

Zénobe Gramme et l'éclairage électrique

Philippe TOMSIN

Si depuis quelques années les travaux de Gramme sur les machines magnétoélectriques font l'objet de recherches historiques riches d'enseignements¹, sa contribution au développement de l'éclairage électrique reste très peu étudiée.

Sur ce point, ses deux principaux biographes sont pratiquement muets. Le premier mentionne fort évasivement que Gramme "invente un ingénieux régulateur pour les lampes à arc"². Le second n'évoque pas davantage le sujet, se contentant d'affirmer que Gramme va "imaginer un régulateur pour les lampes à arc voltaïque"³.

Dans un article mémorable pour sa remise en question des origines de la dynamo, Maurice Daumas signale que "le premier brevet de Gramme porte sur un perfectionnement des régulateurs à solénoïdes"⁴. Cependant, traitant essentiellement du contexte dans lequel Gramme développe ses premières machines magnétoélectriques, Daumas n'a pas le loisir d'examiner davantage la question de l'éclairage électrique.

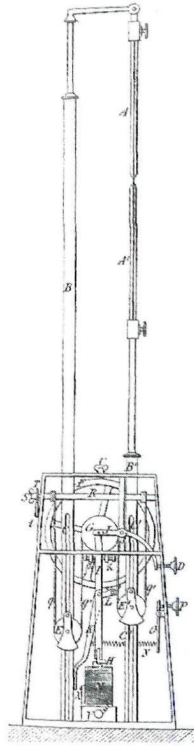
LES RECHERCHES DE GRAMME SUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DANS LES ANNÉES 1860

Le 31 août 1861, Gramme dépose un brevet de quinze ans "pour des perfectionnements apportés aux régulateurs de lumière électrique"⁵. Dans une notice nécrologique, Hippolyte Fontaine évoque la mise au point par Gramme, en mai de la même année, d'un régulateur pour lampe à arc, "entièrement en bois, et dont le fonctionnement très régulier étonna Du Moncel et surtout Van Malderen"⁶. Publiés quarante ans après les faits, ces souvenirs s'avèrent quelque peu incertains. S'il s'agit effectivement du même appareil – ce qui est très vraisemblable – le régulateur que Gramme conçoit ne comporte qu'un seul petit composant en bois seul.

La lampe à arc de Gramme est essentiellement construite en métal. Elle se compose de deux charbons, *A* et *A'*, fixés par vis de pression à des cylindres coulissants dans les tubes *B* et *B'*. Ces deux tubes sont garnis à leur extrémité inférieure de rainures *C* et *C'*. Ces rainures offrent un passage aux axes *E* et *E'* qui traversent les deux tubes, et sur lesquels reposent les extrémités inférieures des cylindres coulissants.

La grande roue *F* est montée sur un axe horizontal qui supporte également une poulie *G* et une armature *H*. Cette dernière est suspendue à l'aide de deux tiges parallèles *I*, oscillant en *J* à la manière du balancier d'une pendule, et formant fourchette.

Un levier oscillant *K*, placé dans le même plan vertical que la roue *F*, repose sur les deux tiges parallèles *I*. L'extrémité supérieure de ce levier *K* est garnie



La lampe à arc de Gramme (modèle de 1861) – Vue en élévation

Gravure extraite de *Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844*, t. LXXXI, Année 1861, Paris, 1873, classification XII, fasc. 2, pl. III, fig. 1.

d'un patin L faisant office de frein sur la roue F . Ce frein agit lorsque le balancier I s'abaisse, par la suite de l'attraction de l'électroaimant M sur l'armature H , et grâce à la résistance qu'oppose le ressort N (le levier O et la vis P servant à régler la résistance de ce ressort). Deux vis, z et z' , règlent l'amplitude du mouvement d'oscillation du balancier I .

La corde qq' est enroulée à ses deux extrémités sur l'axe horizontal R . Le cylindre qui porte le charbon A , d'une longueur et d'un poids supérieurs au cylindre qui porte le charbon A' , agit par pesanteur sur l'axe E . La poulie portée par cet axe met en mouvement les poulies G et E' par l'intermédiaire de la corde qq' . Grâce à cet équipement de poulies, en descendant, le charbon A fait monter le charbon A' .

Dans la gorge de la poulie G , de petites aspérités empêchent la corde qq' de glisser. Quand le patin L agit sur la grande roue F , les deux cylindres, et donc

les deux charbons, sont immobiles. La vis U , dans la partie supérieure du bâti, agit par pression sur la grande roue F , et bloque complètement tout mouvement du régulateur.

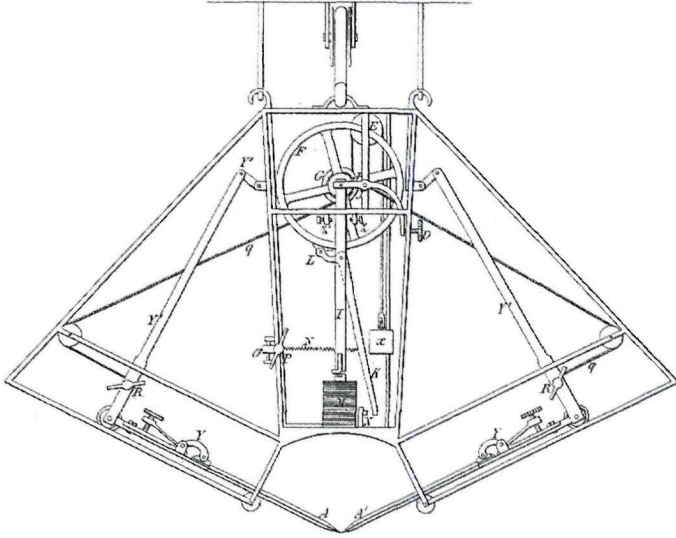
Les bornes V et V' sont fixées dans un socle en bois qui sert aussi de support à l'électroaimant M . Le courant arrive par la borne V , passe dans l'électroaimant, puis dans le tube B' avant d'arriver au charbon A' . Après avoir passé l'arc, le courant revient par le tube B à la borne V' . De la sorte, Gramme place l'arc et l'électroaimant en série dans le circuit électrique (il constitue ce que l'on nomme aujourd'hui en électricité un "circuit RL série"; l'arc présente une résistance au passage du courant électrique proportionnelle à sa longueur; l'électroaimant est pour sa part nettement moins résistif).

