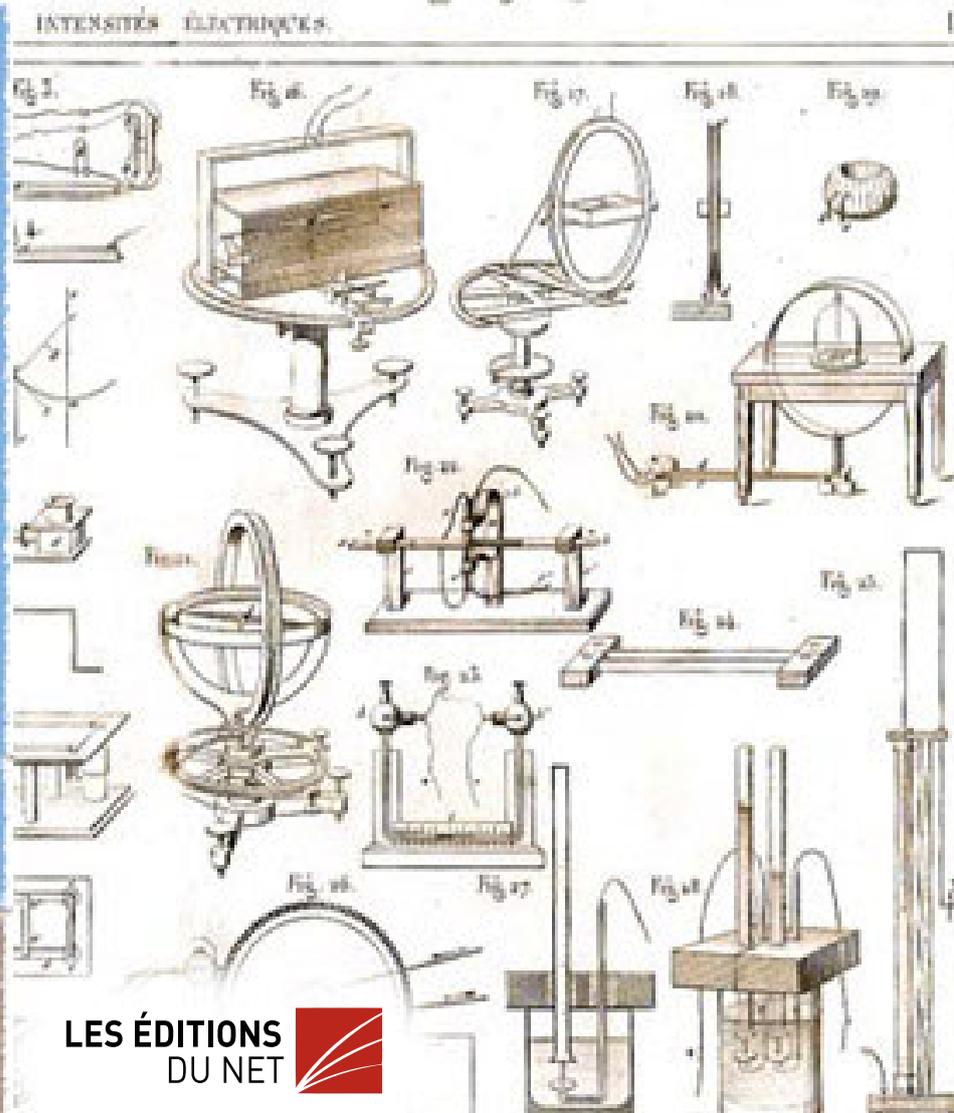
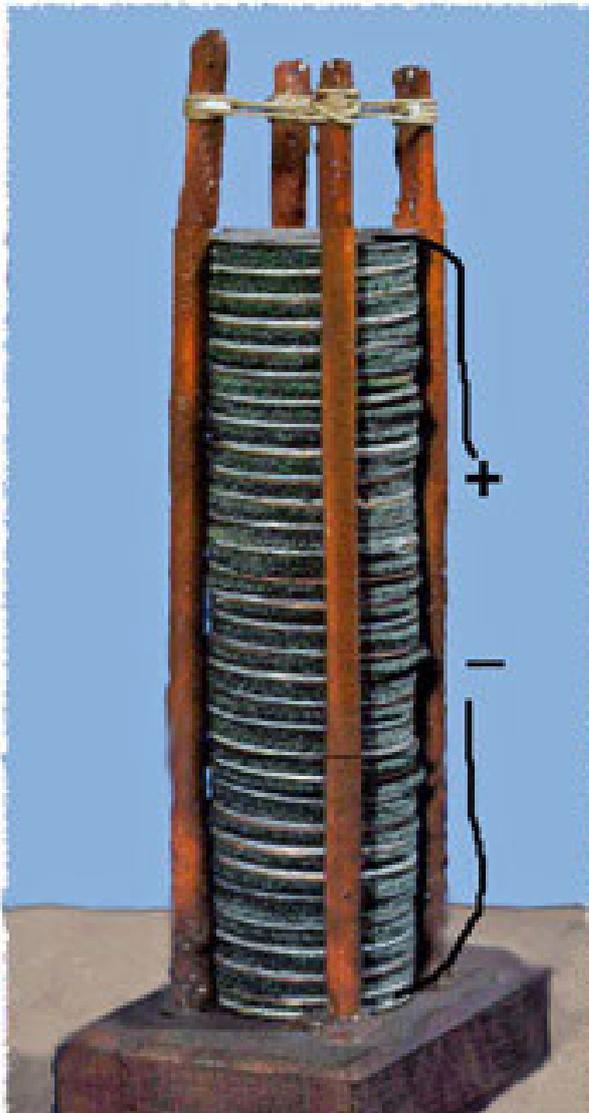


ANDRÉ DUCLUZAUX

L'ÉLECTRICITÉ : DÉCOUVREURS ET INVENTEURS

Tome I - Défricheurs de l'inconnu



André Ducluzaux

L'électricité

Découvreurs et Inventeurs

Cent aventures de
physiciens, autodidactes,
ingénieurs, techniciens

Tome I Défricheurs de l'inconnu

LES ÉDITIONS DU NET
22, rue Édouard Nieuport 92150 Suresnes

Sommaire - tome I

EXTRAITS

Les défricheurs de l'inconnu

- Au lecteur

Cette collection de 5 livres thématiques, pourquoi, pour qui, comment ?

1- L'électricité

Essai de définition. Vecteur d'énergie, vecteur d'information.

2 – Magnétisme et électricité statique.

Les chinois, Thalès, Gilbert. La bouteille de Leyde – Paratonnerre de Franklin – Machines électrostatiques – Balance de Coulomb.

- Les découvertes fondamentales

3 – Découverte de l'électricité dynamique, la pile, Volta

Galvani croit découvrir l'électricité animale, Volta un autre principe. Longue controverse. La pile de Volta génère un fluide inconnu. Il décompose l'eau, découverte de l'électrochimie.

4 – Découverte de l'électromagnétisme, Ampère

Oersted découvre l'action du courant sur un aimant. Ampère explique et démontre que le magnétisme est créé par l'électricité. Arago réalise un aimant électrique. Principe du premier moteur.

5 – Découverte de l'induction, Faraday

Arago découvre le magnétisme de rotation. Faraday l'explique par la création d'un courant induit par la variation du magnétisme. Principe du premier générateur électromécanique.

6 – Lois et théories

La nature supposée du courant, le conflit électrique. Lois de l'électrocinétique, Pouillet, Ohm, Kirchoff. Conservation de l'énergie. Les théoriciens. Supraconductivité.

RÉSUMÉ

L'avant propos, **Au lecteur, de ce tome I**, précise les objectifs du livre. Après le rappel de la préhistoire de l'électricité, les défricheurs de l'inconnu font quatre découvertes fondamentales à l'origine des multiples développements du 19^e siècle

1 - L'électricité

L'électricité paraît difficile à définir. Ses multiples aspects vont d'une infime particule matérielle à des ondes immatérielles. Il paraît plus simple de la définir par ses quatre grands domaines d'applications.

2 - L'électrostatique

La préhistoire électrique remonte aux anciens chinois, puis au grec Thalès, découvrant deux mini-phénomènes d'attraction : soit des morceaux de fer par une autre pierre, la magnétite, soit des débris de paille par l'ambre frottée, l'**élektron** des grecs. Au 17^e, premières études de philosophes. Au 18^e, des machines à frottement d'isolant permettent d'accumuler un fluide inconnu et de l'écouler par une étincelle fugitive, avec une secousse si on les touche. Franklin la compare à un minuscule éclair et invente le paratonnerre. L'étude approfondie de tous ces phénomènes constitue une nouvelle science, l'électrostatique, qui ne débouche pourtant pas sur des applications.

3 - Découverte de l'électricité

Suite à des recherches sur les poissons électriques, Galvani fait des essais sur la grenouille. Ses pattes s'agitent sous l'effet des étincelles de machines, mais aussi quand on les touche avec 2 métaux différents. Dix ans de controverses sur les causes du phénomène entre les galvanistes et les voltaïstes. Les longues réflexions et essais de Volta l'amènent à faire un empilage de rondelles de cuivre et de zinc, séparées par du papier mâché. Il produit un fluide bien plus faible que les étincelles des machines à frottement, mais permanent, l'électricité dynamique. **Volta fait ainsi en 1800 la plus importante découverte de l'ère moderne, l'électricité.** D'autres découvrent rapidement les effets chimiques du courant de la pile, l'**électrochimie**, permettant la création de nouveaux corps.

4 - L'électromagnétisme

Oersted s'aperçoit qu'un fil parcouru par le fluide d'une pile fait bouger l'aiguille d'une boussole. L'électricité et le magnétisme seraient liés ? Personne ne trouve une explication, sauf Ampère qui émet l'étrange idée que le fil parcouru par le fluide électrique est aussi un aimant. En France comme en Angleterre, des contradicteurs se manifestent. En quelques semaines de 1820, il démontre par expériences qu'un fil parcouru par un courant fait aussi bouger un autre fil voisin, sans aimant. Bon mathématicien il calcule même la force qui agit entre eux, principe du moteur. Pour lui, le magnétisme n'est qu'un effet de l'électricité.

5 - L'induction

Arago s'aperçoit qu'une aiguille aimantée qui oscille est freinée par la proximité d'une plaque de cuivre. Les physiciens cherchent pourquoi pendant des années. Faraday s'attelle au problème, pensant que si le courant crée du magnétisme (Ampère), peut-être que le magnétisme peut créer inversement du courant. Mais la difficulté pour le prouver est qu'il faut un magnétisme variable. Faraday, pas mathématicien mais bon expérimentateur, le démontre en 1831. Le principe du générateur électromécanique est acquis. Une ébauche sera réalisée l'année suivante par Ampère et Pixii.

6 - Lois

Pour passer des théories à la pratique, il est nécessaire de définir des lois chiffrées, En particulier, on s'apercevra que l'électricité est une énergie générée à partir d'une autre, capable de se transformer en une autre, c'est un vecteur d'énergie.

Quelques-unes des 132 pages.....

Au lecteur

Ce livre, genèse des découvertes et des inventions, constitue peut-être une vingt sixième Histoire de l'électricité, depuis la première, celle de Joseph Priestley en 1771. Alors, qu'apporte-t-il d'autre par rapport aux précédents ?

Pourquoi ? Pour qui ? Comment ?

Lecture que peuvent éviter les aventuriers intellectuels, préférant la surprise de la découverte au fil des pages, aux sentiers trop balisés.

Pourquoi ce livre ?

À l'éveil de leur intelligence, les enfants ont un besoin inné de comprendre leur environnement, avec l'incessant « *pourquoi* » qui agace tant les parents. Il se dilue malheureusement trop chez l'adulte, bridé par une formation initiale, se contentant trop souvent d'apprendre plus que de comprendre. Sans cette passion, si personne n'avait cherché à comprendre la Nature, il n'y aurait pas eu de sciences, seulement des techniques empiriques.

Comprendre l'émergence de l'une des sciences physiques, l'électricité, et des techniques qui l'ont mise au service de l'homme par l'industrie, tel est l'objectif central de cette histoire.

Il retrace l'étonnante aventure intellectuelle et matérielle des pionniers, découvreurs et inventeurs de Thalès au transistor. Les premiers cherchaient à soulever un coin du voile cachant cet univers infini des connaissances, les seconds s'appliquaient à les traduire pratiquement en machines et objets utiles, souvent par passion, ou pour gagner leur vie, en facilitant celle de leurs contemporains.

