imaginé de construire, avec l'oxyde de cuivre et la potasse, une pile à un seul liquide et à dépolarisant solide, qui constitue un générateur électrique constant, simple, économique, et ne consommant les matières actives qu'en proportion du travail fourni.

L'oxyde de cuivre est un des oxydes qui abandonnent le plus facilement l'oxygène, et ce composé a encore l'avantage de donner, après sa réduction, un métal très bon conducteur de l'électricité. C'est cet oxyde que MM. Lalande et Chaperon emploient comme dépolarisant, en le mettant en contact avec une surface métallique dont le prolongement constitue l'électrode négative.

L'électrode positive est une tige à lame de zinc, plongeant dans une solution de potasse caustique à 30 ou 40 p. 100, qui sert de liquide excitateur.

Pile Lalande et Chaperon (modèle en spirale)

Un dernier modèle, que les inventeurs appellent modèle en spirale.



— .L'élément à spirale à couvercle mobile est formé d'un vase cylindrique en verre, V, contenant :

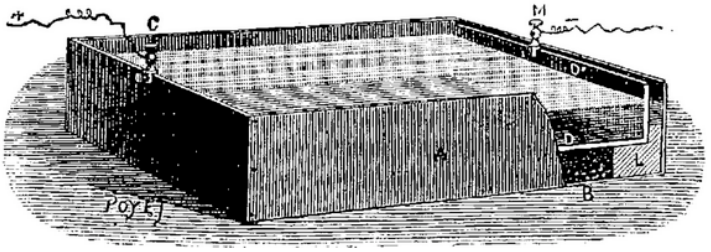
1° Une boîte en tôle, A, pouvant servir à transporter la potasse caustique, et destinée à recevoir l'oxyde de cuivre lorsque la pile est montée.

2° Un zinc amalgamé, D, contourné en spirale et qu'un écrou, F, servant de borne, fixe au couvercle mobile. Un tube de caoutchouc, C, protège le zinc, qui a toujours une tendance à se casser au niveau du liquide excitateur.

3° Une tige de cuivre, G, isolée par un tube de caoutchouc et traversant le couvercle. Cette tige est fixée, à sa partie inférieure, à la boîte A, et constitue le pôle positif de l'élément.

Pour mettre cet élément en service, on retire la boîte de tôle, pour la charger d'oxyde, puis on la replace au fond du vase, que l'on remplit ensuite avec la solution de potasse. Lorsque le liquide est devenu clair, on remet le couvercle, en ayant soin que le caoutchouc qui entoure la tige de cuivre l'isole bien du zinc.

L'élément à spirale se recommande spécialement pour la charge des accumulateurs.



Pile de Lalande et Chaperon (élément à auge).

La deuxième forme de ces éléments est le modèle à grande surface, dit modèle à auge. Il se compose d'une auge A, en tôle de fer, dont le fond est garni d'une couche d'oxyde de cuivre. Sur cette couche est étendue une feuille de papier-parchemin, sur laquelle reposent, aux quatre coins, les supports isolateurs L, devant porter la plaque de zinc amalgamé, D.

Sur l'auge même est fixée la borne C, du pôle positif ; celle du pôle négatif, M, est attachée à une lame de cuivre rivée au zinc.

L'élément à auge s'emploie pour la galvanoplastie, la charge des accumulateurs et la lumière électrique. Deux éléments, grand modèle, équivalent à un élément Bunsen de 0m,20 de hauteur.

M. d'Arsonval, qui a expérimenté à plusieurs reprises l'élément à auge de MM. de Lalande et Chaperon, s'exprime ainsi dans la Lumière électrique du 25 août 1883 :

« *Un kilogramme d'accumulateurs dépose 20 grammes de cuivre, tandis que 1 kilogramme de pile Lalande-Chaperon dépose 100 grammes. La quantité de coulombs donnée par la pile est donc 5 fois plus grande que celle qui est fournie par l'accumulateur du même poids.*

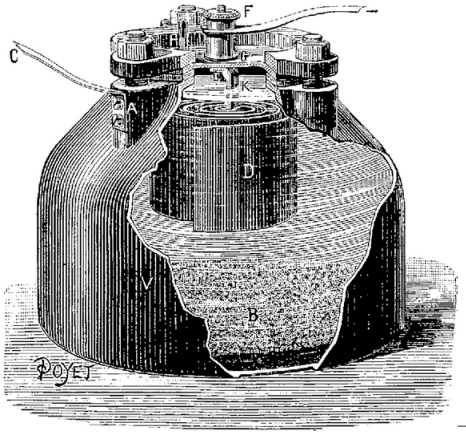
Quant au travail électrique, la pile Lalande-Chaperon, à poids égal, vaut deux accumulateurs Planté, bien formés comme quantité d'énergie emmagasi souvent pesé le zinc, après avoir fait donner à la pile un travail connu ; toujours la consommation a été à très peu près égale à celle qui est indiquée pa théorie. Ce fait prouve, par conséquent, que ce couple est exempt de réactions secondaires et ne consomme qu'en proportion du travail fourni.

Les essais de M. Hospitalier rapportés dans l'Électricien du 1er août 1882 ont donné les résultats suivants :

La pile dont la face électro-motrice initiale, une heure après le montage, était de 0,98 volts, a été mise en circuit pendant six jours entiers sur une résistance au fil de maillechort de 0,8 ohm.

Le courant fourni a été, en moyenne, d'un demi-ampère pendant six jours en 518 400 secondes. La quantité totale d'électricité fournie a été de 259 000 coulombs, le poids de zinc consommé de 88 grammes, ce qui correspond à une production théorique de 260 000 coulombs ; c'est là un point des plus importants, très favorable à la pile de MM. de Lalande et Chaperon, car il montre que la consommation est théorique, c'est-à-dire que l'action locale est pratiquement nulle. L'énergie que la pile est susceptible de fournir est donc disponible à volonté par fractions quelconques, sans qu'on soit obligé de toucher aux éléments pour retirer le zinc du liquide.»

La constance remarquable du débit doit être surtout attribuée à ce que le produit de la réduction est du cuivre métallique bon conducteur. »



— Pile de Lalande et Chaperon (élément en obus).

MM. de Lalande et Chaperon ont donné à leur élément une autre disposition, très avantageuse, qui le rend facilement transportable, et lui donne une très grande solidité. Nous voulons parler du modèle en obus représenté ici. Le vase extérieur, au lieu d'être en verre, est formé par une sorte de bouteille en fonte, qui constitue le pôle positif de l'élément. Un tenon, A, sert à fixer la lame A C, formant électrode. Le vase V est paraffiné à chaud, pour empêcher les dérivations et afin de le rendre inoxydable. Une tige de laiton amalgamé K, terminée par la borne F, est fixée au bouchon de caoutchouc, C, et porte un gros cylindre de zinc amalgamé, D. Enfin, une soupape H, formée d'un bout de tube en caoutchouc fendu à sa partie supérieure, termine un petit tube métallique qui traverse le bouchon F.

L'élément en obus est surtout employé pour les téléphones et les sonneries d'appartements.

Il en existe un modèle à grande surface qui peut donner un débit allant jusqu'à dix ampères, et s'emploie aux mêmes usages que les éléments Bunsen ou à bichromate de potasse.

La pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon a l'avantage d'être d'une grande surface et de ne produire aucune émanation pénible. Aucune réaction ne se produit tant que le circuit est ouvert. Quand le courant est fermé, le zinc se dissout dans la potasse, en formant du zincate de potasse, et le gaz hydrogène qui se dégage réduit l'oxyde de cuivre.

Ce dernier peut être ramené à l'état d'oxyde, en le chauffant au rouge, et il peut servir à de nouvelles opérations.

La Pile Perreur-Lloyd et fils

On brûle du zinc dans les piles pour obtenir un courant ; la dépense de zinc est le prix de l'énergie électrique engendrée, mais ce mode de production est coûteux, car le résidu de l'opération n'a pas de valeur. Ne pourrait-on pas obtenir aussi bien un courant en brûlant un métal qui produirait un sel possédant une valeur vénale ? C'est le problème que M. Perreur a résolu.

Il brûle du cuivre en l'attaquant par un liquide excitateur composé d'acide sulfurique et d'acide azotique ; il recueille le sulfate de cuivre résultant de la réaction et condense les vapeurs nitreuses.Pour réduire encore la dépense, l'opération est conduite de telle façon que le liquide excitateur épuisé soit de nouveau utilisable comme liquide dépolarisant. Bref, il se perd le moins de substances que possible. Comme les électrodes solubles peuvent être constituées de déchets qu'on achète à bas prix, et que les sels sont obtenus sous la forme la mieux appropriée pour en faciliter la vente, on arrive à engendrer l'électricité d'une façon relativement économique. Yoilà vraiment la pile de l'avenir.

MM. Perreur-Lloyd et fils ont adopté le type de la pile de Bunsen à électrodes de charbon et de cuivre ; le liquide excitateur est un mélange de trois équivalents d'acide sulfurique pour un équivalent d'acide nitrique dans un état de concentration déterminé pour attaquer le cuivre ; quand l'acide est en partie neutralisé, on y mélange un volume d'acide sulfurique pour le faire servir de dépolarisant. On active les réactions en chauffant la pile par un courant de vapeur. Les résidus sont dirigés vers des cuves de cristallisation.

Le dispositif des éléments est très rationnel, mais un peu compliqué ; cet inconvénient est amplement compensé par les résultats, qu'il était impossible d'obtenir plus simplement. On transforme la pile en un appareil qu'on appellerait avec plus de raison chimico-électrique qu'électro-chimique, car le produit est une substance chimique alors que l'électricité n'est qu'un sous-produit. Ainsi on a transformé de vieilles rognures de laiton en sulfate de cuivre et en sulfate de zinc, lequel a encore servi à la fabrication d'ammoniaque et de blanc de zinc.

Le même procédé pourrait conduire à la formation d'autres sels dont la vente serait encore plus productive.

La Pile Bablon

M. Bablon a inventé un commutateur automatique, pour le chargement des accumulateurs qui lui a valu une mention honorable : cet appareil permet de charger un groupe d'accumulateurs montés en tension par une source de force électromotrice moindre, en prenant les pôles du générateur primaire et en les portant successivement sur les pôles de chaque accumulateur et en répétant cette opération à tour de rôle sur chacun d'eux. L'idée est ancienne déjà et elle avait appliquée autrefois par M. Thomsen, de Copenhague, à la charge d'une batterie de piles à gaz : mais le dispositif de M. Bablon est nouveau et ingénieux. Il a adopté à son projet une sorte de cylindre d'orgue de Barbarie disposé au-dessus d'un clavier mettant tour à tour en contact les pôles des piles primaires et secondaires : ce cylindre peut être mû par un poids, un ressort ou bien un petit moteur électrique.

La Pile Semn

Prenez un bloc de bois imperméabilisé, et creusez à la suite l'une de l'autre un certain nombre de cavités, dans lequel vous logerez un zinc et un charbon baignant dans un liquide acide, puis fermez hermétiquement les ouvertures. Vous formez ainsi une pile, qui pourra fonctionner très longtemps et actionnera sans défaillance des allumoirs de tout genre. Nous venons de décrire la pile de M. H. Serrin, récompensée par une mention honorable.

La Pile O'Keenann

M. O'Keenann a complètement transformé la pile de Daniell en rendant son fonctionnement automatique, de sorte qu'on n'ait plus à en démonter les éléments pour assurer leur entretien : ce résultat est obtenu par un ingénieux mode de distribution et de renouvellement des liquides.
Nous retrouvons dans cette pile, le zinc, au pôle négatif, baignant dans le sulfate de zinc ; des lames de plomb cuivré forment l'électrode positive, plongée dans le sulfate de cuivre. C'est donc une pile de Daniell. Mais la lame de zinc est entourée d'un fourreau de papier parcheminé, ouvert en haut et en bas, et elle occupe la partie centrale de l'élément ; ce fourreau forme un vase poreux sans fond.
Le liquide de la pile est constitué par trois couches distinctes, superposées par ordre de densité : il y a du sulfate de zinc au fond du vase et dans le fourreau central ; au-dessus, se trouve une solution de sulfate de cuivre surmontée d'une couche d'eau pure. Le fonctionnement de la pile produit du sulfate de zinc qu'il faut éliminer ; le sulfate de cuivre doit être maintenue à saturation et l'eau pure consommée doit être renouvelée pour assurer la marche des réactions. Voyons comment M. O'Keenann réalise ces diverses conditions : il est arrivé après quelques tâtonnements à un. dispositif simple, pratique, voire même élégant ; du reste, tout ce qui est simple et pratique devient facilement élégant.
L'eau pure arrive à la partie supérieure de la pile goutte à goutte, en s'écoulant d'un réservoir élevé ; le robinet de débit en donne un excès qui surnage en vert de sa moindre densité et dont on se débarrasse par un déversoir de trop plein.
Une trémie renferme les cristaux de sulfate de cuivre et les fait tomber dans la pile au fur et à mesure de leur dissolution : la partie moyenne du liquide est donc maintenue à saturation.
Le sulfate de zinc formé s'accumule au fond des vases : il est évacué par un tuyau de descente, partant du niveau supérieur qu'on lui permet d'atteindre et débouchant dans un godet de mercure. L'extrémité du tuyau est donc immergée dans le mercure, et les colonnes de sulfate de zinc dans le tuyau et de mercure autour de ce tuyau se font équilibre. Si le niveau du sulfate s'élève dans la pile, cet équilibre est rompu et ce liquide s'écoule en traversant le mercure. Il n'y a donc à régler, une fois pour toutes, que l'arrivée d'eau et la hauteur du mercure dans le godet.
M. O'Keenann réunit dix éléments dans une caisse à parois de verre ; des planchettes de sapin paraffiné forment cloison entre eux.
On dispose les accumulateurs, qu'on veut charger au-dessous de la pile.
D'après M. Hospitalier, qui a rendu compte de cette pile dans l'Électricien, cette pile peut fonctionner plusieurs mois sans être démontée et sa conduite peut être confiée au premier venu. Nous avons cherché en vain le nom de M. O'Keenann sur la liste des récompenses : nous pensions l'y trouver.

La Pile Yoltagène Paillard
M. Paillard désigne sous le nom de voltagène une pile de Daniell modifiée, à alimentation continue et automatique.
La modification de l'élément porte sur le zinc, qui est entouré d'une composition adhérente, perméable au liquide ; de plus, le plomb gondolé et percé de trous remplace la lame classique de cuivre.
Le sulfate de cuivre est débité par un grand réservoir, muni d'une soupape à réglage électrique, commandée par un électro-aimant monté en dérivation sur le circuit ; plus le courant est intense, plus la soupape est levée, de telle sorte que l'alimentation soit toujours proportionnelle 'au travail demandé à la pile. Le liquide tombe dans un distributeur à siphon intermittent, qui dessert tous ies éléments par une longue gouttière.
L'extraction du sulfate de zinc produit et accumulé au fond de la pile se fait par un siphon à mèche, qui ne s'amorce que lorsque le liquide atteint dans la pile un niveau déterminé.

La Pile Grendron
M. Grendron a obtenu une médaille de bronze pour l'ingénieux système de distribution qu'il a su réaliser. Sa pile est l'élément classique de Poggendorff dont l'excitation est faite par l'eau acidulée et la dépolarisation par un bichromate alcalin : de ce côté rien de nouveau. Mais la disposition des éléments est tout à fait différente de ce qu'on faisait jusqu'ici.
Le vase poreux a une forme sinueuse : il se replie six fois sur lui-même et renferme six électrodes de zinc; sa largeur est de 25 millimètres au plus. C'est donc un canal sinusoïdal dans lequel circule de l'eau acidulée. Entre ses replis sont logées six plaques de charbon : le liquide chromique circule le long des parois du vase et en suit tous les contours, attendu que les charbons qui sont encastrés par une extrémité dans la paroi de la caisse dessinent un canal parallèle à la surface de terre poreuse. Les liquides lavent donc les électrodes et cette circulation produit les meilleurs résultats.
De grands vases distributeurs alimentent les piles, disposées sur des rayons d'un meuble analogue à une bibliothèque : après leur parcours, les liquides sont évacués par des robinets spéciaux. Leurs boisseaux sont des cylindres allongés, ayant toute la hauteur de l'élément ; l'eau acidulée, chargée de sulfate de zinc, est prise à la partie inférieure, remonte dans le noyau et s'écoule par un trou. En tournant le boisseau, on peut opérer une vidange complète et mettre les vases à sec. Ûn robinet du même genre évacue goutte à goutte le bichromate épuisé.
On a constaté que cette pile peut fonctionner une quarantaine d'heures : une batterie peut donc être appliquée à l'éclairage domestique, et, grâce à une pompe et à une heureuse disposition de l'ensemble, la manipulation en est extrêmement aisée.

La Pile Lagarde
L'inventeur a cherché à créer une pile domestique : c'est une pile au bichromate, à un seul liquide, dont les électrodes peuvent être manœuvrées à distance : à cet effet, elles sont toutes fixées à une couronne, attachée elle-même à l'extrémité d'un grand fléau de fer équilibré, qu'on peut faire basculer autour de son centre d'oscillation, en agissant sur un renvoi de mouvement, dont la forme change avec la disposition des lieux.
La couronne sert de support aux zincs et aux charbons : ces électrodes sont de grandes lames de 200 millimètres de longueur sur 130 millimètres de largeur; elles sont percées de troüs. M. Lagarde les dispose radialement, et leur groupe ment en tension est obtenu au moyen de lames de cuivre encastrées dans l'épaisseur de la couronne. La cuve est divisée en autant de compartiments qu'il y a de paires d'électrodes, munis chacun d'un siphon qui remonte le liquide épuisé et le rejette au dehors : le liquide neuf, débité par un réservoir supérieur, est conduit aux compartiments par un distributeur à rigoles de plomb.

La Pile Arnould
Une pile de 12 éléments peut alimenter 25 bougies : son rendement le plus avantageux correspond à une intensité de 5 ampères par 15 volts.
Les qualités de la pile Lagarde ont été reconnues par une médaille de bronze.
Le pôle positif de cette pile est formé de fragments de coke, sur lesquels le contact s'opère par une large feuille de plomb, qui double le vase de l'élément ; c'est un moyen ingénieux de réduire la résistance ; un liquide chromique baigne le coke. Le zinc et l'eau acidulée sont renfermés dans le vase poreux central.
L'alimentation se fait encore en dérivation : le liquide est fourni par un récipient de grande capacité dont le débit est réglé par un robinet. Ce récipient est clos, et le liquide ne peut s'en écouler qu'à la condition d'y faire rentrer de l'air bulle pour goutte : or, la rentrée de l'air est réglée par le courant lui-même. En effet, un électro-aimant, animé par une dérivation du courant, forme un e soupape quand l'intensité est supérieure à la normale, tandis qu'elle l'ouvre largement aussitôt que l'intensité diminue : on se rend facilement compte de ce dispositif.

La Pile de Mare & Besnier
Le liquide de cette pile est obtenu en dissolvant du bichromate d'ammoniaque dans de l'eau fortement acidulée par de l'acide sulfurique ; cette dissolution remplit le double rôle d'excitateur et de dépolarisant, et elle est caractérisée par une capacité considérable, ce qui en recommande l'emploi.
L'électrode conductrice est en charbon ; l'électrode soluble est constituée par de la grenaille de zinc noyée dans le mercure, ce qui entretient une richesse constante d'amalgame, attendu que le zinc se dissout dans le mercure à mesure qu'il se consume dans la pile. Le brevet de Mare signale aussi la possibilité de l'emploi d'un amalgame de sodium.
La caisse de la pile est formée d'une double série de lames de charbon enchâssées dans les rainures d'un cadre de bois imperméabilisé. Les plaques extrêmes sont enivrées ; l'intervalle des doubles lames est rempli de coke concassé. Des couvercles hermétiques ferment la caisse. La grenaille de zinc est renfermée dans une cuvette de terre poreuse.
Cette pile est à écoulement. Le liquide est débité goutte à goutte par un ingénieux distributeur, qui débouche à la partie supérieure de la caisse étanche, et il traverse la pile pour s'écouler par la partie inférieure ; il s'échappe par un siphon.
La distribution du liquide se fait par dérivation et c'est peut être le caractère le plus original de ce dispositif : c'est pourquoi nous jugeons nécessaire de le décrire complètement. Le liquide est renfermé dans une grande bouteille, munie d'un tuyau latéral d'écoulement à robinet ; un tube de verre deux fois recourbé part du bouchon et vient aboutir à côté de l'orifice du tuyau d'écoulement. Ce tuyau et le tube débouchent dans une ampoule de verre placée au-dessus de la pile. Ce

robinet étant ouvert, le liquide remplit l'ampoule ; bientôt le tube est noyé, et alors la pression diminue dans la bouteille, puisque l'air n'y pénètre plus ; l'écoulement cesse donc, mais il reprendra dès que, le liquide ayant baissé dans l'ampoule, l'extrémité du tube d'air sera de nouveau dégagée. On obtient ainsi un écoulement constant, sous l'influence d'une différence de pression constante.
La pile de Mare convient aussi bien à l'éclairage direct qu'à la charge des accumulateurs.

La Pile Sappey
Cet élément est exposé par l'Automatic Electrical corporation : il reproduit le type Poggendorff, mais présente quelques modifications dans la disposition relative des électrodes. Le zinc et l'eau acidulée sont à l'extérieur, tandis que le vase poreux renfermant le charbon et le bichromate occupe le centre ; le vase poreux est double, et les charbons forment un faisceau, ce qui diminue la résistance intérieure.
Cette pile n'est plus à circulation, mais à renouvellement total des liquides épuisés ; au bout d'un temps déterminé, la pile est vidée et rechargée, cette opération se faisant automatiquement, de la manière suivante. Le dispositif est le même pour les deux liquides, et nous n'aurons qu'une description à en donner.
Le liquide est débité par une soupape et évacué par une autre, commandées toutes deux par un appareil électrique mis en jeu périodiquement par une horloge. La première soupape déverse le liquide d'un réservoir dans un bac intermédiaire en plomb, muni d'un siphon qui ne s'amorcera que lorsque le liquide aura atteint un certain niveau. A ce moment, le liquide se déverse dans une rigole de distribution en faisant mouvoir un basculeur dont nous verrons tout à l'heure le rôle .
Le liquide est amené par une canalisation aux éléments dans lesquels il pénètre par le fond ou par le côté. L'évacuation a lieu quand la même horloge ouvre la soupape de vidange. Yoici comment se font simultanément ces deux opérations: à l'heure voulue, l'horloge fait ouvrir les deux soupapes; la soupape de vidange étant plus grande que celle d'alimentation, la purge est achevée avant que le bac intermédiaire ne soit rempli et que le siphon n'ait fonctionné ; le bas-culeur rompt le circuit en se renversant, et les deux soupapes se ferment, de sorte que le remplissage de l'élément se fait alors par le débit du siphon. Il est donc impossible que le liquide passe directement à la vidange : ce système est extrêmement ingénieux et vraiment remarquable. Le bichromate est renouvelé toutes les trois heures, alors que l'eau acidulée reste en service plus de 12 heures. Les tuyaux de la canalisation pourraient créer des dérivations du courant ; on les évite en intercalant des portions isolantes de tubes de verre.
On a appliqué très heureusement la pile Sappey à la charge des accumulateurs.

La Pile Kornfeld
Un des défauts les plus ordinaires des piles, c'est d'être encombrantes. M. Kornfeld a réussi à réduire leur volume au minimum.
A cet effet, il emploie des vases plats en charbon, cuivrés à l'extérieur, dans lesquels peuvent descendre des lames de zinc assemblées parallèlement et formant un châssis de 40 plaques, qui vont glisser dans des coulisseaux et qu'on manœuvre à l'aide d'un treuil.
Les liquides se distribuent par deux séries de tuyaux d'alimentation et d'évacuation, dont on règle le débit par des robinets.
Une batterie de 40 éléments, d'une puissance de 750 watts, occupe une surface de 90 décimètres carrés. C'est une pile chromique.

