

Un puissant auxiliaire de la science et de l'industrie : l'arc voltaïque : son mécanisme et ses applications

Autor(en): **Guye, Ch.-Eug.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **91 (1908)**

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90165>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Un puissant auxiliaire de la science
et de l'industrie; l'arc voltaïque; son mécanisme
et ses applications.

Par

Ch.-Eug. Guye,

Professeur de Physique à l'Université de Genève.

Lorsqu'en 1783 la cour de Louis XVI assistait aux immortelles expériences des frères Montgolfier, au milieu de l'enthousiasme général, un gentilhomme demandait sceptiquement à Benjamin Franklin — „A quoi servent les ballons?“ — A quoi sert un enfant qui vient de naître se contenta, comme on sait, de répondre son illustre interlocuteur.

La belle réponse de Franklin trouverait bien souvent place dans l'histoire des découvertes scientifiques. Effectivement l'enfant peut devenir un homme et même un personnage parfois considérable dans le monde de la science et de l'industrie. Ce fut le cas de l'arc voltaïque.

En 1800 Sir Humphrey Davy venait d'entrer en possession d'une pile de deux mille éléments Bunsen, qui lui avait été offerte par souscription. Ayant relié les deux pôles de cette pile à deux baguettes de charbon, il vit apparaître après les avoir mises au contact et les avoir écartées doucement, une modeste petite flamme, à laquelle le courant d'air chaud donnait la forme d'un arc et qu'il appela *arc voltaïque*.

Depuis sa découverte, l'arc voltaïque est devenu non seulement le foyer de lumière le plus puissant, mais l'électro-

chimie et l'électrométallurgie le comptent au nombre de leurs auxiliaires les plus précieux. C'est en même temps un des moyens les plus puissants mis à la disposition des chercheurs pour la production des très hautes températures.

Depuis quelque dix ans, c'est même une révolution économique et presque sociale qu'on attend de lui. Le problème de la fixation de l'azote atmosphérique, c'est-à-dire la fabrication en grande quantité et à bon marché des azotates et par conséquent de toute une catégorie d'engrais chimiques, est abordée par la combustion directe de l'azote et de l'oxygène de l'air au sein de l'arc voltaïque.

Indépendamment de ces grandioses applications qui absorbent l'énergie des forces naturelles par centaines de mille chevaux, l'arc voltaïque a donné lieu à toute une série d'emplois moins importants dont nous aurons l'occasion de dire quelques mots. Il a permis surtout d'aborder avec succès et dans des conditions de réussite qui dépassent de beaucoup tous les essais antérieurs l'important problème de la téléphonie sans fil.

La science et l'industrie ne peuvent avoir de serviteur plus souple et plus dévoué.

I. Description du phénomène de l'arc.

Rappelons d'abord brièvement les faits observés et, pour plus de clarté, choisissons l'arc entre électrodes de charbon ; le plus connu, le mieux étudié, précisément à cause de l'importance de ses applications.

Si l'on projette sur un écran, au moyen d'une lentille, l'image des charbons d'une lampe à arc à courant continu, on reconnaît d'abord que l'arc lui-même a beaucoup moins d'éclat que l'extrémité des charbons portée à l'incandescence.

Le charbon positif est d'ailleurs plus lumineux que le charbon négatif, ce qui est l'indice d'une plus haute température ; de plus, il se creuse en forme de cratère tandis que le charbon négatif se taille de lui-même en forme de pointe.

La température du charbon positif a été évaluée par Mr. Violle à 3500°, celle du charbon négatif à 2700°, quant à celle de l'arc, elle serait généralement supérieure à celle des charbons. Le faible pouvoir éclairant de l'arc ne serait dû qu'à sa nature gazeuse et au faible pouvoir émissif des gaz chauds lorsque n'interviennent pas ces phénomènes de luminescence si caractéristiques par exemple dans les tubes de Geissler.

Il importe également de remarquer que la surface lumineuse du cratère positif est d'autant plus étendue que l'intensité du courant est plus considérable, mais l'éclat intrinsèque de cette surface, c'est-à-dire la quantité de lumière émise par millimètre carré, reste à peu de chose près la même quelque soit l'intensité du courant.

Il semble donc que la température du cratère positif soit indépendante de l'intensité du courant et que cette température soit limitée par un phénomène physique. Pour beaucoup de physiciens, cette température serait celle de l'ébullition du carbone.

Rappelons enfin que le charbon positif s'use beaucoup plus rapidement que le charbon négatif et que l'on constate nettement un transport de matière du charbon + au charbon - (Blondel).

Tels sont dans leur ensemble les phénomènes observés dans l'air à la pression atmosphérique. Si l'on opère dans le vide, à part l'action de l'oxygène qui produit la combustion des charbons et le sifflement de l'arc, les phénomènes restent les mêmes dans leurs traits principaux.

II. Théorie de l'arc.

Bien que l'arc voltaïque soit connu depuis plus d'un siècle et qu'on l'utilise dans des applications qui absorbent des centaines de mille chevaux, le mécanisme intime de son fonctionnement reste encore mystérieux sur bien des points. L'arc en effet est un cas particulier du phénomène

général de la décharge électrique à travers les gaz, phénomène particulièrement complexe et délicat à étudier.

Fleeming pensait que l'arc était produit par des particules de carbone arrachées au charbon négatif; que ces particules chargées négativement servaient ainsi de véhicule à l'électricité et que le courant qui traversait l'arc était un véritable courant de convection.

Ces particules de charbon électrisées en venant frapper le charbon positif l'échauffaient et le creusaient en forme de cratère, comme l'aurait fait un jet de sable. Cette explication très simple et qui conserve une part de vérité n'est plus suffisante à l'heure actuelle.

Les physiciens du jour se sont donné pour tâche de faire rentrer le phénomène de l'arc, dans les lois générales de la décharge électrique à travers les gaz. Ils invoquent donc pour l'expliquer ces phénomènes de dissociation de la matière, de *dissociation atomique* avec lesquels la radioactivité et les rayons cathodiques nous ont particulièrement familiarisés, et qui prennent une importance toujours plus grande dans l'explication des phénomènes physiques.

