

Zeitschrift: Wissen und Leben
Herausgeber: Neue Helvetische Gesellschaft
Band: 2 (1908)

Artikel: L'utilisation industrielle de l'azote de l'air
Autor: Crinsoz, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-751140>

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: 29.06.2025

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

wir uns vor geschmackloser Überwertung einer Lyrikergemeinde, die nicht mehr weiss, wie tief sie die übrige „unproduktive“ Welt einschätzen will.

Heute brauchen sich die jungen Dichter nicht mehr aus Ver-
kennung „aufzupuffen“ wie zu C. F. Meyer's Zeiten. Kritik und
Mäzenatentum haben sie so hochgeschraubt, dass die Gemeinde
der Geniessenden im Notwehrzustand ist. Sie mache von ihrer
Waffe: der überlegenen Reserve, ausgiebigen Gebrauch!

BERN.

JULES COULIN.



L'UTILISATION INDUSTRIELLE DE L'AZOTE DE L'AIR.

Il est certainement peu de problèmes dont la solution soit
appelée à jouer un rôle aussi important que celui de la trans-
formation de l'azote atmosphérique en un produit applicable
à l'agriculture et à l'industrie chimique.

Dans une trentaine d'années en effet, le salpêtre du Chili qui
jusqu'à présent était la seule source de combinaisons oxygénées
de l'azote fera défaut. La production de cette matière dont la
première cargaison arrivant en Europe en 1825 fut coulée faute
d'emploi, a depuis augmenté dans des proportions fantastiques:
En 1860 la plaine de Atacama fournissait 68,500 tonnes de sal-
pêtre, en 1880: 225,000, en 1890: 1,025,000, en 1900: 1,450,000,
depuis la consommation augmente chaque année d'environ 10 %.

Quatre cinquièmes de ces masses énormes de sels nitrés
passent à l'agriculture et un cinquième à l'industrie chimique.

Il n'est point besoin de dire que les dérivés oxygénés de
l'azote sont indispensables à la fabrication d'un très grand
nombre de produits chimiques, les colorants, les explosifs et les
parfums par exemple; quant à leur rôle comme engrais, il est
bon de citer quelques chiffres, car on pourrait faire la remarque,
que l'agriculture a de tout temps existé et que jusqu'à l'apparition
du salpêtre on avait bien su s'en passer. C'est un fait bien évi-
dent, mais à ce moment-là, on ne plantait pas dans une pro-
portion aussi considérable les céréales et la betterave, qui absor-

bent une quantité énorme d'azote. Le pain était loin de jouer dans l'alimentation le rôle qu'il a actuellement; et ce rôle devient de jour en jour plus important, grâce à la transplantation des mœurs européennes dans des pays où cet aliment était jusqu'alors inconnu, comme le Japon et la Chine par exemple. Le sol dont on a tiré tout ce que l'on a pu, en se contentant de le fumer avec des engrais organiques, est épuisé et ne peut plus fournir des récoltes suffisantes.

Si la France voulait par exemple rendre aux champs les 600,000 tonnes d'azote que leur enlève la récolte annuelle, elle ne devrait pas se contenter de les fumer avec 300,000 tonnes d'azote sous forme d'engrais organiques (fumiers, déchets, etc.) et de 31,200 tonnes d'azote sous forme de salpêtre (230,000 tonnes); mais elle devrait encore amener sous une forme assimilable par les plantes 270,000 tonnes de cet élément indispensable à la croissance.

L'Allemagne et l'Amérique ont bientôt aussi épuisé les provisions d'azote accumulées dans leur sol.

Ces quelques chiffres suffisent déjà à démontrer l'importance des procédés que je vais décrire ici. Ils se divisent en deux classes. La fabrication de l'acide azotique et des nitrates par synthèse au moyen de l'arc électrique, et l'absorption de l'azote par le carbure de calcium.

*

*

*

SYNTHESE DU MONOXYDE D'AZOTE.

Les premières relations sur cette synthèse sont faites par Cavendish en 1825. Au cours de nombreuses expériences, il se rend compte qu'une réaction chimique a lieu dans l'air sur le passage des étincelles fournies par une machine électrique. Cette réaction est due, pense-t-il, à une combinaison de l'air privé de phlogiston (oxygène) avec le phlogiston (azote). Afin de mieux isoler cette réaction, il travaille dans des récipients fermés; il arrive ainsi à déterminer que les gaz formés sont entièrement absorbés par l'eau, qui prend alors un caractère acide. Il déclare que la combinaison se produit tout aussi bien au moyen d'une source de chaleur agissant d'une façon analogue à l'étincelle

électrique, qu'avec cette dernière. Il se sert pour le démontrer d'explosions de gaz tonnant.