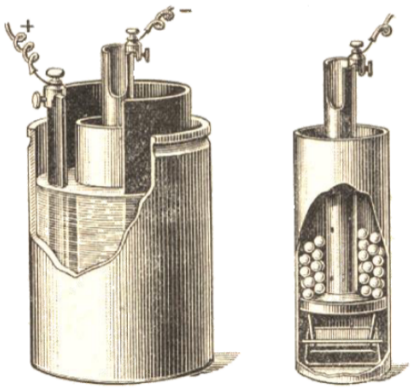
1881 Camille Alphonse Faure 1840 est un ingénieur chimiste français qui a, de façon significative, amélioré le design de la batterie inventée par Planté 1859. Les améliorations de Faure ont beaucoup augmenté la capacité de la batterie et ont mené directement à sa fabrication sur une échelle industrielle. En 1880, Faure fit breveter une méthode pour enrober les plaques de plomb avec une pâte faite de plomb oxydé, d'acide sulfurique et d'eau. Les plaques étaient ensuite séchées et doucement réchauffées dans une atmosphère humide. Lors du séchage la pâte se changeait en une mixture de sulfates de plomb, qui adhérait à la plaque de plomb.
Le grand scientifique anglais, Sir William Thomson, fut fou d'enthousiasme lorsqu'on lui apporta de Paris une « boîte d'électricité » Faure contenant un million de pieds-livres d'énergie stockée. Son biographe, le Dr Sylvanus P. Thompson, le décrit alité, malade, avec une jambe blessée, observant les résultats avec une lampe à incandescence fixée au rideau de son lit par une épingle de sûreté et éclairée par le courant de la petite pile Faure. Sir William déclara : « *Ce sera une invention extrêmement précieuse et pratique, aussi précieuse que les citernes d'eau pour les gens, qu'ils aient ou non des systèmes de canalisations et d'approvisionnement en eau*. » En effet, dans un élan de louange, le physicien avisé remarqua qu'il y voyait « la concrétisation de l'aspiration scientifique la plus ardente et la plus profonde de sa vie – une aspiration qu'il osait à peine espérer ou voir se réaliser. » Un peu plus tard, cependant, Sir William, toujours prudent et rusé, commença à découvrir les défauts inhérents à la batterie primitive, tels que la désintégration, l'inefficacité, le coût, etc., et, malgré des incitations alléchantes, refusa de prêter son nom à son introduction financière. Il accepta néanmoins le principe comme valable et mit la batterie en pratique.

En 1881 Le Bureau international des poids et mesures choisit de nommer l'unité de potentiel électrique le « **volt** », en référence à Volta.
La pile Volta permet de nouvelles avancées sur l'électricité, comme l'hydrolyse et les batteries.
Avec cette pile énorme et puissante, les physiciens et les chimistes français, Gay-Lussac, Thénard, Ampère, Arago et bien d'autres purent à leur tour travailler et faire de grandes découvertes. Il en alla de même en Angleterre où la pile créée par la " Royal Institution " de Londres atteignit 800 cellules.

Le 19 Avril 1881, Gustave Trouvé fait circuler à Paris, rue de Valois un tricycle doté de batteries et d'un moteur électrique.

Trouvé met en place un atelier dans le centre de Paris, où il brevette de nombreuses applications très diverses dans le domaine de l'électricité, inventions décrites régulièrement par les magazines de vulgarisation scientifique de l'époque telles que La Nature. Pour alimenter ses automates électriques miniatures, il invente une batterie de poche carbone-zinc qui devient rapidement très populaire. Une batterie similaire a été inventée et largement commercialisée par Georges Leclanché.

La Pile Radiguet



15, Boulevard des Filles-du-Calvaire. 5

PILES CONSTANTES RADIGUET

Diplôme d'honneur 1887, 3 Médailles d'Or, Rouen 1884. – Paris 1885, 1886

Sans Odeur

REMPLAÇANT LA PILE BUNSEN POUR LUMIÈRE ET GALVANOPLASTIE

Voir le Journal " *Le Cosmos* " du 12 Avril 1884, N° 15, pages 177-183

Nous avons construit nos **Piles constantes** pour les usages de longue durée : mise en marche des moteurs domestiques, la galvanoplastie, **l'éclairage des lampes à incandescence**, les **expériences de cours, etc.**

C'est un perfectionnement de la Pile Poggendorff.

Elle ne donne lieu à *aucune odeur* ni émanation malsaine ; les *zincs ne s'encrassent pas*, ils offrent relativement aux charbons, une petite surface et le liquide dépolarisant, extra riche en oxygène, s'y trouve en assez grande quantité pour permettre, avec une grande constance, une grande durée.

C'est après des expériences continues, répétées pendant plusieurs années, que nous affirmons aux professeurs, aux industriels galvanoplastes, aux amateurs et même aux jeunes gens, qu'ils pourront sans aucun danger et en toute certitude de succès, obtenir par l'emploi de nos piles constantes, des dépôts galvaniques parfaits, la marche régulière des moteurs ou un éclairage facile et constant des lampes à incandescence.

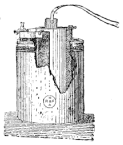
Enfin, nos piles *peuvent remplacer dans toutes leurs applications les éléments Bunsen*, sans présenter les inconvénients de ces derniers.

La force électro-motrice d'un élément est de 2 volts 15, mesure prise par M. E. Hospitalier, professeur à l'Ecole de physique et de chimie de la Ville de Paris.

Comme confirmation de la valeur de cette pile, il nous suffira de dire qu'elle a eu dès son apparition, beaucoup d'imitateurs et que, sous divers noms, elle est maintenant la seule recommandée par tous les constructeurs et marchands électriciens pour les emplois désignés ci-dessus.

N° 1. - 15 cent. de haut.
3 Charbons
3 fr. 50

N° 2 – 21 cent. de haut
4 Charbons
6 fr. 50



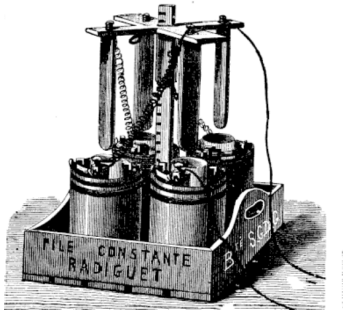
Voir pour la charge et l'entretien page 8.

Fig. 4.

Nos livraisons sont accompagnées de notre brochure, " *L'Eclairage à domicile par la Pile Radiguet* " où l'on trouvera tous renseignements pour la charge, le montage et l'entretien ainsi que les devis pour l'éclairage d'une ou plusieurs lampes.

RADIGUET, A PARIS.

C'est une pile à deux électrolytes : eau acidulée et bichromate de potassium
Elle dispose d'un support à amalgamer qui permet de supprimer le relevage de l'électrode en zinc. Ce dispositif entretient la couche de mercure à la surface du zinc. De plus il permet d'utiliser des déchets de ce métal (rognures ou billes de zinc) que l'on introduit périodiquement dans la pile comme on met du charbon dans un fourneau.Une telle pile avec une fem d'environ 2,1 V est capable de débiter plus de 1 Ampère **.**



La maison Radiguet a acquis une juste notoriété par les heureuses dispositions qu'elle a données à la pile de Poggendorff : elle a obtenu une médaille d'argent.
Les éléments Radiguet sont constitués par 4 lames de charbon qui entourent le vase poreux renfermant le zinc : on en forme des batteries en les groupant en deux rangées parallèles, surmontées d'un treuil pour le relèvement des zincs.
Un modèle, dit à bascule, a obtenu un légitime succès, car il permet non-seulement de retirer le zinc de l'eau acidulée, mais encore d'isoler le bichromate du liquide excitateur, ce qui est avantageux, car on sait que les liquides se mêlent à travers la paroi des vases poreux. Pour cela, ces vases ont reçu la forme d'un cœur à deux lobes très découpés, de façon à former deux vases distincts situés à angle droit l'un par rapporta l'autre: un des lobes est perméable, l'autre est émaillé, donc rendu imperméable. Le premier trempe dans le bichromate quand l'élément est en service ; l'autre est en l'air.4 mais à l'état de repos, on fait basculer le cœur, de manière à retirer la portion poreuse du liquide : le zinc suit ce mouvement et l'eau acidulée se déverse dans le lobe émaillé. D'une main, on fait mouvoir tous les éléments d'une batterie : ce dispositif assure une durée beaucoup plus grande des zincs et des liquides.

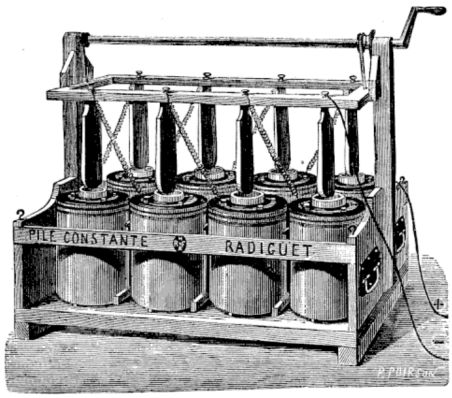


Fig. 7.

N° 104. GRANDES BATTERIES A TREUIL A ELEMENTS COUVERTS

fonctionnant 35 à 40 heures à circuit fermé sur les Lampes

ACCESSOIRES DE PILES CONSTANTES

Fig. 11.

1015
VASES GRÉS émaillés
15 cent. 0.75
21 cent. 1.50

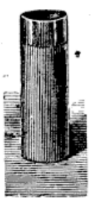


Fig. 12.

1016
VASES POREUX spéciaux
15 cent 0.35
21 cent 0.80

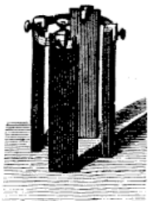


Fig. 13.

1017
CHARBON ISOLÉ tête paraffinée
15 cent..... 0.40
21 cent 0.70

Fig. 14.

1018
COURONNE avec
5 charbons
9 fr. 50

M. Radiguet a créé un autre modèle de pile qui est réellement pratique : c'est une pile domestique.

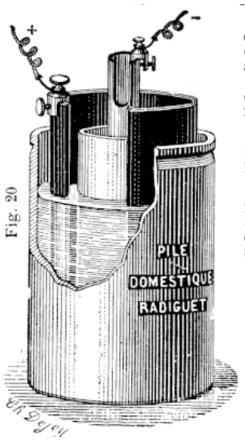


Fig. 20

DESCRIPTION. — Chaque élément se compose : d'un vase grès, d'un charbon circulaire, d'un vase poreux, d'un support à amalgamer et sa cuvette.

Ces diverses pièces se plaçant l'une dans l'autre, comme le font voir les figures ci-contre.

Le nombre d'éléments composant la batterie variera suivant le travail à exécuter.

Pour la **Galvanoplastie**, 2 éléments sont suffisants.

Pour la **Lumière**, il faut :

2	Eléments	pour	les lampes de	1/2 bougie.
4	—	—	—	1 à 2 bougies.
6	—	—	—	3 à 4 —
8	—	—	—	5 à 6 —

et ainsi de suite en augmentant d'environ 1 élément par bougie.

Chaque élément de 21 cent. de hauteur : 12 fr.

Nous fabriquons des éléments de grandes dimensions pour applications industrielles : mise en marche des Bobines pour inflammation des moteurs à gaz ou à pétrole, etc.

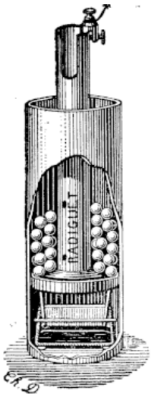


Fig. 21.

Notre procédé breveté pour l'entretien de l'amalgamation des zincs repose sur diverses observations personnelles qui nous ont amené à constater le **transport électrique** du **mercure** contenant des traces de zinc sur le **cuivre rouge,** en contact avec lui.

Ces remarques nous ont conduit à la construction de notre **support à amalgamer,** lequel se compose d'un tube portant une espèce de corbeille, destinée à recevoir le zinc sous forme de fragments de grosseur variable.

Sous la corbeille, et reliée avec elle par 2 pattes formant conducteur, est une cuvette contenant l'amalgame destiné à entretenir l'amalgamation du zinc. *(Cet amalgame ne s'use jamais).*

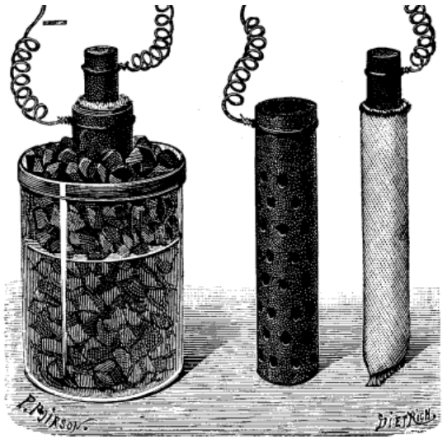
Support à amalgamer (fig. 21)	2.25
Cuvette avec goupille	0.65
Amalgame, les 100 grammes	1 »
Zinc en billes ou cylindre, le kilog	1.40
Zinc en déchets, le kilog	1.15
Vase poreux 21 %	0.80
Charbon circulaire	5 »
Vase verre	1.50

Cette pile s'impose pour la charge continue des accumulateurs.

Les éléments qui la composent sont placés sur une cuve en bois garnie de plomb ou vernie au bitume de Judée ; elle forme gouttière et a un écoulement au dehors. Chaque élément est composé sur le type de Poggendorff, mais le charbon est au dehors du vase poreux et le zinc à l'intérieur. Le charbon a la forme d'un cylindre ; le zinc est à l'état de rognures ou de déchets, contenus dans un appareil spécial, appelé par l'inventeur le support à amalgamer. Cet appareil se compose d'un tube en cuivre rouge portant à sa base une sorte de corbeille destinée à recevoir les fragments de zinc ; sous cette corbeille est suspendue, par deux tiges de cuivre, une cuvette remplie d'un amalgame tenant un peu de zinc en dissolution. Par une action que M. Radiguet croit électrique, mais qui pourrait être capillaire, le mercure grimpe le long du support et maintient le zinc de la corbeille dans un parfait état d'amalgamation, pendant plusieurs mois. La manipulation des liquides se fait à l'aide d'un siphon, qu'on amorce en soufflant et qu'on désamorce aussi en soufflant, sans avoir à boucher la branche d'écoulement : on peut souffler à la bouche ou employer une poire en caoutchouc. Grâce à ce siphon, on renouvelle à volonté les liquides, qui tombent sur la table à gouttière et sont évacués au dehors. Tout est ingénieux dans cette pile, qui donne du reste d'excellents résultats. Nous signalerons encore la Pile Tommasi et Radiguet.

La Pile Tommasi et Radiguet

Au centre d'un vase de verre cylindrique se trouve un bâton de charbon recouvert d'une couche épaisse de peroxyde de plomb (PbO_2), et le tout est renfermé dans un sac en toile .



Cette électrode, ainsi enveloppée, est placée dans un tube de charbon percé de trous ; le tout est mis dans un vase de verre rempli de fragments de charbon de cornue et d'une solution concentrée de chlorure de sodium additionnée de chlorure de calcium ; le niveau de cette solution ne doit pas dépasser le milieu du vase de verre. Les fragments de charbon qui ne sont pas mouillés sont recouverts d'une couche de chlorure de calcium.

Cette pile, dont la f. c. m. est de 0,6 à 0,7 volt, ne travaille qu'en circuit fermé.

Comme elle se polarise rapidement, elle ne convient que pour les applications qui réclament un courant intermittent.

1885 La Pile à oxyde de cuivre de Lalande et Chaperon

Cette pile utilise comme "liquide excitateur" (nous disons électrolyte de nos jours) une solution de potasse à 30 ou 40 %.

Le dépolarisant est de l'oxyde de cuivre qui peut être sous forme de poudre ou de briquette de poudre comprimée.

L'électrode négative est un barreau de zincamalgamé et l'électrode positive est un conteneur en acier rempli d'oxyde de cuivre.

Cette pile est d'un fonctionnement remarquable, mais la force électromotrice d'un élément n'est pas très élevée et ne dépasse pas 0,9 V.

En France, cette pile a été produite et commercialisée à partir des années 1885 par différentes entreprises et en particulier par la Société DE BRANVILLE et Co à Paris qui fournissait l'Administration des Postes et Télégraphes.

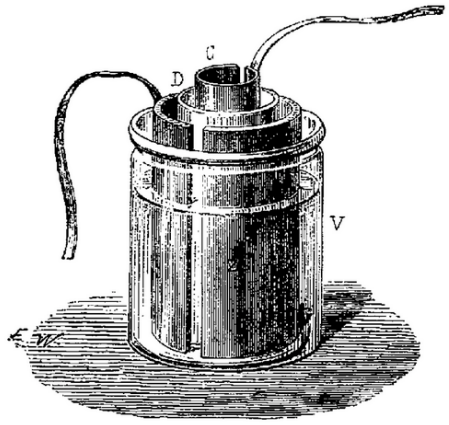
Elle a été produite en grande série, à la même époque, par Edison aux Etats-Unis

1887 la pile sèche « bâton »

YAI Sakizo est sans doute assez méconnu en France, il est en effet rare de trouver son nom sur les sites français dédiés aux piles électriques. On en parle un peu sur les pages en anglais et bien sûr en japonais. Même sur Wikipédia, il n'existe manifestement qu'une page en japonais qui lui soit consacrée… A ses débuts, YAI Sakizo n'était pas spécialement intéressé par les piles. Il était plus séduit par l'horlogerie, il est d'ailleurs l'inventeur d'une « montre continue électrique » en 1885.

Or la pile qu'il utilise pour son invention est une « pile Leclanché », du français Georges Leclanché, avec laquelle il éprouve quelques difficultés en raison de la solution qu'utilise cette pile. C'est là qu'il décide de se pencher sur ce problème de pile et qu'il met au point un tout nouveau produit en 1887. S'en suivra une bataille Yai-skizo-Leclanché juridique qui s'achèvera finalement sur la reconnaissance de YAI: sa pile a été brevetée en 1892. Sa présentation au monde (à Chicago) en 1893 suscitera enfin l'intérêt d'une très grand nombre de personnes. Son succès sera confirmé par une grande utilisation durant la guerre sino-japonaise de 1894-1895.
Ce n'est qu'en 1910, à la toute fin de l'ère Meiji, que naîtra la société « les piles sèches YAI » dont les formes seront celles que l'on connaît toujours aujourd'hui. Yai-skizo s'éteindra en 1927 et sa société disparaitra en 1950. Sans doute en raison d'une trop grande concurrence de tous les géants que l'on connait aujourd'hui dans le domaine de l'électricité et électro-ménager comme Panasonic, Toshiba et autres.
Il n'en reste pas moins que c'est bien lui qui a mis au point ces piles que nous utilisons toujours énormément à travers le monde

La pile Daniell
Inventée en 1836 par John Frederic Daniell, elle est constituée par une lame de cuivre et une lame de zinc, chacune plongeant dans une solution de l'un de ses sels. Par suite de l'existence de la différence de potentiel métal/solution, lorsque les deux compartiments communiquent par une jonction électrique, il s'établit une tension entre les deux conducteurs métalliques. Quand la pile fonctionne, le courant va du pôle + au pôle -, ce qui correspond à une circulation d'électrons en sens inverse. Au total, il y a dépôt de cuivre et dissolution du zinc, selon la réaction globale : Cu2+ + Zn ? Zn2+ + Cu. C'est la réaction qui se produit spontanément si on trempe une lame de zinc dans une solution d'ions cuivriques. Mais l'intérêt du montage précédent est de permettre la récupération de l'énergie de cette réaction sous forme d'électricité. (? électrochimie.)



Lorsque M. Daniell fit les premiers essais de cette nouvelle disposition de la pile, il remarqua, en enlevant un fragment de cuivre qui s'était déposé sur le cylindre de cuivre C, que les éraillures de ce conducteur de cuivre se trouvaient fidèlement reproduites sur le cuivre précipité, provenant de la décomposition du sulfate de cuivre. Cette observation aurait pu conduire à la découverte de la galvanoplastie ; mais, comme M. Daniell portait alors toute son attention sur la marche et la construction de son instrument, il ne poussa pas plus loin l'examen de ce fait.

1899 la pile Waldemar Jungner, Suède Jungner invente la pile au nickel-cadmium.

Extrait de "LES PILES ÉLECTRIQUES A l'Exposition Universelle de 1889" PAR A. WITZ

C'était le beau temps des piles, alors que, en 1813, Napoléon offrait à l'École Polytechnique une pile de 600 éléments, mesurant 9 décimètres carrés par électrode : « Pourquoi, avait dit l'empereur à Berthollet, pourquoi avez-vous laissé faire à Davy ses belles découvertes ? » — « et Sire, lui fut-il répondu, nous n'avons pas de pile aussi puissante que la sienne. » — « Eh bien ! qu'on en construise une sur le champ, et qu'on n'épargne ni soin, ni dépense. » Davy disposait de 400 éléments quand il décomposa la potasse ; les savants français en possédaient maintenant 600, mais ils avaient manqué l'occasion. Du reste, les anglais se piquèrent d'honneur et ils ouvrirent une souscription pour offrir à leur illustre compatriote 2,000 éléments de 2 décimètres carrés, à l'aide desquels il découvrit bientôt l'arc voltaïque: un riche amateur, nommé Children, fit mieux encore et il construisit des couples gigantesques présentant une surface de 3 mètres carrés ; l'on en assembla 21 pour fondre les métaux les plus réfractaires. Puis Gassiot monta 3,500 éléments : enfin Warren de la Rue et Hugo Muller réunirent 24,400 couples : c'est le plus puissant générateur électroehi-mique qui ait été construit.

Aujourd'hui on n'impose aux piles que de faibles travaux : on leur fait actionner des télégraphes et des téléphones, les chemins de fer les utilisent pour des appels et des signaux, les particuliers les appliquent aux sonneries domestiques et les médecins leur demandent le fluide mystérieux qui guérit tous les maux. Mais on ne monte plus de piles pour les applications qui nécessitent une grande énergie, parce que le cheval-heure ainsi obtenu coûte beaucoup trop cher : au lieu de consommer du zinc, coûtant 80 centimes le kilogramme et donnant 1,700 calories, on brûle du charbon qui coûte 40 fois moins et fournit 4 fois plus de calorique. Une pile de Daniell donne le cheval-heure au prix de 4 à 5 francs alors que le même travail ne revient qu'à 10, 12 ou 15 centimes par les générateurs mécaniques d'électricité : de plus, il faudrait assembler 1,300 Daniell pour une puissance d'un cheval. Les piles chromiques donnent des résultats un peu meilleurs, car il y a un intérêt évident à employer des éléments à potentiel élevé : mais des essais faits il y a quelques années au Comptoir d'Escompte et au Bon Marché pour produire de la lumière par des piles ont démontré que cette solution n'est plus acceptable aujourd'hui. Bref : la dynamo a détrôné la pile.

Et pourtant, la pile a encore sa légende : il y a toujours des inventeurs qui s'ingénient à composer des éléments nouveaux, mais ils ne produisent le plus souvent que du vieux-neuf : il est rare en effet que leur idée n'ait pas été appliquée déjà par un des 250 chercheurs qui ont donné leur nom à une pile. Mais ils ne se découragent pas et les journaux nous annoncent à chaque instant qu'une révolution scientifique va s'accomplir par la découverte de la pile de l'avenir. L'an dernier, un des journaux les plus répandus de France faisait une bruyante réclame au sujet d'une pile merveilleuse que nous avons cherchée en vain à l'Exposition ; quelque temps auparavant on présentait à l'Académie un élément qui devait donner le cheval-heure au prix de 5 centimes, mais il semble ait pris des espérances pour une réalité.
En somme, l'Exposition ne nous a fait découvrir aucune pile qui parût devoir modifier l'état présent de cette branche de l'électricité.
Quelques couples excellents n'ont malheureusement pas été exposés: telles sont les piles au chlore de M. Upward, les piles de grande force électromotrice de M. Corminas, aux métaux alcalins, les piles thermo-électriques de M. Raub, et d'autres encore. A cet égard, nous ne serons pas pessimistes en déclarant que notre grand concours de 1889 présentait de regrettables lacunes, qu'il eût été facile de combler.
Nous n'avons vu d'application vraiment intéressante que celle qui a été faite des couples à l'éclairage domestique, par l'emploi des appareils à écoulement et à circulation automatiques des liquides. Il y avait un bon nombre de piles, construites dans ce but : c'étaient généralement des éléments de composition connue et éprouvée, dont on avait modifié la forme et le dispositif de manière à se prêter à une marche continue, sans exiger de manipulations pénibles.
Nous ne possédons pas encore de solution complète du problème, mais quelques-uns de ces appareils domestiques sont déjà suffisamment pratiques pour qu'on puisse les recommander. Il ne s'agit pas d'organiser par ce moyen d'éclairages importants ; mais si l'on tient à éclairer électriquement un château, une église, une maison d'habitation isolée, si un amateur convaincu veut à tout prix éblouir les amis qu'il réunit dans ses salons, si un dilettante désœuvré et fortuné consent à dépenser de- la sorte son temps et son argent, nous lui conseillerons l'emploi des nouvelles piles, en attendant que des stations centrales distribuent partout l'énergie électrique. En les combinant avec des accumulateurs, on peut se donner le luxe et les facilités d'un éclairage électrique satisfaisant.
Nous avons décrit les couples que nous avons vus à l'Exposition, en limitant toutefois notre étude à ceux que nous avons pu examiner avec soin, ou sur lesquels on nous a fourni des renseignements suffisants ; les journaux spéciaux, parmi lesquels nous citerons VElectricien et la Lumière Électrique, nous ont facilité notre travail. ...