Cette ambition m'a conduit à ne pas rééditer une histoire limitée à un catalogue chronologique de faits, dates, événements, personnages et machines. Ce livre ne se propose pas de s'ajouter à d'autres histoires essentiellement descriptives, mais d'en être complémentaire sur deux aspects :

– D'abord, approfondir l'histoire des longs et laborieux processus qui ont déclenché chacune des découvertes et inventions de l'électricité, analyser leurs causes, puis leurs conséquences, pour mieux en percevoir l'originalité et le mystère, des jalons pour le chercheur d'aujourd'hui.

– Ensuite, après le début du développement industriel des inventions, survoler seulement leurs perfectionnements successifs, mieux connus car plus proches de nous et déjà bien décrits.

– Finalement, il en résulte une Histoire de l'électricité analytique, non simplement descriptive.

Avant de relater chaque découverte ou invention, il faut rechercher ses raisons et les difficultés latentes, humer *l'air du temps* ; essayer de dégager ensuite le *fil rouge*, la démarche incertaine ou rapide qu'avaient suivie leurs auteurs, puis les conséquences qu'elle a entraînées.

Une telle analyse permet au lecteur d'intégrer à sa place chacune de ces briques éparses, dans la construction progressive, mais désordonnée et sans logique apparente, du système électrique global. La forêt est autre chose qu'une somme d'arbres.

Comprendre une invention nécessite de l'analyser bien au-delà de l'angle scientifique ou technique. Tout y intervient, la formation et l'expérience des hommes, leur mentalité, méthodologie, motivations et environnement ; ainsi que les aspects commerciaux, financiers et même nationaux, transformant parfois l'invention en un véritable thriller.

La finalité de l'histoire des sciences et techniques est d'essayer de comprendre le cheminement intellectuel qui a conduit le cerveau du découvreur ou de l'inventeur jusqu'à l'éclosion de sa recherche, une passionnante aventure de l'intelligence humaine, quels que soient l'époque et les moyens, comme le précisait le philosophe Heidegger :

« L'essence de la technique n'est rien de technique,
c'est le fonctionnement mystérieux du cerveau humain. »

Pour qui ce livre ?

Chaque lecteur peut se retrouver dans l'un de ces groupes :

– **Le monde des amateurs**, d'histoire scientifique, technique ou industrielle, ceux qui *aiment* découvrir et comprendre, par curiosité et plaisir intellectuel, un monde technique basé sur l'électricité, façonné bien ou mal par l'homme, dans lequel une grande partie de l'humanité est immergée depuis près de deux siècles. Comprendre l'étonnante aventure humaine qui leur permet de disposer à chaque fraction de seconde de cette indispensable électricité, qui avait tant étonné leur ancêtre, *l'honnête homme* des siècles précédents.

Le journaliste scientifique a une place particulière dans ce monde, car il a la difficile et essentielle tâche de la vulgarisation, mettre les sciences et techniques à la portée du public, résumer et simplifier sans déformer.

Intéresser le plus grand nombre de lecteurs est la préoccupation d'un auteur. Mais pour une histoire à caractère technique et scientifique la vulgarisation au niveau de tous n'est guère possible. L'électricité restant un mystère technique pour beaucoup, ce livre ne touchera alors qu'une partie du grand public, malgré ma préoccupation d'atténuer au mieux ce mystère que je crois avoir à peu près compris. Il ne nécessite pourtant qu'un niveau de connaissances en électricité un peu supérieur à celui du bac.

Que l'amateur ne s'étonne pas de comprendre difficilement certains sujets, les explications techniques restant le plus souvent sommaires. Ce livre n'a pas pour but de remplacer un manuel didactique ou un cours d'électricité, sinon son épaisseur serait au moins doublée. Mais il tient compte de la grande facilité qu'apporte maintenant l'internet de trouver par un clic une explication technique complémentaire sur *Wikipédia*, ou autres sites d'origine qualifiée.

– **Le monde des électriciens**, mes collègues, qui travaillent à tous niveaux dans les métiers de l'électricité, la construction et l'installation des matériels, soit pour la production et la distribution de l'électricité-énergie, soit pour le traitement et le transport de l'électricité-information.

Ils s'étonnent parfois de la somme de savoir et de savoir faire dont ils disposent aujourd'hui, accumulée depuis deux siècles par leurs prédécesseurs ; leur métier consistant à exploiter ces savoirs en y ajoutant parfois leur modeste contribution.

Leur curiosité professionnelle les incite alors à comprendre les laborieuses étapes franchies par des générations d'hommes pour arriver aujourd'hui à une connaissance presque aboutie de l'électromagnétisme, ayant guidé l'élaboration des techniques et matériels actuels, proches de la perfection. Pour le praticien, l'histoire de l'électricité n'est pas un objectif seulement intellectuel, mais un outil pour comprendre « *comment ça s'est passé* », afin d'aider à mieux gérer aujourd'hui et préparer demain, car son cerveau fonctionne comme celui de ses prédécesseurs.

Ainsi, l'électricien, contraint comme tout industriel de se projeter en permanence vers l'avenir, peut conduire judicieusement sa démarche avec l'indispensable rétroviseur de l'Histoire.

– **Le monde de la recherche**, à tous les niveaux et domaines des sciences exactes, qu'elle soit fondamentale, ou appliquée, jusqu'au développement des produits. Ce qui se passe dans le cerveau du chercheur d'aujourd'hui, les méthodes et détours pour arriver à la découverte ou l'invention, n'ont pas

fondamentalement évolué en deux siècles, comme peut-être même en dix millénaires, tel l'inventeur de la roue.

On objectera facilement qu'il y a loin de l'empilement des rondelles de zinc et de cuivre de la pile de Volta au Tokamak de fusion nucléaire - loin des lents voyages en diligence ou échanges postaux entre disciples de la *philosophie naturelle* et le téléphone numérique, les séminaires, congrès, revues et ressources de l'internet. Mais l'invariant reste le fonctionnement du cerveau de l'homme. Celui de Feynman ou de Charpak serait-il si différent de celui de Volta, Faraday ou Gramme ?

L'objectif de découvrir comment a fonctionné le cerveau de ces derniers lors de leurs découvertes ne peut être atteint que très partiellement par manque de sources ; les inventeurs qui l'ont fait, n'ont pas tout décrit de leur lent cheminement vers la lumière, au bout du tunnel. Pour les autres, il faut interpréter en fonction de ce que l'on sait de leur environnement et leurs comportements passés.

Le chercheur dans toute discipline retrouvera, dans la lente ou subite maturation des inventions et découvertes électriques, tous les comportements de l'intelligence inventive : – les détours et blocages incompréhensibles, pour nous qui savons après – les erreurs, impasses ou coups de génie inspirés par l'intuition, cette compagne séduisante, parfois trompeuse – le hasard surtout, cet ange gardien fugitif qu'il faut savoir saisir et interpréter avec la *serendipité*, (ancienne expression redécouverte, associant la sagacité, la curiosité et l'agilité mentale permettant de rester à l'affût d'un hasard surprenant) – Maxwell, le physicien le plus original du XIX^e, ajoutait l'imagination, capacité d'élaborer des métaphores fécondes.

Les découvreurs ont eu souvent leurs failles, leurs erreurs, ce qui les rend plus humain, seul un dieu peut détenir la Vérité. Aussi il ne faut pas masquer systématiquement les succès, ni les erreurs ; au contraire, quoi de plus décourageant pour le jeune chercheur que de croire ses aînés infaillibles et que lui seul se trompe ? Dans les sciences exactes, plus que dans d'autres domaines, le droit à l'erreur est reconnu, et non humiliant. À condition bien sûr, de ne pas s'y entêter lorsque des faits la révèlent.

Ainsi, personne ne contesterait l'invention capitale de la pile, base fondamentale de toute l'électricité ; pourtant Volta l'a inventée en cumulant deux erreurs, l'une compensant pratiquement l'autre, et sa pile marchait !

L'histoire nous révèle que beaucoup d'inventeurs n'ont pas compris pourquoi leur machine fonctionnait. En électricité, l'invention a le plus souvent, au début, précédé la théorie explicative. Les inventions chinoises ne résultaient pas d'une démarche scientifique préalable, mais d'observations empiriques. Et puis, les chercheurs savent bien qu'une expérience ratée en apprend souvent plus que celle qui réussit. Elle oblige à rechercher l'erreur expérimentale, ou la faille dans l'interprétation de la théorie, ou peut être dans la théorie elle-même qu'il faut alors remettre en question, déclenchant ainsi de fructueuses controverses. Les échanges de point de vue, les expériences nouvelles qu'elles suscitent sont générateurs de progrès ; parfois retardés par l'ignorance, la mauvaise foi humaine ou des dérives lorsque certains assimilent une théorie scientifique à un dogme, confondant alors science et religion. La Vérité scientifique n'est que transitoire, Newton précisait bien dans ses énoncés : *Tout se passe comme si...*

Aux siècles précédents, les controverses techniques dans les revues étaient plus fréquentes qu'actuellement où l'on privilégie trop un consensus, proche de l'idéologie. Il aura fallu 20 ans de controverses entre *galvanistes* et *voltaïstes* pour découvrir, par hasard, l'électricité de la pile de Volta, 10 ans d'une *guerre des courants*, internationale, pour reconnaître l'intérêt du courant alternatif sur le continu.

– **Le monde de la formation**, du collège à l'université et l'école d'ingénieurs, du professeur à l'élève. À la différence des arts, lettres, sciences humaines ou philosophie, les sciences dites exactes et ses techniques sont étrangement enseignées sans référence à leur mûrissement progressif, leur histoire, comme si elles étaient apparues dans leur état actuel par génération spontanée. L'histoire des sciences et techniques, trop négligée en France, presque absente de l'Université et des Écoles, n'aurait pas à faire

l'objet d'une discipline à part entière, mais être intégrée à l'enseignement théorique et pratique dans tout domaine.

L'enseignant en physique, qui n'a pas acquis ce complément de formation, trouvera donc dans ce livre l'essentiel de l'histoire de l'électricité. Plutôt que de présenter à l'élève des connaissances figées au seul état actuel, il pourra dérouler en accéléré sur nombre de sujets trop abstraits, les étapes de la maturation de ces connaissances jusqu'à aujourd'hui, renforçant l'intérêt et la compréhension de son cours.

Quant à l'élève ou l'étudiant, l'histoire est une autre façon d'apprendre et surtout d'assimiler les connaissances : au lieu d'enregistrer un fait ou un concept abstrait par simple mémorisation, le découvrir en questionnant son histoire avec le pourquoi et le comment va lui donner une vie, considérer l'état présent comme le résultat d'une évolution dans le temps, se prolongeant dans le futur qu'il va construire dans son métier, car nous savons bien que rien en science et technique n'est définitivement figé.

– *Le monde des historiens en science.*

Cette histoire qui ne leur est pas particulièrement destinée, étant assez bien connue de nombre d'entre eux, s'est donné quelques libertés de forme par rapport aux règles des documents historiques traditionnels ; ceci pour mieux répondre à ses propres objectifs de vulgarisation et éviter une lecture trop austère.

Il était ainsi impossible de référencer les sources précises des dizaines de milliers de faits et événements relatés. Les sources générales signalées en bibliographie sont complétées à la fin de chaque chapitre par la référence des documents à consulter, les moins connus. Sur le fond, la remontée systématique aux sources les plus anciennes, accessibles et estimées fiables, s'est traduite par de nombreuses différences d'interprétations et même de faits, par rapport à des travaux se contentant souvent de recopier les précédents avec leurs erreurs, sans trop vérifier ni se poser de question, mais en se réfugiant derrière une abondante bibliographie.

Il a été long et difficile de repartir volontairement presque à zéro, de presque tout vérifier à plusieurs sources, comme si rien n'avait été écrit sur le sujet, en particulier sur des sujets classiques. Le rôle des hommes s'en est parfois trouvé soit amplifié, soit plus réduit, ou différent.

La recherche-développement que j'ai pratiquée un temps m'avait appris l'incertitude, le doute, avec la méfiance de l'affirmation, « *si tout le monde le dit, ou l'écrit, cela doit être vrai.* » L'internet serait trop souvent la preuve du contraire. Transposer ce réflexe à la recherche historique a révélé quelques surprises ; l'historien de l'électricité découvrira ainsi plusieurs développements inédits et nombre d'interprétations non traditionnelles.

Comment ce livre ?

