

Mais qui est Nikola Tesla ?

À l'automne 2021, le département d'enseignement EEA (Électronique, Électrotechnique, Automatique) de l'ENS Paris-Saclay [1] et le laboratoire SATIE (Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Énergie) [2] ont fusionné en un Département d'Enseignement et de Recherche (DER) qui a pris le nom de Nikola Tesla.

Mais qui est Nikola Tesla ?

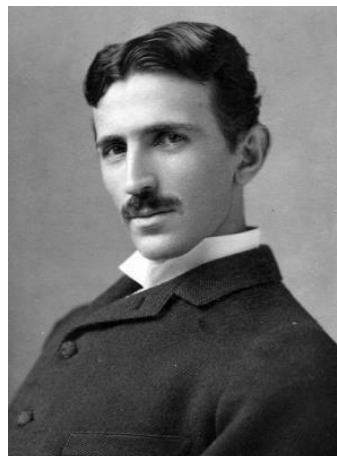


Figure 1 : Nikola Tesla à 23 ans et à 34 ans, sources [3]

Cette ressource propose de parcourir la vie de Nikola Tesla, en particulier sa vie de chercheur et de revenir sur quelques-unes de ses nombreuses inventions.

1 – La vie de Nikola Tesla (1856-1943)

1.1 - Enfance et études (1856-1878)

Nikola Tesla est né le 10 juillet 1856 à Smijan dans l'Empire d'Autriche¹ ; de nos jours cette région correspond à la Croatie. Nikola est le quatrième enfant sur cinq de Milutin Tesla, prêtre orthodoxe serbe et de Duka Mandic, fille de prêtre orthodoxe serbe et cependant analphabète.



Figure 2 : Maison natale de Nikola Tesla et église où officiait son père

¹ L'empire autrichien est l'ensemble des territoires sous domination autrichienne à partir de 1804 et jusqu'en 1867, suite à la défaite autrichienne lors de la guerre austro-prussienne, l'empire se transforme en double monarchie appelée l'Autriche-Hongrie.

Très jeune, Nikola Tesla montre de grandes capacités intellectuelles ainsi qu'une mémoire visuelle importante. Il semble que le décès accidentel de son frère aîné alors qu'il n'avait que sept ans, a généré des troubles. Outre un sentiment de dévaluation par rapport à ce frère disparu auprès de leur parent, Nikola Tesla relate l'apparition d'images et de puissants flashes de lumière qui perturbent le discernement de la réalité. Pour chasser ces images qu'il qualifie de traumatisantes, Nikola Tesla se concentre sur des images familières plus sereines puis sur des images inventées, développant ainsi son imagination. C'est ainsi qu'il élabore ensuite toute sa vie ses inventions : la conception, les améliorations, les essais sont dans son imagination avant même de faire la moindre mise en pratique [4].

Très jeune, Nikola Tesla invente avec les moyens donnés à un jeune garçon au XIX^e siècle à la campagne. La première invention dont il se souvient est un hameçon pour la pêche, un « fusil » à piston avec des bouchons de chanvre, des arbalètes mais aussi un moulin actionné par des hannetons ... [4].

Ses études primaires commencés à l'école de Smijan se poursuivent à l'école de Gospić où la famille a déménagé en 1862, il y fera aussi ses études de collège. En 1870, il poursuit ses études au lycée de Karlovac, faisant en trois années un cursus de quatre ans (voir la carte figure 3).

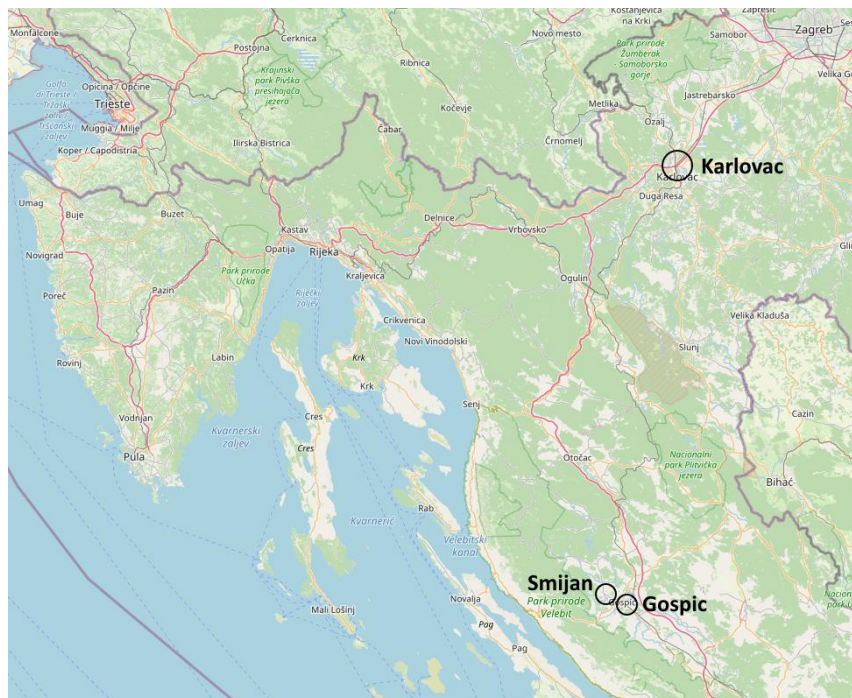


Figure 3 : Localisation des villes de Smijan, Gospić et Karlovac, source OpenStreetMap

Passionné par l'électricité découverte grâce à son professeur de physique au lycée qui démontrait les principes avec des dispositifs de son cru, Nikola Tesla veut devenir ingénieur. Destiné à une carrière dans le clergé, il ne doit l'autorisation paternelle à poursuivre des études d'ingénieur qu'au choléra. Alors très malade son père l'assure qu'il ira dans le meilleur institut technologique [4].

En 1875, Nikola Tesla, qui a alors 19 ans, est inscrit à l'université technique de Graz en Autriche comme boursier. Après une première année assidue et brillante, il ne suit plus les enseignements au cours du premier semestre de la troisième année et perd ainsi le bénéfice d'être boursier. En deuxième année, il étudie, entre autres, la dynamo de Gramme², conçue au départ comme générateur de courant continu, qui peut également fonctionner en moteur lorsqu'elle est alimentée

² Du nom de Zénobe Gramme (1826-1901), inventeur et électricien belge

par un courant continu. Lors de la démonstration par un professeur de la machine fonctionnant en moteur, les balais générèrent des étincelles. Nikola Tesla imagine alors la possibilité de fonctionner sans les balais, rapidement contredite par l'enseignant. Convaincu d'avoir raison, Nikola Tesla imagina une machine à courant continu puis une autre à courant alternatif et travailla seul sans aboutir dans un premier temps [4].

1.2 - Vie en Europe (1878-1884)

À la fin de l'année 1878, il devient assistant ingénieur dans la ville de Maribor (actuellement en Serbie). Après le décès de son père en avril 1879, il revient habiter à Gospic où il enseigne dans son ancienne école.

En 1881, il est à Budapest attiré par la construction du réseau téléphonique de la ville. En parallèle d'activités professionnelles, fonctionnaire au Bureau Central des Télégraphes Hongrois puis ingénieur en chef pour le premier système téléphonique de Hongrie, il développe des inventions liées au domaine électrique qui le fascine depuis l'enfance. En particulier, il se penche sur le principe d'un champ électromagnétique rotatif, et crée un premier moteur à induction, amorce de son travail sur le courant alternatif. Il souffrit d'une très lourde dépression qui se traduisait physiquement par des hypersensibilités sensorielles visuelle et auditive. C'est à la sortie de cette maladie qu'il trouva la solution du moteur qu'il présentera six ans plus tard au États-Unis [4].

