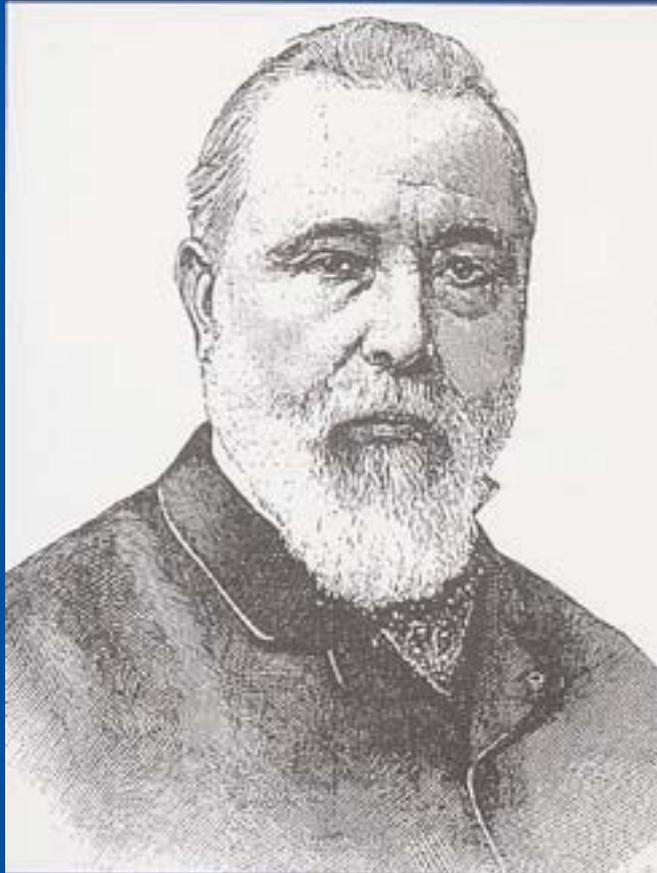


Musée des arts et métiers

L E S C A R N E T S

ZÉNOBE GRAMME



« Personne ne songeait à une machine qui pût concurrencer les piles dans la production de courant continu industriel ».
Louis Figuier,
L'année scientifique,
1867.

1826 - 1901

Conservatoire national
des Arts et Métiers
Musée National
des Techniques

L E S H O M M E S

Zénobe Gramme

DE LA DÉCOUVERTE À LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

1600 • W. Gilbert invente le mot *électrique*.

La distinction entre l'électricité (l'ambre frotté qui attire les corps légers) et le magnétisme (l'acier frotté avec la pierre de Magnésie qui attire le fer) est désormais claire.

XVIIIe • S. Gray distingue les corps *conducteurs* et les corps *isolants*.

Les conducteurs laissent passer l'électricité, ils ne peuvent s'électrifier par frottement, les isolants peuvent être électrisés par frottement, ils ne peuvent pas transmettre l'électricité.

Dufay met en évidence l'*attraction*, la *répulsion* et la *conduction* de l'électricité.

Découverte du *condensateur* utilisé pour emmagasiner de l'électricité. On fabrique aussi des *condensateurs* en *batterie*. Expérience de la bouteille de Leyde.

B. Franklin prouve avec le *paratonnerre* que la foudre est de l'électricité.

Le paratonnerre devient une protection des bâtiments contre la foudre.

1800 • Volta montre avec la *pile* que l'électricité peut être créée par le seul contact de deux métaux différents avec une solution saline.

La pile peut fournir de l'électricité sur une longue durée : plus besoin de la recharger, comme la bouteille de Leyde, ou de produire un frottement, comme pour la machine électrique.

La bouteille de Leyde (inv. 7399)
C'est une sorte de bouteille de verre remplie d'eau où plonge une tige métallique que l'on charge d'électricité. L'expérimentateur tient à la main la bouteille, il ne se passe rien, car le verre est isolant : les charges électriques sont bloquées sur la tige. S'il touche la tige métallique de l'autre main, il reçoit alors une décharge : l'électricité passe directement sur la deuxième main en contact avec la tige chargée. La bouteille de Leyde restitue l'électricité sous forme de décharge : elle constitue le premier condensateur.



1820 • Ørsted montre qu'électricité et magnétisme procèdent du même phénomène appelé *électromagnétisme*.

