

LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

7^e Année. — Avril 1908. — N^o 4.

*La Houille noire a fait l'Industrie moderne ;
la Houille blanche la transformera.*

Exposé du Principe d'une MACHINE SOLAIRE RATIONNELLE

Cette étude a été rédigée par M. KUNTZIGER, alors qu'il était élève-ingénieur à la Faculté technique de l'Université de Liège, et a été publiée pour la première fois en 1906 dans le *Bulletin Scientifique de l'Association des Anciens Elèves des Ecoles spéciales de Liège* ; elle a été mentionnée, quelque temps après, dans la chronique du Bulletin de la *Société des Ingénieurs Civils de France*.

Ainsi qu'on va le voir, le principe de cette machine repose sur la production bien connue du froid par la dissolution de l'azotate d'ammoniaque dans l'eau. Or nous assistons, à l'heure actuelle, au remarquable développement industriel de la fabrication des nitrates par l'arc électrique, et il serait vraiment curieux de voir une quantité *limitée* de nitrate produire, par son refroidissement, une quantité *illimitée* de nitrate par l'intermédiaire de l'électricité, et des températures élevées de l'arc électrique. Aussi, nous a-t-il semblé intéressant de reproduire intégralement l'étude de M. KUNTZIGER.

S'il est une vérité bien établie à présent, c'est l'origine solaire de toute manifestation d'énergie à la surface du globe terrestre. C'est la radiation de l'astre central qui entretient la vie sur notre planète ; c'est sous l'action de la chaleur et de la lumière solaire que l'eau et l'anhydride carbonique de l'atmosphère sont décomposés par les végétaux qui fixent ainsi dans leurs tissus le carbone et l'hydrogène. Les immenses réserves de combustibles fossiles que recèle la terre se sont constituées de cette façon, de sorte que lorsque nous les utilisons à présent en les brûlant dans nos foyers, nous récupérons en fin de compte l'énergie solaire qu'ils avaient emmagasinée.

La circulation aéro-tellurique de l'eau sur notre globe est également due à la chaleur du soleil ; c'est donc par l'effet de cette dernière que nos fleuves et nos chutes d'eau sont alimentés, et l'on peut dire, par conséquent, que c'est grâce à la puissance solaire que tournent les roues de nos turbines hydrauliques.

On voit ainsi que tous nos moteurs industriels utilisent, indirectement, l'énergie solaire, et surtout celle de ses rayons calorifiques. Mais, depuis le moment où la radiation solaire atteint la surface de la Terre, jusqu'au moment où son énergie fait mouvoir les volants de nos machines, cette dernière a subi bien des transformations, et la quantité que nous recueillons n'est qu'une fraction très minime de l'énergie primitive que les rayons de l'astre nous avaient apportée. De plus, la plus faible portion de puissance solaire que les végétaux terrestres peuvent fixer ne s'emmagasine qu'avec une extrême lenteur. Il a fallu des siècles pour former des combustibles que nous brûlons en quelques heures dans nos foyers industriels.

L'industrie, de son côté, prend de plus en plus d'extension, et les deux principaux combustibles, sans lesquels son existence est impossible, la houille (et ses dérivés) et le bois

deviennent de plus en plus rares. S'il se forme encore du bois à l'heure actuelle, c'est en quantité bien moindre que jadis ; quant à la houille, il ne s'en forme plus du tout.

Devant la cherté croissante du combustible, et le besoin grandissant de puissance motrice, l'industriel cherchera, soit à diminuer la consommation de combustible en perfectionnant ses machines thermiques, de manière à en augmenter le rendement, soit à s'en passer. Dans ce dernier cas, il sera conduit à utiliser l'énergie cinétique ou gravifique des fluides en mouvement à la surface du globe ; en d'autres termes, il aura à envisager l'emploi de la force des vents et des chutes d'eau. La force du vent, malaisée à recueillir sur une grande échelle, et trop intermittente, se prête assez peu aux utilisations industrielles de quelque importance.

Quant aux chutes d'eau, depuis un certain nombre d'années, on tend à les employer de plus en plus pour la production de très grandes puissances. Mais ici encore, plus leur utilisation se généralisera, plus la cherté des concessions indispensable augmentera ; en outre, quand il s'agit d'applications importantes, les aménagements préalables à l'installation des turbo-génératrices absorbent une grande partie des capitaux engagés dans ces entreprises.

