

JOURNAL DES SAVANTS.

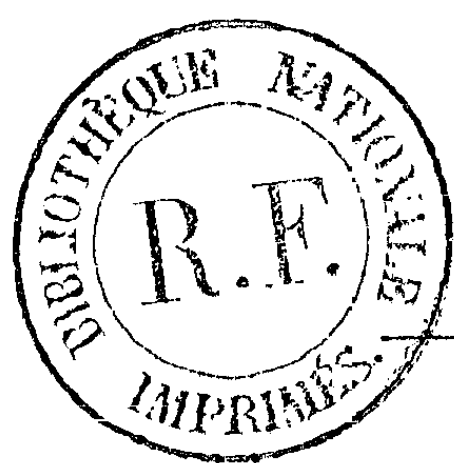
ANNÉE 1849.



PARIS.
IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC XLIX.

JOURNAL DES SAVANTS.



SEPTEMBRE 1849.

RECHERCHES CHIMIQUES sur la respiration des animaux de diverses classes, par MM. V. Regnault et J. Reiset.

(Extrait des *Annales de chimie et de physique*, cahiers de juillet et août 1849.)

DEUXIÈME ARTICLE.

Depuis les travaux de Lavoisier, jusqu'au mémoire dont nous allons rendre compte, les expérimentateurs qui avaient porté leurs recherches sur la respiration des animaux, s'étaient attachés à étudier les particularités de ce phénomène qui leur paraissaient encore indécises, plutôt qu'à reprendre la question dans son ensemble. La plupart ne se trouvaient pas en position de le faire; et ceux qui l'auraient pu, se seraient difficilement dévoués à une si longue tâche. Alors, dans ce sujet complexe, chacun choisissait le point qui convenait le mieux à ses connaissances, et à ses moyens de travail. Mais il est très-difficile de décomposer ainsi les problèmes dans lesquels l'organisation des êtres vivants intervient, sans altérer les rapports des données naturelles qui y concourent; et sans s'exposer à en fausser les effets communs, par l'omission de celles que l'on a cru pouvoir négliger. C'est ce qui est trop souvent arrivé, quand on a voulu étudier le phénomène de la respiration. Sauf un petit nombre d'exceptions fort récentes, les physiologistes qui s'en sont occupés, ont, en général, apporté trop peu d'exactitude dans leurs déterminations physiques et chimiques; de leur côté, les physiciens et les chimistes, n'ont pas toujours tenu assez de compte des circonstances physiologiques. Plusieurs sembleraient avoir accordé une confiance presque absolue à leurs procédés d'analyse et au mécanisme de leurs

appareils, sans en discuter les erreurs. Des hommes très-habiles n'ont pas échappé à ces préoccupations trop exclusives; et, comme exemples de leurs influences contraires, je citerai Edwards et Dulong. Le premier, médecin de profession, s'était beaucoup occupé de l'économie animale. C'était un observateur intelligent, patient, et, ce qu'il n'est pas inutile d'ajouter, très-sincère. Il avait porté ses investigations sur une multitude de sujets divers, peut-être trop divers. Cette disposition à ne pas savoir se restreindre, lui a fait publier un ouvrage, d'ailleurs fort remarquable, qu'il a intitulé : *de l'Influence des agents physiques sur la vie*, sujet beaucoup trop vaste pour être embrassé dans un seul volume, je dirai même, pour être complètement accessible à un homme isolé. On trouve dans ce livre un grand nombre de recherches et d'expériences sur la respiration des animaux, toutes ayant pour but des questions fort méthodiquement posées, dont la solution aurait eu beaucoup d'intérêt. Mais les appareils font défaut à l'observateur. Edwards enferme ses animaux sous des cloches dont la capacité ne dépasse guère un litre, ou un litre et demi. Cela l'oblige à les prendre toujours très-petits, et à ne les laisser que très-peu de temps dans un volume d'air aussi restreint, pour que leur respiration puisse être supposée s'y accomplir à peu près comme dans l'air libre. Alors, par une conséquence évidente, les changements qu'ils produisent dans la composition de leur atmosphère artificielle, sont nécessairement très-faibles; et cela, joint à la petitesse du volume, rend l'appréciation exacte de ces changements fort chanceuse, ou même tout à fait impossible. Ajoutez que les fonctions animales n'ont pas l'invariabilité d'une mécanique. Elles s'accélèrent occasionnellement, ou se ralentissent, par une multitude de causes diverses; et ce qu'elles ont de régulier, ne peut se découvrir que par des compensations. Si vous les mesurez d'après des effets de peu de durée, opérés dans des circonstances insolites, vous risquez de prendre fort souvent l'exception pour la règle. Cela n'a pu manquer d'arriver bien des fois à Edwards; et, par ce motif, ainsi que par l'incorrection inévitable de ses analyses chimiques, les résultats de ses expériences n'ont rien de certain. Dulong, beaucoup plus exercé au maniement des appareils physiques, et à l'usage des procédés de la chimie, avait dû se méfier bien davantage de ces causes d'erreur. Il avait adopté, pour ses expériences, des dispositions qui pouvaient paraître y obvier, au moins en partie. Son but principal était de mesurer la quantité de chaleur qu'un animal vivant dégage dans un temps donné, et de la comparer à celle que produirait la combustion du volume d'oxygène qu'il absorbe par sa respiration, dans le même temps, pour savoir si cette dernière est