Un courant électrique au-dessus d'une boussole fait dévier l'aiguille de sa position initiale.

1821 • Ampère crée l'*électrodynamique*

L'électrodynamique rend possible le moteur électrique.

1825 • Sturgeon construit le premier *électroaimant*.

Un électroaimant consiste en une barre de fer entourée d'un fil de métal enroulé en bobine, dans lequel passe le courant. Le champ magnétique produit augmente avec le courant et le nombre de spires.

1831 • Faraday montre que l'énergie magnétique peut créer de l'électricité. C'est l'*induction électromagnétique*.

En déplaçant un aimant, on modifie les lignes de force magnétique, ce qui induit un courant électrique dans un conducteur situé à proximité. Ce courant cesse dès que le mouvement de l'aimant s'arrête.

1830 - 1870 • Clarke, Pixii inventent les premières machines génératrices de courant, les *magnétos*.

Elles convertissent le mouvement en électricité par l'utilisation d'aimants. Leur faible rendement limite leur utilisation.

1860 et 1864 • Pacinotti conçoit la *dynamo*.

Elle ne sera connue qu'après le succès de Gramme.

Elle possède les caractéristiques de l'anneau de Gramme : électroaimants inducteurs, induit en anneau avec bobinage continu, collecteur.

1871 • La *dynamo* de Gramme.

Le premier générateur moderne de courant, suffisamment puissant pour être utilisé à grande échelle. Entraînée par une machine à vapeur, elle produit un courant continu. Alimentée en courant électrique, elle peut produire de l'énergie mécanique : elle est réversible.

Zénobe Gramme

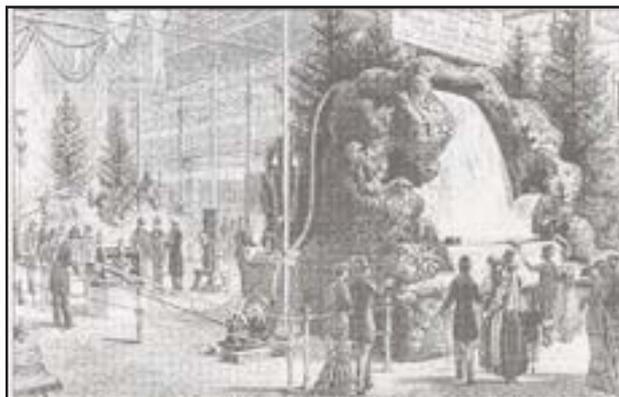
UNE VIE

■ Un menuisier d'origine modeste

Zénobe Gramme naît à Jehay Bodegnée (province de Liège) le 4 avril 1826 dans une famille modeste. Il est le sixième de douze enfants. Son père, receveur délégué aux Houillères, s'intéresse à l'instruction de ses enfants. Ses sœurs seront d'ailleurs enseignantes. Pourtant, Gramme est un élève médiocre. Il préfère, dès son plus jeune âge, se consacrer au travail manuel et montre alors une ingéniosité certaine, alliée à un sens de l'observation rare. Son instruction demeurant rudimentaire, il désire se perfectionner et suit ses parents à Liège où il fréquente assidûment les cours du soir de l'École industrielle. Pour gagner sa vie, il voyage de Bruxelles à Marseille menant une vie de misère. Il parvient à Paris en 1856 où il trouve un emploi dans un grand atelier de menuiserie. Quatre ans plus tard, il entre comme ouvrier modelleur à « L'Alliance », Société de construction d'appareillage électrique. Il devient ainsi menuisier « rampiste » et fabrique certaines pièces en bois des machines magnétoélectriques de « L'Alliance », ainsi que des modèles en bois pour l'orfèvre Christofle, premier grand utilisateur de la galvanoplastie*.

■ Une passion d'inventeur électricien

Son apprentissage technique se renforce, développant son esprit inventif en éveil. Il imagine un régulateur pour les lampes à arc voltaïque souvent utilisées dans certains phares en France et en Angleterre. En 1863 il quitte « L'Alliance » pour se perfectionner chez le grand constructeur d'appareillage électrique Ruhmkorff. Il assiste probablement aux leçons du physicien Antoine Becquerel au Conservatoire des Arts et Métiers, et entre en 1864 au service de l'ingénieur français Bazin. Parallèlement, il s'intéresse à la théorie et lit le manuel de Ganot, très utilisé pour la préparation du nouveau baccalauréat ès sciences.