Deux savants très autorisés, MM. J. J. Thomson et J. Stark, ont réussi presque simultanément à établir une théorie du fonctionnement de l'arc, satisfaisante dans ses grandes lignes et tout à fait conforme aux idées actuelles sur le mécanisme de la conductibilité des gaz pour l'électricité. Nous nous permettons de la résumer brièvement. Mais rappelons d'abord un point fondamental: l'arc ne peut jaillir ou subsister *que si l'électrode négative ou cathode est portée à l'incandescence*, que cette incandescence soit produite par le courant lui-même ou par une action extérieure quelconque (passage d'une étincelle électrique, chauffage artificiel, etc.).

Or les recherches récentes sur la conductibilité des gaz ont montré que tout corps porté à l'incandescence émet en quantité d'autant plus grande que sa température est plus élevée, des électrons négatifs ou corpuscules.

Ce sont donc ces électrons négatifs, cette poussière d'atome, qui serait projetée avec une grande vitesse par la cathode et viendrait choquer les molécules de gaz ou de vapeur qui se tiennent dans son voisinage.

Dans le cas où l'anode est suffisamment rapprochée, il est même possible d'admettre que les électrons frappent directement l'anode.

De ces chocs résulte une nouvelle dissociation atomique à laquelle on a donné le nom de *ionisation*. En d'autres mots un certain nombre de molécules ou d'atomes de l'atmosphère gazeuse qui baigne les électrodes, sont brisés par ces chocs; chacune des parties résultant de cette dissociation devient alors un centre électrisé, l'une constituant le *ion électro positif* (chargé positivement), l'autre le *ion électro négatif* (chargé négativement et d'une charge égale).

Comme ces ions se trouvent dans un champ électrique, ils vont se mouvoir en sens inverse, les uns vers la cathode, les autres vers l'anode, choquant et ionisant à leur tour d'autres molécules ou atomes sur leur passage.

Le résultat final de ce processus est un véritable bombardement de la cathode par les ions positifs et de l'anode par les ions et les électrons négatifs; c'est ce bombardement qui élèverait la température et maintiendrait en particulier l'incandescence de la cathode, nécessaire à l'émission toujours renouvelée de nouveaux électrons; c'est lui qui assurerait ainsi la persistance de l'arc.

Telle est dans ses grandes lignes, débarassée de tous calculs, de toute discussion des arguments et des objections qu'elle peut soulever, la théorie moderne de l'arc voltaïque.

Si les conséquences de cette théorie ne peuvent être vérifiées complètement à l'heure actuelle d'une façon quantitative, elle est cependant satisfaisante qualitativement. Elle est basée avant tout sur la ionisation du milieu et il en résulte cette conséquence importante, conforme d'ailleurs à

l'expérience, que *toute cause tendant à ioniser le milieu, facilitera le passage de l'arc, toute cause qui gênera cette ionisation tendra à l'éteindre*. Nous reviendrons sur cette question lorsque nous parlerons de la stabilité de l'arc.

III. Fonctionnement de l'arc.

Si le mécanisme de l'arc est encore obscur sur bien des points, comme nous l'avons dit déjà, fort heureusement pour l'industrie, on peut utiliser l'arc sans connaître ce mécanisme ; il suffit de savoir quelles sont les règles à suivre pour l'utiliser : la puissance qu'il consomme, le courant qu'il absorbe, la tension électrique qu'il exige, la chaleur qu'il dégage etc. et ces conditions connues par l'expérience permettront aux ingénieurs et aux techniciens de faire de l'arc voltaïque ce puissant auxiliaire dont nous nous sommes donné la tâche de faire ressortir les nombreux services.

C'est à Mme Ayrton qu'on doit d'avoir établi une relation fondamentale entre la tension électrique, l'intensité du courant et la longueur de l'arc entre charbons. Que l'on désigne par (e) la tension électrique, telle qu'elle serait mesurée par un voltmètre qui réunirait les deux charbons, par (l) la longueur de l'arc, c'est-à-dire l'écart des deux charbons et par (i) l'intensité du courant qui traverse, la relation expérimentale établie par Mme Ayrton est :

$$e = A + Bl + \frac{C + Dl}{i}$$

dans laquelle A B C D sont quatre constantes qui dépendent principalement de la nature des charbons employés et de l'atmosphère dans laquelle jaillit l'arc.

Nous voulons ici laisser de côté les développements et les conséquences fort instructives d'ailleurs pour le spécialiste, que l'on peut tirer de la discussion algébrique de cette formule. Nous nous contenterons de représenter la loi de Mme Ayrton graphiquement (fig. 1), en prenant comme

ordonnée la tension (e) aux charbons et comme abscisse l'intensité du courant (i) et cela pour diverses longueurs d'arc.

Nous obtenons ainsi un ensemble de courbes qui sont des hyperboles et représentent en un seul graphique toutes les conditions de fonctionnement de l'arc entre charbons.

Si nous faisons abstraction de la partie droite de la figure relative à l'arc sifflant (phénomène observé avec les

