Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 30 (1904)
Heft: 2

Artikel: Le rôle de l'ingénieur dans la civilisation
Autor: Vautier, Alph.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-24104

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

En employant la méthode de calcul usuelle nous trouvons, en introduisant un coefficient de sécurité de 25,

$J = 750$ cm^4, soit $d = 11$ cm. env., $\Omega = 95$ cm^2.

Nous calculerons l'effet des forces d'inertie pour la position caractérisée par un angle φ de 45° (fig. 3); comme nous supposons la section constante $x_0 = \frac{1}{2} l$ et par suite :

$$F'' = \frac{M}{2} (p''_A + p''_B),$$

$$M = \frac{\pi}{4} \overline{1,1}^2 \times 20 \times 7,8 \times \frac{1}{9,81} = 15,1 \text{ kg. masse,}$$

(7,8 = densité du fer).

Des diagrammes précédents nous relevons :

$p''_A = 10,0$ m. p. sec^2. $\quad p''_B = 90,0$ m. p. sec^2

donc : $F'' = 675$ kg. et :

$$q = \frac{F''}{l} = \frac{675}{200} = 3,38 \text{ kg. par cm.}$$

En prenant $E = 2\,000\,000$ kg. par cm^2, nous trouvons :

$$f_0 = \frac{5\, ql^4}{385\, EJ} = 0,047 \text{ cm.};$$

nous avons d'autre part, ayant calculé la bielle avec un coefficient de sécurité de 25,

$$S_1 = 25 \times 15\,000 = 375\,000 \text{ kg.}$$

l'équation (7) prend donc ici la forme

$$R' = \frac{S_c}{95} + \left[\frac{3,38 \times \overline{200}^2}{8} + 0,047\, S_c \left(1 + \frac{8\, S_c}{375000}\right)\right] \frac{5,5}{750}.$$

Si nous prenons pour R' la valeur moyenne 2000 kg. par cm^2, il vient en ordonnant les termes :

$$\frac{8 \times 5,5 \times 95 \times 0,047}{750 \times 375000} S_c^2 + S_c \left(1 + \frac{0,047 \times 5,5 \times 95}{750}\right)$$

$$+ \frac{3,38 \times \overline{200}^2 \times 95 \times 5,5}{8 \times 750} - 2000 \times 95 = 0,$$

$$\frac{64 \times 0,047}{4\,125\,000} S_c^2 + 1,034\, S_c - 177\,700 = 0,$$

d'où :

$$S_c = \frac{4125000}{128 \times 0,047} \times$$

$$\times \left[-1,034 \pm \sqrt{(1,034)^2 + \frac{4 \times 177\,700 \times 64 \times 0,047}{4\,125\,000}}\right]$$

$$S_c = \frac{4125000}{128 \times 0,047} [-1,034 + 1,257] = 10,2 \times 15000 \text{ kg.}$$

S_c est donc, dans le cas particulier, égale à 10,2 fois la charge normale, c'est-à-dire environ 2,5 fois plus faible que la charge de flambement S_1 que nous avons prise ici $= 25 \times 15\,000$ kg. Même en faisant la part des hypothèses défavorables d'où nous sommes partis, on voit bien, par cet exemple, l'influence que peuvent acquérir les forces d'inertie au point de vue de la résistance de la bielle.

Il est vrai, d'autre part, que dans les machines à grande vitesse, les alternatives de flambement et d'extension se succédant avec une grande rapidité, les déformations n'ont pas le temps d'acquérir les valeurs que nous calculons et qui supposent une application lente et progressive des forces extérieures. Nous ne pensons toutefois pas qu'il faille trop se reposer sur cette considération et sommes, au contraire, d'avis que l'on fera bien, dans tous les cas de machines à grande vitesse, de déterminer par un calcul analogue à celui que nous venons d'indiquer, la valeur de la charge critique S_c afin de se rendre un compte exact du degré réel de sécurité de la construction.

Le rôle de l'ingénieur dans la civilisation.

par M. Alph. VAUTIER,
Ingénieur.
Ancien élève de l'Ecole d'Ingénieurs (1856-1859).