Accumulateur Reynier
Dans cet accumulateur les plaques positives et négatives sont identiques : elles sont formées d'un plissé enchâssé dans un cadre venu de fonte. Ce plissé est obtenu, par le laminage d'une feuille de plomb dans laquelle on imprime des stries et des hachures extrêmement rapprochées ; la feuille est ensuite plissée mécaniquement ; le cadre la maintient et s'oppose à la dislocation produite par ce foisonnement.
On forme les plaques par le nouveau procédé Planté, basé sur une attaque préalable à l'acide azotique ; mais un traitement prolongé à l'eau courante élimine les dernières traces de cet acide énergique ; on évite ainsi le gauchissement du plissé. Les plaques sont séparées par des lanières de gutta et des planchettes de bois pleines, mais très minces : la résistance intérieure est légèrement augmentée par ce dispositif.
Les tiges de connexion sont en nickel et elles sont réunies par des barres nickelées. Mais il existe un autre type, dont les plaques sont amovibles, chacune d'elles portant un crochet qui plonge dans une rigole pleine de mercure.
M. Reynier, dont les travaux sur les accumulateurs sont bien connus, a obtenu une médaille d'argent.

Accumulateur Simmen
Les plaques de cet appareil sont formées par un véritable feutre de plomb, obtenu en faisant couler ce métal à travers une sorte de passoire et en froissant ensemble les fils obtenus. L'étendue des contacts est ainsi considérablement augmentée, mais ce feutre présente d'autre part de sérieux inconvénients, car le plomb foisonne, se dilate et perd de sa perméabilité (*)
(*) M. Howell Crompton avait obtenu un feutre analogue par insufflation d'air dans un bain de plomb fondu : cet accumulateur devait être exposé, mais nous ne l'avons point vu et ne pouvons par suite fournir sur sa construction de plus amples renseignements.

Accumulateur Dujardin
Cet accumulateur appartient encore au genre Planté : ses plaques sont striées et gondolées, puis on les empile l'une sur l'autre et on les maintient par un cadre de plomb massif. Chaque plaque est donc formée de lamelles de plomb mises de champ et elle présente une grande perméabilité ; son épaisseur est de 10 millimètres.
La formation est effectuée dans un bain spécial dont M. Dujardin garde le secret ; elle s'opère, dit-on, en moins de 24 heures. Les plaques négatives s'obtiennent par réduction des plaques positives obtenues d'abord.
Les plaques se trouvent renfermées dans une caisse dont les parois sont en alliage plomb-antimoine : les interstices sont remplis de sable siliceux en gros grains; enfin on mastique par dessus la caisse une lame de verre percée de quelques trous. La résistance de cet accumulateur est assez grande, mais il est parfaitement stable et il donne de bons résultats, ce que le jury a reconnu par une médaille d'argent.

Accumulateur Lejeune
M. Lejeune emploie des lames de plomb striées par un procédé spécial qui doit assurer un large contact aux liquides et des voies faciles aux gaz.

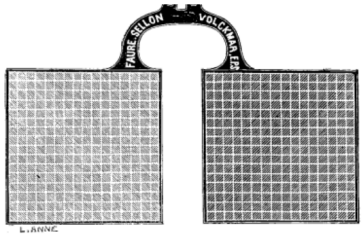
Accumulateur de la Société du Travail électrique des métaux
Cette société emploie les procédés de fabrication de M. Laurent-Cély, qui permettent d'augmenter la capacité de l'accumulateur, tout en lui assurant une grande durée relative. La lame est faite d'un alliage de plomb et d'antimoine et elle est évidée ; on coule dans les trous du chlorure de plomb fondu, puis on plonge cette plaque dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique : il se forme un couple voltaïque, si l'on introduit un cylindre de zinc dans le liquide excitateur, et le chlorure est réduit en formant une masse spongieuse, dont la densité ne dépasse pas 5,7.
La formation de ces plaques est rapide et profonde ; on ne constate point de foisonnement et les plaques positive et négative se conservent bien.
La société du travail électrique des métaux a obtenu une médaille d'argent.

Accumulateur G-arassino
Imaginons que les lames de plomb soient soumises à un traitement électrolytique dans un bain spécial, de manière à les recouvrir d'un dépôt de plomb spongieux et qu'on les comprime ensuite : nous réaliserons ainsi très rapidement des lames à formation profonde. Tel paraît être le procédé Garassino qui nous semble assez analogue au procédé inventé par M. de Montaud ; toutefois, nous ne citons cette analogie que pour mieux faire saisir le genre de préparation que M. Garassino fait subir à ses plaques. Ces plaques sont formées en 8 heures, sans inversion de courant ; elles ne foisonnent pas et sont tellement bien comprimées que leur surface ne peut être rayée à l'ongle : on y voit une sorte de quadrillage, qui empêche la chute de la matière active. M. Garassino a obtenu une médaille de bronze.

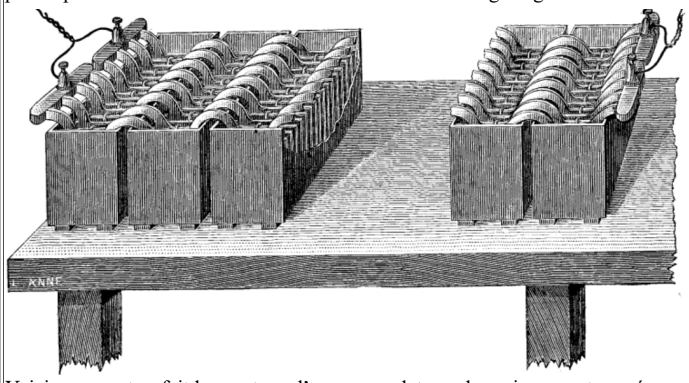
Accumulateur du genre Faure
M. Faure a présenté son accumulateur à sac de feutre à l'Académie des Sciences le 18 avril 1881 ; le Scientifie American a décrit le nouveau modèle à cellules Faure-Sellon-Yolckmar, dans son numéro du 13 mai 1882. Nous avons cru utile de rappeler ces dates avant de commencer la description des accumulateurs de ce genre. La pâte, fixée mécaniquement sur les plaques, était au début une pâte au minium et à l'eau ; l'électrolyse donnait du peroxyde au pôle positif et du plomb métallique au pôle négatif. On a depuis lors essayé des pâtes de minium ou de litharge broyées dans l'acide sulfurique, on y a mêlé de la pierre ponce, du coke en grains, etc.; les avantages de ces diverses compositions ne sont pas encore bien établis, mais ils peuvent présenter un certain intérêt aussi bien au point de vue de la durée des plaques que de leur bon fonctionnement.

Accumulateur Philippart (E. P. S)
MM. Philippart frères exposent l'accumulateur connu sous le nom d'E. P. S., parce qu'il a été la propriété de VElectrical Power Storage Company ; c'est le modèle Faure-Sellon-Yolckmar, modifié dans sa disposition.
Les plaques sont grillagées comme d'ordinaire ; elles sont constituées par un alliage inoxydable et très solide de plomb et d'antimoine. Les alvéoles sont

remplies des pâtes d'oxyde que nous avons indiquées ci-dessus, minium au pôle positif et litharge au pôle négatif.



Ces plaques sont jumelles et amovibles : elles sont assemblées par paire et chaque paire se compose d'une plaque positive et d'une négative, soudées ensemble par nn pont courbe en métal massif venu de fonte avec le grillage.



Yoici comment se fait le montage d'un accumulateur : les caisses sont rangées parallèlement et les plaques jumelles chevauchent de l'une à l'autre, mais elles sont tournées alternativement en sens contraire, de telle sorte que dans une même caisse, une plaque positive succède à une négative et ainsi de suite. Toutes les plaques positives sont reliées entre elles dans la première caisse par une barre qui constitue un pôle de la batterie ; à la dernière caisse, les éléments négatifs sont reliés de même et forment l'autre pôle. Dans les caisses intermédiaires, les plaques positives de la première sont reliées individuellement aux négatives de la seconde, les positives de la seconde aux négatives de la troisième, etc. Des jonctions supplémentaires relient les ponts métalliques en certains points et permettent de faire des prises de courants sur un nombre quelconque d'accumulateurs.
Ce montage assure l'indépendance des plaques, supprime toutes les bornes, facilite l'emballage, le montage et le démontage, le remplacement et l'inspection des plaques : de plus, un court circuit accidentel n'épuise que les plaques en contact. Mais ce dispositif est un peu encombrant, et il n'est possible que pour les installations à poste fixe.
L'écartement des plaques est maintenu soit par des fourchettes de verre, soit par des tampons en caoutchouc ou en ébonite.
MM. Philippart frères ont obtenu une médaille d'argent en même temps que l'Electrical Power Storage Company .
MM. Philippart ont pris, au commencement de 1888, la représentation en France des brevets Faure-Sellon-Volckmar.

Accumulateur G-adot
Ce système est caractérisé par la construction spéciale des plaques grillagées qui sont formées de deux lames rivées, dont les alvéoles présentent une dépouille en sens contraire, de telle sorte que les pastilles soient maintenues et comprimées par le foisonnement. Ces plaques sont suspendues et soudées sur une longue tige en plomb : on obvie ainsi au grimpement de l'eau acidulée, qui ne peut plus atteindre et attaquer les bornes de laiton.
Les accumulateurs Gadot, dont le mérite a été reconnu par une médaille d'argent, sont très répandus : la surface des alvéoles est considérable, ce qui permet de réduire au minimum le poids du plomb inactif sans compromettre la solidité des plaques.
Le plomb employé est un alliage inoxydable.

Accumulateur de la Société anonyme l'Électrique (brevet Julien)
L'accumulateur Julien est une modification, de l'élément E. P. S. qui a été l'objet d'expériences nombreuses à l'Exposition d'Anvers, en 1885, et dont l'application à la traction des tramways a donné des résultats excellents. La carcasse des plaques est constituée par un grillage d'un métal inoxydable, dans la composition duquel il entre 95 parties de plomb, 3,5 d'antimoine et 1,5 de mercure La société Y Electrique a obtenu une médaille d'or pour l'ensemble de son exposition : c'est cette société qui a pris l'initiative des expériences faites en 1885 à Bruxelles, rue de la Loi, pour la traction sur voies ferrées par l'électricité. Une voiture de tramway ordinaire était remorquée par 72 accumulateurs, pesant une tonne environ; quand une batterie était déchargée on la remplaçait par une autre ce qui exigeait dix minutes à peine. On eût pu à la rigueur fournir une carrière de 60 kilomètres par charge, mais on ne dépassait généralement pas 40 kilomètres. Le rendement était d'environ 35 0/0. Mais, si la dépense était encore grande, on a reconnu que les avantages étaient incontestables, et il suffirait de quelques perfectionnements heureux pour que l'électricité remplaçât les chevaux dans les rues de nos cités.
M. Van Vloten a exposé les maquettes de l'installation du chargement des accumulateurs de la Compagnie des Tramways bruxellois. Le jury lui a décerné une médaille de bronze

Accumulateur des Ateliers d'Œrlikon (brevet Schoop)
L'inventeur s'est proposé de prolonger la durée de ses appareils : à cet effet les alvéoles, de forme triangulaire, sont remplies d'une pâte de composition spéciale, ne renfermant que les deux tiers de la quantité de litharge ordinairement employée ; il paraît qu'elles ne subissent dès lors ni foisonnement, ni gondolement.
Les résultats de marche ont été remarquables aux essais, mais on ne peut pas encore se prononcer sur la durée des appareils.
Les ateliers d'Œrlikon ont obtenu un grand prix pour leur belle exposition : l'accumulateur Schoop a contribué sans doute à ce succès.

Accumulateur de Khotinski
Imaginez une caisse, de 60 centimètres de long, partagée en dix compartiments, par des cloisons de verre verticales : chaque compartiment est subdivisé dans sa hauteur en huit parties, par des bandes de verre horizontales, sur lesquelles reposent des plaques, alternativement positives et négatives. Ces plaques d'une même couche de niveau, sont toutes soudées à une forte bande de plomb avec laquelle elles ne forment qu'une pièce ; ces bandes portent des queues de jonction recouvertes d'émail, qui reçoivent les fils. Tel est l'accumulateur de M. de Khotinski.
La constitution des plaques ne présente rien de particulier : la matière active est emprisonnée dans des sillons creusés dans le plomb.
Cet appareil est très employé en Allemagne, et il y donne, dit-on, de fort bons résultats. Il était exposé par M. Daniel Augé.

Il nous reste à signaler les **accumulateurs Hubert**, à pastilles percées ; les accumulateurs Mortelette sans soudure (mention honorable) ; les accumulateurs Jarriant, du type Planté, exposés par "la Société anonyme des applications de l'électricité, et quelques autres, sur lesquels nous n'avons pu recueillir des documents suffisants.
...

L'exposition des accumulateurs, quelque considérable qu'elle parût, était loin d'être complète ; on n'y voyait pas les accumulateurs Elieson, Reckenzaum, Yan Gestel, de Montaud, Tamine, Schenk et Farbaki, etc.; les accumulateurs au cuivre, de MM. Commelin et Desmazures, n'étaient pas représentés : bref, il avait de

grandes et regrettables lacunes.
Et cependant, on ne saurait se dissimuler l'importance énorme des accumulateurs, pour les installations électriques en général, et en particulier pour l'établissement des stations centrales. Tant que les usines électriques seront obligées de suivre heure par heure les besoins de leur clientèle, et de se monter de machines d'après le maximum du débit horaire, elles ne pourront lutter avantageusement contre les usines à gaz, qui produisent le gaz d'après la consommation moyenne de la journée; l'accumulateur est l'équivalent du gazomètre, il remplit la même fonction et joue le même rôle économique. Si l'accumulateur pouvait être utilisé, les stations centrales travailleraient tout le jour à leur maximum de puissance et de rendement.

Or, quel est l'unique obstacle qui s'oppose à leur emploi ?
C'est leur prix élevé d'achat et d'amortissement. On pourrait, en bien des cas, trouver le capital nécessaire à l'acquisition des appareils, mais on est arrêté généralement par la nécessité d'amortir ce capital en quatre ou cinq années ; la durée des accumulateurs est donc la principale cause qui limite leur application ; est-ce-à-dire que l'on ne puisse construire des plaques durables ?
Il serait injuste de le prétendre, car des plaques bien ménagées peuvent servir dix ans ; mais elles seraient hors d'usage, au bout de peu de mois, si l'on effectuait les charges et les décharges avec de trop forts courants, si on les vidait complètement, ou si on les chargeait au delà de leur saturation. En définitive, ce sont des instruments délicats. Néanmoins, on les utilise déjà dans plusieurs stations centrales, à Vienne, à Londres et à Berlin, dans les théâtres de Paris, au passage des Panoramas, à Chelsea, etc. : bientôt nous serons fixés sur le taux d'amortissement qu'il convient d'appliquer dans les conditions d'un service courant.

Pour le moment, on peut affirmer sans exagération que la question des accumulateurs est une de celles auxquelles les chercheurs devraient s'intéresser le plus. De bons esprits prétendent en effet, que la distribution de l'énergie électrique par accumulateurs est la seule et vraie solution de l'avenir.

1901 Thomas Edison, conçoit des modèles de batteries alcalines au nickel-fer.

Pendant de nombreuses années, la batterie plomb-plomb moderne, ainsi présentée avec tant de fanfare, connut des difficultés.
Edison, même en tant que complément utile à son système d'éclairage, fut toujours sceptique, et il fit remarquer avec mépris que la meilleure batterie de stockage qu'il connaissait était une tonne de charbon. Les fortunes financières de la batterie, des deux côtés de l'Atlantique, furent aussi diverses et désastreuses que son succès industriel ; mais elle finit par émerger et « s'imposer ».

Voiture fabriquée par Edison

Edison travaille en 1902 avec son collègue Waldemar Jungner autour d'une batterie pour automobile avec le couple Nickel-Fer, les deux métaux étant immergés dans une solution alcaline. Cette batterie résiste bien au temps et aux décharges ; malheureusement, elle peine à dégager une forte énergie en peu de temps. Un avantage néanmoins sur les batteries plomb-acide, courantes à cette époque : elle est moins coûteuse.
Edison, en fervent promoteur des voitures électriques, décide de prouver l'autonomie de sa batterie : en 1910, il participe à une course automobile d'endurance, d'une longueur de 1000 miles, avec la Bailey Electric Phaeton. Cependant, la Bailey ne parvient pas à suivre le rythme des automobiles à essence. En 1915, le constructeur Bailey abandonne la voiture électrique, tandis qu'Edison se détourne également du projet.

L'inventeur américain a affirmé que la batterie au nickel-fer était incroyablement solide et pouvait se recharger deux fois plus vite que les batteries au plomb-acide. Il a même passé un accord avec le constructeur automobile Ford Motors pour produire ce véhicule électrique censé être plus efficace. Mais la batterie nickel-fer avait quelques problèmes. Elle était plus grosse que les batteries au plomb-acide utilisées et elle était également plus chère.
De plus, lorsqu'elle est chargée, elle libère de l'hydrogène, ce qui à l'époque était considéré comme préoccupant et pouvait être dangereux.
Malheureusement, au moment où Edison a réussi à construire un prototype plus raffiné, les véhicules électriques disparaissaient et les voitures alimentées par des combustibles fossiles gagnaient du terrain car elles pouvaient parcourir de plus longues distances au lieu de devoir s'arrêter pour se recharger. L'accord d'Edison avec Ford Motors est resté inachevé, bien que sa batterie ait continué à être utilisée dans certains créneaux tels que la signalisation ferroviaire, où sa taille encombrante n'était pas un obstacle.

La batterie de stockage est aujourd'hui considérée comme un complément important et indispensable à presque tous les systèmes modernes d'éclairage et de chemin de fer électriques, quelle que soit leur ampleur. et en 1909, malgré son poids, il avait été adopté dans plus de dix mille automobiles de types camions, fourgons de livraison, voitures de plaisance et runabouts en Amérique.

Edison suivit attentivement ces premiers développements pendant une quinzaine d'années, sans jamais changer d'avis sur ce qu'il considérait comme les défauts incurables du type plomb-plomb, mais en vint progressivement à la conclusion que si une batterie d'accumulateurs d'un autre type, plus performante, pouvait être mise au point, elle comblerait tous les espoirs initiaux, aussi extravagants soient-ils, d'hommes comme Kelvin (William Thomson), et deviendrait aussi nécessaire et universelle que la lampe à incandescence ou le moteur électrique. Le début du siècle présent le trouva à un nouveau départ. D'une manière générale, les personnes non techniques et non initiées ont tendance à considérer une invention comme le résultat ultime d'une heureuse inspiration. Et, en effet, il ne fait aucun doute que tel peut être le cas dans certains cas ; mais, dans la plupart des cas, l'inventeur a délibérément cherché à atteindre un résultat précis et souhaité, principalement en appliquant les lois connues de l'art dans lequel il travaille. Il est cependant rare qu'un homme se lance délibérément, comme Edison, dans le développement d'un type radicalement nouveau d'un dispositif aussi complexe que la batterie d'accumulateurs, avec seulement un fil conducteur et un point de départ vague.
Compte tenu du succès du problème qu'il entreprit de résoudre en 1900, il sera intéressant de revenir sur son état d'esprit à cette époque. lors de la fermeture de l'usine de concentration de minerai de fer magnétique d'Edison, dans le New Jersey, il décida de travailler sur un nouveau type de batterie de stockage. C'est à cette époque que, lors d'une conversation avec M. R.H. Beach, alors employé du département tramway de la General Electric Company, il déclara : « Beach, je ne pense pas que la nature serait assez cruelle pour nous cacher le secret d'une BONNE batterie de stockage si on la recherche sérieusement. Je vais la chercher. » On a souvent demandé à Edison quel était, selon lui, le secret de la réussite. Il a invariablement répondu : « *Un travail acharné, basé sur une réflexion approfondie.* » Les archives de laboratoire témoignent pleinement qu'il a systématiquement suivi cette prescription à la lettre. La perfection de toutes ses grandes inventions a été marquée par un effort patient, persistant et incessant qui, ne reconnaissant rien de moins que le succès, a conduit à l'accomplissement ultime de ses idées. Optimiste et plein d'espoir, Edison a l'heureuse faculté de commencer la journée avec l'esprit ouvert d'un enfant, les déceptions et les échecs d'hier étant écartés et ignorés par les possibilités séduisantes de demain.
De toutes ses inventions, il est douteux qu'une seule ait suscité plus de réflexion originale, de travail, de persévérance, d'ingéniosité et de patience monumentale

que celle dont nous parlons aujourd'hui. L'un de ses associés, qui a vécu avec lui pendant de nombreuses années le travail fastidieux sur les batteries de stockage, a déclaré : « Si les expériences, les recherches et les travaux d'Edison sur cette batterie étaient tout ce qu'il avait jamais fait, je dirais qu'il était non seulement un inventeur remarquable, mais aussi un grand homme. Il est presque impossible d'apprécier les énormes difficultés qu'il a surmontées. » Après des débuts pratiquement obscurs, il fallut attendre plus de dix mille expériences pour obtenir des résultats préliminaires positifs. Malgré toutes ces recherches, aucun signe de l'action électrique recherchée n'avait été observé. Ces expériences s'étaient étalées sur plusieurs mois de travail incessant, jour et nuit, sans que la foi en son succès final ne s'en trouve ébranlée, ni ses espoirs optimistes et confiants. L'échec d'une expérience signifiait simplement pour lui qu'il avait trouvé autre chose qui ne fonctionnerait pas, rapprochant ainsi un peu plus son objectif potentiel par un processus d'élimination minutieux.

Cependant, après ces nombreux mois de travail acharné, au cours desquels il avait examiné et testé pratiquement tous les éléments connus dans de nombreuses combinaisons chimiques, l'action électrique qu'il recherchait était obtenue, lui offrant ainsi les premiers aperçus du secret qu'il avait ardemment tenté d'arracher à la Nature. Il faut garder à l'esprit que, dès le départ, Edison avait dédaigné toute intention de suivre les seules pistes alors connues, en utilisant le plomb et l'ac sulfurique comme composants d'une batterie de stockage performante. Impressionné par ce qu'il considérait comme les graves défauts inhérents aux batteries fabriquées avec ces matériaux, et par la complexité extrême des réactions chimiques se produisant dans tous les types de piles, il décida hardiment, dès le départ, de ***concevoir une batterie sans plomb***, intégrant une ***solution alcaline*** – une forme qui, il en était fermement convaincu, serait intrinsèquement moins sujette à la dégradation et à la dissolution que le type standard, qui, après de nombreux échecs, avait finalement permis une production annuelle de plusieurs milliers de piles, valant des millions de dollars.

Deux ou trois mille des premières expériences suivirent la ligne de sa célèbre **pile primaire** dans la tentative d'emploi de l'oxyde de cuivre comme élément dans un nouveau type de cellule de stockage ; mais son utilisation n'offrait aucun avantage, et la chasse se poursuivit dans d'autres directions et se poursuivit jusqu'à ce qu'Edison se soit assuré par un grand nombre d'expériences que le nickel et le fer possédaient les qualifications souhaitables qu'il recherchait. Cette immense enquête, qui avait mobilisé tant de mois de travail et qui avait abouti à la découverte d'une série de réactions prometteuses entre le nickel et le fer, ouvrit à Edison les portes d'un territoire étrange et jusqu'alors inexploré. Lentement mais sûrement, les résultats de ses derniers milliers d'expériences préliminaires lui avaient inévitablement révélé une région nouvelle et fertile. Il avait découvert le passage secret et détenait la clé qu'il avait tant cherchée. Et maintenant, ayant tracé une voie précise, Edison était tout déterminé à poursuivre son chemin avec vigueur afin de pouvoir pénétrer dans ce territoire et en prendre possession.

C'est un dicton banal que « l'histoire se répète », et aucun axiome n'est plus vrai que celui-ci lorsqu'il s'applique à l'histoire de chacune des inventions importantes d'Edison. Le développement de la batterie de stockage n'a pas fait exception ; loin de là, car au cours des dix années qui se sont écoulées depuis qu'il s'est mis à travailler, avec ses mécaniciens, chimistes, machinistes et expérimentateurs, à la mise au point d'une pile commerciale pratique, la vieille histoire des efforts incessants et persistants, si manifestes dans la mise au point d'autres inventions, s'est pleinement répétée.

Peu de temps après avoir décidé d'utiliser le nickel et le fer comme métaux élémentaires pour sa batterie, Edison établit une usine chimique à Silver Lake, dans le New Jersey, à quelques kilomètres du laboratoire d'Orange, sur un terrain acheté quelque temps auparavant. Ce lieu fut le théâtre d'expériences ultérieures visant à développer les différentes formes chimiques du nickel et du fer, et à déterminer par des tests celles qui seraient les mieux adaptées à une utilisation dans des cellules fabriquées à l'échelle commerciale. Entouré d'une poignée d'expérimentateurs triés sur le volet, Edison se lança dans l'une de ses luttes caractéristiques pour la suprématie. C'était, dans une certaine mesure, un retour aux anciennes journées (ou plutôt aux nuits) de Menlo Park. Certains de ceux qui avaient travaillé sur les expériences préliminaires, ainsi que quelques nouveaux venus, travaillèrent ensemble malgré le temps qui passait et souvent dans des conditions très décourageantes, mais avec ce remarquable esprit de corps qui a toujours marqué les relations d'Edison avec ses collègues et qui a si largement contribué à la réussite de ses idées.