C'est en 1882 que Nikola Tesla est engagé par les frères Puskás³ pour le développement du réseau téléphonique de Budapest. Il inventera alors de nouveaux répéteurs et amplificateurs pour téléphone. Cette même année, Nikola Tesla est invité à rejoindre les Puskás à Paris pour travailler à la *Edison General Electric Compagny* dans le développement d'un système d'éclairage public à incandescence. Nikola Tesla continue ses travaux personnels, et en 1883, il construit le premier moteur à courant alternatif et travaille également sur les champs magnétiques rotatifs et leurs applications, il déposera des brevets sur ces sujets en 1886 et 1888.

Nikola Tesla, employé par l'entreprise d'Edison⁴ en France et en Allemagne, est distingué en particulier par Charles Bartchelor⁵, directeur de la *Continental Edison*. Au début de l'année 1883, Nikola Tesla est envoyé à Strasbourg, alors allemande, pour régler des problèmes d'installation électrique de la gare (le jour de l'inauguration en présence de l'empereur, des câbles défectueux ont généré un court-circuit provoquant une explosion qui arracha un mur !). En 1884, tous les problèmes étaient réglés, des améliorations étaient apportées en particulier aux dynamos, ce qui devait permettre à Nikola Tesla d'obtenir une somme importante promise par les trois directeurs. Cette somme n'a jamais été versée alors qu'il comptait sur ces capitaux pour développer son moteur [4]. Lorsque Charles Bartchelor, rappelé aux États-Unis au printemps 1884, demande à Nikola Tesla de le suivre, il accepte, ses travaux personnels ne suscitant que peu d'intérêt en Europe.

1.3 - Vie aux États-Unis et apogée (1884-1895)

À son arrivée aux États-Unis, il travaille comme ingénieur de terrain chez *Edison Machine Works*. Sa rencontre avec Thomas Edison est qualifiée par Nikola Tesla « *d'un des événements les plus mémorables de ma vie* » [4]. Il travailla avec acharnement sans aucun jour de congés, en particulier

³ Tivadar Puskás (1844-1893), ingénieur et inventeur hongrois, constructeur avec son frère Ferenc des centraux téléphoniques sur le territoire de l'empire Austro-hongrois, détenteur d'une licence d'Edison

⁴ Thomas Edison (1847-1931), inventeur, scientifique et industriel américain

⁵ Charles Bartchelor (1845-1910), inventeur et proche associé de l'inventeur Thomas Edison

à la conception de 24 types de machines standards avec noyaux courts qui devaient remplacer les anciennes. Ce travail devait lui rapporter 50 000 dollars sur une promesse du manager qui s'avérera fausse alors que, cette fois encore, il comptait sur ces capitaux pour développer ses travaux.

Nikola Tesla démissionne dès 1885 et l'année d'après, crée son entreprise la *Tesla Electric Light & Manufacturing* financée par des investisseurs, pour développer des lampes à arc. En 1886, les systèmes de lampes à arc allaient être adoptés pour l'éclairage des villes et usines [4]. Il dépose ses premiers brevets aux États-Unis sur son moteur, mais rapidement en désaccord avec les investisseurs sur l'orientation de l'entreprise, il en perd le contrôle, ainsi que celui de ses brevets et vit de petits métiers loin de ses compétences durant une année.

Une nouvelle entreprise, la *Tesla Electric Company*, est créée en 1887, avec deux autres investisseurs Alfred S. Brown et Charles Fletcher Peck qui ont une expérience de création d'entreprises, de promotion des inventions et de dépôts de brevet [5]. Nikola Tesla a alors un laboratoire complètement équipé et peut construire enfin les moteurs tels qu'il les imagine depuis tant d'années.

En 1888, un accord est passé avec la société de George Westinghouse pour la conception des moteurs et transformateurs de Tesla. Georges Westinghouse achète les brevets de Nikola Tesla qui est également engagé pour être consultant dans les laboratoires de Pittsburgh de la *Westinghouse Electric* durant une année, il travaille en particulier sur le développement d'un système de production de courant alternatif en concurrence avec le courant continu de Thomas Edison. Cette année-là, Nikola Tesla présentera son système à courant alternatif, aujourd'hui universellement utilisé. C'est ainsi que la *Westinghouse Electric* aura l'opportunité d'installer, en 1893, l'infrastructure électrique des chutes du Niagara avant de se développer plus largement aux États-Unis, mettant ainsi au premier plan le courant alternatif défendu par Nikola Tesla [6].

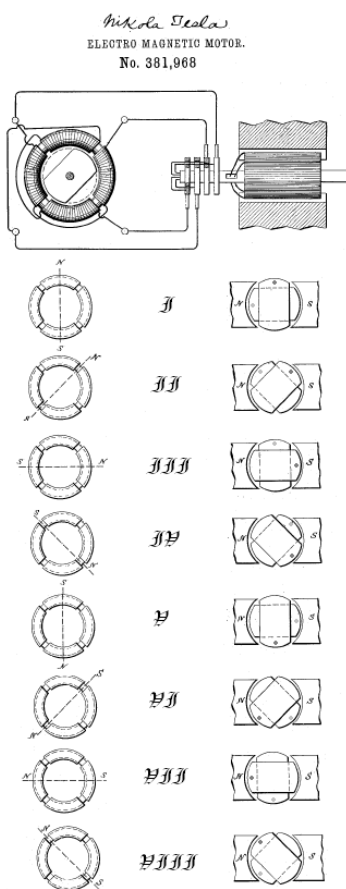


Figure 4 : Dessin tiré du brevet américain 381 968, illustrant le principe du moteur à courant alternatif de Nikola Tesla, source [7]

L'Exposition universelle de Paris de 1889, permet à Nikola Tesla de connaître les expériences de Heinrich Hertz⁶ qui prouvent l'existence de rayonnements électromagnétiques [5]. En développant ces expériences, en 1891, Nikola Tesla invente la bobine Tesla, transformateur de courant alternatif à haute fréquence permettant d'augmenter fortement la tension. Cette bobine est présente dans les systèmes électriques nécessitant une haute tension comme les tubes à rayons X ou les anciens téléviseurs à tube cathodique.