Et cependant, si l'énergie solaire, fixée jadis, et tenue en réserve sous forme de combustibles fossiles, s'épuise de jour en jour par la consommation formidable qu'en fait notre industrie, le gigantesque foyer, autour duquel gravite la Terre, continue, et continuera encore pendant des centaines de siècles, à déverser sur la planète des flots de sa radiation puissante. Quand on considère que le seul rayonnement calorifique du soleil envoie normalement 25 calories environ par minute, soit 23600 chevaux-vapeur par hectare, on conçoit que plus d'un chercheur ait essayé de recueillir et d'utiliser directement ces calories qui nous sont fournies gratuitement. Jusqu'à présent, aucun des nombreux essais tentés dans cette voie n'a permis de rendre le procédé industriellement applicable. Parmi les diverses méthodes expérimentées, les unes laissaient à désirer au point de vue pratique, tandis que les autres, tout en ne nécessitant pas de mécanismes compliqués, étaient irrationnelles, théoriquement parlant.

Ainsi, plusieurs inventeurs (1) construisirent, sous le nom de machines solaires, des machines à vapeur d'eau ordinaires munies d'une chaudière et d'un condenseur, et sans foyer. Les rayons solaires convergaient au moyen de dispositifs de lentilles, ou de miroirs plus ou moins compliqués, sur la surface de chauffe de la chaudière. Un tel système est, théoriquement, excellent, seulement il exige un mécanisme optique complexe, attendu qu'il doit suivre le mouvement apparent du soleil qui change de position à chaque instant ; de plus, la chaleur rayonnante seule peut être utilisée dans ce dispositif, et si, par exemple, un nuage projette son ombre sur la machine, celle-ci ne reçoit plus assez de chaleur pour

(1) Notamment le professeur Mouchot, d'Alençon, qui fut même encouragé par H. Faye (H. Faye: *Sur l'origine du monde* p. 210).

fonctionner. Pratiquement donc, ce système est condamnable, et n'offre aucune chance d'aboutir à des applications sérieuses.

D'autres chercheurs (1) sont partis de cette idée que l'atmosphère contenant une immense quantité de chaleur, à température relativement basse pourtant, il devait y avoir moyen d'utiliser la chaleur atmosphérique, et qu'il n'était pas nécessaire par conséquent de chercher à concentrer directement les rayons solaires sur la surface de chauffe d'une chaudière. Cette idée a surtout préoccupé les inventeurs à l'époque où l'on parla de machines à vapeur froides (2) dans lesquelles on utilise la vapeur à haute tension, sous des températures relativement basses, des gaz liquéfiés tels que l'ammoniac et l'anhydride sulfureux. Nous allons voir comment les essais de machines solaires basées sur ce principe ont également échoué jusqu'à présent. Il ne suffit pas, en effet, d'avoir à sa disposition une source de chaleur pour faire fonctionner un moteur thermique ; il faut encore posséder une source de froid, et ce n'est que grâce à la différence de température existant entre ces deux sources que la chaleur peut se transformer en travail.

Si une machine à vapeur à condensation marche d'une façon continue, c'est que nous parvenons à maintenir continuellement une différence de température entre la chaudière et le condenseur ; et pour conserver cette différence constante, il faut, d'une part, fournir du combustible au foyer, afin d'assurer la fixité de la température de la vapeur à la chaudière, et, d'autre part, *chose tout aussi nécessaire*, alimenter d'eau froide le condenseur pour réaliser la constance de sa température. Dans le cas envisagé, l'entretien de la source froide est gratuit (théoriquement du moins), l'eau froide employée étant celle des cours d'eau que nous pouvons utiliser en quantité illimitée. Il n'en est plus de même dans les machines solaires, ayant comme source chaude la chaleur atmosphérique ; pour faire fonctionner une telle machine, il faudrait créer artificiellement une source froide, qui, par conséquent, ne serait plus du tout gratuite. De plus, la différence de température entre les deux sources ne pourrait jamais être bien grande.

