

Bibliothèque numérique

medic@

Charpentier, Augustin. - L'osmose

1878.

Paris : A. Parent

Cote : 90975



Licence ouverte. - Exemplaire numérisé: BIU Santé (Paris)

Adresse permanente : <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?90975x1878x07x05>

5

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

L'OSMOSE

THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(Section de physique médicale)

et soutenue à la Faculté de médecine de Paris

PAR

LE D^r AUGUSTIN CHARPENTIER



PARIS

A. PARENT, IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

29-31, RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 29-31

—
1878



L'OSMOSE

THÈSE

PRÉSENTÉE À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE LYON

(Section de physique médicale)

et soutenue à la Faculté de Médecine de Lyon

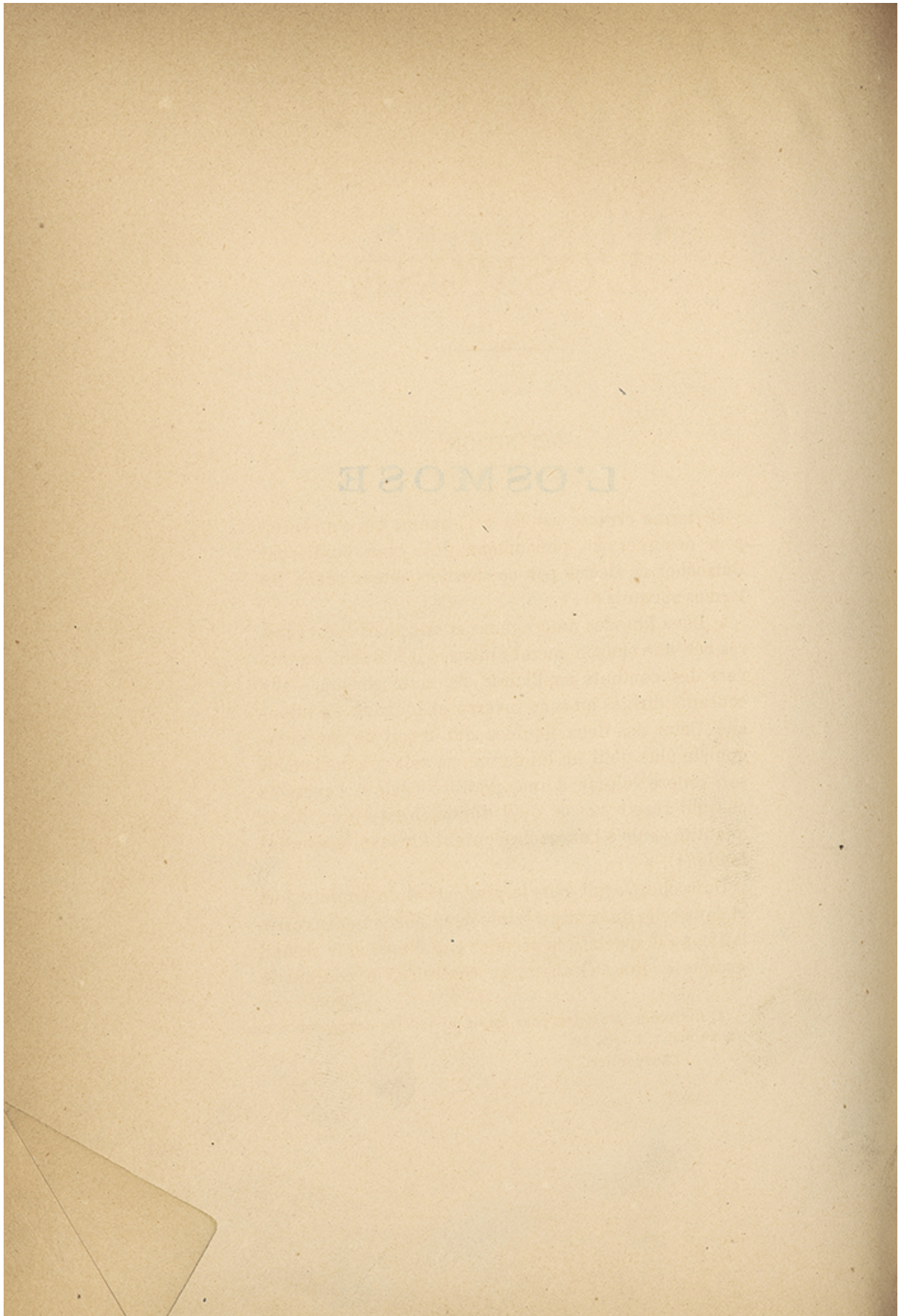
PAR M. DR AGOSTIN CHARENTIER

A. PARANT, IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

1878

L'OSMOSE

L'OSMOSE



L'OSMOSE

DÉFINITION.

Le terme *osmose* est dû à Graham, qui s'en servit pour désigner un phénomène déjà bien étudié par Dutrochet et décrit par ce dernier auteur dans les termes suivants :

« Deux liquides hétérogènes et miscibles étant séparés par une cloison membraneuse, il s'établit au travers des conduits capillaires de cette cloison, deux courants dirigés en sens inverse et inégaux en intensité. Celui des deux liquides qui reçoit de son antagoniste plus qu'il ne lui donne, accroit graduellement son propre volume d'une quantité égale à l'excès de ce qu'il reçoit sur ce qu'il donne, c'est-à-dire d'une quantité égale à l'excès du courant fort sur le courant faible (1). »

Dutrochet voyait dans la production du courant fort et dans celle du courant faible deux phénomènes corrélatifs, qu'il appelait, le premier *endosmose* et le second *exosmose*. Pour Graham, au contraire, le courant le

(1) Dutrochet. *Mémoires pour servir à l'histoire des végétaux et des animaux*, t. I, p. 10

Charpentier.

plus fort constituait seul un phénomène spécial, tandis que le courant faible, quand il existait, était dû à des causes secondaires telles que la diffusion ou la pression hydrostatique. Voilà pourquoi il substitua aux termes d'endosmose et d'exosmose, employés par Dutrochet, un terme unique, celui d'*osmose*, suffisant, suivant lui, à désigner le phénomène dont nous avons à nous occuper.

Le mot a prévalu, et il s'applique non-seulement à l'échange des liquides, mais encore à l'échange du gaz, de sorte que nous avons à modifier la définition de Dutrochet dans un sens plus large, en l'appliquant aux fluides en général.

L'*osmose*, ainsi comprise, constitue un phénomène mécanique se produisant entre deux fluides miscibles et hétérogènes séparés par une cloison perméable, phénomène caractérisé par le transport graduel de chacun de ces fluides vers l'autre, mais dans des proportions inégales, de sorte qu'il s'établit un courant principal appelé courant osmotique.

L'*osmose* des liquides fut, sinon remarquée la première, au moins étudiée en premier lieu ; quant à l'*osmose* des gaz, on ne s'en occupa sérieusement que plus tard. Il est enfin une troisième variété d'*osmose* qui ne paraît pas, jusqu'à présent, avoir fixé l'attention des physiciens, mais qui trouverait en physiologie une application directe dans le phénomène de la respiration pulmonaire, nous voulons parler de l'*osmose* qui a lieu entre un gaz libre et un gaz dissous dans un liquide. Nous ne pourrions qu'essayer de présenter en quelques mots les conditions de sa production.

HISTORIQUE.

La découverte des phénomènes osmotiques est due à Dutrochet, qui en fit une étude attentive, pleine de lucidité et de précision. C'est à lui, en somme, que doit se reporter tout d'abord quiconque veut prendre connaissance des données fondamentales de cette question.

Mais si Dutrochet a fait cette découverte, plusieurs savants l'avaient côtoyée avant lui. On avait certainement vu avant Dutrochet des faits analogues à celui qui attira son attention ; seulement, on passait à côté d'eux sans se douter qu'ils contenaient le germe d'une des plus belles applications de la physique à la biologie.

L'histoire a conservé quelques-uns de ces exemples.

Nollet, entre autres, vit en 1748 qu'un flacon plein d'alcool et bouché par une membrane, absorbait du liquide quand il était plongé dans l'eau ; la membrane se tendait alors de manière à bomber fortement à l'extérieur. Au contraire, le flacon était-il rempli d'eau et plongé dans l'alcool, son contenu diminuait de volume et la membrane faisait saillie à l'intérieur du flacon. Nollet alla plus loin : il vit que la température n'était pour rien dans la production du phénomène, et reconnut encore que celui-ci n'avait plus lieu quand les deux liquides n'étaient pas au contact de la membrane (1). Mais il en resta là. Il n'eut pas même l'idée d'essayer de reproduire l'expérience avec d'autres liquides.

(1) Nollet. *Mémoires de l'Acad. des sciences*, 1748, p. 101. *L'art des expériences*, 1770, t. III, p. 104.

On trouve encore, en 1802, le fait suivant signalé par Parrot : un œuf privé de coquille se gonfle quand il est plongé dans l'eau (1). Cela pouvait devenir le point de départ de la découverte de l'osmose ; malheureusement, l'auteur passe à côté du fait et s'occupe d'autre chose.

En 1812, Sæmmering, fils de l'anatomiste de ce nom, remarque qu'un mélange d'eau et d'alcool exposé à l'air par l'intermédiaire d'une cloison de bois reste inaltéré pendant longtemps, tandis qu'il perd de l'eau et se concentre quand il est recouvert d'une membrane animale, peau ou vessie. Il explique le fait en disant que cette membrane laisse passer plus facilement l'eau que l'alcool (2).

Un physicien anglais, Porret, produisit, en 1816, un fait très-remarquable d'endosmose électrique. Ayant séparé un vase en deux parties, à l'aide d'une cloison membraneuse, il remplit ces deux parties avec de l'eau pure et fit arriver dans l'une le pôle positif, dans l'autre le pôle négatif d'un courant galvanique ; il remarqua au bout d'un certain temps que le liquide avait diminué de quantité dans le compartiment en contact avec le pôle positif, et s'était accumulé du côté du pôle négatif. Nous aurons à revenir plus tard sur cette belle expérience (3).

En 1822, Fischer, de Breslau, construisit, sans s'en douter, le premier endosmomètre. Un jour, dit-il, j'avais placé dans une dissolution d'un sel de cuivre un tube de terre rempli d'eau et fermé en bas par une

(1) Parrot. *Bulletin scientifique de l'Académie de Pétersbourg*, 1840, t. VII.

(2) *Annales de physiologie* de Gilbert, 1819, t. LXI.

(3) Porret. *Ann. de chimie et de physique*, t. II, p. 473.

vessie, de telle manière que la surface de la dissolution était d'un pouce plus élevée que l'eau dans le tube. Je fus bientôt étonné de voir que le liquide s'était élevé dans le tube, et à une hauteur telle, que le niveau n'était pas seulement devenu le même que celui du liquide extérieur, mais qu'au bout de quelques semaines, il s'était élevé (contre les lois de la pesanteur) jusqu'à l'ouverture supérieure du tube, c'est-à-dire plus de quatre pouces au-dessus du niveau de la dissolution (1).

Voilà donc un certain nombre d'observations qui, chacune pour son compte, sont jugées *étonnantes* par leurs auteurs. Dutrochet débuta par une observation analogue, mais, au lieu de s'étonner, il analysa le phénomène, en étudia les diverses conditions et en découvrit ainsi les lois fondamentales.

En 1809, il observait au microscope des moisissures aquatiques développées sur une plaie faite à la queue d'un poisson; ces moisissures étaient formées de filaments transparents assez longs, portant chacun un petit renflement opaque terminé en pointe, renflement semblable « aux capsules d'un végétal. » Pour faciliter l'observation, Dutrochet avait placé des fragments de cette moisissure dans l'eau. « Je ne tardai pas, dit-il, à voir quelques-unes de ces capsules expulser, par une ouverture située à leur pointe, une multitude de globules; pendant cette expulsion, la cavité de la capsule se vidait seulement à sa partie inférieure, opposée à la pointe qui donnait issue aux globules; la masse de ces derniers, qui remplissait encore la partie supérieure de la cavité capsulaire, semblait pressée et fortement chassée en haut par l'accumulation de l'eau dans la

(1) Fischer. *Gilbert's Annalen der Physik*, 1822, t. LXXII, p. 301.

partie inférieure de cette cavité capsulaire qui ne diminuait aucunement de capacité, en sorte qu'il me fut bien prouvé que l'expulsion des globules n'était point due à une contraction de la capsule. L'eau, par son introduction dans la partie inférieure de la cavité capsulaire, semblait faire ici l'office du piston d'une seringue pour chasser en haut et expulser par la pointe de la capsule l'amas de globules qui, primitivement, remplissait cette dernière en entier. Dans l'espace de deux ou trois secondes, tous les globules furent expulsés de leur capsule, qui demeura pleine d'eau sans avoir rien perdu de ses dimensions primitives (1). »

Il se demanda alors si ces globules étaient des animalcules, sortis de leur propre mouvement, comme l'avait supposé autrefois Needham ; mais il observa que ces globules ne se remuaient que lorsqu'il entraînait de l'eau dans la capsule ; qu'une fois le mouvement de l'eau apaisé, ils restaient inertes dans le liquide ambiant. « De plus, dit-il, si c'étaient des animalcules qui sortissent par un mouvement spontané de l'intérieur de la capsule, on verrait se vider la première, la partie de cette cavité la plus voisine de l'ouverture qui lui donne issue. Or, c'est au contraire, la partie opposée qui manifeste sur le champ un vide que l'eau remplit.

« Il n'y a donc point de doute que cet amas de globules ne soit une masse inerte qu'une force *a tergo* chasse vers la pointe de la capsule et delà au dehors, exactement de la même manière que l'eau est chassée hors d'une pompe par le piston. L'eau introduite dans la partie inférieure de la cavité capsulaire est évidem-

(1) Dutrochet. *Mémoires*, etc., p. 3.

ment l'instrument mécanique de cette force *a tergo* qui produit l'impulsion de l'amas de globules qui remplit le reste de la cavité.

« D'où vient cette eau? Quelle est la force qui la pousse dans l'intérieur de la capsule? » Il pense d'abord qu'elle est poussée dans la capsule par les organes intérieurs du filament qui supporte cette dernière; mais il observe bientôt le même phénomène dans une capsule séparée de son filament. Aussi réserve-t-il l'exploration de ce fait, qu'il est obligé de ranger parmi ceux dont la cause lui est inconnue.

Or, quelque temps après, un fait semblable s'offrit à lui pendant qu'il étudiait la fécondation des limaces. Ces animaux ont la verge entourée d'un sac épidermique imperforé, dans lequel, pendant l'accouplement, s'accumule le sperme et qui, après l'accouplement, est laissé plein de substance dans l'organe femelle. Si l'on trouble les animaux accouplés, chacun d'eux en se séparant abandonne au dehors son petit sac plein de sperme. Dutrochet ayant placé dans l'eau quelques-uns de ces petits sacs, qui ont la forme d'une cornue, vit au bout d'une demi-heure, qu'ils étaient à moitié vides de sperme et contenaient à la place de l'eau qui les distendait. La substance pâteuse obstruait exactement le col de la cornue, l'eau ne pouvait donc s'être introduite qu'à travers la membrane du sac. L'introduction de l'eau dans les petits sacs spermatiques de la limace n'a lieu que tant qu'il existe un reste de sperme dans ces petits sacs. Lorsque toute cette substance a été expulsée, il sort par l'ouverture de ces sacs, un courant d'eau qui s'affaiblit promptement et cesse enfin de se montrer.

Dutrochet se dit alors que l'introduction de l'eau était

due à la présence dans le sac, d'une substance plus dense que l'eau. C'est alors qu'il prit des cæcums de jeunes poulets, les remplit de lait, de gomme, d'albumine, etc., et, les ayant fermés par une ligature, les introduisit dans de l'eau; ses prévisions se réalisèrent, l'eau se rendit dans l'intérieur du sac à travers les parois de celui-ci, le cæcum se gonfla, devint turgide, augmenta de poids. Mettait-il dans l'intérieur du sac un liquide moins dense que le liquide extérieur, comme une solution de gomme à 2 p. 100 dans une solution de gomme à 10 p. 100, le petit sac se vidait peu à peu dans le liquide le moins dense. Bientôt il découvrit que non-seulement le liquide le moins dense filtrait vers le plus dense, mais qu'il existait en même temps un courant inverse, mais moins considérable. Ce fut alors qu'il s'imagina, dans son enthousiasme, avoir *dévoilé dans sa nature et dans son mode d'action le principe immédiat du mouvement vital* (1); erreur excusable et qui fut d'ailleurs de courte durée.

Il analysa en effet plus intimement le phénomène, restreignit sa portée mais analysa ses détails, détermina l'influence de la membrane, celle des liquides, compara entre eux des mêmes liquides à des densités différentes, étudia l'action de la chaleur sur l'osmose, la vitesse et la force du courant endosmotique, l'osmose des acides, etc., et tenta enfin quelques applications de l'osmose à la physiologie végétale et animale.

Dutrochet laisse en définitive une œuvre remarquable, non-seulement par l'importance de sa découverte,

(1) Dutrochet. *L'agent immédiat du mouvement vital dévoilé dans sa nature et dans son mode d'action chez les végétaux et chez les animaux*. Paris, 1826.

mais encore par l'indépendance de ses idées et la précision de ses expériences.

Cependant, les faits précédents avaient attiré l'attention du monde savant, mais chose singulière, on s'en occupa tout d'abord non pour les étendre ou les vérifier, mais pour les expliquer.

Le mathématicien Poisson, présenta le premier une théorie de l'osmose, en 1826. C'était un peu se hâter que de vouloir établir une explication mathématique de faits qui étaient à coup sûr incomplètement connus.

Becquerel essaya, l'année suivante, de compléter la théorie de Poisson.

Magnus, en 1832, en proposa une analogue.