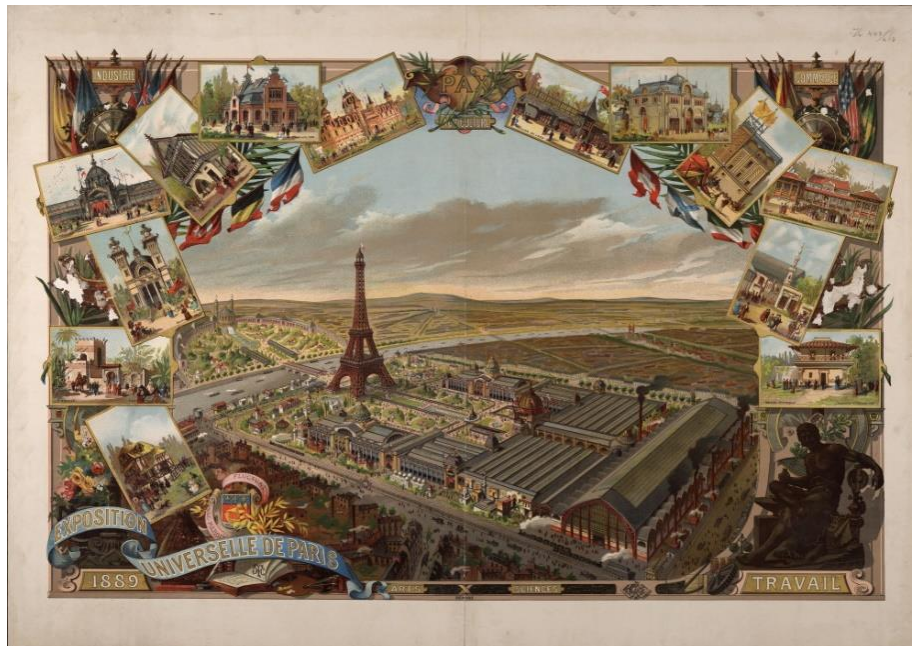


Figure 5 : Affiche de l'Exposition universelle de Paris de 1889, centenaire de la révolution française célébré par la construction de la tour Eiffel, source [8]

Nikola Tesla travaille alors sur la haute fréquence, spécifiquement sur la conversion d'électricité en lumière. Plusieurs articles sont publiés dans des journaux spécialisés, des brevets sont déposés et Nikola Tesla donne des séries de conférences. En 1892, il se rend à Londres pour une conférence à l'*Institut des ingénieurs en électrotechnique* puis à Paris [4].

Entre temps en juillet 1891, Nikola Tesla alors âgé de 35 ans, est naturalisé citoyen des États-Unis. De 1892 à 1894, il est vice-président de l'*American Institute of Electrical Engineers* (précurseur de l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*⁷).

En 1893, l'Exposition universelle se déroule à Chicago, la *Westinghouse Electric* y présente différents modèles de moteur à induction de Nikola Tesla. Une pièce obscurcie lui permet de réaliser les démonstrations, présentées en Europe et aux États-Unis, de son système d'éclairage sans fil : un courant alternatif haute tension permet d'allumer des lampes à décharge sans fil [8].

Vers 1895, la *Tesla Electric Company* se trouve en difficulté financière, les brevets d'éclairage sans fil n'aboutissent pas et peu d'investisseurs se proposent. Le 13 mars, un incendie prend au petit matin dans le sous-sol du bâtiment où se trouve le laboratoire de Nikola Tesla. Le bâtiment s'effondre engloutissant le matériel de recherche, les modèles de démonstration et l'intégralité des notes de travail [5].

⁶ Heinrich Hertz (1857-1894), ingénieur et physicien allemand, découvreur des ondes hertziennes qui portent son nom

⁷ IEEE : Association professionnelle à but non lucratif, dont l'objectif est la promotion du domaine de l'ingénierie électronique



Figure 6 : Nikola Tesla une ampoule sans fil, alimentée en haute tension, à la main (la photo est datée de 1898 ou 1900), source [9]

1.4 - Transmission d'énergie sans fil (1896-1915)

Nikola Tesla retrouve un laboratoire à New York dans le quartier de Manhattan, son travail se concentrent sur les rayons X et la radiocommande. Comme Wilhelm Röntgen⁸, il mène des expériences sur les tubes de Crookes⁹ et conçoit plusieurs dispositifs expérimentaux pour produire des rayons X tout en remarquant la dangerosité de travailler avec des appareils produisant des rayons X. Il est probable que ses recherches avaient pour but de faire avancer son travail sur la transmission d'énergie sans fil. Se rendant compte que ce ne serait d'aucun aide, Nikola Tesla a abandonné ses recherches sur les rayons X [5].



Figure 7 : Radiographie par rayons X de la main de Nikola Tesla en 1896, source [10]

Ses recherches tournées vers la transmission d'énergie électrique sans fil vont absorber une grande partie de son temps mais également de ses finances. En 1899, Nikola Tesla, pour ses études sur la nature conductrice de l'air à basse pression, installe une station expérimentale à Colorado Springs, dans les Montagnes rocheuses à plus de 1800 m d'altitude. Il mène des expériences avec une grande bobine fonctionnant dans la gamme des mégavolts qui produit des éclairs artificiels (et du tonnerre) [5]. Dans *Ma vie et ma recherche* [4], Nikola Tesla se remémore une expérience d'orage en

⁸ Wilhem Conrad Röntgen (1845-1923), physicien allemand, découvreur des rayons X récompensé par le prix Nobel de physique en 1901

⁹ Tube de Crookes, du nom de William Crookes (1832-1919) chimiste et physicien britannique : tube à décharge électrique expérimental qui a permis la découverte des électrons.

montagne, et la concomitance de l'éclair avec l'arrivée d'une pluie dense. L'idée serait de produire des effets électriques maîtrisés afin d'irriguer où et quand ce serait nécessaire, mettant ainsi l'énergie tellurique au service de l'humanité ; cette théorie n'a pas tenu les preuves de l'expérience. En juin 1900, un article de Nikola Tesla « *The problem of increasing Human Energy* » (Le problème de l'intensification de l'énergie humaine) paraît dans le *Century Magazine*¹⁰ qui a envoyé un photographe au laboratoire du Colorado pour immortaliser son travail. Cette image (figure 9) est devenue est une des images les plus marquantes des expériences de Nikola Tesla à Colorado Springs. L'article avait pour but d'expliquer la conception et le fonctionnement du *Transmetteur Amplificateur* créé par Nikola Tesla. Cette invention faisait partie du « *Système mondial* » de transmission radio que Nikola Tesla entreprit de commercialiser en 1900, comme également le *Transformateur Tesla*, le *Système sans fil Tesla* ou encore la *Technique de l'Individualisation* [4]. On trouvera dans *Ma vie et ma recherche* [4], un extrait d'explication technique qui précise que ce système permet une « *transmission instantanée et précise sans fil vers toutes les régions du globe, mais aussi l'interconnexion de tous les systèmes téléphoniques et télégraphiques, ainsi que les autres stations de données* ».

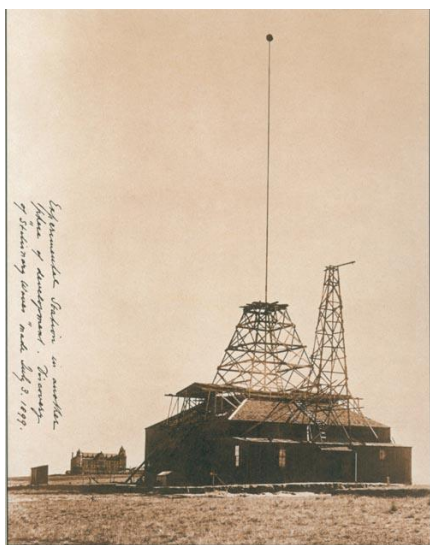


Figure 8 : Le laboratoire de Nikola Tesla à Colorado Springs (Colorado), source [11]

