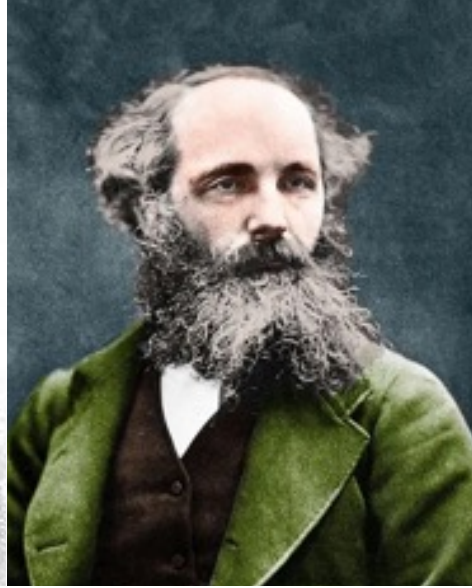




| Wilhelm Eduard Weber.



| James Clerk Maxwell.



| Heinrich Hertz.

# Retour sur l'histoire de l'électricité

## Partie 2 : Le temps des ingénieurs et des entrepreneurs

### Bernard Ayrault

Membre émérite de la SEE

**Cette seconde partie évoque quelques points essentiels de décennies décisives, avant 1900, dans l'histoire des techniques, en soulignant le génie créatif de quelques acteurs.**

### Introduction

La phrase que Jules Verne met, en 1869, dans la bouche du Capitaine Nemo et qui est reprise en exergue à la première partie de ce *Retour sur l'histoire de l'électricité au 19<sup>ème</sup> siècle*, n'est pas seulement prémonitoire : Jules Verne lui-même, décédé en 1905, aura connu de son vivant presque tout ce qu'il avait imaginé comme écrivain.

Les premiers sous-marins à propulsion électrique furent quant à eux mis au point, dans plusieurs pays d'Europe, une quinzaine d'années seulement après le Nautilus....

### La science continue et les savants restent féconds et actifs !

#### L'Europe des Lumières reste vivante

Les percées scientifiques opérées, après Coulomb et Volta, par Oersted, Ampère, Faraday... témoignent de l'Europe des

Lumières ; les publications scientifiques et les cabinets de science restent nombreux ; les idées circulent grâce à de nombreuses publications cependant que les Académies nationales sont actives, de même que certaines institutions, telles qu'en France l'Ecole polytechnique ou le Collège de France.

Les savants eux-mêmes sont mobiles et souvent se connaissent : le moteur électrique commence avec la roue de Barlow, mais à sa suite, que de contributions internationales pour imaginer des moteurs ou des applications diverses. Les Britanniques sont certes très actifs avec Charles Wheatstone (1802-1875) et Michael Faraday (1791-1867), mais Georg Ohm (1789-1854) puis Gustav Kirchhoff (1824-1887) contribuent également à des progrès décisifs ; on se souvient peu que Emil Lenz (1804-1865) était russe et que Moritz von Jacobi (1801-1874), le frère du mathématicien, enseigna en Prusse orientale comme à Saint Pétersbourg : il pilota en 1837, à contre-courant sur la Néva, un bateau avec deux moteurs de sa conception.

Les premières applications, souvent américaines après l'échec de Morse en Europe, concernent surtout la télégraphie électrique, mais d'autres idées d'applications surgissent, telle la galvanoplastie, mise au point simultanément par von Jacobi à Saint-Petersbourg et par Thomas Spencer en Angleterre dès 1837 ; Charles Christoffle (1805-1863) la développe industriellement dans le luxe, avec succès à partir de 1842.

#### La science tout entière est active

L'essor de l'électricité ne saurait faire oublier combien les diverses autres sciences physiques trouvent elles-aussi un fort développement au 19<sup>ème</sup>. Ainsi la machine à vapeur va bénéficier des progrès de la thermodynamique après le texte fondateur de Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) sur la *puissance motrice du feu* (1824).

Les chimistes font des progrès spectaculaires et la conception atomique, sous-jacente à l'hypothèse d'Avogadro-Ampère,

va accomplir, après les diverses lois sur les combinaisons, une étape décisive en 1869 avec la classification de Dimitri Mendeleïev (1834-1907)

L'optique ondulatoire a atteint après Augustin Fresnel (1788-1827), mais aussi avec Thomas Young (1773-1829), un niveau de compréhension exceptionnel et la théorie de la diffraction met en évidence le paradoxe du point noir de la tache de diffraction d'un trou.

### L'électromagnétisme achève son unité avec Gauss et Maxwell

L'électrodynamique a trouvé dans la première moitié du siècle son unité théorique et le début d'applications essentielles. L'étape suivante sera la synthèse de l'électromagnétisme, qui incorporera l'ensemble des phénomènes dépendant du temps. Deux noms de savants prestigieux et universels sont associés à cette unification : d'abord celui de Karl Friedrich Gauss (1777-1855), également surnommé « prince des mathématiques », ensuite celui de James Clerk Maxwell (1831-1879) qui complètera, à quatre équations, les deux premières lois établies par Gauss. Maxwell est bien connu pour d'autres contributions majeures à la physique <sup>1</sup> notamment en thermodynamique et comme co-fondateur avec Ludwig Boltzmann (1844-1906), de la mécanique statistique. Rappelons ici simplement sa citation de 1864 : « *L'accord des résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont deux phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant dans l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme* ». Voilà qui fonde et justifie l'avis d'Einstein sur les travaux de son prédécesseur, *les plus profonds et fructueux que la physique ait connus depuis le temps de Newton*.

