

Peut-on démontrer expérimentalement la réalité de pareils pressentiments? Je ne crois pas la chose du tout impossible et je raconterai peut-être plus tard les tentatives que je poursuis à ce sujet.

Quoi qu'il en soit, j'ai dans l'avenir que nous prépare la science cette *foi robuste* dont parlaient Claude Bernard et Faraday, et je crois fermement que notre propre évolution, comme celle de l'univers entier, ne peut être, comme le disait Michelet, qu'une ascension continue vers la lumière.

Sommes-nous prêts pour utiliser les forces de la nature par l'électricité? Il suffit de jeter un coup d'œil sur l'exposition d'électricité et sur les travaux du congrès pour répondre par l'affirmative.

Les travaux que poursuit Deprez en ce moment, les résultats que nous avons vus, nous permettent d'affirmer que sous peu, grâce à son procédé si simple du transport et de la division de la force électrique, Paris pourra canaliser la force que représentent les chutes de son fleuve et la distribuer à domicile. Les machines électriques n'en sont qu'à leur début. Bientôt nous aurons des machines dynamo-électriques pouvant développer 1600 chevaux-vapeur sous des poids de quelques milliers de kilogrammes seulement.

Comme conclusion dernière de cet article dont je prie le lecteur d'excuser la longueur, je répéterai que *nous pouvons dès maintenant brûler en toute sécurité notre dernier bloc de houille*. Que si quelque difficulté imprévue surgissait par impossible, nous avons encore pour deux cents ans de charbon. Au train dont les électriciens ont mené les choses en moins de dix ans, je vous laisse, chers lecteurs, le soin d'imaginer ce qu'ils pourront faire en deux cents.

Je suis persuadé que vous serez tranquilles sur le sort réservé à nos successeurs et que vous n'aurez qu'un regret que je partage : celui de ne pas voir ce qu'ils verront.

D<sup>r</sup> A. D'ARSONVAL,  
Préparateur au Collège de France.

## PHYSIOLOGIE

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

### La respiration de l'oxygène dans la série animale.

La machine à vapeur qui traîne des fardeaux, qui soulève des poids, emprunte sa puissance à l'énergie accumulée dans la houille ou le bois qui sert à la chauffer; elle transforme cette énergie en travail mécanique. Elle ne crée pas le mouvement. Celui-ci lui vient en dernière analyse du soleil, car c'est l'énergie contenue dans les rayons solaires qui, dans les parties vertes des végétaux, sert à décomposer l'anhydride carbonique, met l'oxygène en liberté et fixe le carbone dans les tissus de la plante; quand nous brûlons la plante, nous permettons à l'oxygène de se recombinaisonner au carbone pour reformer de l'anhydride carbonique. L'énergie des rayons solaires accumulée, emmagasinée dans le

végétal, redevient libre et réapparaît sous forme de chaleur, de mouvement. — Car, dans la nature, rien ne se crée et rien ne se détruit.

L'organisme de l'homme, celui des animaux, peut être comparé à une machine à vapeur au point de vue de son activité mécanique. Le mouvement, le travail que nous exécutons, nous ne sommes pas capables de le créer de rien, pas plus que la machine à vapeur. Nous aussi, nous sommes soumis à la grande loi de la conservation de l'énergie; nous aussi, nous sommes obligés de l'emprunter au monde extérieur. C'est dans la combustion du carbone, de l'hydrogène de nos aliments à l'aide de l'oxygène fourni par la respiration qu'il faut chercher la source de notre activité mécanique. Comme le soupçonnait J. Mayow, comme l'ont démontré les immortels travaux de Lavoisier et Laplace, la vie a pour base un phénomène chimique, une véritable combustion. Tout le monde connaît l'épreuve de la chandelle allumée qui sert à essayer l'atmosphère d'un puits, d'une fosse, pour voir si l'homme peut y vivre, y respirer. Si la chandelle s'éteint, on peut être sûr que l'air est également impropre à la vie. L'antique métaphore qui compare la vie à un flambeau se trouve par hasard être parfaitement juste.