Avant de mettre l'appareil sous tension, les deux charbons sont en contact. Aucune force n'est induite dans l'électroaimant et le levier K est tiré par le ressort N contre la vis X . Quand on alimente la lampe par un courant électrique, le balancier I est attiré par l'électroaimant, via l'armature H . Le levier K suit le balancier, et le patin L agit comme frein sur la grande roue F . De la sorte, un mouvement rétrograde est imprimé à la grande roue, entraînée normalement dans l'autre sens par le poids du cylindre logé dans le tube B . Par conséquent, le charbon supérieur remonte, le charbon inférieur descend, et l'écart qui apparaît entre les deux charbons permet à l'arc voltaïque de prendre naissance.

Après quelques instants de fonctionnement, les charbons se sont consumés et par conséquent ont raccourci. Aussitôt que l'écartement entre les deux charbons atteint une certaine grandeur (fixée par Gramme à un millimètre), la résistance totale du circuit augmente et, en vertu de la loi d'Ohm, l'intensité du courant qui le traverse diminue. Conséquemment, la force attractive de l'électroaimant diminue proportionnellement, en vertu cette fois de la loi de Laplace. Lorsque la grandeur de cette force redevient inférieure à celle du ressort N , le levier K bascule, ce qui désolidarise le patin L de la grande roue F . Cette dernière, grâce au poids du cylindre logé dans le tube B , se meut légèrement, jusqu'à rapprocher les deux charbons par l'intermédiaire de l'équipage de poulies. Le rapprochement réalisé, la force attractive de l'électroaimant l'emporte à nouveau, et le processus s'équilibre en permanence tant que l'appareil est sous tension.

Gramme fait remarquer que l'usage de piles pour l'alimentation électrique de sa lampe provoque une usure deux fois plus rapide de l'un des charbons. Afin de pallier cet inconvénient, il suggère soit de faire passer la corde qq' dans les gorges de poulies de diamètres différents, soit d'alimenter sa lampe avec le courant alternatif produit par une machine magnétoélectrique qui provoque une usure égale des charbons.

Dans le même brevet, Gramme propose deux modifications pour la forme de sa lampe⁷. Dans la première, le mécanisme régulateur est pratiquement identique. Toutefois, les charbons, placés sous le régulateur à 120° environ l'un par rapport à l'autre, sont entraînés par un mécanisme de glissières mues par poulies et courroies. Un petit contrepoids x équilibre le poids des charbons et de leur armature. Cette disposition offre l'avantage de ne pas produire d'ombre sous la lampe.

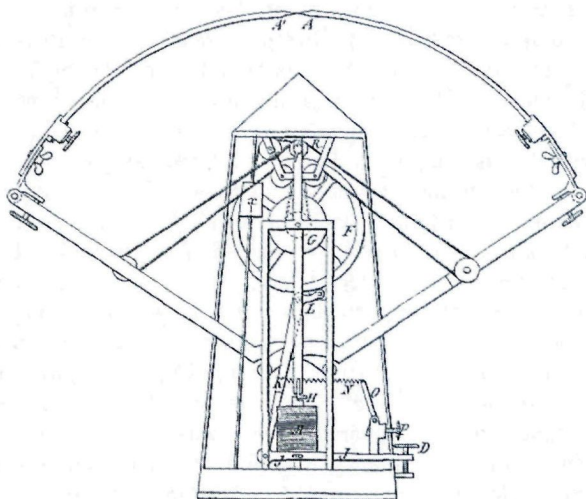


**Première modification
proposée par Gramme pour
sa lampe à arc (modèle de
1861) - Vue en élévation**

Gravure extraite de *Description des machines et
procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été
pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844*, t. LXXXI,
Année 1861, Paris, 1873, classification XII, fasc. 2, pl.
III, fig. 3.

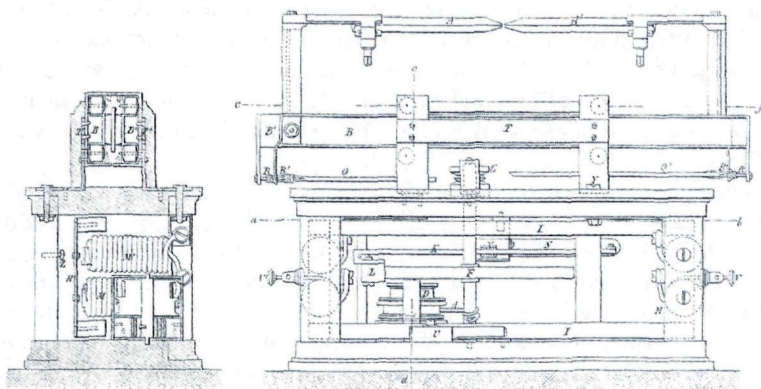
Dans la seconde modification proposée par Gramme, les charbons, en forme d'arc de cercle, sont placés sur le dessus de la lampe. Le mécanisme régulateur est semblable à celui de la première modification.

Le 4 avril 1865, Gramme prend une addition à son premier brevet. Celle-ci concerne un mécanisme régulateur conçu pour fonctionner dans toutes les positions et ne craignant pas les oscillations. Il en recommande l'usage pour la marine⁸. Quoique d'apparence différente, cette lampe est semblable dans son principe à celle imaginée quatre ans auparavant. Les charbons *A* et *A'* sont cette fois disposés horizontalement; ils sont maintenus dans des becs placés d'équerre sur deux profilés métalliques *B* et *B'*. Ces derniers se meuvent dans un plan horizontal et sont guidés par des galets en corne ou en ivoire. En s'enroulant sur la poulie à deux gorges *G*, les cordes en boyaux *Q* et *Q'* servent au rapprochement des charbons. Cette poulie *G* est calée sur le même arbre vertical que la grande roue *F*. Cet arbre est mis en mouvement par la poulie *D* à l'aide de la corde en boyaux *d*. Cette poulie *D* est solidaire d'un ressort de pendule qui est le moteur du mécanisme régulateur (en se détendant, le ressort fait mouvoir la poulie *D* qui enroule dans sa gorge la corde *d*).



**Seconde modification
proposée par Gramme pour
sa lampe à arc (modèle de
1861) – Vue en élévation**

Gravure extraite de *Description des machines et
procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été
pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844*, t. LXXXI,
Année 1861, Paris, 1873, classification XII, fasc. 2, pl.
III, fig. 3.



**La lampe à arc de Gramme (modèle de 1865) – Coupe selon cd et vue
en élévation**

Gravure extraite de *Description des machines et procédés pour
lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la
loi du 5 juillet 1844*, t. LXXXI, Année 1861, Paris, 1873,
classification XII, fasc. 2, pl. III, fig. 7 et 9.