égale à l'autre, en sorte qu'elle suffise à entretenir la température propre, comme Lavoisier l'avait supposé. Pour apprécier la chaleur émise par l'animal, la cloche remplie d'air atmosphérique, où sa respiration s'opérait, était suspendue dans un appareil fermé, que l'on appelle *le calorimètre à eau*. C'est une boîte de métal à parois minces, formant une double enveloppe remplie à l'intérieur d'une quantité d'eau distillée dont le poids est connu, et dans laquelle plongent des thermomètres très-sensibles qui indiquent à chaque instant sa température. On note le degré qu'ils marquent quand on introduit l'animal; et leur élévation finale au-dessus de ce degré, quand on le retire, donne, par un calcul connu, la mesure de la quantité absolue de chaleur transmise à la masse entière de l'eau ainsi que des enveloppes, pendant son séjour. Mais il faut lui fournir l'air dont il a besoin, et connaître à chaque instant, ce qu'il reçoit, ce qu'il absorbe, ce qu'il dégage. Pour cela, Dulong faisait traverser la cloche par un courant d'air atmosphérique continu, sortant d'un premier gazomètre gradué qui en forçait l'introduction, et aspiré à sa sortie par un autre qui le recueillait à mesure; en sorte que sa vitesse de transport fût toujours uniforme. Le premier de ces appareils faisait connaître le volume d'air naturel qui était fourni à l'animal dans un temps donné; le second, le volume de l'air qui avait été ultérieurement modifié par sa respiration. L'analyse chimique de ce dernier indiquait sa composition actuelle. Comparant alors les quantités d'oxygène, d'azote, d'acide carbonique, qui avaient été fournies, et celles des mêmes gaz qui avaient été recueillies, on déterminait, par différence, ce qui avait été consommé, ou dégagé, ou transmis sans altération. Ce mode d'expérience n'a pas l'inconvénient de faire respirer l'animal dans une atmosphère restreinte, et, spéculativement, il semble irréprochable; mais il est bien loin de l'être dans la réalité. D'abord, les gazomètres de Dulong étaient mus par l'eau; et, dans celui qui servait à l'introduction, l'air atmosphérique se trouvait en complet contact avec ce liquide. Cela avait peu d'inconvénient, parce que la proportion d'acide carbonique naturellement contenue dans cet air, et que l'eau pourrait lui enlever, est si petite que l'on peut la négliger sans grande erreur. Mais il en est tout autrement pour le gazomètre de sortie, où l'air arrive chargé d'une quantité d'acide carbonique, qui est un des produits les plus abondants de la respiration. Aussi Dulong avait-il cherché à y préserver cet air du contact de l'eau; et l'artifice qu'il avait imaginé pour l'en garantir était peut-être moins imparfait que d'autres, employés depuis au même usage. Toutefois on peut très-légitimement douter que son efficacité fût

absolue; et il est fort à croire qu'une portion plus ou moins notable de l'acide carbonique émis était absorbée par l'eau du second gazomètre. Mais un autre principe d'erreur, plus intime et plus général, est inhérent à la méthode même. Pour que l'animal ne vicie pas l'air qu'on lui donne, au point d'en être incommodé, il faut que chaque portion qui lui arrive ne s'arrête autour de lui que très-peu de temps, et n'en reçoive ainsi que des altérations très-faibles, qui se retrouveront, au même degré de petitesse, dans l'air recueilli. Suivons les conséquences de ce fait. Quand l'expérience sera terminée, on devra analyser cet air et constater sa composition finale. Pour cela on prend un petit échantillon de son volume total, et l'on détermine directement les proportions d'oxygène, ainsi que d'acide carbonique, qu'il contient. L'azote se conclut par son complément. Cette opération peut être considérée comme tout à fait exacte quand on l'applique à l'air naturel du premier gazomètre, parce que, si l'on néglige les quelques millièmes d'acide carbonique qui s'y trouvent occasionnellement mêlés, les proportions d'oxygène et d'azote qui le composent ont été déterminées mille fois, et reconnues sensiblement constantes. Il n'en est plus ainsi pour un air où l'acide carbonique se trouve mêlé aux deux autres gaz dans une petite proportion que l'on a besoin de connaître, et qu'il est essentiel de déterminer très-exactement. L'analyse chimique d'un pareil mélange est fort délicate à effectuer, même aujourd'hui; et, à l'époque où Dulong faisait ses expériences, elle prêtait encore à de bien plus graves erreurs, les procédés eudiométriques étant alors fort éloignés de la précision qu'on leur a donnée depuis. Or ces erreurs, qui paraîtraient ne s'élever qu'à des petites fractions de l'échantillon analysé, acquièrent une influence énorme quand elles se transportent dans l'estimation absolue de l'air recueilli; car elles s'y agrandissent dans le rapport de son volume total, au volume de l'échantillon analysé; et ainsi les quantités absolues des trois gaz, que l'on suppose constituer ce volume total, peuvent se trouver grandement fausses. Alors, quand on retranche de celles-ci, les quantités absolues de même espèce qui composent le volume d'air primitif, lesquelles leur sont presque égales, les petites différences qui pourraient y avoir été produites par la respiration de l'animal, se présenteront accompagnées des erreurs agrandies que je viens de signaler; et les effets réels que l'on voulait mesurer, ne sont plus reconnaissables dans ce mélange. Aussi les physiciens les plus habiles, qui ont employé ce mode d'expérimentation, se sont-ils vus conduits, malgré tous leurs soins, à des résultats, non pas seulement différents, mais totalement contradictoires. Les uns trouvaient

que l'animal qui respire fixe de l'oxygène, d'autres qu'il en dégage; ceux-ci qu'il absorbe de l'azote, ceux-là qu'il en exhale. Ces discordances étaient inévitables, et on aurait pu les prévoir. Pour cela il aurait fallu, au préalable, soumettre le procédé d'expérimentation à une épreuve théorique, dont l'usage ne s'est pas encore introduit dans la physique, mais qui est continuellement appliquée dans l'astronomie. Lorsqu'un résultat, dont l'appréciation est délicate, doit se conclure de données lointaines, on représente ces données par des lettres, auxquelles on ajoute comme auxiliaires de petites erreurs, figurées de même symboliquement. On conduit ensuite ces expressions générales, à travers toute la série des raisonnements, et des opérations d'où le résultat désiré doit se déduire; et l'on forme ainsi, en symboles, son expression complète, dans laquelle les données primitives se montrent, avec tous les effets accessoires qui proviennent, tant de leurs erreurs propres que de celles qui ont pu éventuellement s'y joindre sur la route. Par les proportions que toutes ces erreurs ont acquises, on voit d'un coup d'œil si leur ensemble, peut ou ne peut pas vicier notablement le résultat que l'on veut établir; et selon que la méthode de déduction en ressort assurée ou périlleuse, on l'adopte, ou on la rejette sans hésitation. Si Dulong, et les physiciens qui ont opéré comme lui, avaient préalablement soumis leur procédé à cette épreuve mathématique, ils n'auraient pas pris la peine de le réaliser. Des erreurs à peine appréciables dans l'analyse chimique, y acquièrent une influence finale si grande, que les quantités d'oxygène dégagé ou fixé, d'azote exhalé ou absorbé, peuvent être capricieusement changées du simple au double, ou prendre des valeurs apparentes de sens opposés. Voilà ce qui a causé tant de discordances entre les expérimentateurs qui ont suivi cette méthode. On pourra facilement s'en convaincre si l'on veut bien jeter les yeux sur une note, qui sera placée à la suite de ces articles, et dans laquelle je lui ai appliqué le genre d'épreuve que je viens d'exposer. Cet exemple de calcul, quoique particulier, pourra encore être utile dans d'autres occasions.