Le groupe qui a pris part à ces premières années de travail ardu d'Edison comprenait son ancien assistant, Fred Ott, ainsi que son chimiste, JW Aylsworth, ainsi que EJ Ross, Jr., WE Holland et Ralph Arbogast, et un peu plus tard WG Bee, qui ont tous grandi avec la batterie et consacrent toujours leur énergie à son développement commercial. L'un de ces ouvriers, relatant les expériences pénibles de ces quelques années, raconte : « C'était un travail pénible et de longues heures, mais il y avait quand même quelques choses qui rendaient la vie agréable. L'une d'elles était l'heure du dîner dont nous appréciions le plus lorsque nous travaillions le soir. M. Edison faisait livrer le dîner vers minuit, et nous nous asseyions tous ensemble, lui y compris. On oubliait le travail pour l'instant, et tout le monde était prêt à s'amuser. J'ai de très bons souvenirs de M. Edison à ces moments-là. Il se détendait toujours et contribuait à rendre le moment agréable, et je l'ai parfois vu déborder d'énergie, comme un garçon qui sort de l'école. Mais après le dîner, il redevenait l'inventeur sérieux et énergique, profondément absorbé par son travail. »
Il aimait beaucoup raconter et écouter des histoires, et appréciait toujours une blague. Je me souviens d'une qu'il aimait bien nous raconter de temps en temps. Notre système d'éclairage était en double, et vers 12 h 30 ou 1 h du matin, à la fin du dîner, on changeait d'éclairage : l'éclairage électrique s'éteignait progressivement et revenait lentement à la puissance des bougies, le tout prenant probablement une trentaine de secondes. Parfois, pendant ce temps, Edison croisait les mains, se calmait comme s'il dormait profondément, et lorsque les lumières étaient à nouveau allumées, il semblait se réveiller en disant : « Eh bien, les gars, on s'est bien reposés ; maintenant, remettons-nous au travail. »

Un autre souvenir intéressant et amusant de cette période d'activité a été recueilli auprès d'un autre membre de la famille d'expérimentateurs : « Parfois, après de longues heures de travail, M. Edison avait envie d'une petite sieste. C'était l'une des choses les plus drôles que j'aie jamais vues : le voir se glisser dans un simple bureau à cylindre, se recroqueviller et faire une sieste. Plus drôle encore, le voir se retourner sur le côté, tout en restant assis à son bureau. Il utilisait plusieurs volumes du Dictionnaire de chimie de Watts comme oreiller, et nous, les gars, disions qu'il en absorbait le contenu pendant son sommeil, à en juger par le flot d'idées nouvelles qu'il avait au réveil. »

De tels incidents ne servent qu'à illustrer les moments plus légers qui se détachent du contexte plus sombre de ces années difficiles. Car, de toutes les périodes intenses et absorbantes de la vie inventive d'Edison, les cinq premières années de l'ère des accumulateurs furent parmi les plus intenses. Non pas qu'il restait un principe fondamental à découvrir ou à simplifier, car cela avait déjà été fait ; mais c'est dans la mise en pratique de ces principes que surgirent de nombreuses difficultés, parfois insurmontables. Mais, selon un autre collègue, « Edison semblait heureux lorsqu'il se heurtait à une difficulté majeure. Cela semblait lui redonner courage et le rendre plus prolifique en idées nouvelles. Pendant un temps, j'ai pensé qu'il était stupide d'imaginer une telle chose, mais je n'ai jamais pu me défaire de l'impression qu'il paraissait réellement heureux lorsqu'il se heurtait à un obstacle majeur. C'était dans ma jeunesse, et j'ai vite appris que l'échec d'une expérience ne le décourage jamais, sauf s'il est dû à la négligence de son auteur. Edison se sent alors dégoûté. Si l'expérience échoue sur le fond, il ne s'en inquiète pas, mais, au contraire, la considère comme un apprentissage utile ; il reste optimiste et tente autre chose. Je l'ai vu revenir sur une expérience infructueuse et s'en sortir sans problème. »

Suivre en détail les traces d'Edison à travers les innombrables péripéties de ses expérimentations et recherches sur la batterie de stockage, au cours des dix dernières années, ne cadrerait pas avec le propos de ce récit et ne servirait à rien. De plus, de tels détails occuperaient un volume considérable. Le récit, cependant, ne serait pas complet sans une brève description des grandes lignes de son travail, et nous pouvons en citer brièvement quelques-uns des points principaux. Et pour que le lecteur ne pense pas que le mot « innombrables » ait été employé à la légère ou à la hâte, nous citerons la réponse d'un assistant de laboratoire lorsqu'on lui a demandé combien d'expériences avaient été réalisées sur la pile d'accumulateurs Edison depuis 1900 : « Dieu seul le sait ! Nous numérotions nos expériences de 1 à 10 000, et lorsque nous arrivions à 10 000, nous revenions à 1, puis à 10 000, et ainsi de suite. Nous avons parcouru plusieurs séries – je ne sais pas combien, et j'en ai perdu la trace maintenant, mais il y en avait près de cinquante mille. »

Dès le départ, l'idée générale d'Edison pour sa batterie de stockage consistait à fabriquer des conteneurs métalliques perforés contenant les matériaux actifs : de l'hydrate de nickel pour la plaque positive et de l'oxyde de fer pour la plaque négative. Ce plan a été respecté jusqu'à la fin et a trouvé son aboutissement dans la forme actuelle de la pile commerciale achevée. Cependant, entre les débuts rudimentaires et le modèle perfectionné d'aujourd'hui, se trouve un monde de réflexion originale, de travail patient et de réussite.
La première nécessité était naturellement d'obtenir les composés les plus purs et les plus performants pour les matières actives. Edison constata que les chimistes industriels connaissaient relativement peu de choses sur les oxydes de nickel et de fer de la haute qualité et de la pureté qu'il recherchait. Il lui fallut donc créer sa

propre usine chimique et la confier à des hommes spécialement formés par lui-même, avec qui il travailla. Il s'agissait de l'usine de Silver Lake, mentionnée plus haut. Pendant plusieurs années, la préparation de ces composés chimiques, par tous les procédés imaginables et les tests ultérieurs, y connut une activité incessante. Le chimiste en chef d'Edison explique : « Nous avons tout mis en œuvre pour trouver un moyen de fabriquer ces produits chimiques afin qu'ils donnent les meilleurs résultats. Nous avons mené les expériences avec les deux produits ensemble. Parfois, le nickel était en tête des tests, puis il était en retard. Pour nous encourager à progresser davantage, Edison a accroché une carte indiquant les résultats des tests en milliampères-heures obtenus par les éléme expérimentaux, tandis que nous les testions avec les différentes qualités de nickel et de fer que nous avions fabriquées. Cela a suscité une grande ambition chez les garçons, qui souhaitaient augmenter les valeurs. Certains de nos premiers tests ont montré environ 300, mais à mesure que nous améliorions le matériau, elles ont progressivement dépassé 500. À cette époque, Edison a fait un voyage au Canada et, à son retour, nous avions tellement progressé que les valeurs avaient grimpé jusqu'à environ 1 000. Je me souviens très bien de sa grande satisfaction. »

À propos du développement de l'élément négatif de la pile, M. Aylsworth déclara : « De la même manière, le fer a dû être développé et amélioré ; et finalemer le fer, qui avait généralement bénéficié d'une capacité supérieure à son homologue, le nickel, a dû subir une formation afin de conserver son plomb, ce qui éta impératif pour produire une courbe de tension uniforme et constante. Un jour, discutant avec moi des difficultés auxquelles nous étions confrontés et les comparant à l'expérimentation sur le phonographe, Edison m'a dit : « En phonographie, nous pouvons utiliser nos oreilles et nos yeux, aidés de puissants microscopes ; mais avec la pile, nos difficultés ne peuvent être ni vues ni entendues, mais doivent être observées par l'œil de l'esprit ! » Et grâce à cette vision passée, Edison est maintenant capable de voir clairement à travers la forêt de difficultés après les avoir éliminées une à une. »

La taille et la forme des alvéoles des plaques ou éléments de la batterie, ainsi que leur degré de perforation, ont fait l'objet de nombreuses années d'études et d'expérimentations approfondies. De fait, leur perfectionnement est encore aujourd'hui l'objet d'un travail constant, bien que leur forme générale actuelle ait été définie il y a plusieurs années. La construction mécanique de la batterie, dans son ensemble, dans sa forme actuelle, force l'admiration par sa beauté et sa perfection. M. Edison n'a épargné ni réflexion, ni ingéniosité, ni travail, ni argent pour en faire la cellule de stockage la plus complète et la plus performante possible, et les résultats démontrent que son talent, son jugement et sa clairvoyance n'ont rien perdu de la puissance qui a fondé et bâti d'autres grands arts à chacune des étapes précédentes de sa carrière.

Parmi les nombreux et complexes problèmes qui se posèrent lors de l'évolution de la batterie figurait celui de la conductivité interne de l'unité positive. L'hydrate de nickel était un mauvais conducteur électrique, et même si une poche de nickel métallique en était remplie, l'action électrique souhaitée ne se produirait pas sans un mélange de substance conductrice, incorporée et compactée de manière à assurer un bon contact électrique. Ce problème s'avéra être des plus complexes et complexes, délicat et évasif, laissant toujours entrevoir quelque chose, pour finalement s'évanouir, laissant le travail inachevé. La patience et la persévérance remarquables d'Edison face à ce problème épineux et le résoudre finalement lui valurent une admiration plus que banale de la part de ses collaborateurs. L'un d'eux, évoquant les expériences apparemment interminables menées pour résoudre ce problème, déclara : « Je suppose que cette question de la conductivité de la poche positive lui a donné des cheveux blancs. Je n'aurais jamais imaginé qu'un homme puisse faire preuve d'une telle patience et d'une telle persévérance. N'importe quel autre homme qu'Edison aurait abandonné mille fois, mais pas lui ! La situation paraissait souvent sombre à nos yeux, mais il était toujours optimiste. Je me souviens d'une fois où la situation me paraissait si sombre que j'étais sur le point de quitter mon emploi, mais un heureux hasard est arrivé et je n'ai pas hésité. Aujourd'hui, je suis heureux d'avoir persévéré, car nous avons un bel avenir devant nous. »

La difficulté d'obtenir un bon contact électrique dans l'élément positif fut en effet le principal problème d'Edison pendant de nombreuses années. Après de nombreux travaux et expérimentations, il opta pour une forme de graphite qui semblait convenir à cet usage, puis lança la fabrication commerciale de la pile dans une usine spécialement installée à Glen Ridge, dans le New Jersey. Les acheteurs ne manquaient pas, mais l'usine était incapable de produire suffisamment de piles. Les journaux avaient déjà publié des articles soulignant la capacité et les performances inhabituelles de la pile, suscitant ainsi un vif intérêt du public.

Malgré l'instauration d'un système régulier de fabrication et de vente, Edison ne cessa d'expérimenter pour améliorer la batterie. Bien que le graphite ait apparemment rempli les fonctions attendues, il n'était pas entièrement satisfait de ses performances et procéda à des essais approfondis avec d'autres substances, mais ne trouva rien de plus satisfaisant à l'époque. Des tests continus des cellules commerciales furent effectués en laboratoire, ainsi que des essais plus pratiques et plus rigoureux sur des automobiles, constamment en circulation dans la campagne environnante, sur toutes sortes de routes. Tous ces tests étaient surveillés de très près par Edison, qui exigeait que les différents essais de la batterie soient menés avec la plus grande rigueur afin d'obtenir les meilleurs résultats et de détecter toute faiblesse éventuelle. Il insistait tellement sur ce point que si une automobile roulait plusieurs jours sans crever un pneu ou casser une pièce, il accusait le chauffeur de choisir des chemins faciles.

Après que ces tests eurent duré un certain temps, et que des milliers de cellules eurent été vendues et donnèrent des résultats satisfaisants aux acheteurs, les feuilles de tests et l'expérience acquise auprès de diverses sources indiquèrent qu'il arrivait qu'une cellule, ici ou là, présente une capacité insuffisante. Les procédés de fabrication étant très précis et soigneusement contrôlés, et chaque cellule étant fabriquée de manière aussi uniforme que le permettaient les compétences et le soin humains, un sérieux problème surgit. Edison concentra ses efforts sur l'étude de ce problème et découvrit que la cause principale résidait dans le graphite. D'autres problèmes mineurs retinrent également son attention. La question importante qui se posait à lui était de savoir quoi faire. Fermer l'usine signifiait de lourdes pertes et une apparente défaillance. Il en était pleinement conscient, mais il savait aussi que poursuivre ne ferait qu'augmenter le nombre de batteries défectueuses en circulation, ce qui entraînerait à terme une fermeture définitive et une véritable défaillance. Il adopta donc la ligne de conduite que l'on pouvait attendre du bon sens et de la franchise d'Edison. Insatisfait du succès total de la batterie, il ferma l'usine et reprit ses expériences.

« Et puis », raconte l'un des laborantins, « nous avons entamé une nouvelle série d'expériences record qui ont duré plus de cinq ans. J'irais presque jusqu'à dire déchirantes, car de toutes les choses insaisissables et décevantes que l'on ait jamais recherchées, c'était la pire. Mais les secrets doivent être longs et bien cachés pour échapper au « Vieux » qui les traque. Il ne s'énerve pas s'il les rate, il continue de sourire et de tirer, et les ramène généralement au camp. C'est ce qu'il a fait avec la batterie : après un travail acharné, il a perfectionné l'idée et le procédé des paillettes de nickel, et a apporté une grande amélioration : l'utilisation de tubes au lieu de poches plates pour le positif. Il a également apporté une petite amélioration ici et là, et nous avons maintenant une batterie plus performante que nous ne l'aurions jamais imaginé. »

Entre-temps, alors que les expérimentations de ces cinq dernières années se poursuivaient, de nombreux clients ayant acheté des batteries du modèle original frappèrent à la porte, commandant des équipements supplémentaires pour équiper davantage de wagons et de camions. Edison exprima ses regrets, mais déclara ne pas être satisfait des anciennes cellules et s'employait à les améliorer. Les clients répondirent alors qu'ils étaient entièrement satisfaits et prêts à payer pour d'autres batteries du même type ; mais Edison ne put se laisser influencer par sa détermination, malgré des pressions parfois considérables.
L'expérimentation s'est poursuivie au-delà du possible et, après la construction de nouvelles machines, la fabrication du nouveau type de cellule a débuté au début de l'été 1909. À l'heure actuelle, elle progresse aussi vite que les machines supplémentaires nécessaires peuvent être fabriquées. Le produit est expédié dès son achèvement.

La lamelle de nickel, solution ingénieuse d'Edison au problème de la conductivité, est en soi un produit des plus intéressants, d'une application extrêmement pratique et d'une fabrication fascinante. Elle est obtenue par galvanoplastie sur un cylindre métallique de couches alternées de cuivre et de nickel, cent de chaque, après quoi la feuille combinée est retirée du cylindre. Les couches sont si fines que cette feuille n'a qu'environ l'épaisseur d'une carte de visite, et pourtant elle est composée de deux cents couches de métal. La feuille est découpée en minuscules carrés d'environ un seizième de pouce chacun, puis placée dans un bain où le cuivre est dissous. Cela libère les couches de nickel, de sorte que chacun de ces petits carrés devient une centaine de minuscules feuilles, ou lamelles, de nickel métallique pur, si fines qu'une fois sèches, elles flottent dans l'air, comme du duvet de chardon. Pour la fabrication de piles, les paillettes sont utilisées grâce à une machine spéciale, conçue de telle sorte que de petites charges d'hydrate de nickel et de paillettes de nickel sont introduites alternativement dans les alvéoles destinées aux positifs, puis compactées avec une pression d'environ quatre tonnes par pouce carré. Ceci assure un contact parfait et, par conséquent, une conductivité électrique dans toute l'unité.

Le développement de la lamelle de nickel est un récit de patientes recherches, de travail et de réussites, mais nous n'avons pas la place de le consacrer, ni de

retracer l'immense travail accompli pour développer et perfectionner les nombreux autres composants et accessoires de cette remarquable pile. Il suffit de dire que lorsqu'Edison s'est lancé avec audace dans de nouveaux territoires, à la recherche d'un objet totalement inconnu, il était prêt à travailler dur et à explorer. Il a exploré ces deux domaines sans compter, mais a persévéré jusqu'à ce qu'après un long voyage, il ait trouvé tout ce qu'il attendait et accompli quelque chose de plus. La nature a répondu à son appel enthousiaste et, à la fin de la quête, a révélé une pile de stockage performante d'un type entièrement nouveau. Edison a non seulement reconnu et exploité les principes qu'il avait découverts, mais en les adaptant à un usage commercial, il a développé des procédés et des dispos mécaniques des plus ingénieux pour mettre ses découvertes en pratique. En effet, on peut dire que l'invention d'une énorme variété de nouvelles machines et d'appareils mécaniques rendus nécessaires par chaque changement au cours des différentes étapes de développement de la batterie, de la première à la dernière, constitue un hommage durable à l'étendue et à la polyvalence de ses pouvoirs.

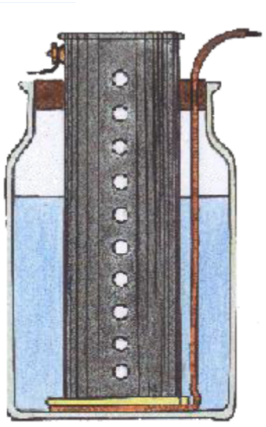
Il n'entre pas dans le cadre de ce récit de décrire les mérites relatifs de la batterie d'accumulateurs Edison, cette tâche étant du ressort d'un catalogue commercial. Il semble toutefois tout à fait légitime de souligner que, si, à l'heure actuelle, les tests effectués ne s'étendent que sur quelques années, leurs résultats et la valeur intrinsèque de cette invention caractéristique d'Edison sont d'une telle ampleur qu'ils laissent présager la croissance inévitable d'une autre grande industrie issue de sa fabrication, et de son application généralisée à de nombreux usages.
L'usage principal envisagé par Edison pour sa batterie est le transport de marchandises et de passagers par camion, automobile et tramway. La capacité considérablement accrue par rapport à son poids la rend particulièrement adaptée à ce type d'utilisation, grâce à son rayon de déplacement bien plus grand. Ce dernier avantage est celui qui séduit le plus l'automobiliste, puisqu'il peut ainsi parcourir, affirme-t-on, plus de trois fois plus de distance qu'auparavant avec une seule charge de batterie.
Edison estime que l'utilisation de sa batterie de stockage pour la propulsion des tramways présente d'importants avantages.
Dans le système d'exploitation actuel, une installation fournissant l'énergie électrique aux tramways doit être suffisamment grande pour fournir le courant nécessaire à la charge maximale aux heures de pointe, même si une grande partie des machines peut rester inutilisée et improductive aux heures de charge minimale. Grâce à l'utilisation de wagons à batterie de stockage, cet investissement maximal, immense et peu rentable, peut être ramené à des proportions véritablement économiques, car la charge des batteries peut être assurée à un rythme uniforme avec un investissement raisonnable pour la production d'énergie. De plus, chaque wagon devient une unité mobile indépendante, non sujette aux retards dus à une panne générale de la centrale ou de la ligne. Outre ces avantages, les rues seraient libérées du poids des câbles et des canalisations de tramway. Pour mettre ses idées en pratique, Edison construisit une courte ligne de chemin de fer à l'usine d'Orange durant l'hiver 1909-1910 et, en collaboration avec M. R.H. Beach, construisit un type spécial de tramway, qu'il équipa d'un moteur, d'une batterie de stockage et des autres dispositifs de fonctionnement nécessaires. Ce tramway fut ensuite installé sur les lignes de tramway de New York et démontra son efficacité à tel point qu'il fut racheté par l'une des compagnies de tramway, qui en commanda depuis des wagons supplémentaires pour ses lignes. La démonstration de ce premier tramway a été suivie avec intérêt par de nombreux responsables ferroviaires, et ses performances furent si fructueuses qu'à l'heure où nous écrivons (été 1910), il a fallu organiser et équiper une usine préliminaire pour la construction de nombreux autres tramways de type similaire, commandés par d'autres compagnies de tramway. Cette entreprise sera menée par une société spécialement créée à cet effet. Ainsi a été initié le développement d'une nouvelle et importante industrie dont les dimensions finales dépassent les prévisions actuelles. Aussi vaste que puisse devenir cette industrie, Edison est fermement convaincu que le plus grand domaine d'application de sa batterie de stockage réside dans son adaptation au transport routier et commercial, ainsi qu'aux véhicules de plaisance, en comparaison desquels le secteur des tramways, même avec ses grandes possibilités, ne représentera pas plus de 1 %.

1910 Edison a résumé succinctement son travail et ses idées dans un article sur « Les lendemains de l'électricité et de l'invention » paru dans Popular Electricity de juin 1910. Il y écrit : « *Depuis des années, j'essaie de perfectionner une batterie de stockage et je l'ai maintenant rendue parfaitement adaptée à l'automobile et à d'autres travaux. Il n'y a absolument aucune raison d'autoriser les chevaux en ville ; car entre l'essence et la voiture électrique, il n'y a plus de place pour eux. Ils ne sont plus nécessaires. La vache et le cochon ont disparu, et le cheval est encore plus indésirable. Un idéal public plus élevé de santé et de propreté œuvre très rapidement vers un tel bannissement ; et alors, nous aurons des rues décentes, au lieu d'écuries faites de bandes de pavés bordées de trottoirs. Le pire usage de l'argent est de construire une belle artère, puis de la confier aux chevaux. De plus, ce changement entraînera la faillite des sociétés protectrices des animaux. Nombreux sont ceux qui rechargent aujourd'hui leurs batteries eux-mêmes, faute d'installations ; mais je crois que les centrales électriques trouveront dans ce travail de grands avantages.* » Bientôt la plus grande partie de leur charge. La New York Edison Company, ou la Chicago Edison Company, devrait avoir autant de courant pour les batteries de stockage que pour les moteurs électriques ; et ce sera bientôt le cas.

La Pile GUIRAUD

C'est une pile à deux électrolytes : eau salée et bichromate de potassium. La force électromotrice de cet élément est de 2V.
Cette pile comporte un vase poreux de diamètre relativement grand qui sépare les deux électrolytes. Le dépolarisant est à base de bichromate et est mis à l'intérieur du vase poreux. Une électrode en charbon composé d'un faisceau de lames réunies par une pièce spéciale en laiton plonge dans ce liquide. Le zinc circulaire, non amalgamé, plonge dans une solution de chlorure de sodium (sel marin) à raison de 325 g /l. Il est suspendu par des crochets.
C'était une pile "sans mercure" et déjà écologique pour l'époque ... bien que le bichromate ne soit pas un produit facile à manipuler.
Cette pile était vendue pour ses bonnes caractéristiques de stabilité dans le temps et le prix de revient du courant produit était "5 à 6 fois moins élevé que les autres types de piles" suivant des tests réalisés à l'époque.
Son inventeur avait reçu une médaille d'or au concours de Inventions de Marseille de 1909.

1914-18 La Pile FERY



Leur emploi était très répandu dans les années 20 comme en témoigne la publicité d'époque ci-dessus.

Pour une raison historique, la pile FERY mérite d'être évoquée. Cette pile a été développée pendant la guerre de 14-18, à la demande du Général FERRIE, pour satisfaire les besoins de la Télégraphie Militaire.
A cette époque le bioxyde de manganèse nécessaire à la fabrication des piles de type Leclanché provenait de gisements naturels depyrolusite (bioxyde double de manganèse et de fer) et exigeait un minerai de grande pureté chimique.
Un tel minerai, rare en France, était importé d'Allemagne et était devenue, du fait de la guerre, une matière première sensible.
Compte tenu de ces restrictions d'approvisionnement, Charles FERY examine s'il ne serait pas possible de remplacer ce bioxyde par l'oxygène de l'air qui est présent partout et qui est, de plus, totalement gratuit. Il met au point une pile d'un nouveau type "à dépolarisant par l'air" dont le fonctionnement s'avère remarquable et le coût de production et d'entretien tout à fait satisfaisant.

Le pôle + de cette pile est constitué d'un tube de charbon poreux qui dépasse largement au dessus du vase et dans lesquels se fait la recombinaison de l'hydrogène (naissant) avec de l'oxygène présent.
Le zinc est placé au fond du vase et dans ces conditions, il n'est pas attaqué par l'oxygène de l'air.
L'hydrogène est généré dans la partie basse du charbon et disparaît en période de repos de la pile sous l'effet de l'activation d'une "pile interne" qui le recombine en eau, en partie haute du charbon, près de la surface chargée en oxygène de l'air.
Les piles FERY sont caractérisées par une très grande capacité massique. Il était possible d'obtenir au minimum 90 ampères-heures avec 100 grammes de sel d'ammoniac pour une pile dont le poids ne dépassait pas 2,1 Kg.