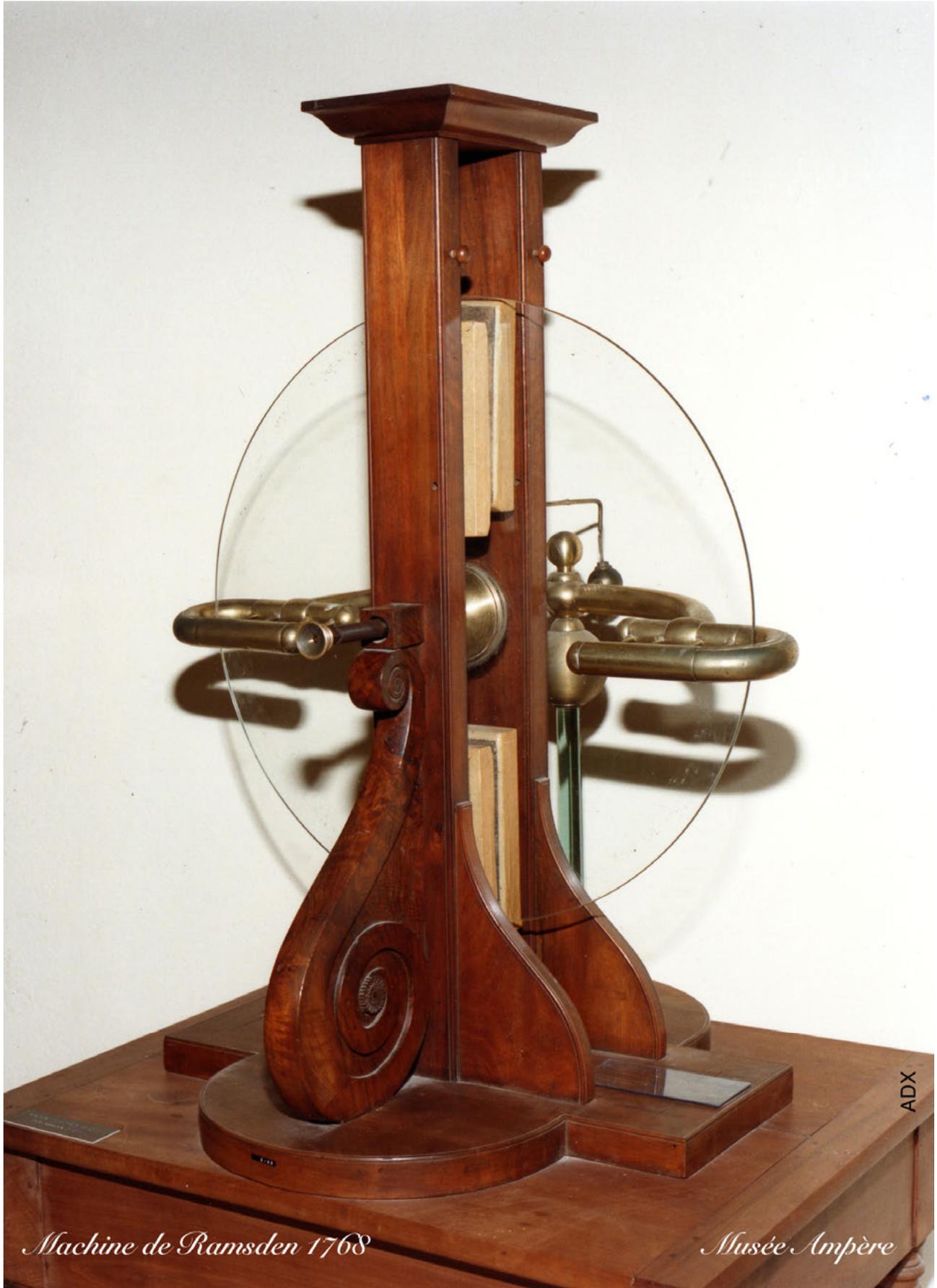
Toute histoire se raconte normalement en suivant la chronologie des événements. Pour l'électricité, le foisonnement des découvertes et inventions se déroulant simultanément nécessite un plan alternant une succession de mise *en parallèle* puis *mise en série* chronologique, à l'image des circuits familiers à l'électricien. S'est alors imposé, pour plus de clarté, un découpage en chapitres thématiques, mais facilitant le *zapping* du lecteur suivant ses centres d'intérêt.

Dès le début, le lecteur constatera que la dichotomie technologique entre l'électrotechnique et l'électronique apparue au début du XX^e siècle gagne à être remplacée aujourd'hui par un classement en domaines fonctionnels, *l'électricité vecteur d'énergie et l'électricité vecteur d'information.*

On m'avait appris l'électronique comme la circulation des électrons dans le vide, ne véhiculant donc que des courants faibles, contrastant avec l'électrotechnique où les courants forts circulent dans les métaux et voilà qu'apparaît dans les années 1960 la circulation des électrons dans l'*état solide*, les semi-conducteurs, avec possibilité de forts courants et l'apparition d'une électronique de puissance à

Pages 15 à 25 non reproduites

Suite .../.....



Machine de Ramsden 1768

Musée Ampère

ADX

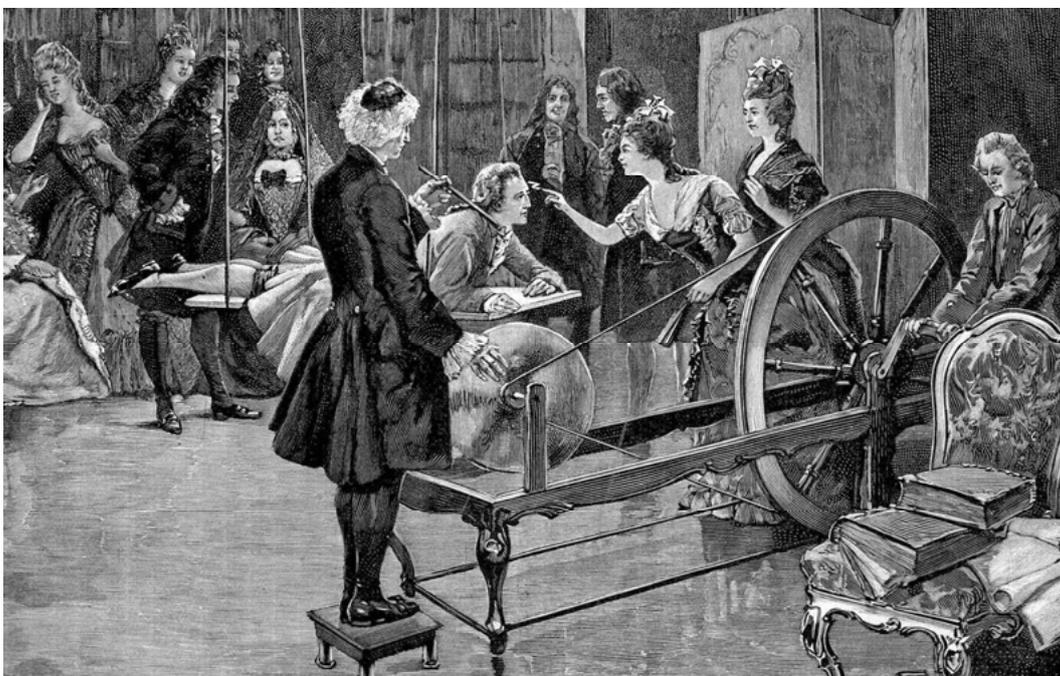
par un système de courroies, qu'on frottait avec la main sèche. Ce fut la première machine électrostatique, utilisée pendant des années.

En 1729, **Étienne Gray** de Canterbury, utilisant un simple tube de verre frotté, découvrit que le fluide électrique pouvait se transmettre loin, jusqu'à 30 mètres, au bout d'une corde de chanvre humide. Ce tube que l'on frottait avec la main sèche ou du papier était une machine électrique portable qui fut employée pour les expériences à l'extérieur. Avec son ami Wheler, il différençia des corps *conducteurs*, *non-électriques*, ne gardant pas l'électricité et les corps *isolants électriques*. Verre, soufre, résine, porcelaine étaient classées comme isolants ; métaux, solutions acides ou salines, corps humain et animaux comme conducteurs. Il constata un phénomène important, l'électrisation par influence, la *vertu électrique*, ce pouvoir d'attirer des plumes, se transmettait sans aucun contact par l'approche d'un corps électrisé d'un autre qui ne l'était pas initialement

Les Français commençaient aussi à s'intéresser à l'électricité, et le 12 septembre 1733, **Charles François Cisternay du Fay** présentait à ses collègues de l'Académie royale des Sciences une première théorie de l'électricité :

« Ce principe est qu'il y a deux sortes d'électricité fort différentes l'une de l'autre : l'une que j'appelle électricité vitrée et l'autre électricité résineuse. La première est celle du verre, du cristal de roche, de pierres précieuses, du poil des animaux, de la laine et de beaucoup d'autres corps. La seconde est celle de l'ambre, de la gomme copale, de la gomme laque, de la soie, du fil, du papier et de nombre d'autres substances.

Le caractère de ces deux électricités est de se repousser elles-mêmes et de s'attirer l'une l'autre. Ainsi un corps de l'électricité vitrée repousse tous les autres corps de l'électricité vitrée, et au contraire il attire tous ceux de l'électricité résineuse....Il est probable que ce principe nous conduira à la découverte de beaucoup d'autres choses. »



1 Expériences électriques de Nollet dans les salons parisiens

Par exemple la conductibilité des flammes qu'il constata en 1736, ce que nous appelons aujourd'hui les gaz ionisés ; puis l'invention de l'*électroscope*, premier appareil de mesure de la force électrique. C'était tout simplement une aiguille, piquée sous le bouchon d'un vase et portant dans son

chas un fil dont les deux brins pendaient dans le vase, les protégeant ainsi des courants d'air. Lorsqu'on touchait l'aiguille avec un corps électrisé, les deux brins, chargés de la même électricité se repoussaient en formant un angle d'autant plus grand que la force électrique l'était elle-même

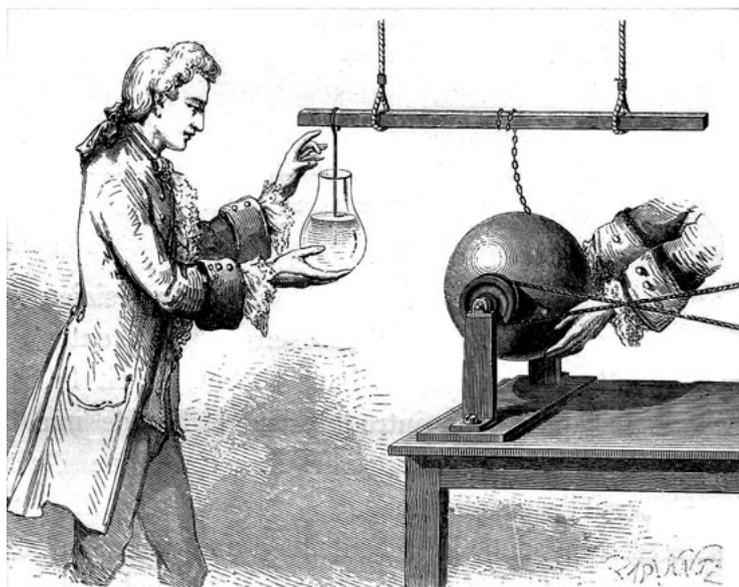
Du Fay remarqua que tous les corps étaient électrisables, pas seulement les isolants ; les métaux conducteurs étaient aussi électrisables à condition des les isoler. Il fut le premier homme *électrisé* : pour vérifier qu'il pouvait attirer lui-même des bouts de papier, il s'était perché sur un trapèze pendu au plafond par des cordons de soie, après avoir bien frotté les mains sur la boule de verre d'une machine électrique. Son jeune assistant, l'abbé Nollet, touche par hasard sa jambe, faisant ainsi jaillir la première étincelle électrique entre deux êtres humains (1).

La bouteille de Leyde (1746)

Combien de découvertes ne sont que des redécouvertes, quand elles sont *dans l'air du temps* ? Celle du condensateur en est un premier exemple dans le domaine électrique. Bien d'autres suivront.

À Cammin, en Poméranie, le 11 octobre 1745, **Georg von Kleist** tenait à la main un verre médicinal bleuté rempli d'esprit-de-vin, dans lequel trempait une tige de fer, reliée à la machine électrique ; il touche la tige et reçoit une forte secousse. Il signale le fait à son collègue, le Dr. Lieberkühn de l'Académie de Berlin et d'autres personnes, mais la nouvelle ne se propage pas.