Comme c'est d'elle que dépend en grande partie le rendement thermique, il en résulte que ce dernier serait toujours très faible. La théorie seule nous indique donc qu'une telle machine solaire ne pourrait fonctionner que dans des conditions économiques désastreuses, tout en ne donnant qu'un rendement thermique fort minime.

Ces considérations très simples n'ont-elles pas frappé l'esprit des inventeurs, ou bien ceux-ci mirent-ils en doute les enseignements de la thermo-dynamique, on ne saurait le dire au juste.

Le fait est, néanmoins, qu'ils passèrent outre, et tentèrent de construire des moteurs à vapeur froide de gaz liquéfiés, dans lesquels l'atmosphère était la source de chaleur, mais ne possédant pas de source froide. Il va sans dire que de telles machines ne purent jamais produire de travail utile. En effet, dans un engin semblable, il est tout aussi impossible d'utiliser la chaleur atmosphérique, *pourtant gratuite et illimitée*, que d'utiliser l'énergie potentielle énorme, et souvent gratuite, de l'eau d'un vaste lac situé au milieu d'une grande plaine, de telle sorte qu'on ne puisse faire couler cette eau, par suite de l'impossibilité actuelle d'établir une différence de niveau.

Mais supposons, dans ce dernier cas, que l'on trouve à

un moment donné le moyen de faire se déverser l'eau du lac, de créer une chute, d'obtenir — et cela, *gratuitement* — la dénivellation nécessaire au mouvement du fluide. Dès cet instant, on pourra établir une machine hydraulique, et l'énergie considérable de la masse liquide renfermée dans le lac, jusque là inutilisable, pourra servir à l'industrie humaine.

De même, nous pensons que l'idée d'établir une machine solaire à vapeur froide, utilisant la chaleur atmosphérique, ne doit pas être abandonnée, et considérée comme utopique, sous le seul prétexte que, jusqu'à présent, elle n'a pas été pratiquement réalisée. Seulement, il ne faudra plus négliger, comme on l'a fait jusqu'ici, la source froide, mais chercher à l'obtenir à aussi peu de frais que possible. Que l'on arrive à rendre cette dernière aussi gratuite que dans la machine à vapeur d'eau actuelle, et surtout à maintenir sa température fixe aussi facilement, c'est assez peu probable. Mais la considération de la légère dépense nécessaire à l'entretien de la source froide ne doit pas nous arrêter, étant donné que nous obtenons gratuitement la source chaude, ce qui n'a lieu actuellement pour aucun moteur thermique ; il peut ainsi se faire que, malgré le prix de sa source froide, une telle machine soit notablement plus économique que tout autre.

Nous nous proposons d'exposer, dans ces quelques lignes, le principe théorique d'une solution que nous avons imaginée, et qui nous paraît susceptible de résoudre la question. Ainsi que nous venons de l'indiquer, tout le problème consiste en la recherche d'une source froide aussi économique que possible. Pour trouver cette dernière, c'est encore au Soleil, le grand dispensateur d'énergie, que nous avons recours. On sait, en effet, que pour produire du froid, il faut mettre en jeu de l'énergie, tout aussi bien que pour obtenir un dégagement de chaleur. Par exemple, c'est la *chaleur* développée dans le foyer de la chaudière de la machine à vapeur d'une fabrique de glace artificielle, qui, après une série de transformations, produit l'énergie nécessaire à l'obtention de la basse température, *du froid* grâce auquel l'eau peut-être convertie en blocs de glace.

Il s'agissait donc d'utiliser l'énergie, la chaleur solaire, pour produire un abaissement de température, du froid.

Nous nous sommes adressé dans ce but à la Thermo-chimie, opérant ainsi par analogie avec ce que nous voyons dans les phénomènes qui ont donné naissance aux combustibles que nous utilisons dans l'industrie. En effet, comme nous le rappelions en commençant, le carbone des combustibles provient de la dissociation de l'anhydride carbonique de l'air, dissociation qui exige de l'énergie, laquelle est, en l'occurrence, celle des rayons solaires, qui est ainsi absorbée et fixée. Plus tard, le combustible étant formé, nous l'allumons, le combinons à l'oxygène de l'air, reproduisant ainsi de l'anhydride carbonique, et dégageant par conséquent sous forme de chaleur l'énergie absorbée il y a des milliers d'années, lors de la dissociation de l'acide carbonique primitif.