Les équations de Maxwell prévoient la propagation des champs et l'existence

<sup>1</sup> Le récent "Retour sur James Clerk Maxwell" de Marc Leconte dans REE 2020-2 donne une idée complète de l'œuvre de celui qui est souvent considéré comme le plus grand physicien du 19<sup>ème</sup> siècle.

des ondes dont Heinrich Hertz (1857-1894) prouve expérimentalement la réalité : celles-ci vont, au tournant du siècle, permettre le développement de la radio, que cet article se bornera d'évoquer.

### En fin de siècle, la science est triomphante, malgré quelques nuages...

Grâce à la thermodynamique et à l'électromagnétisme, l'humanité a acquis et maîtrisé, en un siècle, de nouvelles sources d'énergie : la machine à vapeur a bouleversé l'économie et le commerce, l'électricité est synonyme de progrès, au moins dans les grandes villes. Le pétrole commence à être utilisé en grande quantité, et bientôt la radio va faire irruption...

La science a atteint une apothéose et les savants sont honorés, tant les applications sont spectaculaires : il subsiste toutefois quelques difficultés théoriques. La synthèse maxwellienne bute sur l'expérience de Michelson et peine à expliquer l'éther. La thermodynamique statistique se heurte au corps noir. Et beaucoup de physiciens s'interrogent sur la structure de la matière !

Mais déjà, en 1900, Max Planck (1858-1947) est membre depuis 1894 de l'Académie royale des sciences et lettres de Berlin ; Jean Perrin (1870-1942) a commencé sa thèse sur les rayons cathodiques et Albert Einstein (1879-1955) termine ses études à Zurich...

### Une nouvelle source d'énergie est née et se développe

#### La thermodynamique triomphe mais l'énergie électrique progresse !

Rappelons que l'inauguration des premières lignes de chemins de fer est contemporaine de la roue de Barlow et qu'Ampère ne faisait pas toutes ses tournées d'inspecteur en calèche ! Il faudra plusieurs décennies à l'électricité pour

mettre en jeu des puissances plus importantes que le cheval-vapeur.

Mentionnons ici quelques étapes significatives à partir du moteur de Jacobi de 220 W en 1837 : en 1840 Jean-Gustave Bourbouze (1825-1889) imagine un moteur électrique où les pistons d'une machine à vapeur sont remplacés par des électroaimants ; la bobine de Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877) est commercialisée en 1856 ; la machine de Zénobe Gramme (1829-1901) est présentée à l'Académie des sciences de Paris en 1871, et elle date le démarrage d'une production industrielle d'électricité ; l'*Edison Electric Light Co* est fondée en 1878 et la même année une centrale hydraulique de 7 kW est créée en Suisse.

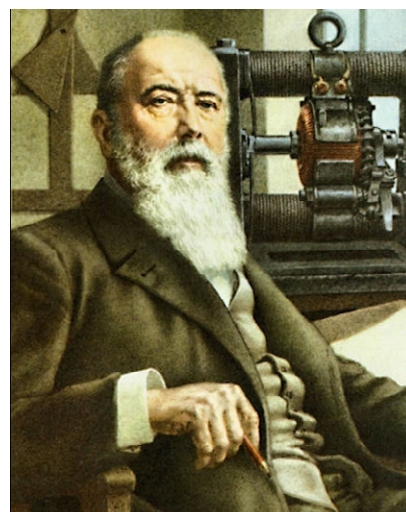


Figure 1 : Zénobe Gramme.

### Le courant électrique permet des actions distantes

Les progrès des piles permettent le développement rapide de la télégraphie, qui restera historiquement liée aux "courants faibles" : dès 1831, Gauss utilise à Göttingen ce qui est sans doute le premier télégraphe électrique pour échanger avec Wilhelm Eduard Weber (1804-1891), celui-là même qui va contribuer à unifier les unités électromagnétiques ; Weber a mis au point l'électrodynamomètre mesurant la force entre conducteurs, au fondement de la définition historique de l'ampère. La *Convention* ●●●

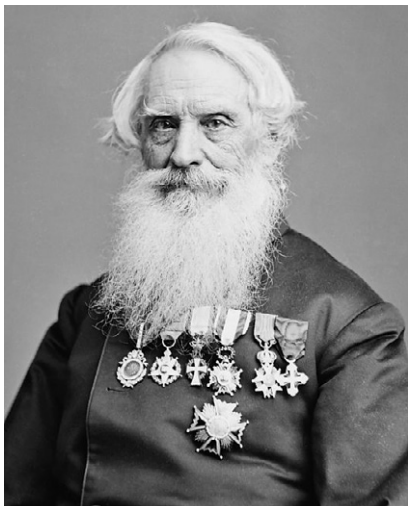


Figure 2 : Samuel Morse.