Ayant rappelé dans les pages précédentes, ce qu'on savait et ce qu'on ne savait pas, sur le phénomène de la respiration, j'arrive au mémoire de MM. Regnault et Reiset. Ici la science expérimentale se montre dans une phase de progrès toute nouvelle. La physique, la chimie, la mécanique, concourent également à la servir. Sa marche n'est plus hésitante, et embarrassée d'erreurs. La question naturelle qu'il s'agit de résoudre, est envisagée dans toute son étendue; et elle est attaquée directement sous tous ses aspects, avec une perfection d'appareils, une

précision de procédés, une richesse d'expériences, que l'on n'avait jamais vues aussi habilement réunies. Ce travail a duré cinq ou six années. Il a été pénible, dispendieux, et il a exigé des auxiliaires nombreux, animés d'une bonne volonté persévérante. Ce sont là des conditions si étranges, dans les habitudes scientifiques de notre temps, qu'il est nécessaire d'expliquer comment elles ont pu être remplies.

L'initiative est venue de M. Reiset, par l'inspiration de M. Regnault son ami. Jouissant d'une fortune indépendante, M. Reiset, chose rare en France, a le goût des sciences expérimentales; et, chose plus rare encore, il en a aussi le talent. Parmi les recherches qu'on lui doit, je rappellerai seulement la découverte remarquable d'un composé défini de platine et d'ammoniaque, où ces deux corps de constitutions si dissemblables, sont joints par une affinité réciproque tellement puissante, qu'ils entrent ensemble dans une multitude de combinaisons avec les acides, en conservant toutes les qualités d'un alcali simple, M. Reiset a établi dans sa résidence un cabinet de physique et un laboratoire de chimie, deux éléments de travail que l'on ne doit plus aujourd'hui séparer, parce que les deux sciences auxquelles ils sont particulièrement consacrés ne sauraient désormais marcher l'une sans l'autre. Il avait entendu M. Regnault, dans ses cours, exposer les recherches des physiciens sur la chaleur animale, et sur les phénomènes de la respiration; en montrer les défauts regrettables, tracer le plan qu'il faudrait suivre pour obtenir des résultats plus assurés, et signaler le grand intérêt qu'offrirait une pareille étude ainsi dirigée. Encouragé par ces considérations, M. Reiset se résolut à l'entreprendre, avec les conseils de M. Regnault et son concours personnel; ce qui complétait toutes les conditions de succès; car personne ne sait aussi bien que lui inventer et combiner des systèmes d'appareils propres à résoudre les questions scientifiques qu'il s'est posées. Dans le plan d'abord adopté, chaque animal, avant d'être soumis à l'expérimentation, devait être nourri pendant une semaine avec des aliments dosés, pesés, analysés; et l'on aurait aussi analysé ses sécrétions alvines. Il aurait été maintenu à ce régime pendant qu'on étudiait sa respiration, l'arrangement des appareils permettant de l'y retenir assez longtemps pour que la continuité de son alimentation y fût possible, et souvent nécessaire. Enfin, il aurait été encore soumis aux mêmes conditions hygiéniques et aux mêmes déterminations chimiques, après qu'on l'en aurait retiré. On devait connaître ainsi la nature et les proportions des produits de toutes sortes, gazeux, liquides et solides, qui sont exhalés, fixés, ou expulsés, pendant l'acte de la respiration. Malheureusement, le collaborateur qui devait faire cette partie du travail, fut appelé pour

un service médical, dans un département éloigné; de sorte que l'on dut se borner à la seule étude des produits gazeux. Ces produits appartiennent à trois ordres de fonctions distinctes: la respiration pulmonaire, la respiration cutanée, et l'exhalation ou l'absorption par le canal intestinal. La seconde est beaucoup moins active que la première dans les animaux à sang chaud. Elle est au contraire aussi énergique, et parfois prédominante, dans les animaux à sang froid: par exemple dans les grenouilles, qui continuent à vivre pendant plusieurs jours privées de poumons, en respirant par la peau; ou dans les salamandres, qui vivent pendant des mois après qu'on leur a coupé la tête, et que la plaie s'est cicatrisée. Les auteurs du mémoire ont étudié séparément ces trois ordres de phénomènes, autant qu'il le fallait pour en apprécier les proportions relatives dans les diverses classes d'animaux qu'ils soumettaient à leurs expériences. Mais ils se sont attachés spécialement à en mesurer les effets simultanés, et la résultante totale, qu'ils ont désignée par le terme générique de *perspiration*, adopté dans la physiologie moderne pour cet usage. J'avoue, à leur détriment, que l'Académie donne à ce mot une signification beaucoup plus restreinte; lui attribuant pour emploi de désigner la transpiration *insensible*, laquelle sans doute, avec ce caractère spécifique, doit être quelque chose qui échappe aux poids et aux mesures du physicien. Mais on peut bien permettre aux savants, de donner à leurs termes techniques le sens pour lequel ils les ont intentionnellement composés, plutôt que tout autre qui serait assigné par des personnes étrangères aux applications qui les nécessitent. Comme aussi, en général, dans leurs écrits, ayant pour obligation principale, et presque unique, d'être toujours clairs, précis, et d'épargner à la pensée toute hésitation, toute fatigue d'interprétation inutile, il y aurait quelques motifs de leur pardonner s'ils évitent les honneurs des longues périodes; et s'ils se résignent même quelquefois à couper leurs phrases, par des signes de disjonction, de suspension, de repos, dont l'emploi pourrait paraître superflu, exagéré ou fautif, aux régulateurs du beau langage, qui n'ont pas à se préoccuper de ces misères-là. Que ceci soit dit, au besoin, pour notre excuse.