Quelques mois plus tard, à l'université de Leyde, aux Pays-Bas, le 7 avril 1746, le professeur **Pieter Van Musschenbroek**, son collègue Allaman et un assistant Cuneus (ou Kunäuss) cherchaient le moyen d'éviter la perte progressive de *force* que présentaient les corps électrisés. Peut-être faire plonger l'extrémité d'une tige reliée à la machine dans un vase plein d'eau serait une solution ? L'un d'eux tournait la machine et le professeur tenait le vase d'une main, de l'autre il voulut retirer la tige plongeant dans le vase et éprouva une violente secousse qui allait rester mémorable dans l'histoire de la science électrique. (m)



m

Expérience de la bouteille de Leyde

Il écrivit à Réaumur et Nollet en France, à **Winckler** de l'Université de Leipzig, sans doute aussi en Angleterre à Londres et à Bologne en Lombardie :

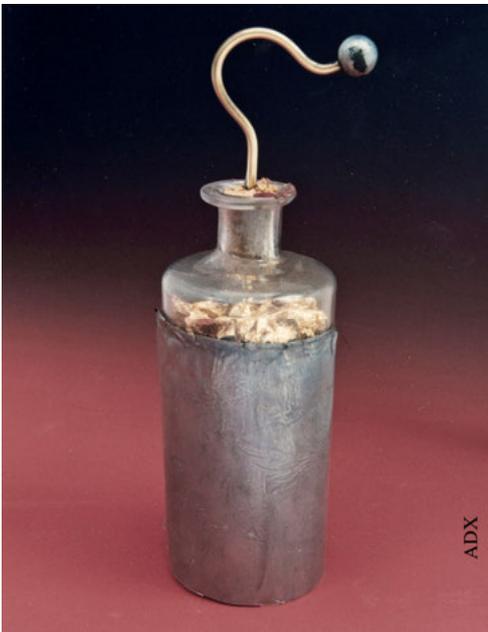
« Tout d'un coup, ma main droite fut frappée avec tant de violence, que j'eus tout le corps ébranlé comme d'un coup de foudre... en un mot, je croyais que c'était fait de moi. »

Winckler, lui, fut pris de tremblements nerveux et d'hémorragies nasales.

L'**abbé Nollet** lut devant l'Académie des Sciences de Paris la lettre de Musschenbroek, assortie de ses propres impressions, après avoir répété courageusement l'expérience : son corps s'était plié, il resta la bouche ouverte, respiration coupée et son index qui tirait l'étincelle reçut une piqûre très violente.



n Nollet électrise une compagnie de gardes



o Bouteille de Leyde



p

Les Parisiens se sont alors empressés au cabinet de Nollet, au Collège de Navarre où il enseignait, pour recevoir la fameuse décharge. Devant l'affluence il découvrit que l'effet était le même s'il le communiquait à plusieurs personnes se donnant la main. Cela résorba la file d'attente ; mais l'évènement parvint jusqu'à Louis XV qui demanda à voir la démonstration à Versailles. Nollet électrisa donc simultanément une compagnie de 240 soldats se donnant la main et dut recommencer dans un couvent sur 600 moines.

Il la baptisa *bouteille de Leyde* (o). Cette bouteille fut à l'origine d'un légitime enthousiasme pour les phénomènes électriques chez les physiciens, mais plus surprenant dans le public érudit. Chacun voulait recevoir la décharge, pour l'instant peu dangereuse, sauf pour quelques animaux et oiseaux sacrifiés à la science. Un inventeur fit rapidement fortune en vendant sa *bouteille d'Ingenhousz* portable, une bouteille que l'on chargeait avec un ruban de soie enduit de résine, frotté avec une peau de chat.

C'était magique pour le public des bateleurs de foire, ou pour étonner les amis dans les salons.

Pour les *philosophes*, les physiciens, ils disposaient d'une source d'électricité beaucoup plus puissante que leur machine classique à boule de verre frotté. La bouteille fut rapidement améliorée par Nollet, Bevis, Watson : l'eau intérieure remplacée par des clinquants de cuivre ou d'or, la main à l'extérieur remplacée par une feuille d'étain collée au verre ; la forme de la bouteille n'avait pas d'importance, sinon avoir une grande surface, telle une *jarre*.

La tige de fer était remplacée par une tige de laiton recourbée avec une boule au bout. On découvrit à cette occasion les deux schémas élémentaires des futurs circuits, mise en série, *en cascade*, ou mieux en parallèle, *en quantité*. Les jarres groupées par quatre ou plus dans une caisse constituaient de puissantes batteries (p)

Mais on ne comprenait pas pourquoi cette bouteille donnait des commotions beaucoup plus fortes que la machine qui l'avait chargée.

John Canton étudia en 1753 un deuxième procédé, autre que le contact, pour transmettre de l'électricité : *l'influence* ou induction électrostatique, signalée par du Fay. Sur la figure (q) on constate que l'approche d'un corps A chargé d'électricité résineuse (-), d'un cylindre conducteur B à l'état neutre provoque l'accumulation d'électricité vitreuse (+), sur le côté proche de A et l'inverse sur l'autre côté.

Pages 35 à 50 non reproduites

Suite .../.....

Les découvertes fondamentales



« Il y a une chose plus importante que les plus belles découvertes, c'est la connaissance de la méthode par laquelle on les fait. »

Leibniz

Les inventions, applications de l'électricité, ont reposé sur quatre premières découvertes, survenues au début du XIX^e siècle. Elles sont fondamentales, ayant ouvert les principales pistes de développement à la base du système électrique, probablement parachevé aujourd'hui

1800 – L'électricité dynamique, le courant électrique permanent, par l'invention de la pile Galvani et Volta

1800 – L'électrochimie, le courant décompose les corps composés, par l'électrolyse.

Carlisle et Nicholson

1820 – L'électromagnétisme, le courant crée le magnétisme.

Oersted et Ampère.

1831 – L'induction, un courant est créé par la variation de magnétisme.

Arago et Faraday

Ces premières découvertes, vont ouvrir la voie aux inventions, sources d'une cascade d'applications, qui feront du XIX^e *le siècle de l'électricité*.

Francis Bacon, père de la science expérimentale, résumait la démarche inventive à l'alternance : **observation, raisonnement, expérience**. Ces trois étapes étant renouvelées jusqu'à confirmation d'un résultat, pas nécessairement par le même homme.

Ainsi pour les quatre découvertes citées, deux noms sont associés : le premier est celui du découvreur d'un phénomène inconnu et inexplicable avec les connaissances du moment ; le second est celui de l'homme qui a réussi à en donner une explication satisfaisante par le raisonnement et l'expérience, en bousculant souvent les idées acquises. À chaque fois, le phénomène laborieusement compris et expliqué est devenu source de nouveaux développements, tant sur le plan théorique que celui des applications.

Des deux intervenants lequel serait le plus important ? Celui qui découvre le phénomène, poseur de question sans réponse, ou bien celui qui cherche à comprendre et répond à la question ? Chacun a constitué un maillon complémentaire, mais essentiel, de la découverte.

Il est à remarquer que ces quatre premières découvertes de l'électricité ont suivi le même processus en deux temps, mais séparés par une durée très variable. Quelques jours pour l'électro-chimie, quelques semaines avec la rapide intuition d'Ampère ; Faraday après quelques années de recherches bien orientées ; mais plus d'une décennie pour Volta, lequel avec un résultat assez fréquent, le chercheur ne trouve pas ce qu'il cherche, mais autre chose, parfois plus intéressant.

À la fin du XIX^e siècle seulement, alors qu'on maîtrisait déjà bien les techniques électriques, deux autres découvertes révéleront **deux natures de l'électricité**, ignorées jusque-là :

1888 – La découverte des **ondes électromagnétiques** sera le résultat d'un processus analogue, mais en trois temps : Faraday avait posé la question – comment se transmettait l'effet d'induction à distance ? Maxwell démontre en 1864, l'existence d'ondes inconnues. Elles propagent le champ électromagnétique dans l'éther, et la lumière visible n'est qu'un cas particulier d'ondes.

Elles sont découvertes expérimentalement 24 ans plus tard, par Lodge, résultat d'une recherche ciblée, et surtout par Hertz, au cours d'autres expériences.

1897 – La charge électrique que l'on supposait exister depuis trois siècles, mais dont on ne savait presque rien, est découverte par J. J. Thomson. La propagation relativement libre de l'**électron** dans le vide va donner naissance aux lampes ou tubes sous vide, premiers outils indispensables à l'électronique pour le traitement des ondes dans les émetteurs et récepteurs, TSF, Radio, TV, radar.

Mais surtout, l'électron va révéler la constitution de l'atome de toute matière.

1948 – Pour clore la liste actuelle des découvertes fondamentales en l'électricité, évoquons la septième grande découverte, au XXe siècle, l'**effet transistor** dans les **semi-conducteurs** par le trio américain John Bardeen, Walter Brattain, William Shockley, découvreurs-inventeurs aux Bell Labs.

L'électronique à l'état solide, l'informatique, l'internet, le téléphone portable, le GPS, etc... en sont des applications bien connues. On était loin d'envisager ce déferlement, si le numérique, invention de père inconnu, n'avait décuplé les possibilités du transistor et des semi-conducteurs.

L'avancement de la science électrique a nécessité bien d'autres découvertes, mais plus secondaires par leurs conséquences.

Découverte, invention, innovation

La **découverte** est une nouvelle connaissance sur la constitution ou le fonctionnement d'une parcelle de l'Univers qui nous entoure, l'immatériel, la matière inerte ou vivante. Elle résulte d'un travail de **recherche** dite **fondamentale**. Elle accroît les **connaissances scientifiques**, et se déroule parfois en deux ou plusieurs étapes, souvent par des hommes différents.

De nos jours, une découverte, comme un principe, n'est pas brevetable, elle appartient à l'humanité, toute personne peut alors exploiter cette nouvelle connaissance, généralement publiée, pour réaliser ensuite des inventions.

L'**invention** est la réalisation matérielle d'une machine ou méthode capable de fonctionner, d'un appareil réellement nouveau ou resté inconnu, ou encore d'une fonction nouvelle regroupant des machines existantes. Elle s'appuie sur des **techniques**. Généralement brevetée, avec des règles différentes suivant les nations, elle résulte d'un travail de **recherche appliquée**, exploitant souvent les apports de la recherche fondamentale. Comme son objectif est la création puis le développement d'un nouveau produit commercialisable, on la qualifie aussi de **recherche-développement, R et D**.

L'inventeur s'arrête assez souvent au brevet, ou à la première maquette. Le chemin restant est souvent long pour arriver au produit industriel, le travail du développeur. Fonction essentielle pouvant être assurée par l'inventeur lui-même s'il en a la capacité, sinon par un développeur.

– La **découverte** par la recherche fondamentale, c'est **comprendre l'Univers**.

– L'**invention**, puis le développement, c'est **exploiter la Nature** pour nos besoins matériels.

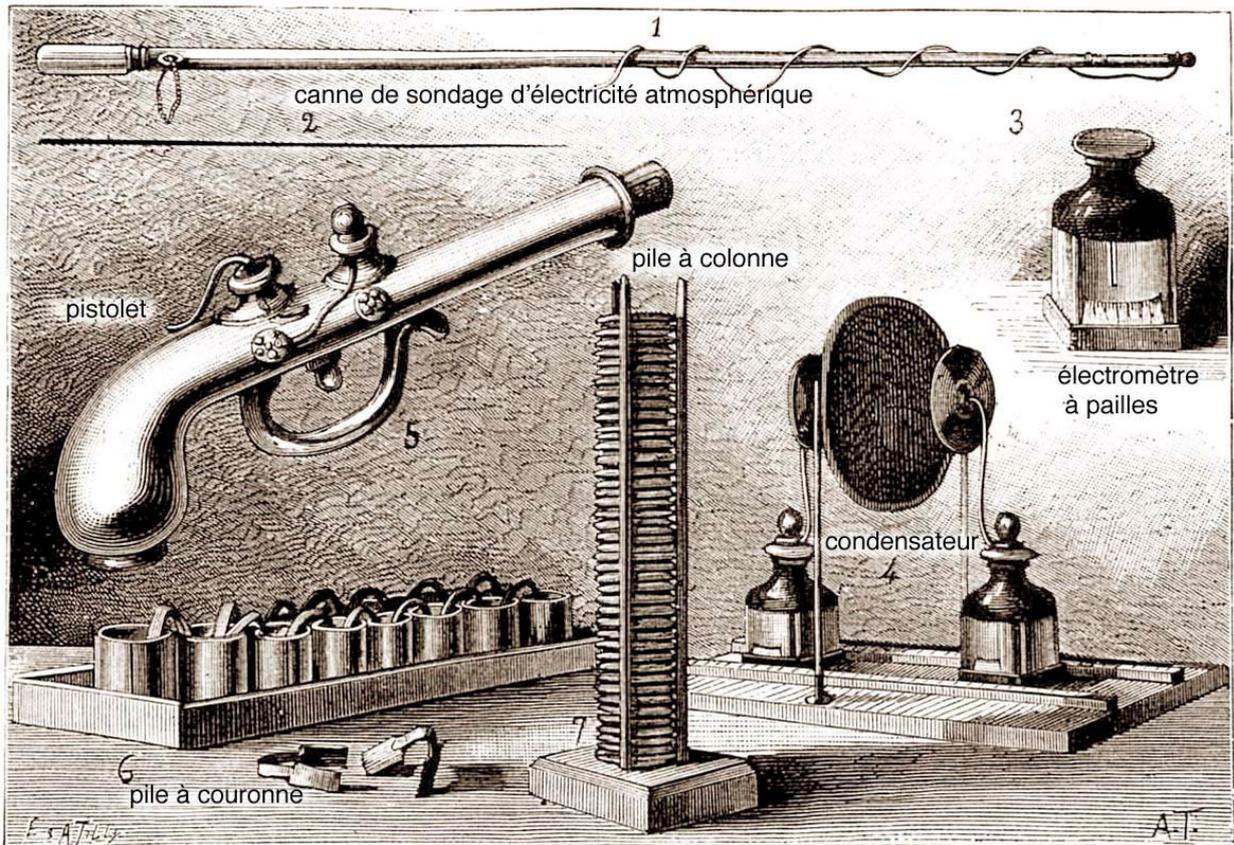
Il arrive que découverte et invention soient faites simultanément, l'une ayant entraîné l'autre :

– En cherchant autre chose, **Volta** invente la pile et découvre qu'elle génère un fluide permanent inconnu, l'électricité.