Figure 3 : Gaston Planté.

- *télégraphique internationale* adopte la signalisation Morse, qui va permettre des relations internationales.

L'accumulateur de Gustave Planté (1834-1889) date de 1859 et constitue une alternative à la pile en permettant de déporter le moment et l'usage de l'énergie électrique. Une vingtaine d'années plus tard le *transport* de courant, est dans les années 1880 l'objet d'une controverse historique entre Edison, tenant du courant continu et son assistant Tesla, qui rompant avec son maître, fera émerger le courant alternatif grâce aux progrès des transformateurs : en 1883 une liaison en continu sur 14 km permet une belle expérience d'éclairage à Grenoble, mais dès l'année suivante

une boucle de 80 km est réalisée autour de Turin, avec un courant alternatif de 133 Hz sous 2000 V.

### La production d'électricité permet des initiatives significatives

Les centrales hydroélectriques se développent à partir des années 1860 et Aristide Bergès (1833-1906), qui a équipé en 1869 la première chute de grande hauteur (> 200 m) développe le concept de *houille blanche*. Les premières centrales et compagnies hydrauliques (ou hydroélectriques) se développent dans les Alpes et aux Etats Unis.

La création de compagnies dédiées à la production, au transport ou à la distribution d'électricité va faire émerger, dans les villes essentiellement, des petites industries en même temps que l'éclairage urbain (l'éclairage au gaz va décroître de façon irréversible). L'électricité devient à la fin du siècle une marchandise, ce qui nécessite un effort international pour mieux définir les diverses unités électriques, longtemps nationales. Ainsi les Anglais entreprennent-ils sous l'impulsion de Maxwell et de William Thomson, le futur Lord Kelvin (1824-1907) la définition systématique des unités électriques à partir des unités mécaniques.

En 1881, à l'occasion du premier congrès international d'électricité à Paris, les unités actuelles, dont les noms honorent de grands savants, complètent le système CGS en vigueur, mais les controverses restent vives entre allemands et anglais notamment à propos de l'unité de résistance. Il faudra une dizaine d'années pour parvenir à un système véritablement international, dans lequel le poids des mécaniciens est très prégnant (qu'on songe à la longévité du cheval-vapeur ou du kg.m !). Mais la tendance à la mondialisation est la plus forte : elle se manifeste par le choix d'étalons internationaux reproductibles, associé à la création du Bureau international des poids et mesures (BIPM) ayant depuis 1885 son siège au Pavillon de Breteuil à Sèvres, comme on l'apprenait naguère...



Figure 4 : Nikola Tesla

Etonnant parcours que celui de cet inventeur fécond et industriel actif ; né en Croatie en 1856, du temps de l'empire austro-hongrois, il est décédé citoyen américain en 1943, pendant la seconde guerre mondiale ! Sa jeunesse est mouvementée, mais il finit par être employé à l'office central du télégraphe du gouvernement hongrois et assiste Puskas, disciple d'Edison, pour le développement du téléphone ; il se fait remarquer par diverses inventions (un ancêtre du haut-parleur, des amplificateurs et répéteurs).

Tesla est ensuite employé en France et en Allemagne dans des filiales d'Edison pour développer l'éclairage par incandescence. C'est de cette époque que datent ses intuitions concernant le courant alternatif : avec un générateur de Siemens, il parvient à faire tourner un moteur !

Emigré aux USA en 1884, il va faire, d'abord dans la mouvance d'Edison, une exceptionnelle carrière d'inventeur et d'industriel ; il a créé la Tesla Electric Light & Manufacturing, puis la Nikola Tesla Company.

### Des hommes nouveaux et des capitaux !

Les savants restent dans leurs laboratoires, mais les ingénieurs apparaissent et jouent un rôle croissant, ou plutôt les chefs d'entreprise car les ingénieurs avec l'acception moderne n'existent guère : les chefs d'entreprise, souvent à la fois propriétaires et directeurs, s'intéressent aux applications naissantes, les adaptent et les perfectionnent :

l'histoire détaillée des moteurs et sources d'électricité est riche d'innovations de détail avant que la production d'un produit commercialisé ne soit possible et massive.

Les investissements nécessaires sont souvent importants et le système bancaire s'est, grâce à l'essor des chemins de fer, largement modernisé et préparé à de nouvelles initiatives ; la conjonction d'un besoin social (produit manufacturé ou service) et d'un patron dynamique est parfois suffisante, mais la capacité d'innovation va jouer un rôle inédit et souvent constituer un avantage compétitif décisif.