Il y a beaucoup de questions scientifiques dont la solution, maintenant possible, n'aurait pas seulement un grand intérêt abstrait, mais serait encore éminemment profitable à la société en général. Celle qui nous occupe ici est du nombre, et ses applications seraient même des plus immédiates, assertion qui semblera peut-être étrange et que l'on verra bientôt être d'une exacte vérité. Malheureusement, par un défaut trop réel, quoique peu compris, de notre organisation scienti-

lique, ces questions qu'il serait si essentiel de mettre à l'étude, ne sont que très-rarement et très-exceptionnellement accessibles, à ceux qui pourraient les résoudre. Il y faut un concours d'auxiliaires qu'ils n'ont pas les moyens de réunir; une application presque exclusive, et de longue durée, que les devoirs de profession qui les font vivre, leur ôtent la liberté d'y consacrer; enfin des dépenses d'argent hors de leur portée. Demander à un savant qu'il entreprenne de pareils travaux, c'est une bonne intention absolument inutile, si on ne le met en état de remplir ces trois conditions. Ici, la difficulté d'argent fut en grande partie levée par M. Reiset. Le zèle individuel, et quelques économies de laboratoire, firent le reste. M. Reiset avait pourvu à tous les frais de construction des appareils. Les premières expériences furent faites, loin de Paris, dans sa résidence, avec le concours de M. Regnault. Suivant une règle que cet habile physicien s'est toujours prescrite, elles eurent pendant longtemps pour objet d'étudier toutes les parties de la question isolément, avant d'aborder l'ensemble; et d'apprécier l'exactitude ou les erreurs de tous les procédés, avant de les faire servir simultanément à des résultats définitifs. Le peu de mois que M. Regnault pouvait passer hors de Paris, fut consacré durant deux années à ces épreuves préparatoires. Mais étant bientôt rappelé par ses cours, il ne pouvait plus y intervenir que par correspondance. De son côté, M. Reiset se trouvait souvent forcé de les interrompre pour remplir des devoirs de position impossibles à éluder; car la fortune a aussi ses exigences. Malgré le zèle des deux collaborateurs, le travail serait devenu évidemment interminable, s'il avait dû être continué dans ces conditions. En conséquence, on décida d'un commun accord qu'il serait mieux de transporter les appareils à Paris, et de les établir en permanence au collège de France dans le laboratoire de M. Regnault, qui les ayant ainsi à sa portée, pourrait compléter plus aisément l'ensemble des expériences projetées, auxquelles M. Reiset viendrait concourir quand il serait libre. Tout le monde a pu effectivement les y voir pendant plusieurs années, marchant sans relâche, la nuit comme le jour, sous la direction de M. Regnault, avec le secours d'auxiliaires zélés, sorte de volontaires de la science, étrangers, français, venant apprendre l'art d'observer aux leçons d'un si habile maître, ou fixés près de lui par l'affection. Un d'eux surtout, libre et indépendant de position comme de caractère, s'est dévoué ainsi depuis nombre d'années, à l'aider dans ses travaux par pur attachement, avec une constance qui ne s'est jamais démentie; et avec une abnégation si entière, que, sauf une fois, dans une occasion différente, il n'a pas même voulu consentir que M. Regnault le nom-

inât comme l'ayant si efficacement assisté. Je ne le nommerai donc pas non plus, craignant de lui déplaire; mais rien ne m'empêchera d'exprimer ici l'estime que son mérite et ses qualités personnelles m'ont inspirée.

Toutes les circonstances que je viens de mentionner ont été nécessaires pour que le travail dont je vais rendre compte, pût être entrepris et exécuté, comme il l'a été. Il n'est devenu possible que par leur rapprochement et leur concours. J'aurais donc fait sentir trop imparfaitement sa valeur si je les avais omises, puisque j'aurais passé sous silence ce qu'il y a eu de moins apparent pour tout le monde, quoique non pas de moins réel, dans les difficultés de son accomplissement et les conditions de son succès. Je n'ai plus maintenant qu'à le décrire comme il a été conçu, c'est-à-dire comme une œuvre d'intelligence dégagée des obstacles matériels.

La méthode d'expérimenter est directe, et toute nouvelle. L'animal séjourne pendant très-longtemps, souvent plusieurs jours, dans un volume d'air limité, dont la composition est ramenée constamment à l'état naturel par le jeu même des appareils. L'oxygène qu'il consomme lui est restitué aussitôt qu'il l'aspire; et l'acide carbonique lui est enlevé aussitôt qu'il le dégage; l'un et l'autre en doses qui s'apprécient rigoureusement. L'azote seul reste en totalité, mais contenu; et sa quantité, naturellement diminuée ou accrue dans des proportions toujours fort restreintes, se mesure par l'analyse chimique à la fin de l'expérience. L'ensemble de ces dispositions réalise évidemment les conditions les plus favorables, et les plus sûres, pour déterminer exactement toutes les particularités de l'action que l'animal exerce sur l'atmosphère artificielle qui l'environne. Car la durée de son séjour lui fait consommer une grande quantité d'oxygène, et dégager une grande quantité d'acide carbonique; comme aussi, les faibles doses d'azote qui peuvent être exhalées ou absorbées, s'accumulant dans un espace restreint, y deviennent finalement assez manifestes pour que l'analyse chimique puisse très-bien les apprécier.

Tous ces effets simultanés s'accomplissent d'eux-mêmes, sans que l'observateur s'en occupe. Ils sont opérés par un système d'appareils physiques et mécaniques, dont les pièces se correspondent, et marchent ensemble avec la régularité d'une horloge, comme les organes d'un être vivant. C'est une faculté propre à M. Regnault que de savoir disposer ainsi des agents matériels pour leur faire exécuter ses conceptions; en sorte qu'après avoir réglé dans sa pensée le plan des opérations qui lui sont nécessaires, il leur distribue leur travail et les laisse agir. Je ne saurais ici décrire tous les détails de ces artifices. Il faut les voir dans

son mémoire et les suivre sur les figures qu'il en a données; mais je tâcherai, du moins, d'en indiquer l'intention et d'en montrer l'effet général. On comprendra facilement le but des mesures de précautions occasionnelles que je ne ferai qu'énoncer.