Avant de mettre la lampe sous tension, les charbons sont en contact et le mécanisme régulateur est à l'arrêt. Quand on établit le contact électrique, le balancier *I* est attiré par les électroaimants *M* et *M'*, et le levier *K* quitte le galet *X*. Il presse alors le sabot *L* contre la grande roue *F*, ce qui donne à celle-ci un mouvement rétrograde à celui qui lui est imprimé par la poulie *D*. Par conséquent, les charbons s'éloignent l'un de l'autre et l'arc prend naissance.

Lorsque l'écartement entre les deux charbons atteint une certaine grandeur (fixée par Gramme à nouveau à un millimètre), la force développée par les électroaimants diminue (en vertu des mêmes lois fondamentales de l'électricité que celles précédemment énoncées), le levier *K* revient en contact avec le galet *X*, ce qui provoque le relâchement du sabot *L* et permet au moteur de faire tourner la grande roue d'une petite portion de course. Ce bref mouvement autorise le rapprochement des charbons; celui-ci réalisé, la force attractive des électroaimants l'emporte à nouveau. Une fois encore, ce processus s'équilibre de façon permanente tant que l'appareil est sous tension.

Le fonctionnement et les organes de cette lampe sont donc sensiblement les mêmes que ceux de la lampe de 1861. Gramme modifie le mécanisme d'entraînement des charbons afin qu'ils soient mus par un ressort de pendule plutôt que par le propre poids de l'un des charbons. Comme il ne peut plus profiter de l'effet de la gravité (les charbons étant placés à l'horizontal), il facilite le déplacement des organes portant les charbons en les faisant rouler sur des galets.

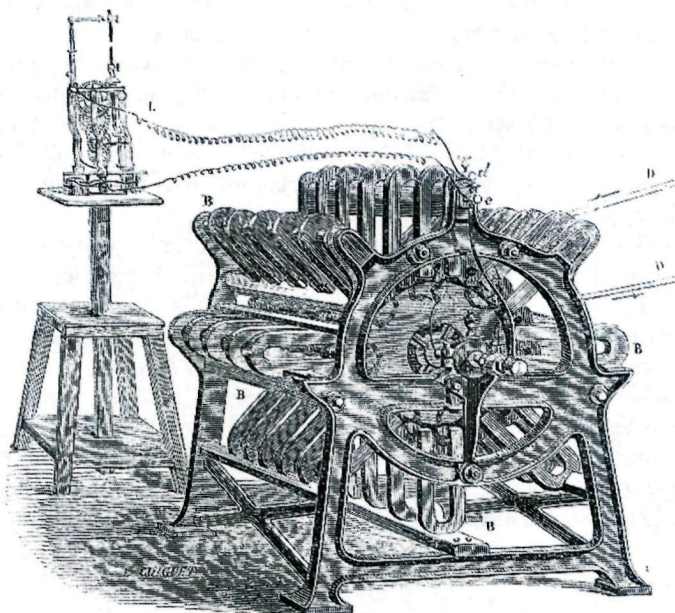
A nouveau, et dans le but d'éviter des modifications mécaniques compliquées, Gramme préconise d'alimenter cette lampe avec une machine magnétoélectrique à courant alternatif, soulignant que celle-ci permettrait aux charbons de brûler de manière à peu près égale.

Lorsque Gramme prend son premier brevet en 1861, depuis un an environ, il travaille à Paris pour la société L'Alliance, en qualité de modelleur⁹. Censé consacrer son temps à la fabrication de modèles en bois pour fonderie, comment est-il amené à imaginer et à mettre au point un mécanisme régulateur pour lampe à arc ? La réponse se trouve peut-être dans l'examen des activités de L'Alliance.

Fondée vers 1855 et installée dans un bâtiment attenant à l'Hôtel des Invalides, L'Alliance commercialise les premières grandes machines magnétoélectriques. A l'origine, l'électricité que celles-ci génèrent est employée pour décomposer l'eau par électrolyse afin d'en récupérer l'hydrogène comme gaz d'éclairage. L'idée avait été émise dès 1849 par Floris Nollet, professeur à l'Ecole royale militaire de Bruxelles¹⁰. La médiocrité des résultats obtenus mène rapidement L'Alliance à la faillite. Aussitôt réorganisée et conseillée par le comte Théodore du Moncel, l'entreprise reprend la fabrication de ses machines magnétoélectriques. Des perfectionnements techniques sont mis au point par l'ingénieur Joseph van Malderen, et ce sont les marchés des phares côtiers et de la galvanoplastie qui sont visés.

L'établissement fournit les machines alimentant les premiers phares électrifiés de France¹¹. C'est en 1863 qu'une machine L'Alliance et des lampes à arc à régulateur Serrin sont installés à l'un des deux phares de la Hève, près du

Havre¹². Après un an et demi d'expérience, les résultats sont concluants et l'électrification du second phare est décidée¹³.



La machine magnétoélectrique de L'Alliance alimentant une lampe à arc
Gravure extraite de LEFEVRE Julien, *Dictionnaire d'électricité*, Paris, 1895, p. 451, fig. 516.

Dans ce contexte, très peu de temps après son arrivée au sein d'un milieu de constructeurs d'appareils électriques, Gramme semble réaliser l'ampleur des problèmes posés par la mise au point et l'utilisation des lampes à arc. Peut-être comprend-t-il aussi l'intérêt qu'il peut y avoir à faire breveter une invention nécessaire au développement d'un nouveau marché ?

La question délicate de l'usure irrégulière des charbons lorsque celles-ci sont alimentées en courant continu a visiblement retenu son attention. Lorsqu'il préconise d'alimenter ses lampes avec une machine magnétoélectrique à courant alternatif, il y a fort à parier qu'il songe à la machine de L'Alliance, avec laquelle il se familiarise alors au quotidien et qui est conçue pour fournir aussi bien un courant redressé qu'un courant alternatif¹⁴.

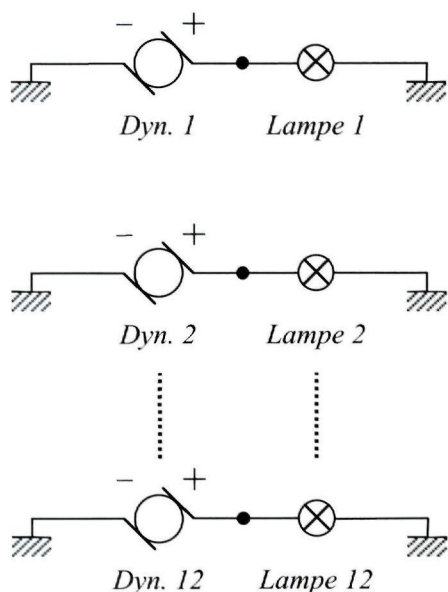
LES RECHERCHES DE GRAMME SUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DANS LES ANNÉES 1870

A partir de 1867 au plus tard, Gramme travaille avec opiniâtreté à la mise au point et au perfectionnement de machines magnétoélectriques. Pendant une

dizaine d'années, il prend plusieurs brevets pour les améliorations qu'il y apporte. Il multiplie également les essais, dont il veille soigneusement à rendre public les résultats afin de démontrer l'utilité de son invention. C'est principalement pour la galvanoplastie que Gramme teste l'efficacité de ses machines dynamoélectriques. Il cherche effectivement à démontrer qu'elles constituent une alternative avantageuse aux piles électriques¹⁵.