Les banques vont faire confiance à ceux qui innovent, et en retour ceux-ci peuvent créer leurs propres entreprises, qu'ils vont à la fois diriger et innover de leurs inventions ; c'est ainsi que naît une nouvelle catégorie d'industriels exceptionnels, à la source d'entreprises brillantes, qui un siècle après seront encore des leaders dans leur domaine. Quatre encadrés illustrent au fil de cet article les prodigieuses carrières de Siemens, Bell, Edison et Tesla, capitaines d'industrie, qui vont marquer leurs pays, de naissance ou d'adoption, et dont les entreprises perdurent ; leurs destinées illustrent bien des évolutions du demi-siècle, en particulier l'attractivité des Etats-Unis (Edison et Tesla sont nés en Europe) et leur émergence au plan mondial dans les "technologies nouvelles" de la fin du 19<sup>ème</sup>. D'autres génies de la technique et de l'industrie pourraient également figurer, tels George Westinghouse (1846-1914) ou Guglielmo Marconi (1874-1937), qui va marquer l'histoire de la radio autour de 1900 et sera, parmi ces entrepreneurs exceptionnels, le seul lauréat, en 1909, du prix Nobel (avec Ferdinand Braun).

Deux autres points, d'ailleurs fortement liés, sont à souligner en lien avec ces industries naissantes et appelées à un succès durable :

- les innovations et progrès font l'objet de brevets, déposés par centaines dans leurs vies par les plus brillants de ces entrepreneurs : c'est une différence essentielle et durable (jusqu'à la période contempo-

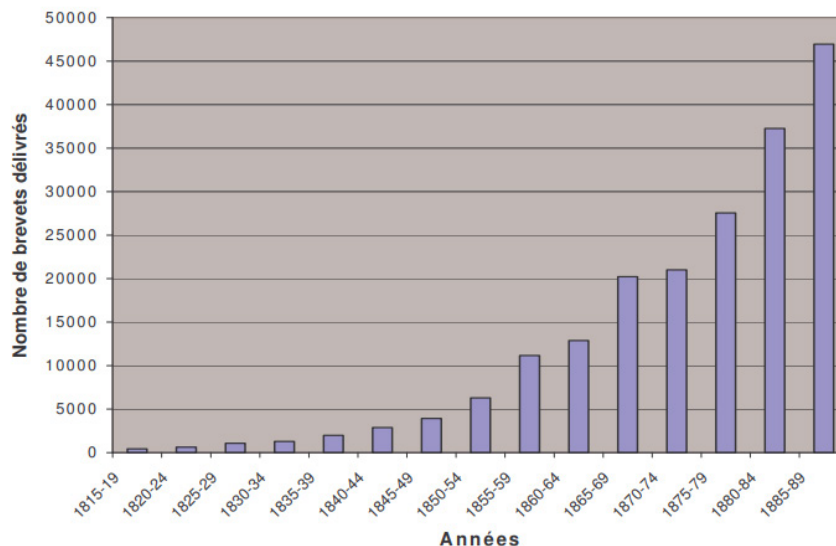


Figure 5 : Moyennes annuelles, par périodes quinquennales, du nombre total des brevets déposés en Europe et aux Etats Unis- Source : l'histoire des brevets par Serge Lapointe et al. – www.robic.ca

raïne) avec les savants, le plus souvent universitaires. La figure 5 illustre la spectaculaire croissance du nombre des brevets déposés.

- qui dit brevet, dit aussi propriété industrielle : cette capacité d'innovation devient facteur compétitif, qui s'internationalise. L'organisation de la propriété industrielle doit faire émerger des normes juridiques inédites pour réguler une concurrence de plus en plus vive.

Ces questions de propriété industrielle seront à la source de contentieux mémorables, tel celui opposant Westinghouse à Edison et Tesla ; le contentieux ultérieur entre Tesla et Marconi prendra fin avec une décision de la Cour Suprême des Etats-Unis du 21 juin 1943 qui invalidera un des brevets de ce dernier !

### Une nouvelle organisation de l'industrie

La localisation spatiale de l'industrie va se trouver bouleversée dans bien des domaines. L'essor des transports modifie, avec l'électricité, les places respectives des machines et des hommes et les nouvelles industries fortement consommatrices d'énergie vont se concentrer là où l'électricité est produite, car l'effet Joule dans le transport est un coût évitable : de la même façon, la métallurgie s'était locali-

sée à proximité de gisements de minerai de fer même modestes (pourvu qu'il y eût du bois à proximité), puis concentrée près de gisements importants de charbon ou de fer (si l'autre élément pouvait être livré facilement par rail, par canal ou par mer). Avec l'électricité, ce sont essentiellement les vallées alpines qui vont accueillir des industries nouvelles et permettre l'essor de l'électrochimie.

La production d'aluminium, avec les fours Héroult très consommateurs d'énergie, coïncide avec la création d'Ugine-Kuhlmann dans les Alpes, et le nom de la nouvelle société associe la localisation à la tradition chimique. Les applications de l'électrolyse se développent différemment suivant la densité de courant : la galvanoplastie a rapidement émergé car elle ne concerne que de faibles quantités de matière donc de courant ; en revanche l'électrochimie, qui fait une large place à l'électrolyse pour la production de masse de métaux mais aussi de produits chimiques tels la soude, la potasse, le chlore..., relève de l'industrie lourde et ajuste ses implantations comme la métallurgie auparavant.