Pour cela, je supposerai que nous allons faire nous-mêmes une expérience sur quelqu'un des animaux ainsi étudiés, en le prenant parmi ceux dont le volume a été le plus fort: ce sera, si l'on veut, un chien, une poule, une marmotte. La cloche de verre dans laquelle on les enferme, a une capacité d'environ quarante-cinq litres. Sa base est scellée sur un disque de fonte, qui supporte une plaque de tôle percée d'un grand nombre de trous. Cette plaque est recouverte de tringles en bois, formant un plancher sur lequel reposera l'animal. Une ouverture centrale sert à l'introduire, et se bouche ensuite hermétiquement. Toutes les surfaces métalliques, en contact avec le gaz intérieur, sont peintes au minium, pour empêcher qu'elles n'absorbent l'oxygène. La cloche est entourée d'un large cylindre en verre, rempli d'eau que l'on maintient à une température constante et connue. Avant d'introduire l'animal, on le pèse avec la provision d'aliments qu'on veut lui donner; et l'on considère le volume de la masse totale comme égal à celui d'un même poids d'eau. C'est la seule appréciation approximative que l'on se permette dans tout le cours de l'expérience, et nous verrons dans un moment qu'elle ne peut comporter qu'une minime erreur. On ferme ensuite l'ouverture d'introduction. Pendant ces manœuvres, toute communication entre les appareils chimiques et l'intérieur de la cloche est interdite; il faut donc renouveler continuellement l'air qu'elle renferme, pour qu'il se trouve dans l'état naturel quand on voudra les ouvrir. Pour cela, on fait jouer sans relâche une forte machine pneumatique, laquelle l'aspire d'un côté, tandis qu'on le laisse rentrer de l'autre; ce qui entretient dans l'intérieur un courant très-vif, qu'on ne fait cesser qu'au moment précis où l'on ouvre les conduits des appareils. C'est alors que l'expérience commence. On note l'heure, ainsi que la température la force élastique et l'état hygrométrique de l'air intérieur, qui sont indiqués à cet instant comme à tout autre par des instruments appropriés; après quoi l'expérience marche toute seule pendant le temps qu'on lui a prescrit. L'animal se tient debout ou couché, éveillé ou endormi, à sa volonté: il mange, il boit, et accomplit toutes ses fonctions naturelles, sans aucun inconvénient apparent quelconque, supposé que le mécanisme des appareils continue de les mouvoir comme on l'a voulu.

Pour entretenir cette continuité d'effets, il faut que ces appareils

lui restituent précisément la quantité d'oxygène qu'il consomme, et lui enlèvent plus soigneusement encore la quantité d'acide carbonique qu'il exhale. Ces deux opérations doivent s'accomplir, et s'accomplissent en effet, simultanément; mais je ne puis les décrire que l'une après l'autre.

La quantité d'oxygène fournie dans chaque expérience a toujours été fort grande. Elle a varié de 65 à 150 litres. Les volumes d'air naturel qui en contiendraient de pareilles seraient à ceux-là dans le rapport de 21 à 100. Ce serait donc 309 litres dans le premier cas, 714 dans le second. Mais ici, leur dépense graduée s'emploie à renouveler une atmosphère restreinte dont le volume n'égale pas 45 litres; de sorte que le volume d'oxygène qu'il y faut conserver est toujours moindre que 10 litres. Voilà pourquoi ces provisions suffisent pour la maintenir à l'état naturel pendant si longtemps.

L'oxygène est préparé et épuré par les moyens chimiques les plus exacts. On l'approvisionne dans de grands ballons en verre de forme ovoïde, qui communiquent individuellement avec l'intérieur de la cloche par des conduits que l'on peut ouvrir et fermer à volonté. Ces récipients sont rétrécis par le haut et par le bas en cols allongés, sur lesquels on marque au diamant des traits qui servent de repères pour déterminer avec la dernière précision la capacité comprise entre eux. Le gaz y est introduit en déplaçant une dissolution saturée de chlorure de sodium, vulgairement de sel marin; dont on les a préalablement remplis après avoir constaté que ce liquide n'exerce qu'un pouvoir absorbant très-faible, soit sur le gaz oxygène pur, soit sur l'air atmosphérique¹. L'écoulement du gaz, lorsqu'il devient nécessaire, est provoqué par l'introduction d'une solution de même nature, descendant d'un petit appareil hydraulique dont le niveau est rendu sensiblement constant. Tout cela est réglé de manière que le gaz des ballons soit toujours maintenu dans un état d'élasticité quelque peu supérieur à celui de l'air ambiant, ou plutôt de l'air dans lequel l'animal respire. Pour le lui fournir, on ne le transmet pas directement sous sa cloche, cela serait trop brusque; mais on le fait passer d'abord par un tube recourbé, dont l'orifice plonge au fond d'un petit flacon laveur contenant une couche liquide, haute de quelques centimètres, qui est formée par une solution de potasse caustique². Un autre tube, partant de la cloche qui

¹ On avait préalablement mesuré, par des expériences directes, la tension de la vapeur aqueuse émise par ce liquide, aux températures où l'on opérait; et l'on en tenait compte dans le calcul des volumes du gaz contenu dans les ballons, ou transmis à l'animal. — ² Le choix de ce liquide avait pour but d'enlever au gaz oxygène

contient l'animal, aboutit au sommet du même flacon. Alors, à mesure que l'oxygène de la cloche se trouve consommé, le volume d'acide carbonique qu'il a pu engendrer étant absorbé en même temps, le gaz oxygène du ballon, devenu relativement plus élastique, sort par le bout du tube en bulles qui montent à travers la petite couche liquide, et vont remplir le vide partiel qui s'était formé. Par cet artifice, c'est pour ainsi dire l'animal lui-même qui, à chaque instant, appelle et attire dans sa cloche la dose précise d'oxygène dont il a besoin. La rapidité du dégagement des bulles répond à la fréquence de ses aspirations; et souvent on pourrait compter les unes par les autres.

Il me reste à dire, comment l'acide carbonique est absorbé. Les expérimentateurs qui avaient eu besoin d'opérer cette absorption pour des recherches analogues, avaient espéré y réussir en mettant l'air de la cloche en communication, par de larges surfaces, avec une masse d'eau chargée de potasse caustique, dans laquelle le gaz acide devait venir se condenser. Mais cette disposition n'est pas suffisamment efficace. Les couches superficielles du liquide, une fois saturées d'acide, abritent les inférieures contre le contact du gaz; et les portions de la masse gazeuse qui confinent à la surface liquide, ayant une fois perdu leur acide, ne le reprennent ensuite que très-lentement par diffusion, pour le lui transmettre. C'est pourquoi, dans cette manière d'opérer, l'absorption, d'abord assez vive, s'affaiblit par degrés, et devient bientôt insuffisante pour compenser l'exhalation. L'animal se trouve ainsi dans un air qui se vicie de plus en plus, à mesure que l'expérience se prolonge; et il finirait par y périr. MM. Regnault et Reiset ont rencontré les mêmes inconvénients dans leurs premiers essais, où ils avaient employé ce mode d'absorption, par des surfaces fixes. Toutefois, ils en ont rapporté les résultats dans leur mémoire, parce que, bien qu'ils fussent défectueux en ce point, surtout à leur yeux, ils suffisaient pour montrer avec évidence que l'exhalation et l'absorption de l'azote étaient toujours restreintes dans d'étroites limites, comparativement aux autres produits de la respiration; ce qui les autorisait à établir leurs appareils définitifs, en vue de cette condition constante du fait naturel.