L'oxygène de l'air est donc aussi indispensable à la mécanique vivante qu'au foyer de la machine à feu. Mais, tandis que le charbon brûle à l'air libre dans la machine à vapeur, chez nous, chez l'animal, c'est dans la profondeur des tissus, loin de l'air ambiant, que s'exécute le travail de combustion. De là, nécessité d'un transport de l'oxygène. L'aéragé des tissus, comme on pourrait appeler cet apport gazeux, s'exécute par des mécanismes très différents chez les divers groupes d'animaux. Chez les insectes, la ventilation des tissus s'opère par une multitude de petites cheminées, les trachées, qui amènent l'oxygène vivifiant et le font circuler sous forme gazeuse au contact même des organes qui en sont avides.

Chez la plupart des autres animaux, c'est par l'intermédiaire des liquides organiques, du sang et sous une forme toute différente que l'oxygène arrive jusqu'aux éléments histologiques où s'opère la combustion. Le mécanisme de ce transport de l'oxygène est à présent assez bien connu chez plusieurs groupes d'animaux : le sang se charge d'oxygène dans l'organe respiratoire, branchie ou poumon. Cet oxygène pénètre par diffusion du milieu extérieur air ou eau dans le plasma sanguin, puis se fixe dans le sang en s'unissant à des substances albuminoïdes métallifères fortement colorés, soit en rouge (hémoglobine), soit en vert (chlorocruorine), soit en bleu (hémocyanine). La combinaison avec l'oxygène est accompagnée d'un changement de teinte de ces matières colorantes respiratoires. De la branchie, du poumon, ces combinaisons oxygénées sont ensuite charriées par la circulation à travers tous les organes. Comme elles sont fort peu stables, qu'une simple diminution de la tension de l'oxygène dans le milieu qui les baigne suffit pour les décomposer et que les éléments des tissus animaux sont des consommateurs infatigables d'oxygène, il est tout naturel que ces combinaisons oxygénées se dissocient pendant leur passage à

travers les tissus et cèdent leur oxygène à ces éléments histologiques. Après avoir perdu leur oxygène, elles sont ramenées vers l'organe respiratoire par le sang veineux et le même cycle de combinaison et dissociation recommence.

**L'hémoglobine.** — La plus anciennement connue et la mieux étudiée de ces combinaisons, c'est la matière rouge du sang de nos artères, l'oxyhémoglobine, dont Lavoisier avait déjà soupçonné le rôle. (Lavoisier, *Expériences sur la respiration des animaux*. Académie des sc., 3 mai 1777, vol. II des *Mémoires de Lavoisier*, p. 185 et suiv.)

« Or ne résulte-t-il pas de tous ces faits que l'air éminemment respirable (l'oxygène) a la propriété de se combiner avec le sang et que c'est cette combinaison qui constitue la couleur rouge? » Et plus loin : « Le sang n'est rouge et vermeil qu'autant qu'il est continuellement en contact avec l'air de l'atmosphère ou avec l'air éminemment respirable, etc. »

Mais ce sont surtout les mémorables travaux de Hoppe-Seyler qui nous ont fait connaître les propriétés de cette matière rouge à laquelle il donna le nom d'*hémoglobine* et qui démontrèrent que la respiration de l'oxygène chez les vertébrés est un phénomène chimique des plus simples, basé sur la combinaison de l'*hémoglobine* avec l'oxygène dans le poumon et sur la dissociation de la combinaison oxygénée (*oxyhémoglobine*) au contact des tissus vivants.

L'*hémoglobine* est une substance appartenant au groupe des *protéides* de Hoppe-Seyler, c'est-à-dire qu'elle se décompose par les acides, les alcalis, etc., d'une part, en une substance albuminoïde incolore, et, d'autre part, en une matière colorante brune, l'*hématine*, remarquable par la proportion notable de fer qu'elle contient. L'*hémoglobine*, mise en contact avec l'oxygène, se combine à ce gaz dès que sa tension atteint une certaine limite (environ 20 millimètres de mercure à + 12° centigrades d'après Worm Müller).