En 1872, dans une note à l'Académie des Sciences, Gramme souligne la possibilité qu'offre sa dynamo d'établir un nombre quelconque de pôles, et ainsi "de produire, avec une seule machine, une série de courants distincts, et de fractionner, par exemple, la lumière électrique"¹⁶. Exception faite de cette allusion, et pour quelques années encore, l'éclairage par l'électricité ne semble alors pas faire partie de ses préoccupations.

Le 8 juillet 1877, à Paris, Gramme expérimente un système d'éclairage électrique dans la nef principale du Palais de l'industrie. Il installe deux lustres composés chacun de six lampes à arc à régulateur Serrin. Douze machines dynamoélectriques de son invention produisent l'électricité, chacune alimentant une lampe. Gramme utilise la charpente métallique du bâtiment comme masse pour acheminer le courant de retour. Ainsi, un seul fil part de chaque machine pour chaque lampe. De l'avis des spectateurs présents, l'éclairage fourni est suffisant pour un concert ou toute autre festivité¹⁷. Avec la symbolique électrique contemporaine, le schéma de principe de cette installation se représente de la manière suivante:



L'utilisation d'une charpente métallique comme masse pour le retour d'un courant électrique n'est pas exceptionnelle. En 1880, le même procédé est à nouveau appliqué pour l'éclairage électrique de l'hippodrome de Paris, où fonctionnent de concert des machines Gramme à courant continu pour l'alimentation de lampes à arc, et des machines à courant alternatif du même constructeur pour celle de bougies de Jablockhoff¹⁸. Ce principe est vraisemblablement inspiré de celui mis en œuvre dans la télégraphie, où le courant de retour se fait presque toujours par le sol.

En 1879, pour l'éclairage de l'avenue de l'Opéra et de la place du Théâtre français, Gramme installe des machines à courants polyphasés de son invention¹⁹ alimentant des circuits de bougies de Jablockhoff. Ces machines sont entraînées par des moteurs à vapeur²⁰.

LES RECHERCHES DE GRAMME SUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DANS LES ANNÉES 1880

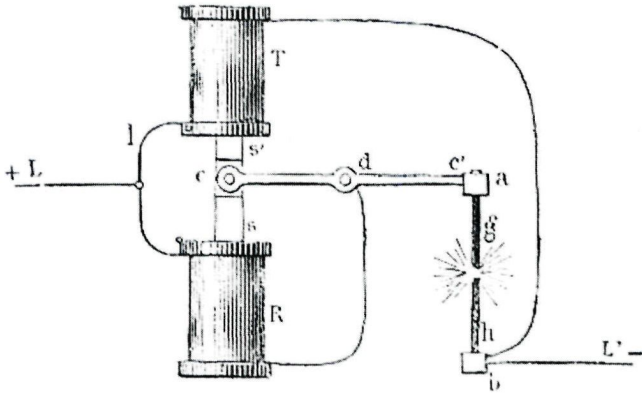
Selon Du Moncel, le régulateur que Gramme conçoit en 1861 ne lui donne pas entière satisfaction²¹. Toutefois, trop occupé par ses recherches sur les machines magnétoélectriques, il n'a visiblement pas l'occasion de le perfectionner avant 1880. Cette année là, Gramme dépose un brevet de quinze ans pour "des procédés servant à obtenir plusieurs lumières, dans un même circuit électrique, au moyen de courants continus"²². Ce brevet concerne une nouvelle variété de machine dynamoélectrique spécialement étudiée pour l'éclairage, ainsi qu'une lampe entièrement repensée.

Le 25 avril 1881, Gramme prend une addition à son brevet d'octobre pour de nouvelles dispositions des porte-crayons de sa lampe et pour une suspension pour verre cylindrique ou sphérique servant à diffuser la lumière et à protéger l'arc voltaïque contre les intempéries²³.

En 1881, Paris accueille l'exposition d'électricité. L'événement d'ampleur internationale offre à Gramme l'occasion de commercialiser sa nouvelle machine dynamoélectrique. Celle-ci, suivant sa puissance, peut alimenter de deux à vingt points lumineux. Gramme propose aussi sa nouvelle lampe à arc "robuste, rustique, difficilement dérangerable"²⁴, et "dont les organes sont d'une simplicité et d'une rusticité remarquables"²⁵. Ses machines et ses lampes sont utilisées pour l'éclairage de la grande nef du palais de l'industrie et des trois salles d'exposition du premier étage.

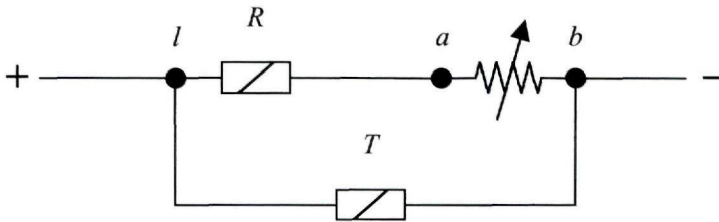
Le régulateur imaginé par Gramme est dit "à effets différentiels". Certains auteurs situent les origines de cette variété de régulateur dans l'appareil de Tchikoleff, apparu en 1869²⁶. D'autres en attribuent la paternité à Lacassagne et Thiers²⁷, deux inventeurs lyonnais, dont le mécanisme de régulation est récompensé par le prix annuel de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale en 1856²⁸. A partir des années 1870, de nombreux constructeurs, dont certains très connus tels Siemens, Lontin ou Brush, déclinent ce principe dans des régulateurs de leur invention²⁹.

En 1880, le principe de régulation à effets différentiels est donc bien connu, et pour comprendre le fonctionnement du régulateur de Gramme, il faut d'abord examiner celui de Siemens³⁰.



Le régulateur différentiel de Siemens
 Gravure extraite de CADIAT E., DUBOST L.,
Traité pratique d'électricité industrielle, Paris,
 1886, p. 287, fig. 145.