Au moment où l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne met une courte trève à son activité pour regarder vers ses origines, il y aurait intérêt à jeter un coup d'œil plus étendu dans le passé et dans le présent, et à rechercher quel a été le rôle de l'ingénieur dans le développement de la civilisation. Chacun prévoit que cette étude serait féconde et que son résultat serait propre à encourager ceux, nombreux aujourd'hui, qui cultivent la science dans le but d'applications utiles.

Pour traiter ce sujet avec l'ampleur qu'il mérite, il faudrait consulter un nombre considérable de documents qui ne sont pas à notre portée ; nous devons donc nous borner à une simple causerie, avec l'espoir que quelque archéologue sera tenté de combler ce vide dans l'histoire du développement de l'humanité.

Les ruines des monuments anciens ont attiré depuis longtemps, par leurs masses imposantes ou par leur esthétique, l'attention des architectes, et l'on possède des notices très étendues et captivantes sur les temples, sur les palais et sur les nécropoles. On connaît aussi bien des détails sur les théâtres et sur les maisons d'habitation, mais on n'a, pour les âges reculés tout au moins, que de rares indications sur les travaux publics tels que les routes et les ponts, les ports, les travaux d'édilité et sur ceux, si importants, d'irrigations ou de canalisations.

Ces ouvrages demandant un entretien continuel ont promptement disparu lorsque la civilisation qui les avait produits sombrait sous les coups de conquérants barbares ou se dissolvait par sa propre immoralité. Il en résulte qu'une partie fort importante de l'œuvre des architectes anciens est tombée dans l'oubli et que c'est celle que nous nommons actuellement l'art de l'ingénieur qui est la plus dénuée d'histoire.

L'existence des monuments qui ont laissé des traces supposait un état social avancé, jouissant sans doute de routes, de ports, de canaux, ne fut-ce que pour amener à pied d'œuvre les matériaux de provenances lointaines.

Les voyageurs signalent souvent, en Asie et au Nord de l'Afrique, des ruines imposantes de villes situées actuel-

lement dans des régions désertes et dont la disparition ne peut être attribuée qu'au manque d'entretien des canaux d'irrigation. Il parait donc évident que les travaux publics devaient avoir une certaine importance.

Les recherches faites par M. Paul Tannery sur l'histoire de la géométrie grecque ont mis au jour des renseignements fragmentaires sur la science technique et sur l'outillage des anciens constructeurs.

Il semblerait que les géomètres anciens dirigeaient surtout leurs efforts vers la solution de problèmes de théorie pure, qui ont servi de base à notre science moderne, mais qui avaient fort peu d'utilité immédiate pour les constructeurs. Parfois ils inventaient quelque jouet scientifique destiné à provoquer l'étonnement ou la superstition de leurs contemporains; l'architecte et l'ingénieur à la fois savants et praticiens n'existaient guère.

L'illustre Archimède, qui vivait 250 ans avant l'ère chrétienne, paraît être une exception. Il a, le premier dit-on, écrit la loi des forces parallèles et déterminé les centres de gravité. Il s'est beaucoup occupé de l'équilibre des corps flottants.

Les Grecs connaissaient les combinaisons de mouvements et s'y montraient ingénieux, mais ils n'ont jamais précisé les lois de la vitesse.

L'antiquité en général a ignoré aussi les éléments de la dynamique, la composition des forces concourantes et l'explication des machines même les plus simples. On connaissait cependant la loi du levier. Sous réserve d'ultérieures informations, il faut attribuer à Galilée (1639) les premières recherches sur la flexion plane des solides et à Navier, Poisson et Cauchy (1820 à 1830) la théorie de l'élasticité, base de nos méthodes modernes.

Les engins les plus anciennement connus sont le treuil, le levier, la moufle, le coin et, depuis Archimède, la vis sans fin.

Quant aux instruments de précision, on ne peut guère que supposer leur existence par analogie avec les appareils fort ingénieux des astronomes anciens. Il est probable que les géomètres qui, après chaque inondation du Nil, rétablissaient l'abornement, devaient s'aider d'un goniomètre et que les longs aqueducs n'ont pas été construits sans l'aide de quelque niveau.

Quant aux procédés employés par les anciens pour ériger de lourds monolithes, on peut les inférer de certaines inscriptions égyptiennes. Ils faisaient une énorme levée de terre formant un plan incliné dans lequel le socle de l'obélisque était profondément noyé.