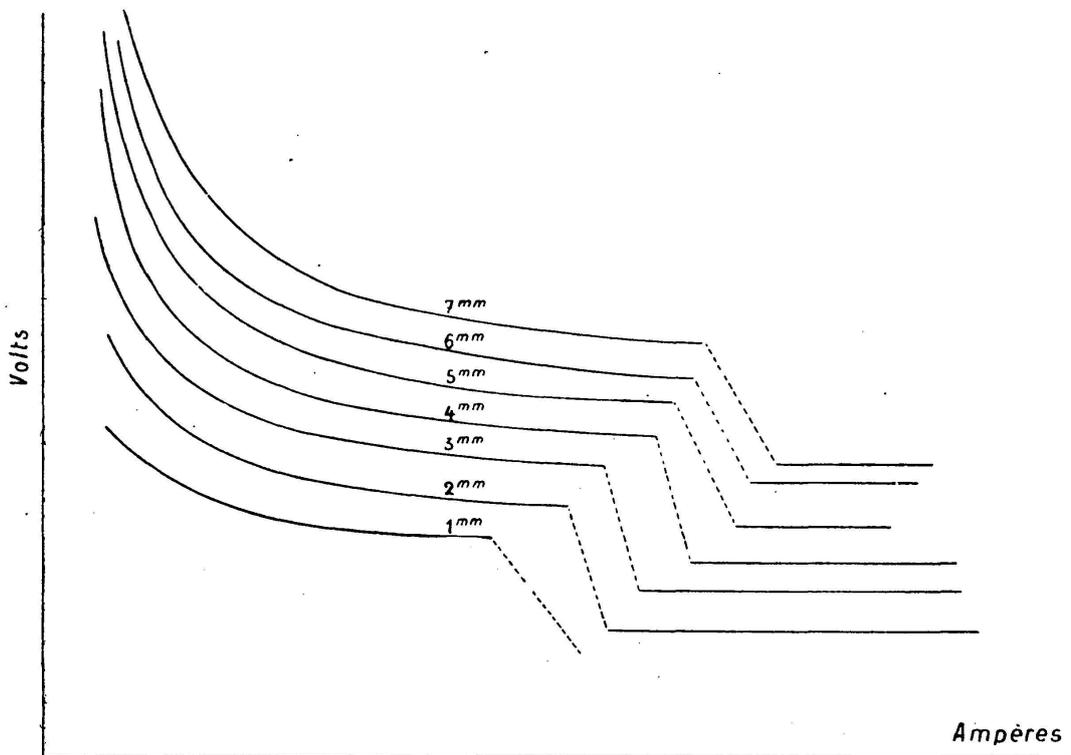


Fig. 1.

arcs courts et intenses dans une atmosphère oxygénée), nous tirerons de ce graphique quelques conclusions importantes.

1° *Les arcs courts et intenses nécessitent pour leur fonctionnement une tension relativement faible. Au contraire les arcs longs et de faible intensité ne peuvent exister qu'à la condition d'employer des tensions très élevées.*

2° *Quel que soit le rapprochement des charbons et l'intensité du courant, il faut pour que l'arc puisse jaillir*

disposer d'une certaine tension minimum (représentée par le terme A de la formule).

Ce voltage limite à partir duquel l'arc devient possible a longtemps intrigué les physiciens. On avait invoqué pour l'expliquer l'existence d'une force contre-électromotrice de l'arc; à l'heure actuelle il a trouvé une explication satisfaisante dans les nouvelles théories dont nous avons exposé le principe.

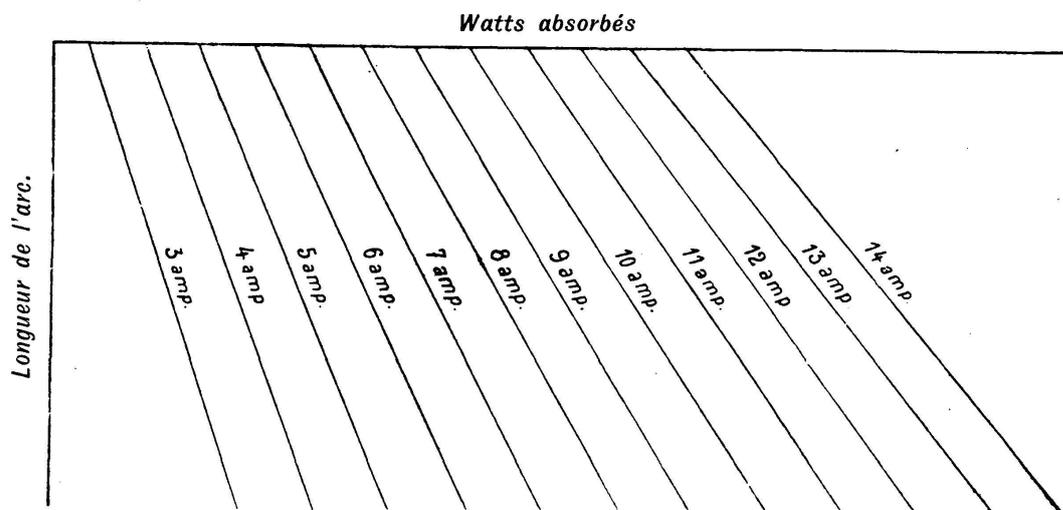


Fig. 2.

Une autre considération, particulièrement importante au point de vue pratique, peut se déduire des courbes précédentes : c'est la *puissance consommée* principalement sous forme de chaleur dans l'arc.

Les travaux de Mme Ayrton ont montré également que cette puissance peut être exprimée par des droites (fig. 2). Il en résulte que : *Pour des arcs de même intensité elle augmente proportionnellement à la longueur de l'arc, pour des arcs de même longueur elle augmente proportionnellement à l'intensité du courant qui traverse l'arc.*

Telles sont les lois expérimentales les plus caractéristiques du fonctionnement de l'arc à courant continu entre charbons. Avec d'autres constantes numériques,

elles sont les mêmes pour les arcs courts jaillissant entre métaux.¹⁾

La connaissance des lois résumées par ces graphiques est évidemment fort utile aux praticiens en ce sens qu'elles peuvent lui servir de guide et lui indiquer le sens des phénomènes. Il ne faudrait cependant pas en exagérer l'importance ; elles ne permettent pas la plupart du temps des calculs pour lesquels les données numériques font d'ailleurs défaut. Les arcs sur lesquels ces graphiques ont été établis sont des arcs courts à courant continu d'intensité moyenne jaillissant dans un air tranquille tels qu'on les produit dans les laboratoires.

Les arcs utilisés dans l'industrie ont souvent une puissance mille fois supérieure, sont soufflés et déformés par des champs magnétiques ou des courants d'air énergiques, enfin jaillissent souvent dans une atmosphère dont la composition dépend des réactions mêmes qui se produisent dans le four.