Parmi les phénomènes chimiques qui permettent d'absorber de la chaleur pendant une première réaction entre deux corps, puis de revenir par une seconde opération aux constituants primitifs — en *fournissant*, cette fois, du calorique — nous avons choisi une combinaison susceptible de mettre en jeu des quantités relatives de chaleur assez notables pour produire l'absorption de calorique nécessaire au maintien de la source froide du moteur thermique. La combinaison dont nous voulons parler consiste en l'emploi de l'eau et d'un sel ammoniacal bien connu, le nitrate d'ammoniac. On sait, en effet, qu'en mélangeant ces deux substances à poids égaux, on obtient une solution dont la température est très inférieure à la température initiale des constituants ; si ces derniers sont à + 10° C. avant le mélange, la température s'abaissera à — 16° ; on a donc une chute de 26°. Dans le système de machine solaire à vapeur froide que nous

(1) Parmi lesquels les constructeurs Behrend et Zimmermann de Ludwigshafen, qui prirent même un brevet pour une machine, dont on reconnut plus tard que le fonctionnement était théoriquement impossible. (Voir : *Zeitschrift für die gesammte kalts Industrie*, juin 1902).

(2) Voir à ce sujet dans le *Bulletin Scientifique* (Années 1903 et 1904) plusieurs articles sur « Les machines à chaleur perdue » par Léon REPRIELS.

exposons, le condenseur serait plongé dans le mélange réfrigérant, constamment renouvelé comme nous allons le voir.

En effet, après avoir produit son effet refroidissant, la solution serait étalée en mince couche sur une grande surface exposée aux rayons solaires, et soumise ainsi à l'évaporation. L'eau étant éliminée de cette façon, nous rentrerions en possession des cristaux de nitrate d'ammoniaque, qui pourraient servir de nouveau à la réfrigération du condenseur, et ainsi de suite, indéfiniment.

Pour avoir une idée de la différence de température que l'on pourrait obtenir entre la chaudière et le condenseur, il faut encore tenir compte du fait que l'eau courante, ou l'eau de source, nécessaire à la préparation du mélange réfrigérant, est généralement à une température quelque peu inférieure à celle de l'atmosphère, qui est aussi celle de la chaudière. Les considérations qui précèdent semblent autoriser à admettre comme possible pratiquement un écart d'environ 25° entre les températures des deux sources. En supposant, pour fixer les idées, que la température atmosphérique soit par exemple 20°, et qu'on emploie la vapeur d'ammoniac liquéfié comme fluide évoluant dans la machine thermique, on aurait à la chaudière une tension de 639 cm. de mercure, et 262 cm. au condenseur maintenu à - 5°. On disposerait ainsi d'une différence de pression égale à $(639 - 262) : 76 = 4,97$ atm., soit 5,12 kg. par centimètre carré.

Cette pression, quoique peu élevée, n'est cependant pas inacceptable, et n'exigerait pas pour les cylindres des dimensions trop exorbitantes. Quant au rendement thermique, il est fort minime, si on le compare à celui d'une très bonne machine à vapeur : il vaut $(293 - 268) : 293 = 0,0853$, soit environ le cinquième de ce dernier. Pourtant, quand on considère la faible différence des températures extrêmes de ce cycle de Carnot, on reconnaît qu'il est assez satisfaisant ; en effet, si la source chaude était à 350° (température réalisée dans les machines à haute surchauffe), pour une même chute de température de 25°, le rendement ne s'élèverait qu'à $(623 - 598) : 623 = 0,0402$. C'est l'avantage bien connu qu'ont les machines réalisant des cycles fonctionnant à basse température, de mieux utiliser que les autres la différence des températures des deux sources.

En conservant les conditions de l'exemple que nous avons envisagé, nous pouvons apprécier approximativement, de la façon suivante, l'étendue de la surface d'évaporation nécessaire pour alimenter une installation de force motrice de puissance donnée.