### L'éclairage électrique, une révolution dans la vie urbaine et domestique

La vie rurale sera peu modifiée durant le 19<sup>ème</sup> siècle par l'énergie nouvelle ; au

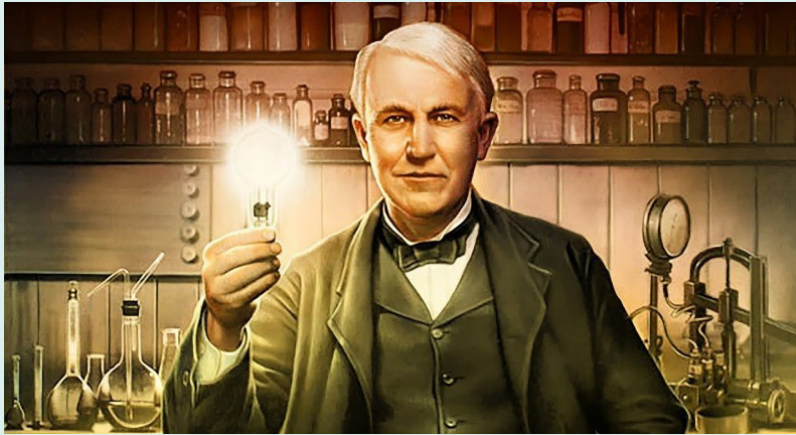


Figure 6 :

## Thomas Alva Edison

Thomas Alva Edison est né en 1847 et décédé en 1931. C'est une des personnalités les plus caractéristiques de l'histoire scientifique et technique des USA : pionnier de l'électricité, diffuseur et vulgarisateur, inventeur essentiel du cinéma et fondateur de la General Electric, qui fut, avant l'ère du numérique, l'une des premières puissances industrielles mondiales.

Fils d'un canadien d'origine néerlandaise, qui a dû fuir son pays et dont l'épouse, institutrice, venait d'Ecosse, Edison était le cadet d'une famille qui le stimula intellectuellement et politiquement. Au terme d'une enfance marquée par une curiosité expérimentale et livresque exceptionnelle, le jeune opérateur télégraphiste devient expert. A 27 ans, avec ses économies, il fonde sa première entreprise, sorte de bureau d'études qu'il alimente grâce à une créativité exceptionnelle (au total plus de 1 000 brevets déposés et acceptés !) et une énergie hors pair (il vit dans son laboratoire et ne dort que quatre heures).

Edison aura apporté des progrès décisifs dans la télégraphie (multiplexage, téléscripteur), la téléphonie (même si Bell l'a précédé pour le microphone), l'enregistrement et la restitution des sons avec le premier phonographe (à rouleaux) commercialisé, le cinéma (caméras et projecteurs) et l'éclairage, avec les lampes à incandescence. La seule ombre à ce tableau exceptionnel est sans doute la brouille avec un collaborateur de génie : Nicolas Tesla, qui misait sur le courant alternatif, le quitta pour Westinghouse !

La renommée d'Edison, est universelle ; il vient à l'exposition universelle de Paris en 1889, où son phonographe est exposé, rencontre Gustave Eiffel, est reçu à l'Académie des sciences... Son empire industriel a marqué un siècle de techniques innovantes et on a même donné son nom en 1954 à une ville de 100 000 habitants dans le New Jersey.

●●● contraire, dans les villes, des transformations significatives vont émerger à la fin du siècle. Elles concerneront évidemment la petite industrie, qui peut se contenter de sources modestes et/ou rechargeables pour alimenter des moteurs de faible puissance.

Dans la vie de la cité, l'éclairage public va prendre une importance accrue avec la mise au point de la lampe à arc puis de la lampe à incandescence. Dans la vie familiale et/ou domestique, seules la bourgeoisie et l'aristocratie vont, pendant long-

temps, bénéficier de l'éclairage comme des spectaculaires innovations, évoquées ci-dessous : l'électrification s'achèvera en France dans les années 1950.

### Révolution dans les transports urbains

La grande masse de la population urbaine sera surtout sensible aux progrès des transports et elle bénéficiera de transports publics dans les grandes agglomérations. A partir du milieu du siècle les transports ferroviaires à vapeur vont chercher la main

d'œuvre, de plus en plus loin. Les inconvénients constatés (la pollution dirait-on de nos jours !) vont stimuler l'utilisation de l'énergie électrique dans les transports, collectifs ou individuels.

La fin de siècle sera marquée par une extraordinaire concurrence, selon les sources d'énergie utilisées et le besoin, individuel ou collectif, à satisfaire. Dans le domaine du transport collectif, le charbon a environ un demi-siècle d'avance sur les deux énergies concurrentes, l'électricité et le pétrole qui se perfectionnent et arrivent à maturité presque en même temps. Dans tous les pays européens comme aux Etats Unis, les réseaux ferroviaires ont structuré un maillage encore visible aujourd'hui : la population francilienne s'est concentrée dans les vallées, qui accueillent des lignes désormais toutes électrifiées...