Il est aisé de comprendre alors que la ionisation, et la diffusion des ions, doit s'effectuer dans des conditions différentes dont on ne peut guère prévoir que les grandes lignes. Les conditions d'existence et de persistance de l'arc se trouvent donc pratiquement totalement modifiées.

IV. Stabilité de l'arc.

L'arc voltaïque est un courant électrique de nature particulièrement instable. Le moindre courant d'air l'allonge et par conséquent tend à l'éteindre ; le plus souvent même cet allongement se produit automatiquement par l'ascension de l'air échauffé²⁾ par l'arc. D'autres fois le courant d'air tend à produire l'extinction de l'arc par simple refroidissement de la cathode.

¹⁾ C. E. Guye et L. Zebrikoff. Arch. Sc. phys. Décembre 1907 et C. R. 1907 de l'Acad. des Sc. Paris.

²⁾ L'allongement automatique de l'arc est même utilisé dans la construction de certains parafoudres dits parafoudres à cornes.

D'une façon générale, toute cause qui tend à faciliter la ionisation dans le milieu gazeux qui sépare les électrodes, facilitera en même temps l'établissement et le maintien de l'arc. C'est pourquoi la présence dans son voisinage de corps portés à une haute température, émettant des électrons, constituera une condition favorable à la stabilité de l'arc. Il en sera de même des décharges disruptives, étincelles ou aigrettes, des rayons ultraviolets, des rayons de Becquerel, des rayons X, des flammes de toute espèce et d'une façon générale de toutes les causes ionisantes. Au contraire les courants d'air en dispersant les ions, diminuent la stabilité de l'arc et tendent à l'éteindre.

Les champs magnétiques ont généralement le même inconvénient, ayant pour effet d'allonger ou de déformer le trajet que suivent les centres électrisés ou ions entre la cathode et l'anode. Enfin les arcs courts et parcourus par des courants intenses seront beaucoup plus stables que les arcs longs et de faible intensité.

Les nouvelles théories de la ionisation expliquent également un fait souvent constaté par l'expérience, à savoir que les courants alternatifs donnent des arcs moins stables que les courants continus et qu'aux hautes fréquences la stabilité est plus grande qu'aux fréquences basses. En effet dans l'arc à courant alternatif, chacune des électrodes fonctionne alternativement comme anode et comme cathode. Il en résulte donc que, dans ce cas, les deux électrodes devront être maintenues à l'incandescence pour que l'arc puisse subsister.

En second lieu, à chaque alternance : l'arc s'éteint pour se rallumer un instant après, lorsque la tension électrique est redevenue suffisante. On a donc deux régimes successifs et alternés, absolument différents : *Les périodes d'extinction* caractérisées par une élévation de tension aux électrodes, *les périodes d'allumage* dans lesquelles la tension dépend à chaque instant de la valeur variable de l'intensité.

L'importance relative de ces deux périodes dépend d'une foule de circonstances.¹⁾

C'est ainsi que toutes conditions égales, la stabilité de l'arc est d'autant plus faible que le poids atomique du métal électrode est plus élevé. Lorsque pour une cause quelconque la période d'extinction prend une durée suffisante par rapport à celle d'allumage, le refroidissement des électrodes est tel que le réallumage de l'arc n'est plus possible à la période suivante; l'arc s'éteint alors. Ce refroidissement rapide des électrodes métalliques a longtemps fait croire que l'arc entre métaux n'était pas possible. D'après nos expériences, les métaux ayant une faible chaleur spécifique éprouvent un refroidissement considérable pour une extinction momentanée même de courte durée.

Afin de remédier aux nombreuses causes d'instabilité de l'arc, les électriciens savent qu'il est nécessaire de disposer dans le circuit électrique d'une réserve de tension souvent considérable entre la marche à vide et la marche en charge.

Les conditions électriques à remplir peuvent se déduire dans chaque cas particulier des graphiques mêmes de fonctionnement. En d'autres mots il faut que chaque diminution de courant, chaque allongement de l'arc soit accompagné d'une élévation en quelque sorte automatique suffisante de la tension disponible.

Le dispositif électrique doit donc être aménagé de façon à produire automatiquement cet effet. Quant aux moyens proposés et utilisés dans ce but ils sont nombreux. On choisira par exemple une dynamo à forte réaction d'induit, on y adjoindra une résistance ou mieux on disposera les arcs en séries, chaque arc ayant ainsi pour résistance auxiliaire l'ensemble de la résistance de tous les autres.

¹⁾ Nous les avons étudiées dans le cas particulier des arcs de faible intensité entre métaux en collaboration avec M. A. Bron. Arch. des Sc. phys. et nat. 1908 et C. R. 1908. Acad. des Sc. Paris.

Avec les courants alternatifs on utilisera non seulement la réaction d'induit de l'alternateur, mais sa self induction. On y ajoutera s'il le faut une self induction auxiliaire. D'ailleurs la présence d'une self induction suffisante dans le circuit, constitue toujours et même avec le courant continu un élément important, favorable à la stabilité de l'arc, où elle a pour effet de s'opposer à toute variation brusque de régime.

Les conditions particulières de chaque installation guideront naturellement le technicien dans le choix des moyens les mieux appropriés.

LES APPLICATIONS.

V. L'Eclairage.

La plus généralisée, la plus importante des applications de l'arc voltaïque est sans contredit *l'éclairage* ; éclairage des rues, des places publiques, des gares, des chantiers et des ateliers.

C'est par centaines de mille chevaux que se chiffre la puissance actuellement consommée par cette seule application.

L'arc à courant continu et l'arc à courant alternatif sont d'ailleurs tous deux utilisés à cet effet.

Dans l'arc à courant continu entre charbons, c'est le cratère incandescent du charbon positif qui constitue le foyer lumineux ; foyer de dimension très petite, donnant par conséquent des ombres nettes et dures, mais constituant une source ponctiforme puissante et très appropriée aux appareils de projection.