En 1947, Neumann réussit à étanchéifier complètement l'accumulateur. Ces progrès conduisirent à la batterie moderne étanche au nickel-cadmium.

Plus d'un siècle plus tard, les ingénieurs ont redécouvert la batterie nickel-fer comme une sorte de diamant brut.
Elle est actuellement étudiée comme une réponse au défi permanent de la production d'énergie renouvelable et de la complémentarité des sources d'énergie propres telles que le vent et le solaire.
Et l'hydrogène, autrefois considéré comme dangereux, pourrait devenir l'un des éléments les plus utiles de ces batteries.
Au milieu des années 2010, une équipe de recherche de l'Université de technologie de Delft aux Pays-Bas a découvert comment utiliser la batterie nickel-fer à base d'hydrogène.
Lorsque l'électricité traverse la batterie lors de sa recharge, elle subit une réaction chimique qui libère de l'hydrogène et de l'oxygène.
L'équipe a reconnu que la réaction ressemble à celle utilisée pour libérer de l'hydrogène de l'eau, connue sous le nom d'électrolyse.
"Il m'a semblé que la chimie était la même", explique Fokko Mulder, chef de l'équipe de recherche à l'Université de Delft.
Cette réaction de division de l'eau est un moyen par lequel l'hydrogène est produit pour être utilisé comme carburant et complètement propre, à condition que l'énergie utilisée pour conduire la réaction provienne d'une source renouvelable.
Alors que Mulder et son équipe savaient que les électrodes de batterie nickel-fer étaient capables de diviser l'eau, ils ont été surpris de voir que les électrodes ont commencé à avoir un stockage d'énergie plus important qu'avant la production d'hydrogène.
En d'autres termes, elle est devenue une meilleure batterie lorsqu'elle a également été utilisée comme électrolyseur.
Ils ont également été étonnés de voir à quel point les électrodes résistaient à l'électrolyse, qui peut dégrader excessivement des batteries plus traditionnelles.
"Et bien sûr, nous étions heureux que l'efficacité énergétique semble être bonne dans tout cela", dit Mulder, atteignant des niveaux de 80 % à 90 %.
Mulder a nommé sa création le "battolyser" et espère que la découverte pourra aider à résoudre deux défis majeurs pour les énergies renouvelables : stocker l'énergie et, lorsque les batteries sont pleines, produire du carburant propre.
"Vous entendrez des arguments sur les batteries d'une part et l'hydrogène d'autre part", dit Mulder. "Il y a eu toujours une sorte de compétition entre les deux, mais en gros il faut les deux", ajoute-t-il.

Les piles thermo-électriques sont des appareils qui transforment directement la chaleur en électricité.

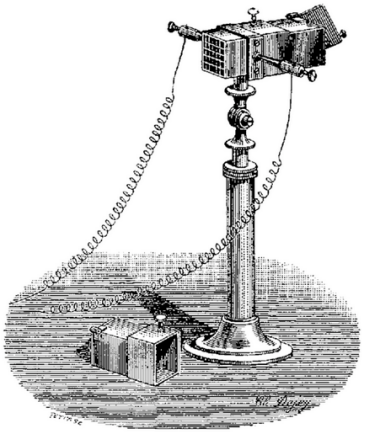
La première de ces piles fut construite en 1821, par **Thomas Seebeck**, professeur de physique à Berlin. Elle se composait d'une barre de bismuth, sur laquelle étaient soudées les extrémités d'une lame de cuivre, recourbée de manière à laisser un espace vide entre les deux métaux. En chauffant l'une des soudures de ce

système, Seebeck reconnut qu'il se produisait un courant électrique se dirigeant de la soudure chaude à travers le barreau de bismuth.
Les lois des phénomènes que présentent les générateurs thermo-électriques furent établies en 1823, par A. C. Becquerel. L'illustre physicien observa : qu'entre les mêmes limites de températures, on obtient, suivant les métaux employés, des courants d'intensité variable, qui correspondent à des pouvoirs thermo-électriques différents ; — qu'il existe, à des températures différentes, des courants thermo-électriques entre deux portions d'un même métal homogène ; qu'enfin, les mêmes phénomènes se reproduisent encore au contact des liquides et des solides, et des liquides entre eux.

Œrsted et Fourier, sur les indications de Seebeck, construisirent une pile thermo-électrique, composée de barreaux de bismuth, qui se terminaient par une partie soudée, qu'on refroidissait avec de la glace, tandis que les autres soudures étaient chauffées à l'aide de petites lampes à alcool.

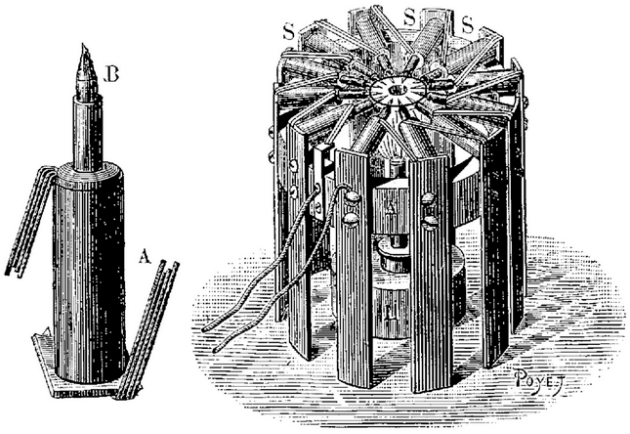
Pouillet construisit, pour ses recherches sur les lois des courants, une pile thermo-électrique formée de lames de cuivre et de cylindres de bismuth soudés alternativement les uns aux autres. Il suffit, pour mettre cette pile en fonction, de plonger dans de l'eau chaude toutes les soudures impaires, et de placer toutes les soudures paires dans de la glace.

La Pile thermo-électrique de Nobili.



Dans la pile de Nobili, qui est composée de bismuth et d'antimoine, toutes les soudures paires sont d'un côté et les soudures impaires de l'autre. Généralement, cette pile consiste en un premier couple sur lequel on place une feuille de papier verni, puis un second couple semblable au précédent et relié avec lui. On continue à superposer et à isoler de la même manière un certain nombre de ces couples jusqu'à ce que la pile forme un parallélépipède, que l'on mastique dans une pièce rectangulaire de cuivre, de façon que les soudures soient découvertes et présentent deux faces que l'on enduit de noir de fumée pour les rendre plus sensibles à l'action de la chaleur. De chaque côté de la monture de la pile sont fixées deux bornes correspondant : l'une avec le premier bismuth et l'autre avec le dernier antimoine. L'appareil est supporté par un poids à charnière qui permet de lui donner toutes les positions voulues. Enfin, et pour que la chaleur environnante n'influe pas sur la pile, celle-ci est renfermée dans un étui rectangulaire dont les extrémités sont munies d'écrans au moyen desquels on peut ne laisser arriver la chaleur que sur l'une de ses faces.
Cette pile est une simplification et un perfectionnement de celle d'Œrsted et Fourier ; elle mesure environ deux centimètres cubes de côté, et renferme cinquante couples. Melloni l'a appliquée à l'étude du rayonnement de la chaleur.

Dans l'industrie on a utilisé plusieurs alliages à la formation des piles thermo-électriques, dans le but d'obtenir un courant plus intense.
C'est ainsi que **MM. Mathiessen, Marcus, Wheatstone et Ladd** ont employé un alliage de nickel, de cuivre et de zinc, et un autre formé de bismuth, de zinc et d'antimoine. Ils ont pu, à l'aide de cette pile, rendre incandescent un fil de platine et obtenir des étincelles d'une bobine Rhumkorff.
M. Farmer, de Boston, a construit une pile de ce genre, dont les lames positives étaient formées par un alliage de cuivre, de zinc et de nickel, et les lames négatives de zinc, de bismuth et d'antimoine.
M. Bunsen, et plus tard **M. Edmond Becquerel**, ont utilisé dans la construction des piles thermo-électriques la pyrite de cuivre. Celle que M. Edmond Becquerel imagina, en 1865, était formée de sulfure de cuivre artificiel et de maillechort (alliage de cuivre et de nickel).
Aucune des piles que nous venons d'examiner n'a reçu d'application pratique. La première dont on fait usage industriellement est celle de **M. Noé**, physicien de Vienne, faite avec du maillechort et un alliage de zinc et d'antimoine.



la pile thermo-électrique Noé

Les soudures S, S, qui par leur échauffement doivent produire le courant électrique, sont chauffées dans un petit cylindre de laiton A, porté sur une base métallique circulaire, L, au centre de laquelle s'élève une tige de cuivre rouge, B, terminée en pointe, et c'est cette pointe métallique qui reçoit la chaleur produite par un bec de gaz dans la flamme duquel on plonge ce petit cylindre. Une pile Noé de 25 éléments décompose l'eau.
La pile Noé est employée en Autriche, pour les opérations de dorure, d'argenture et de nickelage. L'appareil est d'une assez grande durée.

Vint ensuite la pile de M. Clamond, puis celle de MM. Mure et Clamond, et enfin, la nouvelle pile thermo-électrique que M. Clamond a construite en 1879 .
L'appareil de M. Clamond est, de tous les générateurs de ce genre, le plus pratique et le plus puissant. Il peut servir, soit pour la galvanoplastie, soit pour mettre en action de petits moteurs, soit enfin pour produire de la lumière. La pile dont M. Clamond s'est servi pour ses expériences d'éclairage électrique se composait de 6 000 couples, capables d'alimenter deux régulateurs Serrin, fournissant chacun une lumière équivalente à 50 becs Carcel. Son principal inconvénient est de s'altérer à la longue.

Les piles thermo-électriques sont loin d'avoir dit leur dernier mot. L'idée d'allumer un calorifère pour produire un courant électrique est, en effet, de nature à exciter le zèle des inventeurs, et peut-être trouvera-t-on un jour dans ce genre d'appareil la solution du problème de la production de l'électricité à bon marché.

LES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES A LUMIÈRE DE M. CLAMOND *Th. du Moncel*

Les piles thermo-électriques imaginées par **M. Seebeck**, en 1821, n'avaient été considérées pendant longtemps que comme des générateurs d'une grand constance, susceptibles d'être employés avec beaucoup d'avantage dans les expériences scientifiques, mais incapables d'être appliqués en pratique en raison de la faiblesse du courant qu'ils produisaient; l'application que fit, il y a quelques années. M. Marcus du pouvoir thermo-électrique considérable des alliages métalliques (*) et la possibilité de les chaufter à une température élevée sans détériorer la pile, firent entrer la question des piles thermo-électriques dans une nouvelle phase, qui fut exploitée avec succès par plusieurs physiciens et en particulier par MM. Farmer, Bunsen, Ed. Becquerel, Clamond, Noé, etc. On put alors obtenir des piles dont l'intensité électrique pouvait être comparée à celle des éléments à acide, et ces piles furent même employées avec beaucoup d'avantages pour la galvanoplastie et l'électrotypie ; mais, de tous les appareils de ce genre, ceux qui donnèrent les plus grands effets furent sans contredit les piles de M. Clamond.

Dès l'origine de son invention, c'est-à-dire en 1870, M. Clamond avait prévu qu'il pourrait un jour obtenir avec ce genre de pile de la lumière électrique et voici ce que j'en disais dans mon Exposé des applications de l'électricité, t. I, p. 426, publié en 1871 : « MM. Mure et Clamond construisent en ce moment, dans ce système, des batteries de 1500 grands éléments, qu'ils prétendent être de la force de 50 éléments Bunsen. Si, comme tout le fait espérer, la dépense se produit dans les mêmes conditions que dans le cas étudié (chauffage au coke), la dépense sera environ de 3.0 centimes par heure, et la pile thermo-électrique pourra ainsi devenir une source économique de lumière électrique. »
Ce résultat toutefois ne put être obtenu par suite des mauvaises conditions d'installation de la pile, et parce que la galène que M. Clamond employait alors s'altérait au feu. Néanmoins ces expériences purent le convaincre que le problème pourrait être un jour résolu, et c'est en effet ce que nous voyons aujourd'hui. Toutefois, pour arriver au résultat si important que nous avons pu constater, il a fallu que M. Clamond se livrât à de nombreuses expériences et à de nombreuses recherches, et ce n'est qu'après neul années qu'il a pu résoudre complètement le problème. Aujourd'hui une pile Clamond, disposée un peu comme un calorifère et dont les dimensions ne dépassent pas 1 mètre 50 cent, de hauteur sur 80 centimètres de côté, peut fournir quatre foyers de lumière électrique valant chacun de 15 à 20 becs de gaz en n'exigeant pour toute dépense d'action électrique qu'une combustion d'environ 9 kilogrammes et demi de coke par heure.

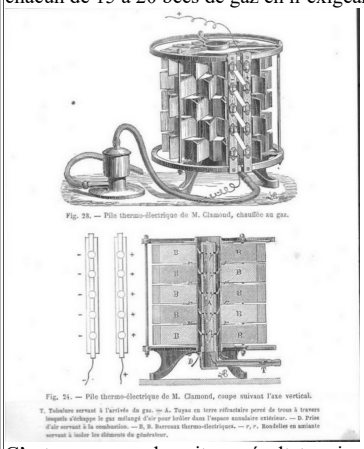


Fig. 21. — Pile thermo-électrique de M. Clamond, coupe suivant l'axe vertical.
T. Tuboire servant à l'arrivée du gaz. — A. Tuyau en terre réfractaire percé de trous à travers lesquels s'échappe le gaz mélangé d'air pour brûler dans l'espace annulaire extérieur. — B. Prise d'air servant à la combustion. — B, B. Barreaux thermo-électriques. — r, r. Rondelles en amiante servant à isoler les éléments du générateur.

C'est, comme on le voit, un résultat vraiment merveilleux et d'autant plus important qu'un appareil de ce genre ne nécessite pas la présence d'un mécanicien ou d'une personne compétente. L'appareil peut être placé dans une cave et disposé même de manière à pouvoir. être employé comme calorifère, et toute personne est susceptible de pouvoir le faire fonctionner, puisqu'il ne s'agit, pour cela, que de le chauffer comme un calorifère ordinaire.

Mais disons sur quel principe repose cet ingénieux appareil.
Si deux métaux différents se trouvent soudés ensemble par une de leurs extrémités et qu'on chauffe cette partie soudée, le mouvement de la chaleur, se produisant d'une manière différente dans les deux métaux, détermine une force électromotrice qui fournit un courant électrique que l'on peut recueillir aux extrémités des deux lames. Les métaux simples dont la réunion donne les effets thermo-électriques les plus marqués sont le bismuth et l'antimoine, mais, comme nous l'avons dit, les alliages et certains minerais métalliques donnent des effets beaucoup plus énergiques. Dans l'origine, la pile de M. Clamond se composait de barreaux de galène soudés à des lames de tôle; mais il dut bientôt y renoncer, et il eut recours à un alliage composé d'antimoine et de zinc, tout en conservant la lame de fer comme lame électropositive. En disposant ces éléments en couronne, en superposant plusieurs de ces couronnes l'une au-dessus de l'autre et en projetant la flamme d'un foyer central sur les différentes soudures de ces éléments à l'intérieur des couronnes, il put obtenir, avec une pile de dimension assez petite, un courant électrique d'une valeur égale à celui de deux éléments Bunsen. Mais, dans ce système, la force électro-motrice du couple était en rapport avec la différence de température des deux extrémités de chaque barreau,et il fallait,en conséquence, que ces barreaux fussent un peu longs pour obtenir un effet énergique. D'un autre côté, il arrivait.

(*). La découverte du pouvoir thermo-électrique considérable des ulliages métalliques avait été faite, dès l'origine, par .M. Seebeck, qui indique même l'alliage d'anti moine et de zinc comme un de ceux que l'on peut avantageusement employer, mais ce n'est qu'il y a une dizaine d'années que ces systèmes thermo-électriques ont été appliqués, et la combinaison qui développe la plus grande force électro-motrice est celle que M. Ed. Becquerel a indiquée et dans laquelle l'un des barreaux est composé d'antimoine et de cadmium à équivalents égaux et l'autre barreau de bismuth et d'antimoine, ce d ernier métal n'entrant que pour un dixième dans l'alliage. Pour les reche relies scientifiques cette combinaison donne les meilleurs résultats, m ais pour les applications industrielles elle ne pourrait pas être facilement employée; d'abord parce que le prix de l'appareil serait excessivement élevé, et en second lieu parce que le système ne pourrait pas être soumisà une température aussi haute que celle à laquelle peuvent être exposés les autres alliages. De sorte que la combinaison antimoine et zinc avec lames de fer adoptée par M. Clamond, quoique ne donnant pis par elle-même une force électro- motrice aussi considérable, peut fournir de meilleurs résultats par la plus grande différence des échaufFements que l'on peut lui communiquer.

NOTE DE M. C. CLAMOND SUR SA NOUVELLE PILE THERMO-ÉLECTRIQUE Présentée à l'Académie des sciences Par M. Th. du Moncel, en séance du 5 mai 1879
La nouvelle pile thermo-électrique que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie réalise, dans l'ensemble et les détails de sa construction, des dispositifs très-importants qui ont complètement changé le rendement obtenu jusqu'alors de ce genre d'appareils et en font de puissants générateurs d'électricité capables de produire économiquement la lumière électrique.
Les piles thermo-électriques construites jusqu'ici étaient un assemblage de prismes ou barreaux qui, après avoir été fondus dans des moules spéciaux, étaient ensuite réunis et soudés les uns aux autres.
La chaleur était communiquée aux soudures chaudes des couples, par le contact de flammes, combiné parfois avec le rayonnement de surfaces chauffées par ces mêmes flammes. Les prismes se refroidissant progressivement sur toute leur longueur, par le rayonnement et le contact de l'air, on obtenait la différence de température nécessaire entre les deux séries de soudures.
Les appareils ainsi compris présentent dans leur principe même des imperfections radicales au point de vue du rendement.
1° Ils entraînent la nécessité de donner aux couples une certaine longueur pour qu'ils puissent se refroidir suffisamment et maintenir la différence de température indispensable entre les deux séries de soudures. Cette longueur crée une résistance électrique considérable du couple et, partant, une faible intensité du courant produit.

2° Us comportent une consommation inutile du calorique ; car le calorique qui, par le rayonnement et le contact de l'air, s'échappe des surfaces latérales du prisme, se trouve ne pas avoir parcouru toute la longueur du barreau, et, par conséquent, ne donne pas le maximum d'utilisation dont il est susceptible au point de vue de sa transformation en électricité.
3° L'emploi des flammes ou des surfaces rayonnantes rend le chauffage des couples très-difficile à régler et n'est guère pratique qu'avec le gaz pour combustible et des appareils de petites dimensions. De plus, comme les surfaces de chauffe, représentées par les sections des couples ou des appendices dont ils sont quelquefois munis, sont très-faibles, une petite proportion du calorique développé par la combustion est seulement recueillie, les produits de la combustion se dégageant à une très-haute température.
Dans le nouveau système, je me suis attaché à éviter les vices précités.
A cet effet, l'appareil est composé de trois parties entièrement distinctes.
1° Le collecteur qui est un assemblage de pièces de fonte de fer légères, de formes telles qu'elles présentent une suite de carneaux dans lesquels circule l'air brûlé provenant d'un foyer quelconque. Ces pièces offrent une très-grande surface au mouvement des gaz chauds qu'elles n'abandonnent qu'à une température très-voisine de la leur; elles emmagasinent la chaleur qu'elles communiquent ensuite aux couples.
2° Le diffuseur de calorique qui forme l'extérieur de l'appareil et est constitué par des lames métalliques présentant à la circulation de l'air ambiant une surface considérable.
3 ° Le système thermo-électrique proprement dit qui est placé entre le collecteur et le diffuseur, de manière à ce que les séries opposées des soudures participent aux températures différentes de ces deux organes. L'écoulement de la chaleur se produit du collecteur au diffuseur au travers des couples, parallèlement à leur longueur, sans perte appréciable de calorique par les surfaces latérales; réalisant ainsi le maximum du rendement de transformation dont les substances employées sont susceptibles.
Le système thermo-électrique est combiné de manière à rendre sa construction économique et pratique, sa manipulation facile et sûre, et sa résistance îiitérieure aussi faible que possible. La longueur des prismes est très-faible et n'est pas la plus grande des trois dimensions.
Les lames métalliques qui les relient présentent un dispositif particulier qui a pour effet de répartir les points de soudure ou contacts sur toute la section du barreau. Enfin, dans des moules dont l'emploi est très-simple, ou coule d'un seul jet, un grand nombre de ces couples qui, par l'opération même, se trouvent réunis en tension et constituent une chaîne flexible, aussi longue que l'on veut, dont les extrémités sont les deux pôles d'une pile élémentaire thermo-électrique. Ces chaînes, pressées entre le collecteur et le diffuseur, desquels elles sont convenablement isolées, peuvent être reliées les unes aux autres par leurs extrémités libres, ce qui permet de réaliser à volonté tous les accouplements et combinaisons que l'on se propose.

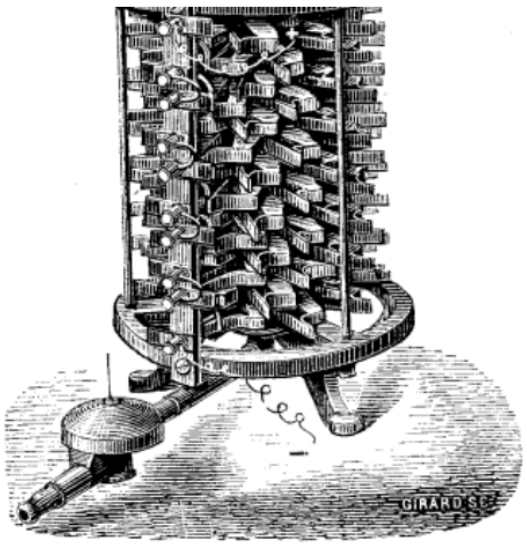
En résumé, l'appareil peut être assimilé à un calorifère chauffé par un foyer ordinaire dans lequel est brûlé un combustible quelconque et dont les parois, par suite des systèmes de construction précédemment exposés, transforment en électricité une portion du calorique qui s'écoule au travers. L'extérieur du calorifère, présentant une très-grande surface diffusante, rend ces appareils éminemment propres au chauffage et leur permet de remplir la double fonction d'éclairer et de chauffer.
Le coefficient de transformation des alliages thermo-électriques énergiques est beaucoup plus élevé qu'il n'était communément préjugé, et je me propose de faire ultérieurement à ce sujet des communications fixant quelques-unes de ces données.
Pour le moment, en prenant l'appareil au point de vue de son rendement pratique, c'est-à-dire considérant le poids de combustible brûlé sur la grille et les données numériques du courant produit, voici quelques chiffres d'après les expériences que M. G. Cabanellas a faites depuis deux mois ; expériences qui concordent d'ailleurs avec les miennes.

Ces expériences ont été faites sur un appareil dont la surface de chauffage est de 20 mètres carrés, qui mesure 1 mètre de diamètre et peut faire marcher simultanément deux lampes, système Serrin, avec un pouvoir éclairant variant de 30 à 50 becs carcels pour chaque lampe, le foyer ayant été soumis à différentes conditions de tirage et de chauffage.
La résistance intérieure d'un demi générateur est : R= 15,5 ohms.
La force électro-motrice en chauffe normale est : E = 109 volts.
Ce qui pour la pile entière représente une force électromotrice de 218 volts. Cette force électro-motrice équivaut à celle de 121 couples de Bunsen fraîchement montés (1,8 volt par Bunsen). La consommation en chauffe normale est en moyenne de 9 kilogrammes de coke à l'heure.
L'équivalent du courant résultant des données précédentes est de 1,534 unités électro-mécaniques, lesquelles représentent 156 kilogrammètres par seconde.

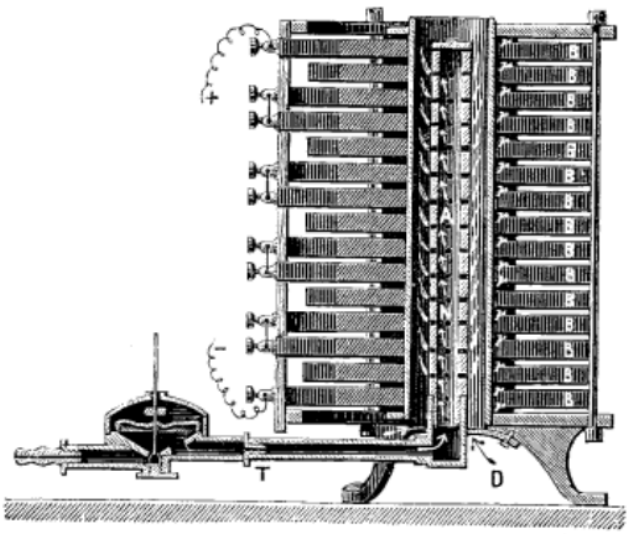
C. Clamond.