*Le courant arrive à une seconde dynamo et l'entraîne.
Celle-ci actionne une moto-pompe qui met en route la chute d'eau.
« La lumière électrique », t. 10.*

Dès le 26 février 1867, il prend un brevet pour plusieurs dispositifs perfectionnant les machines à courant alternatif. L'année suivante le trouve à Londres où il travaille chez Disderi : il construit alors sa première dynamo réversible à courant continu. De retour à Paris, il se consacre entièrement à ses recherches et continue de perfectionner ses inventions. La première note présentée après la guerre franco-prussienne aux comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris en séance du 17 juillet 1871 par Jamin explique le principe de sa machine « à quatre pôles et auto-excitation ». Cette machine constitue la nouveauté qu'annonce la revue, le « Moniteur scientifique » : la dynamo est née, détrônant la pile, l'accumulateur et les alternateurs comme sources d'électricité. Par le brevet qu'il dépose, il revendique la propriété exclusive du principe de la dynamo. Une mutation industrielle se prépare.

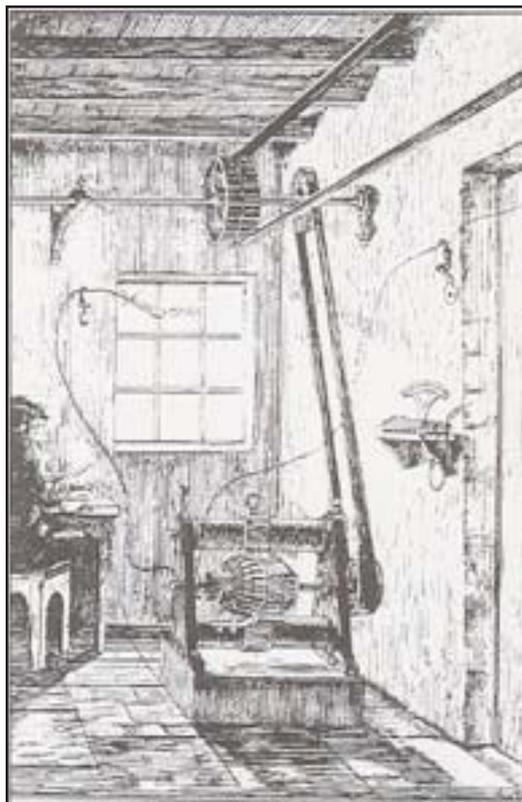
*galvanoplastie : technique consistant à déposer des métaux sur des surfaces conductrices à l'aide de réactions chimiques provoquées par le courant électrique (l'électrolyse).

Zénobe Gramme

■ Un industriel entreprenant

Revenu de Belgique après la guerre, Gramme s'associe à Hippolyte Fontaine, un industriel et ancien menuisier. Ils fondent à Paris la « Société des machines magnéto-électriques Gramme » qui produit les premières dynamos, leur assurant une prospérité rapide : Gramme installe ses premières machines dès 1873 pour alimenter l'éclairage des phares, puis pour remplacer les piles dans les ateliers de galvanoplastie. Il vend ses brevets à l'étranger, c'est dire l'importance de cette invention reconnue de façon universelle. En 1880, il obtient du gouvernement français un prix exceptionnel de 20 000 francs et en 1888, il se voit décerner le prix Volta de 50 000 francs, institué en 1852 par Louis-Napoléon, président de la République. En France, en Allemagne, en Angleterre, aux États-Unis, de grandes firmes comme Siemens et Halske, Westinghouse, Edison, commencent à construire des dynamos dont le principe repose

toujours sur la rotation d'un induit en anneau (ou en tambour) dans l'entrefer d'un électroaimant. L'éclairage électrique, première utilisation de la dynamo, assure son succès. De nouvelles inventions vont suivre : l'alimentation de la dynamo par un courant électrique la transforme en moteur électrique. Cette inversion technique va permettre l'obtention de courants de plus en plus forts, ouvrant ainsi l'ère des moteurs à fort courant pour la traction des tramways. Par la suite, la dynamo est transformée en alternateur : les courants alternatifs obtenus offrent la possibilité d'une distribution de l'énergie électrique à longue distance, à condition de disposer de lignes à haute tension. La découverte du transformateur lève le dernier obstacle au plein essor de l'électricité industrielle. En 1901, au moment même où se dessine l'ère nouvelle, Gramme meurt. Il a 75 ans. Il laisse place à sa légende d'apprenti sorcier à laquelle d'aucuns voudraient faire croire.