L'arc voltaïque alternatif a un caractère intermittent. Comme nous l'avons fait remarquer déjà, à chaque renversement du courant, l'arc s'éteint et se rallume. Pour que l'impression de lumière sur notre œil demeure continue, il est donc nécessaire que les alternances soient suffisamment

rapides (de 70 à 100 par seconde). En outre chacun des charbons fonctionnant alternativement comme charbon positif, le foyer est constitué par un double point lumineux, ce qui le rend un peu moins apte que l'arc continu à alimenter les appareils de projection.

L'arc voltaïque est en effet avant tout la source de lumière par excellence des phares et des projecteurs de grande puissance. Sa faible dimension et son éclat considérable permettent de concentrer le rayonnement en un faisceau presque rigoureusement parallèle, au moyen de lentilles ou de miroirs appropriés.

La puissance de ces projecteurs peut dépasser cent millions de bougies. Cependant pour les phares de moyenne puissance, l'arc est en concurrence avec le manchon rendu incandescent par la combustion de la vapeur de pétrole chauffé. L'arc voltaïque est en effet très riche en rayons bleus et violets et ces radiations de courte longueur d'onde sont rapidement absorbées par la brume. Il en résulte qu'un phare à arc peut être beaucoup plus puissant qu'un phare à incandescence par le beau temps, et lui être équivalent par le temps brumeux.

La composition spectrale du faisceau émis a donc une très grande importance pour les projecteurs. Cette considération a engagé la maison Harlé & Cie. à remplacer les miroirs en verre argenté par des réflecteurs en alliage inaltérable, doré et bruni.

VI. Rendement lumineux de l'arc.

L'arc voltaïque entre charbons (continu ou alternatif) n'est pas seulement une des sources de lumière les plus puissantes, mais il constitue un des modes d'éclairage les plus économiques, même si l'on tient compte des pertes de lumière qui se produisent dans les globes diffuseurs qui entourent l'arc et dont la présence est dans beaucoup de

cas indispensable pour protéger l'œil contre l'éclat éblouissant des charbons.¹⁾

Il ne faut pas oublier aussi que l'arc est très riche en radiations violettes et ultraviolettes et que ces dernières radiations sont susceptibles de produire sur la peau et les tissus de l'œil des phénomènes inflammatoires très analogues à ceux qui caractérisent les insulations.

Le rendement lumineux de l'arc a, dans le courant des quelques dix dernières années, été considérablement accru par l'emploi des charbons dits *minéralisés* et des *arcs à flamme*.

Dans l'arc à courant continu entre charbons ordinaires, on compte approximativement 85⁰/₀ de lumière émise par le charbon positif, 10⁰/₀ par le charbon négatif et 5⁰/₀ seulement par l'arc lui-même dont la température est cependant généralement supérieure à celle des charbons. On conçoit donc que si l'on introduit dans l'arc même, des substances qui volatilisées soient susceptibles d'émettre de la lumière, on puisse augmenter considérablement le rendement lumineux de l'arc.

L'emploi de ces substances présente en outre plusieurs avantages : leur présence donne plus de stabilité de fonctionnement ; il est donc possible d'obtenir pour un même courant et une même tension des arcs plus longs (d'où le nom d'arc à flamme).

En outre, en choisissant convenablement les substances introduites, on pourra donner à la flamme de l'arc des colorations variées : rougeâtre par exemple, en utilisant des sels de strontium ; jaunâtre avec des sels de calcium ; blanchâtre avec des sels de barium. Il sera possible d'ailleurs de combiner des mélanges de substances, de telle façon que la lumière émise soit empruntée aux di-

¹⁾ Cette perte de lumière varie de 5 à 15⁰/₀ dans les globes diffuseurs transparents ; de 10 à 35⁰/₀ dans les globes opalescents ; de 20 à 50⁰/₀ dans les globes dits „albâtre“.

verses régions du spectre, et que l'effet résultant soit un équilibre reposant et agréable à l'œil.

Afin de montrer l'augmentation considérable du rendement lumineux qui résulte de l'emploi des arcs à flamme, nous donnons ci-après quelques chiffres empruntés au récent ouvrage de M. B. Monasch.

Ces chiffres sont choisis de façon à permettre autant que possible la comparaison entre les anciens et les nouveaux arcs.

Courant continu.

	Courant (am- pères)	Tension (volts)	Puis- sance (watts)	Intensité lumin. hémis- phér. (bougies)	Nombre de bou- gies par watt	Nombre de watts par bou- gies
Arc entre charbons	6	39	234	400	1,71	0,585
	15	43,9	660	1450	2,20	0,455
Arc à flamme (jaune)	6	39	234	720	3,08	0,324
	15	42	630	2500	3,97	0,252
Arc à flamme (Ch. Blondel)	6	35	210	1400	6,68	0,149

Avec les courants alternatifs, les rendements lumineux restent du même ordre, mais il faut compter avec un facteur de puissance de 0,965 à 0,975 pour le charbon ordinaire et 0,85 à 0,89 pour les arcs à flamme généralement plus étirés.

VII. Arc au mercure (source de rayons ultraviolets).

Avant de quitter l'éclairage nous devons mentionner l'arc qui jaillit entre électrodes de mercure.

C'est une des sources les plus précieuses de rayons ultraviolets dont disposent les laboratoires. Elle est particulièrement énergique lorsque l'arc jaillit dans une enveloppe en quartz fondu presque parfaitement transparente à cette catégorie de radiations. Employé comme mode d'éclairage, l'arc au mercure, malgré son excellent rendement, ne semble

pas devoir se développer, et cela parce que la lumière émise est totalement dépourvue de rayons rouges. Il en résulte un éclairage peu esthétique en même temps qu'une fatigue de l'œil, dont l'équilibre habituel se trouve rompu.