Mais il fallait introduire dans ces appareils quelque nouveau principe d'action, qui leur donnât le pouvoir d'absorber plus complètement et plus rapidement l'acide carbonique. On le trouva. Dans les sciences

que l'on extrayait du chlorate de potasse, les dernières traces de chlore qui auraient pu échapper aux purifications chimiques qu'on lui avait fait préalablement subir, et qui auraient affecté les organes respiratoires de l'animal.

expérimentales, quand un effet que l'on veut produire est empêché par des causes purement mécaniques, dont l'existence et les caractères peuvent être discernés, on est toujours assuré de les détruire, par leurs contraires. Ici, l'empêchement venait du manque de contact intime, entre le gaz, et le liquide qui devait l'absorber. Il fallait donc leur imprimer à tous deux un mouvement intestin, qui ramenât sans cesse de nouveaux contacts, entre des parties toujours différentes. Cette nécessité une fois constatée, M. Regnault y pourvut par un mécanisme, si parfaitement simple, qu'à le voir, on croirait que l'idée aurait dû en venir à tout le monde. Mais, en fait, la simplicité n'est presque jamais qu'un résultat de combinaison. Pour arriver à cette idée-là, il fallait trois choses : un sentiment juste de la difficulté physique; une pratique intelligente des procédés mécaniques; l'esprit d'invention, qui en fait voir l'aptitude propre au besoin présent.

Le moyen auquel M. Regnault a eu recours est très-aisé à comprendre. On prend deux vaisseaux de verre cylindriques, égaux, pouvant contenir chacun, environ trois litres. Ils sont rétrécis en cols, à leurs deux extrémités, comme ceux qu'on appelle *des allonges*, dans les laboratoires. Je les désignerai individuellement par les lettres A et B. Plaçons-les l'un à côté de l'autre, dans une situation verticale, à une même hauteur. Puis, joignons leurs orifices inférieurs par un canal de communication flexible, deux ou trois fois plus long que la hauteur des cylindres, ayant ses parois en caoutchouc de l'espèce qu'on appelle *vulcanisé*, qui est complètement imperméable aux liquides et aux gaz. C'est dans ce vase composé, à fond flexible, que l'on verse la solution de potasse qui doit absorber l'acide carbonique; et le mouvement relatif d'ascension ou de descente, que l'on imprime alternativement aux deux cylindres, est l'artifice qui le force à venir successivement s'y condenser. Pour cela, l'orifice supérieur du cylindre A est mis en communication par un tube flexible, avec le haut de la cloche qui contient l'animal; et l'orifice supérieur du cylindre B, est mis en communication également flexible, avec le bas. Ceci établi, élevons A relativement à B; A se videra par la descente du liquide, qui passera dans B par le canal de communication; et l'air supérieur de la cloche, étant aspiré par ce vide, une portion viendra remplir A, dont les parois intérieures seront encore mouillées du liquide absorbant. Cette portion y déposera par conséquent son acide carbonique; et l'absorption deviendra encore plus énergique, comme plus assurée, si l'on a placé dans A quelques tubes de verre, non fermés, qui, se trouvant également mouillés par la solution potassique, agrandiront les surfaces de contact. Maintenant abaissons A, et éle-

vons B. Il se produira un effet inverse. Le liquide absorbant quittera B, et viendra remplir A. L'air que A avait aspiré se trouvera donc refoulé dans le haut de la cloche où il rentrera dépouillé de son acide carbonique. Mais en même temps, B devenu vide aspirera une portion équivalente de l'air inférieur, qui déposera de même son acide carbonique au contact de ses parois mouillées de potasse. En répétant ces alternatives de montée et de descente, les mêmes effets se reproduiront toujours; et si on les rend continues, ils s'opéreront sur des portions toujours nouvelles de l'air et du liquide, qui s'en trouveront l'un et l'autre incessamment remués. Cette continuité serait sans doute fort pénible à entretenir, si l'on opérait ainsi manuellement. Mais un mouvement alternatif régulier est facile à produire par les moyens mécaniques. On l'opère ici à l'aide d'une machine à volant, mue par un poids, à peu près comme un tournebroche. On y attache les deux cylindres absorbants par des châssis en fer, et l'on s'en remet à elle pour les manœuvrer. Dans les expériences que nous décrivons, le poids moteur était de 200 kilogrammes. Sa course s'étendait depuis le haut des bâtiments du Collège de France, jusque sur le sol. La machine marchait pendant quinze heures sans avoir besoin d'être remontée. Quand on regardait ces appareils, agissant ainsi par eux-mêmes, et répétant leurs pulsations en parfait accord, d'un côté pour fournir de l'oxygène à l'animal, de l'autre pour lui enlever l'acide carbonique, comme s'ils avaient compris, et partagé, toutes les exigences de sa respiration, cela semblait former un seul être vivant que l'expérimentateur aurait animé.

Une heure avant que la provision d'oxygène ne soit épuisée, on se prépare à terminer l'expérience. On met ce temps à profit, pour amener l'air intérieur aux mêmes conditions précises, de pression et de température où il se trouvait en commençant. La vapeur humide que l'animal a exhalée, n'a rien changé à la force élastique de son atmosphère, parce que, avant de l'introduire, les parois intérieures de la cloche avaient été complètement mouillées d'eau, ce qui avait aussi l'avantage de ne pas lui donner un air trop sec à respirer. Quand l'atmosphère artificielle se trouve ainsi exactement ramenée à l'état prescrit, les conduits d'introduction et d'absorption étant fermés, on y fait une prise d'air pour l'analyse chimique, avec des alternatives d'aspiration et de restitution, qui assurent que la partie extraite a bien les qualités moyennes de l'ensemble. Alors on retire l'animal, on le pèse de nouveau pour connaître ce qu'il a pu perdre ou gagner en poids; et l'expérience est terminée. Il ne reste plus qu'à mettre en œuvre les données qu'elle a fournies.