La Pile Chaudron

M. Chaudron a cherché à perfectionner la pile Clamond en la modifiant par le détail plutôt que dans son ensemble. Le couple est constitué par une lame de fer étamé et par un bloc d'un alliage antimoine et zinc, connu sous le nom d'alliage de Marcus.



PILE THERMO-ÉLECTRIQUE DE CHAUDRON



COUPE VERTICALE DE LA PILE CHAUDRON

La pile se compose de couronnes superposées, comprenant chacune 10 éléments, séparées les unes des autres par des rondelles d'amiante, absolurnent comme le faisait M. Clamond dans son premier modèle ; l'assemblage des couronnes est copié de même sur le type primitif. Mais, grâce sans doute à quelques tours de main de fabrication et d'agencement, cette pile est très constante, très durable et on a pu la faire fonctionner plusieurs mois de suite sans la détériorer aucunement.
D'après M. Hospitalier, 90 éléments donnent 5,5 volts, la résistance intérieure est de 1,5 ohm et la consommation est évaluée à 200 litres de gaz par heure.

La Pile Clamond-Carpentier

La pile Clamond, chauffée au gaz, est connue de tous nos lecteurs : le modèle déposé a été modifié par l'inventeur et sa construction a elle-même été améliorée par M. Carpentier.

Le couple est formé de fer ou de nickel avec des barreaux d'un alliage de zinc et d'antimoine ; ces deux métaux doivent être alliés, suivant M. E. Becquerel, dans le rapport de leurs équivalents pour donner le maximum de force électror motrice ; c'est ce qui est fait très exactement dans la nouvelle pile. On coule to éléments d'une couronne d'un seul coup, dans des moules en terre cuite cloisonnée, dans lesquels les lames de fer ou de nickel sont disposées à l'avanc , le moule reste comme protection des couples et il empêche les coups de feu, tout en permettant d'élever la température au voisinage de la fusion de l'alliage. Ces couronnes sont montées à emboîtement les unes sur les autres, ce qui donne le moyen de démonter la pile avec une grande facilité. Enfin le brûleur, en terre réfractaire, est très bien conçu et parfaitement exécuté.

Une pile de 120 éléments donne 8 volts, sa résistance extérieure ne dépasse pas 3 ohms et elle brûle 180 litres par heure.

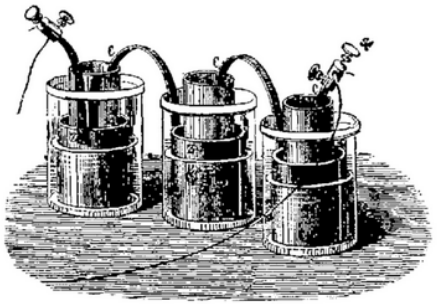
Usages de la pile dans les télécommunications.

Les piles dans lesquelles le sulfate de cuivre est employé comme dépolarisant sont très nombreuses, et un certain nombre sont en usage en télégraphie, sinon en France, du moins à l'étranger. C'est ce qui nous engage à les faire connaître.

Le point de départ des piles à sulfate de cuivre, c'est la pile de Daniell, dont l'invention est déjà ancienne, mais qui est encore en usage, soit par elle-même, soit par ses nombreuses imitations ou perfectionnements.

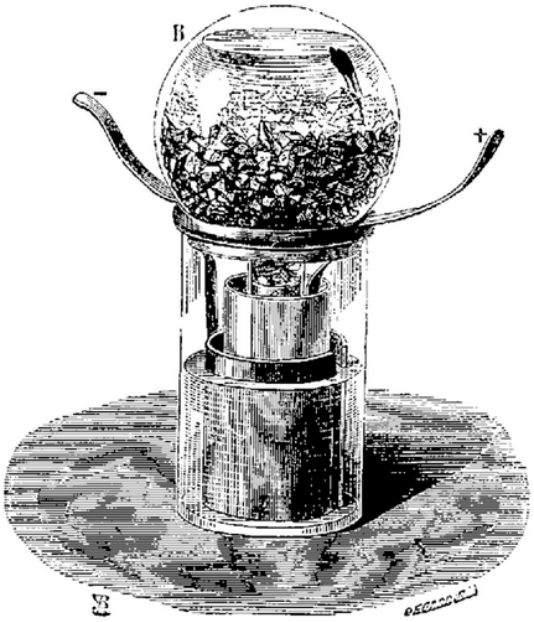
C'est en 1836 que le physicien anglais Daniell construisit sa première pile au sulfate de cuivre. Elle était très compliquée, mais elle fournissait un courant parfaitement constant. Elle était munie d'un siphon destiné à débarrasser la pile des liquides saturés de sel, et à lui fournir, en échange, de l'eau pure, qui maintenait constant le degré de saturation des liquides.

Après avoir essayé successivement des diaphragmes en vessie, en cuir et en toile, Daniell s'arrêta enfin au vase poreux en porcelaine dégourdie.



Pile de Daniell.

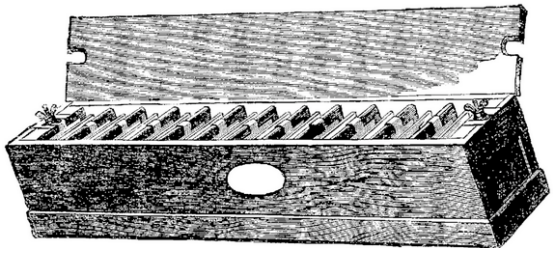
Le modèle de pile de Daniell que construit M. Bréguet se compose d'un vase extérieur contenant de l'eau acidulée, dans laquelle plonge une lame cylindrique de zinc, Z.



Au centre de ce vase, se trouve un vase poreux, rempli d'une solution concentrée de sulfate de cuivre, où plonge une lame de cuivre, C. Dans cette pile, le zinc se dissout en s'oxydant, et forme du sulfate de zinc ; l'hydrogène produit passe à travers le vase poreux, et réduit le sulfate de cuivre. Il se forme donc du cuivre métallique, qui se dépose sur la lame de cuivre et le vase poreux, et l'hydrogène se combine avec l'oxygène, pour former de l'eau.

La disposition donnée à la pile de Daniell par **M. Vérité**, horloger de Beauvais, pile que nous représentons, dispense de tout entretien.

Un ballon B, rempli d'eau et de sulfate de cuivre, et dont le goulot porte un bouchon, traversé par un tube de verre, plonge dans le liquide du vase poreux. À mesure que le sulfate de cuivre dissous se consomme, dans la pile, il est remplacé par celui du ballon, qui maintient sans cesse la saturation du liquide dépolarisateur, mais a l'inconvénient de réduire un peu l'intensité du courant.

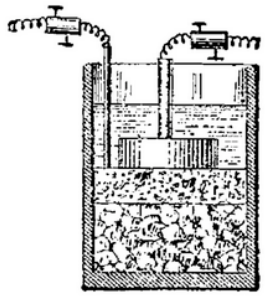


— Pile Daniell à auge.

La pile de Daniell représentée a servi pendant très longtemps, en Angleterre, pour la télégraphie, et elle est encore très répandue pour cet usage.
Elle se compose d'une boîte en bois de teck, divisée en dix compartiments par une plaque d'ardoise C ; chaque compartiment renferme deux cloisons séparées par une plaque de porcelaine poreuse. Sur chaque ardoise on met, à cheval, une lame de cuivre, qui supporte, d'un côté une plaque de cuivre, et de l'autre côté une lame de zinc. Dans le dernier compartiment, à gauche, est une plaque de cuivre, qui aboutit à un bouton ; c'est le pôle positif de la pile.
Dans les compartiments d'électrode cuivre on met la dissolution de sulfate de cuivre avec quelques cristaux du même sel, qui maintiennent la dissolutio
L'emploi d'une caisse en bois a pour but de supprimer les vases de verre, très exposés à être brisés pendant un long service. Il faut seulement que la caisse soit bien étanche, ce qui n'arrive pas toujours, et la pile est alors hors de service. La boîte étant fermée par un couvercle de bois l'évaporation de l'eau est très lente. Enfin le transport de l'appareil est facile.
Cette pile que les télégraphistes anglais appellent ***trough battery*** (pile à auge) a les dimensions suivantes : pour le cuivre un carré de 7 centimètres de côté ; pour le zinc un rectangle de 9 centimètres sur 5. Une pile de dix éléments coûte 26sh25 et l'entretien revient à 10 livres par an. Elle fonctionne un mois sans que l'on ait à ouvrir la boîte.

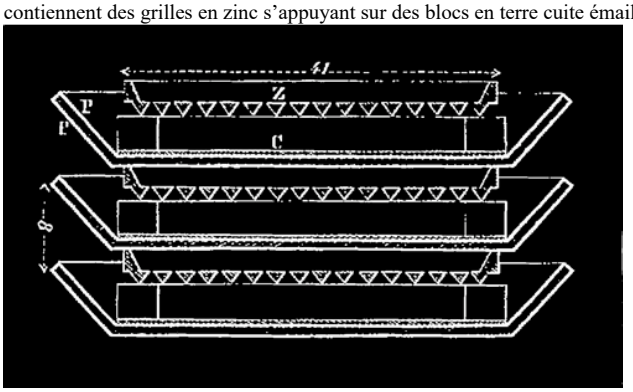
La pile Muirhead, très employée en Angleterre, pour le service des lignes télégraphiques, est un perfectionnement de la précédente.
Elle se compose d'une caisse en bois, contenant cinq vases de porcelaine, munis de deux séparations dans lesquelles sont placés des vases poreux plats. Le vase extérieur est carré et en porcelaine blanche. On y place un vase poreux en terre rouge, qui reçoit l'électrode de cuivre et le sulfate de cuivre. À l'extérieur du vase poreux on met l'électrode zinc. Les électrodes de cette pile sont les mêmes que ceux de la pile de Daniell à auges, que nous venons de décrire.
La pile Muirhead a été la plus employée en Angleterre pour la télégraphie. Au bureau central des télégraphes du gouvernement, à Londres, il y a 20 000 éléments semblables à ceux dont nous venons de parler.

En Italie et dans l'Inde anglaise, on emploie la pile de **M. Minotto** (de Venise), dans laquelle le vase poreux est remplacé par une couche de sable ou de sciure de bois, imprégnée d'une dissolution de sulfate de cuivre.



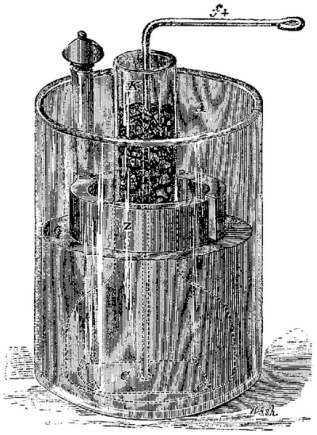
C'est une pile de Daniell à sable. Une simple feuille de papier buvard sépare les deux liquides. Dans l'eau acidulée plonge le pôle négatif, formé d'un disque plat de zinc ; et au fond de la pile se trouve le pôle positif, formé d'un disque semblable de cuivre rouge.
Cette pile est très constante, et sa résistance est d'environ 2 ohms quand elle est en bonne condition.
Les piles Minotto qu'emploient les Compagnies de câbles sous-marins diffèrent de la précédente quant à la forme. Elles se composent d'un vase en gutta-percha, au fond duquel est placé un disque de cuivre, d'où part un fil isolé, formant électrode. Cette pile a l'avantage d'être très portative ; aussi l'emploie-t-on généralement pour les épreuves faites à la mer ou même à terre, sur les câbles sous-marins.
Une troisième forme de pile Minotto consiste en un vase de cuivre, au fond duquel on dépose des cristaux de sulfate de cuivre, que l'on recouvre ensuite de sciure de bois. C'est sur cette couche que repose le zinc. Le montage de cette pile est des plus simples et son fonctionnement d'une régularité parfaite. Il suffit pour l'entretenir de l'humecter de temps à autre.
La pile Minotto est employée pour la télégraphie dans toute l'Inde anglaise.

Sir W. Thomson a construit un élément à sulfate de cuivre, beaucoup moins résistant et beaucoup plus énergique que celui de Daniell. Les éléments qui servent à faire fonctionner son siphon-recorder, c'est-à-dire l'appareil qui enregistre les signaux du télégraphe transatlantique, et que nous aurons à décrire dans le Supplément au Câble transatlantique, sont formés d'auges ayant 0m,40 carrés à la base, et évasées au sommet. Elles sont doublées de plomb intérieurement et contiennent des grilles en zinc s'appuyant sur des blocs en terre cuite émaillée, comme on le voit sur la figure ci-jointe



Une lame de cuivre est soudée sur le bord extérieur de chaque auge, pour servir, au besoin, d'électrode. Afin de faciliter l'enlèvement des dépôts de cuivre, une lame étroite de ce métal est soudée au fond et au milieu de chaque auge ; et tout le restant du plomb qui recouvre l'intérieur et les côtés est enduit d'un vernis isolant, formé de copal et de térébenthine. Une plaque de cuivre très mince également, vernie sur une de ses faces, excepté au centre et aux coins, fait contact, par la pression des blocs de terre cuite et la grille en zinc, avec le revêtement de plomb convenablement gratté dans les coins. La face supérieure de la plaque de cuivre est décapée. Elle est, d'ailleurs, de la même dimension que l'intérieur des auges (0m,40 carrés). Sur ses coins on place les blocs de terre cuite qui supportent le zinc en forme de grille.
Cet élément est enveloppé de papier-parchemin, plié avec soin sur les côtés et fixé solidement par de la ficelle et de la cire à cacheter. Le papier, une fois humecté, agit comme un diaphragme, et retient homogène l'ensemble du grillage en zinc, que le temps détériorerait. Pour supporter une de ces pièces à auge, on construit un bâti en bois, muni de quatre isolateurs en porcelaine, sur lesquels vient s'appuyer la première auge.
Cette pile doit être disposée de façon à ce que l'on puisse tourner facilement autour. La première auge et le support doivent être soigneusement nivelés.
Au fond de la première auge, on place l'élément cuivre, dont on assure le contact métallique au centre et aux quatre coins ; puis on place sur ces coins les quatre blocs de terre vernie formant de petits cubes qui servent de support au grillage en zinc. On verse alors dans l'auge une solution de sulfate de zinc d'une densité de 1,1 en humectant d'abord la grille et son enveloppe en parchemin. On s'assure ensuite que les quatre coins supérieurs du zinc et les quatre coins inférieurs en plomb de l'auge suivante sont propres et secs, et l'on appuie l'auge no 2 sur le zinc no 1, et ainsi de suite jusqu'à ce que la pile soit complète.
Les cristaux de sulfate de cuivre qu'on emploie dans cette pile doivent être en petits morceaux de la grosseur d'un pois ; on les pèse par petites quantités, d'environ 30 grammes. Pour mettre la pile en action, on verse ces 30 grammes de sulfate de cuivre séparément, sur chaque face, distribuant cette quantité aussi également que possible entre les blocs de terre cuite. Immédiatement après, on met chaque élément en court circuit, et au bout de dix minutes, la pile est prête à

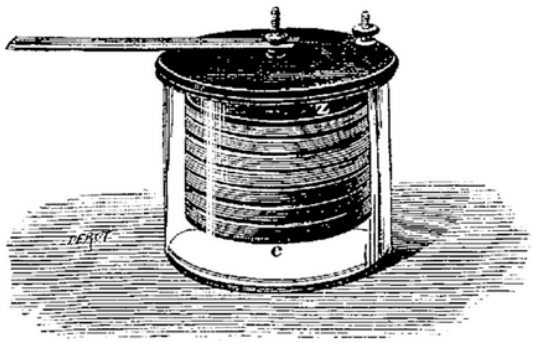
agir, avec toute sa force. De temps en temps, il faut ajouter du sulfate de cuivre, toujours par quantités égales pour chaque auge, comme au moment où la pile a été chargée ; mais il ne faut jamais mettre de nouveau sulfate de cuivre, tant que la quantité mise précédemment n'est pas complètement usée. De temps à autre, il faut retirer, avec un siphon, et à partir d'un point inférieur au niveau extrême du sulfate de zinc, assez de liqueur pour abaisser son niveau d'environ 7 millimètres, puis rétablir ce niveau en versant de l'eau fraîche jusqu'à ce qu'elle soit à la hauteur des grilles de zinc.
La résistance intérieure de ces éléments est très faible, tandis que leur force électromotrice est considérable.



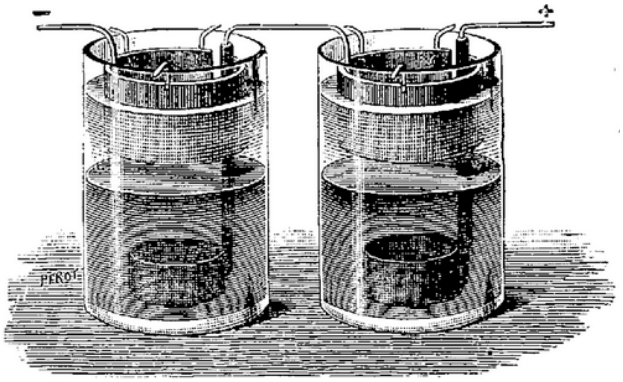
La pile Siemens & Halske

L'élément Siemens et Halske, adopté en Allemagne, est une pile Daniell dont la cloison poreuse est plus épaisse. Il se compose, comme on le voit, d'un vase cylindrique de verre, au fond duquel est placée une bande de cuivre, C, en forme de S, à laquelle est soudé un fil servant d'électrode négative. On recouvre la bande de sulfate de cuivre, et, après avoir placé dessus une cloche en terre poreuse, surmontée d'un manchon en verre, K, sur lequel pose l'électrode, on la remplit de cristaux de sulfate de cuivre.
Au-dessus de la cloche on met, après l'avoir exprimée, une sorte de bouillie faite avec du papier et son quart en poids d'acide sulfurique étendu de quatre fois autant d'eau. Sur cette pâte, qui sert de vase poreux, on pose un morceau de toile, que l'on recouvre de cristaux de sulfate de zinc, et par-dessus, un cylindre de zinc fondu, muni d'une borne en laiton.
Pour mettre l'élément en activité, on verse de l'eau dans le manchon de verre et sur le zinc.
Bien que la résistance intérieure de cette pile soit assez grande, on l'emploie néanmoins avantageusement en télégraphie.
Pour éviter que le sulfate de cuivre ne traverse la pâte de papier et ne recouvre la cloche de terre poreuse, **M. Varley** a eu l'heureuse idée de remplacer la pâte de l'élément Siemens-Halske par de la sciure de bois recouverte d'oxyde de zinc.

La Pile Trouvé, à disque de papier



Dans le modèle de pile Daniell construit par M. Trouvé chaque élément se compose de disques plats, l'un de cuivre, et l'autre de zinc, entre lesquels se trouve une assez grande épaisseur de rondelles de papier buvard. La moitié inférieure de ces rondelles est imprégnée d'une solution saturée de sulfate de cuivre, tandis que la moitié supérieure contient une solution de sulfate de zinc. Le tout est maintenu par une tige d'ébonite fixée au couvercle de la pile. Il suffit de plonger l'ensemble de ces disques pour mettre l'élément en action.
La pile de M. Trouvé est très régulière et d'une résistance très faible ; on l'emploie avec avantage en télégraphie et pour actionner les appareils électro-médicaux.



La Pile Callaud.

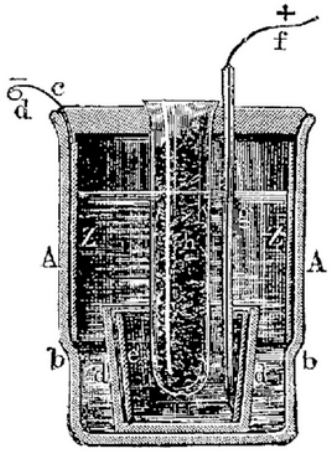
La pile Callaud, qui est d'un très grand usage dans la télégraphie française, est encore une modification de la pile Daniell. Elle se compose d'un vase en verre, sur le bord duquel repose, à l'aide de trois crochets, un cylindre de zinc. Une bande de cuivre, remplacée souvent par un gros fil de cuivre roulé en spirale, est placée sur le fond du vase, et terminée par un conducteur recouvert de gutta-percha. Pour mettre la pile en action, on verse d'abord dans le vase de l'eau pure, ou mieux une dissolution étendue de sulfate de zinc ; puis on ajoute une dissolution de sulfate de cuivre, au moyen d'un siphon, qui plonge jusqu'au fond du vase. Cette pile est très économique et sa résistance très faible ; quant à sa force électro-motrice elle ne tombe que de 1/40 environ de sa valeur initiale, dans l'espace de trois ou quatre mois.
Le modèle de pile Callaud, adopté aux États-Unis, se compose d'un vase de verre, auquel est suspendue une plaque de zinc fondu ayant la forme d'une roue d'horloge à quatre barrettes, sans denture. Le cuivre est enroulé en spirale et soudé à une tige de même métal, mais isolée, qui vient aboutir au dehors. Pour mettre cette pile en action, il suffit d'y jeter des cristaux de sulfate de cuivre et de verser par-dessus de l'eau pure. Les deux solutions se séparent en vertu de leur

densité, et le courant apparaît presque aussitôt après le montage.

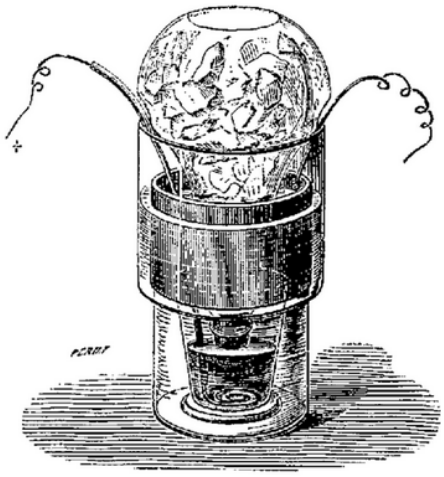
On doit à **Gaiffe** une pile de Daniell, dans laquelle la réaction du zinc sur le sulfate de cuivre reste nulle tant que le circuit est ouvert.
L'élément se compose : d'un bocal en verre à la partie supérieure duquel est suspendu un zinc comme dans l'élément Callaud ; d'un vase central formé d'une partie poreuse et d'une partie non poreuse, constituée par un verre à boire ordinaire ; enfin d'un cylindre de cuivre, contenu dans le vase central, et dont prolongement recourbé en dehors de ce vase plonge jusqu'au fond du bocal, et se termine par un anneau. Le couple se charge à l'aide d'une solution co de sulfate de zinc.

Enfin, **M. Trouvé** a construit un élément Callaud dont le prix de revient est des plus modiques.
Il est formé d'un vase de verre sur les bords duquel le cylindre de zinc est retenu par trois courbures que l'on y pratique avec une tenaille. L'électrode négative est constituée par un fil de cuivre en spirale dont le bout, isolé par un tube de verre, sert de fil de dérivation. Le fil du pôle zinc de chaque élément vient s'enrouler sur le fil de cuivre de l'élément suivant et rend ainsi très facile son accouplement. La pile Callaud-Trouvé peut être employée avec avantage dans l'installation des sonneries d'appartements, des télégraphes et des téléphones domestiques, mais elle a été construite surtout pour des usages médicinaux.

L'administration badoise des télégraphes ainsi que celle de l'Allemagne du Nord, emploient une pile au sulfate de zinc, qui est basée, comme les précédentes, sur la différence de densité de deux liquides. Nous voulons parler de la pile Meidinger, dont l'usage est aujourd'hui très répandu.



Chaque élément se compose d'un vase en verre, rétréci vers la base, et contenant une sorte de capsule d, d, reposant sur le fond.
Une éprouvette h, remplie de cristaux de sulfate de cuivre, et percée, à sa partie inférieure, d'un petit orifice, repose sur les bords de la capsule. Celle-ci contient un cylindre de plomb g auquel est soudé un fil de cuivre isolé aboutissant au dehors. Enfin un cylindre de zinc, Z, muni de son électrode, vient reposer sur le rebord que forme le rétrécissement du vase extérieur.
Pour charger l'élément, on remplit d'abord le vase en verre d'une solution d'eau additionnée de 90 grammes de sulfate de magnésie ; on y introduit ensuite la capsule, puis le cylindre de plomb et enfin l'éprouvette garnie de sulfate de cuivre. Pour éviter la concentration de la solution de sulfate de magnésie, il convient d'ajouter un peu d'eau de temps en temps. Il est indispensable d'enduire aussi de paraffine les bords du vase extérieur afin d'empêcher le dépôt des cristaux de sulfate de soude.
Dans l'Allemagne du Nord, on remplace souvent l'éprouvette par un ballon en verre rempli d'une dissolution concentrée de sulfate de cuivre, et muni d'un bouchon au travers duquel passe un petit tube en verre qui plonge dans la capsule.



Pile Meidinger à ballon.