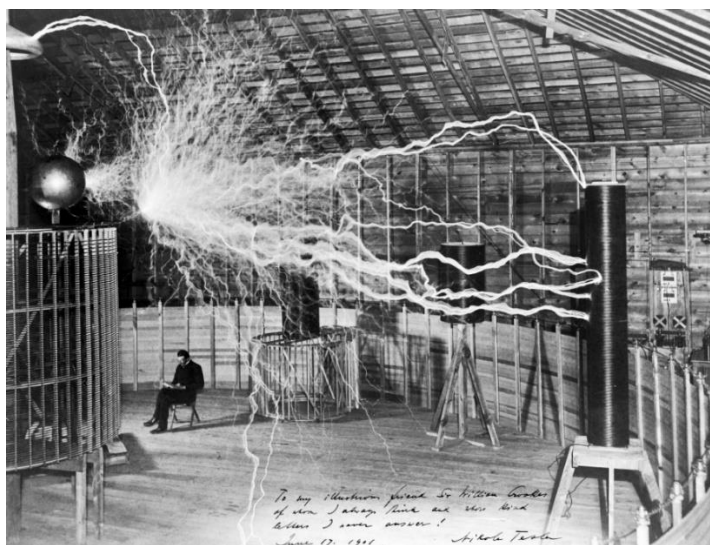


Figure 9 : Nikola Tesla en 1899, dans le cadre circulaire de 15 m de diamètre de la station expérimentale de Colorado Springs, source [12] [4]

À nouveau à la recherche de financements, il négocie avec John Pierpont Morgan¹¹ 51% des brevets contre une importante somme d'argent lui permettant d'édifier la *tour Wardencllyffe* sur Long Island prévue pour la téléphonie, la diffusion sans fil transatlantique et la démonstration de la transmission d'énergie sans fil. La construction commence en 1901 et en 1903 la coupole de 21 m de diamètre s'appuie sur la tour de 57 m de haut (figure 10). Initialement la tour devait mesurer presque 200 m de haut avec un tore à son sommet, le tout reposant sur une partie souterraine, entre autres un puits de 4 m de diamètre et de 30 m de profondeur. Afin d'en diminuer le coût, la tour sera plus petite et son sommet devient une coupole, cependant sa couverture de plaques de cuivre ne sera jamais posée, J. P. Morgan cessant les investissements. Remarquons qu'en 1905, les brevets de Nikola Tesla, concernant par exemple les moteurs à courant alternatif, expirent, les redevances sont donc moindres. À partir de 1904, peu à peu les activités du site de Long Island vont se raréfier, Nikola Tesla n'a plus de financement pour ses expériences, ni même pour payer son logement. En 1911, les installations abandonnées se détériorent, Nikola Tesla ne peut rembourser les investissements faits [13]. Ce site sera démonté en 1917.

¹⁰ Publication périodique américaine de 1881 à 1930

¹¹ John Pierpont Morgan (1837-1913), financier et banquier américain



Figure 10 : La tour de Wardenclyffe et le laboratoire associé en 1904, source [14]

Après Wardenclyffe, Nikola Tesla sera toujours en quête d'investissements, il développe et commercialise des brevets qui finiront par expirer sans être exploités.

En 1906, Nikola Tesla a alors 50 ans, il invente la turbine de Tesla, turbine sans pales de 150 kW à 16 000 tr/min qui utilise l'effet de couche limite. Cette turbine sera brevetée en 1913, sans que depuis une utilisation industrielle en soit faite [27].

En 1915, Nikola Tesla entame une action en justice envers la société Marconi pour violation de ses brevets de transmission sans fil, le brevet radio de Guglielmo Marconi¹² accordé aux États-Unis en 1904 reprendrait des inventions brevetées de Nikola Tesla, dont deux brevets de 1897 sur le réglage de l'énergie sans fil. Cette action n'aboutit pas mais elle trouvera un rebondissement en 1943 (voir paragraphe 1.5).

1.5 - Une vie solitaire (1915-1943)

La tour de Wardenclyffe détruite et ses actions en justice contre Marconi déboutée, Nikola Tesla vit enfermé dans sa chambre d'hôtel à Manhattan. Il perçoit de la *Westinghouse Electric & Manufacturing Compagny* un salaire lui permettant de continuer ses recherches. Il déposera son dernier brevet en 1928, il a alors 72 ans, pour un biplan à décollage et atterrissage verticaux [5].

En 1919, âgé de 63 ans, un magazine new-yorkais l'*Electrical Experimenter*, surtout destiné au jeune public, publie un ensemble d'articles « *Mes inventions* ». Ces publications se retrouvent dans sa biographie *Ma vie et ma recherche* [4]. L'éditeur du magazine, Hugo Gernsback également éditeur et auteur de science-fiction, l'avait supplié durant des années pour la rédaction de ces articles qui ont eu un certain retentissement, et durant la quinzaine d'années qui lui restait à vivre, Nikola Tesla fut populaire, même si sa réputation de savant génial et visionnaire penche également vers le savant fou.

Nikola Tesla est mort le 7 janvier 1943 à New York, il avait 86 ans. Des funérailles nationales sont organisées le 17 janvier. L'administration américaine récupère tous les documents, brevets et travaux de Nikola Tesla et sa famille engage une procédure judiciaire qui s'avérera longue afin de récupérer aussi bien ses documents de travail que ses effets personnels. Près de 10 ans après, en 1952 les manuscrits originaux, mais aussi les milliers de lettres, de photographies et la plupart de ses inventions sont envoyés à Belgrade en Serbie. Cinq ans plus tard, en 1957, l'urne funéraire de

¹² Guglielmo Marconi (1874-1937), physicien et inventeur italien

Nikola Tesla est également rétrocédée, elle se trouve avec ses documents au musée Nikola-Tesla de Belgrade [5].

Alors que la *Marconi Company* poursuit le gouvernement américain qui durant la Première Guerre mondiale s'était emparé de toute la technologie radio de la *Marconi Company* sans lui verser un dollar, la cour suprême des États-Unis rejette toute violation de brevets puisque la revendication de *Marconi* est elle-même entachée d'une violation de brevets [4,5]. Au cours de l'année 1943, donc après le décès de Nikola Tesla, la cour suprême annula le brevet US 763772 du 28 juin 1904 sur la radio de Guglielmo Marconi, argumentant l'antériorité de travaux de Nikola Tesla, Olivier Lodge¹³ et John Stone¹⁴, en particulier le brevet US 645.576 de Nikola Tesla déposé en 1897 et homologué en mars 1900. Il est probable que le gouvernement américain a instrumentalisé les brevets de Tesla pour ne pas payer les redevances à Marconi dans l'exploitation de son système pendant la première guerre mondiale.

2 – Recherches et inventions

Nikola Tesla a déposé environ 300 brevets au cours de sa vie. Une grande partie du mode de vie actuel émane de ses recherches et inventions de façon indirecte. Nikola Tesla a été le premier à démontrer la faisabilité d'un système industriel à grande échelle. En ça il a ouvert la voie à d'autres, et à l'évolution des technologies au cours du XX^e siècle et jusqu'à nos jours. Dans cette partie, nous ne pouvons revenir sur les centaines de brevets déposés, aussi ne présenterons-nous que quelques points importants.

2.1 - Le moteur synchrone et asynchrone

Les génératrices synchrones étaient déjà connues et produites en France dès 1860 par la compagnie *l'Alliance* pour l'alimentation des lampes à arc des phares. Les transformateurs - à l'époque on disait générateurs secondaires - permettant d'adapter à volonté la tension alternative avaient été développés par Gaulard et Gibbs¹⁵ en 1881, mais le système alternatif souffrait de ne pas avoir de moteur. Un premier pas été franchi par Galileo Ferraris¹⁶ en démontant en 1885 le concept de champ tournant produit par deux bobines disposées à 90° et alimentées par un système de tensions déphasées de 90°. À partir de là, le principe du moteur synchrone est évident, il suffit de placer un aimant ou un électroaimant dans le champ tournant, cependant le gros problème est qu'il ne peut démarrer seul à fréquence fixe.