Il est intéressant de constater qu'à la même époque Pictet remarquait à Genève lors d'une préparation d'oxygène faite par un certain Paul au moyen du bioxyde de manganèse, que, lorsque ce dernier laissait échapper de son appareil le gaz chaud, l'air prenait une forte odeur d'acide azotique.

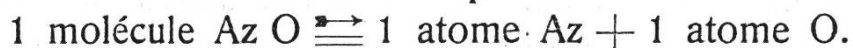
Ce n'est cependant guère que 100 ans après ces observations que l'on pense à exécuter industriellement cette synthèse. La cause est due à ce que jusque-là les gisements de salpêtre étaient considérés comme inépuisables et qu'en outre les machines électriques n'avaient pas encore atteint un degré de perfection suffisant.

Avant de passer à la description des établissements industriels basés sur les principes des observations décrites plus haut, nous voulons examiner le mécanisme de la réaction qui a lieu.

Lorsque l'étincelle électrique porte à un moment donné l'atmosphère à une température fort élevée que l'on peut évaluer à 3000° , elle dissocie les molécules d'azote et d'oxygène contenues dans l'air en atomes. Ceux-ci se combinent alors pour former du monoxyde d'azote.



Cette réaction n'est pas cependant la seule à se produire aux hautes températures auxquelles est soumis le mélange. Il s'en forme une seconde semblable à la première mais de sens inverse.



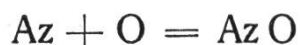
Ces deux réactions ont lieu simultanément et leur vitesse est uniquement dépendante de la température et des concentrations des produits en présence.

Il est bon à ce propos de rappeler le principe des actions contraires: Supposons deux corps A et B placés dans un milieu X, supposons encore que la combinaison des ces deux corps en un nouveau corps [AB], soit accompagnée d'une forte absorption de chaleur empruntée au milieu X. Si nous élevons la température du milieu X, nous remarquerons que les deux corps A et B se combineront avec une certaine vitesse pour former le corps [AB] en absorbant de la chaleur. Si au contraire nous abaissons la température du milieu X, le corps [AB] se dissociera en ses composants avec une certaine vitesse, rendant au

milieu sa chaleur de formation. Cette observation, ainsi que beaucoup d'autres analogues, nous font conclure que lorsque dans un système nous élevons ou abaissons la température au moyen d'une source d'énergie quelconque, il se produira toujours au sein de ce système une réaction ayant un effet thermique de sens contraire.

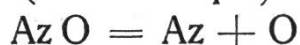
Ajoutons à ces conclusions que les vitesses de réaction augmentent très rapidement avec les élévations de température, et nous pourrions déterminer les conditions générales les plus favorables pour la formation du monoxyde d'azote.

La première des réactions



est une réaction endothermique, c'est à dire que l'oxyde d'azote, pendant sa formation, emprunte de la chaleur au milieu ambiant, elle sera donc facilitée d'après la loi ci-dessus par une élévation de température.

La réaction inverse (exothermique)



qui remet en liberté la chaleur, sera facilitée par un abaissement de température et sera d'autant plus complète que l'abaissement sera plus lent aux températures élevées.

De là les deux conditions suivantes nécessaires à la réaction : température de formation très haute et refroidissement rapide. Ce n'est en effet qu'aux hautes températures que la décomposition de l'oxyde d'azote a lieu, en dessous de 600° la vitesse est négligeable. Il faut en outre tenir compte de ce que les produits formés retardent la combinaison de nouvelles quantités, qu'il est par conséquent nécessaire, pour avoir un bon rendement, d'éloigner l'air ayant acquis une certaine proportion d'oxyde d'azote.

Nous avons ainsi décrit les principaux facteurs dont il s'agit de tenir compte au cours de la synthèse de l'oxygène et de l'azote. De nombreux travaux théoriques et pratiques ont préparé la voie aux deux grandes entreprises industrielles dont nous décrivons les installations. C'est à Nernst, Muthmann et Hofer, Raleigh que reviennent la gloire de ces études fondamentales.