L'*oxyhémoglobine* ainsi formée se dissocie en *oxygène* et en *hémoglobine* dès que la pression partielle de l'oxygène redvient inférieure à 20 millimètres. Comme l'*oxyhémoglobine* présente une teinte d'un rouge beaucoup plus vil que l'*hémoglobine* réduite, on peut, à la simple vue, constater la formation de la combinaison oxygénée et sa dissociation sous l'influence du vide, uniquement par le changement de la teinte rouge. Les différences de coloration du sang artériel et du sang veineux n'ont pas d'autre cause. C'est la formation de la combinaison oxygénée dans le poumon et la présence de l'*oxyhémoglobine* qui donne au sang artériel sa belle teinte d'un rouge rutilant.

Dans les capillaires, le sang cède son oxygène aux tissus. Les éléments vivants de nos organes sont, comme nous l'avons déjà dit, d'inépuisables consommateurs d'oxygène ; aussi la tension de ce gaz y est-elle presque nulle, comme le prouvent les chiffres des analyses de gaz de la bile, de la salive et des autres liquides élaborés au sein des tissus vivants. L'oxygène dissous dans le plasma sanguin doit donc, en vertu des lois physiques, diffuser à travers la paroi membraneuse des capillaires vers ce milieu pauvre en oxygène et une certaine quantité d'*oxyhémoglobine* se dissocie en même

temps, cédant son oxygène au plasma, de façon à y rétablir la tension primitive. Le sang veineux qui revient des tissus s'est appauvri en oxygène et contient donc toujours une forte proportion d'*hémoglobine* réduite, ce qui lui donne sa teinte foncée.

Si l'on analyse la teinte de l'*hémoglobine* réduite et de l'*hémoglobine* oxygénée au moyen du spectroscope, on peut déterminer d'une façon plus rigoureuse la différence d'action de ces deux matières colorantes sur la lumière transmise. Les solutions diluées d'*oxyhémoglobine*, examinées au spectroscope, montrent deux bandes d'absorption fort nettes situées à droite de la raie D. L'*hémoglobine* se réduit-elle ? aussitôt les deux bandes d'absorption disparaissent et l'on voit apparaître une bande obscure unique dans l'intervalle qui les séparait. On peut ainsi, grâce à l'examen spectroscopique, constater rapidement ce phénomène de combinaison et de dissociation de la matière rouge des globules sanguins. Hoppe-Seyler a imaginé une expérience des plus brillantes permettant de reproduire, par un moyen des plus primitifs, un certain nombre de fois le changement alternatif de l'*hémoglobine* en *oxyhémoglobine*. On enferme dans un tube de verre scellé à la lampe une solution diluée d'*hémoglobine* dans laquelle plonge un petit fragment d'une plante aquatique vivante, un rameau d'*Elodea canadensis* (*Anacharis alsinastrium*), par exemple. Le tube doit être maintenu dans l'obscurité. Dans ces conditions l'*hémoglobine* se conserve indéfiniment, attendu qu'elle ne se putréfie pas à l'abri de l'air. Le peu d'oxygène que pouvait contenir le liquide se trouve bientôt consommé : examinée au spectroscope, la liqueur rouge montre la bande unique de l'*hémoglobine* réduite. Il suffit alors de faire tomber, ne fût-ce que pendant un instant, un rayon de soleil sur la solution contenant le rameau vert pour voir, sous l'influence de l'oxygène produit par les parties vertes éclairées, l'*oxyhémoglobine* se reconstituer et montrer immédiatement ses deux bandes d'absorption caractéristiques.