Occupons-nous d'abord de l'air recueilli dans l'atmosphère finale. On ne suppose point qu'il soit uniquement composé d'oxygène, d'acide carbonique, et d'azote. On y cherche les plus petites traces de tous les autres gaz que l'animal a pu dégager. M. Regnault avait fait depuis longtemps une étude profonde des procédés eudiométriques. Il a rassemblé ici tous les résultats de cet important travail. Il discute les anciens procédés, montre leur insuffisance, découvre leurs erreurs, et fait connaître les méthodes incomparablement plus exactes auxquelles il a été conduit. Un appareil physique admirablement combiné, suffit à toutes les opérations qu'elles exigent. C'est celui que l'on a vu, depuis des années, en service continu dans son laboratoire. La manœuvre en est prompte et sûre; la précision admirable. Il se prête à l'analyse des plus petites quantités de gaz. On ne devrait plus en voir d'autres dans les laboratoires. Malheureusement, la physique et le calcul sont encore des hôtes trop étrangers, et presque incommodes, dans ces lieux-là. Il lui faudra du temps pour s'y propager.

Toutes les analyses de gaz rapportées dans le mémoire que nous examinons, ayant été faites par ces procédés perfectionnés, elles ne peuvent être affectées que de très-petites erreurs. On reconnaîtra tout à l'heure le fruit de ces soins. Mais auparavant il faut voir comment on obtient les autres données qui concourent avec ces analyses, dans les résultats.

La quantité totale d'oxygène qui a été fournie à l'animal, est connue avec une complète exactitude, par la mesure du volume de ce gaz qui s'est écoulée, entre les repères fixes des ballons où on l'avait approvisionné. La quantité totale d'acide carbonique, dont la condensation s'est opérée dans les vases absorbants, se détermine d'une manière non moins précise. Pour cela, on prépare d'avance la solution aqueuse de potasse caustique de laquelle on fera usage. Ce qu'elle peut contenir d'acide carbonique, et elle en contient toujours, est alors apprécié avec la dernière exactitude, par des procédés d'analyse que M. Regnault décrit en détail. On pèse ensuite le système des vases absorbants vides, avec leur canal inférieur de communication déjà fixé. Cela se fait avec des balances très-sensibles, même étant chargées de poids aussi lourds. On y verse alors une quantité de solution potassique à peu près égale à la moitié de leur volume; et, pesant le tout ensemble, on connaît par différence le poids de la solution que l'on a introduite. La même opération répétée à la fin de l'expérience, donne de même le poids de cette solution, accru par l'acide carbonique et la vapeur aqueuse, qui s'y sont condensés. On l'analyse de nouveau avec les mêmes soins,

pour connaître le poids total d'acide carbonique qui s'y trouve; et retranchant celui qu'elle contenait primitivement, on en conclut le poids du même acide qui est venu s'y absorber. La précision que M. Regnault a donnée à ces opérations est telle que leurs erreurs sont presque inappréciables.

Ces détails, sans doute, sont minutieux, longs, et pénibles à exécuter. Il faut y apporter beaucoup de zèle, d'habileté, de persévérance. C'est, au plus haut point, le *labor improbus*. Mais les vérités physiques ne s'obtiennent qu'à ce prix. Tout ce qui n'a pas ces caractères n'est que vanité, fumée, illusion.

Il va nous être maintenant bien facile de voir que des expériences pareilles, donnent des résultats certains. Considérons d'abord l'oxygène. La quantité sortie des ballons qui le fournissent est connue directement par son volume. Il faut y ajouter ce qui reste de ce gaz dans la cloche quand on termine l'expérience. L'analyse chimique la donne, en centièmes du volume de l'échantillon analysé; et l'on ne peut pas se tromper d'un de ces centièmes. Supposons-le pourtant. Le volume total de l'atmosphère artificielle est moindre que 45 litres, puisque ce nombre exprime la capacité de la cloche et de ses appendices, d'où il faut déduire le volume de l'animal. Si elle était composée comme l'atmosphère naturelle, l'oxygène y entrerait pour les $\frac{21}{100}$, ce qui ferait moins de 10 litres; et comme le dispositif des appareils tend à maintenir toujours fort approximativement cette identité, que confirme d'ailleurs l'analyse finale, supposer 10 litres d'oxygène, ce serait trop. Mais exagérons encore jusque-là. Si l'on se trompe de $\frac{1}{100}$ sur cette appréciation, l'erreur absolue sera $\frac{1}{10}$ de litre. Or, pendant la durée entière de chaque expérience, il y a de 65 à 150 litres d'oxygène fourni. L'erreur supposée ne fera donc pas $\frac{1}{650}$ ou $\frac{1}{1500}$ de tout l'oxygène employé. Elle sera donc presque insignifiante malgré toutes nos exagérations; et en réalité elle est toujours beaucoup moindre.

Un raisonnement tout pareil, montrera que l'erreur que l'on peut commettre sur l'appréciation de l'acide carbonique exhalé, est aussi petite, ou même plus petite encore. Cela tient à la même cause : à la petitesse du poids de ce gaz qui reste dans la cloche, comparativement à la totalité de ce qui se condense dans les vases absorbants. Ce calcul est si facile à faire sur les nombres rapportés dans le mémoire, qu'il suffit de l'indiquer.

Il nous reste enfin à connaître le volume de l'azote contenu dans la cloche à la fin de l'expérience. On le conclut, par différence, en retranchant du volume total d'air qu'elle renferme, les volumes absolus de