Le monolithe était traîné à force de bras au-dessus du socle et placé de telle sorte, qu'en déblayant peu à peu, on l'amenait à prendre par pivotement sa position définitive.

M. l'ingénieur Dieulafoy a retrouvé, par l'examen des procédés employés actuellement en Perse, ceux qui permettaient aux architectes contemporains de Darius de construire, sur de légers cintres, des voûtes en briques de grandes portées *(Annales des Ponts et Chaussées*, 1883*)*.

Il fallait, pour réussir ces travaux, une direction fort intelligente, beaucoup de soins et une armée d'ouvriers parfaitement disciplinés.

On ne sait guère quelle position sociale occupaient ces directeurs de travaux, peut-être appartenaient-ils à la caste sacerdotale ? Quant aux noms des ingénieurs qui ont conçu les travaux de régularisation des crues de l'Euphrate et du Nil, d'assainissement et de canalisations d'eau potable en diverses régions, ils sont éclipsés par ceux des rois et des Pharaons auxquels toute gloire était rapportée.

Rome confia à un ordre sacré, présidé par le *pontifex maximus*, ou ingénieur en chef des ponts, la direction de ses travaux d'intérêt public et en particulier l'entretien du pont sur le Tibre, le pont Sublicius, auquel se rattache étroitement l'histoire de la fondation de la ville.

On remarque que dans les temps anciens la vallée du Tibre et son embouchure vaseuse ne livraient passage que par un gué aux caravanes qui trafiquaient entre le Nord et le Sud de l'Italie. Romulus et ses compagnons fortifièrent ce point pour y rançonner les voyageurs, selon la coutume antique, et Rome se bâtit peu à peu autour du pont en bois, puis en pierre, qui remplaça le gué.

On conçoit que le faiseur de ponts, le pontife fut un personnage important.

Le peuple romain mena de front ses conquêtes et ses travaux d'utilité publique, il enserra le monde ancien, surtout les Gaules et le Nord de l'Afrique, d'un admirable réseau de routes stratégiques. Le commerce put ainsi s'étendre de tous côtés sous la protection de postes militaires qui devinrent des villes et des foyers de civilisation latine.

Cette remarquable organisation sombra sous les coups des barbares au Vme siècle de notre ère et, de ces magnifiques travaux, il ne resta bientôt que des ruines et des routes effondrées.

Les écrits échappés aux déprédations barbares attendirent dans les monastères la venue de temps meilleurs.

Le moyen âge, incessamment troublé par des guerres, n'était pas propice aux travaux publics, cependant, dès le VIme siècle, Brunehaut, reine d'Austrasie, répare les routes romaines. Cette restauration des moyens de communication se borna d'abord aux routes principales et fut souvent interrompue par les malheurs publics, mais petit à petit les routes et canaux, organes essentiels de toute civilisation, se multiplièrent dans l'Europe centrale et préparèrent l'épanouissement du commerce et de l'industrie.

D'abord stratégiques, les routes furent dès Louis XIII confiées en France au corps des Ponts et Chaussées. Notre pays fut fort négligé à cet égard jusqu'à la conquête bernoise. Les ponts étaient rares en tous pays, on traversait beaucoup de rivères à gué, mais les déboisements maladroits rendirent torrentiels les ruisseaux et les rivières, et l'on dut construire de nombreux ponts en bois ou en pierre.

Le premier projet de pont métallique connu est dû à Faustus Vorantius qui, en 1617, proposa d'employer le bronze de cloche.

Pourquoi pas le fer ? C'est qu'à cette époque on ne forgeait qu'au marteau, à la force des bras, et que les pièces forgées de 200 kg. étaient rares. Ce n'est qu'en 1776 qu'on connaît assez la fonte de fer pour qu'Abraham Darby se hasarde à construire le premier pont métallique d'Europe; les Chinois nous avaient devancés par de mauvais ponts en chaînes.

Ce premier pont en fonte, construit sur la Severn, existe encore, nous dit-on ; il fut imité en Allemagne en 1794.

Dès le second quart du XIXme siècle les procédés de puddlage et de scinglage au gros marteau permettent l'emploi du fer forgé, qui est bientôt préféré à la fonte.