Si l'on replace le tube dans l'obscurité pendant quelques heures ou quelques jours, on verra l'oxygène disparaître et les deux bandes de l'*oxyhémoglobine* faire place à la bande d'absorption unique qui caractérise l'*hémoglobine* réduite. Le même tube peut servir un grand nombre de fois à former ainsi la combinaison oxygénée de l'*hémoglobine*, puis la réduction, et à reproduire sur une échelle modeste les changements alternatifs qui constituent l'essence de la respiration de l'oxygène chez l'animal.

L'*hémoglobine*, ou plutôt les *hémoglobines* (car Hoppe-Seyler a reconnu qu'il s'agissait de plusieurs substances rouges qui, tout en présentant la même teinte, diffèrent légèrement au point de vue de la forme cristalline, de l'eau de cristallisation, du pouvoir colorant, etc.) forment plus des 9/10 des matériaux solides des globules de notre sang et de celui des mammifères. On la rencontre de même dans les globules rouges du sang de tous les vertébrés (un petit nombre de poissons font seuls exception et possèdent un sang incolore). Ses propriétés chimiques, son mode de préparation ne nous arrêteront pas plus longtemps, attendu qu'ils

sont décrits tout au long dans les traités de chimie physiologique. Disons seulement deux mots de la répartition de l'hémoglobine dans le règne animal.

Parmi les invertébrés on l'a signalée dans le sang, dans les muscles ou dans le système nerveux d'un petit nombre d'animaux appartenant à des groupes zoologiques très différents : *Phoronis*, *Capitella*, *Glycera*, *Eunice*, *Cirrhatulus*, *Nereis*, *Terebella*, *Lumbricus*, *Tubifex*, *Lumbriculus*, *Limnodrilus*, *Euchytracus*, *Nais*, *Chaetogaster* parmi les annélides; *Nephelis* (*Hirudinée*), larve de *Chironomus* (insectes); *Daphnia*, *Cheirocephalus* (crustacés); *Polia sanguirubra* (turbellariés); *Planorbis*, *Solen legumen* (mollusques). A cette liste il faut, d'après un travail récent de Fœttinger, ajouter un échinoderme de la baie de Naples.

*La chlorocruorine.* — Il y a quelques années, Ray Lankester appela l'attention sur un fait des plus curieux. Chez quelques annélides marines, *Sabella ventilabrum*, *Siphonostoma*, le sang, au lieu d'être rouge, est d'un beau vert; et la matière colorante verte à laquelle Ray Lankester donna le nom de *chlorocruorine* joue ici le même rôle respiratoire que l'hémoglobine. Elle est susceptible de former une combinaison oxygénée peu stable reconnaissable à sa teinte spéciale, se dissociant en oxygène et *chlorocruorine* sous les mêmes influences réductrices qui provoquent la décomposition de l'hémoglobine oxygénée. L'*oxychlorocruorine* présente à l'examen spectroscopique deux bandes d'absorption, une à droite, l'autre à gauche de D, si la solution est convenablement diluée. Par la réduction, la bande située à droite disparaît, celle de gauche persiste, mais en reculant légèrement de gauche à droite et en perdant de sa netteté. En soumettant successivement les solutions d'hémoglobine et de chlorocruorine au même traitement par le cyanure de potassium et le sulfure d'ammonium, Ray Lankester croit avoir retiré de ces deux corps une base identique qu'il appelle *Cyanosulphaem*, ce qui serait l'indice d'une parenté chimique étroite entre les matières respiratoires rouges et vertes. Les minimales quantités de liquide vert que fournissent les *Sabellés* n'ont pas permis de pousser plus loin l'étude de la *chlorocruorine*, notamment d'y rechercher la présence de fer ou d'un autre métal.

*L'hémocyanine.* — Chez les céphalopodes (*Octopus*, *Sepia*, *Eledone*), quelques gastéropodes (*Arion*, *Limax*, *Helix*) et beaucoup de crustacés (homard, langouste, squille, crabe, limule, écrevisse), la respiration de l'oxygène se fait par l'intermédiaire d'une substance bleue cuprifère à laquelle j'ai donné le nom d'*hémocyanine* et qui présente de grandes analogies avec l'hémoglobine et la *chlorocruorine*. Le poulpe, animal d'assez grande taille, peut fournir par la saignée environ le trentième de son poids d'un sang bleu foncé, riche en *hémocyanine* : il convient donc en tout point pour cette étude.