Avec la symbolique électrique contemporaine, ce mécanisme se représente schématiquement de la manière suivante:



Le régulateur différentiel de Siemens se compose d'un levier cc' , articulé autour d'un axe d . Il est garni à l'une de ses extrémités d'un porte-charbon a , et est solidaire à l'autre d'un barreau de fer doux SS' . Ce barreau pénètre à l'intérieur de deux bobines, T et R .

La bobine R est constituée d'un enroulement de fil conducteur court mais d'un diamètre important (en vertu de la loi de Pouillet, sa résistance est donc faible). Elle est placée en série avec l'arc qui se forme à la fermeture du circuit, et qui équivaut à une résistance variable. Ces deux éléments constituent le circuit principal parcouru par le courant.

La bobine T , placée en dérivation sur ce circuit principal, est composée d'un fil de petit diamètre mais d'une longueur importante (sa résistance est donc élevée, à nouveau en vertu de la loi de Pouillet).

Le courant arrive en *l* et se divise pour parcourir les deux bobines. La majeure partie de ce courant passe par la bobine *R*, puis donne naissance et entretient l'arc électrique entre les deux charbons *g* et *h*. En vertu de la loi d'Ohm, le courant traversant la bobine *T* est beaucoup plus faible du fait de la résistance élevée de cette bobine.

Au bout d'un moment, les charbons *g* et *h* s'étant naturellement consumés, l'arc s'allonge et sa résistance augmente proportionnellement. Le circuit principal devient beaucoup plus résistif, et la majeure partie du courant passe cette fois par le circuit en dérivation. La bobine *T* exerce une attraction directement proportionnelle à l'intensité du courant sur le barreau *SS'*. Le barreau plonge dans la bobine, et conséquemment fait basculer le levier *cc'* vers la droite. Les charbons se rapprochent aussitôt. Ainsi, ce mécanisme s'équilibre en permanence pour maintenir une distance constante entre les charbons *g* et *h*, et donc une longueur d'arc régulière.

Le fonctionnement du régulateur imaginé par Gramme est basé sur l'équilibre des mouvements antagonistes de deux électroaimants³¹. Le premier cherche à écarter les charbons; le second, à les rapprocher.

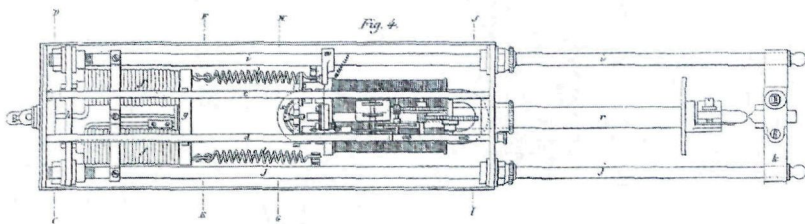
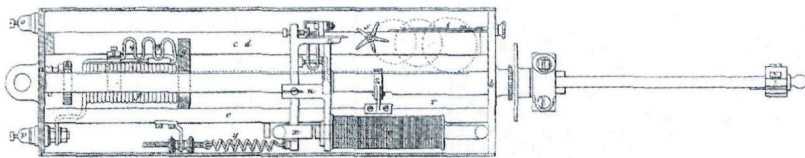


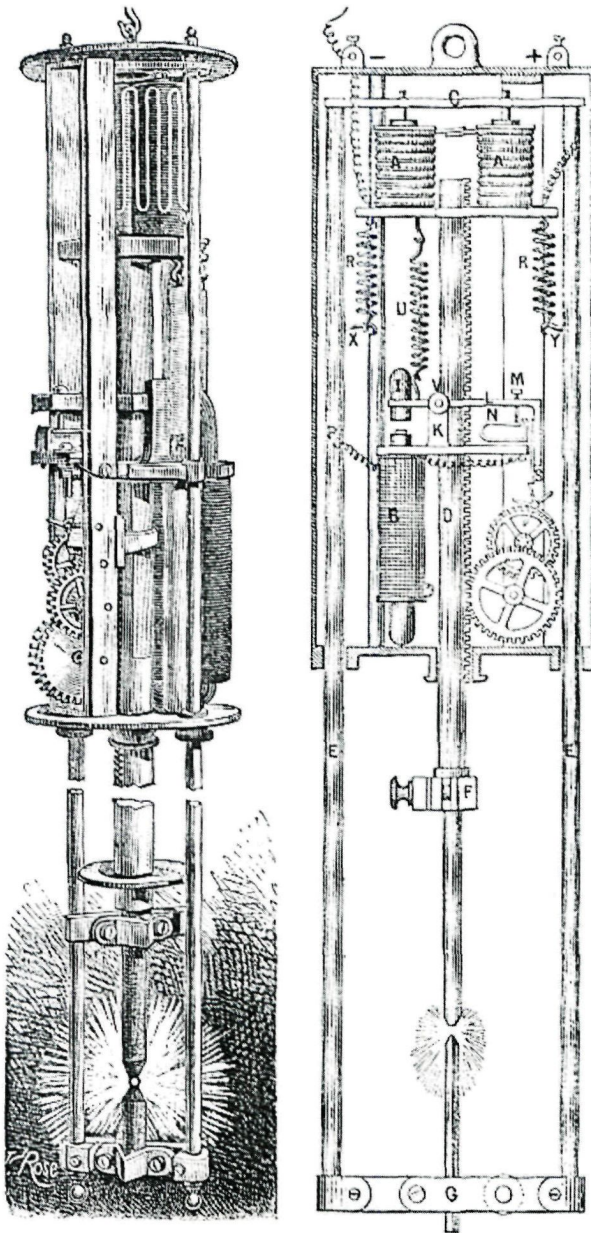
Fig. 5. Coupe par A.B.



La lampe à arc de Gramme (modèle de 1880) – Vues en coupe longitudinale

Gravure extraite de *Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844*, t. XXXV, Année 1880, nouv. sér., Paris, 1886, *Instruments de précision*, fasc. 2, pl. XXIV, fig. 4 et 5.

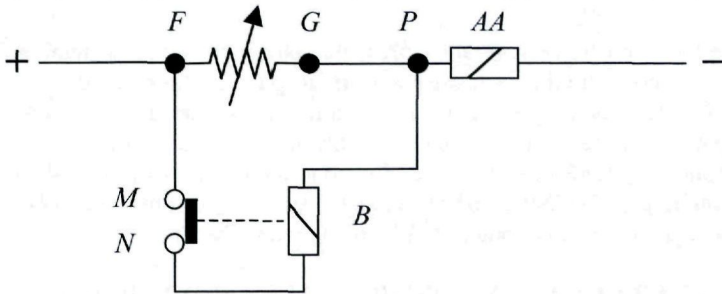
La gravure publiée dans les ouvrages d'époque est légèrement différente de celle accompagnant le brevet. L'une des deux bobines se trouve déplacée par rapport à la position que Gramme lui donne à l'origine³². Cependant, cette modification ne change en rien le principe de fonctionnement de la lampe.