Il faut aller jusqu'à 1841 pour voir les savants commencer et répéter les expériences de Dutrochet. A cette époque, Brücke étudia la question et fut suivi par de nombreux savants, parmi lesquels nous citerons Liebig (1849), Jolly (1849), Ludwig (1849-1852), Cloetta (1851). Matteucci et Cima (1845), Harzer, Wiedemann et bien d'autres, qui établirent d'importantes données dont nous aurons à tenir compte.

En 1851, paraissait en France, un travail de M. Bécclard sur l'osmose, travail riche en expériences et dont la conclusion devra nous arrêter dans la suite de cette étude.

En avril 1854, M. Dubrunfaut, s'appuyant sur les expériences de Dutrochet, appliquait à l'épuration du sucre de betterave, l'inégale endosmose de ce sucre et des sels minéraux auxquels il est mêlé. Après avoir introduit une certaine quantité de mélasse de betteraves dans un vase en verre dont le fond était formé par une membrane perméable, il plaçait ce vase dans de l'eau

Charpentier.

pure ; les divers sels mélangés au sucre dans la mélasse passaient dans l'eau extérieure beaucoup plus vite que le sucre, qui restait en forte proportion dans le vase intérieur.

Le principe de cette importante méthode était trouvé presque à la même époque, et d'une manière indépendante, par Graham, illustre savant anglais dont les travaux ont fort avancé la connaissance des phénomènes osmotiques. Toutefois Graham ne songea, croyons-nous, à appliquer à la séparation chimique les conclusions de ses observations que plusieurs années après que M. Dubrunfaut eût décrit et employé son appareil.

On doit à Graham d'avoir établi, touchant l'osmose des liquides, deux ordres de faits extrêmement importants : 1° il a mis en relief les rapports étroits qui unissent les phénomènes d'osmose aux phénomènes de diffusion et a fait à ce propos des expériences nombreuses et précises ; 2° il a su distinguer d'abord par leurs propriétés osmotiques, ensuite par leurs autres propriétés physiques, deux classes différentes de corps : les corps colloïdes et les corps cristalloïdes, distinction féconde sur laquelle nous aurons à insister plus tard. N'oublions pas cependant, que cette distinction était contenue en germe dans les travaux de Dutrochet, qui avait fort bien indiqué la faible diffusibilité de la gélatine, de la gomme, du sucre et de l'albumine.

Mais l'auteur anglais a eu avant tout le grand mérite d'épuiser pour ainsi dire, au point de vue expérimental, la question de l'osmose, que Dutrochet et ses successeurs avaient laissée ouverte. C'est presque toujours à Graham que nous devons avoir recours quand nous au-

rons à exposer les faits nombreux que possède la science à ce sujet.

Du reste, chose remarquable, depuis Graham (1862), les expérimentateurs semblent s'être désintéressés de cette vaste question de physique biologique.

Mentionnons seulement le travail intéressant de M. Lhermite, qui suivit de près le second mémoire de Graham (1855).

Il est cependant une application très-curieuse des phénomènes osmotiques, qui a été découverte en 1867 par M. Traube. Nous voulons parler de la production artificielle de cellules à parois solides et à contenu liquide, s'accroissant par absorption endosmotique de certaines substances à l'exclusion des autres, cellules douées en un mot de plusieurs propriétés de cellules vivantes. Les faits découverts par M. Traube, très-intéressants par eux-mêmes, sont surtout remarquables en ce qu'ils nous montrent la nature très-simple de quelques phénomènes vitaux et nous font espérer d'en réaliser un jour l'imitation.

Quant à l'osmose des gaz, son histoire presque entière est renfermée dans les travaux de Graham.

Dès 1779, Priestley avait, il est vrai, observé la diffusion de certains gaz à travers des cornues très-chaudes; même avant cette époque, en 1772, il avait démontré « que, si l'air commun et l'air déphlogistiqué (oxygène) ont le pouvoir de donner au sang veineux la couleur rutilante du sang artériel, cette réaction peut s'opérer à travers une membrane humide comme au contact direct de l'air avec le sang (1) ».

Il est vrai aussi que Döbereiner, par exemple, en

(1) Longet. *Physiologie*, t. I, p. 625.

1823, avait observé des exemples de diffusion gazeuse à travers les fissures des vases.

Enfin Marianini avait vu en 1843 des bulles de savon pleines d'hydrogène, transportées dans une atmosphère d'acide carbonique, augmenter de volume et tomber peu à peu par suite de l'absorption de ce dernier gaz.

Mais ces faits restèrent isolés et Graham eut tout à faire dans cette voie.

En 1833 paraissait de lui un premier travail sur la diffusion des gaz à travers des cloisons poreuses, travail dans lequel il détermina le rapport qui liait la vitesse de diffusion à la densité de ces fluides.

En 1849, nouvelles observations sur le mouvement, l'effusion et la transpiration des gaz, continuées jusqu'en 1866, époque où fut écrit son travail sur l'absorption et la séparation dialytique des gaz par des septa colloïdes. Ce dernier travail est le plus important pour nous, il contient pour ainsi dire tous les faits dont nous aurons à nous occuper à propos de l'osmose gazeuse.

Bien d'autres savants se sont occupés de la diffusion des gaz, mais leurs travaux ne touchent qu'indirectement à notre sujet et nous occuperont plus tard à propos de la théorie de l'osmose.

L'osmose des gaz a été étudiée en France dans ces dernières années par notre regretté maître M. Ch. Boulland (de Limoges). En 1873, ce savant modeste et distingué fit connaître une série de petits instruments très-sensibles dont il se servait depuis longtemps comme d'hygromètres et d'endosmomètres, et publiait, entre autres résultats intéressants de ses études, quatre-vingt-une expériences d'osmose faites, à l'aide d'un de ces

appareils, sur différents gaz. Nous aurons à revenir sur ses observations très-curieuses.

Quant à l'osmose entre gaz libres et gaz dissous dans un liquide, elle n'a, comme nous le disions plus haut, pas encore été étudiée expérimentalement. On s'est contenté, pour l'expliquer, de dire que l'interposition d'une membrane ne modifiait pas essentiellement la diffusion qui devait s'opérer dans ces conditions. C'est assurément l'expérience seule qui pourra nous apprendre si cette hypothèse est ou non légitime.

En somme, si nous voulions compléter par un mot ce court historique, nous dirions que la question de l'osmose ne nous semble pas épuisée; pour l'osmose des liquides, si, grâce surtout à Dutrochet et à Graham, on sait beaucoup, on n'a pas encore tout fait, et la théorie générale de ce phénomène est loin d'être fixée, quoique la seule énumération des auteurs qui ont voulu l'expliquer eût allongé de beaucoup ce chapitre; sur l'osmose des gaz, on a beaucoup moins d'expériences; quant à la troisième espèce d'osmose que nous avons reconnue, elle n'existe pas dans l'ordre expérimental.

Quoiqu'il en soit, nous allons entrer maintenant dans l'étude des faits connus.

OSMOSE DES LIQUIDES.

A. — MOYENS D'ÉTUDE.

Nous avons vu comment Dutrochet avait été amené à étudier les phénomènes osmotiques, et comment il avait commencé par se servir dans ce but de cœcums de jeunes poulets.

Un tel procédé était peut-être suffisant pour constater le sens du phénomène, mais pour mesurer l'intensité de ce phénomène il était nécessaire d'un appareil plus perfectionné.

Dutrochet adapta d'abord dans ce but un tube de verre à la partie supérieure de la poche membraneuse et put voir alors à quelle hauteur s'élevait le liquide intérieur ou de combien il descendait.

Ensuite il remplaça la poche elle-même par un petit vase de verre à la partie supérieure duquel s'adaptait un tube étroit et long de même nature, et dont la partie inférieure, évasée et vide, pouvait se fermer à l'aide d'une cloison poreuse ou d'une membrane quelconque, vessie, caoutchouc, papier parchemin, etc.

Le tube supérieur était gradué en millimètres à partir d'un certain niveau auquel on faisait arriver le liquide de l'endosmomètre avant de commencer l'expérience.

Pour faire une expérience d'osmose, on plaçait cet appareil dans un vase plus large contenant le second liquide, de manière à ce que le niveau fût le même dans

le liquide extérieur et dans le liquide intérieur. On pouvait alors observer facilement le mouvement de ce dernier.

Tel est le type de l'*endosmomètre* de Dutrochet, instrument commode et devenu classique.

On peut lui reprocher de laisser s'établir entre les deux liquides une certaine inégalité de pression qui vient ajouter son influence à celle de l'action osmotique. Cette action perturbatrice, peu considérable quand la hauteur de l'endosmose n'est pas très-grande, devient réellement dans quelques cas une cause d'erreur dont il faut se débarrasser.

Aussi Graham, dans ses expériences, tout en employant le même instrument que Dutrochet, s'efforçait-il de maintenir constant le niveau des deux liquides. Sa méthode est, à ce titre, plus parfaite que celle de son prédécesseur. Le réservoir de l'instrument de Graham pouvait contenir 150 gr. d'eau, le tube supérieur avait un calibre intérieur de 15 millim. La membrane était soutenue par une lame rigide criblée de trous et supportée par un trépied.

Dutrochet employa, pour mesurer la force de l'endosmose, disait-il, un endosmomètre dont le tube se recourbait d'abord du haut en bas, puis de bas en haut, et contenait du mercure dans la partie inférieure de cette espèce de siphon. La pression faisant équilibre au courant endosmotique se mesurait alors en centimètres de mercure, précaution qui avait son utilité puisque l'endosmose de l'eau vers une solution sucrée d'une densité de 1,3, par exemple, faisait équilibre à une hauteur de 3 m. $\frac{1}{2}$ de mercure, ce qui, mesuré en eau, aurait nécessité un tube de plus de 45 mètres de hauteur.

Matteucci et Cima se servirent d'un endosmomètre double, composé d'un réservoir séparé en deux parties égales par une cloison membraneuse verticale; chacune de ces parties se terminait, à sa partie supérieure, par un long tube de verre gradué; de cette façon on pouvait employer des masses égales de liquide, et, à la fin de l'expérience, la différence de niveau des deux liquides se composait de la somme de l'ascension dans le premier tube et de la descente dans le second (1). Cette méthode ne nous paraît avoir aucun avantage sur celle de Graham, et elle possède en outre l'inconvénient de celle de Dutrochet, c'est-à-dire que plus l'osmose est avancée, plus les deux faces de la membrane supportent des pressions inégales.

Cette cause d'erreur n'existe plus dans l'appareil suivant, emprunté à Ludwig et ainsi décrit par Hoppe-Seyler (2) : « Cet appareil comprend d'abord un tube de verre de quelques centimètres de diamètre, ouvert en haut et en bas, et sur un côté duquel est gravée, dans le sens de la hauteur, une échelle millimétrique; l'ouverture inférieure de ce tube est recouverte d'un diaphragme poreux, vessie animale, intestin, membrane d'œuf, papier-parchemin, collodion, etc.; l'ouverture supérieure peut être recouverte par un verre de montre. Ce tube, ainsi disposé, est suspendu par un mince fil de platine, à l'une des extrémités du fléau d'une balance, fléau dont l'autre extrémité supporte un plateau et des poids destinés à rétablir l'équilibre. Le petit vase suspendu est plongé dans un bocal qui doit servir de réservoir extérieur.

(1) Matteucci et Cima. *Mémoire sur l'endosmose* (*Annales de chimie et de physique*, 1845, 3^e série, t. XIII).

(2) Hoppe-Seyler. *Physiologische Chemie*, 1877, t. I, p. 158.

« On commence par verser dans ce bocal le liquide le moins dense; puis on introduit un peu du même liquide dans le vase intérieur et on note le niveau auquel il s'élève; on rétablit alors l'équilibre des deux niveaux, en plaçant dans le plateau de la balance des poids gradués. On ajoute encore dans le vase intérieur un peu de liquide, et on note comme précédemment et la hauteur de ce liquide et le poids nécessaire pour le faire arriver au niveau du liquide extérieur. On répète encore la même opération un certain nombre de fois, jusqu'à ce que l'on ait déterminé pour chaque division du tube le poids nécessaire pour le maintenir en équilibre lorsqu'il s'enfonce jusqu'à cette division dans le liquide du bocal.

« Pour faire une expérience, on met sur le plateau le poids correspondant à la quantité dont on veut que le tube s'enfonce, l'aiguille étant à zéro, et on le remplit, jusqu'au niveau voulu, du liquide le plus dense. Le vase extérieur contient le second liquide; on recouvre ce vase avec un disque de verre découpé, et on abandonne les choses à elles-mêmes pendant un temps déterminé; au bout de ce temps on voit de combien le niveau s'est élevé ou abaissé dans le tube, et si l'aiguille de la balance s'est déplacée, et l'on détermine la composition chimique des deux liquides.

« L'emploi de la balance et la compensation du poids du tube de verre permettent non-seulement d'égaliser au commencement de l'expérience la pression des deux liquides, mais encore de maintenir cette égalité pendant toute la durée de l'osmose, ce qui est difficile à obtenir autrement et ce qui est nécessaire cependant pour la rigueur de l'expérience.

« Si les poids spécifiques des deux liquides sont dif-

Charpentier.

3

férents, le niveau du liquide le plus lourd contenu dans le tube sera plus bas, au début, que celui du liquide extérieur; si, par suite de l'osmose, le volume du liquide intérieur augmente dans la même proportion que son poids spécifique diminue, l'aiguille de la balance restera à zéro et les niveaux des deux liquides se rapprocheront; sinon, l'aiguille déviara toujours d'un côté ou d'un autre.

Citons encore la méthode suivante, due à notre regretté maître Ch. Boulland, méthode remarquable par sa sensibilité.

Ch. Boulland employait comme réservoir de son endosmomètre la tunique fibreuse de l'estomac de la grenouille, isolée et préparée suivant certaines précautions pour la connaissance desquelles nous renvoyons au travail de l'auteur (1).

La partie inférieure de ce réservoir était fermée par une ligature; la partie supérieure était adaptée et étroitement serrée autour d'un tube capillaire de verre qui plongeait dans l'intérieur du réservoir, presque jusqu'au fond de ce dernier. Le tube de verre, au sortir de l'appareil, se dirigeait verticalement en haut jusqu'à une hauteur de 4 à 5 centimètres, et se courbait ensuite à angle droit de manière à ce que son expansion supérieure fût sur un plan horizontal. On pouvait donner, du reste, à cette expansion telle forme qui paraissait la moins embarrassante, pourvu qu'elle demeurât, située horizontalement. Cette partie du tube pouvait s'appuyer sur un trépied et assurer ainsi la fixité de l'instrument.

(1) L.-C. Boulland. *De la contractilité physique et de quelques autres propriétés que présentent les tissus non vivants de l'organisme animal*, etc., 1873 (*Journal de l'anatomie et de la physiologie* de M. Ch. Robin).

Ce petit appareil était intégralement rempli de mercure, et, quand on voulait s'en servir, on pressait sur le réservoir membraneux de manière à expulser une quantité déterminée de mercure, 5 gr. ou 10 gr. par exemple; puis, plongeant l'extrémité libre du tube dans le liquide à expérimenter, on laissait le petit sac revenir sur lui-même et attirer ainsi dans son intérieur un volume déterminé de ce liquide à la place du mercure expulsé. La partie horizontale du tube était graduée en divisions correspondant à un poids donné de mercure, et par suite à un volume déterminé.

L'instrument, ainsi préparé, était placé dans le second liquide, et, suivant le sens de l'osmose, le liquide intérieur augmentait ou diminuait de volume, et, pressant positivement ou négativement sur le niveau du mercure, le faisait monter ou descendre d'un certain nombre des divisions de l'instrument.

Cet instrument est passible d'une objection de quelque valeur, c'est que le liquide intérieur est soumis à la pression d'une colonne de mercure de 4 à 6 centimètres. Mais d'abord cette pression est par elle-même assez faible; d'autre part, elle est à peu près constante, la hauteur de la colonne mercurielle n'étant susceptible de varier que de 1 ou 1 centimètre $\frac{1}{2}$ au plus, étant donné le faible volume du réservoir.

L'instrument est d'ailleurs extrêmement délicat. Nous retrouverons son application dans l'étude de de l'osmose gazeuse.

B. — PHÉNOMÈNES FONDAMENTAUX.

Prenons maintenant un de ces endosmomètres, celui de Dutrochet ou celui de Graham, par exemple, et recherchons quelles sont les conditions fondamentales à remplir pour qu'il y ait osmose, c'est-à-dire *échange inégal* entre le liquide intérieur et le liquide extérieur.

1° Les deux liquides en expérience doivent être hétérogènes, c'est-à-dire différents soit par leur nature, soit par leur composition.

Si l'on place par exemple de l'eau distillée dans l'endosmomètre et dans le vase extérieur, on n'observera (à pressions égales) aucun changement de niveau. Mais si l'on place d'un côté une solution de chlorure de sodium et de l'autre de l'eau distillée, le niveau de la solution saline augmentera, il y aura osmose prépondérante de l'eau vers le sel.

Si l'on met dans l'endosmomètre et dans le vase extérieur une même solution saline, il n'y aura pas de phénomène osmotique. Si, au contraire, on place d'un côté une solution saline plus concentrée que de l'autre, il y aura transport osmotique prédominant de la solution la moins dense vers la solution la plus dense.

2° Il faut, en outre, que les deux liquides soient miscibles; on ne pourrait employer, par exemple, de l'eau et de l'huile, qui ne se mélangeraient pas. On peut, au contraire, faire endosmoser une huile volatile vers une huile fixe, ou bien de l'acool vers une huile volatile. (Dutrochet.)

3° Il est nécessaire que la membrane puisse être

mouillée par les deux liquides, ou tout au moins par l'un d'entre eux. Dans le cas contraire, il n'y a pas d'osmose.

Prenons, par exemple, comme membrane une lame de taffetas gommé ou de caoutchouc; mettons dans l'endosmomètre une solution aqueuse de sel, et dans le vase extérieur de l'eau pure; on n'observe aucun changement de niveau, parce que ni la solution ni l'eau ne peuvent imbiber la membrane.