– **Le trio des Bell Labs** découvrent une propriété inconnue des semi-conducteurs, l'effet transistor. Ils inventent ainsi un nouveau composant électrique, le transistor.

Cette simultanéité, découverte et invention, semble être aussi une caractéristique des recherches actuelles en *nanotechnologies*. D'où leur appellation parfois de *technoscience*.

L'**innovation**, caractérisant ce qui est nouveau, peut qualifier l'invention à fortiori nouvelle, mais aussi la nouveauté qui n'est souvent qu'un perfectionnement, ou la modification de l'aspect physique, ou une nouvelle utilisation d'inventions. L'innovation n'est que fugitive



Appareils de Volta



3 - L'électricité dynamique – l'électrochimie

L'invention de la pile – L'électrochimie

Galvani et Volta

Alors que la plupart des découvertes s'appuient sur l'état des connaissances antérieures, aucun élément d'électrostatique ne laissait présager l'existence :

d'une force électro-motrice, capable de générer un courant électrique permanent.

L'invention de la pile, origine de la découverte, n'était pas dans l'air du temps, ni une évolution d'un appareil connu, une invention presque *ex nihilo* :

- Le découvreur- inventeur, Volta, cherchait tout autre chose.
- Elle résultait d'une étonnante succession de hasards,
- d'années de controverses entre les partisans de Galvani et Volta,
- d'observations sagaces, d'interprétations erronées et d'intuitions géniales.
- sur un sujet ésotérique, l'agitation des pattes de grenouilles écorchées, puis touchées par deux métaux différents.
- Le comble fut que Volta se trompait sur le principe de son fonctionnement, et pourtant elle marchait !
- ... produisant un fluide invisible, inimaginable.

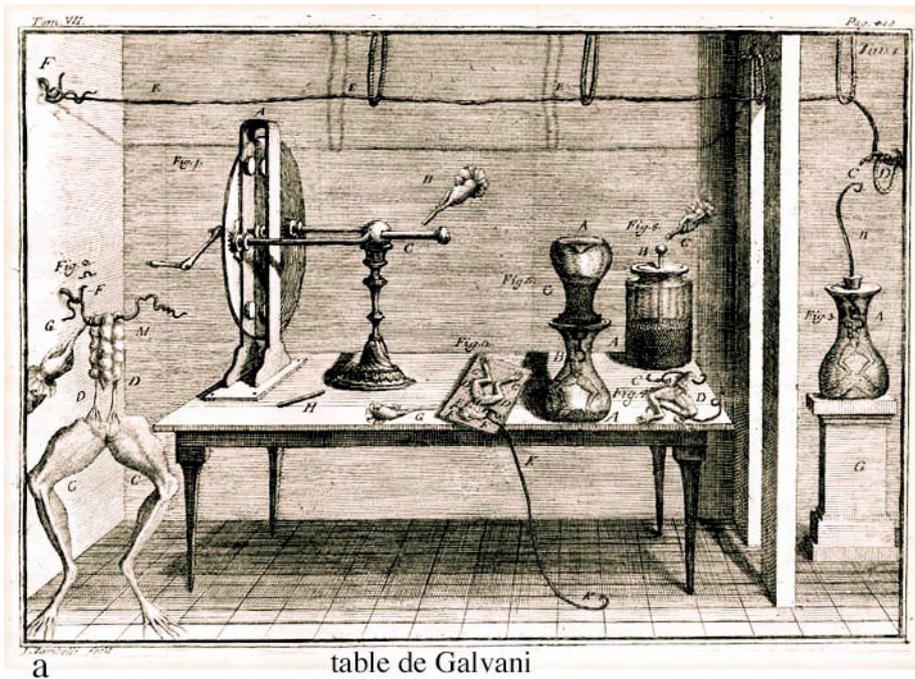
L'histoire s'est déroulée principalement dans les États au Nord de l'Italie actuelle (1).

1780 - La découverte du couple Galvani

Aloysius, Luigi **Galvani** était professeur de médecine et d'anatomie à l'université de Bologne, l'une des plus anciennes et célèbres universités d'Europe. L'un de ses sujets d'étude était l'irritabilité du système nerveux des animaux, en particulier la relation qu'il pouvait avoir avec le fluide électrique, généré par les curieuses machines électrostatiques et celui des poissons électriques. Une étude faite par Walsh sur ces poissons posait la question : d'où venait cette électricité. L'animal le mieux adapté à ces expériences était la grenouille. En la dépeçant, on ne conservait que les deux pattes arrière et le bas de la colonne vertébrale, ce qui permettait de séparer les deux nerfs cruraux commandant les muscles des cuisses et d'expérimenter quelques heures. Ensuite les grenouilles finissaient dans un bouillon aux vertus curatives.

Ce jour-là, en 1780, plusieurs personnes étaient occupées à divers travaux sur les tables du laboratoire (a). Galvani raconte dans son mémoire (1), traduit du latin par Becquerel :

« Je disséquais une grenouille et la préparais comme l'indique la figure et, me proposant de faire tout autre chose, je la plaçais sur une table sur laquelle se trouvait une machine électrique ; elle n'était séparée du conducteur que par un petit intervalle.



a table de Galvani

Une des personnes qui m'aidaient ayant approché légèrement, par hasard, la pointe d'un scalpel des nerfs cruraux de cette grenouille, aussitôt tous ses muscles se contractèrent de telle sorte qu'on aurait dit qu'ils étaient agités par les plus fortes convulsions.

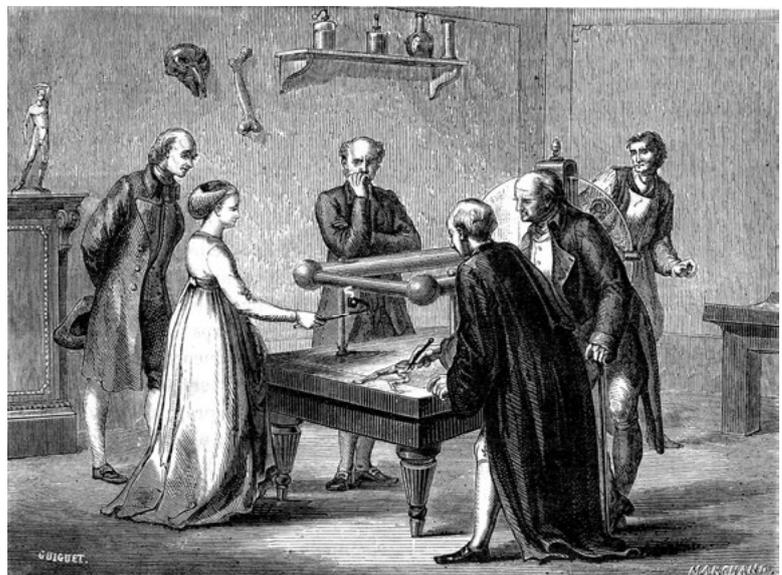
Une autre personne qui faisait avec moi des expériences sur l'électricité remarqua que ce phénomène avait lieu seulement lorsqu'on tirait une étincelle du conducteur de la machine.

Tandis que j'étais occupé d'autre chose, cette personne, étonnée de ce fait vint aussitôt m'avertir. Brûlant du désir de répéter l'expérience, je voulus aussitôt mettre au jour la cause inconnue de ce phénomène. En conséquence, je touchai moi-même avec la pointe du scalpel l'un et l'autre des nerfs cruraux, tandis qu'on tirait une étincelle : le phénomène se présenta de la même manière ; je vis de fortes contractions dans les muscles des membres, comme si l'animal avait été pris du tétanos, et cela au moment même où on tirait des étincelles. »

D'après P. Sue et C. Alibert, « l'autre » personne qui prévint Galvani était son épouse Lucia, comme sur la gravure de Figuier (b), représentant la scène. C'est l'une des très rares interventions d'une femme dans la science au cours de ce siècle. Sans cette curiosité expérimentale d'une femme, acquise en travaillant avec son époux, l'acte I de la découverte de l'électricité dynamique n'aurait pas été joué... avant combien d'années ? Premier hasard. Il est dommage qu'Arago, des années plus tard ait ramené le rôle de Lucia Galvani à la préparation d'un bouillon de grenouilles pour son rhume.

La place des femmes était alors à la cuisine, pas dans un laboratoire scientifique, domaine exclusivement réservé aux hommes pendant encore plus d'un siècle. À la rigueur, on acceptera la femme, mais dans un rôle magique, la fée Électricité, les premières divinités de l'humanité ayant été des déesses.

Pour tous les auteurs qui ont raconté cette expérience fondatrice, il s'agissait d'un phénomène connu à l'époque, le *choc en retour* se produisant sur les personnes ou animaux, lorsque la foudre tombait même très loin d'eux. Or l'étincelle fugitive de décharge de la machine électrique avait été assimilée à un éclair en miniature. L'explication était cohérente avec les connaissances de l'époque.



b

contraction de la grenouille de Galvani

Pour nous ce choc en retour résulte de la décharge subite du nuage orageux à la terre, entraînant l'annulation brutale du fort champ électrique entre les deux armatures du condensateur géant constitué par le nuage et la terre ; champ atteignant 20 000 volts par mètre au niveau du sol.

Ce n'était absolument pas le cas sur la table de Galvani, au voisinage d'une machine électrique, mais on ne pouvait le savoir. Cependant Galvani, en expérimentateur consciencieux, recommença l'expérience en faisant varier diverses conditions ; en particulier, lorsqu'il remplaçait le scalpel en métal par une tige isolante en bois, rien ne se produisait, ce qui confirmait que ce n'était pas le choc en retour. Étrange !

En réalité, le couple **Galvani précédait Hertz d'un siècle**. Le scalpel et la personne qui le tenait constituaient ensemble une antenne de Popov, détectant le bref train d'ondes électromagnétiques émises par l'étincelle de la machine, qu'Hertz remplacerait par une bobine d'induction. Le très faible courant à haute fréquence que captait Galvani suffisait à exciter le nerf du muscle de la grenouille.

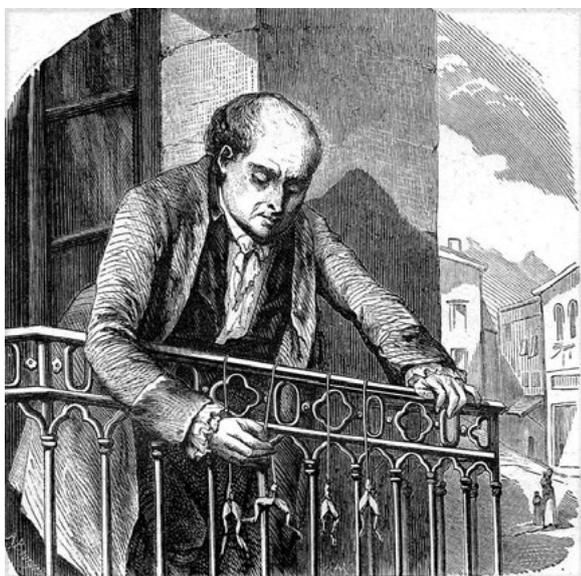
La confirmation du phénomène était sa disparition en remplaçant le scalpel par du bois.