Le brevet de Nikola Tesla sur le moteur asynchrone est déposé le 12 octobre 1887 sous le numéro 381.968. Il prétend dans sa biographie, sans que cela puisse être vérifié, que l'origine de son travail remonte à une dizaine d'années plus tôt lorsqu'il était étudiant à l'université technique de Graz en Autriche et qu'il étudia la dynamo de Gramme, comme vu au paragraphe 1.1. Ce brevet propose des variantes de moteurs asynchrones, des générateurs synchrones mais aussi le concept de courants alternatif biphasé et triphasé ainsi que le réseau de distribution lié [15].

La caractéristique majeure du moteur (asynchrone) à induction de Nikola Tesla réside dans le fait que la vitesse de rotation du moteur n'est pas synchronisée avec la vitesse du champ tournant : un rotor ferromagnétique et conducteur est placé dans un champ magnétique tournant ; celui-ci est généré par deux courants alternatifs déphasés de 90° circulant dans des bobines perpendiculaires

¹³ Olivier Lodge (1851-1940), physicien britannique

¹⁴ John Stone (1869-1943), mathématicien, physicien et inventeur américain

¹⁵ Lucien Gaulard (1850-1888) et John Dixon Gibbs, ingénieurs français et anglais

¹⁶ Galileo Ferraris (1847-1897), ingénieur et physicien italien

(ou 3 paires de bobines disposées à 120° alimentées par des courants triphasés décalés de 120°). À l'arrêt le rotor est le siège de forts courants induits à la fréquence du stator qui produisent en réaction un fort champ magnétique et par la suite un couple. À mesure que le rotor rattrape le stator, les courants induits diminuent, ce qui fait que le rotor ne se synchronise jamais avec le champ tournant, on dit qu'il y a un glissement, défini comme la différence relative entre vitesse du champ tournant et vitesse du rotor.

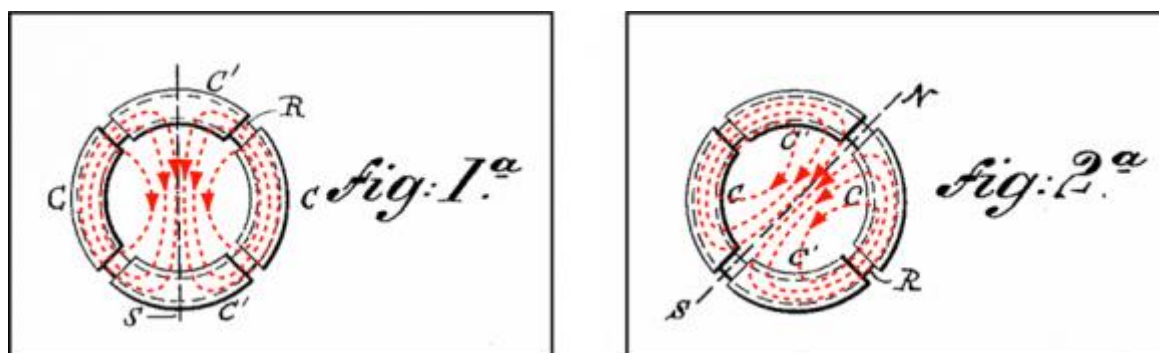


Figure 11 : Le champ magnétique tournant du moteur décrit dans le brevet - pour des raisons de clarté, les lignes du champ magnétique ont été ajoutées en rouge. La paire de bobines CC est alimentée avec la tension U' , la paire $C'C'$ avec la tension U , provenant du générateur figure 16. À gauche, le champ magnétique à l'instant initial $t=0$, quand seule la paire CC est alimentée, la paire $C'C'$ recevant une tension nulle. À droite, après un retard de $\pi/4$, les deux paires sont alimentées avec des tensions égales : les deux contributions au champ magnétique s'additionnent pour donner un champ résultat tourné de $\pi/4$ par rapport à l'instant initial, source [15]

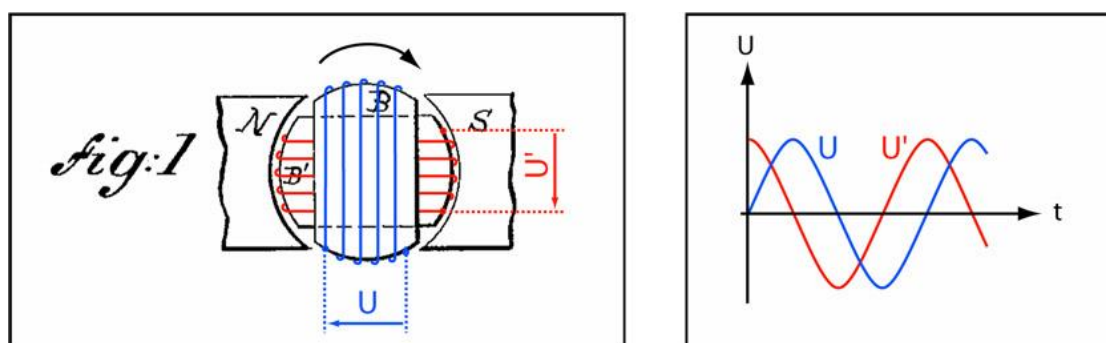


Figure 12 : Générateur de courant alternatif biphasé décrit dans le brevet, formé par deux bobines perpendiculaires B et B' , tournant dans le champ magnétique d'un aimant permanent. À gauche, la position des bobines à l'instant $t=0$. Par souci de clarté, les enroulements des bobines ont été ajoutés. À droite, la courbe des signaux des tensions U et U' : elles sont déphasées de 90° , source [15]

Nikola Tesla note dans les premières lignes de son brevet que « La solution pratique au problème de la conversion électrique et de la transmission de l'énergie mécanique implique certaines exigences [...]. Une telle solution demande tout d'abord une uniformité de vitesse indépendamment de sa charge dans ces limites normales de fonctionnement ». Cette phrase a parfois été mal comprise et certains auteurs ont cru y voir l'invention du moteur synchrone [15]. Cela illustre bien la difficulté à interpréter les textes de Tesla qui sont souvent assez évasifs sur les principes (c'est le cas généralement des brevets) et plus techniques que scientifiques. Néanmoins, la suite est claire : « Ma présente invention est guidée par la production et l'amélioration d'un appareil capable de répondre à peu près à ces exigences », tout est dans le « à peu près¹⁷ ». En effet, si nous prenons l'exemple typique d'un moteur asynchrone de 3 kW à deux paires de pôles, sa vitesse de synchronisme est de 1500 tr/min et sa vitesse nominale de 1435, soit un glissement de 4,3 % pour un couple de 20 Nm, ce qui à l'époque, compte tenu des moyens de mesure d'une vitesse de rotation, peut être considéré comme presque constant. On ne peut pas dire à partir de

¹⁷ « nearly meeting these requirements » dans le texte original.

ce texte si Nikola Tesla a réellement compris le fonctionnement de son moteur, la théorie ne sera exposée par Ferraris qu'en 1888, montrant notamment que le couple est proportionnel au glissement dans la zone de fonctionnement normal [16].

En 1888, Nikola Tesla dépose une série de brevets recouvrant tout le système polyphasé des générateurs aux moteurs, et, en particulier, pour un moteur asynchrone à induit en anneau. La société *Westinghouse* a aussitôt acheté tous ces brevets [16]. Le moteur asynchrone présente les avantages d'un démarrage plus aisé et autonome, d'une plage d'adaptabilité aux charges mécaniques plus importantes. Jusque dans les années 1980, le moteur asynchrone à cage sera pratiquement la seule machine électrique sans contact au rotor, ce qui lui confère une robustesse inégalable.