Le premier brevet pour l'exploitation a été pris en 1859 par une dame Lefèvre de Paris; il prouve que son auteur avait des

connaissances très approfondies de la question. Il n'est cependant pas applicable à une exploitation technique. Puis viennent les appareils de Siemens & Halske, les méthodes de Naville & Guye, de Dougall, etc.

La première expérience industrielle est faite par l'Athmosphéric Products Co. aux chutes du Niagara. Cette société base sa fabrication sur les brevets de Lovejoy et Bradeley. Les fours employés sont en fer, et affectent la forme de cylindres de 1,54 mètre de hauteur et de 1 mètre 23 de diamètre. Ils sont dressés sur leur base. Le courant employé est à très haute tension. Il est produit par un générateur à courant continu, puis passe dans des transformateurs dont il sort avec 1 ampère et 15,000 volts.

Le pôle positif du système thermique est composé d'un axe vertical rotatoire muni de 23 colliers en laiton, placés les uns en dessous des autres. Chacun d'eux porte 6 électrodes métalliques se terminant par un fil de platine et placées à un angle de 60° par rapport les unes aux autres. Les colliers sont en outre disposés de façon à ce que chaque électrode soit décalée d'un angle de $2^{\circ}5$ par rapport à la correspondante du collier supérieur. Les pôles négatifs sont composés de petites pointes de platine disposées en 6 rangées perpendiculaires de 23 chacune, celles-ci sont fixées aux parois du four dont l'axe est formé par le système d'électrodes positives décrites plus haut. Ce dernier est animé d'un mouvement rotatoire de 500 tours à la minute produisant ainsi 414,000 arcs électriques. L'air entre par deux tuyaux au centre du cylindre et est évacué par des ouvertures radiales, puis il est envoyé dans un système de réfrigérants où se passent les réactions postérieures. A une température inférieure à 600° , le monoxyde d'azote se transforme de lui même en anhydride azotique et azoteux par auto-oxydation au moyen de l'oxygène de l'air. Les anhydrides traversent ensuite les tours d'absorption où ils arrivent en contact avec de l'eau ou des alcalis, suivant que l'on veut obtenir de l'acide ou des nitrates.

L'Athmospheric Products Co. qui avait été fondée en 1902 avec un capital d'un million de dollars fut obligée en 1904 de suspendre son exploitation. Le procédé était trop coûteux, par

le fait que les fours étaient rapidement détruits par les vapeurs acides, en outre la rotation qui avait pour but de refroidir instantanément l'endroit où s'étaient formés les gaz oxydés par extinction de l'arc voltaïque, absorbait une très grande force et donnait continuellement lieu à des dérangements qui arrêtaient le travail des fours. Les dispositifs emmenant l'air n'étaient pas suffisamment bien combinés pour assurer une évacuation des oxydes d'azote; de là un mauvais rendement.

La seconde méthode industrielle que nous voulons décrire est celle actuellement appliquée à Notoden en Norvège dans une usine électrochimique disposant d'une force de 35,000 HP et sur le type de laquelle on en construit une autre. Cette dernière aura à sa disposition la force fantastique de 250,000 chevaux obtenue par les chutes du Rjukan. La dénivellation est de 556 mètres et le débit minimal 45 mètres cubes.

Le procédé employé est dû à Christian Birkeland, professeur de physique à l'université de Christiania et à l'ingénieur norvégien Eyde. Ils se servent du fait que lorsque l'on place les électrodes d'un arc électrique dans un champ magnétique, et cela de façon à ce qu'elles soient perpendiculaires aux bornes de l'aimant, l'arc est dévié de sa course, donnant ainsi naissance à un disque lumineux pouvant atteindre un diamètre de 2 mètres.

Les fours employés à Notoden affectent la forme de grands tambours de 2 à 3 mètres de hauteur. Ils sont garnis intérieurement de briques réfractaires. Les électrodes composées de tubes en cuivre, dans lesquels circule continuellement un courant d'eau, reçoivent un courant alternatif triphasé. Les fours travaillent normalement avec 500 kilowatts, chacun d'eux traite à la minute 25,000 litres d'air. La production d'acide azotique 100 % s'élève à 500—600 kg par kilowatt-année; le kilowatt-année revient de 15 à 16 couronnes.

L'oxyde d'azote sortant des fours a encore une température de 600°, il passe dans des réfrigérants d'où il sort avec une température moyenne de 40°; de là il est envoyé dans une chambre d'oxydation. Un ventilateur chasse les anhydrides formés dans un système d'absorption composé de 3 tours de granit garnies de quartz sur lequel coule continuellement l'eau destinée à la formation de l'acide. Au sortir de la troisième tour, il en

passé encore une quatrième contenant du lait de chaux qui absorbe les dernières traces d'acide.