L'hypothèse du choc en retour ne lui semblant pas satisfaisante, Galvani pressentait une autre cause, l'électricité interne générée par l'animal, et il entreprit de multiples expériences pendant six ans. En particulier, pour vérifier que l'effet de la foudre devait être plus fort que celui de la machine électrique ; un jour orageux il installa sur le toit une tige de fer reliée à un long fil descendant dans une pièce où il suspendit la grenouille écorchée, dont une patte touchait la table reliée à la terre. À chaque éclair, même lointain, les cuisses s'agitaient fortement. Il ne pouvait pas comprendre qu'il avait suspendu la grenouille à une bonne antenne, réceptrice des ondes émises par chaque éclair, ondes que nous captions dans nos anciennes radios (à modulation d'amplitude), les jours d'orage, sous forme de crachements parasites.

Ce fut une non-découverte bien prématurée ; pour nous, la grenouille se révélait être un détecteur d'ondes ultrasensible, ancêtre du résonateur de Hertz, puis du cohéreur de Branly, mais un siècle trop tôt (2).

1786 - L'électricité animale

Galvani, obstiné, revenait souvent sur ce problème, il avait l'intuition du chercheur que cela cachait quelque chose d'important, peut-être que la grenouille générait de l'électricité comme certains poissons. À tout hasard, peut-être la dernière expérience avant d'abandon-ner, il teste la réaction possible des grenouilles à la faible électricité atmosphérique régnant par beau temps, en les suspendant par un crochet sur son balcon. Il renouvelle plusieurs jours l'expérience et monte fréquemment les observer, mais rien ne se produisait.



C Galvani suspend les grenouilles au balcon

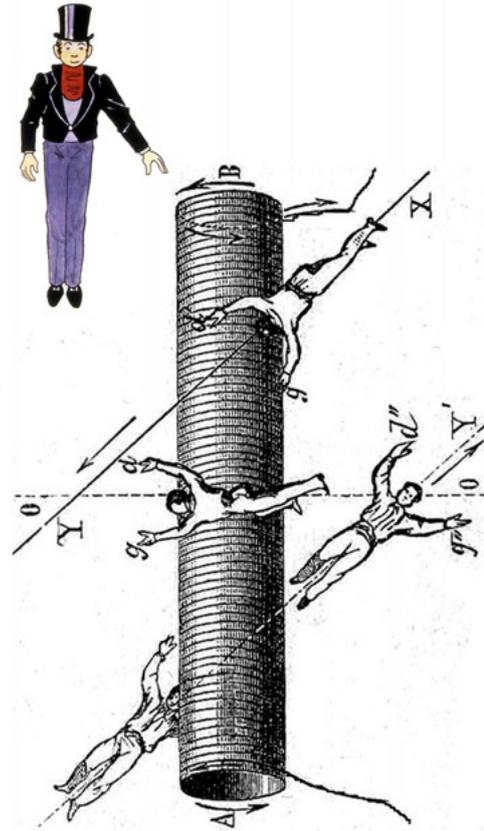
« ...Enfin fatigué de cette vaine attente, je me mis à presser, à frotter contre les barreaux de fer, les crochets de cuivre qui traversaient la moelle épinière des grenouilles, afin de voir si par ce genre d'artifice, les contractions musculaires seraient excitées, et si elles se modifieraient en quelque façon, suivant les états électriques de l'atmosphère.

J'ai souvent observé, à la vérité, des contractions, mais sans que l'état électrique de l'atmosphère y fut pour rien ».

Galvani vient de découvrir un nouveau phénomène totalement différent du précédent, mais produisant le même effet :

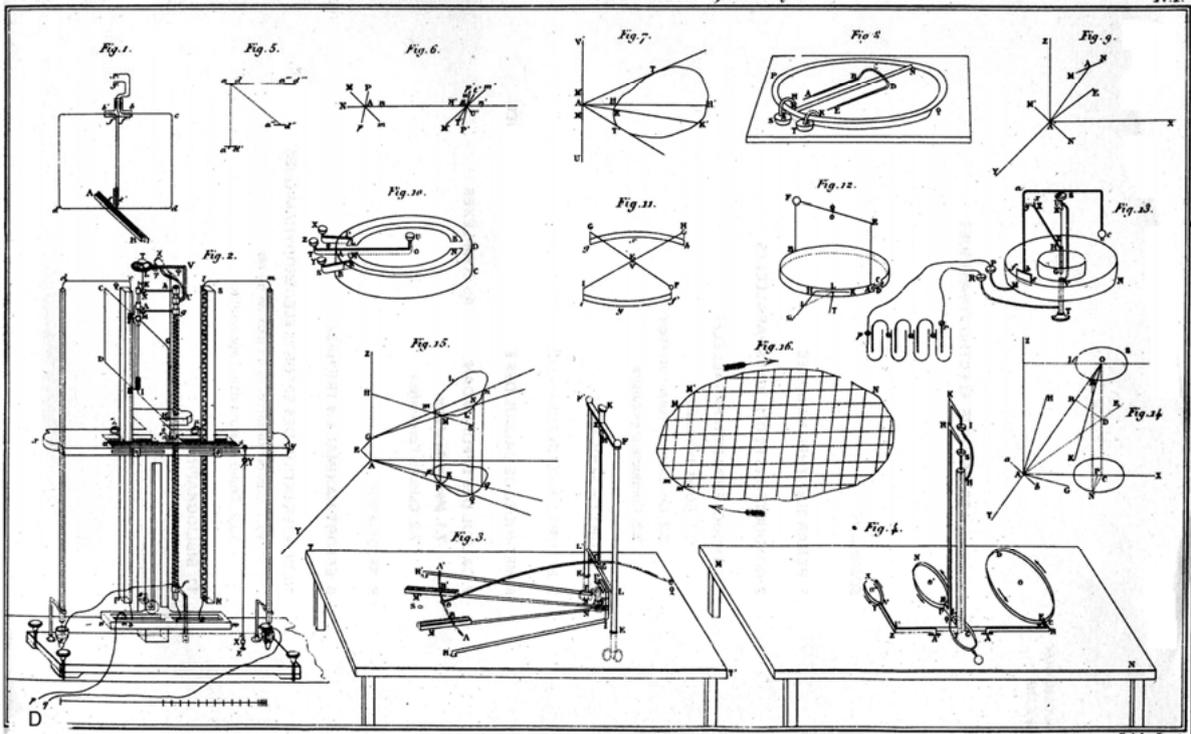
Pages 58 à 75 non reproduites

Suite .../.....



Théorie des Phénomènes Electro-dynamiques.

Pl. 1.



4 - L'électromagnétisme

L'électricité dynamique crée le magnétisme

Oersted et Ampère

Pour mieux comprendre cette deuxième découverte fondamentale de l'électricité, il est utile auparavant, de humer l'air du temps en 1820, vingt ans après la pile de Volta.

L'électricité de la pile, une autre électricité

Dès les premières années du XIX^e siècle, les physiciens ont eu à faire de profonds efforts de réflexion et de pratique expérimentale, pour pénétrer dans un nouveau monde, celui de **l'électricité galvanique**, ou pour nous, **dynamique ou en mouvement**, que la pile faisait circuler dans un fil joignant ses deux pôles. Il avait certes quelques similitudes, mais surtout de fortes différences avec l'ancien monde de l'électricité (ordinaire), nom qui subsista jusqu'en 1820, devenu alors l'électrostatique. Ensuite l'électricité ne désigna plus que celle qui nous est familière, l'électricité dynamique, ou tout simplement l'électricité.

La pile qui possédait, selon Volta, une *force électromotrice* capable de faire circuler un courant permanent dans un circuit extérieur, n'avait rien de commun avec les grosses machines électrostatiques à manivelle. Un simple contact suffisait à faire jaillir une étincelle fugitive, dont on ignorait, bien sûr, que c'était un très bref courant à haute fréquence dans l'air ionisé, la foudre en miniature. L'électroscope à feuilles d'or n'avait plus d'utilité puisque cette force permanente, en principe, dépendait uniquement du nombre d'éléments de la pile, quelques volts incapables de faire dévier un électromètre ordinaire. Il y avait un circuit à établir avec un fil conjonctif, qui "joint", pour faire circuler l'électricité d'un pôle de la pile à l'autre, directement ou à travers un autre élément.

Surtout quelque chose transitait dans ce fil, le *conflit électrique*. Ce terme de conflit était moins vague que l'ancien terme de fluide, il résumait l'idée que circulaient dans le fil deux flux en sens contraire qui se croisaient, l'un, boréal, d'électricité positive sortant du pôle positif (zinc) pour rentrer au pôle négatif (cuivre), l'autre, austral, d'électricité négative allant du négatif au positif. C'était une adaptation dynamique du principe coulombien des deux électricités statiques. Quand il devint nécessaire de définir un sens unique et global à cet écoulement, on prit en compte celui du seul courant positif. Il est vrai qu'actuellement, on considère dans les électrolytes et les plasmas gazeux, que le courant est bien constitué de deux courants inverses, mais très inégaux, d'ions positifs et d'électrons négatifs.

On était encore très loin de supposer que ce fil pouvait véhiculer de l'énergie et non pas seulement des charges, notion d'ailleurs floue à l'époque.

Quant aux **phénomènes d'attractions et répulsions** entre positif et négatif, on ne savait plus entre quoi ils pourraient bien s'exercer, certains ont dû essayer d'approcher les pôles de deux piles, pour voir, sans résultat.

Un autre aspect avait un peu disparu des préoccupations, **le magnétisme** ; pourtant depuis Thalès, les scientifiques hésitaient à considérer les deux phénomènes magnétisme et électricité comme des apparences différentes d'un même principe. Leur propriété commune était ce pouvoir d'attraction à distance que Coulomb avait chiffré dans deux lois, comme proportionnel à l'inverse du carré de la distance. Coulomb avait nettement déclaré que cette ressemblance n'était en rien une identité. Ampère lui-même, écrivait en 1802, dans la présentation de son cours au lycée de Bourg : « Le professeur démontrera que :

« Les phénomènes électriques et magnétiques sont dus à deux fluides différents et qui agissent indépendamment l'un de l'autre ».

La découverte de la nouvelle électricité galvanique allait-elle modifier ce point de vue ? Il est certain que l'idée était dans l'air, il y avait probablement un rapport entre cette électricité et le magnétisme :

– On rapportait plusieurs cas d'action étrange de la foudre, provoquant la désaimantation ou même l'inversion des pôles d'une boussole marine ;

– Les aiguilles aimantées au voisinage de machines électrostatiques s'agitaient bizarrement au moment de la décharge ;

– Les deux pôles plus et moins de la pile ne seraient-ils pas analogues à ceux d'un aimant ?

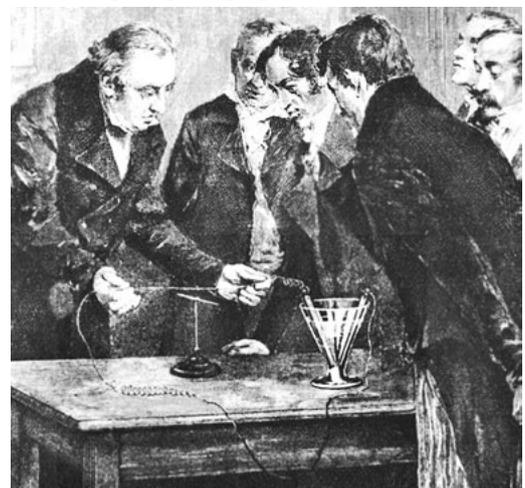
– Un physicien et romantique allemand, W. Ritter, connu pour des expériences ingénieuses sur le galvanisme, portait l'analogie jusqu'à l'identité, cela restait encore à prouver.