En 1814, Dufour et Séguin construisent le premier pont suspendu en fils de fer ; mais, chose curieuse, ce n'est qu'en 1840, à propos de la construction du pont Brittania, que l'ingénieur Stephenson, le fabricant Fairbairn et le théoricien Hodghinson font des essais méthodiques sur la résistance des métaux et déterminent les coefficients relatifs à la fonte et au fer.

L'acier avait été employé déjà en 1828 pour un pont sur la Donau, mais ce n'est qu'après les inventions de Bessemer en 1855, de Martin et de Thomas en 1878 qu'il est devenu d'un usage courant dans la construction des ponts.

Nous voici bien loin du moyen âge, sur la culture scientifique duquel nous voulons jeter un coup d'œil. Les constructeurs de cathédrales ont assurément donné de nombreuses preuves d'habileté et de sens artistique; ils avaient l'instinct plus que la science de l'équilibre et l'on ne voit pas qu'ils se soient rendu un compte exact des efforts subis par les diverses parties de leurs hardis édifices.

Au dire de l'illustre Navier, il en était encore ainsi à la fin du XVIIIme siècle, et l'on se guidait encore par la routine et par l'imitation plus ou moins intelligente des travaux existants. Cependant Navier avait des prédécesseurs, car on date de l'an 1600, environ, un tracé graphique de l'équilibre des forces dans les nœuds d'un système articulé. Bernouilli émit, en 1717, le principe des déformations virtuelles qui, développé par Navier et ses successeurs, est si fécond en solutions élégantes.

On doit à Maupertuis (1747) *le principe de la moindre action.*

L'étude de l'élasticité et de la ligne élastique, commencée par Bernouilli, est poursuivie par Mariotte, Euler, Lagrange, Coulomb, etc.

Dès lors l'activité scientifique est devenue si intense en France, en Allemagne et en Angleterre qu'il y aurait témérité à la décrire et à désigner les initiateurs.

Le réveil intellectuel qui s'est manifesté dès le XVIIme siècle et se maintient au XXme, est sans doute dû, pour une grande part, aux conditions politiques de l'Europe centrale, mais aussi à l'influence de Descartes (1596 à 1650). Ce philosophe, l'un des derniers qui put embrasser la presque totalité de la science connue, affranchit l'esprit humain d'un dogmatisme étroit qui paralysait le progrès. Désormais l'opinion des anciens, des maîtres les plus vénérés, ne constituera pas un argument sans réplique, la libre discussion est née.

Après l'invention de l'imprimerie, celle de la machine à vapeur a eu certainement le plus d'importance sur la formation des mœurs et de la civilisation modernes; le nombre des ingénieurs qui y ont contribué est considérable, aussi devons-nous nous borner à citer quelques noms et quelques dates.

Avec beaucoup de bonne volonté on peut voir dans l'eolipyle de Héron d'Alexandrie, ou dans un appareil peu connu qui fermait et ouvrait miraculeusement les portes d'un sanctuaire égyptien, les ancêtres de la machine à vapeur. Il serait plus exact de voir dans Salomon de Caus, en 1615, et dans le marquis de Worcester (1663), les véritables précurseurs, et dans Thomas Savery, en 1698, et Watt, en 1769, les premiers inventeurs ayant utilisé industriellement la force d'expansion de la vapeur.

Newcomen avait, en 1705, construit une machine élévatoire de 8 chevaux, mais elle n'était applicable qu'à ce genre de travail.

Le marquis de Jouffroy, en 1782, et Fulton, en 1802, ont inventé et perfectionné les premiers bateaux à vapeur.

C'est à Stephenson et à Séguin qu'on doit la première locomotive, en 1814, dont la parenté avec les machines actuelles est assurément fort éloignée.

Les moteurs à gaz ou à hydrocarbures, ne datent guère que de 1860, par le moteur Lenoir; mais l'idée d'employer des explosions pour propulser un piston avait été émise en 1682 déjà par l'abbé Hautefeuille, qui proposait l'emploi de la poudre à canon. On sait que ce procédé a été appliqué de nos jours pour enfoncer des pilots.

Les turbines à vapeur sont d'invention encore plus récente, elles sont dues à Laval (1889). Leur emploi paraît fort avantageux pour la production de l'électricité et pour les machines marines, car leur rapidité de rotation et la continuité de leur mouvement y sont particulièrement favorables.