La lampe à arc de Gramme (modèle de 1880) – Vue en perspective et en coupe longitudinale

Gravures extraites de HOSPITALIER E., "Nouvelle machine dynamo-électrique et régulateur à division de M. Gramme", dans *La Nature*, vol. IX, n°2, 1881, p. 53, fig. 2 et 3.

A nouveau, avec la symbolique électrique contemporaine, le schéma de principe de cet appareil est le suivant:



Le premier électroaimant *AA* se compose de deux bobines placées en série; leur conducteur est court mais de section considérable. Le second électroaimant *B* est constitué d'une bobine unique, au conducteur très long mais de faible section. Comme dans le régulateur différentiel de Siemens, et une fois encore en vertu de la loi de Pouillet, la résistance du premier électroaimant est faible; celle du second est importante.

L'armature *C*, solidaire des deux noyaux plongeants dans l'électroaimant *AA*, soutient un cadre *EGE*. Un charbon est placé dans la partie inférieure de ce cadre. Deux ressorts *R*, fixés d'une part à la culasse de l'électroaimant et de l'autre aux tiges verticales *E* du cadre (en *X* et en *Y*) soutiennent le cadre et l'armature, et maintiennent les deux charbons en contact lorsque la lampe n'est pas alimentée par un courant électrique.

Lorsque la lampe est placée sous tension, l'électroaimant *AA* attire l'armature *C*, les charbons s'écartent et l'arc jaillit. Après un certain temps, les charbons se sont consumés, la résistance de l'arc augmente, et conséquemment l'intensité diminue dans le circuit principal.

L'électroaimant *B*, placé en dérivation, et qui jusqu'alors ne recevait qu'une faible partie du courant, est traversé par un courant d'intensité croissante. Il devient ainsi capable d'attirer l'armature *I*, fixée à l'extrémité d'un levier *L* mobile autour de l'axe *V*. Le levier bascule vers la gauche, et son extrémité *S* se désengage d'un petit volant étoilé. Ce volant est solidaire d'un mécanisme à engrenages dont la dernière roue entraîne une crémaillère *D*. Le volant libéré, la crémaillère descend par gravité, ce qui abaisse le charbon supérieur et donc diminue la longueur de l'arc.

Comme il ne faut pas que ce charbon descende trop vite, l'électroaimant *B* communique avec un ressort *N* sur lequel s'appuie une vis *M* solidaire du levier *L*. C'est par ces pièces qu'est alimentée la bobine *B*; le courant la quitte par la vis *P* fixée dans la tige verticale *E*.

Or, à l'instant où l'électroaimant *B* attire l'armature *I*, la vis *M* se soulève. Le ressort *N* se détend jusqu'à être arrêté par une petite butée d'angle. La

dérivation est alors ouverte et la bobine *B* cesse d'agir sur l'armature *I*. Le levier *L* retombe, et son extrémité *S* embraye de nouveau dans le volant étoilé. La crémaillère étant de ce fait bloquée, le charbon supérieur cesse de descendre.

Avec ce procédé, à chaque fois que l'écart entre les deux charbons augmente au-delà d'une certaine distance, le mécanisme corrige automatiquement l'écartement.

Quoique très robuste, ce régulateur présente deux inconvénients notables³³. D'une part, son point lumineux n'est pas statique puisqu'il se déplace vers le bas à mesure de l'usure des charbons. D'autre part, son fonctionnement s'effectue par une succession de secousses imprimées par le levier au ressort et au volant étoilé, ce qui génère une succession continue de déclics bruyants. Pour l'éclairage intérieur, le volant étoilé et la lame d'embrayage sont remplacés par un petit patin agissant sur une roue lisse à la manière d'un sabot de frein.

GRAMME ET L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES ARDOISIÈRES D'ANGERS³⁴

À l'aube des années 1860, l'ingénieur des mines Aimé Blavier envisage l'électrification des ardoisières angevines³⁵. Jusqu'alors, l'éclairage y est assuré par des lampes individuelles à feu nu. Quelques exploitations bénéficient de l'éclairage au gaz après avoir installé de petites usines de distillation de la houille à proximité³⁶. En 1861, malgré d'importants investissements consentis pour l'installation de plusieurs usines à gaz, Blavier et quelques exploitants commencent à s'interroger quant à l'utilisation possible de la lumière électrique pour l'éclairage des travaux souterrains.

Deux ans plus tard, l'ingénieur Ernest Bazin négocie avec la compagnie de l'Alliance l'exploitation du brevet de la machine magnétoélectrique de Nollet dans le département de Maine-et-Loire. Bazin (1826-1898), originaire d'Angers, est ingénieur et capitaine au long cours. Sa vie durant, il poursuit des recherches en statistique et multiplie les inventions en hydrologie, en navigation³⁷ et en électricité³⁸.

Aussitôt acquis les droits du brevet, Bazin constitue une société pour son exploitation. En avril 1863, il propose à la commission des ardoisières d'Angers d'installer un réseau d'éclairage électrique dans les travaux souterrains. Sceptique, ladite commission lui demande d'abord une démonstration.

Du 1^{er} au 10 septembre 1863, un essai est réalisé à la carrière de la Papeterie, sous la surveillance "des agents les plus expérimentés de la Compagnie l'Alliance, notamment M. Gramme"³⁹. L'installation testée consiste en deux machines de Nollet actionnées par deux machines à vapeur, transmettant le courant à deux lampes système Gramme, garnies de réflecteurs et placées dans les galeries. L'installation fonctionne dix jours et dix nuits sans interruption.

Les délégués de la commission des ardoisières constatent l'excellent fonctionnement du système et apprécient ses avantages par rapport à l'éclairage au gaz. Cependant, les exigences de Bazin ne permettent pas à l'affaire de se conclure. La commission des ardoisières juge effectivement excessive la prétention de la société de Bazin de fournir elle-même l'électricité pour l'éclairage. Ne pouvant trouver un accord avec cette dernière, la commission

décide de mettre un terme à toute relation. Il faut attendre une quinzaine d'années pour que l'énergie électrique fasse à nouveau son entrée chez les ardoisiers⁴⁰.