Oersted, le conflit électrique fait dévier une aiguille aimantée

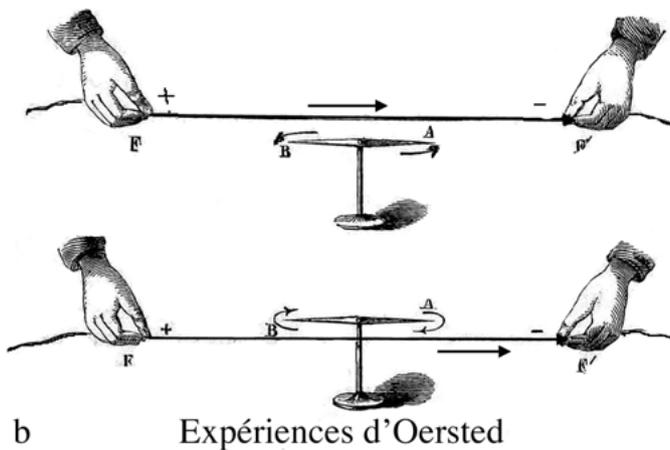
Ritter en avait parlé avec son ami, Jean Christian Oersted, professeur à l'université de Copenhague. Ce dernier avait publié en 1812 un *Aperçu des lois chimiques naturelles*, il y écrivait « Nous tâcherons pour prouver mieux encore l'universalité des deux forces chimique et électrique, de montrer qu'elles produisent aussi des phénomènes magnétiques. »

Ce n'est donc pas un hasard, comme on l'a souvent écrit, mais le résultat de nombreux essais, qu'il arrivât à la preuve dans l'hiver 1819. Aussi, il est peu probable qu'il constata cette déviation d'une aiguille aimantée pendant un cours d'électricité (a). Il attend cependant des mois, août 1820, pour envoyer la nouvelle à plusieurs académies, sous forme d'une note de quelques pages, en latin selon la tradition :

« Expériences relatives à l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée - Les premières expériences, sur le sujet qui fait l'objet de ce mémoire, remontent aux leçons que j'ai faites l'hiver dernier sur l'électricité, le galvanisme et le magnétisme. Leur conséquence principale est que l'aiguille aimantée est déviée de sa position par l'action de l'appareil voltaïque et que cet effet se produit quand le circuit est fermé et non lorsqu'il est ouvert ; c'est pour avoir laissé le circuit ouvert que de célèbres physiciens n'ont point réussi, il y a quelques années, dans des tentatives de ce genre. »



a Expérience d'Oersted



b Expériences d'Oersted

Cette allusion concerne sans doute Ritter qui a dû, comme d'autres, essayer logiquement d'approcher un aimant des pôles de la pile, alors que l'effet se produit à l'extérieur, par action sur le fil conjonctif qui joint les deux pôles.

Le mémoire décrit ensuite la pile utilisée, une pile à auges assez puissante, capable de débiter quelques ampères. L'aiguille aimantée se dirige normalement vers le Nord, ou plutôt suivant le méridien magnétique, et alignée avec le fil conjonctif s'il n'est pas branché à la pile. Quand le conflit, le courant, passe dans ce fil,

l'aiguille tend à se mettre presque en croix vers l'Est ou l'Ouest, suivant le sens du courant ou suivant que le fil passe dessus ou dessous l'aiguille (b) :

« La déviation est inversement proportionnelle à la distance du fil à l'aiguille et fonction de la puissance de l'appareil galvanique (la pile)... Il en résulte que l'effet observé ne peut être attribué à une attraction... les forces de ce conflit électrique sont circulaires... le conflit électrique n'est pas enfermé dans le conducteur lui-même, mais dispersé dans son environnement proche... » (1).

Oersted, troublé par cette force circulaire imagine une sorte de tourbillon qui entraînerait l'aiguille aimantée.

Cette force présentait trois anomalies par rapport aux forces à distance connues, les forces électrostatiques, et même la gravitation :

- Un effet provoqué par un fil parcouru par le conflit électrique et non plus des charges électriques statiques ;
- Une interaction entre des phénomènes magnétiques et électriques considérés comme bien distincts par Coulomb et ses prédécesseurs ;
- Une force ne s'exerçant pas comme les attractions newtoniennes, selon la droite qui relie les centres, mais circulaire autour du fil.

Il est probable qu'Oersted a cherché pendant six mois à trouver une explication à cette étrange force. N'y parvenant pas, il s'est décidé à publier son expérience telle quelle, sans explication, au cas où un autre ne le ferait avant lui, car il se doutait qu'il n'était pas le seul sur cette question.

La nouvelle eut bien un fort retentissement dans le petit monde des savants pour deux raisons : le sujet était dans l'air depuis des années, de plus il n'y avait pas eu de découverte électrique marquante depuis vingt ans, si ce n'étaient celles de nouveaux corps simples par l'électrochimie débutante. Peut-être aussi en raison des perturbations internationales provoquées par les guerres napoléoniennes.

La Royal Society décerna la médaille Copley de 1820 à Oersted, l'équivalent à l'époque d'un petit prix Nobel. Mais personne ne comprenait pourquoi l'aiguille aimantée déviait ; on se retrouvait devant une situation analogue à celle de 1786, quand Galvani découvrit un fait surprenant, l'agitation des cuisses de grenouille lors de la décharge d'une machine électrique proche. (I-3)

L'antériorité

Comme nombre de découvertes ou inventions cette déviation de l'aiguille aimantée sous l'effet d'un courant voisin avait été constatée depuis des années, mais restée inconnue. Qu'importe, le second découvreur a autant de mérite que le premier... s'il l'ignorait.

Domenico Romagnesi avait publié à Trente, le 3 août 1802, un mémoire sur cette expérience. Le neveu de Galvani, Giovanni Aldini le signale dans son *Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme*, imprimé à Paris en 1804 : « M. Romagnesi, physicien de Trente, a reconnu que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée. Joseph Izarn, professeur de physique au lycée Bonaparte, le mentionne aussi dans son *Manuel du galvanisme* de 1805, déposé dans les bibliothèques des lycées de France. Mais aucun professeur n'y prêta attention.

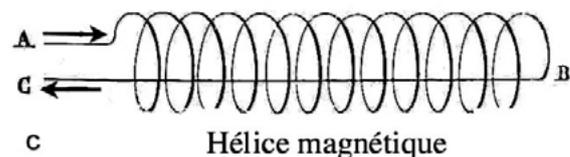
Oersted rencontra Aldini plusieurs fois lors de ses voyages à Paris (1802-1803-1813). Peut-être ce fait ne l'avait pas frappé à l'époque ; c'était alors la pile et ses effets électrochimiques qui intriguaient surtout les savants. Romagnesi avait seulement signalé ce fait étrange, sans chercher à l'expliquer. Oersted ira plus loin en l'analysant plus à fond, mais sans trouver d'explication lui non plus.

Ampère fonde l'électromagnétisme en deux semaines (2)

François Arago expérimentait à Genève chez de La Rive, lorsque arriva la lettre d'Oersted. Avec de Saussure, Pictet et d'autres, il assista à la démonstration dans ce groupe scientifique informel des genevois qui a souvent fait avancer la science électrique. Dès son retour à Paris, il décrit l'expérience vue à Genève, au cours de la séance de l'Institut du 4 septembre 1820 ; il fut alors chargé de la reproduire le lundi suivant.

– **le 11 septembre** se déroule l'expérience. André Marie Ampère est présent. Professeur en analyse mathématique et mécanique à l'école Polytechnique, il ne s'était pas jusque-là intéressé à l'électricité, mais aux mathématiques, à la chimie et à la psychologie. Il saisit immédiatement l'importance des phénomènes dont il vient d'être témoin. Se déclenche dans son cerveau le déclic de l'intuition, qui va se traduire pendant quatre mois par un feu roulant de communications fortes et irréfutables, lors des séances de l'Académie. Il n'y avait pas encore de compte-rendu des séances (0), mais Ampère en a consigné quelques éléments dans ses notes :

– « Séance du **18 septembre** – Je réduisis les phénomènes observés par M. Oersted à deux faits généraux... je décrivis les instruments que je me proposais de faire construire et entre autres des **spires** et des **hélices galvaniques**.

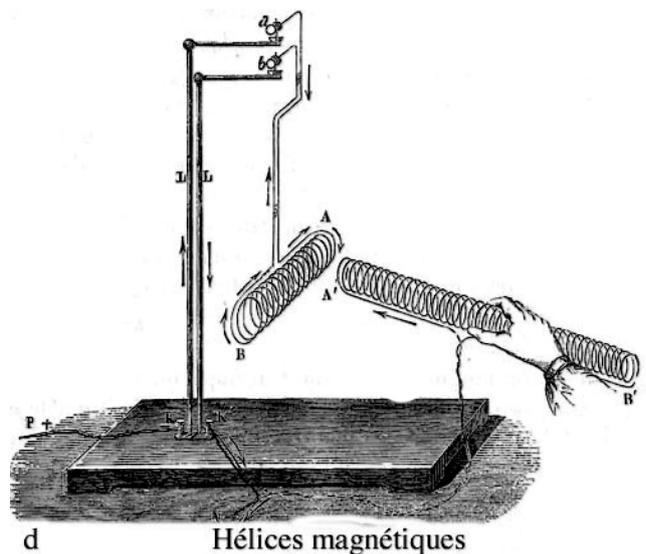


J'annonçais que ces dernières produiraient dans tous les cas, les mêmes effets que les aimants (c). J'entrais ensuite dans quelques détails sur la manière dont je conçois les aimants, comme devant uniquement leurs propriétés à des courants électriques dans des plans perpendiculaires à leur axe et sur les courants semblables que j'admets dans le globe terrestre ; en sorte que **je réduisis tous les phénomènes magnétiques à des effets purement électriques...** »

Une semaine seulement pour présenter le principe de l'électromagnétisme.

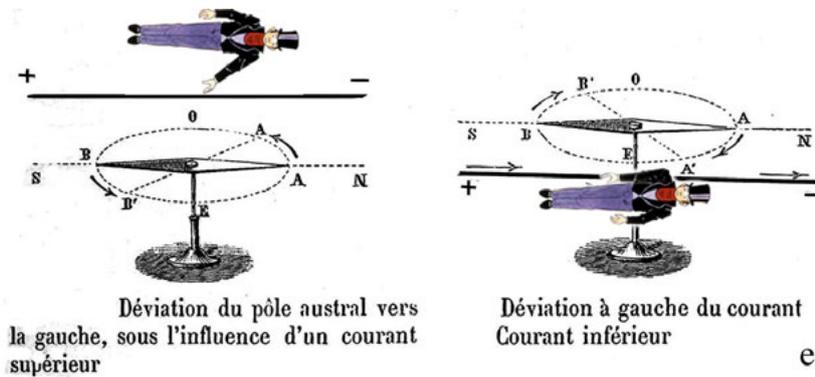
– La séance du **25 septembre** reste mémorable par l'annonce d'un fait assez extraordinaire : « Je donnerais plus de développement à cette théorie, et **j'annonçais le fait nouveau de l'attraction et de la répulsion de deux courants électriques sans l'intermédiaire d'aucun aimant**, fait que j'avais observé sur des conducteurs pliés en spirale. Je répétais cette expérience dans le cours de la séance... » (d).

Si l'on approche d'une hélice stabilisée AB, une autre hélice A'B' on obtient des attractions ou répulsions comme avec des aimants.



Ces phénomènes nécessitaient de raisonner dans l'espace à trois dimensions avec une analogie :

« ... d'après le fait général, que si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, de manière qu'il soit dirigé des pieds à la tête de l'observateur, et que celui-ci ait la face tournée vers l'aiguille ; c'est constamment à sa gauche que l'action du courant écartera de sa position ordinaire celle de ses extrémités qui se dirige vers le Nord. C'est ce que j'exprimerais plus brièvement en disant que le pôle austral de l'aiguille (le Nord) est porté à gauche du courant qui agit sur l'aiguille. » (e)



Déviaton du pôle austral vers la gauche, sous l'influence d'un courant supérieur

Déviaton à gauche du courant Courant inférieur

C'était l'acte de naissance d'un personnage resté célèbre dans les lycées, le **Bonhomme d'Ampère**, (14) que l'on remplace souvent par la règle des trois doigts ou celle du tire-bouchon de Maxwell.

En quelques mots simples, clairs et précis, on peut même écrire dans un éclair de génie, il jetait les bases d'une nouvelle

science dénommée plus tard **électromagnétisme**, basé sur la corrélation des phénomènes électriques et magnétiques.

Simultanément il définissait son programme de travail pour démontrer expérimentalement toutes ces notions nouvelles, qu'il exposait d'emblée comme des certitudes. Toutes ses affirmations se vérifieront par l'expérience dans les semaines suivantes, sans aucune correction. Quelle prémonition et rapidité de jugement !

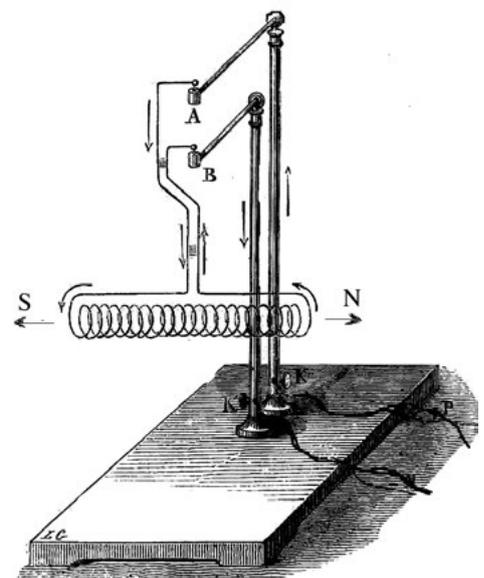
Il était déjà très au-delà de la seule interprétation de l'expérience d'Oersted, à l'aide du petit Bonhomme et la règle d'Ampère. Ampère consacrait toute son énergie et son temps à préciser et tester ses idées par des expériences, et présentait chaque semaine un nouveau mémoire à l'Académie.