Les moyens proposés jusqu'ici pour remédier à cet inconvénient par l'emploi de substances fluorescentes transformant une partie des rayons verts en rayons rouges, ne semblent pas avoir donné de résultats satisfaisants; ils ne se sont du moins pas généralisés.

Par contre l'arc au mercure a donné lieu à d'intéressantes expériences de *redressement des courants alternatifs et polyphasés en courants continus*.

Employé avec une anode de fer ou de platine, l'arc au mercure constitue en effet une véritable *soupape électrique*, ne laissant traverser le courant que dans un sens (du fer au mercure). Lorsque le courant est dirigé en sens inverse l'arc ne peut s'amorcer; c'est encore une conséquence de la théorie moderne de l'arc.

Cette propriété des arcs à électrodes hétérogènes a permis à M. Cooper Hewitt de construire des redresseurs de courant qui dans des installations, il est vrai jusqu'ici de peu d'importance, ont résolu d'une façon élégante, simple et avec un bon rendement, la transformation toujours très coûteuse du courant alternatif en courant continu.

Cette même propriété a permis d'obtenir le redressement des courants oscillatoires très rapides que produisent les condensateurs et dont la fréquence est de l'ordre de cent mille à la seconde.

Il convient également de mentionner des *interrupteurs* établis sur le même principe qui ont l'avantage de couper automatiquement le courant alternatif à l'instant précis où il s'annule, ce qui évite complètement les extra courants et les détériorations qui en résultent pour les installations.

VIII. Electrochimie et électrométallurgie.

Après l'éclairage, c'est à l'électrochimie et à l'électrométallurgie qu'appartient le second rang dans les applications de l'arc voltaïque. On l'utilise alors dans le four électrique qui est actuellement la source de chaleur industrielle la plus puissante; la température de l'arc pouvant atteindre et probablement dépasser 3500 degrés.

Mais ce qui fait la supériorité de ce mode de chauffage est avant tout la possibilité de concentrer en un espace très limité une quantité considérable d'énergie électrique, qui se trouve transformée en chaleur par le mécanisme de l'arc, à l'endroit même de son utilisation. Dans ces conditions les pertes de chaleur par rayonnement ou conductibilité sont fort atténuées et le rendement peut être excellent.

Aussi construit-on à l'heure actuelle de puissantes unités de fours électriques absorbant parfois plusieurs milliers de chevaux.¹⁾

L'énergie de toute une grande installation hydraulique peut ainsi être transformée en chaleur dans un récipient dont la capacité atteint à peine quelques mètres cubes.

Au point de vue de leur fonctionnement les fours électriques peuvent être classés en deux catégories; les fours *électrothermiques* et les fours *électrochimiques*. Dans les premiers l'action de la chaleur est seule en jeu; tels sont par exemple: les fours à carbure de calcium, dans lesquels on peut presque indifféremment employer le courant continu ou le courant alternatif.

Dans d'autres opérations de cette chimie des hautes températures, on utilise concurremment à l'action de la chaleur, l'effet décomposant du courant électrique sur les matières en fusion. Le courant continu, c'est-à-dire dirigé toujours dans le même sens, est alors indispensable.

¹⁾ Il existe à notre connaissance un four à carbure de 14 000 chevaux.

L'industrie de l'aluminium représente à l'heure actuelle la plus importante des opérations industrielles effectuées dans les *fours électrochimiques à arc voltaïque*.

Voyons maintenant l'importance actuelle de l'ensemble des applications du four électrique à arc voltaïque, c'est-à-dire du plus employé des fours électriques. C'est d'abord toute l'industrie de ce précieux métal qu'est l'*aluminium*. D'après une récente étude faite par Mr. l'Ingénieur Lullin cette industrie, qui traverse une période de crise, possède un ensemble d'installations dont la puissance nominale serait de 360 000 chevaux environ. La production en 1907 aurait été approximativement 15 000 à 20 000 tonnes et le prix par suite de l'énorme concurrence serait tombé aux environs de 2 frs. le kilogramme. A ce prix l'aluminium peut lutter avec le cuivre pour la construction des grandes lignes de transport électrique.

Après l'aluminium vient la fabrication du *carbure de calcium*, destiné presque exclusivement à la production de l'*acétylène*, et à la fabrication de ce nouvel engrais chimique la *cyanamide calcique*.

La production actuelle du carbure de calcium peut être évaluée à 180 000 tonnes en Europe seulement, représentant un ensemble d'installations dont la puissance atteint certainement 200 000 chevaux.

Citons également l'application du four à arc à la production de cette série de métaux jusqu'alors presque ignorés (*chrome, tungtène, vanadium, molybdène*, etc.) qui convenablement mélangés et alliés à l'acier ont permis à l'industrie de livrer aux constructeurs mécaniciens toute la gamme des qualités d'acier, chacune étant appropriée au genre d'effort qu'on attend d'elle.

L'emploi du four électrique pour la métallurgie du fer et de l'acier ne s'est cependant pas généralisée autant qu'on le pensait à l'origine. La transformation de l'énergie électrique en chaleur est encore relativement trop coûteuse pour que le four électrique puisse remplacer le haut fourneau

ou le convertisseur Bessmer pour toutes les qualités courantes d'acier. Son emploi est cependant indispensable pour obtenir ces aciers de premier choix, dont certaines applications ne peuvent se passer.

Il n'est donc pas exagéré d'affirmer que l'arc voltaïque est un des principaux facteurs industriels qui ont permis le développement de l'automobile. C'est grâce à lui qu'on a vu surgir cette merveille de notre époque, le moteur léger qui vient d'assurer la direction des aérostats et prépare les succès des aviateurs.

La puissance affectée à la métallurgie de l'acier par le four électrique à arc peut être évaluée entre dix et quinze mille chevaux.

Citons également l'application du four électrique à la fabrication des corps durs, dont quelques-uns peuvent rendre des points au diamant; émeris artificiels, borure de carbone, carborondum, etc., la consommation annuelle de ce dernier produit s'élevant à environ 4000 tonnes. Enfin les pierres précieuses, les appareils en silice fondue dont l'emploi se généralise déjà dans l'industrie et les laboratoires.