Supposons d'abord que le système thermique réalise un cycle de Carnot. Choisissons comme valeur la quantité de chaleur Q' fournie à la source chaude, de température absolue T' (293°), celle qui équivaut au travail d'un cheval-heure soit :

$$\frac{75 \times 60 \times 60}{425} = 635 \text{ calories.}$$

Dès lors, le nombre de calories Q'' à absorber par la source froide, de température absolue T'' (268°), nous sera donné par la relation :

$$Q'' = Q' \frac{T''}{T'} = 581 \text{ calories.}$$

Le travail développé sera l'équivalent de $635 - 581 = 54$ calories, ce qui correspond à :

$$\frac{54 \times 425}{75 \times 60 \times 60} = 0,0853 \text{ cheval-heure.}$$

Pour recueillir le travail d'un cheval-heure, nous devons donc absorber au condenseur $581 : 0,0853 = 6835$ calories. Or nous avons vu que le mélange de 1 kg. d'azotate d'ammoniaque à un kg. d'eau permet d'obtenir une chute de tem-

pérature de 25° ; en admettant pour ce mélange une chaleur spécifique voisine de l'unité, on en déduit que les 2 kgs de solution sont capables d'absorber 50 calories. Il s'en suit de là que le condenseur devrait recevoir, par cheval-heure, une charge de $6835 : 50 = 137$ kgs de nitrate d'ammoniaque.

Supposons encore que l'on exige de la machine une période de travail de huit heures par jour, et qu'elle marche constamment en pleine charge. D'autre part, l'évaporation des solutions de nitrate d'ammoniaque s'accomplit continuellement ; mais si l'on ne considère que le temps pendant lequel elle possède son intensité normale, on sera conduit à admettre une durée d'environ 16 heures par jour, soit une période double de celle durant laquelle la machine fonctionne à pleine charge. Nous pourrions donc compter sur la nécessité d'une évaporation de $137 : 2 = 68,5$ kgs de nitrate d'ammoniaque par cheval et par heure, pour alimenter indéfiniment la machine. Or, nous savons que un mètre carré de surface terrestre exposé aux rayons solaires reçoit normalement 25 calories par minute, soit 1500 calories par heure, et comme la chaleur latente totale de vaporisation de l'eau est voisine de 600 calories à 20°, nous serons en mesure d'évaporer, en une heure, $1500 : 600 = 2,5$ kgs d'eau, et d'obtenir ce même poids de nitrate d'ammoniaque par mètre carré.

Dans ces conditions, l'entretien indéfini de la puissance d'un cheval exigerait une surface d'évaporation de $68,5 : 2,5 = 27,4$ mètres carrés.

Ce dernier résultat est évidemment trop faible, attendu que le cycle de Carnot est irréalisable ; pour nous rapprocher davantage de la réalité, nous admettrons que les opérations emprunteront sensiblement l'allure des transformations d'un cycle de Rankine, dont le rendement générique est voisin de 77 pour 100 dans les bonnes machines à vapeur. Enfin, si nous adoptons un rendement organique de 90 pour 100, nous obtenons finalement $0,77 \times 0,9 = 0,69$ du rendement du cycle de Carnot, suivant lequel nous avons établi les calculs précédents. Le résultat de ces derniers devra donc être modifié en conséquence, et nous sommes amenés en fin de compte à admettre une surface d'évaporation de $27,4 : 0,69 = 39,7$ mètres carrés par cheval (1).

Pour alimenter indéfiniment une installation de 1.000 chevaux, au moyen d'une pareille machine, il faudrait disposer comme champ d'évaporation d'un terrain qui, supposé carré, mesurerait 199 m. de côté.

Remarquons que, dans ce qui précède, nous ne tenons pas compte du vent, ni de la chaleur que peut céder par conductibilité le sol chaud à l'eau qu'on déverse à sa surface, toutes circonstances de nature à favoriser l'évaporation.

Quant à l'aspect général sous lequel se présenterait une telle installation de force motrice, il serait bien différent de ce que nous offrent tous les systèmes thermiques réalisés jusqu'à présent.