Si, au contraire, on met de l'alcool dans l'endosmomètre et de l'eau pure au dehors, l'alcool mouillera le caoutchouc et l'osmose se produira; le courant aura lieu de l'alcool vers l'eau, et l'on verra baisser le niveau de l'endosmomètre.

4° Non-seulement la membrane doit pouvoir être mouillée par l'un des liquides, mais encore elle doit avoir une certaine affinité pour le liquide qui la mouille. Tel est le cas des membranes animales que l'on emploie généralement pour l'osmose, mais cela n'a pas toujours lieu pour les cloisons poreuses minérales. Ainsi, la porcelaine dégourdie, par exemple, quoique très-poreuse et présentant tous les degrés de perméabilité, n'est pas apte à produire l'osmose, tandis que la terre de pipe peut très-bien être utilisée pour cette expérience.

5° Enfin, les liquides employés ne doivent pas altérer la membrane. La potasse, par exemple, introduite dans l'endosmomètre à membrane animale, commence par attirer fortement l'eau; mais ce mouvement s'arrête bientôt à cause de l'action destructive exercée sur la membrane. La putréfaction de cette dernière s'oppose aussi à l'osmose; ce phénomène est attribué par Dutrochet à la production d'acide sulfhydrique.

Dans les conditions que nous venons de mentionner, si l'on fait une expérience d'osmose en prenant pour liquide intérieur, par exemple, une solution de sel marin et pour liquide extérieur l'eau pure, on observera que le niveau du liquide dans l'endosmomètre s'élève progressivement, et l'on sera tenté d'attribuer ce phénomène à un simple courant qui se portera du vase vers l'endosmomètre.

Or, en réalité, il existe deux courants, l'un, prédominant, qui porte le liquide extérieur vers l'intérieur, l'autre, plus faible, qui emporte une certaine quantité de ce dernier hors de l'endosmomètre.

C'est là un fait capital que Dutrochet avait bien observé et soigneusement établi, mais qu'on passe volontiers sous silence pour les besoins de quelque théorie.

Il y a un courant exosmotique comme il y a un courant endosmotique, et la preuve c'est que, dans l'exemple que nous avons choisi, si après l'expérience on ajoute au liquide du réservoir extérieur quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent, on produit un précipité de chlorure d'argent, signe de la présence dans le liquide extérieur d'une certaine quantité de chlorure de sodium.

« On pourrait penser, dit Dutrochet, que cette filtration de la solution saline serait due à sa pesanteur spécifique, plus considérable que celle de l'eau, au-dessus de laquelle elle se trouve suspendue. Il est possible, en effet, que cette cause de filtration agisse dans cette circonstance; mais il y a de plus ici l'effet de la filtration opérée par le *courant faible*, courant qui porte (dans ce cas) le liquide le plus dense sur le liquide le

moins dense ; c'est ce que démontre l'expérience suivante :

« J'ai mis de l'eau distillée dans le réservoir d'un endosmomètre fermé par un morceau de verre. J'ai suspendu cet endosmomètre au-dessus d'un vase qui contenait de l'eau tenant en solution du sulfate de fer. La membrane de l'endosmomètre touchait la surface de la solution du sulfate de fer, sans s'enfoncer dedans. Il devait y avoir au travers de la membrane un courant fort qui portait l'eau en descendant vers la solution saline, en même temps un courant plus faible qui portait en montant la solution saline vers l'eau. Ce dernier courant était ici contrarié par l'effet de l'écoulement, par l'action de la pesanteur ; il ne laissa cependant pas d'avoir lieu ; car, au bout de deux heures, ayant essayé l'eau de l'endosmomètre par le nitrate de baryte et par le prussiate de potasse, j'y constatai l'existence du sulfate de fer. Ainsi, l'existence des deux courants antagonistes et inégaux d'endosmose et d'exosmose est démontrée d'une manière irréfragable ; l'écoulement par l'effet de la pesanteur est un phénomène accessoire dont les résultats modifient plus ou moins ceux des deux courants antagonistes (1). »

Il y a cependant un cas dans lequel le courant faible manque absolument, et c'est là un fait très-important pour l'intelligence des phénomènes osmotiques. Cela se produit lorsque la membrane ne peut pas être imbibée à la fois par les deux liquides. Nous en verrons des exemples dans les expériences ingénieuses de M. Lhermite. Ce savant produit des phénomènes d'osmose entre deux liquides, non pas à travers une membrane,

(1) Dutrochet. *Mémoires*, etc., p. 15.

mais à travers une lame formée par un troisième liquide. Par exemple, il prend une éprouvette ordinaire, au fond de laquelle il verse de l'eau distillée. Par-dessus cette eau il introduit une petite quantité d'huile de ricin, qui n'est pas miscible avec l'eau, et qui forme au-dessus de celle-ci une couche continue peu épaisse. Au-dessus de l'huile est versé de l'alcool à 35°, dans lequel l'huile de ricin est soluble.

L'huile absorbe de l'alcool, mais l'eau le lui enlève à mesure, de sorte qu'il y a, comme dans l'osmose à travers une membrane en caoutchouc, un courant continu d'alcool vers l'eau. Mais le courant inverse manque; ce qui le prouve, c'est que la membrane liquide, qui peut se déplacer, monte progressivement vers la partie supérieure du vase et finit par former la couche la plus superficielle, n'ayant plus de liquide au-dessus d'elle.

Mais ce fait n'empêche pas que dans les expériences ordinaires d'osmose, dans lesquelles on emploie des liquides mouillant tous les deux la membrane, il n'y ait, comme l'avait si bien vu Dutrochet, un courant fort et un courant faible simultanés.

C. — POUVOIR OSMOTIQUE DES DIFFÉRENTS LIQUIDES

Pour comparer entre eux, sous le rapport osmotique, les différents liquides, il faut le faire dans des conditions semblables, c'est-à-dire expérimenter avec des membranes de même nature (nous verrons plus loin quelle est la valeur de cette condition) et prendre pour liquide extérieur un liquide toujours identique à lui-

même : les expérimentateurs ont choisi l'eau, d'un accord tacite.

De ses premières expériences, Dutrochet avait conclu que la force de l'osmose, évaluée d'après la hauteur du mercure soulevé par le liquide contenu dans l'endosmomètre, était en rapport avec l'excès de la densité de ce liquide sur l'eau extérieure.

Il ne tarda pas à corriger ce que cette proposition avait d'absolu et à reconnaître que si elle pouvait s'appliquer aux densités différentes du même liquide, elle n'était plus vraie si on comparait entre eux des liquides de différente nature. L'alcool, par exemple, bien que moins dense que l'eau, attire énergiquement cette dernière dans l'endosmomètre à membrane animale. Aussi jugeait-il qu'il eût été important « de déterminer par l'expérience, quel est le pouvoir comparatif d'osmose que possèdent certaines solutions, mises chacune à part et à même densité, en expérimentant avec l'eau pure dont elles seraient séparées par une même membrane animale. »

A défaut d'expériences faites rigoureusement d'après ces données, nous avons au moins les résultats assez comparables des nombreuses observations faites par Graham.

Cet auteur mesurait le pouvoir osmotique d'après la hauteur à laquelle s'élevait le liquide dans son appareil décrit plus haut.

Il fit de premières expériences en employant comme diaphragme une lame en terre cuite ou en porcelaine dégourdie. Il se servait ordinairement d'une solution à 1 p. 100 de la substance qu'il voulait étudier. La température variait entre 13° et 18° centigrades.

Il divisa en quatre catégories, d'après leur pouvoir os-

Charpentier.

4

motique par rapport à l'eau, les substances qu'il étudia dans les conditions précédentes.

La première catégorie renfermait les substances douées d'un pouvoir osmotique faible, dont le courant endosmotique s'élevait de moins de 25 millimètres dans son appareil.

Elle comprenait en premier lieu les *substances organiques neutres*, comme l'alcool, l'esprit de bois, le sucre de cannes, la glycose, la mannite, la salicine, l'amygdaline, les sels de quinine et de morphine, le tannin, l'urée.

Sur le même rang venaient les solutions aqueuses de chlore et de brome ;

Les chlorures de sodium et de potassium, dont le maximum d'osmose (19 millimètres) avait lieu pour une solution de 0,125 p. 100.

Les sels de magnésie, très-peu osmotiques, etc., etc.

Dans la deuxième catégorie venaient des corps à osmose médiocre, entre 20 et 35 millimètres, tels que les acides tartrique, citrique, azotique, acétique, sulfurique, chlorhydrique.

La troisième catégorie était composée des substances à osmose considérable, de 35 à 55 millimètres. C'étaient les acides minéraux énergiques et les sulfates alcalins. L'acide sulfurique, par exemple, présentait son pouvoir osmotique maximum quand il était dilué à 0,1 p. 100 ; au-dessus de cette proportion, son pouvoir osmotique diminuait.

Ainsi, à 0,1 p. 100, il s'élevait à 43 millimètres.

1	p. 100,	—	40	—
4	p. 100,	—	39-41	—
10	p. 100,	—	39	—

Enfin une quatrième catégorie de substances possé-

dait un pouvoir osmotique supérieur à 55 millimètres : biarséniate de potasse, bioxalate de potasse (osmose maximum de 70 centimètres pour une solution à 0,25 p. 100), borax, carbonate et bicarbonate de soude, acides phosphorique et métaphosphorique.

Graham fit d'autres expériences avec un endosmomètre à membrane organique, morceau de vessie ou albumine coagulée par la vapeur d'eau.

Il étudia de cette façon un grand nombre de substances diverses, toujours par rapport à l'eau. Voici quelques-uns de ces résultats :

Les acides ont une osmose négative ou faiblement positive ; le plus négatif est l'acide oxalique libre ou à l'état de bioxalate de potasse. Il en est de même pour le chlorure d'or, les bichlorures d'étain et de platine.

Les solutions de matières organiques étudiées précédemment ont une osmose faible : salicine, tannin, urée, gélatine, etc.

Pour l'alcool et le sucre, l'osmose est faible, mais croît avec le degré de concentration.

Le sulfate de magnésie, les chlorures de sodium, de barium, de calcium, ont une osmose assez faible.

Ces sels sont employés à une solution au 100°, ainsi que les suivants :

Phosphate et carbonate, osmose assez forte.

Baryte étendue, chaux hydratée, osmose faible ou négative.

Nitrate de magnésie, osmose négative, 24 millimètres.

Sulfate de fer, osmose positive de 21 à 30 millimètres.

Nitrate d'argent, 35 millimètres.

Les sels à pouvoir osmotique le plus considérable, sont :

Le protochlorure de fer, 160 à 400 millimètres.
Quelques sels de cuivre, surtout le chlorure,
351 millimètres.

L'azotate de plomb, 204 millimètres.

L'azotate de mercure, 476 millimètres.

Le chlorure d'aluminium, 540 millimètres.

Enfin, le carbonate de potasse, 439 millimètres.

Nous avons déjà dit que la potasse hydratée, d'abord, très-osmotique, altérerait rapidement la membrane (1).

Dutrochet a très-bien étudié l'osmose des acides, qui donne lieu à une particularité remarquable et non encore expliquée.

Après avoir annoncé, en 1829, que l'eau s'endosmosait vers les alcalis, et les acides vers l'eau, il vit plus tard que certains acides attiraient l'eau. Les acides acétique, azotique, chlorhydrique, par exemple, offraient une endosmose dirigée de l'eau vers eux. Quant à l'acide tartrique, à la température de 25°, il présente la même particularité tant que sa densité est supérieure à 1,05 (solution à 11 p. 100) ; mais si sa densité s'abaisse, c'est-à-dire s'il devient plus étendu, il s'endosmose vers l'eau. Quand il a exactement une densité de 1,05, il ne se produit aucune osmose ; bien qu'il se rende de l'acide vers l'eau et de l'eau vers l'acide, les deux courants sont égaux et se compensent.

Dutrochet a vu qu'il existe de même pour la plupart des acides une densité moyenne pour laquelle il n'y a pas d'osmose ; la densité devient-elle plus forte, il y a

(1) Graham, *Sur la force osmotique*, 1855 (*Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. XLV, p. 5 et seq.).

osmose prédominante de l'eau vers l'acide ; la densité s'abaisse-t-elle, au contraire, le courant osmotique se produit de l'acide vers l'eau.

Pour l'acide sulfurique cette densité moyenne est de 1,07 à la température de 10°.

Pour d'autres acides, elle est si peu élevée que tous les échantillons sur lesquels on opère s'endosmosent vers l'eau. Tel est le cas, pour l'acide sulfhydrique, même à la densité de 1,006 ; pour l'acide chlorhydrique la densité moyenne à laquelle il n'y a pas d'osmose est de 1,003 seulement à la température de 22° (1).

On voit, d'après ces faits, que le sens de l'osmose peut varier avec la concentration des liquides en expérience, mais le plus souvent c'est le degré seul de l'osmose qui varie.

Dutrochet croyait que pour un même liquide l'intensité de l'osmose augmentait proportionnellement à l'excès de la densité du liquide osmotique sur la densité de l'eau.

Il avait fait, avec diverses solutions aqueuses de sucre, des expériences à l'aide de son endosmomètre à mercure.

Les densités de ses solutions étaient 1,035 ; 1,070 ; 1,140. Les excès de ces densités sur celle de l'eau étaient donc dans les rapports de 1, 2, 4.

Avec la première solution, la colonne de mercure fut soulevée, par le courant endosmotique, de 286 millimètres ; avec la seconde, l'ascension du mercure fut de 617 millimètres ; elle fut de 1 m. 238 avec la troisième solution.

Ces hauteurs sont, en effet, entre elles, à peu près dans les rapports de 1, 2, 4.

(1) Dutrochet. *Mémoires*, etc., t. I, p. 49 et suiv.

Graham fit des expériences analogues avec l'alcool, avec le sucre, avec le sulfate de magnésie.

Seulement au lieu de noter l'élévation maximum du liquide de l'endosmomètre, quel que soit le temps nécessaire pour l'atteindre, il notait le niveau du liquide au bout d'une certaine période de temps. Voici, par exemple, une expérience dans laquelle il fait durer chaque osmose pendant cinq heures ; il s'agit de l'alcool, dissout dans l'eau en diverses proportions ; la température était de 17° à 21°. L'auteur expérimentait simultanément sur deux échantillons de même concentration. Voici ses résultats :

TITRE DE LA SOLUTION p. 100.	ASCENSION EN MILLIMÈTRES	
	1 ^{er} échantillon.	2 ^e échantillon.
0,25	7.	12
1	10	13
2	20	22
5	45	45
10	70	76
20	107	109

L'ascension avait donc augmenté avec la concentration de l'alcool, mais un peu plus lentement que cette dernière.

Les résultats furent analogues avec le sucre et avec le sulfate de magnésie. Pour ce dernier sel, la quantité de sulfate de magnésie diffusée augmentait un peu moins vite que le titre de la solution.

Ludwig avait déjà, de son côté, observé les mêmes faits en étudiant différentes solutions de chlorure de sodium et de sulfate de soude (1).

(1) Ludwig. *Zeitschrift für ration. med.*, 1849, t. VIII.

D. — ÉQUIVALENTS ENDOSMOTIQUES

Nous devons maintenant nous préoccuper de savoir si, pour une substance donnée, il passe hors de la membrane une même quantité de la substance pendant qu'il entre une quantité d'eau constante. Si cela était, on pourrait déterminer ce rapport pour chaque substance et obtenir ainsi des données précieuses qui permettraient de prévoir à l'avance les résultats expérimentaux.

Ph. Jolly, qui s'occupa de cette question en 1849, la résolut *à priori* par l'affirmative, et s'appliqua à déterminer *l'équivalent endosmotique* des corps.

Il plaçait dans l'endosmomètre un certain poids de la substance qu'il voulait étudier et faisait passer dans le vase extérieur un courant continu d'eau pure; de cette façon, toute la substance finissait par s'exosmoser et était remplacée dans le vase intérieur par une certaine quantité d'eau; le rapport du poids de cette eau au poids de la substance primitivement introduite représentait, selon Jolly, l'équivalent endosmotique de cette substance, c'est-à-dire le poids d'eau susceptible de s'échanger contre elle dans le phénomène de l'osmose.

Voici quelques-uns de ses chiffres (1) :

Sulfate d'eau (SO^3, HO).	0,349
Bisulfate de potasse.	2,345

(1) Ph. Jolly. *Zeitschrift für rationn. med.*, 1849, t. VII, p. 83.

Alcool	4,169
Chlorure de sodium.	4,223
Sucre.	7,157
Sulfate de cuivre.	9,564
Sulfate de soude.	11,628
Sulfate de magnésie.	11,652
Gomme arabique.	11,790
Sulfate de potasse.	12,277
Potasse hydratée.	215,745

Comme on le remarque, les corps à osmose négative ont un équivalent endosmotique inférieur à l'unité (acide sulfurique). Les corps à osmose positive ont, au contraire, un équivalent plus grand que 1. Cela veut dire que dans le premier cas il sort moins de substance qu'il n'entre d'eau ; c'est le contraire dans le second cas.

Malheureusement, cette notion d'équivalent endosmotique est loin d'avoir la généralité que son promoteur lui a attribuée.

L'équivalent endosmotique d'un corps est, en effet, susceptible de varier dans des limites très-larges.

1° Il varie d'abord avec la durée de l'expérience.

Ludwig plaça du sel marin cristallisé dans son endosmomètre, et le mit en rapport constant avec de l'eau pure. Dans une première expérience, après soixante-huit heures, l'équivalent endosmotique était de 3,4 ; il était devenu égal à 5,7 après deux cent trente-quatre heures ; dans une seconde expérience, cet équivalent avait varié de 4 à 6,2 dans le même temps.

2° L'équivalent endosmotique d'un corps change avec la nature de la membrane, son épaisseur et son

état plus ou moins frais. (Jolly expérimentait avec des membranes desséchées.)