Un manipulateur lance dans le fil télégraphique le courant d'une dynamo mue par le cours d'eau voisin.
« La lumière électrique », t. 10.

Au cimetière du Père Lachaise, une statue de bronze surmonte la stèle de marbre rouge de Gramme. Cette statue de Mathurin Moreau représente Gramme tenant dans sa main gauche le célèbre anneau d'induction de sa dynamo, et dans sa main droite, un compas, vraisemblablement celui d'un menuisier, en référence à ses premières activités. Une copie de l'original est déposée au Musée des arts et métiers.

*Zénobe Gramme***PRINCIPE DE LA DYNAMO DE GRAMME**

Il repose principalement sur l'utilisation du phénomène de l'induction électromagnétique.

1. L'induction électromagnétique

Le dessin de Gramme illustre ce phénomène. En bougeant l'aimant N-S (appelé inducteur) devant le fil conducteur bobiné (l'induit), on fait naître un courant appelé courant induit, détecté par la déviation du galvanomètre.

2. L'anneau de Gramme

Le fil conducteur est enroulé en plusieurs bobines autour d'un anneau de fer doux. Cet anneau (le rotor) tourne dans l'entre-fer d'un aimant fixe (le stator). Lorsqu'on fait tourner le rotor sur lui-même, les bobines sont le siège d'un courant induit dont le sens dépend de leur position : celles situées au voisinage du même pôle ont un courant de même sens. Ainsi, la moitié gauche (*nan*) proche du pôle B est parcourue par un même courant dont le sens est contraire à celui de la moitié droite (*nbn*) située près du pôle A. Les deux moitiés équivalent aux

deux pôles d'un générateur électrique. Aussi, se pose le problème : comment recueillir le courant ? C'est le rôle du collecteur.

3. Le collecteur

Toutes les bobines sont reliées les unes aux autres. Au point d'attache de deux bobines est fixé un fil de cuivre dont la seconde extrémité est reliée à une lame de cuivre implantée sur un cylindre isolant. Le collecteur conduit le courant issu des bobines de l'enroulement et l'achemine aux balais (F et F'), diamétralement opposés, qui frottent directement sur lui. Les balais alimentent le circuit extérieur.

La dynamo fournit donc un courant continu.

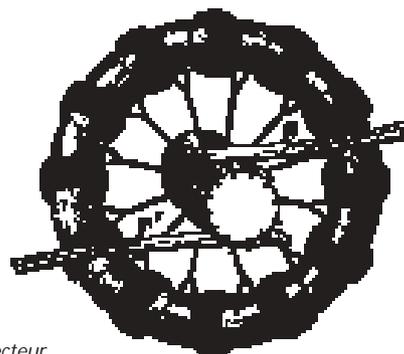
Plus tard, les balais seront formés de flots de fils de laiton, dont l'emploi diminue la fréquence et l'intensité des étincelles indésirables. Cette production d'étincelles restera l'un des problèmes les plus difficiles à surmonter pour les premiers électrotechniciens.



L'induction électromagnétique

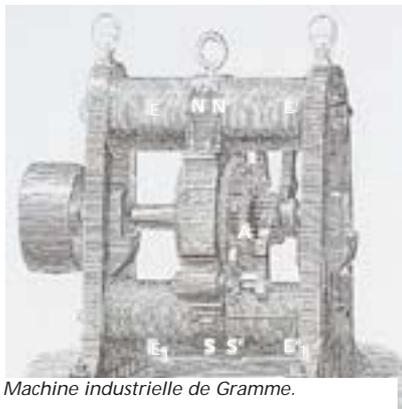


L'anneau de Gramme.



Le collecteur

Zénobe Gramme



Machine industrielle de Gramme.