– **Le 2 octobre**, il expose le résultat d'une expérience, suggérée par Laplace, sur la déviation d'une aiguille aimantée à grande distance par un courant, l'embryon d'un télégraphe électrique.

– **Le 30 octobre**, il suspendait à des potences une hélice magnétique trempant dans des coupelles de mercure permettant leur pivotement (h). Le courant circulant dans l'hélice va provoquer l'orientation de son "pôle" magnétique vers le nord, c'était une boussole électrique sans aimant.

À la même séance **Biot** présenta la loi donnant la force exercée sur un courant par un petit aimant, elle décroissait avec la distance, comme l'avait constaté Oersted. **Laplace** démontra que la force développée par un aimant sur un élément de courant était en raison inverse du carré de la distance.

– **Le 10 novembre**, son ami Arago apporta une contribution capitale à ce foisonnement d'idées nouvelles que suscitait la théorie d'Ampère. Il avait plongé dans la limaille de fer un fil parcouru par un courant. Si, conformément à la nouvelle théorie, il y avait identité entre le galvanisme et le magnétisme, la limaille devait être attiré comme par un aimant – elle le fut. Arago montra cette expérience à Ampère. Aussitôt celui-ci en tira comme conséquence que, si l'on plaçait une aiguille de fer dans un fil enroulé en spirale, on en ferait un aimant artificiel temporaire, tant que le courant parcourrait le fil (f).



h Hélice magnétique

L'**électro-aimant** était inventé, première application directe des découvertes d'Ampère (g).



f Procédé d'aimantation

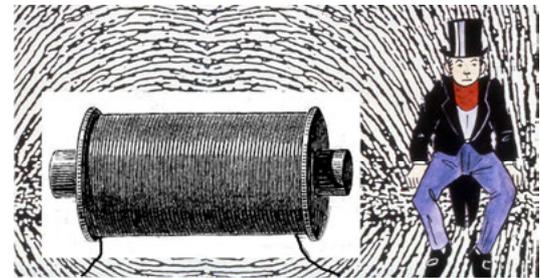
Arago lu son mémoire à l'Académie le 2 avril 1821 ; Notice sur l'aimantation imprimée aux métaux par l'électricité en mouvement. Il précise : « ...En répétant les expériences du physicien danois, j'ai reconnu que ce même courant développe fortement la vertu magnétique dans des lames de fer ou d'acier qui, d'abord, en étaient totalement privés... »

Diverses formes des noyaux en fer de l'électro-aimant, en fer à cheval, avec une palette mobile, seront ensuite perfectionnés par Sturgeon et Henry.

– **Le 4 décembre**, c'est le bouquet final, Ampère présente à l'Académie la formule générale de la force s'exerçant dans l'espace entre deux éléments de courants (j).

Elle définit toutes ces nouvelles actions électromagnétiques à distance, en particulier le fait de l'attraction mutuelle de deux courants de même sens et la répulsion de deux courants de sens contraire.

Cette première formule de l'électricité dynamique, constitue la première loi fondamentale de l'électromagnétisme.



g Electro-aimant simple

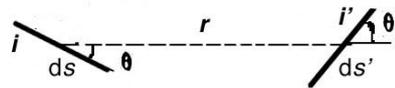
C'est dans le Mémoire que je lus à la séance du 4 décembre 1820, que je communiquai à l'Académie la formule fondamentale de toute la théorie exposée dans ce Mémoire, formule qui donne la valeur de l'action mutuelle de deux fils conducteurs exprimée ainsi :

$$\frac{ii' ds ds' (\sin \theta \sin \theta' \cos \omega + k \cos \theta \cos \theta')}{r^2}$$

k étant égal à $-\frac{1}{2}$

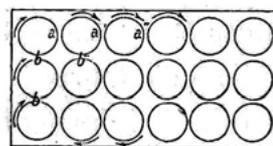
ω étant l'angle du plan de ds et r avec le plan de r et ds'

j



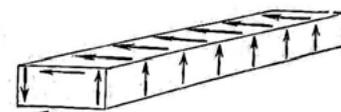
– Aux séances suivantes, jusqu'au **8 janvier 1821**, Ampère apportait des compléments, en particulier son hypothèse sur la constitution magnétique de l'aimant : une série de petits courants autour des *molécules*, existant avant l'aimantation du fer, du nickel ou du cobalt, mais dirigés en tous sens, ne pouvant donc avoir une action commune à l'extérieur. L'aimantation s'opère quand l'action magnétique d'un aimant ou d'un courant proche donne à tous ces courants désordonnés une direction commune (k).

On n'avait plus besoin de l'hypothèse d'un fluide magnétique, tout s'expliquait par la circulation de courants.



k Courants particuliers des aimants

Courants résultants à la surface d'un aimant



– **Le 2 avril 1821** il lit en séance publique à l'Académie une notice d'ensemble que complètera un mémoire récapitulatif, seulement le 8 avril 1822, en raison d'une maladie.

En 1824, il terminera la construction cohérente de toute sa théorie : *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* ; le livre ne fut édité qu'en 1827, mais son contenu avait été en grande partie diffusé dans ses précédents mémoires (4).

Il débute par un long éloge de Newton dont il admirait essentiellement la méthode initiée déjà par Kepler :

« Observer d'abord les faits, en varier les circonstances autant qu'il est possible, accompagner ce premier travail de mesures précises pour en conclure les lois générales uniquement fondées sur l'expérience, et déduire des lois ainsi obtenues, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des forces qui produisent les phénomènes, la valeur mathématique de ces forces, c'est-à-dire la formule qui les représente. »

Son titre n'est pas neutre, il précise nettement qu'il formule sa théorie en termes de quantitatif, non pas simplement de qualitatif ; ensuite qu'il élimine toute hypothèse ou spéculation intellectuelle pour ne prendre en compte que des faits expérimentaux reproductibles. L'ensemble est basé sur quatre expériences qu'il dénomme cas d'équilibre, destinées à déterminer les coefficients constants qui entrent dans la formule. Par exemple, il aurait pu adopter d'emblée que les efforts étaient inversement proportionnels au carré de la distance, comme dans les formules de Newton et Coulomb ; au contraire il considère au départ que c'est à une puissance n qu'il détermine expérimentalement pour trouver ensuite $n = 2$, soit le carré.

L'ouvrage est une minutieuse justification de sa théorie, complétée par la réfutation justifiée des nombreuses critiques et contradictions de ses opposants, principalement Biot, cité une dizaine de fois. Par contre, il mentionne l'apport positif de Faraday avec ses expériences de rotation de conducteurs. Le tout est écrit avec une clarté et précision assez rare pour des problèmes aussi complexes et nouveaux à l'époque.

– **Le 16 septembre 1822**, Ampère faisait une simple communication, « *la production des courants électriques par influence* », sur une expérience étrange qu'il ne chercha pas à expliquer : lorsqu'on approche un électroaimant en fer à cheval d'une lame de cuivre, celle-ci peut être attirée ou repoussée suivant la direction du courant. Il en conclut qu'un courant électrique excite de l'électricité dans les corps conducteurs près desquels il est dépassé.

À la même époque, il avait réalisé à Genève, avec de La Rive, une autre expérience où se manifestait par hasard un courant induit, qu'ils n'ont pas cherché à comprendre. Cela n'intrigua personne, même pas Arago qui révélait deux ans plus tard le magnétisme de rotation, phénomène d'induction très proche ; ni Faraday qui découvrait l'induction, cause du phénomène, seulement neuf ans plus tard. (I-5)

La découverte est vraiment une étrange déesse dont la beauté fugitive reste souvent invisible aux yeux des chercheurs préoccupés par d'autres soucis.

Le processus intellectuel de la découverte

Il est généralement difficile de comprendre comment a fonctionné le cerveau du découvreur, intuition ou raisonnement logique ? Celui d'Ampère a été décrit par lui-même :

– seul un aimant peut attirer un autre aimant, donc le fil parcouru par le fluide électrique est un aimant. Affirmation de pure logique, mais étrange. Aucun rapport physique n'apparaît entre un aimant et un fil ;

– mais la force qu'il exerce n'est pas une interaction suivant une droite, elle est circulaire autour du fil ;

– alors si le fil est mis en boucle, en forme de spirale, elle doit se concentrer en son centre, prémonition osée que l'expérience confirme ;

– Il suffit alors d'ajouter l'effet de plusieurs spirales côte à côte formant une hélice, qui devient un additionneur, sorte d'amplificateur de force magnétique. Cela devient un aimant électrique dont l'axe

porte un pôle plus d'un côté, moins de l'autre, donc une bobine d'électroaimant, dénommée plus tard un solénoïde (7).

Aujourd'hui, on n'imagine guère d'appareil électrique sans bobines, ces milliards de solénoïdes d'Ampère, concentrateurs de magnétisme.

En comparaison avec d'autres découvertes, cette fondation de l'électromagnétisme par Ampère n'avait nécessité aucune intervention du hasard, si ce n'est peut-être la découverte d'Oersted elle-même, qui était dans l'air du temps. Ampère en effet n'a jamais pris en compte le hasard, pourtant à l'origine de multiples découvertes. Cette carence intellectuelle lui fera d'ailleurs manquer de peu celle de l'induction, le 16 septembre, et une seconde fois avec de la Rive. Un manque caractéristique de *sérendipité*, heureusement compensé par d'autres aptitudes.

Le plus stupéfiant fut la rapidité de la découverte et du calcul de cette force électromagnétique, moins de 3 mois, chaque fait ou concept était présenté dans sa forme définitive, sans nécessiter de compléments ultérieurs, sans considérations philosophiques sur les causes. Une étonnante intelligence précise, rapide, sans hésitations ; mais avec pourtant une carence notable, ne pas savoir interpréter le hasard fugitif, cet ange gardien du découvreur.

Les contradicteurs

Comme il arrive souvent à l'apparition d'une nouvelle théorie surprenante, les savants se divisaient en trois groupes : les suiveurs enthousiastes, les contradicteurs de bonne foi ou simplement jaloux, et enfin ceux qui se rappelaient soudain avoir eut des idées analogues.

En France, se rallièrent immédiatement à cette approche totalement nouvelle : Arago, Fresnel, Fourier, Savary, plus tard Becquerel. Les opposants étaient les mathématiciens, Laplace et surtout Biot qui prônait, à l'inverse d'Ampère, que l'action du courant ne servait qu'à "imprimer une certaine aimantation" aux métaux qu'il traverse, ils étaient entourés de minuscules aimants. Il fit preuve longtemps d'une mauvaise foi, à la limite de la bêtise, dommage pour un bon mathématicien.

On trouvait aussi surprenant qu'en électrostatique, les corps chargés d'électricité de même signe se repoussaient, alors qu'Ampère montrait que les courants de même sens s'attiraient. (5) De même, dans les théories de Newton, les forces d'actions et réactions s'exercent suivant une ligne droite. Ampère démontrait alors que les rotations résultaient d'attractions et répulsions directes.

À l'étranger, les anglais étaient déconcertés, peu entraînés aux raisonnements à base de mathématiques. Berzélius ignore Ampère. Il a fallu convaincre difficilement Wollaston, Davy, Faraday, Prévot, Nobili à Bologne. Ampère répondait à leurs critiques par des lettres claires et détaillées ; Babbage, venu de Londres pour rencontrer Ampère, était reparti convaincu par les expériences et son discours précis et bien étayé. Il entraîna à son retour une meilleure compréhension de la nouvelle théorie par les anglais, considérés comme les références dans cette science électrique naissante.

Apports théoriques

Ils dépassent très largement la simple explication de l'expérience d'Oersted avec le petit bonhomme au bras tendu :

1 - Ampère affirme et démontre expérimentalement qu'un courant électrique se comporte dans son environnement comme un aimant. Son apport majeur est l'explication de tous les phénomènes magnétiques par l'action externe des courants électriques. Le magnétisme seul n'existe pas, ce n'est que l'un des effets de l'électricité dans son environnement.

C'est l'**acte fondateur de l'électromagnétisme**, qu'il dénommera électrodynamique, concept totalement nouveau, que nombre de physiciens et mathématiciens approfondiront jusqu'à la première synthèse de Maxwell en 1864, suivi des Lorentz, Langevin, Einstein, Bohr, au début du *xx*^e.

Fin du tome I

Pages 85 à 132 non reproduites