Harzer a déterminé l'équivalent endosmotique du chlorure de sodium avec plusieurs membranes (1) :

Avec une vessie natatoire de poisson, il était de 2,9	
— un péricarde de bœuf,	— de 4,0
— une vessie de cochon,	— de 4,3
— une vessie de bœuf,	— de 6,4

M. Olechnowitz a trouvé avec une membrane de collodion ce même équivalent égal à 10,2 (2).

3° L'équivalent endosmotique d'un corps varie avec le degré de concentration de ce corps.

Ludwig démontra ce fait important qui fut étudié et confirmé par Vierordt, Cloetta, Eckhard, Schumacher.

Eckhard, par exemple, détermina l'équivalent endosmotique de diverses solutions de sel marin avec une membrane formée par un péricarde frais. Il trouva (3) :

Pour une concentration de 4,6 p. 100, un équivalent de 1,5	
— 8,8 —	— 2,2
— 11,1 —	— 2,3
— 14,9 —	— 2,6
— 17,7 —	— 2,7
— 26,5 —	— 3,0

La valeur de l'équivalent endosmotique augmente donc avec la concentration du sel marin dans la solution. Tel est le cas général pour les corps à osmose posi-

(1) Harzer. *Arch. für physiol. Heilkunde*, 1856, t. XV.

(2) Olechnowicz. *Diss. inaug.* Dorpat, 1851.

(3) Eckhard. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie*, t. II.
Charpentier. 5

ive. Le sulfate de soude seul ferait exception, d'après Ludwig, et se comporterait comme les corps à osmose négative. Pour ces derniers, la valeur de leur équivalent endosmotique diminue au contraire quand leur concentration augmente, c'est-à-dire qu'ils sont d'autant plus fortement négatifs qu'ils sont plus concentrés.

Parmi eux, l'acide sulfurique et l'acide oxalique ont été étudiés par Schumacher (1). Leur équivalent endosmotique augmente lentement à mesure que leur concentration décroît de 13 à 4 p. 100; il s'accroît rapidement entre des concentrations de 4 à 1 p. 100, et diminue alors si l'acide devient plus dilué.

4° L'équivalent endosmotique varie encore suivant la proportion d'eau d'hydratation ou de cristallisation que renferme un même sel.

Ainsi, Hoffmann a trouvé pour le phosphate de soude anhydre ($\text{PhO}^5, 2\text{NaO}$) une valeur de 17,586 pour l'équivalent endosmotique (2).

Pour le phosphate de soude monohydraté ($\text{PhO}^5, 2\text{NaO}, \text{HO}$), il trouva seulement 16,292;

Et pour le phosphate de soude ordinaire ($\text{PhO}^5, 2\text{NaO}, \text{HO} + 24 \text{ aq.}$), la valeur de l'équivalent fut de 5,869.

Toutes ces causes de variations font de l'équivalent endosmotique une notion beaucoup moins absolue qu'on ne le pensait tout d'abord. Malgré cela, elle peut être conservée pour fixer les idées, à charge de spécifier les diverses conditions dans lesquelles sa valeur a été déterminée.

(1) Schumacher. *Poggendorff's Annalen*, 1860, t. CX.

(2) Hoffmann. *Eckhard's Beiträge*, t. II, p. 59.

E. — INFLUENCE DE LA MEMBRANE SUR L'OSMOSE.

Les causes de variation des phénomènes osmotiques qui viennent d'être signalées dans le précédent article ne sont que secondaires en comparaison de l'influence de la membrane sur l'osmose.

Nous touchons là à un point capital de l'étude de ce phénomène, puisqu'un simple changement dans la membrane peut changer non-seulement le degré, mais le sens même de l'osmose.

Nous avons vu, en effet, précédemment qu'en se servant d'une membrane en caoutchouc ou en taffetas gommé, on n'observe aucun échange osmotique entre l'eau et une solution saline, tandis qu'entre l'eau et l'alcool il se produit un courant dirigé de l'alcool vers l'eau.

Mais si entre ces deux derniers liquides on interpose, au lieu de caoutchouc ou de taffetas gommé, une membrane animale, par exemple un morceau de vessie, il y aura encore échange osmotique, mais dirigé cette fois de l'eau vers l'alcool.

C'est là un fait fondamental qu'on ne doit jamais perdre de vue dans l'étude de l'osmose, parce qu'il conduit à l'explication du rôle très-important de la membrane, comme nous le verrons plus loin.

Nous avons vu aussi, à propos de l'équivalent endosmotique, que la membrane avait sur l'intensité de l'osmose une influence considérable. On se rappelle que Harzer trouva, en se servant simplement de membranes animales, des équivalents très-différents pour le même

sel. Il est certain que ces valeurs auraient varié encore dans des limites bien plus larges s'il eût employé comparativement des diaphragmes de nature minérale.

Dutrochet vit, comme nous le savons, que la porcelaine dégourdie (silicate d'alumine avec excès de silice), quoiqu'on puisse l'obtenir avec tous les degrés possibles de perméabilité, ne permettait point l'échange osmotique.

L'argile, la terre de pipe (silicate d'alumine avec excès d'alumine) sont au contraire très-aptées à produire l'osmose.

La chaux carbonatée, d'après le même auteur, est peu apte à l'osmose; si on prend de cette substance une lame d'épaisseur telle qu'elle présente le même degré de perméabilité qu'une vessie, elle est plus de 80 fois moins osmogène (qu'on nous permette l'expression) que cette dernière.

Graham confirma ces faits; il vit que certaines substances poreuses étaient inertes; telles sont la pierre à plâtre, le charbon moulu, le cuir tanné.

De plus, si l'on compare les résultats de ses expériences faites à l'aide d'un diaphragme en terre cuite, avec ceux des expériences où il se servit de membranes organiques, on remarque facilement de frappantes différences; la plus curieuse se rapporte à l'osmose des acides; ayant en présence de la lame de terre cuite un pouvoir attractif considérable sur l'eau extérieure, ces corps présentaient, au contraire, ordinairement une osmose négative en présence d'un diaphragme organique.

Que de différences encore parmi les membranes organiques?

Nous avons cité les expériences de Dutrochet sur

l'osmose des acides, qui, suivant leur densité, se montraient positifs, neutres ou négatifs, c'est-à-dire pouvaient soit attirer l'eau, soit se rendre vers elle, soit encore rester au même niveau. Tels se montraient ces corps étudiés avec un endosmomètre à vessie; mais lorsque Dutrochet employait, au lieu de cette membrane de nature animale, un diaphragme emprunté aux végétaux, comme une gousse de baguenaudier (*colutea arborescens*) ou un pétiole tubuleux d'*allium porrum*, il observait constamment une endosmose de l'eau vers l'acide; ce fait fut général pour tous les acides étudiés, acide tartrique depuis une densité de 1,03 jusqu'à une densité de 1,0004, acide sulfurique, acide sulfhydrique, etc.; l'acide sulfureux seul ne donnait pas d'osmose. (Avec les lames d'argile ils montraient de nouvelles divergences.)

Adrian a étudié l'influence du degré de dessiccation de quelques membranes organiques sur l'osmose; il a vu que l'équivalent endosmotique était d'autant plus considérable que la membrane était plus sèche, et qu'il diminuait à mesure qu'elle s'imbibait d'eau (1).

Harzer détermina l'équivalent endosmotique du sel marin avec un péricarde frais de bœuf, et le trouva égal à 5 (en volume). Après l'action de l'acide sulfurique faible sur la membrane, l'équivalent endosmotique n'était plus que 4. L'action du tannin l'élevait à 7,5, et celle de l'acide chromique au chiffre énorme de 23,4 (2). M. Langeau obtint des résultats de même nature en étudiant l'influence du tannin, du sublimé corrosif, etc., sur les membranes osmogènes (3).

(1) Adrian. *Eckhard's Beiträge*, t. II, p. 187.

(2) Harzer. *Loc. cit.*

(3) Comptes-rendus de la Soc. de biol., 1855.

Toutes choses égales d'ailleurs, l'une ou l'autre de ces membranes, prise séparément, de quelque nature qu'elle soit, est d'autant plus active qu'elle a une surface plus étendue, comme l'ont conclu de leurs recherches Dutrochet, Graham et d'autres auteurs. Dutrochet, par exemple, a comparé deux membranes de diamètre 1 et 2, par conséquent de surface 1 et 4, et il a trouvé que les degrés de l'osmose produite par chacune d'elles, avec la même solution, étaient entre eux dans cette dernière proportion.

D'autre part, l'activité d'une même membrane est dans un certain rapport avec son épaisseur. Seulement, ici paraît devoir commencer une certaine distinction entre les diaphragmes poreux et les diaphragmes continus. On a voulu faire jouer aux pores des membranes un rôle prépondérant dans la production des phénomènes osmotiques. La plupart des théories de l'osmose ont pris les lois de la capillarité comme point de départ; or rien n'est moins général que ce point de vue.

Si les cloisons minérales telles que l'argile, si le papier-parchemin et à la rigueur le collodion ont des pores capillaires, la grande majorité des membranes d'origine animale ou minérale n'en possède pas; le caoutchouc n'en a pas d'appréciables; enfin, dernier et concluant exemple, on ne peut pas dire que les liquides soient poreux, et cependant M. Lhermite, nous l'avons cité plus haut, a fait endosmoser un liquide vers l'autre à travers un troisième liquide, l'alcool vers l'eau au travers de l'huile de ricin, de l'essence de citron ou de térébenthine, l'éther vers l'essence de girofle au travers de l'eau.

Or, l'influence de l'épaisseur de la membrane osmogène sur l'intensité de l'osmose vient fournir un nouveau

point d'appui à cette distinction ; on n'a pas remarqué en effet, *que les diaphragmes poreux sont d'autant plus actifs qu'ils sont plus épais* (jusqu'à une certaine limite) (1) tandis que les membranes organiques agissent, de l'aveu de tous, *d'autant mieux qu'elles sont plus minces*.

Un autre fait important contribue à distinguer l'une de l'autre ces deux sortes de diaphragmes : les diaphragmes poreux minéraux s'imbibent sans se gonfler, tandis que les membranes organiques augmentent toujours de volume en absorbant l'eau. Cette différence montre bien l'influence des pores, quand ils existent.

Maintenant, quelle est la propriété commune à ces deux espèces de diaphragmes, diaphragmes poreux et diaphragmes continus, qui peut les rendre également propres à la production des phénomènes osmotiques ? Cette propriété, c'est l'imbibition, ou plus généralement l'affinité moléculaire que présentent les diaphragmes pour l'eau et les substances dissoutes avec lesquelles ils sont en contact.

Cette étude mérite un point spécial. Elle est, ce nous semble, la clef de l'explication des phénomènes osmotiques.

Liebig est certainement celui qui a le mieux étudié l'imbibition dans ses « Recherches sur quelques-unes des causes du mouvement des liquides dans l'organisme animal (2). » C'est à lui que nous empruntons la plupart des faits suivants :

1° Les membranes organiques ont une certaine affinité pour l'eau et pour les solutions aqueuses. Mises

(1) Wundt. *Physiologie générale*, trad. franç., p. 65.

(2) *Ann. de chimie et de phys.*, 1849, 3^e série, t. XXV

en présence de ces liquides, *elles les absorbent jusqu'à ce qu'elles en soient saturées.*

2° Elles ont une affinité très-grande pour l'eau pure.

Ainsi, 100 parties de vessie de bœuf desséchée absorbent en 24 heures 268 parties (en volume) d'eau pure.

100 parties de vessie de porc absorbent en 24 heures 356 parties d'eau pure (Liebig).

3° En présence d'une solution quelconque, la quantité de liquide qui sature les membranes organiques est moindre que la quantité d'eau maximum dont elles peuvent s'imbibier. En voici des exemples empruntés à Liebig :

En 24 heures, 100 parties de vessie de bœuf desséchée ont absorbé :

Eau pure	268 volumes.
Chlorure de sodium en	
solution concentrée. .	133 —
Alcool à 84 0/0	38 —
Huile extraite des os . .	17 —

En 24 heures, 100 parties de vessie de bœuf desséchée ont absorbé :

Eau distillée.	356 vol.
Sel marin en solution concentrée.	159 —
Huile extraite des os	14 —

(Il y aurait peut-être une réserve à faire en ce qui touche la capacité d'imbibition des membranes par les acides très-dilués. MM. Sandras et Bouchadat ont vu, en 1843, que les membranes et autres matières animales plongées pendant quelques heures dans de l'eau aiguisée d'acide chlorhydrique se gonflent énormément, au

point de devenir transparentes comme de la gelée. L'eau acidulée pourrait donc imbiber plus fortement les membranes que l'eau pure; malheureusement on manque de données précises sur ce point.)

4° La quantité d'une solution aqueuse qui sature les membranes organiques est d'autant plus faible que cette solution est plus concentrée. Exemples :

En 48 heures, 100 parties de vessie de bœuf ont absorbé :

Eau distillée.	310 vol.
Mélange de 2/3 d'eau et de 1/3 de solution saline concentrée	288 —
Mélange de 1/2 d'eau et de 1/2 de solution saline	235 —
Mélange de 1/3 d'eau et de 2/3 de solution saline	219 —

Même expérience pour l'alcool; 100 parties de vessie absorbaient :

Eau distillée.	310 vol.
Mélange de 3/4 d'eau et 1/4 d'alcool	290 —
Mélange de 2/3 d'eau et 1/3 d'alcool	181 —
Mélange de 1/2 d'eau et 1/2 d'alcool	60 (Liebig)

5° Une membrane en contact par ses deux faces avec deux liquides différents, les absorbe à la fois l'un et l'autre dans toute son épaisseur comme si elle était en présence d'un mélange de ces deux liquides.

Liebig mouille une des faces d'une membrane avec du ferrocyanure de potassium, et l'autre face avec du sesquichlorure de fer; il se forme du bleu de Prusse dans toute l'épaisseur de la membrane.

6° Naturellement la quantité maximum du mélange
Charpentier. 6

de ces deux liquides que la vessie est capable d'absorber est réglée par la concentration de ce mélange.

Ainsi, Liebig prend une vessie imbibée d'eau à son maximum, contenant par conséquent environ 310 parties d'eau pour 100 de sa substance. Il saupoudre une de ses faces de sel marin solide. Que va-t-il se passer? Il se produira dans l'intérieur de la membrane un mélange de deux substances jusqu'à ce que l'eau soit saturée du sel, mais le tissu de la vessie ne pourra retenir qu'une quantité de liquide égale à sa capacité maximum pour une solution concentrée de chlorure de sodium, c'est-à-dire seulement 133 parties pour 100 parties de sa substance; aussi abandonnera-t-elle 177 parties de l'eau qui l'imbibait primitivement. C'est ce qui se passe en effet.

Nous pourrions citer avec Liebig beaucoup d'autres exemples.

7° Enfin, la composition du mélange absorbé par une membrane en présence de deux liquides pour lesquels elle n'a pas la même affinité, n'est pas réglée par la quantité relative de ces deux liquides avant l'imbibition, mais surtout par leur degré d'affinité pour la membrane.

Ainsi, en présence d'une solution saline concentrée, une membrane se charge d'un excès d'eau, et le liquide dont elle est imbibée est par conséquent une solution étendue (Brücke, Liebig, etc.)

Il y a donc de la part de la membrane une véritable élection, qui tient au jeu de ses affinités particulières.

En somme, s'il est une chose qui résulte clairement des faits précédents, c'est qu'une membrane donnée, mise en présence de deux liquides donnés, tendra à se saturer d'un mélange de ces deux liquides, mélange

dont les proportions et la quantité dépendront et de la nature de la membrane et de la concentration relative des deux liquides en présence.

Ces diverses particularités de l'imbibition des membranes organiques ont été expliquées par plusieurs auteurs, par Brücke (1), par Schmidt (2), par Fick (3) et par Liebig lui-même (4), en admettant l'existence, dans les tissus osmogènes, de pores plus ou moins grands, dans lesquels aurait lieu une certaine répartition des liquides absorbés.

Les parois de chaque pore seraient revêtus d'une couche d'eau pure, par suite de la grande attraction de la substance de la membrane pour ce liquide. Le sel ou la substance de la solution aqueuse constituant le second liquide formerait la couche centrale de chaque canalicule. Ainsi s'expliquerait, pour ces auteurs, le fait qu'une pression mécanique exercée sur la membrane aurait pour effet primitif de faire sortir le sel en solution concentrée. Cela se comprend, disent-ils, puisque le sel forme précisément la couche centrale du pore, couche qui doit être plus mobile que les couches pariétales.

Mais d'abord, nous avons montré que l'existence de pores capillaires dans les membranes organiques doit être rejetée. On ne peut accepter que l'existence d'interstices moléculaires dont il ne nous est encore donné de connaître ni la forme ni le diamètre, sur lesquels, par conséquent, on ne peut raisonner d'une façon précise. « Rien n'est plus manifeste, dit M. le professeur Robin,

(1) Brücke. *Poggendorff's Annalen*, t. LVIII.

(2) Schmidt. *Ibid.*, t. XCIX et CXIV.

(3) Fick. *Moleschott's Untersuchungen*, t. III.

(4) Liebig. *Loc. cit.*

que la contiguité immédiate des éléments anatomiques pleins ou tubuleux qui forment le tissu des membranes que traversent par endosmose les liquides de l'organisme et les corps sur lesquels on expérimente. Rien n'est plus facile à constater que l'absence d'orifices dans les seconds (1) ».

D'autre part, des expériences faites par Liebig nous apprennent que pour faire transsuder le chlorure de sodium en solution concentrée, à travers une vessie de bœuf, il faut exercer une pression de 18 à 20 pouces de mercure, tandis que l'eau transsude sous une pression de 12 pouces seulement; pour l'alcool, il faudrait plus de 48 pouces de mercure. Serait-ce par hasard que l'eau pure serait moins retenue par les pores de la membrane que le sel marin et que l'alcool? Mais la théorie des pores voudrait le contraire.