Mais Siemens met au point la première locomotive électrique en 1878 ce qui, avec les recherches sur le moteur auquel Diesel aura donné son nom, illustre le dynamisme de la Prusse. Avec ces deux énergies les transports urbains vont pouvoir se développer : ce sera le métropolitain dans les capitales, à Londres dès 1863 (avec une électrification ultérieure), et les tramways, sur rail évidemment, dans beaucoup de grandes villes (dès 1879 à Nantes avec des moteurs à air comprimé). Avec l'arrivée ultérieure des autobus, va se trouver fixée pour plus d'un siècle la "multimodalité" des transports urbains, symbolisée par la RATP, gestionnaire de trois réseaux complémentaires !

En ce qui concerne la voiture individuelle ou familiale, le charbon étant exclu, la concurrence entre le pétrole et l'électricité sera frontale et longtemps indécise. Le prix n'étant guère le facteur compétitif essentiel, puisque l'usage ne concerne que des populations aisées, l'électricité a ses atouts, malgré l'inconvénient essentiel du poids. Les villes favorisent le développement des taxis et pendant une vingtaine d'années, à New York comme à Paris, la concurrence sera à l'avantage du moteur électrique : sans les avancées du moteur à explosion, liées aux avantages



Figure 7 :

### Werner von Siemens

Né près de Hanovre en 1816, Werner Siemens (anobli au cours de sa brillante carrière) est décédé à Berlin en 1892. Il devait sa formation scientifique à la carrière d'officier d'artillerie assez brève, qui lui donnera l'occasion de mettre au point l'isolation des câbles immergés avec la gutta-percha, gomme issue du latex naturel, qui lui assurera réputation technique et aisance financière.

Sa société, fondée dès 1847 aura une large activité européenne ; elle travaille tant avec les anglais qu'avec les russes et sera à l'origine d'un empire industriel qui a survécu depuis 150 ans aux soubresauts de l'histoire. Il s'intéressera toujours à la télégraphie et investira dans le grand projet de liaison terrestre avec les Indes.

Les découvertes de Siemens sont variées : elles concernent la dynamo électrique et le haut parleur électrodynamique. L'exposition industrielle de Berlin en 1879 lui donne l'occasion de présenter un petit train tracté par la première locomotive électrique digne de ce nom. Avec ses contemporains Alfred Krupp et Friedrich Bayer, il symbolise l'époque des fondateurs de l'industrie allemande ; sa réputation scientifique se perpétue par l'unité de conductance électrique, à laquelle son nom a été donné.

du pétrole, l'automobile aurait pu être électrique dès l'origine ! Quand on songe qu'il faudra environ un siècle pour éliminer le charbon du transport ferroviaire en Europe...

Mais le progrès technique est stimulant et c'est une voiture électrique qui la pre-



Figure 8 : La « Jamais contente ».

mière atteint les 100 km/h : la *Jamais contente* entre dans la postérité malgré une esthétique peu séduisante !

### Une spectaculaire diversification de l'information

L'autre grand bouleversement sociétal de la seconde partie du 19<sup>ème</sup> siècle va concerner ce qui touche à l'information, qu'on va être capable de transmettre, mais aussi d'enregistrer puis de traiter sous des formes variées. Le télégraphe optique de Chappe a marqué, pendant la Révolution, un progrès essentiel dans l'histoire de l'humanité puisque pour la première fois on pouvait transmettre une information plus vite qu'un homme à la course, comme à Marathon, ou qu'un cheval au galop. L'idée du télégraphe électrique a rapidement germé après l'expérience d'Oersted et Ampère en a eu l'intuition ; comme mentionné plus haut, la première réalisation est universitaire, grâce à la collaboration de deux génies, Gauss et Weber.

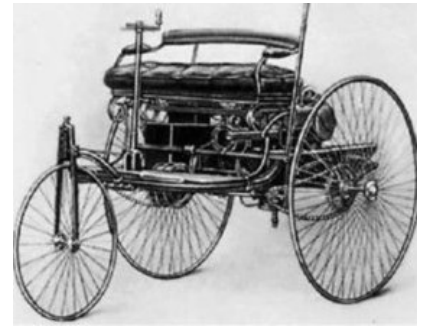


Figure 9 : La voiture de Gustave Trouvé.

### Le télégraphe électrique et l'essor des câbles sous-marins

Les progrès du télégraphe électrique furent rapides, pour des raisons tant politiques qu'économiques : ainsi, le télégraphe électrique double rapidement les liaisons Chappe et constitue un instrument efficace au service du pouvoir, renforçant dans notre pays les tendances jacobines et le rôle des préfets. *L'Ecole supérieure du télégraphe*, ancêtre de *Télécom Paris*, est créée en 1878.

Samuel Morse a été poliment éconduit quand il vint en Europe proposer son génial codage, adopté ensuite et resté en service jusqu'en l'an 2000. Sa carrière, américaine plutôt qu'européenne, a sans doute accéléré les progrès américains puis l'essor des grandes firmes du secteur de la télégraphie.