On emploie beaucoup en Allemagne la **pile Kohlfurst**, qui est aussi un perfectionnement de la pile de Daniell, et qui se recommande surtout par sa constance.
L'élément se compose d'un vase étranglé à sa partie inférieure, et dont la partie supérieure est fermée par un couvercle en fonte de fer, auquel est fixé un bloc de zinc qui se termine extérieurement par une borne en cuivre, servant de pôle négatif. Une plaque de plomb, qui constitue le pôle positif, repose au fond du vase et communique au dehors par un fil de cuivre recouvert de gutta-percha. On garnit de cristaux de sulfate de cuivre l'espace compris entre le fond du vase et l'étranglement sur lequel vient s'appuyer un disque de terre cuite non vernie et percée de trous, puis on remplit le vase d'une dissolution de sulfate de zinc ou de magnésie.
Cet élément, dont la résistance intérieure est très faible, et la force électromotrice relativement considérable, fonctionne plus d'une année, sans exiger le moindre entretien.

Enfin **M. Reynier** a perfectionné l'élément Daniell en remplaçant l'acide sulfurique par de la soude caustique. Il diminue ainsi la consommation du zinc, empêche la diffusion de la solution cuprique, lorsque la pile est au repos, et augmente dans de notables proportions la force électro-motrice qui peut atteindre jusqu'à 11 volts.

Le télégraphe électrique
Le télégraphe électrique a pu être développé grâce à la découverte de nombreux phénomènes scientifiques ainsi que l'invention des batteries.

En 1820, Hans Christian Oersted constate la déviation d'une aiguille magnétique par un courant électrique. La première démonstration d'un télégraphe électrique

en 1832 à Saint-Pétersbourg par Paul Schilling utilise ce phénomène. Par la suite, de nombreux autres scientifiques et inventeurs proposèrent une nouvelle version du télégraphe électrique mais c'est le système développé par le peintre Samuel Morse en 1837 qui est massivement utilisé à partir de 1840. Avec l'aide d'Alfred Vail, Samuel Morse développe un système de télégraphe électrique qui utilise un code spécifique portant son nom : le morse. L'émetteur est un interrupteur alimenté par une batterie. Le récepteur est un électroaimant qui actionne l'écriture du message. Le télégraphe devient le moyen de communication le plus rapide aux États-Unis et en Europe. Ses lignes sont installées en parallèles des lignes de chemin de fer. Il joue notamment un rôle très important lor guerre de Sécession en permettant la communication rapide de messages entre plusieurs bataillons.

Le télégraphe sans fil
Le développement du télégraphe sans fil a été d'une grande utilité pour la sécurité en mer. C'est notamment grâce à lui que les naufragés du Titanic ont pu être secourus en 1912. À la suite de ce tragique événement, deux conférences internationales rendirent obligatoire la présence d'un équipement de télégraphie sans fil à bord de tous les navires. À partir des 1980, avec la mise en place d'un réseau international de satellites de télécommunications, la télégraphie sans fil fut abandonnée.

Le téléphone
Le téléphone naît de la volonté d'améliorer le télégraphe. En 1875, Alexander Graham Bell travaillait sur un télégraphe en utilisant des courants alternatifs lorsqu'il entendit la voix de son assistant à travers un électroaimant à la suite de la soudure d'un des contacts. Dès lors, le téléphone connait une diffusion fulgurante. En 1878, ce sont des milliers de téléphones qui sont installés aux États-Unis. En 1879, 27 000 téléphones sont en service dans le monde, en 1900, 2 millions et en 2000, 1,5 milliards téléphones de toutes sortes.
Les premiers postes téléphoniques nécessitaient une batterie pour alimenter le microphone et l'utilisateur devait tourner une manivelle pour faire sonner le poste de son correspondant. Les premiers postes téléphoniques étaient connectés deux à deux. À partir de 1878, les centraux téléphoniques manuels permirent aux utilisateurs de communiquer avec n'importe quel autre poste relié. En 1889, Amon Strowger développe le premier sélecteur qui lui permet de mettre en service le premier central téléphonique automatique.

Les télécommunications et les débuts de la mondialisation
Le télégraphe a servi à instaurer la grandeur et la puissance de l'empire anglais pendant le 19eme siècle. Possédant le plus grand nombre de câbles de télégraphe, l'Angleterre est aussi le pays où la télégraphie sans fil fait ses débuts. Cette dernière permit l'intensification des flux de communications avec les navires mais aussi avec les colonies reculées non reliées par le télégraphe filaire. C'est grâce à cette capacité d'obtenir rapidement des informations que l'empire anglais a pu conserver sa suprématie sur le monde durant le 19ème siècle.

L'utilisation du télégraphe et par la suite du téléphone, a aussi bénéficié à la suprématie des entreprises américaines. Etant détenteurs des brevets du téléphone et du télégraphe, des compagnies comme American Telephon ou Telagraph Company ce sont imposées comme les leaders mondiaux des communications. Avec le développement du téléphone eu Europe, leurs monopôles s'étend aux marchés européens et ces compagnies deviennent les principaux fournisseurs de matériels de communication dans le monde.

Le développement des télécommunications favorise aussi le développement des multinationales industrielles et tertiaires. Les communications entre différents pays pouvant maintenant s'effectuer en quelques heures, les entreprises commencent à installer des filiales à l'étranger pour pouvoir augmenter leur parts de marché et leurs bénéfices. Les télécommunications permettent aussi l'augmentation de la productivité des systèmes de productions. Les informations de direction, les nouvelles des marchés et les exploits commerciaux circulent beaucoup plus rapidement, les négociations de contrat sont plus rapides. Tout ceci permet une augmentation de la rapidité de prise de décision et ainsi une meilleure productivité des chaînes de production. De plus, les télécommunications contribuent à l'alignement des prix des marchés mondiaux et donc à la naissance de la notion de compétitivité. En permettant la circulation d'informations beaucoup plus rapides sur l'état des marchés, les coûts et prix de production dans différents endroits du monde, les télécommunications ont favorisé la concurrence mondiale. Par exemple, de 1870 à 1913, l'écart du prix du fer entre Philadelphie et Londres est passé de 85% à 19%. Le développement des télécommunications a permis une véritable mondialisation de l'économie. Devenue un atout indispensable pour la compétitivité des entreprises, les télécommunications ont révolutionné les modes de production et la valeur du travail. Avec les débuts de la concurrence internationale, c'est toute l'organisation de la chaîne de production qui est repensée pour satisfaire au plus les critères de compétitivité, à savoir produire une marchandise à des coûts les plus bas possibles tout en maintenant un niveau de qualité acceptable. Cette révolution, en parallèle avec les avancées technologiques, aboutira à la mécanisation des chaînes de production et à une modification des garanties sociales des employés qui aura pour conséquence de nombreuses revendications.

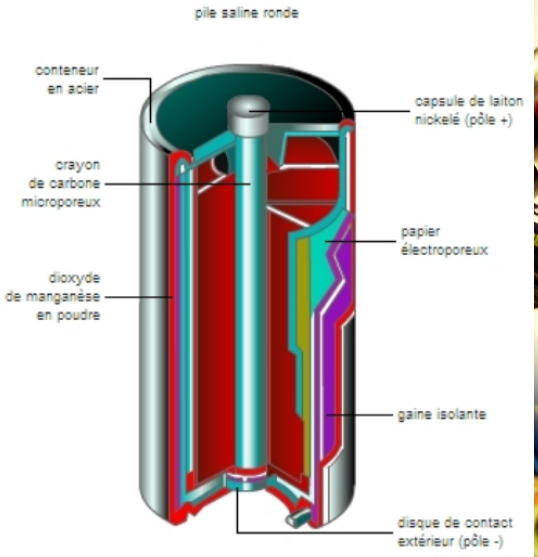
Les télécommunications ont également permis l'augmentation des flux financiers. En 1851, la première utilisation du câble reliant Londres à Paris fut pour communiquer les coûts de clôture de la bourse de Paris aux banquiers de Londres. Dès lors, les banques et investisseurs, informés par les états des marchés grâce au télégraphe, peuvent en quelques minutes décider d'investir dans n'importe quelle entreprise mondiale. Le télégraphe a permis l'explosion des investissements spéculatifs qui en 1900 constituaient près de 80% des flux de capitaux.

L'augmentation de ces divers flux a favorisé un développement déséquilibré des pays du monde, en favorisant les pays riches possédant les dernières technologies de communications. ...

De nombreuses variantes de piles existent : piles alcalines, piles au mercure, etc. Toutes ont cependant en commun de ne pas être rechargeables.

Suite à la création de la pile électrique, les technologies de pile évoluent.
En effet, de nouveaux formats apparaissent, de nouveaux matériaux également. Le progrès permet l'amélioration permanente de la pile dans son utilisation et sa durée de vie.

La pile saline : En 1859, la première batterie rechargeable au plomb est inventée par Gaston Planté, un physicien français. Quelques années plus tard, la pile « sèche » est créée, qui est à l'origine de la pile saline, constituée de zinc et de dioxyde de manganèse.



Les piles au mercure
L'entreprise Duracell est à l'initiative de la création des piles au mercure. Son histoire commence dès le début des années 1920 avec le scientifique Samuel Ruben et un fabricant de filaments de tungstène, Philip Mallory. C'est leur collaboration qui va leur permettre de faire avancer les choses.
Samuel Ruben a révolutionné la technologie de la pile. En effet, pendant la Seconde Guerre Mondiale, il conçoit une pile au mercure assez résistante pour être utilisée dans des climats extrêmes, comme en Afrique du Nord et dans le sud du Pacifique. De plus, il a souhaité concevoir une pile qui possède une plus grande capacité dans un espace moindre. Il était à ce moment-là important de trouver une autre solution car les batteries zinc-charbon, habituellement utilisées dans les torches électriques, les détecteurs de mines et les talkies-walkies, ne pouvaient pas résister à d'aussi fortes conditions. Suite à cela, Mallory a fabriqué des millions de piles au mercure pour les armées.
Peu après, dans les années 1950, Samuel Ruben a continué d'améliorer la pile alcaline au manganèse, en la rendant plus compacte, et en prolongeant sa durée de vie, afin d'en faire la plus performante de toutes les piles fabriquées jusqu'à cette époque.
En 1991, le mercure est définitivement interdit dans les piles bâton. Il faudra cependant attendre près de 20 ans pour qu'enfin, depuis 2012, les fabricants n'utilisent plus de mercure dans les piles bouton.
En effet, on s'est peu à peu rendu compte de la dangerosité de ce métal : il peut causer de graves problèmes de santé (effets toxiques sur les systèmes nerveux, digestif et immunitaire, et sur les poumons, les reins, la peau et les yeux). Le mercure est considéré par l'OMS comme l'un des dix produits chimiques ou groupes de produits chimiques extrêmement préoccupants pour la santé publique.

La pile alcaline :
Milieu des années 60 Union Carbide (Karl Kordesch), États-Unis Développement de la pile alcaline primaire.
Plus performante et plus petite, elle est utilisée dans de nombreux appareils de la vie domestique comme les lampes électriques, les talkies-walkies des militaires ou encore les détecteurs de mines.
Cette pile rencontre un véritable succès car elle est beaucoup plus performante que la pile saline.
Les piles alcalines, comme sont appelées les piles primaires zinc-chimie, sont les plus utilisées dans le monde, ce qui représente un bond de 70 pour cent du marché des piles en 2011 avec 10 milliards d'unités individuelles produites dans le monde et le marché de ces piles devrait augmenter d'un montant de 5,4 milliards de dollars rien qu'aux États-Unis en 2015.
Des cellules primaires qui utilisent une solution alcaline plutôt que des acides pour leur solution d'électrolyte ont existé depuis le début du 20e siècle grâce aux découvertes de Waldemar Jungner et Thomas Edison. Cependant, c'est l'ingénieur canadien Lewis Urry qui a inventé la pile alcaline Zinc/Manganèse qui est omniprésente actuellement .

La pile au lithium : Au début des années 1970, après de multiples recherches, la pile au lithium est inventée.
Les piles Alcalines devancées par une autre forme de la chimie de la pile, la Lithium non rechargeable. Ces piles sont faites avec des anodes de lithium ou du disulfure de lithium-fer et une cathode de dioxyde de manganèse en suspension dans une pâte d'électrolyte de sel de lithium dissous. Elles sont aussi connu sous le nom de lithium « en tension compatible», puisque ce type de pile peut produire des tensions de production de la charge de 1,5 V AA ou alcalines AAA jusqu'à 3.7v, mais malheureusement, ces piles utilisent une forme métallique de lithium pour leurs électrodes qui empêche leur recharge. Vous pouvez les trouver en vente sous des noms de marque comme lithium Energizer et Rayovac lithium photo.
Elles ont le double de durée de vie que les piles alcalines dans les appareils à forte consommation, grâce à leur plus grande capacité et faible résistance interne et n'ont pratiquement aucune autodécharge, ce qui leurs permet d'avoir une durée de vie de 10 ans. Elles sont toutefois plus chères que des piles alcalines classiques et ne peuvent pas être rechargées comme les cellules NiMH.
Les piles au lithium, ainsi que d'autres dispositifs comme les batteries se développèrent de plus en plus dans les années 80-90.

Milieu des années 70 Développement de la batterie acide-plomb à valve régulée.

Les piles rechargeables
Le développement des appareils de photo numérique, des lecteurs de musique MP3, des téléphones et des ordinateurs portables s'accompagne d'un essor des « piles » rechargeables, qui sont en fait des accumulateurs (ou batteries) miniaturisés, dont il existe différents types : nickel-cadmium, nickel-métal-hydrure, lithium-ion, lithium-polymère.

1990 La batteries au NiMH

La recherche sur les batteries au NiMH commença dans les années 1970 mais les alliages d'hydrures métalliques étaient instables dans le contexte d'un accumulateur. Des nouveaux alliages d'hydrures furent développés dans les années 1980 qui améliorèrent leur stabilité. Le NiMH devint disponible commercialement dans les années 1990.

1992 Karl Kordesch, 1922 , Canada Commercialisation de la pile alcaline réutilisable.

1999 Commercialisation de la pile Li-ion polymère.

2002 Production limitée d'une pile à combustible avec membrane à échange de protons (PEM)
Dans son principe, la pile à combustible repose sur la réaction inverse de l'électrolyse de l'eau (décomposition en hydrogène et oxygène par un courant électrique) : l'oxydation de l'hydrogène produit de l'eau et de l'électricité. Le principe de ce type particulier de pile électrique a été découvert en 1802 par le Britannique Humphry Davy et c'est son compatriote William Robert Grove (1811-1896) qui a construit, en 1839, la première cellule combinant l'hydrogène et l'oxygène. Les premières piles à combustible opérationnelles ont été réalisées au milieu du xxe s. aux États-Unis, et ont été utilisées comme générateurs électriques pour les vaisseaux spatiaux habités américains (programmes Gemini et Apollo). Elles ont connu ensuite d'autres applications, notamment dans le domaine militaire.
Perspectives
Aujourd'hui, avec l'attention portée à la protection de l'environnement et les craintes suscitées par l'appauvrissement progressif des ressources énergétiques fossiles, la pile à combustible fait l'objet d'intenses recherches. Non polluante (pas de rejets de gaz à effet de serre), silencieuse et d'un excellent rendement énergétique, elle présente d'importants atouts pour contribuer, dans le futur, à la production d'énergie (électricité et chaleur) et à la propulsion des véhicules automobiles. Cependant, c'est un dispositif qui reste pour l'instant très coûteux.

L'un des modèles de pile à combustible les plus étudiés aujourd'hui est la pile à membrane échangeuse de protons. Elle comprend deux électrodes minces et poreuses séparées par une membrane de polymère qui ne laisse passer que les protons. Des catalyseurs recouvrent une face de chaque électrode. Quand l'hydrogène entre dans le dispositif, il est décomposé en électrons et en protons par le catalyseur qui recouvre l'anode. Les électrons circulent dans un circuit externe et actionnent un moteur électrique, tandis que les protons migrent à travers la membrane jusqu'à la cathode. Le catalyseur qui recouvre la cathode combine les protons avec les électrons qui, avec l'oxygène de l'air, forment de l'eau.

Le rôle de la publicité

Duracell
Pourtant, malgré son caractère discret, la pile reste un objet de marketing : face à la concurrence, les marques de piles et batteries se doivent d'être créatives, afin de se démarquer auprès de la clientèle. C'est le cas par exemple de la marque Duracell qui a créé une mascotte, devenue emblème de la marque : le lapin Duracell. Ce lapin rose apparaît pour la première fois en 1973 dans une publicité Duracell, où l'on voit des dizaines de jouets lapins jouer du tambour et tomber progressivement en panne sauf un : le lapin alimenté par une pile alcaline Duracell. Avec le succès de cette pub, le lapin devient alors l'emblème de la marque. Il est en effet difficile de susciter une émotion chez le consommateur avec uniquement une pile électrique, alors qu'un lapin peut évoquer l'enfance, la douceur et peut prendre vie. Il existe ainsi une multitude de publicité dans lesquelles le lapin Duracell excelle par sa force et son endurance dans tous les sports. C'est donc à travers le lapin que Duracell affirme que ses piles électriques durent le plus longtemps. Afin de se renouveler, la marque a créé diverses campagnes publicitaires telles que « Some toys never die », inspiré de films d'horreurs tels que Annabelle. Il s'agit de mises en scène angoissantes où l'on voit des enfants se faire hanter par leurs anciens jouets alors qu'ils jouent avec des nouveaux jouets. Ces caricatures humoristiques montrent que les jouets alimentés pas des piles Duracell ne « meurent jamais ». Afin de réaliser ces publicités, la marque a collaboré avec Grey, une agence spécialisée dans la production de publicités originales. Chaque détail est donc réfléchi pour mettre en valeur les piles Duracell et marquer l'esprit du consommateur. Par exemple, la lumière éclaire uniquement les anciens jouets afin de les rendre plus menaçants.
Energizer
Le succès du lapin Duracell est tel qu'il attire la convoitise des autres marques. Ainsi, en 1989, l'entreprise Energizer profite d'un oubli de renouvellement des droits d'utilisation du « lapin rose » pour créer son propre lapin et d'en faire sa mascotte. La première publicité d'Energizer est une reprise de celle de Duracell, mais cette fois-ci le lapin d'Energizer s'invite à la « compétition de durabilité » et dépasse les autres. La marque rivale de Duracell tente de se différencier de cette dernière avec un lapin ayant une attitude plus « cool » et désinvolte. Symbole de la rivalité entre les deux marques : le méchant « Supervolt » inventé par Energizer qui tentera par tous les moyens de détruire le lapin Energizer, sans succès, et qui est une allusion au lapin concurrent, Duracell. Si le lapin Energizer s'est affirmé aux États-Unis, c'est celui de Duracell qui est resté plus célèbre en Europe les piles et les batteries nous amènent-elles à un changement de

paradigme ?

Leur invention eut un fort impact dans nos vies, et ce dès le XXème siècle. Elles ont un objectif commun : faciliter la vie de l'Homme en miniaturisant le stockage d'énergie, mais elles restent la partie cachée de l'iceberg, l'objet final étant la partie visible. Grâce à la pile, nous gagnons en autonomie et il est aujourd'hui possible et très courant de se déplacer avec de l'énergie sur soi-même, et ce n'importe quel soit le lieu. Cela contribue fortement à notre libe allons nous appuyer sur des exemples majoritairement récents, c'est-à-dire développés dans notre siècle à nous.

Actuellement, il est possible de sortir de chez soi tout en continuant ses activités si l'on en avait entamé (écouter de la musique, poursuivre un appel téléphonique, etc.). Les batteries qui sont à l'origine de nombreux produits high-tech récents tels que les téléphones, tablettes ou encore ordinateurs, permettent de maintenir le contact pendant les vacances par exemple, que ce soit avec les proches ou bien dans un cadre professionnel. Dans un monde qui bouge de plus en plus, il est de nos jours quasiment primordial de pouvoir communiquer avec ses collègues, clients, professeurs, et ce même si l'on se trouve sur une plage à l'autre bout du monde. Il y a d'ailleurs plusieurs métiers qui auraient beaucoup de mal aujourd'hui sans indépendance énergétique, majoritairement sans les téléphones portables. Comment faire pour communiquer si l'on ne travaille pas dans une endroit fixe ? En effet, les gens travaillant à domicile par exemple (infirmiers(ères), hommes/femmes de ménages…) ont besoin d'échanger avec leurs clients, pour confirmer ou annuler un rendez-vous à la dernière minute par exemple. Ainsi l'Homme s'est créé une réelle dépendance face à ces nouveaux objets. Il est en effet facile de l'observer lorsque l'on se balade dans la rue : les gens regardent leurs pieds, ou plutôt leur téléphone ou montre connectée pour prendre des photos, chatter sur les réseaux sociaux, etc. Dans plusieurs pays comme dans le Royaume-Uni, les trottoirs ont depuis été adaptés puisque de simples marquages au sol permettent maintenant de voir si l'on arrive à une intersection (passage piéton) ou non. Aux Pays-Bas, la ville de Bodegraven teste actuellement un nouveau dispositif : une ligne de LED à l'arrivée de chaque passage piéton.
Groupe de jeunes sur leur smartphone

Le traitement de l'information a pris un tournant inédit. En seulement quelques minutes, une actualité venant d'un coin de la Terre peut être relayée dans le monde entier. Les smartphones, avec l'arrivée des réseaux sociaux et nouveaux moyens de communication, permettent de garder un lien constant sur l'information en temps réel.

Ces innovations ont bien changé les mentalités et habitudes humaines. En plus d'un réel gain de temps et de liberté, la fainéantise est l'une des autres conséquences sur notre comportement. La pile qui se trouve dans toutes nos smartphones, télécommandes, manettes de jeu, produits ménagers (…), ne facilite en ce sens pas notre activité au sein du foyer. On a donc un Homme qui devient de plus en plus dépendant de la nouvelle technologie, et ce sur différents points. Tout ceci n'était évidemment pas encore le cas quelques décennies auparavant, ce qui prouve bien qu'il y a eu un changement.

Cette transition s'accompagne d'autres innovations issues du même principe de stockage d'énergie, mais qui peuvent nécessiter un peu plus de temps pour être réellement adoptées par tous. C'est le cas des voitures électriques. Les gens, attachés aux voitures à moteur thermique, réalisent petit à petit leur impact, et se tournent pour cela de plus en plus vers des solutions éco-responsables. Toutefois, ces changements d'habitudes entraînent de nouveaux réaménagements, tout comme dans les parkings et dans certaines rues avec l'installation de prises pour les véhicules électriques.

De manière analogue, on peut observer l'installation de plus en plus fréquente de prises électriques dans les gares et aéroports par exemple, notamment dans les salles d'attente, dans le but de permettre aux clients de recharger leurs appareils électroniques à n'importe quel moment de la journée. Ainsi, on peut voir que ces nouveaux produits high-tech nous impactent non seulement nous, mais aussi notre environnement : il s'agit de repenser et remodérniser nos infrastructures.

Il ne faut pas oublier que tous ces changements proviennent de mêmes innovations : celles des piles et batteries. Selon la définition donnée par Universalis, nous pouvons donc bel et bien parler d'un « changement de paradigme »

Juste pour savoir : La première voiture électrique

C'est en 1834 qu'un américain, Thomas Davenpoort, appliqua à la traction la réversibilité des machines magnéto-électriques, en l'utilisant an déplacement d'une voiture circulant sur rails. Après les essais de Jacobi sur la Neva, — essais faits uniquement en vue de la navigation — après ceux de Davidson, en 1838, sur les chemins de fer, et après les tentatives d'autres chercheurs, qui eurent tous d'abord pour objectif la traction sur voie ferrée, il faut arriver jusqu'en 1881, époque à laquelle l'accumulateur, qui jusqu'à présent est l'âme de la voiture électrique, fut rendu pratique, pour voir trace des premiers véhicules ayant véritablement fonctionné sur rails et sur routes.
En 1871, Gramme, en cherchant à perfectionner les machines magnéto-électriques, inventait la dynamo génératrice d'électricité qui, par sa réversibilité, pouvait devenir machine motrice.
Dès ce moment on pouvait prévoir l'avènement de la voiture électrique; mais l'énergie à fournir au moteur n'était obtenue qu'à l'aide des piles primaires, seul agent transportable de production d'électricité que l'on connût alors.
Gaston Planté, à la suite d'une série de recherches, arrivait à constituer un appareil qu'il appelait une pile secondaire, et qui était l'accumulateur. L'électricité fournie à cette pile secondaire, par une source chimique ou mécanique quelconque, produisait entre les plaques de l'accumulateur, composé de deux lames de plomb immergées dans une solution étendue d'acide sulfurique, une action chimique réversible pouvant donner lieu a la production d'un courant continu utilisable.
En 1880, Camille Faure, s'inspirant des travaux de Planté, eut l'idée de diminuer la durée de la formation du peroxyde de plomb et du plomb réduit en empâtant mécaniquement des cadres avec du minium et de la litharge.
En 1881, Faure vendait son brevet à la société « Force et Lumière », dirigée par un ingénieur financier Philippart, et de sérieux essais de traction étaient tentés.