Les opérations que l'on y effectuerait seraient absolument l'inverse de celles que l'on exécute dans une usine ou le travail moteur est produit au moyen des machines à vapeur d'eau ordinaires. Dans cette dernière, on se préoccupe avant tout de l'entretien de la source chaude, en brûlant dans le foyer des chaudières un combustible coûteux, et qui s'en va en fumée, sans espoir de récupération industrielle du carbone et de l'hydrogène renfermés à l'état combiné dans les

(1) Indiquons, à titre de comparaison, l'encombrement qu'ont nécessité les installations de l'une des premières stations centrales de France, celle de la *Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône*. Les expropriations de terrains ont atteint 560 hectares ; la puissance maxima s'élevant à 20.000 chevaux, l'encombrement global est de 28 hectares par 1000 chevaux. Il est donc plus de 7 fois supérieur à celui qu'exigerait une installation de même puissance alimentée par des machines solaires de notre système. (Note de l'auteur, mars 1908).

gaz s'échappant des cheminées de l'usine. Au contraire, dans la machine solaire, l'entretien de la source chaude ne coûterait pas plus que celui de la source froide d'une machine à vapeur à condensation, laquelle, comme on sait, n'entraîne de ce chef qu'une dépense tout à fait insignifiante. L'agencement de cette partie du dispositif pourrait même être identique à celui d'un condenseur par surface ordinaire, formé d'un faisceau tubulaire, dans lequel le gaz liquéfié (injecté par une pompe alimentaire qui l'extrairait de la source froide) serait porté à la température de l'air ambiant par une circulation d'eau que l'on aurait laissée, au préalable, se mettre en équilibre de température avec l'atmosphère.

Par contre, dans ce système de machine solaire, la source froide serait celle qui nécessiterait le plus d'attention et de soin ; pour que le moteur puisse fonctionner, il faudrait constamment alimenter cette source de nitrate d'ammoniaque et d'eau, tout comme il est nécessaire de fournir à chaque instant du combustible et de l'air au foyer d'une chaudière de machine à vapeur. Seulement, le nitrate d'ammoniaque, après avoir produit son effet utile, pourra être récupéré complètement, tandis que le combustible brûlé dans le foyer d'une chaudière est entièrement perdu. Pas irrémédiablement perdu cependant, car les produits de cette combustion, lentement dissociés, comme nous l'avons rappelé, par la mystérieuse action chimique de la radiation solaire, donneront naissance à d'autres composés qui permettront à l'homme de produire de nouveau, en les brûlant, la chaleur qu'il transformera en énergie mécanique pour les besoins de son industrie. Mais cette récupération, qui constitue l'un des phénomènes les plus grandioses — malgré son peu d'éclat apparent — que nous offre la Nature, exige pour son accomplissement des années, souvent des siècles, tandis que dans le procédé que nous avons exposé, l'aliment nécessaire à la marche du moteur se régénère rapidement, et par un mécanisme infiniment plus simple. A ce dernier point de vue, la machine solaire, avec ses bassins d'évaporation chargés de la pourvoir de cristaux de nitrate d'ammoniaque, cette autre *houille blanche*, pourrait assez bien être comparée à une machine à vapeur construite auprès d'une mine de charbon inépuisable, d'où l'on pourrait indéfiniment extraire ce dernier, toujours avec la même facilité.

Il va sans dire que, en écrivant ces lignes, nous n'avons aucunement en vue l'éventualité du remplacement, à l'heure actuelle, de nos machines existantes par ces machines solaires. La situation climatérique des principaux centres industriels du continent rend impraticable toute utilisation directe, sur une grande échelle, de la chaleur solaire, qui nous est si parcimonieusement octroyée.

Notre but a été uniquement de faire connaître le principe d'un système thermique qui nous paraît susceptible de résoudre avantageusement un problème curieux, et dont la solution a souvent été cherchée : le problème de la machine solaire pratiquement réalisable et utilisable industriellement.

Néanmoins, dans les pays gratifiés d'un climat suffisamment chaud (1), dépourvus de chutes d'eau, et ne possédant

pas de combustible industriel en abondance, et à bas prix de revient, la machine solaire pourra s'imposer, et devenir même indispensable à l'exploitation de toute entreprise nécessitant la production en quantité importante d'énergie motrice.

Jean KUNTZIGER.
Ingénieur-Electricien.