Aujourd'hui nous disposons d'onduleurs à fréquence variable, le moteur synchrone peut démarrer seul et être contrôlé facilement par une électronique *ad-hoc*, ce qui fait qu'il est très souvent utilisé dans les applications à vitesse variable. Par exemple, toutes les voitures électriques ont un moteur synchrone, à l'exception de la première Tesla ! Néanmoins, le moteur asynchrone reste dominant, il est systématiquement utilisé dans les applications à vitesse « presque » constante (convoyeurs, ventilateurs, treuils, machines-outils, électroménager, outillage électrique, etc.) et dans les applications à vitesse variable quand le rendement n'est pas prioritaire (donc petites puissances) et quand le coût ou la robustesse est prioritaire. Le moteur synchrone, plus coûteux, est réservé aux fortes puissances (TGV, bateaux, laminoirs, etc.) ou aux applications embarquées qui nécessitent un haut rendement et une grande densité de puissance (drones, voitures, etc.).

2.2 - Le courant alternatif

Dans les années 1880, l'entreprise de Thomas Edison est en charge de l'installation et de la maintenance du réseau électrique de la ville de New York. Thomas Edison a développé et amélioré des machines générant du courant continu. C'est donc un réseau d'électricité en courant continu qui est en pleine installation à la fin du XIX^e siècle. Ce réseau est onéreux en raison de la complexité de la génératrice à courant continu, et manque de fiabilité (pannes, incendies) principalement à cause des étincelles produites par les commutations au niveau du collecteur. Le second point pénalisant du courant continu était que la technologie ne permettait pas d'élever ou abaisser une tension continue de façon simple, pour les puissances importantes. Il fallait alimenter un moteur et entraîner une génératrice avec une autre tension, cela impose donc que la génératrice et la ligne soient à la tension d'utilisation. En conséquence, le transport de courant à basse tension génère d'importantes pertes d'énergie par effet Joule. Il n'est donc pas possible de transporter l'électricité sur de longues distances. Les centrales de production sont alors nombreuses, situées sur le lieu de consommation (en pleine ville notamment !), et doivent être différentes selon qu'elles alimentent un site industriel ou un réseau domestique.

Lorsque Nikola Tesla était employé par l'entreprise de Thomas Edison à l'amélioration du réseau électrique de la ville de New York, il avait suggéré de changer de technologie pour développer celle liée au courant alternatif présentant de nombreux avantages. Transporter de l'électricité sur de longues distances sans pertes nécessite d'augmenter la tension afin de diminuer l'intensité (les pertes en ligne sont proportionnelles au carré de l'intensité). Une fois l'électricité sur les lieux d'utilisation, la tension du courant alternatif peut être abaissée et adaptée aux valeurs d'utilisation des appareils par l'intermédiaire d'un transformateur.

Cependant, d'une part Thomas Edison ne disposait que de brevets en courant continu, d'autre part, il aurait fallu démonter les installations existantes et revoir tout le système développé par son entreprise. De plus Thomas Edison est un autodidacte, peut-être lui manquait-il les connaissances

en physique et en mathématiques pour suivre les arguments de Nikola Tesla. Thomas Edison rejette sa proposition et après sa déception de ne pas recevoir une prime pour l'amélioration des machines à courant continu (paragraphe 1.3), Nikola Tesla démissionne en 1885 [17].

En 1888, les brevets déposés par Nikola Tesla sont la propriété de son ancienne entreprise *Tesla Electric Company*. Georges Westinghouse rachète les brevets de Nikola Tesla et l'engage afin qu'il retravaille ses inventions. Ce qui sera ensuite appelée « la guerre des courants » commence avec une rivalité sur les marchés de chaque ville à conquérir. Comme le courant alternatif s'avère moins onéreux et plus fiable, la *Edison Machine Works* perd des marchés, et une entreprise de sape de la réputation du courant alternatif se met en place sur l'idée que ce dernier serait dangereux, voire mortel. Pour preuve des animaux sont électrocutés (en courant alternatif !) en public. Pour marquer les esprits, il y a eu un battage pour faire passer le terme de « Westinghoused » pour un synonyme d'électrocuté ! [18]

En 1890, la *Commission internationale du Niagara* est constituée, composée d'experts, afin de sélectionner le projet capable de profiter des chutes du Niagara pour produire de l'électricité dans le but d'alimenter la ville de Buffalo - à l'époque l'une des plus grosses villes des États-Unis sur les bords du lac Érié - et ses industries (figures 13 et 14). 19 entreprises sont en concurrence dont celles de Thomas Edison et de Georges Westinghouse, mais c'est cette dernière qui remporte le marché. L'électricité serait produite et transportée sous forme de courant alternatif à une fréquence de 25 Hz¹⁸ pour minimiser les chutes de tension dans le transport. Les travaux de la centrale électrique de Niagara commencèrent en 1893, et en novembre 1896, les usines de la ville de Buffalo sont alimentées par une ligne de 33 km. Les génératrices produites par la *Westinghouse Electric* d'après les brevets de Nikola Tesla portent des plaques signalétiques mentionnant le nom de ce dernier. Afin d'apaiser Thomas Edison, la *General Electric* (fusion d'*Edison General Electric Company* et d'une partie de *Thomson-Houston Electric Company*) a été en charge de la construction des lignes de transports, sous licence des brevets de Nikola Tesla [18].



Figure 13 : Plan de la ville de Buffalo en 1892, source [19]

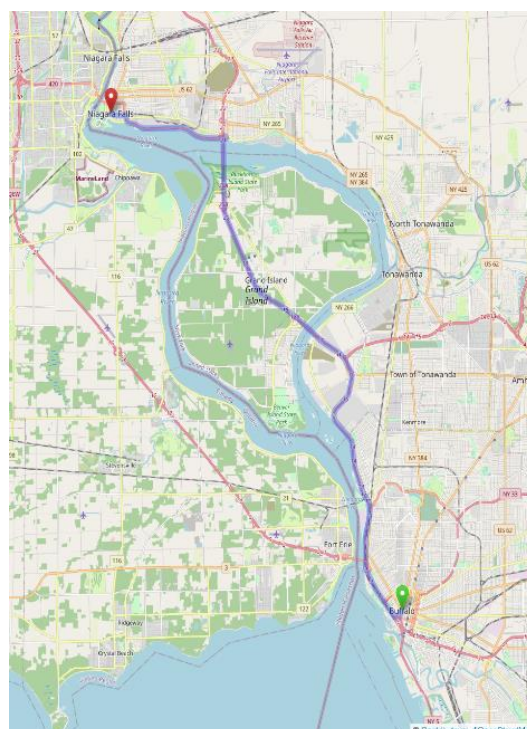


Figure 14 : Localisation des chutes du Niagara et de la ville de Buffalo (État de New York), source OpenStreetMap

¹⁸ Cette fréquence est montée à 60 Hz dans les années 1950.

La réussite des installations des chutes de Niagara imposera progressivement le courant alternatif pour la production et le transport de l'électricité. Les premières installations en courant continu ont été peu à peu démontées et remplacées, certaines tardivement. Le *New Yorker Hotel*, bâtiment de style Art déco de 2 500 chambres mis en service en janvier 1930, possédait une centrale électrique continue propre pouvant délivrer 2 200 kW et n'est passé à l'alternatif que dans les années 1960. Ironie de l'histoire, Nikola Tesla vécut ses dernières années dans une chambre de cet hôtel.