Nous pensons, quant à nous, que ce phénomène peut s'expliquer très-simplement.

Etant donnée une pression quelconque exercée sur une membrane, plus cette membrane contiendra de liquide et plus elle en abandonnera; or, à saturation égale, cette membrane contient plus d'eau que de solution saline et plus de celle-ci que d'alcool; par conséquent elle abandonnera plus facilement l'eau que la solution saline et à plus forte raison que l'alcool.

Mais comment se fait-il que, sur une membrane imbibée de sel en solution étendue, la pression mécanique fasse sortir d'abord du sel en solution concentrée? Parce que, contenant un mélange de deux substances, la membrane abandonne évidemment de préférence la substance pour laquelle elle a le moins d'affinité; par

(1) Dict. de Nysten, p. 521.

conséquent elle abandonne plus facilement le sel que l'eau.

Nous aurons du reste à revenir, dans l'article suivant sur ces affinités des membranes organiques.

On aurait pu tenter de faire sur les substances poreuses minérales les mêmes expériences que celles de Liebig sur l'imbibition des membranes organiques. Malheureusement, ce côté de la question fait absolument défaut dans les travaux des savants qui se sont occupés de l'osmose.

Matteucci a bien essayé de comparer la capacité d'imbibition du sable fin pour différentes substances. Mais il s'est contenté pour cela d'observer à quelle hauteur ces substances pouvaient s'élever par suite de la capillarité du sable (1). Cela ne pouvait rien lui apprendre sur la quantité de liquide absorbée par une couche de même épaisseur. Là, existent des pores, de vrais pores, qui peuvent s'emplir de liquide à des degrés différents. Voilà ce qu'il aurait fallu démontrer.

A défaut de cette donnée, nous devons supposer que les choses se passent de la même manière pour les diaphragmes poreux que pour les diaphragmes continus, sauf pour ce qui regarde le mode de répartition des différentes substances dans chaque pore du diaphragme. Ainsi tout concourt à faire admettre qu'en présence de deux liquides, un diaphragme poreux a une forte tendance à s'imbiber la fois de l'un et de l'autre dans certaines proportions et jusqu'à un certain maximum pour lequel il est saturé. Tant que cette saturation n'est pas produite, le diaphragme absorbe du liquide s'il en trouve.

(1) Matteucci. *Leçons sur les phénomènes physiques de la vie*, 1836, t. I.

Enfin, dernier point important, chaque diaphragme, poreux ou continu, minéral ou organique, n'a ni les mêmes affinités ni les mêmes coefficients de saturation que les autres. Par exemple, pour revenir à un fait déjà souvent mentionné, le caoutchouc ne se comportera pas, en présence d'un mélange d'eau ou d'alcool, de la même manière que la vessie ; la première substance ne se laissera imbiber que d'alcool, la seconde sera mouillée à la fois par les deux liquides du mélange.

On voit donc que, dans l'osmose, la membrane ne se comportera pas d'une manière passive ; elle s'imbibera des liquides osmotiques suivant certaines proportions et jusqu'à une certaine quantité *qui ne sera pas dépassée, de telle façon qu'à n'importe quel moment elle ne pourra présenter, au contact de chacun des deux liquides osmotiques, qu'une certaine quantité de l'autre liquide, quantité dont le maximum est réglé par la composition du mélange qui imbibe la membrane.*

Voilà le fait capital qui doit être mis en relief si l'on veut se rendre compte de la production des deux courants osmotiques.

Mais, avant de quitter l'étude des diaphragmes osmogènes, nous devons mentionner les résultats si curieux des expériences de Matteucci et Cima, ainsi que d'autres auteurs, sur l'action osmogène des différentes faces des membranes organiques.

Matteucci et Cima ont expérimenté sur la peau de la grenouille, de la torpille et de l'anguille, sur la muqueuse stomacale de l'agneau, du chat, du chien et du poulet, sur la muqueuse vésicale du bœuf et du porc. Ils ont comparé l'action de ces membranes suivant que la face externe ou la face interne étaient tournées vers l'eau pure.

Les liquides osmotiques étaient, soit de l'eau sucrée à 19° Baumé, soit une solution de blanc d'œuf à 4° B., ou de gomme arabique à 5° B., soit de l'alcool marquant 34° B.

1° Expériences sur la peau.

Avec la peau de torpille ou de grenouille, quand la face extérieure était tournée vers l'eau pure, l'ascension de celle-ci dans l'endosmomètre était moins forte que lorsque l'eau était en contact avec la face interne. La gomme, l'albumine et le sucre, donnèrent les mêmes résultats.

La peau d'anguille montre les mêmes phénomènes; le courant d'eau est plus fort de la face interne à la face externe que dans la disposition inverse; une seule exception a lieu pour la solution de sucre, qui, au début de l'expérience, paraît produire la même ascension dans les deux cas; mais la différence finit par s'accroître comme pour les autres liquides. Pour ces opérations, la peau d'anguille doit être très-fraîche.

Pour l'osmose de l'alcool, se présentent des divergences plus notables : avec la peau de grenouille, l'eau marche vers l'alcool, mais plus volontiers quand elle est en contact avec la face externe. Même sens de l'osmose avec la peau d'anguille et la peau de torpille; mais l'eau monte plus fortement vers l'alcool quand elle se trouve vers la face interne de la membrane.

Quant à la comparaison de l'osmose de ces diverses solutions avec chacune des trois membranes, elle se fait facilement d'après les chiffres suivants obtenus par Matteucci et Cima, en tournant toujours la face adhérente de la peau vers l'eau pure.

	PEAU DE		
	<i>Torpille.</i>	<i>Grenouille.</i>	<i>Anguille.</i>
L'eau sucrée donne lieu			
à une ascension de. . . .	100 ^{mm}	25 ^{mm}	15 ^{mm}
Eau albumineuse. . . .	30	15	8
Solution gommeuse . .	120	22	6
Alcool	35	80	55

2° Expériences avec la muqueuse stomacale.

En se servant de la muqueuse stomacale de l'agneau, le courant endosmotique qui s'opère vers l'eau sucrée est plus considérable quand l'eau pure est du côté de la face interne. C'est le contraire pour la solution albumineuse ; avec la solution de gomme, l'osmose est nulle ou très-faible, et elle est alors égale dans les deux dispositions de la membrane.

Avec l'estomac du chat et du chien, l'endosmose est plus forte quand l'eau touche la face externe, et cela en se servant, soit d'eau sucrée, soit de solution gommeuse. Même phénomène pour l'eau sucrée, quand on se sert de la membrane muqueuse du gésier de poulet.

Avec ces diverses muqueuses stomacales, l'osmose entre l'alcool et l'eau s'opère toujours de l'eau vers l'alcool ; l'osmose est plus forte quand l'eau touche la face interne ; avec le gésier du poulet, l'osmose de l'alcool se fait en sens contraire : ce liquide se rend vers l'eau.

3° Expériences avec la vessie du bœuf.

Avec l'eau sucrée, l'osmose est plus forte quand l'eau touche la face externe : c'est le contraire avec la solution de gomme arabique.

Avec la solution albumineuse, pas d'osmose.

Pour l'alcool, l'osmose a lieu de l'eau vers ce liquide, mais on n'observe pas de différence bien nette suivant la position des faces.

Ces savants ont de plus confirmé les fait signalés par Dutrochet sur l'arrêt de l'osmose par la putréfaction commençante des membranes. C'est un point sur lequel il n'y a pas à insister.

En somme, les observations de Matteucci et Cima peuvent se résumer dans les conclusions suivantes, empruntées à ces auteurs.

« 1° La membrane intermédiaire aux deux liquides a une part très-active dans l'intensité du courant osmotique, ainsi que dans sa direction.

« 2° Il y a, en général, pour chaque membrane, une certaine position dans laquelle l'osmose est plus intense; il est rare que l'osmose se fasse *également*, avec une membrane fraîche, quelle que soit la disposition de cette dernière par rapport aux deux liquides.

« 3° La direction la plus favorable à l'osmose, à travers les peaux, est en général de leur face interne à l'externe, à l'exception de la peau de grenouille, avec laquelle l'endosmose entre l'eau et l'alcool est favorisée de la face externe à la face interne.

« 4° La direction favorable à l'osmose à travers les estomacs et les vessies urinaires varie beaucoup plus qu'avec les peaux, suivant les différents liquides.

« 5° Le phénomène de l'osmose est étroitement lié à l'état physiologique des membranes.

« 6° Avec les membranes desséchées ou altérées par la putréfaction, ou bien on ne remarque plus les différences ordinaires selon la position des faces de celles-ci, ou il n'y a plus d'osmose (1). »

(1) Matteucci et Cima. *Ann. de chim. et de phys.*, 1845, 3^e série, Charpentier.

M. Cima a vu un fait qui doit être rapproché des précédents ; il faisait écouler de l'eau, sous une pression constante de 10 centimètres de mercure, à travers une peau de grenouille : un même volume d'eau mettait cinq minutes pour transsuder de la face interne vers la face externe, et trente-sept minutes pour sortir dans le sens contraire (1).

Tous ces faits paraissent très-importants et doivent être présents à l'esprit de ceux qui veulent tenter d'appliquer les lois de l'osmose aux phénomènes physiologiques. On voit notamment que l'absorption est beaucoup moins favorisée que l'excrétion par les propriétés osmotiques de la peau (au moins dans les cas ci-dessus indiqués). Pour les autres faits qui résultent de ces expériences, ils sont plus confus.

Quand à l'explication de ces phénomènes, elle est facilitée par la connaissance de la complexité de structure des membranes employées. Ces membranes se composent, en effet, de plusieurs couches superposées dont les propriétés structurales et chimiques doivent réagir d'une façon assez complexe sur les échanges réciproques de ces couches.

La preuve que c'est bien ainsi que les choses se passent, et que cette inégalité des courants osmotiques d'une face à l'autre tient précisément à la présence simultanée de ces différentes couches, c'est que l'osmose devient régulière et égale si l'on n'emploie qu'une de ces couches à la fois. C'est ce que fit Graham qui, pour sa part, rendait compte des faits observés par Matteucci et Cima en les attribuant à la décomposition de la tuni-

t. XIII. — Matteucci. *Leçons sur les phénomènes physiques de la vie*, 1847, p. 38.

(1) Cima. *Mémoires de l'Acad. de Turin*, 1853, 2^e série, t. XIII.

que musculaire. Mais cette hypothèse nous paraît difficile à admettre, attendu que les faits analogues à ceux de Matteucci et Cima se retrouvent dans d'autres circonstances dans lesquelles on ne peut invoquer de décomposition aussi rapide.

M. U. Gayon a vu par exemple le fait suivant, relatif à la double membrane qui tapisse la coque de l'œuf des oiseaux. « Si l'on construit deux endosmomètres égaux fermés au moyen de cette membrane, de manière que, dans l'un, la surface extérieure soit en dehors de l'instrument, tandis que dans l'autre elle soit en dedans, si on les remplit d'eau sucrée et qu'on les plonge dans l'eau pure, on voit le niveau monter rapidement dans le premier instrument, et se déplacer à peine dans le second. L'endosmose se fait donc énergiquement de la partie externe de la membrane à la partie interne, et très-faiblement dans le sens inverse » (1).

L'absorption serait donc ici favorisée aux dépens de l'excrétion. Mais peut-être faut-il expliquer simplement ce fait (explication applicable aux autres cas semblables) par la différence de structure et de composition de la couche extérieure et de la couche intérieure ; l'eau et la solution de sucre ont vraisemblablement, chacune de leur côté, une action spéciale sur chacune de ces couches, action différente pour l'une et pour l'autre. Rien d'étonnant que, dans ces deux conditions, on ait une osmose inégale, puisqu'on agit en réalité, non plus sur des membranes identiques, mais sur des couches rendues différentes par l'action chimique des liquides différents (eau dans un cas, sucre dans l'autre) avec lesquels elles sont en contact.

(1) Gayon. Comptes-rendus de l'Ac. des sc., 1874, t. LXXVIII, p. 148.

M. Milne-Edwards explique les faits de Matteucci et Cima par la répartition différente de la graisse dans les membranes employées (1). Cette explication ne nous paraît pas si généralement applicable que celle qui précède.

F. — RAPPORTS DE L'OSMOSE AVEC LA DIFFUSION.

Nous nous sommes occupé, dans le précédent article, de savoir comment se comporte la membrane osmogène quand elle est en présence de deux liquides miscibles. Nous l'avons vue s'imbiber, dans de certaines proportions, du mélange de ces deux liquides. Nous devons nous demander maintenant ce qui doit se passer au contact de cette membrane ou plutôt de ce mélange, avec chacun des liquides osmotiques.

Pour cela nous devons nous reporter à un phénomène physique général, bien étudié surtout par Graham, et qui consiste dans le mélange, la *diffusion* de deux liquides en présence.

On sait que deux gaz mis en présence se répandent uniformément l'un dans l'autre avec une grande rapidité, de manière à constituer bientôt un mélange uniforme, quelle que soit la différence de leur densité.

Deux liquides se mélangent aussi l'un dans l'autre, mais beaucoup plus lentement que les gaz, parce que leurs molécules sont moins indépendantes les unes des autres que celles de ces derniers.

La pesanteur a certainement une influence notable sur le phénomène de la diffusion des liquides; elle con-

(1) Milne-Edwards. *Leçons*, t. V, p. 150.

stitue une force qui agit en sens contraire de la tendance à la diffusion. Mais cette force n'est pas la seule qui intervienne, car chaque corps, chaque solution a sa diffusibilité particulière, de sorte que les corps qui se diffusent le plus lentement dans l'eau ne sont pas forcément les plus pesants.

Graham a étudié la diffusion des liquides d'une manière très-simple. Dans ses premières expériences, il versait le liquide à étudier dans un petit vase à ouverture supérieure libre, jusqu'à ce que le niveau eût atteint cette ouverture. Ce petit vase était lui-même placé dans un réservoir plus grand, dans lequel Graham versait l'eau pure jusqu'à un niveau dépassant légèrement le bord supérieur du petit vase. Puis il laissait les choses en place, et analysait au bout d'un certain temps les deux liquides. Une certaine partie de la solution intérieure s'était introduite dans l'eau du grand vase, et avait été remplacée par ce dernier liquide (1).

Comparant entre elles les quantités de solutions différentes également concentrées qu'il laissait diffuser dans l'eau pendant le même temps, il trouvait des valeurs très-différentes suivant la nature des liquides. En voici des exemples :

Solutions à 20 p. 100 (en poids). Quantités relatives de substances dissoutes diffusées au bout de 8 jours. Température, 15° à 16°.

Acide sulfurique	69 gr. 32
Chlorure de sodium	58 — 68
Azotate de soude.	51 — 00
Sulfate de magnésie.	27 — 00

(1) Graham. *Ann. de chim. et de phys.*, 1850, 3^e série, t. XXIX p. 197.

Sucre et glucose.	26 — 00	
Gomme.	13 — 00	
Albumine du blanc d'œuf.	3 — 00	(Diffusion plus grande après saturation par l'acide acétique.)

Ce premier tableau montre tout de suite une assez grande différence dans la diffusibilité de ces diverses substances.

Les acides viennent en premier rang ; au dernier se trouve l'albumine. Au milieu se trouvent les sels.

Mais parmi les acides et parmi les sels se trouvent des différents notables.

Exemples :

Diffusion de solutions acides à 4 p. 100. Temp. 15°.

Acide chlorhydrique.	34
— azotique.	28
— sulfurique.	18
— acétique.	18
— oxalique.	12
— arsénique.	12
— tartrique.	9
— phosphorique.	9
Chlorure de sodium.	12

Diffusion de sels divers en solution à 1/10°. Temp. 15°.

Chlorure de potassium.	40
Sel ammoniac.	40
Iodure de potassium.	37
Azotate de potasse.	35
Azotate d'ammoniaque.	35

Chlorure de sodium.	32
Chlorure de baryum.	27
Sulfate de magnésie.	15
Sulfate de zinc.	15

Beilstein a trouvé le même ordre de diffusibilité pour ceux de ces sels qu'il a étudiés (1).

Graham a employé une seconde méthode encore plus simple que la première, et qui consistait à placer l'eau et la substance étudiée dans une éprouvette assez longue, le liquide le plus dense étant placé à la partie inférieure. Il laissait aller les choses, et pouvait de temps en temps aspirer à l'aide d'une pipette un peu du liquide à différentes hauteurs, et déterminer ainsi la manière dont le mélange se faisait (2).

Il constata d'abord, comme on pouvait s'y attendre, que les couches du liquide étaient de plus en plus pauvres en substance diffusée.

Il constata ensuite, suivant la nature des liquides étudiés, une grande inégalité dans la richesse des couches de même hauteur.

Par exemple, ayant laissé diffuser pendant quatorze jours, à 40° centigr., des solutions à 10 p. 100 de sel marin, de sucre, de gomme arabique et de tannin, il détermina, au bout de ce temps, pour tous ces liquides, la richesse des différentes couches de substance dissoute, et il trouva pour 100 parties en poids les chiffres suivants :

(1) Beilstein. *Ann. Chem. und Pharm.*, t. XCIX, p. 165.

(2) Graham. *Ann. de chim. et de phys.*; 1862, 3^e série, t. LXV, p. 129.

Ordre des couches.	Sel.	Sucre.	Gomme.	Tannin.
1 ^{re} couche (supérieure).	0,104	0,005	0,003	0,003
2 ^e —	0,129	0,008	0,003	0,003
3 ^e —	0,162	0,012	0,003	0,004
4 ^e —	0,198	0,016	0,004	0,003
5 ^e —	0,267	0,030	0,003	0,005
6 ^e —	0,340	0,059	0,004	0,007
7 ^e —	0,429	0,102	0,006	0,017
8 ^e —	0,535	0,180	0,031	0,031
9 ^e —	0,654	0,305	0,097	0,069
10 ^e —	0,766	0,495	0,215	0,145
11 ^e —	0,881	0,740	0,407	0,288
12 ^e —	0,991	1,075	0,734	0,556
13 ^e —	1,090	1,435	1,157	1,050
14 ^e —	1,187	1,758	1,731	1,719
15 ^e et 16 ^e —	2,266	3,783	5,601	6,079

Dans d'autres expériences, une solution à 10 p. 100 de sulfate de magnésie avait diffusé jusqu'à la couche supérieure de l'eau, couche qui contenait 0,007 p. 100 du sel.