On fixe le poulpe vivant sur une planchette de bois rectangulaire de telle sorte que la face orale des bras, garnie de ventouses, regarde la planchette et que le sac viscéral, recouvert du manteau, soit libre de ses mouvements. On porte immédiatement la planchette avec le poulpe dans un baquet

rempli d'eau de mer bien aérée où on l'immerge en l'assujettissant horizontalement à quelques centimètres au-dessous de la surface de l'eau. L'animal ainsi fixé présente naturellement la face dorsale du manteau en haut. A l'aide de ciseaux longitudinaux comprenant successivement la peau, le manteau musculaire et la paroi du sac viscéral; on pénètre dans le sinus veineux dorsal où flottent librement l'œsophage et la grosse artère céphalique : l'artère offre le calibre d'une carotide de lapin et se reconnaît immédiatement à ses battements et à la coloration bleu foncé du sang qui la distend. On l'isole sur une certaine étendue et on y introduit une canule de verre avec les mêmes précautions que s'il s'agissait d'une artère de mammifère. On peut éviter le contact de l'eau de mer avec la canule. A cet effet, il est bon d'opérer près de la surface de l'eau et d'en retirer le bout de vaisseau au moment de l'inciser pour y introduire la canule dont l'extrémité recourbée plonge dans le gobelet où l'on recueille le sang. Lorsque tout est prêt, on lève la pince à pression et on obtient immédiatement un jet saccadé d'un sang bleu. A mesure que l'hémorragie épuise l'animal, les battements du cœur s'affaiblissent et deviennent de plus en plus rares.

On obtient de cette façon un liquide d'un beau bleu. La coloration bleue est due à la combinaison de l'oxygène avec l'*hémocyanine*, substance albuminoïde cuprifère, analogue à l'hémoglobine.

En effet, le liquide bleu se décolore si on le conserve à l'abri de l'air dans des tubes scellés. Il suffit de casser ensuite la pointe des tubes; exposé à l'air, ce liquide reprend sa teinte bleue. On peut également dissocier la combinaison oxygénée et décolorer le sang en le soumettant au vide de la pompe de Gréhan, ou en le traitant par un courant de CO<sup>2</sup>.

Le sang du poulpe contient donc une substance incolore qui forme avec l'oxygène une combinaison bleue peu stable que le vide suffit à dissocier. On peut s'assurer de la façon suivante que l'hémocyanine est une substance colloïde, coagulable par l'alcool ou la chaleur et qu'elle appartient, par conséquent, au groupe des albuminoïdes.

Si l'on verse goutte à goutte du sang artériel de poulpe dans de l'eau en pleine ébullition ou dans de l'alcool, les matières albuminoïdes se coagulent par la chaleur ou l'alcool, sous forme de grumeaux nageant dans le liquide. Ce liquide est parfaitement limpide et incolore, tandis que le coagulum est bleuâtre. Cette teinte bleue s'accroît si on dessèche le coagulum.

Si l'on enferme du sang artériel de poulpe dans un dialyseur formé d'un boyau de papier parchemin que l'on suspend dans un courant d'eau distillée, on constate au bout de quelques jours que les sels solubles ont diffusé vers l'extérieur, tandis que la substance bleue s'y trouve encore.

Si l'hémoglobine contient du fer, la substance bleue contient du cuivre. Recueillons les grumeaux bleuâtres obtenus en coagulant la substance bleue par l'alcool ou par l'ébullition; en les lavant à l'eau chaude, puis à l'alcool, en les desséchant et les calcinant dans un petit creuset, on obtient une minime

quantité d'une cendre grise dans laquelle un simple essai au chalumeau par la perle de borax ou de sel de phosphore permet de démontrer la présence du cuivre.