Les deux principaux biographes de Gramme font allusion aux rapports entretenus par ce dernier avec l'ingénieur Ernest Bazin⁴¹. L'un et l'autre restent très vagues sur la nature exacte des relations qui lient les deux hommes, et contrairement à ce qu'ils affirment, aucun document connu à ce jour ne permet d'établir avec certitude que Gramme est entré au service de Bazin.

Il convient cependant de noter que l'addition au brevet de 1861 est prise le 4 avril 1865 par "Mr Gramme (Zénobe Théophile), mécanicien, rue de la Chalouère, 59 à Angers"⁴². Comme le prescrit la loi du 5 juillet 1844, le déposant peut faire enregistrer son invention au secrétariat d'une préfecture qui transmet documents, notes techniques et plans au ministère du Commerce à Paris. Après vérification de la régularité de la forme de la demande, le brevet est délivré par arrêté ministériel⁴³.

Si cette archive atteste qu'en 1865 Gramme ne réside plus à Paris mais bien dans le chef-lieu du département de Maine-et-Loire, elle ne prouve pas pour autant qu'il travaille pour Bazin.

Gramme n'oubliera pas que les ardoisiers constituent des clients potentiels pour ses appareils électriques. Dès 1879 et jusque dans les années 1890, plusieurs lui achètent des machines dynamoélectriques pour l'alimentation de lampes à arc destinées à l'éclairage des travaux souterrains⁴⁴.

CONCLUSIONS

Injustement méconnue, l'éclairage électrique est une partie des recherches de Gramme très florissante et qui l'a visiblement beaucoup occupé durant ses premières années en France.

L'ingéniosité et la complexité des mécanismes qu'il met au point dans ses divers modèles de lampes à arc ainsi que la recherche de toutes les combinaisons qu'il est possible d'en faire témoignent d'un savoir-faire et d'une habileté dignes davantage d'un fin mécanicien que d'un menuisier.

Gramme pressent-il dès le début des années 1860 qu'un fructueux marché pourrait bien éclore avec le développement de l'électricité ? Le simple fait de prendre un brevet autorise à penser que l'intérêt qu'il peut retirer de ses inventions ne le laisse pas indifférent. Le sens des affaires dont Gramme fera preuve avec sa dynamo paraît déjà en germe⁴⁵.

Que dès 1861 Gramme préconise d'alimenter ses lampes avec une machine magnétoélectrique à courant alternatif est à souligner. Comme le fait remarquer Daumas, "il est en contact avec les problèmes d'électricité depuis un an seulement, et il a compris que si on alimente les arcs en courant alternatif, les deux charbons subiront une usure égale. Il faut replacer cette idée dans les conceptions de l'époque qui ne pense qu'en courant continu au prix d'une complication des mécanismes (...). Preuve d'une remarquable perspicacité et d'une compréhension des phénomènes et des fonctionnements des machines qui nous laissent perplexes devant ce qu'on nous a dit sur son ignorance de primaire (...). Il faudrait étudier de plus près le milieu de techniciens avec lequel

Gramme était en relation pour comprendre sa démarche personnelle. La prise de brevets nous paraît déjà moins insolite, non plus que l'idée que le courant alternatif serait d'un meilleur effet pour alimenter les lampes à arc⁴⁶.

Centre d'Histoire des Sciences et des Techniques
Université de Liège
Quai Banning 6
4000 Liège

NOTES

- 1 Voir sur ce sujet les contributions récentes de RAMUNNI Girolamo, "L'électromagnétisme de Coulomb à Gramme", dans CARON François, CARDOT Fabienne (dir.), *Histoire générale de l'Électricité en France*, t. I, *Espoirs et conquêtes 1881-1918*, Paris, 1991, p. 92-112; et de TOMSIN Philippe, "Faits et questions à propos de Zénobe Gramme et de ses recherches et inventions", dans *Bulletin scientifique de l'Association des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut Montefiore*, vol. 115, n°3-4, 2002, p. 17-36.
- 2 COLSON Oscar, *Zénobe Gramme, sa vie et ses œuvres*, Liège, 1913, p. 48.
- 3 PELESENEER Jean, *Zénobe Gramme*, Bruxelles, 1941, p. 11.
- 4 DAUMAS Maurice, "Zénobe Gramme: incertitudes biographiques", dans *Technologia*, vol. 6, n°1, 1983, p. 9.
- 5 *Institut national de la propriété industrielle*, Paris, brevet n°51.023 du 31 août 1861, f° 1-8 (microfilm n°735); ce brevet est intégralement publié dans *Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844*, t. LXXXI, *Année 1861*, Paris, 1873, classification XII, fasc. 2, p. 22-26 et pl. III. Comme Daumas l'avance, il semble qu'il s'agit effectivement du premier brevet pris par Gramme depuis son installation à Paris. Les volumes annuels du *Catalogue des brevets d'invention dressé par ordre de M. le Ministre de l'Agriculture et du Commerce* ne font pas mention d'autres brevets pris par Gramme avant celui-ci.
- 6 FONTAINE Hippolyte, notice nécrologique sur Gramme, dans *L'industrie électrique*, t. X, 1901, p. 54.
- 7 *Description des machines...*, *op. cit.* (1873), p. 23-24.
- 8 *Ibid.*, p. 24-26.
- 9 FONTAINE H., *op. cit.*, p. 53.
- 10 LEROUX F.-P., "Études sur les machines magnéto-électriques", dans *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. L, 1857, p. 463-464.
- 11 DU MONCEL Th., *L'éclairage électrique*, vol. I, *Générateurs de lumière*, Paris, 1883, p. 94; BONNEFONT Gaston, *Le règne de l'électricité*, Tours, 1895, p. 231.
- 12 GUEROUT A., "L'éclairage électrique des côtes de France", dans *La Lumière électrique*, vol. V, 1881, p. 29; CAZIN A., *L'étincelle électrique*, Paris, 1880, p. 290-291.
- 13 GUEROUT A., *op. cit.*, p. 25.
- 14 DU MONCEL Th., *op. cit.*, vol. I, p. 93.
- 15 TOMSIN Ph., *op. cit.*, p. 30.
- 16 "Sur les machines magnéto-électriques Gramme, appliquées à la galvanoplastie et à la production de la lumière. Note de M. Gramme", dans *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXV, 1872, p. 1498.
- 17 Bref compte-rendu de la manifestation dans *La Nature*, vol. V, n°2, 1877, p. 110-111.
- 18 HOSPITALIER E., "Les grandes usines électriques de Paris. Les magasins du Louvre. L'hippodrome", dans *La Nature*, vol. VIII, n°1, 1880, p.360.