Ce système d'absorption a un volume total de 400 mètres cubes, son pouvoir absorbant est tel qu'un mètre cube fournit 3,3 kg d'acide à 100 % par 24 heures.

Les installations norvégiennes ont un rendement de beaucoup supérieur à celui de l'Atmospheric Products Co. Elles livrent 102 grammes d'acide par kilowatt-heure au lieu de 88 grammes obtenus par la société américaine. En outre les fours très simples sont d'une grande résistance et peuvent être employés d'une façon continue.

Si nous considérons la question au point de vue économique, il faut reconnaître que les méthodes décrites plus haut ne sont employables que dans des contrées où la force est excessivement bon marché. Si le kilowatt dépasse un prix de 50 francs par année, l'exploitation devient impossible.

Les sources d'énergie à des prix aussi bas sont rares, et même en admettant que toutes les forces hydrauliques européennes soient consacrées à la fabrication des nitrates, on n'arriverait qu'à fournir une quantité très petite de combinaisons d'azote nécessaires. Le cas a déjà été prévu. Un ingénieur anglais, Mond, a élaboré une nouvelle méthode consistant à traiter les houilles à haute température par la vapeur d'eau. De cette façon l'on obtient un gaz pouvant actionner des moteurs à explosion, fournissant de la force à un prix de beaucoup inférieur à celui de celle livrée par les machines à vapeur. On récupère en outre une grande quantité de l'azote contenu dans les charbons, sous forme d'ammoniaque.

Le développement industriel de la préparation des combinaisons oxygénées de l'azote est donc assuré de ce côté.

Au commencement de ce travail, nous avons parlé de la seconde méthode technique, pour la fixation de l'azote atmosphérique. Nous ne nous arrêterons que fort peu sur cette question; les installations étant des plus simples. Le procédé, dont les inventeurs sont Franck et Caro consiste à faire passer sur du carbure de calcium, chauffé à une température de 700 à 1000 degrés un courant d'azote obtenu par distillation fractionnée de l'air liquide. Celui-ci se combine avec le carbure avec un grand

développement de chaleur pour former une combinaison nouvelle, le cyanamide de calcium. Ce corps qui contient 20 % d'azote peut être employé directement comme engrais. Ses propriétés sont au point de vue agronomique très comparables à celles du salpêtre du Chili. Traité par la soude, le cyanamide se transforme en cyanures dont le rôle est des plus importants dans certaines branches de l'industrie chimique.

Plusieurs sociétés s'occupent activement de l'exploitation de ce procédé, ce sont en Allemagne Siemens et Halske, en Amérique la Electro Chemical Company à Porchester, en Italie et en Autriche la Società Italiana per la Fabbricazione dei Prodotti azotati. Cette dernière a construit à Piano d'Orte une usine qui livre annuellement 4000 tonnes de cyanamide, une augmentation de la production à 14,000 tonnes est prévue.

La méthode au cyanamide représente au point de vue de la force électrique employée une forte économie sur les procédés décrits plus haut. Le carbure absorbant 20 à 22 % d'azote, on obtiendrait avec un kilowatt-année 340 kg d'azote combiné, alors que le procédé Birkeland-Eyde ne produit avec la même force que 600 kg d'acide azotique représentant 133 kg d'azote. Mais il ne faut pas oublier que nous avons à faire dans la seconde méthode à une matière première ne coûtant rien et n'occasionnant aucun frais de transport. Cet argument pris en considération, l'azote revient à un prix égal si ce n'est inférieur à celui obtenu par la méthode synthétique.

Il y a dix ans, Sir William Crooks annonçait à un bref délai la famine. Il démontrait au cours d'un remarquable discours prononcé à la British Association, que si une intervention rapide n'avait lieu, notre société était condamnée. L'azote, l'élément qui est à la base de toute vie puisqu'il est fondamental dans la constitution de la cellule animale et végétale, allait faire défaut dans trente ans à peine.

En dix ans, l'intervention a eu lieu et des méthodes merveilleuses ont été inventées pour tirer de leur torpeur les quatre trillions de kilogrammes d'azote qui se trouvent dans notre atmosphère terrestre. Ces méthodes sont-elles vraiment industrielles? C'est ce que l'avenir seul arrivera à démontrer.

ZURICH.

F. CRINSOZ.