La fixation de l'Azote atmosphérique au moyen de l'Électricité (*)

Depuis quelques temps la fabrication de l'acide azotique et autres composés azotés au moyen de l'azote de l'air a été l'objet de nombreuses publications dans les journaux techniques. Votre troisième Commission, la Commission de l'Électrochimie, présidée par M. Lucien Poincaré, a pensé qu'il convenait de vous exposer un résumé de l'état actuel de la question et m'a chargé de cette mission. C'est ce résumé que je vais vous présenter.

Je regrette que, malgré mes démarches, je ne puisse agréer ce résumé de quelques renseignements inédits. Mais les électrochimistes sont peu enclins à livrer à la publicité les résultats de leurs travaux, et vous savez trop par votre propre expérience combien un résultat minime coûte parfois de peine et d'argent pour leur tenir rigueur de leur réserve.

Je dois toutefois faire exception pour M. Birkeland que j'ai eu l'occasion de voir récemment à Paris et qui a bien voulu répondre à quelques-unes des questions que je lui ai posées.

I. — IMPORTANCE DU PROBLÈME

Dès la fin du XVIII^e siècle, l'attention des chimistes était attirée sur la nécessité de préparer, par des moyens industriels, l'azotate de potassium utilisé dans la fabrication de la poudre de guerre dont on faisait alors une consommation considérable. On ne connaissait, en effet, à cette époque, que l'azotate de potassium ou salpêtre qui se forme spontanément à la surface du sol de certaines régions des Indes et de l'Égypte et les azotates de calcium et de magnésium qui se forment lentement sur les murs des étables et des écuries par suite d'une fermentation de l'urine et de l'action des produits de fermentation sur les matériaux de construction. On sait que les chimistes de 1789 résolurent le problème qui leur était posé par la création de nitrures artificielles constituées par des tas de matériaux de démolition qu'on arrosait d'urine; mais on sait aussi que cette solution était précaire, car le rendement de ces nitrures était très inégal et dépendait de conditions qui ne furent dévoilées que beaucoup plus tard par les travaux de Schloesing et Muntz.

Dans la première moitié du XIX^e siècle, le développement de l'industrie du gaz créa une nouvelle source industrielle de produits azotés. Mais c'étaient des composés ammoniacaux, et ceux-ci ne pouvaient être utilisés pour la fabrication des azotates et de l'acide azotique que réclamaient l'art de la guerre et l'industrie chimique.

Vers 1850, la découverte des immenses gisements d'azotate de sodium du Chili et du Pérou permit de croire que le problème posé aux chimistes de la Révolution par le Comité de Salut public n'avait plus de raison d'être et que, pendant plusieurs siècles, l'exploitation de ces gisements suffirait aux besoins de la consommation. Mais à peine cette découverte était-elle faite, qu'on trouvait aux azotates naturels une nouvelle utilisation : la confection d'engrais artificiels pour l'agriculture. Aussi l'extraction du salpêtre du Chili et du Pérou s'accrut suivant une progression rapide : de 150 000 tonnes en 1870, elle passait à 1 500 000 tonnes en 1905.

(*) Communication faite par M. BLONDIN, à la Société Internationale des Electriciens, séance du 3 juillet 1907, et publié dans le Bulletin de janvier 1908 de cette Société.

(1) Remarquons toutefois que pour être en mesure d'appliquer le système de machine solaire que nous avons décrit, il ne sera pas nécessaire de jouir du climat des *pays chauds* proprement dits. Il suffira que, sous l'action des rayons solaires, de la chaleur atmosphérique et du vent, l'évaporation des solutions de nitrate d'ammoniaque puisse s'effectuer assez rapidement pour alimenter constamment le condenseur. Cette condition est amplement réalisée partout où l'on peut établir des *marais salants* donnant un bon rendement. En effet, alors que l'eau de mer que l'on concentre dans ces derniers présente une teneur inférieure à 4 pour 100 en sels dissous, les solutions de nitrate d'ammoniaque à évaporer en contiendraient 50 pour 100. A volume égal, ces dernières seraient donc beaucoup plus rapidement évaporées, et donneraient donc un rendement bien supérieur à celui des marais salants.