- 19 Ces machines constituent une invention de Gramme peu connue mais très remarquée à son époque. Elles feront l'objet, en août 2004, d'une communication au LIVE Congrès de la Fédération des Cercles d'Archéologie et d'Histoire de Belgique, à Louvain-la-Neuve (*La contribution de Zénobe Gramme au développement des machines à courants polyphasés*).
- 20 NIAUDET Alfred, "L'éclairage électrique à Paris", dans *La Nature*, vol. VII, n°1, 1879, p. 28-31.
- 21 DU MONCEL Th., *L'éclairage électrique*, vol. II, *Appareils de lumière*, Paris, 1883, p. 137.
- 22 *Institut national de la propriété industrielle*, Paris, brevet n°139.178 du 15 octobre 1880 (microfilm n°1.995); ce brevet est intégralement publié dans *Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844*, t. XXXV, *Année 1880*, nouv. sér., Paris, 1886, *Instruments de précision*, fasc. 2, p. 139-140 et pl. XXIV.
- 23 *Ibid.*, p. 140-141.
- 24 HOSPITALIER E., "Nouvelle machine dynamo-électrique et régulateur à division de M. Gramme", dans *La Nature*, vol. IX, n°2, 1881, p. 52-54.
- 25 LEFEVRE Julien, *Dictionnaire d'électricité*, Paris, 1895, p. 411-412, fig. 463.
- 26 DU MONCEL Th., *op. cit.*, vol. II, p. 111-112 et 114.
- 27 PARVILLE H., *L'électricité et ses applications. Exposition de Paris*, Paris, 1882, p. 285, note 1; HOSPITALIER E., *op. cit.* (1881), p. 53.
- 28 FIGUIER Louis, *L'année scientifique et industrielle. Deuxième année*, Paris, 1858, p. 488.
- 29 DU MONCEL Th., *op. cit.*, vol. II, p. 111 sq.
- 30 CADIAT E., DUBOST L., *Traité pratique d'électricité industrielle*, Paris, 1886, p. 286-288; HOSPITALIER E., "L'éclairage électrique système Siemens", dans *La Nature*, vol. VIII, n°1, 1880, p.179-182.
- 31 *Description des machines...*, *op. cit.* (1886), p. 140.
- 32 LEFEVRE J., *op. cit.*, p. 412; HOSPITALIER E., *op. cit.* (1881), p. 53-54; DU MONCEL Th., *op. cit.*, vol. II, p. 137-139; v. aussi LABOULAYE Ch., article "Eclairage électrique", dans *Dictionnaire des arts et manufactures et de l'agriculture formant un traité complet de technologie*, t. II, Paris, 1891, sans n° de p.; et SARTIAUX Eugène, ALIAMET Maurice, *L'électricité de 1562 à 1900. Monographie du musée rétrospectif français de l'électricité à l'exposition universelle de 1900*, Paris, 1903, p. 140, n°208.
- 33 CHEVALIER Henry, *Cours pratique d'électricité industrielle*, t. II, Paris, 1910, p. 34.
- 34 Le succès des recherches sur ce sujet doit beaucoup à l'analyse des documents que M. Sylvain Bertoldi, archiviste de la Ville d'Angers, a eu la gentillesse de m'adresser. Je le remercie pour m'avoir fait parvenir les copies d'articles de revues et de journaux angevins introuvables en Belgique.
- 35 LORIEUX E., "Notice nécrologique sur Aimé Blavier", dans *Annales des Mines*, 9e série, t. XI, 1897, p. 122; v. aussi KEROUANTON Jean-Louis, "Blavier (1827-1896), ingénieur des mines et président de la commission des ardoisières d'Angers", dans *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, t. CIV, n°3, 1997, p.153.
- 36 TURGAN, *Les grandes usines. Etudes industrielles en France et à l'étranger*, vol. VI, Paris, 1870, p. 138.
- 37 Notice nécrologique anonyme, dans *Revue de l'Anjou*, janvier-février 1898, p. 157-160; Bazin travaille notamment à la recherche et à l'inventaire des galions espagnols ayant sombré dans la baie de Vigo, sur la façade atlantique de l'Espagne. Pour l'occasion, il imagine plusieurs mécanismes pour l'exploration et l'extraction de la vase qui immobile les épaves qu'il explore lui-même au moyen d'une cloche à plongeur de son invention (*ibid.*, p. 158-159). Un plan d'un mécanisme de renflouement des bateaux imaginé par Gramme, et conservé aux archives de l'Institut Gramme de Liège, est peut-être à mettre en relation avec ces événements (Archives de l'Institut Gramme de Liège, *Mémoire descriptif déposé à l'appui de la demande d'un brevet d'invention de 15 ans pour des engins servant au sauvetage des navires par M. Gramme (Zénobe Théophile), mécanicien à Paris*, manuscrit, non daté, 12 f°, sans n° d'inventaire. Ce document accompagne un plan aquarellé de l'invention, portant dans le coin inférieur droit la

- mention "Dressé par l'inventeur soussigné, Paris le", non daté, sans n° d'inventaire). Cette invention ne semble finalement pas avoir été brevetée par Gramme, car on n'en trouve la trace dans aucun des volumes du *Catalogue des brevets d'invention dressé par ordre de M. le Ministre de l'Agriculture et du Commerce*.
- 38 V. par exemple HOSPITALIER E., "La pile rotative de M. Bazin", dans *La Nature*, vol. XIII, 1885, p.144.
- 39 BLAVIER A., "L'éclairage électrique aux ardoisières d'Angers", dans *Journal de Maine-et-Loire*, 19 avril 1880.
- 40 *Ibid.*; RAVAIN J.-R., "L'éclairage électrique en Anjou", dans *Revue de l'Anjou*, juin 1880, p. 93-94.
- 41 COLSON O., *op. cit.*, p. 49; PELSENEER J., *op. cit.*, p. 11.
- 42 *Institut national de la propriété industrielle*, Paris, certificat d'addition au brevet n°51.023 du 4 avril 1865, f° 10 (microfilm n°735). Cette donnée ne figure pas dans la publication du certificat.
- 43 EMPTOZ Gérard, MARCHAL Valérie, *Aux sources de la propriété industrielle. Guide des archives de l'INPI*, Paris, 2002, p. 43.
- 44 RAVAIN J.-R., *op. cit.*, p. 94-96; CUCARULL Jérôme, "L'industrie ardoisière en Ille-et-Vilaine dans la seconde moitié du XIXe siècle. Les limites d'une industrialisation en milieu rural", dans *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, t. CIV, n°3, 1997, p. 109.
- 45 Sur ce sujet, v. TOMSIN Ph., *op. cit.*, p. 30.
- 46 DAUMAS M., *op. cit.*, p. 9 et 12.