La substance bleue appartient comme l'hémoglobine au groupe auquel Hoppe-Seyler donne le nom de Protéides, corps susceptibles de fournir par dédoublement une substance albuminoïde à côté d'autres produits de décomposition. Si l'on traite une solution d'hémocyanine par quelques gouttes d'acide nitrique ou d'acide chlorhydrique, on obtient une substance albuminoïde coagulée dont la cendre ne contient pas trace de cuivre et un liquide dont la cendre est de l'oxyde de cuivre.

La substance cuprifère qui résulte ainsi du dédoublement de l'hémocyanine paraît former avec les acides des combinaisons cristallines analogues aux sels d'hématine que l'hémoglobine fournit dans les mêmes conditions.

Il est facile de constater que, chez le poulpe, l'hémocyanine joue le même rôle physiologique que l'hémoglobine de notre sang, qu'elle sert également d'intermédiaire, de véhicule entre l'oxygène extérieur et les tissus qui en sont avides. En effet, le sang artériel du poulpe est bleu et le sang veineux incolore. Fixons un poulpe vivant sur la planchette d'opération et plaçons-le dans le baquet rempli d'eau de mer bien aérée. Maintenons le sac viscéral et le manteau dans une position telle que la face ventrale soit tournée vers nous et pratiquons une fenêtre dans la moitié inférieure de cette face ventrale; enlevons à cet effet un lambeau rectangulaire comprenant la peau et les parois du manteau, et donnant, par conséquent, accès dans les deux cavités respiratoires. L'animal, après avoir exécuté quelques mouvements d'expiration forcée, reprend bientôt le rythme habituel de ses mouvements respiratoires. On aperçoit de chaque côté la branchie et le vaisseau pulsatile efférent, rempli d'un sang bleu foncé qui, à en juger par la teinte, doit être saturé d'oxygène. Il en est de même, comme on l'a vu, pour l'artère céphalique.

Tous les vaisseaux qui conduisent le sang à la branchie sont, au contraire, remplis d'un liquide incolore. Il suffit de soulever la branchie avec une pince pour apercevoir le vaisseau afférent pâle qui vient du cœur branchial. On peut constater le même fait pour la veine cave, les tubes péritonéaux de Milne Edwards et les vaisseaux veineux garnis d'appendices glanduliformes. Il faut, pour les mettre à nu, diviser la mince paroi des cellules péritonéales.

C'est bien au fait de la respiration qu'est dû ce changement de coloration du sang veineux dans la branchie du poulpe. Pour le prouver, on peut faire sur le poulpe une expérience calquée sur celle qui servit à Bichat à démontrer que chez les mammifères les différences de coloration du sang artériel et du sang veineux sont dues à la respiration. Il mit à nu la carotide et la trachée, et introduisit dans cette dernière une large canule munie d'un robinet. Chaque fois qu'il empêchait l'accès de l'air dans les poumons en fermant le robinet, la carotide ne fournissait que du sang veineux; dès qu'il ouvrait le robinet, le sang dans la carotide reprenait sa belle couleur vermeille.

Sur un poulpe vivant plongé dans l'eau et fixé sur la plan-

chette d'opération, je mets à nu la grosse artère, comme s'il s'agissait de lui faire une saignée. Tant que l'animal respire librement, l'artère est d'un bleu foncé; retirons-le de l'eau, de façon qu'il ne puisse respirer utilement, le sang pâlit immédiatement dans l'artère; au bout d'un petit nombre de secondes, il est devenu presque incolore. L'animal est remis dans l'eau où il respire vigoureusement: en peu d'instants, le sang est redevenu bleu dans l'artère. On peut reproduire à volonté ces alternatives de coloration et de décoloration.

On obtient le même résultat sans sortir l'animal de l'eau, rien qu'en empêchant l'effet des mouvements respiratoires: il suffit d'introduire de chaque côté les doigts dans la cavité palléale de façon à arrêter le renouvellement de l'eau autour de la branchie, pour voir l'artère ne charrier que du sang incolore tant que dure l'obstacle à la respiration. Naturellement le poulpe exécute de violents mouvements d'expiration.