Dès que les moteurs à vapeur furent assez perfectionnés pour être adoptés par l'industrie, ils contribuèrent puissamment à son développement. Rendues indépendantes des forces hydrauliques dont l'intermittence était fort incommode, les usines se multiplièrent et prirent des dimensions considérables. On abandonnait alors la houille blanche pour la noire, on cherche à faire l'inverse aujourd'hui.

La main d'œuvre fut de plus en plus remplacée par l'emploi des machines-outils mues par la vapeur, ce qui produisit bien des misères chez la population ouvrière ; mais, après quelques années, les avantages de cette substitution se manifestèrent. Voici comment l'auteur de *La machine à vapeur,* A. Witz, les apprécie :

Après avoir évalué à 52 millions de chevaux-vapeur la force utilisée en Europe et en Amérique, et remarqué qu'elle équivaut à celle que pourrait fournir l'humanité tout entière, il ajoute :

« Des millions de bras sont déchargés d'une accablante

» besogne et remplacés par les bras de fer de l'outil. Des » millions d'êtres humains sont libérés du pénible labeur » de la chaîne, de la roue, de la rame, du treuil et du » cabestan ; ces pauvres esclaves, condamnés autrefois au » rôle de machines animales, sont émancipés par la machine » à vapeur et élevés à la dignité de travailleurs intelligents.

» Il faut reconnaître que le perfectionnement des » machines a entraîné un progrès réel dans la condition » matérielle de l'ouvrier, et ce dernier doit bénir la Pro- » vidence de ce que, même astreint au travail musculaire, » il ait maintenant le loisir de lever son front vers le » ciel et de s'occuper davantage de la culture de son » esprit et surtout des intérêts de son âme. »

En nous associant à ces nobles paroles, formons le souhait que l'accumulation de peuples d'ouvriers dans d'immenses usines soit remplacée, dans la mesure du possible, par les petits ateliers ou même par le travail à domicile. Le développement individuel et la vie de famille ont tout à y gagner.

Le perfectionnement des petits moteurs à vapeur, à eau ou à gaz, et surtout la divisibilité de l'énergie électrique sont très favorables à cette évolution. En asservissant cette force mystérieuse qu'est l'électricité, l'homme a fait une conquête dont il n'est pas possible de dire toutes les conséquences. Le premier cadeau de la fée invisible fut celui de la télégraphie, au commencement du siècle passé; le second fut la dynamo, cette concurrente de la vapeur, qui permet d'utiliser à grande distance les forces hydrauliques. Elle date, dit-on, de 1866.

Le troisième est l'éclairage électrique (dès 1880) dû à l'illustre Edison. Il a engagé avec l'éclairage au gaz, dont Murdoch nous avait dotés en 1792, une brillante lutte.

La téléphonie, la galvanoplastie, l'électrolyse et tant d'autres applications utiles font de l'électricité un précieux auxiliaire en divers domaines.

Quel que soit l'avenir de l'électricité pour la traction des chemins de fer, n'oublions pas que la création de ce merveilleux moyen de transport est intimement liée à l'invention de la locomotive. A partir de 1828, les voies ferrées ont rayonné sur tout le monde civilisé; elles portent, dans les régions autrefois inaccessibles de l'Asie Mineure, de la Sibérie, de l'Afrique, les produits des peuples civilisés et constituent ainsi, de concert avec le télégraphe, le plus puissant moyen de colonisation pacifique. L'exacte discipline, qui permet seule l'exploitation des lignes ferrées, leur confère un rôle éducatif pour des milliers d'hommes; leur influence sociale est sous ce rapport analogue à celle de l'armée.

L'historien Macaulay, parlant des chemins de fer et des steamers, dit que « les inventions qui ont pour résultat » d'abréger les distances sont celles qui contribuent le » plus à la civilisation et au bonheur de l'espèce humaine ».

Il eût étendu cet éloge aux tramways, dont le rôle le plus bienfaisant est de permettre à la population citadine de prendre ses logements en dehors des quartiers déjà encombrés au préjudice de la salubrité.

Il est temps de nous arrêter, car l'énumération des services rendus par les ingénieurs de toutes spécialités s'allongerait d'une manière démesurée. Ce titre d'ingénieurs qui, au XVme siècle, désignait l'officier chargé de diriger les machines de siège, a pris aujourd'hui des significations multiples.