De l'albumine en solution à 10 p. 100 n'avait pas diffusé au-dessus de la 8^e couche (à partir d'en bas), qui en contenait 0,010 p. 100.

Le caramel montait seulement jusqu'à la 6^e couche, qui en contenait 0,003 p. 100.

Fixant ensuite approximativement la durée relative au bout de laquelle ces différentes substances se diffusaient également (dans l'eau), il détermina l'ordre suivant, qui correspond bien aux résultats de ses précédentes expériences. La durée de diffusion de l'acide chlorhydrique était prise comme unité.

Durée approximative d'égale diffusion :

Acide chlorhydrique.	4,00
Chlorure de sodium.	2,33
Sucre	7,00
Sulfate de magnésie.	7,00
Albumine	40,00
Caramel.	98,00

Hoppe-Seyler a étudié la diffusion du sucre, de l'albumine du sérum et de la gomme arabique, à l'aide d'une méthode très-précise basée sur la mesure du pouvoir rotatoire des différentes couches du mélange (1).

La diffusion s'opérait dans une large cuve prismatique à base carrée. Cette cuve occupait l'espace intermédiaire entre les deux pièces d'un saccharimètre qui pouvait s'élever, de sorte que chaque couche liquide étant vue sous la même épaisseur, tournait le plan de polarisation d'une quantité proportionnelle au pouvoir rotatoire et au poids de la substance dissoute.

Il vit de cette façon qu'après un mois, une solution concentrée de sucre s'était diffusée seulement sur une hauteur de 13 centimètres. Au-dessous, l'eau était pure. Quant à la couche la plus inférieure, elle n'avait rien perdu de sa proportion de sucre (542 gr. par litre).

Quant à l'albumine du sérum et à la gomme arabique, ils s'élevaient de 1 à 2 centimètres en quelques jours, puis la diffusion s'arrêtait là.

E. Voit obtint des résultats analogues en étudiant la

(1) Hoppe Seyler. *Med. chem. Untersuchungen*, f. 1, t. 1, 1866.
— *Phys. chim.*, 1877, t. I, p. 145.

diffusion du sucre de canne suivant la méthode de Hoppe-Seyler (1).

Ces faits paraissent montrer que la difficulté des substances étudiées par Hoppe-Seyler est encore moins considérable que Graham ne l'avait trouvée. Sans doute, l'introduction de la pipette dans les liquides de ce dernier, activait-elle légèrement le mélange.

Quoi qu'il en soit, la marche de la diffusion, pour les substances suffisamment diffusibles, est à peu près uniforme. (Graham.)

La diffusion augmente avec la température. (Graham.)

Pour une même substance, elle est à peu près proportionnelle à la quantité de cette substance que contient la solution employée. C'est du moins ce que Graham observa pour le chlorure de sodium à 1, 2, 3, 4 p. 100. La diffusion augmentait proportionnellement à ces titres. Disons cependant que Beilstein a montré depuis, que cette loi n'est qu'approximative.

Quant à la répartition de la matière diffusée dans les différentes couches, elle paraît être, comme nous l'avons vu, assez régulièrement en rapport avec la hauteur respective de chaque couche (mais seulement jusqu'à une certaine hauteur au-dessus de laquelle la quantité de substance est nulle ou insignifiante).

Mais sous quel rapport ces deux quantités sont-elles liées l'une à l'autre ?

Si l'on s'en réfère aux chiffres de Graham, on voit que la concentration des différentes couches de ses liquides diminue à peu près en progression géométrique avec la hauteur de ses couches.

M. Fick a fait, sur la diffusion du chlorure de sodium,

(1) E. Voit. *Poggendorff's Annalen*, 1867, t. CXXX.

des expériences dans lesquelles il appréciait la concentration de chaque couche du mélange d'après la pesanteur spécifique. De plus, il avait soin de maintenir rigoureusement saturée de sel la couche inférieure de sa solution, et rigoureusement composée d'eau pure la couche supérieure. Dans ces conditions, il trouva que les proportions du sel diffusé dans les autres couches diminuaient en proportion arithmétique avec la hauteur correspondante, de sorte que la répartition du sel dans le mélange, pouvait se représenter graphiquement par une ligne droite (1). De plus, pour cet auteur, la vitesse de diffusion du sel augmenterait avec la température, et serait inversement proportionnelle à la hauteur de la couche considérée.

M. Hoppe-Seyler a trouvé pour la répartition du sucre une courbe différente. En effet, au début de l'expérience, il semble y avoir, d'après lui, une sorte de tassement des particules sucrées vers la partie moyenne du vase, de sorte que l'on figurerait bien la courbe de diffusion du sucre par une sorte d'S, les couches moyennes du mélange étant un peu plus riches qu'elles ne devraient l'être en cas de répartition uniforme; mais avec le temps cette couche s'aplatirait et finirait par figurer une ligne droite.

Il y a dans toutes ces expériences un facteur étranger qu'on ne s'est pas suffisamment préoccupé d'isoler; ce facteur, c'est la pesanteur, force qui, nous l'avons dit, agit précisément en sens contraire de la diffusion.

Deux liquides étant placés ensemble dans une éprouvette, le plus lourd va au fond, de sorte qu'il se crée de prime abord une inégalité dans la densité du mé-

(1) Fick. *Poggendorff's Annalen*, t. XCIV.

lange. La diffusion tend bien à égaliser cette densité, en portant la substance la plus lourde vers les couches supérieures plus légères, mais elle éprouve évidemment une opposition de la part de la pesanteur, qui tend au contraire à séparer les deux liquides.

Si l'on pouvait éliminer ce dernier facteur, comment se ferait la diffusion? Voilà ce qu'on ne sait pas.

Malgré cela on peut résumer les lois qui régissent la diffusion des liquides, en disant que ce phénomène varie :

1° Avec la température, dont l'élévation l'accélère ;

2° Avec la différence de concentration de deux solutions ou de deux couches liquides en présence; plus cette différence est grande, plus la diffusion est intense;

3° Avec la nature des liquides.

Arrêtons-nous un instant sur cette dernière influence.

Les beaux travaux de Graham nous ont appris que sous le rapport de la diffusibilité, on peut distinguer deux classes de corps, les uns *fixes*, les autres *volatils*, c'est-à-dire les uns se diffusant très-difficilement, les autres se mélangeant volontiers.

Quoique cette distinction ne paraisse pas très-absolue, il n'en est pas moins vrai que les corps les moins diffusibles possèdent en outre, en commun, plusieurs propriétés spéciales qui leur donnent une physionomie bien distincte. Ainsi, ces corps ne cristallisent pas et forment avec l'eau des hydrates gélatineux.

Graham a nommé ces corps des *colloïdes*, tandis que les autres corps plus diffusibles sont des *cristalloïdes*.

Parmi les colloïdes on peut citer : la silice hydratée,

l'alumine hydratée, l'amidon, la dextrine, les gommes, le caramel, le tannin, l'albumine, la gélatine et beaucoup de matières extractives animales ou végétales (Graham).

Nous n'entrerons pas dans tous les détails groupés par Graham dans sa description de *l'état colloïdal de la matière*, car, pour lui, ce fait constitue non pas un caractère d'ordre chimique, mais un caractère physique, un état moléculaire particulier; nous n'irons pas avec lui jusqu'à dire : « L'état colloïdal est une période dynamique de la matière.... *Les colloïdes possèdent une force vive* que l'on peut considérer comme la source probable des actions qui se manifestent dans les phénomènes vitaux. » C'est peut être là une prévision justifiable par l'expérience, mais pour le moment ce n'est qu'une hypothèse à vérifier.

Quoi qu'il en soit, nous emprunterons au moins à l'auteur anglais les principaux caractères positifs qui distinguent les colloïdes au point de vue qui nous occupe.

Les colloïdes ont une instabilité considérable que Graham compare à celle de l'eau qui bout ou d'une dissolution sursaturée (cette comparaison nous semble un peu forcée).

Ils sont tenus en dissolution d'une manière très-faible.

L'eau est retenue dans les hydrates gélatineux, dit M. Chevreul, par une *affinité capillaire*, c'est-à-dire par une force qui tient à la fois du caractère physique et du caractère chimique.

Les colloïdes ont une forte affinité élective pour l'eau; s'ils sont anhydres, ils peuvent enlever de l'eau à des hydrates cristalloïdes très-fixes, par exemple à l'alcool,

qu'on peut concentrer par le contact du mucus, de la gélatine, du parchemin, etc., comme dans l'expérience des vessies de Sæmmering.

Le pouvoir électif du colloïde pour l'eau se décèle par son pouvoir d'absorption osmotique pour ce liquide.

Mais les colloïdes ne retiennent pas l'eau au-dessus d'une certaine quantité ; seulement ils sont très-perméables pour elle.

Ils sont aussi très-perméables pour les différentes solutions cristalloïdes. Ainsi le mélange d'un colloïde avec un cristalloïde dans un vase à diffusion, n'empêchera ni ne diminuera en aucune façon la diffusion du cristalloïde dans l'eau (de là, la méthode d'analyse chimique par *dialyse*, sur laquelle nous reviendrons).

On reconnaît à ces caractères le plus grand nombre des propriétés que nous avons reconnues aux membranes osmogènes. Graham a comparé l'osmose de diverses substances, sel marin, sucres, alcool, glycérine, gomme, etc., à travers du papier parchemin et à travers du mucus animal, et a trouvé les mêmes résultats dans les deux cas.

La seule différence sérieuse qui sépare ces substances des membranes osmogènes consiste dans leur cohésion moins forte.

Revenons maintenant, munis de ces données, à notre point de départ.

Mettons une membrane colloïde en présence de deux liquides A et B, pour lesquels elle possède une affinité inégale. Elle se chargera, par exemple, de 1 partie du liquide A et de 10 parties du liquide B.

Cela fait, il va se produire un double phénomène,

c'est que ce liquide imbibant, ainsi composé, va diffuser à la fois vers A et vers B.

Du côté de A, qu'arrivera-t-il? Une partie du liquide B que contient la membrane, va se répandre dans le liquide A; avec quelle vitesse? avec une vitesse en rapport avec la proportion du liquide B contenue dans la membrane, c'est-à-dire avec la différence de concentration qui existe entre le liquide de la membrane et le liquide A. Or le liquide de la membrane est très-concentré par rapport à B, puisqu'il contient 10 parties de B sur 11. La vitesse de diffusion de B vers A sera donc très-considérable: nous pouvons la représenter par 10, par exemple.

Il est évident, de plus, qu'à mesure que le mélange qui imbibe la membrane perdra du liquide B, l'affinité de la membrane rentrera en jeu et rétablira l'équilibre primitif en empruntant une nouvelle quantité de ce liquide à la masse qui l'imbibe du côté de B, de sorte qu'à n'importe quel moment de l'expérience on pourra considérer la membrane comme contenant toujours 1 partie de A et 10 parties de B.

Or, ce qui se passe au contact du liquide A se produit en même temps du côté de B; le mélange imbibant la membrane abandonne par diffusion vers ce liquide B une portion de son liquide A. En même temps il y aura de l'autre côté une absorption de liquide A correspondante à la perte qui a lieu en B.

Mais avec quelle vitesse se fera la diffusion du liquide A de la membrane vers le liquide B? Avec une vitesse correspondant à la différence de concentration qui existe (par rapport à A) entre le liquide B et le mélange qui imbibe la membrane, c'est-à-dire avec une vitesse proportionnelle à la quantité de A qui existe

dans ce mélange. Or, le liquide de la membrane ne contient que 1 partie de A sur 11; par conséquent la diffusion du liquide A de la membrane vers le liquide B se fera très lentement, avec une vitesse égale à 1, si l'on veut la comparer avec la vitesse de diffusion de B vers A.

Par conséquent, pendant qu'il se diffusera 10 parties de B vers A, il ne passera que 1 partie de A vers B; cela aura lieu par le fait même de la composition du liquide qui imbibe la membrane, de sorte que c'est celle-ci qui, par le jeu de ses affinités, règle en réalité le sens et l'intensité du courant prédominant.

Ainsi considérée, l'osmose est donc plus qu'un cas particulier de la diffusion, comme on a voulu le dire : c'est en réalité une double diffusion simultanée, à laquelle l'affinité d'une membrane colloïde sert de régulateur.

C'est en d'autres termes une diffusion simultanée entre un mélange constant et chacun des liquides qui le composent.

Il nous serait facile de prendre un à un les différents cas particuliers d'osmose dont nous nous sommes occupé précédemment et de montrer comment cette explication leur est applicable. Mais nous n'entrerons pas dans les détails de cette application, que le lecteur peut faire de lui-même, et nous nous contenterons d'examiner un de ces faits, qui semble être en opposition avec notre théorie.

Nous avons vu que l'équivalent endosmotique augmente ordinairement avec la durée de l'expérience; celui du sel marin, par exemple, augmente, paraît-il, de 4 à 6 dans l'intervalle d'une semaine environ; c'est-à-dire qu'au début de l'osmose il passe 4 parties d'eau

contre 1 partie de sel, tandis que si l'osmose se prolonge, il passe à la fin 6 parties d'eau contre 1 de sel.

Cependant, en supposant qu'on ait affaire à une même masse des deux liquides, l'équivalent endosmotique devrait légèrement diminuer au lieu d'augmenter, car, puisqu'il passe plus d'eau vers le sel que de sel vers l'eau, le sel devrait se diluer plus vite que l'eau ne se concentre. Comment donc passe-t-il de plus en plus d'eau vers le sel ?

Cela est dû tout simplement à ce fait depuis longtemps constaté par Dutrochet et confirmé par les autres auteurs, qu'une membrane devient de plus en plus perméable à l'eau à mesure qu'elle reste plus longtemps imbibée de ce liquide. Quant à expliquer ce fait en lui-même, nous ne le tenterons pas.

Mais, à ce propos, il nous est impossible de passer sous silence une considération frappante, qui ne paraît pas cependant avoir préoccupé les auteurs qui ont étudié les phénomènes osmotiques.

La masse des liquides en présence a-t-elle de l'influence sur le degré de l'osmose ?

Nous n'hésitons pas, *à priori*, à admettre la réalité de cette influence.

Prenons, par exemple, l'alcool et l'eau. L'alcool possède un équivalent endosmotique de 4 en moyenne. Par conséquent, au début de l'osmose entre ces deux liquides, il s'osmosera 4 parties d'alcool en même temps que 1 partie d'eau.

Supposons l'équivalent constant pendant toute l'expérience, et employons 40 parties d'eau pour 40 parties d'alcool. Supposons encore que l'échange de 4 parties d'eau contre 1 partie d'alcool se fasse en une heure. Si

Charpentier.

9

nous calculons la durée de l'osmose dans ces conditions, nous verrons qu'elle sera de huit heures.

Employons maintenant la même masse totale des deux liquides, mais dans des proportions différentes. Prenons par exemple 10 parties d'alcool pour 70 parties d'eau. Un calcul simple nous montrera qu'il faudra un peu plus de six heures pour que l'osmose soit complète.

Changeons encore les proportions de nos deux liquides tout en conservant la même masse totale; prenons par exemple 70 parties d'alcool pour 10 parties d'eau. L'osmose ne mettra que deux heures et demie à s'accomplir.

Nous voyons donc que la masse relative des deux liquides osmotiques exerce une influence considérable sur la durée de l'osmose.

Elle doit aussi modifier la valeur de l'équivalent osmotique pendant la durée de l'expérience, même en faisant abstraction du changement d'activité de la membrane. Malheureusement ce point ne peut être élucidé que par l'expérience, et celle-ci nous fait ici entièrement défaut.

Il reste ainsi dans le domaine de l'osmose beaucoup de points secondaires qui ne sont pas bien mis au jour par faute d'une méthode précise et unique d'étude.

C'est ce qui fera comprendre la généralité dans laquelle nous avons dû nous renfermer en proposant une explication des phénomènes essentiels de l'osmose.

Il nous reste encore à examiner quelques points moins généraux de l'osmose des liquides, auxquels nous consacrerons les articles suivants.

G. — ACTION DE LA CHALEUR SUR L'OSMOSE.

Dutrochet avait déjà vu que la chaleur accroissait et activait l'osmose. Ainsi un cœcum de poulet qui, rempli avec une solution de gomme au 10° et plongé dans l'eau pure, augmentait de poids de 13 grains en 1 heure 1/2 à 5° centigr., augmentait de 23 grains à 30° ou 32° pendant le même temps.

Graham vit aussi l'osmose augmenter avec la température, et s'assura que cette action portait surtout sur la diffusibilité des corps; l'acide chlorhydrique, par exemple, est deux fois au moins plus diffusible à 49° qu'à 15°.

Dutrochet observa de plus un fait très-intéressant, c'est que la chaleur abaissait la valeur de la densité des acides pour laquelle ces substances ne produisent plus d'osmose.

Par exemple, pour l'acide tartrique, cette valeur de la densité est de 1,21 à 1/4 de degré au-dessus de zéro; cela correspond à une solution aqueuse de l'acide à 40 p. 100.

A 8°, cette valeur s'abaisse à 1,15 (solution à 30 p. 100).

A 15°, l'osmose est nulle à la densité de 1,10 (solution à 21 p. 100).

A 25°, enfin, l'absence d'osmose se montre pour une densité de 1,05 (solution à 11 p. 100).

Les mêmes faits ont été constatés par cet auteur à propos de l'acide chlorhydrique.