Enfin si l'on coupe les nerfs palléaux, l'animal s'asphyxie par paralysie des muscles respiratoires et le sang prend également dans l'artère une teinte asphyxique.

L'hémoglobine, la chlorocruorine, l'hémocyanine sont donc de vrais équivalents physiologiques. Elles servent à charrier rapidement de grandes quantités d'oxygène de l'organe respiratoire vers les différentes régions du corps; elles sont indispensables à tout animal à mouvements actifs où les besoins de la respiration comportent une consommation intense d'oxygène. En effet, ce gaz est si peu soluble dans l'eau ou les solutions d'albumine que la petite quantité qui pourrait se trouver dissoute dans le sang privé d'hémoglobine, etc., serait totalement insuffisante. De là, nécessité de ce mode spécial de transport de l'oxygène.

Chez les animaux tout à fait sédentaires ou à mouvements peu actifs, tels que les cœlentérés, les échinodermes, les bryozoaires, les ascidies, beaucoup de mollusques, etc., on n'a pas jusqu'ici découvert de substance colorée jouant un rôle dans la respiration; et il est peu probable que de telles substances y existent. Le peu d'oxygène qui se trouve simplement dissous dans le sang suffit sans aucun doute aux besoins restreints de la respiration.

Chez beaucoup de protozoaires à mouvements très vifs, la consommation d'oxygène doit être considérable; mais, chez eux, les dimensions du corps sont si faibles, que le gaz vivifiant peut pénétrer directement de l'eau ambiante jusqu'au sein même de l'organisme sans l'intervention d'un appareil circulatoire.

Chez les insectes, les phénomènes chimiques de la respiration atteignent un haut degré d'intensité en rapport avec l'activité de leurs mouvements; il est cependant peu probable que l'on rencontre ici une substance servant d'intermédiaire, de véhicule entre l'air extérieur et les tissus, étant donnée la disposition anatomique de l'appareil respiratoire où l'air ambiant pénètre par le système des trachées au sein même des tissus vivants.

J'ai fait quelques essais dans cette direction. J'ai choisi comme sujet d'études la grande larve de *Oryctes nasicornis*, coléoptère de grande taille qui vit dans la tannée. Après

après avoir pratiqué, à l'aide de fins ciseaux, une petite boutonnière à travers la peau du dos et les parois du vaisseau dorsal, j'y insinue avec précaution une canule de verre effilée. Le sang de l'animal monte immédiatement dans le tube. C'est un liquide incolore qui prend bientôt, s'il est exposé à l'air, une coloration brune foncée, surtout marquée dans les environs des amas de globules qui sont incolores. La lumière n'exerce aucune action sur ce changement de teinte. Le sang d'*Oryctes*, bouilli avec un peu d'eau et complètement coagulé, brunit encore à l'air. Celui qui a été coagulé par l'alcool paraît avoir perdu cette propriété.

Le liquide brun examiné au spectroscope ne montre aucune bande d'absorption caractéristique.

A première vue, le sang de l'*Oryctes* paraît donc contenir une substance se comportant vis-à-vis de l'oxygène comme l'hémoglobine ou l'hémocyanine. Il n'en est rien cependant. La substance qui brunit à l'air ne joue probablement aucun rôle dans la respiration de l'animal. Le sang, tant qu'il est contenu dans les vaisseaux, est parfaitement incolore; la coloration brune qui se produit après qu'il a été extrait du corps est probablement un phénomène cadavérique comparable à la coagulation spontanée qui envahit également ce liquide. En effet, la substance incolore qui brunit à l'air ne paraît pas contenue à l'avance dans le sang qui circule, mais elle se formerait au moment de la coagulation spontanée.