Figure 15 : Statue de Nikola Tesla dans la ville de Niagara Falls (Canada), source [20]

2.3 - Le téléautomaton

À partir de 1896, Nikola Tesla réalise des expériences et développe la base de ce qu'il appelle la télé-automatique. Il imagine que l'on pourra commander des objets à distance comme des véhicules ou des bateaux, sans qu'il y ait de conducteur ou d'équipage, en utilisant la télégraphie sans fil.

Nikola Tesla invente deux navires télécommandés, dont un est submersible. Les brevets déposés précisent des spécifications pour un bateau, sans équipage, muni de torpilles. Dans un contexte de course à l'armement naval des différents pays, Nikola Tesla imagine que ce type de navire serait « *un des plus importants facteurs de progrès et de civilisation de l'humanité* » par sa capacité à mettre fin à un conflit sans présence humaine [4].

Le principe est le suivant : une source à haute tension en haute fréquence émet un signal reçu par une bobine accordée. Un levier de commande mis en rotation, active des contacts, qui permettent de commander le bateau. Dans le bateau, signal coupé, un disque tourne, activant une manœuvre prédéfinie selon la position du disque. Le système sera par la suite amélioré par Nikola Tesla, en ajoutant un second signal avec une fréquence différente [5]. Le problème de cette géniale invention est qu'en réalité elle ne peut fonctionner qu'à proximité de la tour haute tension.

En 1898, Nikola Tesla présente son invention, le téléautomaton, au Madison Square Garden de New York. Brevet déposé, le bateau radiocommandé est disponible quelques mois après le début de la guerre entre les États-Unis et l'Espagne (1898-1901). Nikola Tesla la propose en vain au gouvernement américain en 1898 et en 1900 [4,5].

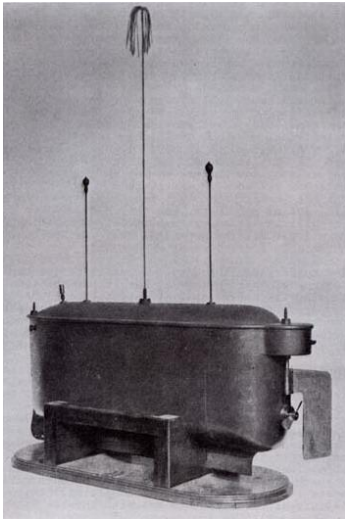


Figure 16 : Le téléautomaton en 1898, et les éléments le constituant présenté au Musée Nikola Tesla (Belgrade), sources [21] [22]

2.4 - La bobine Tesla

La bobine Tesla est un transformateur à double élévation de tension, elle fonctionne en courant alternatif à haute fréquence et permet de produire de très hautes tensions. Mise au point vers 1891, la machine comporte deux circuits de bobinages, inégaux en nombre de spires, couplés et accordés par résonance, elle ne comporte pas de noyau métallique.

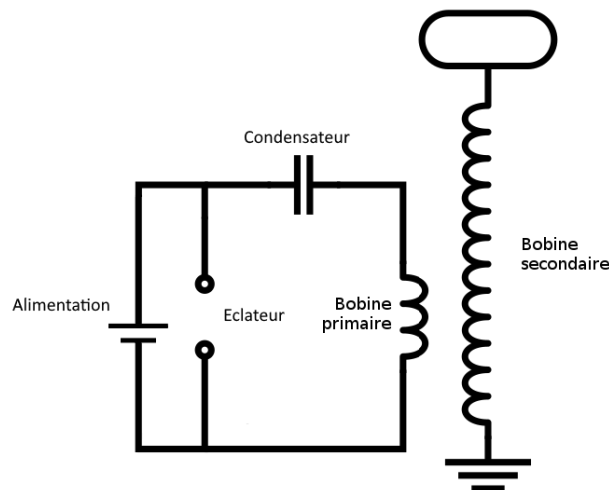


Figure 17 : Circuit électrique de la base de la bobine Tesla, source [23]

Le premier transformateur, voir figure 17, est connecté sur le réseau alternatif et élève une première fois la tension à environ 10 kV. Le condensateur se charge et quand la différence de potentiel aux bornes de l'éclateur est suffisante, un arc électrique ferme le circuit, le condensateur se décharge dans la maille contenant la bobine primaire constituée de quelques spires. Le circuit oscille à sa fréquence propre (de l'ordre de 10 à 100 kHz) et la tension est élevée par le bobinage secondaire - un solénoïde de quelques milliers de spires comme celui de la figure 18 - jusqu'à des tensions de l'ordre de 100 kV voire plus d'un MV. Comme dans tous les systèmes résonnants, le point délicat est d'accorder le circuit. Cela se fait en augmentant ou diminuant la longueur de la spirale du primaire, une fois la résonance atteinte, la tension induite aux bornes de la bobine secondaire est maximale [23,24]. Ce mode de fonctionnement est dit pulsé, car la décharge se produit à chaque demi-période. Aujourd'hui, les semi-conducteurs de puissance permettent, à partir d'une source continue, d'alimenter le circuit LC directement à la fréquence de résonance et de fonctionner en mode stationnaire.

La bobine Tesla a peu d'applications de nos jours. Elle est utilisée pour des essais de résistance à la foudre de matériels électriques, et également pour des spectacles par les effets lumineux spéciaux produits. Elle présente évidemment un intérêt théorique et pédagogique, on peut en voir deux en action au Palais de la découverte (figure 19).



Figure 18 : La bobine Tesla au Nikola Tesla Memorial Centre (Smijan), source [25]

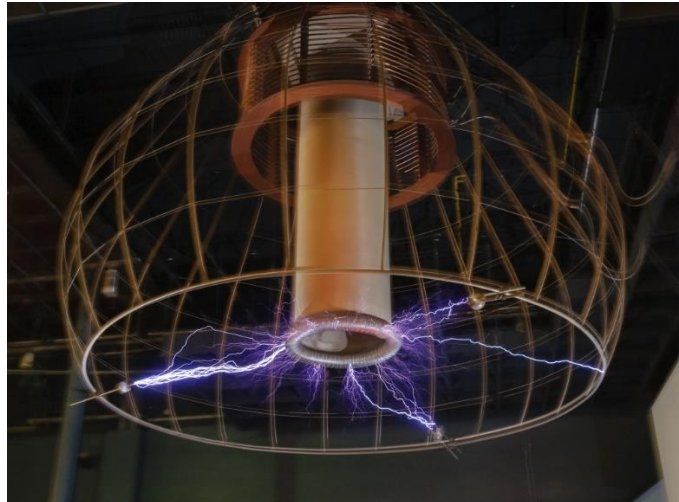


Figure 19 : Bobine Tesla au Palais de la découverte (Paris), source [26]

3 – Conclusion

Nikola Tesla est indubitablement l'un des inventeurs les plus créatifs de la fin du dernier quart du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle, ses 300 brevets déposés en laissent la trace. Ses travaux sur l'énergie électrique, en particulier sur le courant alternatif en font l'un des pionniers : Nikola Tesla a mis au point le premier système de distribution alternatif complet, il a inventé ou amélioré tous les appareils qui le composent (alternateurs, transformateurs, moteurs, etc.), permettant la création des vastes réseaux électriques de distribution en courant alternatif essentiels au mode de vie actuel.