La maîtrise des câbles tant au point de vue de leur tenue mécanique que de leur isolation (grâce au gutta percha) ●●●



Figure 10 : Le Great Eastern qui posa le premier câble transatlantique sous-marin (Source Wikipedia).

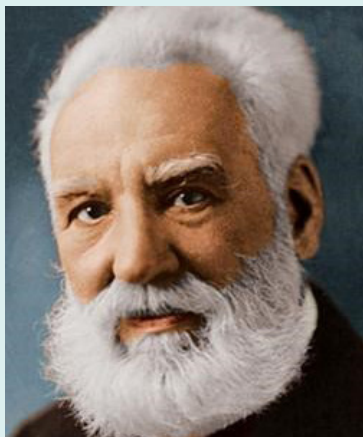


Figure 11 :

## Alexander Graham Bell

Né à Edimbourg en Ecosse en 1847, Alexander Graham Bell passa sa jeunesse dans un milieu cultivé mais ne fit pas d'études particulièrement brillantes. Très marqué par la surdité de sa mère et de sa femme, il était en effet professeur de diction (on dirait maintenant phonologue ou phoniatre), comme son grand père, son père et un oncle, et tout cela a sans doute stimulé ses recherches sur l'audition et la parole.

Son implication dans les appareils auditifs l'amena à déposer en 1876 le premier brevet concernant le téléphone ; il convient de marquer la simultanéité des travaux d'Elisha Gray, qui déposa son propre brevet deux heures avant Bell mais sans accéder à la même gloire, et citer l'italien Antonio Meucci, inventeur dès 1850 d'un *teletrophone*, ancêtre du téléphone.

La carrière de Bell fut extrêmement diversifiée ; il fit des travaux exploratoires en télécommunications optiques et travailla sur des automates susceptibles de reproduire la voix. Mentionnons aussi l'invention de l'hydroptère en aéronautique. Fondateur de la Bell Telephone Company, il fut l'un des fondateurs de l'American Institute of Electrical Engineers (AIEE, ancêtre de l'IEEE) et il présida la National Geographic Society. Son nom a été donné à l'unité acoustique et les Bell Lab's sont l'institution de recherche privée qui a accueilli le plus de futurs Prix Nobel.



Figure 12 : Déluge de lumière à l'entrée du pavillon de l'électricité.

par la reine Victoria au président des Etats-Unis.

L'intérêt des câbles et du télégraphe électrique marqua la nécessité de la coopération internationale, pour des raisons tant politiques que techniques ou commerciales : quelle route, maritime ou terrestre, choisir pour connecter l'Angleterre à son Royaume des Indes ? Les quelques compagnies du câble se menèrent une guerre commerciale impitoyable, marquée également par le rôle de l'espionnage ou les imprévisibles ruptures consécutives au volcanisme sous-marin...

### Le son et l'image !

Les génies techniques américains vont marquer de leur empreinte quelques domaines inconnus jusqu'alors inimaginables : l'enregistrement et la transmission du son. L'ingénieur allemand Emil Berliner (1851-1929), émigré aux Etats Unis, invente en 1877 le microphone, transformant les vibrations sonores en signal électrique, qui va faire du téléphone de Bell une innovation majeure. Berliner innovera encore de façon importante sur l'enregistrement du son et on lui doit la mise au point des disques, qui vont diffuser la musique avec succès.

La photographie va susciter des développements variés : la possibilité de projeter, grâce aux nouvelles lampes, à arc ou à filament, va donner naissance au cinéma, marqué par les innovations d'Edison (encore lui !) ; la volonté de transformer l'image en signal électrique (comme cela se fait avec le son) va stimuler des recherches actives, par exemple celles d'Arthur Korn (1870-1945). Mais la difficulté est redoutable et le bélinogramme, issu des travaux d'Edouard Belin (1876-1963), ne verra le jour que vers 1910 pour les images fixes et pour les images animées (la télévision !) il faudra attendre encore un quart de siècle.

La volonté d'associer dans un même dispositif plusieurs innovations (par exemple sonoriser le cinéma, ou encore utiliser les câbles pour le téléphone) va pendant des décennies stimuler innovation et concurrence !

### Le temps des grandes expositions internationales

*L'industrie de toutes les nations* est le thème, à Londres en 1851, de la première d'une série d'expositions internationales qui vont populariser le progrès technique auprès de millions de visiteurs. Le téléphone sera présenté à Philadelphie en 1876 (10 millions de visiteurs)

- permet d'imaginer rapidement des liaisons sous-marines intercontinentales : il fallut toutefois plusieurs tentatives avant la spectaculaire réussite et le premier message du 5 août 1858 adressé

et sera l'un des clous de celle de Paris en 1876 (16 millions de visiteurs) dédiée aux *Technologies nouvelles*. L'apothéose sera atteinte à Paris en 1900, année de l'inauguration du métropolitain et de l'exposition universelle sur *Le bilan d'un siècle*, où plus de 50 millions d'entrées découvrent le cinéma, dans une débâche de lumière.