Si l'on a soin de plonger la larve de l'*Oryctes* pendant un quart d'heure dans de l'eau chaude (50° à 55°) avant de l'ouvrir, le sang extrait du vaisseau dorsal ne se coagule plus et ne se colore plus à l'air.

La production de la substance incolore susceptible de brunir par le contact de l'oxygène a probablement été empêchée par la température de + 5° à + 55°. Car, une fois que cette substance a été produite, la température de l'ébullition n'est pas capable de s'opposer à sa combinaison avec l'oxygène et au changement de coloration qui en est l'indice.

Enfin ce qui prouve bien que ce phénomène de coloration ne joue aucun rôle dans la respiration de l'animal, c'est que la substance brune, une fois formée, constitue une combinaison fort stable qui n'est décomposée ni par les acides ni par les alcalis, et qui n'est pas décolorée lorsqu'on la soumet au vide ou lorsqu'on la conserve en vase clos.

Le phénomène de coloration que présente le sang de la larve de l'*Oryctes*, quand il est exposé au contact de l'air, me paraît être un phénomène cadavérique comparable à la coagulation spontanée. La substance qui brunit ainsi à l'air ne sert pas d'intermédiaire, de véhicule entre l'air extérieur et les tissus qui en sont avides.

LÉON FRÉDÉRIQ,  
Professeur à l'Université de Liège.

## TRAVAUX PUBLICS

### La Seine maritime et le port de Rouen.

L'attention des hommes compétents est attirée en ce moment sur la question de la Seine maritime par un récent travail, dû aux recherches de M. Vauthier, ingénieur des ponts et chaussées, membre du conseil municipal de Paris, que vient de publier la municipalité de Rouen (1).

L'importante question dont il s'agit se rattache à la fois à des considérations économiques et à des considérations techniques.

Nous ne dirons rien des premières.

La supériorité économique des ports intérieurs, surtout au point de vue des marchandises de bas prix, est aujourd'hui démontrée théoriquement et pratiquement. Il est évident, par exemple, qu'il y a avantage commercial indéniable à faire pénétrer jusqu'à des quais placés, comme ceux de Rouen, à 120 kilomètres de la mer, le trafic maritime qui y arrive au même prix que dans les ports de la côte.

C'est aux seules considérations techniques qui présentent ici, comme dans tous les cas analogues, le plus haut intérêt que nous restreindrons notre examen.

Nulle question plus complexe et plus difficile que celle des rivières à marée et de leurs estuaires. On est là en présence de forces naturelles d'une énergie colossale, avec lesquelles il n'y a pas à lutter de front, et qu'il est fort difficile de discipliner.

Sous le jeu des mouvements incessants de deux éléments mobiles de la planète : l'air et l'eau, son noyau solide, tel que l'a façonné la dernière période géologique, est soumis à des attaques que rien n'interrompt. Les falaises maritimes minées par le pied s'éboulent; les courants littoraux en roulent les débris que les vagues remanient; les côtes plates se couvrent de galets et de sables; les estuaires se combient, et les matières plus ou moins meubles qui les envahissent remontent avec le flot dans les rivières et se joignent aux alluvions que charrient les eaux douces pour en encombrer le lit par endroits. Les forces naturelles semblent avoir pour tâche, dans tout ce qui est le lit des eaux, de combler les vides et de passer partout le niveau. L'homme a besoin de ces vides. C'est à lui à maintenir les reliefs qui lui sont utiles.

Longtemps ces grands effets des forces naturelles ont été passivement acceptés. Hier encore, combien d'ingénieurs expérimentés, devant des projets tendant à améliorer ou maintenir en état une baie maritime, eussent levé les bras au ciel en s'écriant : N'y touchez pas ! Vous ne pouvez qu'aggraver le mal.

Cette abstention fétichique n'est plus de mise. Quelles que

(1) Rapport présenté au maire de Rouen sur les améliorations dont sont encore susceptibles la Seine maritime et son estuaire. In-4° raisin de 70 pages, avec 6 cartes hydrographiques et de nombreuses annexes. Rouen, J. Lecor, 1881.