De son vivant, Nikola Tesla a été reconnu pour ses inventions qu'il savait théâtraliser. Ses articles dans le magazine *Electrical Experimenter* en 1919 ont été très populaires, cependant l'image publique qui se dessina pencha vers l'inventeur génial mais un peu « fou ». Son mode de vie essentiellement tourné vers son travail a pu inquiéter la société de l'époque, Kenneth Swezey¹⁹ qui le fréquenta dans les années 1920 disait qu'il « *ne sortait pratiquement jamais de son monde, de ses pensées et travaux qui l'occupaient* » [4]. Après son décès Nikola Tesla retomba dans un relatif anonymat plusieurs décennies après sa mort. Cependant depuis les années 1990, l'héritage de Nikola Tesla se prolonge dans la culture mondiale. On le retrouve dans des livres et bandes dessinées, mais aussi des fictions de cinéma, séries ou théâtre, des jeux vidéo ...

Outre les inventions dont nous avons parlé plus haut, Tesla a imaginé et réalisé bien d'autres inventions comme, par exemple, l'oscillateur Tesla ou un générateur thermomagnétique breveté en 1889, modernisé récemment par des chercheurs du DER Nikola Tesla [28]. Néanmoins, Nikola Tesla a toujours été en marge de la communauté scientifique, initialement ne s'y mêlant pas de

¹⁹ Kenneth M. Swezey (1904-1972), journaliste et écrivain scientifique américain

peur de se faire voler ses idées. Pour la même raison, il n'a en fait jamais écrit de publication scientifique, seulement des brevets et des articles de vulgarisation. Ferraris a exposé le principe du champ tournant avant Nikola Tesla, mais ce dernier a affirmé, dans la presse de vulgarisation, l'avoir imaginé bien avant lorsqu'il était étudiant, ce qui est une entorse majeure à la déontologie scientifique. À la fin de sa vie, Nikola Tesla a déclaré avoir inventé un système permettant de transmettre l'énergie électrique sans fil sans limite de distance quasiment sans limite de puissance avec sa fameuse bobine, grâce à l'excitation d'une mystérieuse fréquence de résonance électromagnétique de la terre (autour de 8 Hz), sans dire clairement d'où venait l'énergie. Ces écrits délirants pris au pied de la lettre par des amateurs ont pu faire émerger l'idée que Tesla aurait inventé un système permettant de produire de l'énergie à l'infini et gratuitement, de la transmettre dans le monde entier sans fil et qu'un complot industriel aurait caché son invention à l'humanité avec la complicité de scientifiques bien évidemment corrompus. Cela peut paraître étrange si l'on songe que l'industriel développant une telle solution serait au moins mille fois plus riche qu'Elon Musk ! Pour preuve de l'inanité de cette théorie, la communauté scientifique a rendu à Nikola Tesla le plus grand hommage possible en donnant son nom à l'unité de l'induction électromagnétique en 1961, et aussi à un cratère de la Lune et à un astéroïde découvert en octobre 1952.

De nombreuses dates commémoratives sont célébrées dans le monde, en Serbie naturellement, à Niagara Falls en Ontario (Canada) ou Niagara Falls dans l'État de New York (États-Unis). Son nom a été donné à divers lieux, par exemple l'aéroport Nikola-Tesla de Belgrade, objets ou même entreprises comme la société Tesla Inc. et ... au DER de l'ENS Paris-Saclay, ce qui nous a donné l'occasion de revenir sur sa vie et ses inventions !

Références :

[1]: Département EEA, <https://ens-paris-saclay.fr/formations/departements/electronique-electrotechnique-automatique-eea>

[2]: Laboratoire SATIE, <http://satie.ens-paris-saclay.fr/>

[3]: Original uploader was Antidote at en.wikipedia Transferred from en.wikipedia by User:emerson7. – Original downloaded from http://www.tesla-symp06.org/nikola_tesla.htm, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4466481>

Napoleon Sarony – carte postale (radiographics.rsna.org), Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26187019>

[4]: Ma vie et ma recherche, Nikola Tesla, édition Discovery Publisher, novembre 2021

[5]: Nikola Tesla, Wikipédia, consulté en mars 2022, https://fr.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla

[6]: Nikola Tesla : Biographie et inventions majeures, Maximilien Llorca, SciencePost, octobre 2018, <https://sciencepost.fr/nikola-tesla-biographie-et-inventions-majeures-pourquoi-son-genie-est-il-tombe-dans-loubli/>

[7]: Rotating magnetic field sur Wikipédia anglais – Transféré de en.wikipedia à Commons par Oxyman utilisant CommonsHelper., Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5137547>

[8]: Auteur inconnu – Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=83648832>

[9]: Auteur inconnu – <http://www.classictesla.com/photos/tesla/tesla.html>, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3485498>

[10]: Nikola Tesla, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26597160>

[11]: Auteur inconnu – Retrieved from <http://www.museumsyndicate.com/item.php?item=49426>. Previously published in Nikola Tesla "The transmission of electric energy without wires" in Scientific American Supplement, Munn and Co., New York, Vol. 57, No. 1483, June 4, 1904, p. 23760, fig. 1 archived on Google Books. Also appears in Nikola Tesla, Aleksandar Marinčić 1978 Colorado Springs Notes, 1899-1900, Nikola Tesla Museum, Beograd, Serbia, Plate 37, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20296014>

[12]: https://wellcomeimages.org/indexplus/obf_images/4c/6e/da5709a57832dbbb048ba4a17fe6.jpg Gallery: <https://wellcomeimages.org/indexplus/image/M0014782.html> Photographer: Dickenson V. Alley Wellcome Collection gallery (2018-03-31): <https://wellcomecollection.org/works/znc6ts6ch>, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36367226>

[13]: la tour de Tesla, Wikipédia, consulté en mars 2022, https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_de_Tesla

[14]: Auteur inconnu – Marc Seifer Archives, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50454657>

[15] : L'invention du moteur synchrone par Nikola Tesla, I. Pavel, bibnum, OpenEdition Journals, consulté en mars 2022, <https://journals.openedition.org/bibnum/907>

[16] : Historique des machines électriques et plus particulièrement des machines à réluctance variable, B. Multon, 2012, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00674038/document>

[17]: Nikola Tesla et la guerre des courants, vidéo visionnée en mars 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=Hb8olub2Fmw>

[18]: La guerre des courants, consulté en mars 2022, https://fr.wikipedia.org/wiki/Guerre_des_courants

[19]: Rand, McNally & Co. – <https://www.flickr.com/photos/10461908@N03/5076967851/>, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40831447>

[20]: Milan Suvajac – Travail personnel, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=95295335>

[21] : Nikola Tesla 1898 – Nikola Tesla Museum, Belgrad, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19206860>

[22] : Boban Markovic – Travail personnel, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=72060467>

[23]: Comment fonctionne une bobine Tesla ? T. Van Neerden, mai 2018, <https://couleur-science.eu/?d=564ff9--comment-fonctionne-une-bobine-tesla>

[24]: Bobine Tesla , consulté en mars 2022, https://fr.wikipedia.org/wiki/Bobine_Tesla

[25]: Zátanyi Sándor, (ifj.) Fizped – Travail personnel, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27928530>

[26]: Myrabella / Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30566796>

[27]: Turbine de Tesla, consulté en mars 2022, https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_de_Tesla

[28] : S. Ahmim, et al., Self-oscillation and heat management in a LaFeSi based thermomagnetic generator. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Elsevier, 2021, 540, pp.168428. 10.1016/j.jmmm.2021.168428. hal-03348584

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>