Mais toutes les brillantes applications que nous venons de rappeler; tous les services que l'arc a rendus jusqu'ici ne sont que peu de chose en comparaison de ce que l'on attend encore de ce précieux auxiliaire. Ce que le vingtième siècle demande à l'arc voltaïque, c'est de transformer les conditions économiques de la vie humaine en augmentant la fertilité du sol par la résolution de ce grand problème, qui sera l'une des gloires de notre époque: la fixation sous forme d'engrais chimiques, de l'azote atmosphérique, ce réservoir presque inépuisable de fertilité.

Cet important problème a fait l'objet d'une conférence, il y a deux ans, à l'assemblée générale de notre Société helvétique des Sciences Naturelles; vous me permettrez donc de ne pas y revenir malgré son intérêt colossal.

Je me bornerai seulement à rappeler que l'oxygène et l'azote de l'air portés à une très haute température

par l'arc voltaïque, puis soustraits rapidement à son action se combinent pour former des oxydes d'azote, que ces oxydes peuvent être absorbés par l'eau et former de l'acide nitrique ou réagir directement sur des sels de chaux, d'ammoniaque, etc. en donnant des nitrates solubles, par conséquent assimilables par les plantes.

Quant à la puissance utilisée actuellement à cette fabrication elle serait d'environ 30,000 kilowatts; mais, affirme-t-on, la création d'une nouvelle usine de 125,000 chevaux serait décidée en Norwège.

L'arc chantant et la téléphonie sans fil.

L'arc voltaïque dont nous venons d'énumérer les vastes applications industrielles peut à l'occasion se transformer en un chanteur ou en un causeur délicat, à la condition bien entendu qu'on l'y aide quelque peu. Il a donné lieu à de curieuses expériences qui mettent en lumière toute la souplesse, toute la docilité de ce précieux auxiliaire. Ce sont l'arc chantant, l'arc parlant, l'arc téléphone, l'arc microphone, l'arc phonographe.

Mais tout en étant récréatives, ces expériences ont apporté la meilleure solution actuelle au problème de la téléphonie sans fil.

La téléphonie sans fil repose sur une expérience de Duddell que nous allons brièvement rappeler. Si entre les deux charbons d'un arc alimenté par du courant continu, on branche un circuit formé d'un condensateur et une bobine de fil isolé, convenablement choisie, l'arc qui était silencieux émet tout-à-coup un son dont la hauteur dépend du choix de la bobine et du condensateur.

On dit alors que le circuit entre en *résonnance*, c'est-à-dire qu'un courant alternatif prend naissance et se renforce à l'intérieur du circuit dérivé, se superposant dans l'arc au courant primitif d'alimentation.

Le son produit par l'arc serait une conséquence de la présence de ce courant alternatif. Les variations rapi-

des et périodiques de l'intensité de ce courant se traduisent en effet par des variations correspondantes du volume de l'arc, et ces variations à leur tour engendrent les modifications de pression qui sont nécessaires à la production du son.

Pour mieux faire comprendre la production de ce courant alternatif permettez-moi de rapprocher l'expérience de Duddell de la théorie classique des tuyaux sonores. On sait en effet que dans les tuyaux sonores, le courant d'air provenant d'une soufflerie vient se briser contre l'anche du tuyau et que parmi les vibrations complexes qui se produisent alors, il en est qui sont renforcées dans la colonne d'air du tuyau; le son produit correspond à ces vibrations renforcées.

Il en est de même des vibrations électriques dans l'arc chantant. Le courant continu qui provient d'une dynamo joue le rôle du courant d'air; l'arc lui-même fonctionne comme une sorte d'anche qui produit des vibrations électriques complexes; enfin le circuit de la bobine et du condensateur est analogue au tuyau lui-même dont la longueur règle la hauteur des sons renforcés.

En résumé, et c'est là le point fondamental, on peut au moyen de l'arc voltaïque et d'un circuit approprié, produire des courants alternatifs très rapides auxquels on a donné le nom *d'ondes entretenues*.

Ces ondes peuvent atteindre une extrême rapidité (30000 à 100000 à la seconde) et dans ces conditions, elles ne produisent plus aucun son; la limite supérieure de perception des vibrations sonores étant dépassée.

Par contre elles sont susceptibles d'engendrer des phénomènes d'induction très énergiques qui peuvent se transmettre à grande distance.

La figure (3, côté gauche) résume sous sa forme la plus simple le principe de la téléphonie sans fil.

Le courant continu qui provient d'une dynamo D passe à travers une résistance de réglage R et alimente un arc A

Principe schématique de la téléphonie sans fil.