4. L'auto-excitation de l'inducteur

Pour obtenir un courant plus intense, Gramme imagine de remplacer l'aimant permanent par deux électroaimants EE1 et E'E'1 réunis par leurs pôles (N et N', S et S'). Au point de jonction des pôles, deux pièces en fer doux enveloppent l'anneau de Gramme (A) et focalisent le magnétisme. Pour alimenter les électroaimants, Gramme invente ce qu'il appelle « l'auto-excitation » : il utilise (partiellement ou en totalité) le courant produit dans l'anneau ; au démarrage, l'auto-excitation est obtenue par magnétisme résiduel (lorsque le courant est stoppé, le noyau magnétique conserve une partie de son aimantation).

5. Les derniers modèles

La dynamo de Gramme est définitivement mise au point en 1872 pour une machine à quatre électroaimants verticaux et à quatre pôles (groupés deux par deux). Cette dynamo à quatre pôles construite pour l'orfèvrerie de Christofle permet de déposer 600 g d'argent en une heure sur des couverts en laiton plongés dans un bain de galvanoplastie. Sans formules théoriques, Gramme sait calculer sa machine et obtient le résultat désiré avec une énergie de 7,65 joules.

Le modèle à deux électroaimants horizontaux avec pièces polaires enveloppantes, destiné à l'utilisation en atelier, deviendra le modèle classique. Sa structure et surtout son bâti en font des engins robustes qui peuvent fonctionner souvent pendant plusieurs dizaines d'années sans incidents, ouvrant l'ère de l'électricité industrielle.

Le grand avantage de la dynamo

Jusqu'en 1871, le seul courant produit par des machines est alternatif, il est fabriqué par les magnétos ; le courant continu, utilisé en galvanoplastie, est fourni par des piles. Les rendements sont médiocres. La dynamo offre une solution de remplacement avantageuse aux piles, le courant continu étant alors le seul dont on envisage les applications. À l'occasion de l'exposition universelle de 1878, une fausse manœuvre amène les fils d'une dynamo sur les bornes d'une dynamo voisine, laquelle se met alors en marche à la façon d'un moteur. Cette réversibilité, établie par hasard, amène une première découverte : la transmission possible de l'électricité et sa distribution à distance. Par ailleurs, la réversibilité de la dynamo ouvre la voie à l'utilisation de moteurs industriels. La dynamo affirme ainsi définitivement sa supériorité sur les magnétos dont la réversibilité était alors inenvisageable techniquement.

Les différentes machines productrices de courant électrique

Nom	induit	inducteur	courant
Magnéto	bobine en rotation	aimant fixe	alternatif
Dynamo	bobine en rotation	électroaimant fixe	continu
Alternateur	bobine fixe	aimant ou bobine en rotation	alternatif

Zénobe Gramme

■ Les collections

Machine magnéto-électrique, *inv. 13434*

Grande machine électrostatique à plateau du duc de Chaulnes, *inv. 1633*

Pile de Volta, *inv. 1701-2*

Machine de Pixii, *inv. 12190*

Électro moteurs en étoile de Froment et Pierret, *inv. 9583 et inv. 9451*

Bobines de Ruhmkorff, *inv. 6711*

Machine magnéto-électrique pour la production de l'électricité par l'induction des aimants de Ruhmkorff, *inv. 6619*