Simultanément eurent lieu à cette époque les expositions internationales de l'électricité : la première à Paris en 1881, couplée avec le congrès des électriciens déjà mentionné, fut la plus brillante avec notamment la dynamo de Zénobe Gramme, les ampoules électriques de Thomas Edison, le tramway électrique de Werner von Siemens, le téléphone d' Alexandre Graham Bell, un réseau de distribution d'électricité par Marcel Deprez (1843-1918), une voiture électrique par Gustave Trouvé (1839-1902). C'est l'apothéose de la science et de la technique, caractéristique de la fin du siècle ; un développement exceptionnel a succédé pendant un quart de siècle aux traumatismes du début des années 1870. Les grandes sociétés savantes, an-

cêtres de la SEE et de l'IEEE, se créent à cette époque à côté des grandes sociétés disciplinaires et l'Ecole supérieure d'électricité (ESE ou Sup'Elec) date de 1894.

## Conclusion

L'émergence de l'électricité à la fin du siècle illustre un optimisme et une foi dans le progrès ; les savants et ingénieurs sont honorés et respectés comme jamais dans l'histoire. Et l'année 1900, avec l'Exposition et le métro parisiens, est la marque d'une *Belle Epoque*. Mais cette période, marquée dans l'imaginaire collectif par la légèreté, voire la frivolité, est proche de ruptures ou de crises à venir, en physique certes, mais aussi sur le plan politique.

La Belle Epoque aura vu de façon indiscutable le surgissement simultané de l'électricité et de nouvelles formes d'art, que Raoul Dufy saura associer, pour l'exposition de 1937 à Paris : sa fresque exceptionnelle, qui honore bien des personnages cités dans ces articles, magnifie la *Fée Electricité* ! ■

## L'auteur



**Bernard Ayraud**, ancien élève de l'Ecole polytechnique et docteur ès sciences, a fait toute sa carrière dans le secteur public des Télécommunications, au CNET comme chercheur, à Télécom Paris comme enseignant-chercheur puis comme directeur des études et à la Direction générale de France Télécom. Il a terminé sa carrière comme Directeur de Télécom Bretagne, devenue IMT Atlantique par fusion avec Mines de Nantes. Passionné d'histoire des sciences et de culture scientifique, il est membre émérite de la SEE et fait partie depuis une quinzaine d'années du comité de rédaction de la REE.

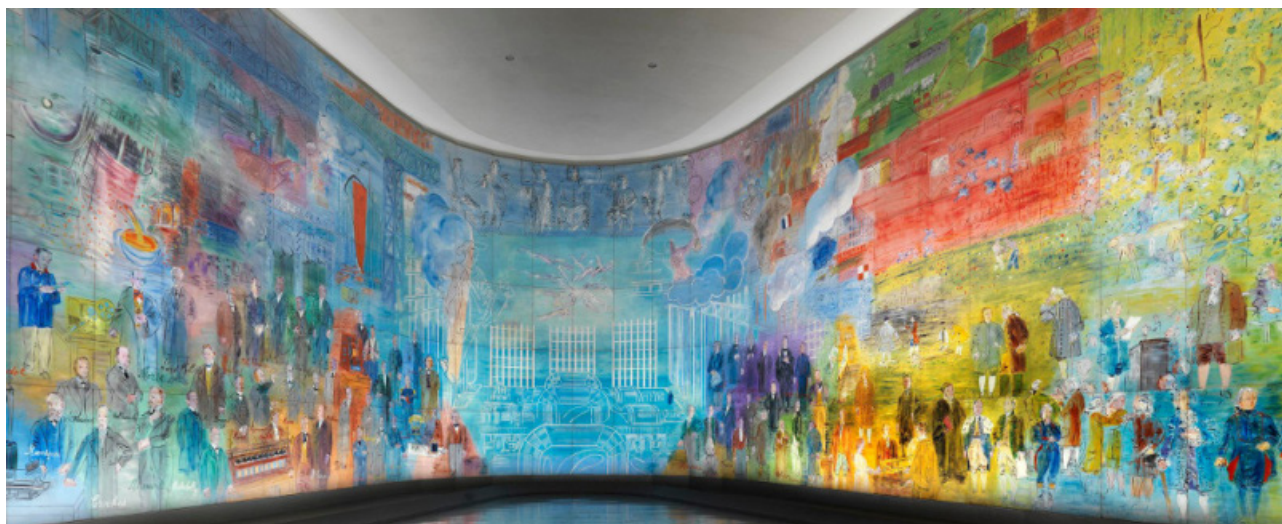


Figure 13 : Le tableau « la Fée Electricité » de Raoul Dufy à l'Exposition universelle de Paris (1937) - © Musée des Arts modernes.

## Références

Parmi les diverses et nombreuses sources consultées, signalons d'une part le site du CNRS <http://www.ampere.cnrs.fr/histoire/>, mis au point et entretenu par Christine Blondel & Bertrand Wolff, d'autre part les contributions de la REE, souvent dues à Marc Leconte, dont les "Retours sur..." détaillent des points historiquement importants. Le bicentenaire des travaux d'André Marie Ampère était aussi une occasion d'évoquer ceux qui ont après lui été les artisans de l'essor de l'électricité.