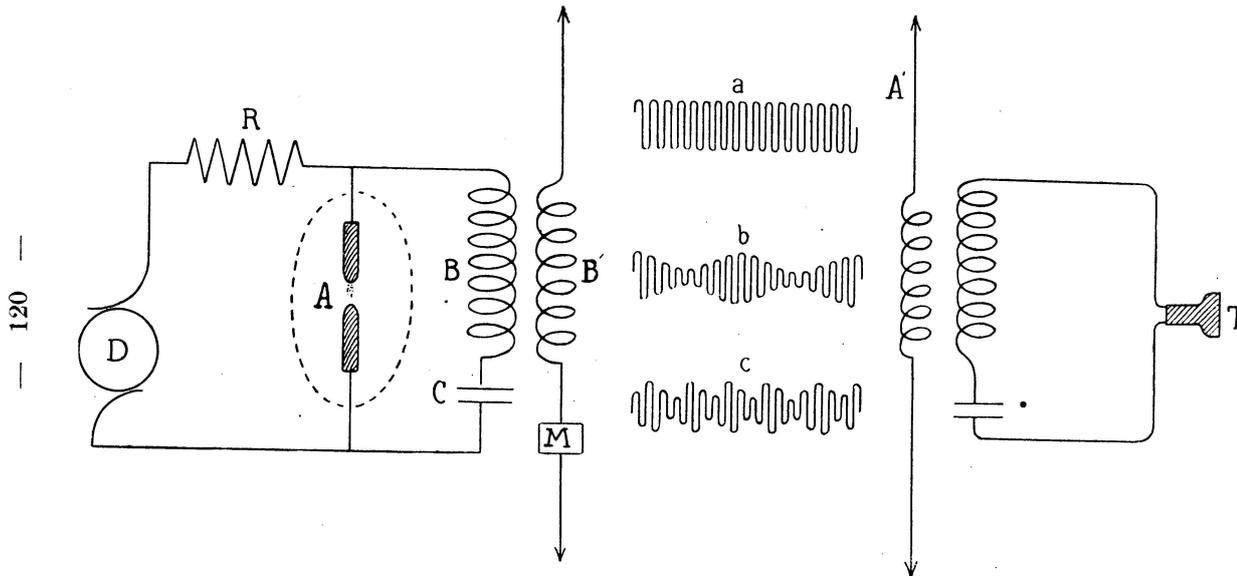


Fig. 3.

Le dispositif récepteur est en réalité plus complexe en vue d'obtenir une sensibilité suffisante; notre figure n'en donne que le principe.

qui pour plus de régularité jaillit dans l'hydrogène. Le circuit de résonnance est constitué par la bobine B et le condensateur C. La bobine B parcourue par des ondes entretenues agit par induction sur une seconde bobine B' en relation avec une antenne d'une part, et avec un microphone M relié à la terre d'autre part.

Au moyen de ce dispositif on pourra donc envoyer par l'antenne des ondes électromagnétiques dont la périodicité sera réglée par le circuit de résonnance.

La fig. (a) représente schématiquement les ondes très rapides (30 000 à 100 000 à la seconde) qui sont envoyées d'une façon continue par le poste transmetteur.

La fig. (b) montre comment l'amplitude de ces ondes peut être modifiée périodiquement, en plaçant par exemple devant le microphone un corps sonore dont les vibrations agissent ainsi sur la résistance du circuit de l'antenne.

La fig. (c) représente ces mêmes ondes entretenues, modifiées par la parole agissant également sur le microphone.

En résumé on voit que les *ondes entretenues* produites par l'arc et émises par l'antenne constituent une sorte de canevas sur lesquels, au moyen d'un microphone on pourra broder les ondes complexes et beaucoup plus lentes qui correspondent aux sons musicaux ou à la parole.

Enfin la fig. (3, côté droit) représente le principe schématique et simplifié de la réception de ces ondes, et leur transformation en ondes sonores par l'intermédiaire d'un téléphone.

Les ondes entretenues plus ou moins modifiées par le microphone sont recueillies par l'antenne réceptrice A' qui les communique par induction à un circuit secondaire renfermant un téléphone T.

C'est en employant des dispositifs plus complets mais basés sur un principe analogue à celui du schéma fig. (3) que M. Poulsen, l'inventeur de la téléphonie sans fil prétend

avoir communiqué clairement et exactement à des distances de 300 à 400 kilomètres.

Des résultats analogues semblent avoir été obtenus par d'autres expérimentateurs avec des dispositifs plus ou moins modifiés.

Quelle que soit d'ailleurs la valeur exacte des résultats annoncés, on peut affirmer à l'heure actuelle que la téléphonie sans fil est créée, qu'elle est entrée dans une voie nouvelle susceptible de développement dans un avenir prochain, et cela grâce au concours de la petite flamme que Sir Humphrey Davy découvrit il y a plus d'un siècle.

Lorsqu'on assiste au développement progressif d'une invention dont les débuts sont modestes et dont l'importance va grandissant, on est frappé dans cette évolution de voir tour à tour l'invention agir sur le milieu, puis le milieu partiellement modifié réagir à son tour pour transformer l'invention elle-même et faire surgir de nouvelles et importantes applications.

Cette double action constitue une véritable évolution, pour employer un terme cher à nombre de biologistes. Mais cette évolution est d'autant plus saisissante, d'autant plus intéressante à suivre, que sa rapidité même nous permet mieux peut-être qu'en biologie de discerner les causes et les effets.

L'arc voltaïque n'est d'abord qu'une modeste petite flamme ; puis il devient un mode d'éclairage, c'est-à-dire un moyen d'augmenter la durée et l'intensité de l'activité humaine. A son tour c'est l'industrie qui par son développement réclame de l'arc voltaïque de nouveaux services ; c'est la production des hautes températures qui vient contribuer à transformer partiellement la métallurgie.

Aujourd'hui ce sont les conditions économiques nouvelles, résultant de l'ensemble de tous les progrès industriels et tout particulièrement de ceux de la métallurgie qui demandent à l'arc voltaïque d'augmenter la richesse

du sol en fixant l'azote de l'atmosphère, et de resserrer encore par la téléphonie sans fil ces liens de solidarité qui relient toujours davantage les peuples civilisés.

Telle est, Mesdames et Messieurs, brièvement résumée la carrière scientifique et industrielle de l'arc voltaïque.

Ses débuts furent modestes, son passé est déjà glorieux, son avenir surtout s'annonce particulièrement brillant. La Suisse peut être heureuse d'avoir accueilli souvent l'homme éminent auquel on doit sa découverte. Sir Humphrey Davy fut en effet, et je tiens à le dire en terminant, un grand ami de notre pays ; il y séjourna à plusieurs reprises ; il y mourut même et la République de Genève eut l'honneur de se charger de ses funérailles. Aujourd'hui encore, on peut visiter sa tombe dans l'ancien cimetière de la commune genevoise de Plainpalais.

A l'heure même où surgissent de nouvelles et importantes applications de l'arc voltaïque, précieuses particulièrement pour notre pays si riche en forces naturelles, il m'a semblé que notre Société helvétique des Sciences Naturelles avait le devoir de rappeler la mémoire de Sir Humphrey Davy et de lui consacrer un souvenir ému et reconnaissant.