Le domaine des sciences techniques s'est étendu à tel point que l'ingénieur le mieux doué ne peut connaître qu'un petit nombre de spécialités. On aboutit ainsi à la division du travail intellectuel, accompagnée de ses avantages et de ses défauts ; la spécialisation à outrance forme des hommes habiles dans un domaine restreint, et il est à craindre que leur génie inventif ne se porte plus que sur des perfectionnements de détails. La difficulté de concilier les vues d'ensemble avec la connaissance approfondie se retrouve dans d'autres carrières; elle provient d'un embarras de richesses.

Le divorce qui s'est produit entre la science de l'architecture et celle du génie civil, tient aux mêmes causes ; il a été reproché souvent aux ingénieurs, lesquels sont sans doute tout disposés à tenir compte de ces critiques ; mais, hélas, beaucoup de constructions utilitaires ne sont pas susceptibles de beauté ! Il faut aussi remarquer qu'à des matériaux nouveaux convient une esthétique nouvelle et que le sentiment du beau dépend en une grande mesure de l'accoutumance ; les jeunes générations trouvent fort belles telles machines qui eussent éveillé un tout autre sentiment chez nos aïeux. L'esthétique de certains ponts métalliques n'est pas à dédaigner, mais dans ce domaine l'ingénieur est fort exposé à déplaire à ses contemporains.

Qu'il ne le fasse qu'avec mesure !

Tenant du savant par ses fortes études et de l'artisan par son expérience pratique, l'ingénieur forme un chaînon nécessaire entre le domaine de la science pure et celui de la main-d'œuvre. La culture spéciale qui résulte de cette dualité a rendu plusieurs ingénieurs éminents particulièrement aptes aux hauts emplois administratifs et même au gouvernement des peuples.

La diffusion des sciences exactes, due en partie à l'extension des études techniques, a eu une influence heureuse même sur les sciences philosophiques, et a développé en tous domaines le souci de la précision qui caractérise l'esprit moderne. Elles sont bien loin de nous, les creuses dissensions scolastiques du moyen âge, et l'on recherche maintenant la vérité par l'observation toujours plus attentive des faits ; les dogmes et formules qui les groupent ne sont plus des obstacles au progrès, ils s'élargissent pour accueillir les conquêtes nouvelles et se perfectionnent incessamment.

Dans le domaine économique, l'art de l'ingénieur a puissamment secondé l'évolution remarquable qui s'est produite dans les siècles passés, et grâce à laquelle les diverses classes travailleuses de la société ont vu leur bien-être s'accroître dans des proportions inattendues.

Beaucoup de progrès restent à faire au profit de tous, et la civilisation du monde n'est qu'ébauchée ; souhaitons donc qu'une longue ère de paix permette aux phalanges

d'ingénieurs sans cesse renouvelées de poursuivre l'œuvre de leurs devanciers.

En mettant en évidence le rôle important que remplit notre art dans la société moderne, nous n'entendons point diminuer injustement celui des autres professions qui coopérèrent à l'œuvre du progrès par une activité féconde. L'association de toutes est nécessaire pour procurer à l'humanité, non seulement le bien-être matériel, mais les progrès moraux et spirituels sans lesquels toute civilisation est condamnée à la décadence.

Lansanne, 5 décembre 1903.

Sur la fixation de l'azote atmosphérique.

Par M. E. CHUARD,
Professeur extraordinaire à l'Ecole d'Ingénieurs.

Parmi les problèmes qui sollicitent le plus vivement, à l'heure actuelle, l'attention des chimistes, celui de la fixation de l'azote élémentaire de l'air occupe une place à part, en ce qu'il intéresse à la fois la chimie pure, la chimie industrielle et la chimie agricole.

La chimie pure, en ce que les recherches faites dans cette direction ont éclairé d'un jour nouveau un domaine encore fort obscur, celui de la chimie des hautes températures et des modifications de l'affinité qui se manifestent dans ces conditions.

La chimie industrielle, à cause de l'importance des combinaisons nitrées ; ces combinaisons, dont dépend en particulier toute l'industrie des explosifs modernes, sont livrées parcimonieusement par la nature, et leur production courante à partir de l'azote atmosphérique serait une conquête de premier ordre.