tous les autres gaz que l'analyse chimique y a fait découvrir. L'évaluation de ce volume total offre une difficulté, qui s'est déjà présentée au commencement de l'expérience. Pour l'obtenir, il faut retrancher de la capacité de la cloche et de ses appendices, l'espace qui est occupé par l'animal et par les aliments que l'on a enfermés avec lui. Mais de pareils objets ne se prêtent pas à une mesure géométrique. On admet donc, par estime, que leur volume est égal à celui d'une masse d'eau de même poids; on le suppose en outre invariable pendant la durée de l'expérience, n'y ayant plus alors que déplacement de matière. Ce sont là évidemment des évaluations approximatives dont il faut se contenter, par l'impossibilité où l'on est d'en avoir de rigoureuses. Toutefois, il est aisé de voir qu'elles ne peuvent donner lieu, en définitive, qu'à une très-petite erreur: d'abord, comme étant par elles-mêmes très-peu fautives; puis, comme entrant à titre de constantes, au commencement et à la fin de l'expérience, dans le calcul du volume d'air que la cloche contient. En effet: c'est la différence finale de ces volumes qui montre si la quantité absolue de l'azote est devenue plus grande ou moindre; ainsi l'erreur que l'on pourrait commettre sur cette différence, serait égale aux variations de l'azote, non pas dans le volume imparfaitement évalué des aliments et de l'animal, mais seulement dans l'excès ou le défaut de cette évaluation. Or l'extrême petitesse des variations de l'azote est mise en complète évidence par le mode d'expérimentation, où ce gaz reste entièrement contenu dans des vases clos, puisqu'on l'y trouve en quantité absolue presque égale, au commencement et à la fin de chaque expérience. Elles seraient donc inappréciables, étant appliquées à des volumes aussi petits que peuvent l'être ceux qui correspondent aux incertitudes de l'évaluation approximative. D'une autre part, on a vu quelles quantités considérables d'oxygène et d'acide carbonique sont consommées ou exhalées, pendant que ces faibles variations de l'azote s'opèrent. Le rapport de celles-ci aux deux autres ne peut donc jamais dépasser une très-petite fraction, contrairement à ce que des expériences moins bien conçues avaient fait croire. Ce fait tant débattu, ressort aujourd'hui incontestablement de celles que nous venons de discuter; et elles en fixent toutes les particularités véritables.

La même méthode d'expérimentation a été employée avec un égal avantage, pour étudier la respiration des animaux de moindre dimension, tels que les petits oiseaux, les petits batraciens, les insectes, même des chrysalides. Seulement on leur arrange des appareils proportionnés à leur taille, et à leurs besoins. Ainsi, les quantités absolues d'oxygène qu'il fallait leur fournir étant peu considérables, et lentement consom-

mées, l'observateur les en approvisionnait directement, par intervalles, de manière que la force élastique de leur atmosphère se maintînt à peu près constante, à mesure que l'acide carbonique lui était enlevé. L'absorption de cet acide, quoique toujours aussi nécessaire, n'exigeait plus de grands vases absorbants. Elle s'effectuait tout aussi bien, et par les mêmes principes, au moyen d'un petit instrument composé de deux boules de verre égales, et communiquant l'une à l'autre, qui contenaient la solution de potasse. Elles étaient retenues d'un côté par un fil, passant sur une petite poulie et tiré par un poids; tandis qu'un second fil attaché à la machine à volant les tirait de l'autre, et les élevait ou les abaissait tour à tour, par un mouvement oscillatoire, tout en faisant marcher les grands appareils. C'était toujours le même jeu, le même mécanisme, appliqué à de plus petits objets et opérant avec une égale précision.

Voilà l'ensemble des procédés ingénieux et sûrs, que MM. Regnault et Reiset ont inventés pour analyser le phénomène de la respiration des animaux. On peut dire, avec justice, que ce problème de physiologie physique est aujourd'hui résolu rigoureusement, pour la première fois. Je n'aurai plus qu'à exposer les résultats généraux de cette grande étude, dans un dernier article, qui sera aussi aisé à écrire que celui-ci a été difficile, et aussi clair qu'il est abstrait. Je m'excuserai de la multitude des détails techniques dont je l'ai hérissé, par l'utilité que je leur suppose, et que j'en espère. Les travaux dont j'ai rendu compte m'ont paru présenter trois phases distinctes : d'abord les expériences de Lavoisier, établissant toutes les circonstances générales du phénomène; puis, des recherches subséquentes, n'ayant donné sur ses particularités secondaires que des résultats incomplets, vagues, douteux, ou faux; enfin le travail actuel, où les plus importantes de ces particularités sont toutes fixées en nombres précis, inattaquables, et sont, en outre, déterminées par des méthodes qui peuvent faire découvrir, avec la même sûreté toutes les autres. Voilà sous quel aspect cette partie de l'histoire de la physique m'a paru se résumer; et, j'ai dû le dire. Mais, pour exprimer sans imprudence un jugement, si favorable d'une part et de l'autre si sévère, il fallait articuler des preuves. C'est ce que j'ai fait; et je crois les avoir données irrécusables. Il n'était pas moins essentiel de montrer, surtout maintenant, combien de pareils travaux ont de mérite; combien ils ont demandé d'intelligence; combien ils ont coûté de peine, d'efforts et de temps. Ceux-là seuls sont durables, et vraiment utiles. Malheureusement, le courage méditatif et persévérant, qui les fait entreprendre et exécuter, est devenu bien rare, dans nos

habitudes scientifiques. On veut jouir vite de la renommée, n'importe comment acquise. Le travail d'hier se publie aujourd'hui; peut-être il durera demain; c'est assez. Mais, à ce jeu-là on apporte beaucoup de menue monnaie et peu de pièces d'or. Quand une se rencontre, il faut bien la signaler comme de bon aloi.

J. B. BIOT.

(*La fin au prochain cahier.*)

*HISTOIRE DE LA CHIMIE depuis les temps les plus reculés
jusqu'à notre époque, par le docteur Ferd. Hoëfer.*

QUATRIÈME ARTICLE.

Plusieurs causes indépendantes de notre volonté nous ayant obligé de suspendre l'examen de l'histoire de la chimie du docteur Hoëfer, nous allons le reprendre pour ne plus l'interrompre : nous en étions resté à la fin du VIII^e siècle, terme qu'il assigne à la première époque de son histoire; la seconde époque, qui fera l'objet de cet article, commence avec le IX^e siècle et finit au XVI^e; elle embrasse ce qu'il considère comme le moyen âge, temps où, suivant lui, la science n'a fait aucun progrès, pour ainsi dire. La seconde époque est partagée en deux sections dont la première comprend les IX^e, X^e, XI^e et XII^e siècles, et la seconde les XIII^e, XIV^e, et XV^e. L'aperçu rapide que nous en donnerons sera entremêlé de réflexions qui nous ont été suggérées par quelques opinions de l'auteur sur des points particuliers. La même marche sera suivie dans l'examen de la troisième époque. Enfin, dans un dernier article, en exposant notre manière de concevoir le développement des idées générales qui composent essentiellement l'histoire de la chimie, nous reprendrons les points principaux de l'ouvrage sur lesquels nos opinions peuvent différer de celles de l'auteur.

I^{re} SECTION.

Du IX^e au XIII^e siècle.

L'auteur parle successivement des chimistes arabes, byzantins, italiens, français et allemands.

Certes, c'est quelque chose de remarquable de voir les Arabes, guer-