La voiture électrique semblait avoir, dès ce moment, à sa disposition tous les organes nécessaires à son fonctionnement.
Elle possédait un moteur, le plus parfait qu'on pût désirer, un appareil à rotation continue sans complications mécaniques, d'une souplesse considérable et, par surcroît, d'un rendement parfait.
Les accumulateurs Faure donnaient le cheval-heure sous un poids de 80 kilogrammes environ, poids qui ne semblait pas prohibitif pour la traction sur rails.
Aussi, sous la poussée puissante de Philippart, Faure et R a Gard entreprirent-ils l'aménagement électrique d'un tramway à chevaux, obligeamment mis à leur disposition par la Compagnie générale des omnibus.
Cette voiture portait une batterie de soixante éléments et pouvait parcourir environ 15 à 20 kilomètres sur rails sans rechargement.
Pour éviter le ripenient dans les courbes, Rafïard, chargé de la partie mécanique, faisait sur cette voiture la première application du différentiel inventé, en 1828, par Pecqueur, de Rouen.
En même temps que les essais de cette voiture, qui accomplit divers parcours dans des conditions très satisfaisantes, on poursuivait ceux d'un **tricycle automobile**, qui évoluait à merveille autour de l'usine de construction des accumulateurs.
La Société « Force et Lumière » commandait à la maison Jeantaud un dog-car électrique à quatre roues. C'est sur cette voiture qu'a été faite la première application de l'avant train à deux pivots, universellement adopté aujourd'hui dans les voitures automobiles (fig. 1 et 2) .

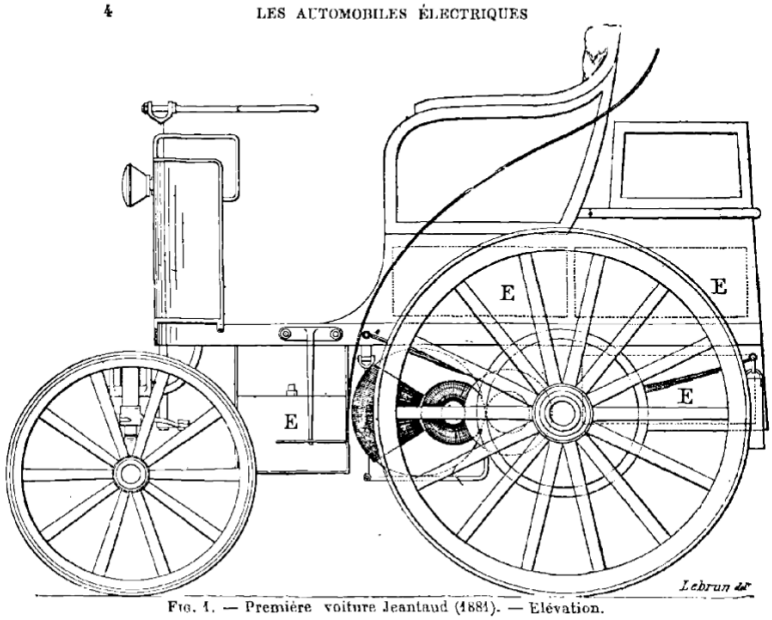


Fig. 1. — Première voiture Jeantaud (1881). — Elévation.

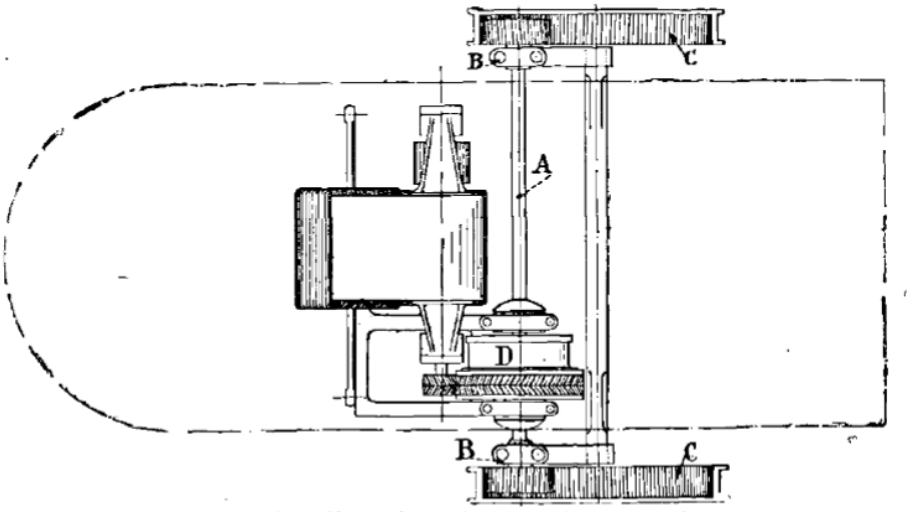


Fig. 2. — Première voiture Jeantaud (1881). — Plan.

Ces premiers essais, qui avaient ouvert la voie à la traction électrique sur route et sur rails, ne purent malheureusement pas être poursuivis; leur sort était lié à celui d'une affaire financière qui les avait patronnés et qui sombra quelque temps après. Ce fut la cause d'un retard de quelques années dans la réalisation du problème qu'on s'était proposé de résoudre.

Ce n'est qu'en **1887** qu'un Anglais, **Magnus Volk**, déjà connu par ses essais de chemin de fer électrique (1883), reprit la question. Il construisit une voiture constituée par un truck à trois roues avec caisse de dog-car à quatre places, actionné par un moteur de 10 volts empruntant son courant à une petite batterie de six accumulateurs ; la puissance maximum du moteur était de 50 kilogrammètres.
En 1888, la maison Immish construisit une voiture d'un poids total de 1.000 kilogrammes, pouvant marcher à une vitesse moyenne de 12 kilomètres à l'heure, avec un moteur de 1 cheval. L'énergie était empruntée à une batterie de piles secondaires.

En **1891**, **H. de Graffigny,** jugeant que l'emploi des accumulateurs augmentait outre mesure le poids mort du véhcule, eut l'idée de se servir de piles primaires pour produire l'énergie nécessaire ; sa première **voiture était un tricycle** à caoutchoucs pleins autour des jantes, actionné par un moteur électrique commandant les deux roues motrices; la batterie était constituée par 24 piles zinc-charbon plongeant dans une solution sulfurique d'acide chromique. Le poids de la batterie était de 32 kilogrammes, pour une puissance de 350 watts pendant deux heures et demie ou une énergie de 875 watts-heures, soit 26 kilogrammes par cheval-heure.
Le prix de revient du cheval-heure était de 8 francs, soit 0 fr. 40 par kilomètre-voiture. Ce résultat, de l'aveu même de Graffigny, était très élevé et prohibitif; aussi, sans se laisser décourager, continua-t-il ses essais en montant une voiture à quatre roues, mue par un **moteur Trouvé**, dont le mouvement était transmis aux roues motrices par un intermdiaire et deux chaînes; les piles étaient des couples Bunsen avec un système de siphonage particulier permettant le renouvellement du liquide; le prix de revient du cheval-heure était de 2 francs, résultat déjà bien meilleur, mais
encore peu industriel.
La voiture de **Blanche**, qui vient dans l'ordre chronologique après celle-ci, est particulière par l'application des accumulateurs plomb-zinc ; la forme de la voiture était celle d'un **tricycle** dont la roue directrice était également motrice, afin d'éliminer l'emploi du différentiel. La très grande attaque à circuit ouvert des plaques négatives rendit l'essai infructueux.
Les premiers résultats satisfaisants furent obtenus en 1893, par Pouchain.
La caisse était un phaéton à six places monté sur quatre roues ; le moteur, du type Rechniewski, excité en série, d'une puissance de 3.500 kwatts environ, faisant la marche normale 1.650 tours à la minute, avec un rendement de 84 % à pleine charge, actionnait l'essieu arrière à l'aide d'une chaîne commandée par un intermédiaire engrenant avec le pignon du moteur par la couronne extérieure du différentiel.
La batterie d'accumulateurs était composée de 54 éléments à trois plaques : une positive Fulmen et deux négatives Dujardin, plongées dans un électrolyte immobilisé par addition de silicate de soude à l'acide sulfurique. La capacité totale était de 70 ampères-heures en cinq heures.
Les changements de vitesse étaient obtenus par un commutateur composé d'un cylindre en bronze portant des pièces de cuivre isolées qui, par la rotation du cylindre, pouvaient venir s'engager entre des mâchoires communiquant avec la batterie et le moteur ; les vitesses variaient par le couplage de toute la batterie en tension; ou des deux moitiés de la batterie en tension, réunies en quantité; ou de la batterie en quatre groupes montés en parallèle.
Dans la voiture Pouchain nous voyons, pour la première fois, faire usage du frein électrique par la mise en court circuit de l'induit. Le poids total de la voiture était de 1.270 kilogrammes, dont 500 kilogrammes pour la batterie, et HO kilogrammes pour le moteur.

La même année, la Société du travail électrique des métaux faisait aussi des essais d'accumulateurs sur un mylord de la Compagnie générale des voitures, sous la direction de Sarcia et Moussette, et l'Amérique entrait en ligne par la mise en service du fiacre Cummings.

L'année **1894** marque, pour l'automobile en général, le commencement d'une ère nouvelle; nous passons des essais isolés aux essais en grand et en commun. **Blumtield et Garrard,** deux constructeurs de cycles, très connus à Coventry, construisaient une voiture électrique que nous reproduisons (fig. 3).

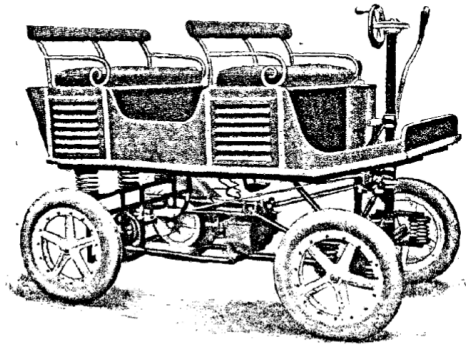


Fig. 3. — Voiture Blumfield et Garrard.

Toutes les pièces du train, des roues, avaient été fabriquées dans le genre cycle ; le châssis composé uniquement de tubes, les roues avec d'énormes pneumatiques, l'essieu d'arrière tournant comme dans les tricycles qui se construisaient à cette époque, faisaient un ensemble nouveau, qu'on devait imiter plus tard pour la construction des voiturettes.
La direction devait également servir de type pour les lourdes voitures électriques à avant-train à cheville ouvrière fabriquées quelques années après en Angleterre.
De façon à laisser le moteur tourner à une vitesse constante correspondant à son meilleur rendement, les constructeurs avaient imaginé un changement de vitesse mécanique, composé de deux plateaux actionnés par un galet mobile coulissant sur un arbre; ce galet attaquait les plateaux, du centre à la périphérie, faisant ainsi varier la vitesse de l'essieu sur lequel ils étaient montés.

Dès 1881, le constructeur automobile Charles Jeantaud fabrique, avec l'aide de Camille Alphonse Faure, Gustave Trouvé et Nicolas Raffard la **Tilbury**, dont les accumulateurs de taille importante sont placés sous le siège. elle est considérée comme la première voiture électrique alimentée par des batteries (ou accumulateurs).

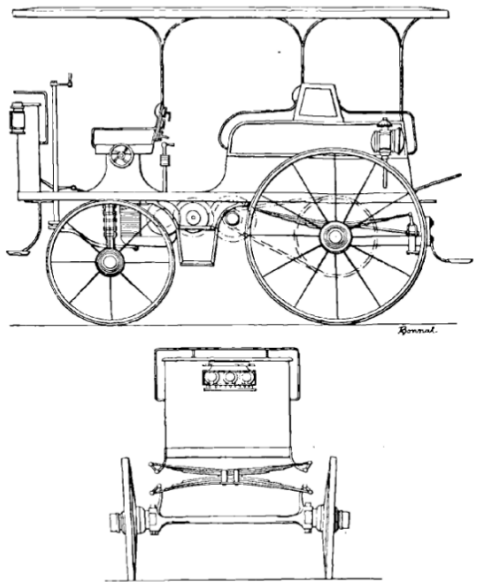


Fig. 4 et 5. — Voiture Jeantaud, de la course Paris-Bordeaux.

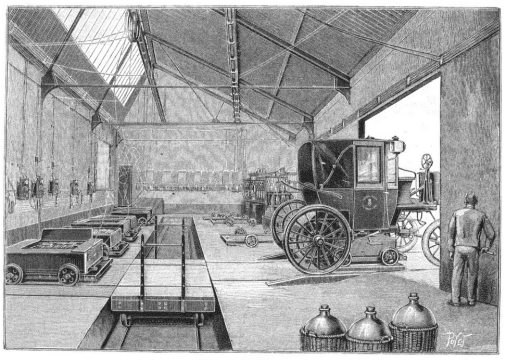


Fig. 2. — Vue intérieure du dépôt de charge de la rue Cardinet.

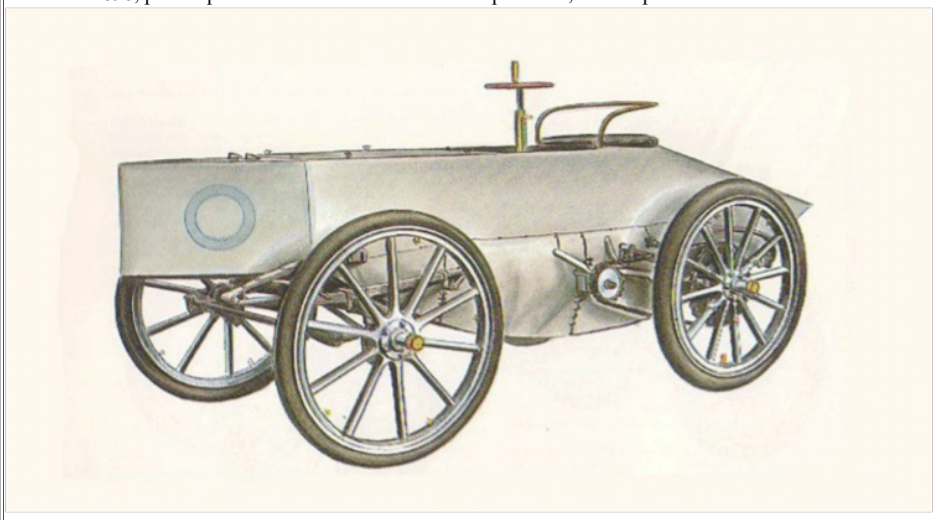
1881 à l'Exposition internationale d'Électricité de Paris, Vue du dépot de charge rue Gardinet

Les premiers concours ont lieu dans les années 1890. La voiture électrique y fait d'abord pâle figure, les accumulateurs ayant une trop faible densité énergétique. Même si Charles Jeantaud s'inscrit en 1895 à la première véritable course automobile Paris-Bordeaux-Paris, il est obligé de concourir en construisant une voiture de plus de 2 tonnes et de jalonner le parcours de 15 ensembles d'accumulateurs de 850 kg, chacun préalablement chargé, qu'il compte échanger lors de son passage. Il devra malheureusement abandonner la course à Orléans suite à une avarie d'essieu, même s'il finit ensuite par rejoindre Bordeaux (avant de rentrer en train).

Les Américains qui, pour toutes les questions électriques, vont toujours vers le progrès, organisaient en même temps la course du Times Herald, entre

Milwaukee et Chicago (28 novembre 1895), dans laquelle deux voitures électriques prenaient place, seulement, sur neuf engagées : la voiture Morris et Saloni était munie d'un moteur Lundell ; la voiture Sturges de deux moteurs supprimant le différentiel.

Mais les premiers succès arrivent. En 1898, dans le cadre de l'Exposition internationale d'automobiles de Paris, la voiture électrique remporte haut la main le concours de fiacres. Il s'agissait d'une série d'épreuves de conduite mêlant des critères de confort et de performance économique, sur un parcours de quelques dizaines de kilomètres.
Dans la course Paris-Bordeaux, Jeantaud couvrit 600 kilomètres avec des batteries changées plusieurs fois en cours de route; cela était néanmoins un pas en avant.
1898 Le plus célèbre de ses véhicules est le modèle électrique **Duc**, première automobile à établir un record de vitesse terrestre avec 63,15 km/h, le 18 décembre 1898, pilotée par le comte Gaston de Chasseloup-Laubat, dans le parc de la ville d'Achères.



La Duc

A présent Jeantaud peut être considéré comme l'instigateur et le lanceur de la voiture électrique en France. *COCORICO*

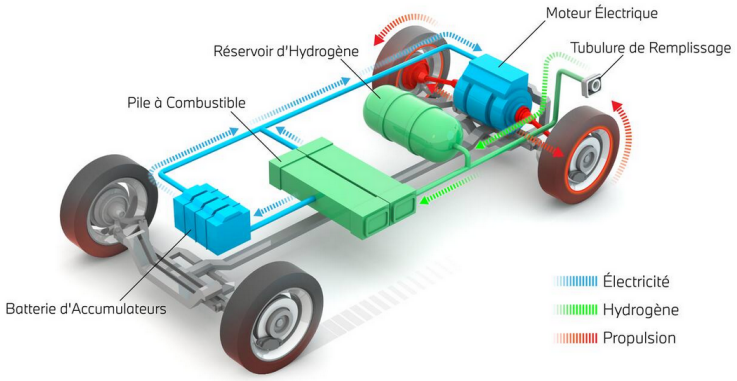
A partir de ce moment l'automobile électrique entre dans la période contemporaine avec les concours et les expositions de l'Aulomobile-Club de France en 1898 et 1899 ; ces deux premiers concours, parfaitement organisés, donnèrent aux constructeurs l'émulation nécessaire ; de toutes parts
les sociétés se créent, s'organisent, mais ce qui leur manque à toutes, ce sont les réservoirs de l'énergie, les accumulateurs; ceux-ci, en effet, limités toujours au couple plomb-plomb, ne font qu'alourdir la voiture ; leur entretien, par suite de la légèreté que bien des fabricants, à tort, leur demandent, est d'un prix coûteux; mais ce n'est là qu'un léger temps d'arrêt, et certainement bientôt, avec une plus juste conception de l'état actuel de l'industrie, en se limitant à la traction urbaine ou fort peu écartée des centres de ravitaillement, la locomolion électrique sur route pourra trouver un large développement.
...

La pile à Hydrogène

Une pile à combustible, ou PAC, est un générateur énergétique. Appliquée au domaine de la mobilité, elle permet de transformer l'hydrogène en électricité pour animer une voiture, un bus ou un camion.
Le principe de la pile à combustible a été découvert en 1839 par le chercheur d'origine germanique Christian Schönbein. Il a ensuite été concrétisé sous la forme d'un prototype par Sir William Grove quelques années plus tard. À la fin du 19ème siècle, le générateur prend sa forme actuelle et il faut attendre les années 30 pour que Francis Thomas Bacon relance des recherches sur la pile à combustible.
L'ingénieur britannique met au point un premier prototype de 1 kilowatt en 1953, puis un second de 5 kilowatts en 1959. Son invention sert par la suite de modèle pour concevoir les piles à combustible utilisées dans le cadre des missions spatiales Apollo de 1961 à 1972.
Trop onéreuse, cette technologie demeure réservée durant de nombreuses années à des marchés de niche. Il faudra attendre les années 90, et l'émergence de divers problèmes écologiques, pour que les industriels s'intéressent enfin aux piles à combustible.

En 2025 dénombre six grands types de piles à combustible :
AFC (Alcaline Fuel Cells) : ces piles alcalines fonctionnent à une température très limitée comprise entre 65 et 90 degrés Celsius. Utilisées dans le cadre des missions Apollo, elles offrent un rendement de 50 %.
PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) : ces piles à membranes échangeuses de protons bénéficient d'un démarrage rapide et puissant. Fonctionnant à faible température (entre 20 et 100 degrés Celsius), elles servent généralement à alimenter des véhicules ou des installations de petites dimensions.
DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) : ces piles sont alimentées par du méthanol. Celui-ci est injecté sur leur anode grâce à de l'eau. Son oxydation suite à la catalyse génère des ions H+, ainsi que du gaz carbonique.
PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) : issues d'une technologie récente, ces piles à acide phosphorique peuvent fonctionner jusqu'à 210 degrés Celsius. La chaleur très importante qu'elles produisent permet de les utiliser pour une cogénération. Elles alimentent majoritairement des structures stationnaires dotées d'une puissance de plusieurs dizaines de mégawatts.
MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells) : ces piles à carbonates de potassium et de lithium fondus fonctionnent à des températures supérieures comprises entre 600 et 700 degrés Celsius. Leur rendement va de 60 à 80 %. Elles servent à alimenter d'importantes installations énergétiques stationnaires.
SOFC (Solid Oxyde Fuel Cells) : ces piles à oxydes solides fonctionnent à une température encore plus forte que la catégorie précédente (entre 800 et 1000 degrés Celsius). Démarrant lentement et nécessitant des composants pouvant résister à des températures très élevées, elles permettent de générer de l'électricité stationnaire.

Les domaines d'application des piles à combustible sont très diversifiés. Au niveau de la mobilité, elles servent, par exemple, à propulser des voitures, ainsi que des bus et des navires.
Comme nous l'avons vu plus haut, les piles à combustible peuvent également servir à la génération stationnaire d'électricité ou à la cogénération de chaleur et d'électricité. Elles équipent enfin les sous-marins et les satellites.
Chacun de ces usages nécessite une puissance, une température et un combustible (hydrogène, oxygène, méthanol…) distincts et qui correspondent à un type spécifique de pile.
Fonctionnant à faible température, les AFC, PEMFC et DMFC produisent au maximum quelques dizaines de kW. On les utilise donc généralement pour alimenter des véhicules ou des appareils mobiles. Les PAFC fonctionnent quant à eux à moyenne température. Leur puissance va de 50 à 200 kW. Étant modulables, elles peuvent servir de générateurs de secours stationnaires de 10 mégawatts. Les MCFC et SOFC fonctionnent à température très élevée et délivrent une grande puissance. Elles servent notamment à alimenter en chaleur et en électricité des habitations ou des structures industrielles...



En France, la première pile à combustible "marine" fonctionnant à l'hydrogène a été installée à bord d'Energy Observer courant 2017, pour une première série d'escales en France puis en Europe qui a conduit le premier navire autonome jusqu'au cercle arctique en 2019. Au cours de ce premier périple, Energy Observer était doté d'une pile à combustible conçue en collaboration avec le CEA, qui développe une puissance de 30 kW. Bien qu'elle soit toujours à bord et ait rempli son rôle à merveille pendant ces deux premières années, les besoins énergétiques du navire sont allés en grandissant, à mesure que de nouvelles technologies étaient installées pour y être testées et que les périodes de navigation augmentaient.
C'est ce constat, combiné aux opportunités offertes par les capacités de nouvelles piles Toyota, plus puissantes, plus légères et plus compactes, qui ont conduit l'équipe d'Energy Observer à proposer au constructeur japonais de se prendre au jeu de l'autonomie énergétique en mer. En travaillant avec les ingénieurs d'EODev, filiale industrielle d'Energy Observer, ils ont ainsi pu donner naissance au REXH 2 , (Range EXtender Hydrogène), dont le but est d'augmenter l'autonomie énergétique d'un navire, que son utilisation soit destinée à la propulsion, aux systèmes de bord ou au deux.
Le premier REXH 2, en version expérimentale, a passé de long mois sur les bancs d'essai de Toyota en Belgique, avant de pouvoir être enfin installé à bordd'Energy Observer.

Développant jusqu'à 150 kW de puissance et prévue pour 2027, la nouvelle pile à combustible de Honda est à la fois plus compacte et moins chère que la génération actuelle.

Si la filière hydrogène connait une période difficile, les acteurs continuent de se mobiliser pour porter de nouvelles innovations. C'est notamment le cas dans le domaine des piles à combustible. Alors que Toyota a récemment annoncé l'arrivée de sa pile de troisième génération, Honda vient de révéler à l'occasion du salon H2 & FC EXPO à Tokyo les caractéristiques détaillées de la prochaine génération de sa pile à hydrogène.

La nouvelle pile à combustible de Honda affiche une puissance de 150 kW, contre 92,2 kW pour l'actuel système utilisé à bord du Honda CR-V hydrogène. Toutefois, les avancées les plus marquantes sont ailleurs. En effet, la firme japonaise annonce une réduction de moitié des coûts de production et une durée de vie plus que doublée par rapport à la génération actuelle.
Contrairement à la transition entre la première génération de 2016 (Honda Clarity) et le modèle actuel, où seuls les coûts et la longévité avaient été optimisés, la nouvelle pile bénéficie cette fois d'un bond technologique majeur en termes de compacité et d'efficacité. Le module mesure 730 x 580 x 700 mm, pour un volume total de 300 litres et un poids de 250 kg. Il affiche une densité énergétique volumétrique de 0,5 kW/l et 0,6 kW/kg.