Enfin, et surtout, la chimie agricole, dont le développement, dans la dernière moitié du siècle écoulé, a mis en évidence le rôle capital de l'azote dans la production végétale. En même temps les recherches analytiques faisaient constater la rareté relative des combinaisons azotées utilisables directement par les plantes, en comparaison de l'énorme quantité d'azote élémentaire emmagasiné dans l'atmosphère. En effet, on calcule que la colonne d'air reposant sur une étendue de sol de 100 mètres carrés (1 are) contient approximativement 8000 quintaux métriques d'azote élémentaire, tandis que le sol lui-même, dans sa couche productive, n'en renferme, dans les conditions les plus favorables, pas au delà de 40 à 50 kg. L'agriculteur paie actuellement, sous forme d'engrais azotés, à raison d'environ 1 fr. 50 le kg., un élément dont il existe, sur chaque hectare de son sol, une quantité d'environ 80 000 tonnes, mais sous une forme dont on n'a pu jusqu'ici tirer aucun parti, pas plus au point de vue industriel qu'au point de vue agricole.

Si l'on ajoute que la combinaison azotée de beaucoup la plus employée par l'industrie et par l'agriculture, le nitrate de soude, dont l'importation annuelle en Europe dépasse 1 ½ million de tonnes, n'existe qu'en gisements limités, et dont on peut prévoir le prochain épuisement, on conviendra de l'importance du problème de la fixation de l'azote et de l'urgence d'en trouver la solution pratique.

Cette solution a été cherchée dans deux directions et par deux méthodes entièrement différentes. Les chimistes agricoles et les physiologistes l'ont poursuivie en s'adressant aux phénomènes physiologiques, en particulier à ceux dont les micro-organismes sont le siège.

Les recherches dans cette direction ont eu, au point de vue purement scientifique, des résultats vraiment remarquables et dont on ne saurait nier l'importance. Elles ont permis d'observer le rôle de divers microbes qui jouissent de la propriété d'*organiser* l'azote élémentaire, c'est-à-dire de le faire entrer en combinaison organique, dans des conditions, à la vérité, encore insuffisamment éclaircies. Et surtout elles ont mis en évidence les phénomènes si curieux de symbiose entre bacilles et végétaux supérieurs (légumineuses) à la découverte desquels Hellriegel et Willfarth ont attaché leurs noms.

* * *

On doit avouer cependant que, jusqu'ici, les essais en vue de transporter dans la pratique les connaissances acquises concernant cette fixation physiologique de l'azote, ont échoué sans exception. C'est donc à la seconde méthode, mettant en œuvre les phénomènes physiques et chimiques, qu'il faut demander la solution cherchée, et les résultats obtenus déjà aujourd'hui semblent indiquer que celle-ci n'est pas très éloignée. Mieux encore, il semblerait qu'une double solution soit à espérer, l'une fournissant directement les combinaisons oxygénées de l'azote, aujourd'hui si largement employées, l'acide nitrique principalement ; l'autre conduisant à un produit azoté nouveau, dont l'intérêt n'est pas moindre et dont les applications pourraient devenir aussi importantes que variées.

* * *

La production de combinaisons oxygénées de l'azote aux dépens des éléments de l'air, sous l'influence de la décharge électrique, a déjà été observée il y a plus d'un siècle (1784) par les physiciens anglais Cavendish et Priestley. Mais le phénomène n'eut longtemps qu'un intérêt scientifique, étant donné le rendement infime de cette synthèse, limitée par la reversibilité. La production facile de l'énergie électrique vint changer les conditions de cette réaction et, dans ces dernières années, de nombreuses tentatives ont été faites en vue de son utilisation industrielle. Tout récemment MM. de Kowalski, professeur à l'Université de Fribourg, et Moscicki, ont fait breveter un procédé et des appareils dont le rendement est, d'après eux, notablement supérieur à ce qu'on avait obtenu jusqu'ici.

M. de Kowalski utilise en particulier l'influence, observée par lui, de la *fréquence* du courant sur la production des vapeurs nitreuses aux dépens de l'air. Les réactions qui se passent entre l'azote et l'oxygène de l'air, sous l'influence de la décharge électrique, peuvent être représentées par les équations suivantes :