Si la chaleur active l'endosmose, on constate qu'elle

ne modifie pas l'équivalent endosmotique, ce qui prouve qu'elle augmente dans les mêmes proportions la vitesse de diffusion des deux liquides osmotiques (Wundt).

Dans quelles proportions cette vitesse est-elle accrue? Voici, à ce propos, des chiffres dus à Eckhard, qui expriment la vitesse avec laquelle le sel marin s'osmose au travers d'un péricarde frais de bœuf, dans un même temps, avec une température croissante :

TEMPÉRATURE.	QUANTITÉS DE SEL QUI ONT PASSÉ.
8,0	0,303
9,6	0,364
13,8	0,396
18,3	0,474
22,5	0,549
26,0	0,628

On pourrait conclure, d'après cela, que la vitesse de diffusion croît à peu près proportionnellement à la température. Malheureusement, pour se permettre de formuler une loi générale, il faudrait avoir un plus grand nombre de faits.

H. — ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR L'OSMOSE.

Nous avons mentionné, au début de cette étude, la belle expérience de Porret qui, mettant chaque électrode d'une pile en contact avec l'un des compartiments d'une cuve remplie d'eau et séparée en deux parties par une cloison perméable, constata un

transport du liquide à travers cette cloison, dans le sens même du courant, c'est-à-dire du pôle positif vers le négatif. Le fait fut vérifié par Dutrochet d'abord, par M. Becquerel, puis par M. Napier. M. Wiedemann a, depuis, déterminé les lois de ces phénomènes de transport mécanique par l'électricité (1).

Le travail de M. Wiedemann est d'une réelle importance. Nous ne pourrions mieux en faire comprendre la nature et la portée que ne l'a fait M. le professeur Gavarret, à qui nous emprunterons l'analyse de ce travail, et les réflexions si lumineuses dont il la fait suivre.

« Le liquide est contenu dans un grand vase de verre et dans un vase cylindrique d'argile poreux, placé dans l'axe du premier. Sur le vase d'argile est mastiquée une cloche de verre dont la tubulure est armée d'un tube vertical muni d'un tube latéral d'écoulement. A l'extérieur et à l'intérieur du vase d'argile, sont deux lames de platine, roulées en cylindre et communiquant par des fils verticaux, le premier avec le pôle positif, le second avec le pôle négatif d'une pile. La petite ouverture par laquelle le fil négatif sort de la cloche est fermée avec du mastic ; le tube vertical est aussi mastiqué à la cloche. B est un flacon destiné à recueillir le liquide transporté.

« Quand le circuit est fermé, le liquide est transporté dans le sens du courant à travers les parois du vase poreux et s'écoule par le tube dans le flacon B. M. Wiedemann a fait varier l'intensité i du courant, et a pesé, dans chaque cas, la quantité q de liquide transporté dans un temps donné. Il a trouvé ainsi, que :

(1) Wiedemann. *Ann. de chim. et de phys.*, 1853, t. XXXVII. — *Poggendorff's Annalen*, 1856, t. XCIX.

« L'étendue et l'épaisseur de la cloison poreuse restant les mêmes, le rapport $\frac{b}{i}$ est constant, c'est-à-dire la quantité de liquide est *proportionnelle* à l'intensité du courant employé.

« Il a ensuite modifié l'étendue de la surface poreuse, en recouvrant une partie du vase d'argile d'une couche isolante et impénétrable au liquide; il a aussi fait varier l'épaisseur de la cloison poreuse, et, dans chaque expérience, il a mesuré l'intensité i du courant et la quantité q de liquide transporté. Il a trouvé ainsi que :

« Les variations survenues dans l'épaisseur de la cloison poreuse et dans l'étendue de sa surface exercent la même influence sur l'intensité du courant transmis et sur la quantité de liquide transporté; en sorte que, dans tous ces cas, le rapport $\frac{q}{i}$ reste constant.

« Donc, pour une intensité donnée et maintenue constante du courant voltaïque, la quantité de liquide transporté reste aussi constante et indépendante de l'épaisseur de la cloison poreuse et de l'étendue de sa surface.

« En agissant comparativement sur des liquides différents, M. Wiedemann a reconnu que la quantité de liquide transporté augmente avec la résistance du liquide au passage du courant, mais sans qu'aucune loi simple se manifeste.

« M. Wiedemann a eu recours à un autre mode d'expérimentation. Il a remplacé le flacon B par un manomètre à mercure dont le tube horizontal était abouché avec le tube d'écoulement du liquide. La partie

supérieure du tube vertical était hermétiquement fermée après l'introduction du liquide. A mesure qu'il était transporté de la surface positive à la surface négative de la cloison poreuse, le liquide pesait sur le mercure dans la courte branche du manomètre, et le refoulait dans la longue branche. En vertu de cette différence de niveau du mercure, le liquide contenu dans le vase poreux supportait une *pression* qui tendait à le faire passer dans le vase extérieur. Quand la colonne mercurielle avait atteint un *maximum* d'élévation, évidemment la *pression hydrostatique* du manomètre poussait à travers le diaphragme poreux, *et en sens inverse*, autant de liquide que le courant lui-même, et faisait équilibre à son *action propre*.

« La *pression* du manomètre, quand le mercure cesse de monter, peut donc être prise pour la mesure de la force de transport du courant. En déterminant, dans chaque expérience, l'intensité du courant employé et la hauteur *maximum* du mercure dans le manomètre, M. Wiedemann a trouvé que :

« La hauteur *h* à laquelle s'élève le mercure dans le manomètre est proportionnelle à l'intensité *i* du courant, à la résistance spécifique *r* du liquide, à l'épaisseur *e* du diaphragme poreux et en raison inverse de l'étendue *s* de la surface du diaphragme.

« En sorte que *c* étant une *constante*, l'expression générale de la hauteur de la colonne mercurielle du manomètre, ou de la pression hydrostatique qui sert de mesure à la force du courant, est

$$h = c i \frac{er}{s}.$$

« Il est facile de voir que cette expression s'accorde parfaitement avec les résultats des expériences précé-

dentes sur les quantités de liquide transporté. En effet, la cloison poreuse peut être considérée comme une réunion de tubes capillaires dont le nombre est proportionnel à l'étendue de sa surface, et dont la longueur est représentée par son épaisseur. Les recherches de M. Wiedemann nous ont appris que, l'intensité du courant restant *constante*, la quantité de liquide transporté à travers cette cloison, par l'action propre du courant, reste aussi constante et indépendante de son étendue superficielle et de son épaisseur. D'autre part, nous savons que les quantités de liquide qui passent, dans un temps donné, à travers les tubes capillaires sont proportionnelles aux pressions et en raison inverse des longueurs des tubes. La *pression* manométrique, pour produire le même effet que la *force de transport* du courant, c'est-à-dire pour maintenir la quantité de liquide poussé à travers le diaphragme poreux, constante et indépendante de ses dimensions en surface et en épaisseur, devait donc croître en raison inverse de l'étendue superficielle et en raison directe de l'épaisseur de la cloison perméable interposée.

« Cette dernière expression de la force de transport d'un courant d'intensité donnée donne lieu à un rapprochement important. En effet, la quantité $\frac{er}{s}$ est, à proprement parler, la résistance qu'oppose au passage du courant le liquide qui imbibe la cloison poreuse contre les parois de laquelle sont appliquées les deux lames de platine, l'une en dedans, l'autre en dehors du vase d'argile *a*. Il résulte de là que la *force de transport* du courant établit entre la surface positive et la surface négative du diaphragme poreux une différence

de pression proportionnelle à la quantité $\frac{er}{s}$ ou à la résistance du liquide interposé; mais nous savons que la différence de tension, ou la force électro-motrice partielle du courant, entre ces deux surfaces est aussi proportionnelle à cette résistance $\frac{er}{s}$. On peut donc dire que :

« *Les actions mécaniques d'un courant voltaïque suivent exactement les mêmes lois que la distribution des tensions électriques dans un circuit fermé (1).*

Ces phénomènes de transport électrique se reproduisent également avec les membranes organiques; les liquides simples ou complexes sont transportés dans le sens du courant.

On a cependant trouvé une exception à cette dernière règle; cette exception s'applique aux acides dont le transport s'effectue, au contraire, du pôle négatif vers le pôle positif, c'est-à-dire en sens inverse du courant (Wiedemann).

Quoi qu'il en soit, on comprend d'après ces faits que le passage d'un courant électrique à travers deux liquides qui s'osmosent l'un vers l'autre, favorise ou contrarie la production de l'osmose et pourra même charger le sens du courant prédominant.

Supposons que les deux liquides osmotiques soient de l'eau et un sel; si le courant passe de l'eau vers le sel, le transport osmotique de l'eau sera favorisé, et celui du sel contrarié; l'eau passera donc en plus grande quantité, et l'équivalent osmotique du sel sera augmenté.

(1) Gavarret. *Traité d'électricité*, t. II, p. 415 et seq.
Charpentier.

Si le courant galvanique est dirigé dans le sens contraire, c'est-à-dire du sel vers l'eau, l'équivalent osmotique sera diminué.

En général, il ressort des expériences de Wiedemann et d'autres auteurs, que le passage du courant électrique dans le même sens que le courant osmotique principal augmente l'équivalent osmotique ; que le passage de l'électricité en sens opposé à celui du courant osmotique principal diminue, au contraire, l'intensité de ce courant et, par conséquent, tend à rapprocher l'équivalent endosmotique de l'unité.

Une particularité intéressante de l'action de l'électricité sur l'osmose, est relative au cas où l'un des deux liquides osmotiques contient de l'albumine.

Si l'albumine est simplement dissoute dans l'eau ou dans un liquide neutre, elle se comporte, paraît-il, vis-à-vis de l'eau comme une substance acide, c'est-à-dire qu'elle se transporte vers le pôle positif en déposant au pôle négatif les sels avec lesquels elle est associée.

Dissoute, au contraire, dans un liquide acide, elle se comporterait alors comme une base faible et se déposerait au pôle négatif (1).

De plus, le courant osmotique principal a toujours lieu vers le pôle négatif.

Étant donné l'ensemble des faits précédents, il n'y a rien d'étonnant qu'on puisse, à l'aide de l'électricité convenablement employée, rendre osmotiques des substances qui ne le sont naturellement qu'à un degré inappréciable. M. Morin, de Genève, est arrivé de cette façon à faire exosmoser au travers de tissus animaux, tels que la membrane placentaire des ruminants ou la

(1) Wundt. *Phys. gén.*, 1872, p. 64 (trad. franç.).

tunique muqueuse du duodénum, des substances telles que le caséum, la gomme, les graisses, qui ne passaient pas sensiblement sans le secours de l'agent électrique.

Il fit aussi, à l'aide de l'électricité, s'exosmoser nettement l'albumine à travers des godets en grès (1).

I. — *Phénomènes osmotiques complexes.*

a. *Exosmose des albuminoïdes.* — Les substances colloïdes, en solution ou autrement, passent, nous le savons, très-difficilement au travers des membranes osmogènes.

On a même dit, pour l'albumine, qu'elle ne s'exosmosait pas du tout. M. Mialhe, qui a émis cette opinion, l'appuyait sur des raisons de haute convenance physiologique. « Si l'albumine, dit-il, était endosmotique aussi bien que les liquides aqueux des humeurs animales, elle ne pourrait se maintenir dans le système circulatoire, elle traverserait constamment les parois des vaisseaux qui la contiennent, se répandrait dans tout l'organisme et irait se perdre dans les produits de sécrétion. Or, c'est ce qui n'arrive jamais dans l'état physiologique ; il est parfaitement établi que « les liquides des excréments sont les seuls où l'on remarque l'absence totale de l'albumine (Dumas). » — Les liquides albumineux de l'économie animale, échappant aux lois de l'endosmose, se trouvent ainsi dans des conditions différentes des liquides aqueux ordinaires. »

(1) Morin. *Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève*, 1854.

Cette raison s'appuie sur des faits controuvés aujourd'hui. On trouve de l'albumine dans le lait, le suc pancréatique, la salive, le sperme, les liquides des séreuses et des synoviales, etc.

Les expériences suivantes seraient plus démonstratives :

Suivant M. Mialhe, si l'on fait endosmoser dans l'eau un œuf dont la coquille a été brisée à l'exception de la membrane coquillière, les sels contenus dans l'œuf s'exosmosent à l'extérieur, mais non l'albumine.

Remplace-t-on dans les mêmes conditions le contenu de l'œuf par du sérum sanguin, on constate encore le passage des sels du sérum, mais on ne peut mettre en évidence aucune trace d'albumine (1).

Mais M. le Professeur Béclard a obtenu un résultat contraire en se servant d'eau distillée comme liquide osmotique (2).

De plus, M. Von Wittich a vu qu'en faisant endosmoser dans l'eau pure, à travers une membrane d'œuf, 2 centimètres cubes d'une solution albumineuse, il s'endosmosait vers celle-ci 3 centimètres cubes d'eau et il sortait 0 gr. 015 d'albumine.

Budge et Lehmann ont vu, au dire de Longet, des faits analogues.

L'albumine passe donc réellement, quoique en très-petite proportion, au travers des membranes osmogènes.

Mais si l'albumine s'exosmose peu vers l'eau pure, elle passe en beaucoup plus grande quantité vers des

(1) Mialhe. *Union médicale*, 1852. — *Chimie appl. à la physiol. et à la thérapeutique*, 1856.

(2) Béclard. Article *Absorption* du *Dict. encycl.*, t. I. p. 234; et *loc. cit.*

solutions salines, et son issue exosmotique croît alors assez rapidement avec la concentration de ces solutions; cependant il y a une limite de concentration pour laquelle l'exosmose de l'albumine est maximum, car si la solution devient plus riche en sel, elle ne fait plus que soutirer de l'eau à la solution d'albumine.

Von Wittich, en regard de l'expérience que nous citons tout à l'heure, faisait osmoser 2 centimètres cubes de la même solution albumineuse, non plus vers de l'eau pure, mais vers de l'eau salée d'une densité de 3,7 p. 100. Dans ces nouvelles conditions, l'albumine ne gagnait plus que 2,4 centimètres cubes d'eau salée, mais perdait 0 gr. 431 de sa substance, c'est-à-dire 28 ou 29 fois plus qu'en présence de l'eau pure (1).

A côté de ces expériences doivent se placer les suivantes de Heynsius: si l'on fait osmoser du sérum de sang de bœuf avec de l'urine acide, l'albumine ne passe pas à travers la membrane (morceau d'amnios).

Met-on, au contraire, le sérum en présence d'urine alcaline, il perd de son albumine (2).

Du reste, il existe, sous le rapport du pouvoir exosmotique, des différences notables entre les diverses sortes d'albumine. Les peptones, par exemple, comme l'a prouvé Funke, passent au même degré que les sels au travers des membranes osmogènes (3).

b. *Osmose entre liquides autres que l'eau.* — Lorsqu'une substance s'osmose non plus avec de l'eau, mais soit avec la même substance à une concentration diffé-

(1) Von Wittich. *Muller's Archiv*, 1836.

(2) Heynsius. *Donders Archiv*, 1858.

(3) Funke. *Arch. für pathol. anat.* t. VIII.

rente, soit avec une autre substance, l'échange se fait dans des conditions particulières.

S'agit-il de deux solutions différemment concentrées, l'échange sera tel que la plus riche en sel gagnera de l'eau, tandis que la plus étendue recevra du sel, jusqu'à ce que la concentration soit la même de part et d'autre.

Dans quel sens aura lieu le courant osmotique principal? Dans le même sens que si la solution la plus concentrée s'osmosait avec de l'eau; par conséquent, pour les solutions salines, la solution la plus concentrée augmentera généralement de volume.

La concentration est-elle maintenue constante des deux côtés, la diffusion se fera avec une vitesse constante; par conséquent, l'équivalent endosmotique sera constant.

Mais si on laisse les deux solutions à elles-mêmes, leur différence de concentration diminuera de plus en plus et la vitesse de diffusion variera dans le même sens. De plus, elle diminuera inégalement d'un côté et de l'autre, de sorte que l'équivalent endosmotique changera lui-même un peu (Eckard).

Supposons maintenant que l'on ait affaire à des substances de composition chimique différente, les lois de l'osmose seront variables suivant les cas.

Les acides, par exemple, s'endosmosent vers les alcalis mieux que vers l'eau pure (Dutrochet).

D'autre part, plus les substances en présence auront d'affinité chimique l'une pour l'autre, plus le courant tendra à se faire dans un seul sens (Wundt).

Il en sera de même quand les substances osmotiques se décomposent chimiquement. Par exemple, mettez d'un côté de la membrane de l'acide oxalique et de l'autre du carbonate de chaux, il n'y aura de précipité

d'oxalate de chaux que d'un seul côté (du côté du carbonate), ce qui prouve que le courant ne se produira que dans un seul sens (Wundt, *Physiol.*, p. 64).

Dans l'osmose entre deux sels, chacun des deux sels se diffusera vers l'autre comme il se fût diffusé vers l'eau. Tel est, du moins, le cas le plus général.

c. *Osmose entre mélanges de plusieurs substances.*— Un premier exemple de cette osmose complexe est dû à Dutrochet.

Cet auteur vit qu'en ajoutant un acide à une substance qui, isolée, eût attiré vers elle le courant endosmotique, l'osmose se faisait au contraire, ordinairement vers l'eau. Tel est le cas pour le sucre, qui possède un équivalent endosmotique assez considérable. Or, à une solution de sucre à $1/16$, ajoutez $1/16$ d'acide oxalique, vous verrez le courant principal dirigé vers l'eau.

Poiseuille fut témoin d'un fait très-curieux ; ce fait est relatif à l'influence de la morphine sur l'osmose : ayant mis dans un endosmomètre une solution de chlorure de potassium et plongé l'instrument dans un bain de sérum, cet auteur vit le niveau du liquide intérieur s'élever de 9 millimètres ; ajoutait-il au chlorure une très-petite quantité de chlorhydrate de morphine, l'endosmose n'était plus que de 6 millimètres et était bientôt suivie d'une *exosmose intense* (1).