Machine magnéto-électrique de Clarke, *inv. 7522*

Machine magnéto-électrique de la compagnie l'Alliance, *inv. 8362 et inv. 9055*

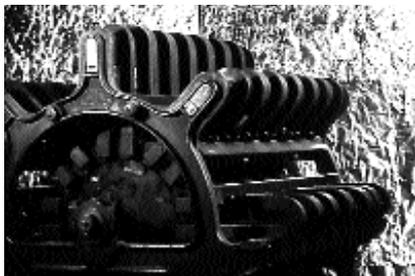
Machine de Pacinotti, *inv. 11212*

Dynamo de Gramme (1891), *inv. 9649-2*

Transformateur de Gaulard, *inv. 11756*

Moteur d'Edison, *inv. 12255*

Transformateur monophasé construit par Schneider et Cie, *inv. 13626/7*

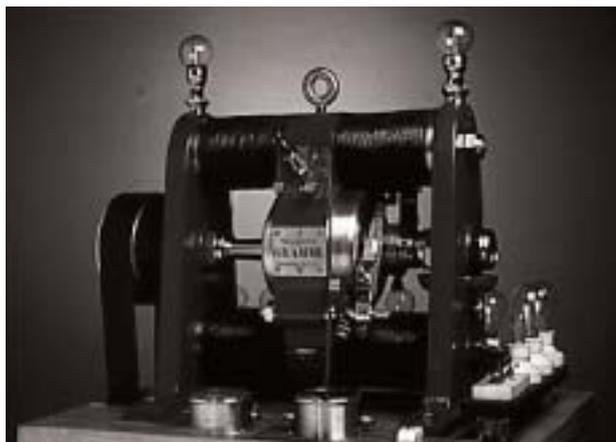


Machine magnéto-électrique d'après Nollet, inv. 13434

Les collections du Musée des arts et métiers sont aussi consultables sur Internet.

Adresse électronique :

<http://www.cnam.fr/museum>



Dynamo de Gramme, inv. 9649-2

POUR EN SAVOIR PLUS

Docteur Louis Chauvois, *Histoire merveilleuse de Zénobe Gramme, inventeur de la dynamo*, Paris, Albert Blanchard, 1963

Jean Pelseneer, *Zénobe Gramme*, Bruxelles, 1944

Antoine Breguet, *La machine de Gramme. Sa structure et sa description*, Paris, 1880

Christine Blondel, *Histoire de l'électricité*, Paris, Pocket cité des Sciences et de l'industrie, coll. Explora, 1994

Louis Leprince-Ringuet, *L'aventure de l'électricité*, Paris, Flammarion, 1983

François Caron et Fabienne Cardot (sous la direction de), *Histoire générale de l'électricité en France, Espoirs et conquêtes (1881-1918)*, pp. 33-48 et pp. 92-112, Paris, Fayard, 1991

Maurice Daumas, *Histoire générale des Techniques*, T. IV, « L'innovation du courant industriel », pp. 337-351, Paris, PUF, 1996

Zénobe Gramme

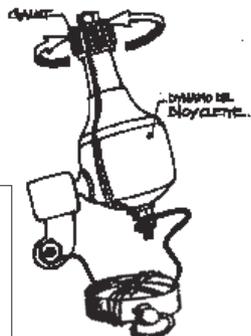
■ Un moulin d'électricité

Produisez votre courant électrique. Pour cela, branchez l'ampoule sur la génératrice de bicyclette. Frottez rapidement le galet (par exemple, sur votre manche). La lampe s'allume.



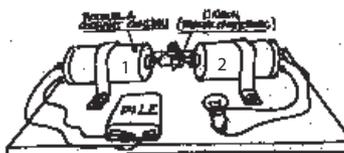
■ Dynamo ou alternateur de bicyclette ?

Enroulez autour de la boussole le fil électrique du circuit que vous venez de réaliser avec la génératrice. Attendez l'immobilité de l'aiguille et placez parallèlement le fil du circuit au-dessus d'elle. Lorsque tout est prêt, tournez délicatement, « pas à pas », le galet. Que fait la boussole ? Cette dynamo est en fait un petit alternateur : le courant produit est alternatif avec un aimant tournant.



■ Génératrice ou moteur ?

Le moteur n°1 tourne sous l'action du courant. Son mouvement entraîne le moteur n°2 qui produit du courant et allume l'ampoule. Un moteur électrique à courant continu peut jouer le rôle d'une génératrice de bicyclette.



■ Qu'y a-t-il dans une génératrice de bicyclette pour produire de l'électricité ?

L'aimant en forme de roue porte à sa périphérie une succession de pôles Nord et Sud. Il tourne devant un bobinage de fil électrique enroulé sur une armature en fer. La variation de magnétisme entrant dans la bobine provoque l'apparition de courant électrique dans le fil.



• Rédaction : Claudette Balpe
 • Schémas : Serge Picard
 • Coordination : Élisabeth Drye
 • Conception graphique :
 Agnès Pichois, atelier Michel Bouvet,
 sur une idée de Olivier Delarozzière
 • Photos : CNAM - Kharbine-Tapabor
 • Musée des arts et métiers
 Service éducatif
 292, rue Saint-Martin - 75003 Paris
 ISBN : 2-908207-51-6