Graham étudia d'autres cas complexes.

Il vit d'abord qu'un mélange de plusieurs sels diffusait vers l'eau comme si chaque sel du mélange était seul.

(1) Dutrochet, Comptes-rendus de l'Ac. des sciences, 1844, t. XIX.

Il constata plus tard que le sulfate de potasse ou de soude, doué ordinairement d'un équivalent endosmotique faible, attire au contraire un fort courant d'eau quand on lui ajoute du carbonate de potasse ou de soude.

De même, ajoute-t-on à un de ces sulfates une trace d'acide, l'osmose se fait énergiquement vers eux.

Autre fait important : si l'on fait osmoser avec l'eau un mélange de chlorure de potassium et de sulfate de soude (en solution naturellement), il passe la même quantité de potassium et d'acide sulfurique, par exemple, que si l'on eût eu un mélange de sulfate de potassium et de chlorure de sodium. Tout se passe donc comme le fait prévoir la loi de Berthollet (Graham).

L'auteur anglais fit encore plusieurs expériences d'osmose avec des mélanges de sel. Nous n'insisterons pas sur ces faits assez complexes. Disons seulement que Cloetta a tiré d'expériences semblables la loi suivante dont on retrouve le principe dans Graham :

Quand des liquides contenant en solution plusieurs sels diffusent avec de l'eau ou avec d'autres solutions, le sel qui passe le plus lentement est encore retardé dans son passage par celui qui passe le plus rapidement (1).

d. *Dialyse*. — Nous devons cependant nous occuper encore d'un cas très-intéressant de l'osmose des mélanges.

Lorsque deux substances mélangées s'osmosent avec l'eau et qu'elles ont un équivalent endosmotique très-différent, il peut arriver que l'une d'elles ait fini de s'osmoser bien avant l'autre, de sorte que celle-ci reste pure dans l'endosmomètre.]

(1) Cloetta. *Diffusions Versuche*, 1851.

Cela peut s'appliquer surtout au cas du mélange d'un colloïde et de substances cristalloïdes, puisque ces deux ordres de substances sont si différents sous le rapport osmotique.

Tel est, en effet, le principe de la méthode de séparation chimique par osmose, indiquée d'abord par M. Dubrunfaut, comme nous l'avons déjà montré plus haut, et répandue ensuite par Graham sous le nom de *dialyse*.

M. Dubrunfaut, nous l'avons vu, fut frappé en lisant les expériences de Dutrochet, de l'inégal pouvoir osmotique de certaines matières telles que le sucre, et des sels minéraux. Il eut alors l'idée d'utiliser le fait pour séparer le sucre de betteraves des matières plus diffusibles qui l'accompagnent dans la mélasse. En plaçant cette dernière dans un vase fermé par une membrane osmogène et plongeant le vase dans l'eau pure, il vit en effet les sels minéraux passer rapidement dans l'eau extérieure et le sucre rester dans l'appareil en quantité considérable (1).

Graham généralisa la méthode que M. Dubrunfaut n'avait utilisée que pour ce cas particulier, et, dans son mémoire sur la *diffusion moléculaire* (1862), indiqua de très-nombreux exemples de séparation de corps colloïdes : il arriva même à obtenir, à l'état colloïde, beaucoup de substances minérales, telles que l'acide silicique, l'alumine, la métalumine, le peroxyde de fer, le métaperoxyde de fer, le ferrocyanure de cuivre, le bleu de Prusse neutre, le ferrocyanure de fer, les sucrates de cuivre, de peroxyde de fer, de peroxyde d'uranium, de chaux, l'oxyde de chrome, etc. Il obtint

(1) Dubrunfaut. C.-r. de l'Acad. des sc., 1855, t. XLI, p. 834.
Charpentier. 11

la plupart de ces corps sous deux états, à l'état soluble et à l'état insoluble : c'est là, dit Graham, une propriété générale des matières colloïdes.

Il obtint aussi, par dialyse, un grand nombre de colloïdes organiques.

Le tannin, par exemple, est très-peu diffusible, 200 fois moins que le chlorure de sodium. Graham attribue à cette cause la lenteur du tannage des cuirs.

La gomme est 400 fois moins diffusible que le chlorure de sodium, elle est donc très-facilement séparable des cristalloïdes. Le gommate de gélatine est aussi très-peu diffusible.

La dextrine s'osmose 3 fois plus vite que la gomme arabique ; elle perd 0gr.,034 sur 2 gr. en vingt-quatre heures.

En mettant du caramel ordinaire sur le dialyseur, il reste, après l'opération, un résidu colloïde qui a 5 fois plus de pouvoir colorant que le caramel ordinaire, et qui diffuse 600 fois moins vite que le chlorure de sodium. La variété insoluble de ce caramel colloïde a beaucoup d'analogie avec la houille.

Quant à l'albumine, elle est environ 1,000 fois moins diffusible que le chlorure de sodium, aussi la sépare-t-on facilement de ses sels. En ajoutant de l'acide acétique à l'albumine du blanc d'œuf et en faisant dialyser, on élimine les sels terreux et alcalins en trois ou quatre jours. L'albumine qui reste peut être brûlée sans laisser de cendres ; elle a encore une réaction légèrement acide. L'addition d'alcali ne la rend pas plus diffusible.

L'empois d'amidon, la gélatine dissoute, l'extrait de viande s'exosmosent tout aussi difficilement et on peut, avec facilité, en séparer les matières cristalloïdes.

Cette méthode trouve des applications nombreuses dans le domaine de la toxicologie.

On peut séparer, par exemple, des liquides colloïdaux, telles que les diffusions de matières organiques, une proportion de un dix-millième d'acide arsénieux.

On retrouve, par la même méthode, 1/10.000 d'émétique dans un liquide colloïdal. Il en est de même pour les alcaloïdes tels que la strychnine, etc. (1).

Pour toutes ces applications de la dialyse, on aura avantage à se servir de vases et de membranes ayant une surface aussi étendue que possible.

e. Décompositions chimiques produites par l'osmose.

—Graham signala, dès 1849, des exemples de décompositions chimiques produites par la simple diffusion. Ainsi du bisulfate de potasse se sépare en partie, par la diffusion, en acide sulfurique libre et en sulfate de potasse qui cristallise. L'alun donne aussi du sulfate de potasse libre. Le sulfate de cuivre ammoniacal se décompose en sulfate de cuivre et sulfate d'ammoniaque.

Or la dialyse donne lieu aux mêmes phénomènes de décomposition.

Disons aussi que les substances les plus diffusibles semblent, au dire de Graham, exercer sur les membranes osmogènes une faible action chimique.

f. Formation artificielle et accroissement de cellules à membranes. — M. Traube, avons-nous dit, est arrivé à produire artificiellement des cellules munies

(1) Graham. *Ann. de chim. et de phys.*, 1862, 3^e série, t. LXV, p. 129 et seq.

d'une membrane, cellules se nourrissant dans certains liquides et restant passives dans les autres. Nous ne pouvons pas décrire toutes les expériences de M. Traube, nous mentionnerons simplement la plus nette et la plus concluante.

On sait, comme l'a montré Graham, que les colloïdes, si perméables pour les matières suffisamment diffusibles, ne se laissent pas traverser par d'autres colloïdes. Une membrane colloïdale, qui environnerait de toute part une masse de substance colloïde, formerait donc à son contenu une sorte de barrière osmogène, susceptible de laisser entrer à l'intérieur des substances diffusibles et qui ne donnerait issue qu'à une quantité négligeable du contenu. Une telle cellule pourrait donc s'accroître par endosmose, à supposer que la membrane fût assez extensible pour se laisser dilater par l'augmentation de la masse intérieure.

Or, M. Traube a réalisé ce cas très-intéressant. Voici une de ses expériences :

Il prend, au bout d'une baguette de verre, une goutte de gélatine rendue incoagulable par une ébullition prolongée. Après l'avoir laissée se dessécher légèrement au contact de l'air, il la plonge dans une solution d'acide tannique. Au contact de ce liquide et de la goutte de gélatine, se forme, par combinaison chimique, du tannate de gélatine qui entoure la goutte d'une sorte de membrane continue.

Alors, au travers de cette membrane, se produit entre la gélatine qu'elle contient et le liquide tannique environnant, un échange osmotique dans lequel le courant principal, sinon unique, se fait de l'extérieur vers l'intérieur, d'où accroissement de volume du contenu de cette espèce de cellule. Il ne faudrait pas croire que cet ac-

croissement fût peu sensible. Dans une expérience, par exemple, M. Traube plongeait dans une solution de tannin à 1, 4, p. 100, un globule de gélatine de 14,5 millimètres de diamètre, et d'un poids de 1,79 gramme. Au bout de treize jours, ce globule avait atteint un diamètre de 22 millimètres et pesait 6,5 grammes; son poids avait donc presque quadruplé et son volume était devenu cinq fois plus grand.

Mais comment la membrane pouvait-elle résister à une extension si considérable? *Elle s'accroissait de son côté par intussusception.* A mesure qu'elle se distendait, de nouvelles molécules de tannin et de gélatine se rencontraient et se combinaient dans ses interstices moléculaires, de sorte que le développement de l'enveloppe suivait parallèlement le développement du contenu.

Mais, chose très-curieuse, l'accroissement de cette cellule ne se produisait pas dans un liquide quelconque. Dans l'eau, par exemple, ce petit appareil ne se nourrissait pas, et montrait ainsi, comme les éléments vivants de l'organisme, une sorte d'affinité élective pour certains liquides et une indifférence complète pour les autres.

Les exemples seraient nombreux à citer des petits appareils semblables imaginés par M. Traube. La seule chose sur laquelle nous voulions appuyer, c'est cette affinité élective si curieuse que possédaient toutes ces cellules, affinité spéciale pour chacune d'elles (1).

Voici donc réalisé artificiellement un des procédés dont se sert la cellule vivante pour se nourrir et s'accroître. On ne saurait douter en effet que la nutrition

(1) Traube. *Arch. für Anat. et Physiol.* de Reichert et Du Bois-Reymond, 1867, p. 87 et 129.

ne soit liée à la réunion, à la simultanéité d'un certain nombre de courants osmotiques différents.

Mais n'oublions pas qu'il existe entre les échanges osmotiques des petits appareils de M. Traube et ceux qui ont lieu certainement entre les éléments vivants et leur milieu, une distinction capitale; c'est que les premiers sont dans un état assez complet de stabilité chimique, tandis que la substance qui compose les seconds est mobile et instable au premier chef. De plus, la composition chimique des cellules artificielles est relativement très-simple, si on la compare à l'effrayante complexité de la substance vivante.

De là résulte : 1° que les courants osmotiques qui s'opèrent entre la substance vivante et son milieu doivent être eux-mêmes extrêmement nombreux et complexes;

2° Qu'ils doivent être très-variables, les uns par rapport aux autres, suivant les modifications chimiques qui se passent à chaque instant dans la substance vivante.

Il y a donc osmose dans les éléments vivants, il y a osmose complexe et variable. Mais il y a autre chose : il y a en même temps formation synthétique de certains principes, décomposition des autres, en un mot, il y a la *vie*. L'osmose n'est que l'effet de celle-ci, elle n'en est pas l'origine.

« Toute substance organisée, vivante, se nourrit, dès qu'elle se trouve en contact immédiat avec des substances pouvant servir à cet acte physiologique. Pour se nourrir, elle absorbe des matériaux particuliers; elle les élabore d'une certaine façon; elle s'en assimile une partie; elle rejette enfin hors d'elle les restes plus ou moins modifiés de ces matériaux, et en même temps,

elle se débarrasse ainsi des produits du travail incessant de désassimilation dont elle est le siège. »

Voilà comment notre éminent maître M. le professeur Vulpian décrit les phénomènes qui caractérisent la nutrition.

« Ingestion, assimilation, désassimilation, égestion, tels sont les actes, bien complexes en eux-mêmes, qui s'effectuent d'une façon constante dans la substance organisée vivante (1) ».

Mais les actes vitaux par excellence sont ceux d'assimilation et de désassimilation, *de synthèse et de destruction organiques* (Cl. Bernard), ce sont ceux que les expériences de M. Traube n'ont pas reproduits, et dont les phénomènes d'ingestion et d'égestion ne sont que la conséquence physique forcée (2).

Ira-t-on plus loin que M. Traube et arrivera-t-on à produire un élément vivant? Nous ne voyons, quant à nous, aucune force supérieure qui nous l'interdise.

Comme M. le professeur Gavarret, « nous ne trouvons, philosophiquement parlant, aucune raison plausible de ne pas admettre, comme possible, la formation d'un agrégat organique, d'une cellule, sous l'influence exclusive des forces mécaniques, physiques et chimiques du monde extérieur. »

Avec ce maître éminent, nous croyons qu'un proto-organisme ainsi formé « entrerait en activité, contracterait avec le monde extérieur des rapports d'action et

(1) Vulpian. *Leçons sur les vaso-moteurs*, 1875, t. I, p. 283.

(2) Voir, pour la question des rapports entre l'osmose et la nutrition, les ouvrages de M. Robin, et notamment : *Des éléments anatomiques et des épithéliums. — Des tissus et des sécrétions. — Dictionnaire de Littré et Robin*, articles : *Hygrométrie, matière organisée, nutrition*, etc.

de réactions réciproques, en un mot, *vivrait et se développerait*, s'il était placé dans des conditions de milieu appropriées (1) ».

Malheureusement, nous ne voyons pas même aujourd'hui la voie à suivre pour faire entrer la question dans le domaine des faits, et pour réaliser expérimentalement ce qui n'est dans notre esprit qu'à l'état d'espérance légitime.

J. — THÉORIES DE L'OSMOSE DES LIQUIDES.

Il nous reste maintenant à examiner rapidement les diverses théories qui ont été proposées pour rendre compte des phénomènes osmotiques. Nous n'aurons pas à insister longuement sur cette partie de notre étude, parce que ces théories se trouveront, pour ainsi dire, jugées d'avance par l'ensemble des détails qui précèdent.

La première en date est celle de Poisson, exposée devant l'Académie des sciences en octobre 1826.

D'après cette théorie, l'osmose est liée à la capillarité de la membrane. Chaque canalicule de la membrane se remplit du liquide qui est soumis à la plus forte attraction capillaire, et celui-ci, parvenu à l'autre face de la membrane, est attiré par l'affinité de l'autre liquide.

Il n'y aurait de cette façon qu'un courant, ce qui est contraire aux faits observés.

Magnus émit une théorie à peu près semblable.

« On a, dit-il, une explication complète du phéno-

(1) Gavarret. *Les phénomènes physiques de la vie*, 1869, p. 276.

mène, en regardant la vessie comme un corps poreux, et en admettant : 1° qu'il existe une certaine force d'attraction entre les molécules des liquides différents; et 2° que les liquides différents passent plus ou moins facilement à travers l'ouverture capillaire. » Il ajoute plus loin : « Les molécules d'une dissolution d'un sel quelconque, auront entre elles plus de cohésion que celles de l'eau. C'est pour cela que la dissolution sera moins fluide, et passera plus difficilement que l'eau par les ouvertures très-étroites, toutes choses égales d'ailleurs. Il en résulte que, plus une dissolution est concentrée, plus elle aura de difficulté à passer par des ouvertures capillaires. »

Cette théorie, ainsi que celle de Poisson, fait complètement abstraction du rôle actif de la membrane et ne considère que les ouvertures capillaires dont elle est supposée criblée.

Or, d'une part, les membranes animales ne sont pas poreuses, nous l'avons vu; d'autre part l'osmose n'est pas liée nécessairement à la présence des pores, puisque les cloisons siliceuses, quoique très-poreuses, ne donnent pas lieu à l'osmose.

On ne peut pas davantage, comme le voulaient quelques physiciens du temps de Dutrochet, attribuer l'osmose à la différence de viscosité des liquides, puisque le sens du courant principal entre deux liquides peut être différent suivant la nature de la membrane employée.

M. Becquerel a tenté de faire intervenir l'électricité dans le jeu des actions qui déterminent l'échange osmotique; il a montré qu'entre les deux liquides osmotiques et la membrane intermédiaire il peut se développer trois espèces de courants, dont la résultante dépend de la nature des liquides et de celle de la mem-

Charpentier.

12

brane. La direction de ce courant résultant doit avoir une certaine influence de transport sur les liquides osmotiques. Nous avons étudié plus haut cette action de l'électricité. Mais M. Becquerel reconnaît bien que « si l'électricité est au nombre des causes productives de l'endosmose et de l'exosmose, elle ne doit pas être considérée comme celle qui a le plus d'influence, car il arrive souvent que les effets produits sont dans une direction inverse de ceux que l'on aurait obtenus si elle eût agi seule. » (1)

Par conséquent, nous ne pourrions faire de l'électricité, comme l'avait admis Dutrochet après avoir répété les expériences de Porret et de Fischer, la cause productive de l'osmose. Les courants électro-capillaires sont une cause secondaire de transport osmotique, tantôt adjuvante, tantôt contrariante.

Graham avait, lui aussi, tout d'abord une forte tendance à expliquer l'osmose par l'effet mécanique des courants électriques produits entre liquides d'affinité différente.

Plus tard, dans son dernier mémoire sur l'osmose des liquides, il invoquait une cause différente : « Il me paraît, disait-il, que le mouvement de l'eau dans l'endosmose est une affaire d'hydratation et de déshydratation de la membrane ou du diaphragme colloïdal ; que la différence des solutions salines placées dans l'endosmomètre n'entre que pour peu de chose, sinon pour rien, dans les résultats au point de vue de l'endosmose, et qu'elle n'a d'autre influence que de modifier l'état d'hydratation du septum. »

(1) Becquerel. *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV. — *Courants électro-capillaires*. C.-r. de l'Acad. des sc., 1866 à 1877.

Mais nous avons vu précédemment qu'un septum colloïdal, en présence d'une solution aqueuse quelconque, ne se borne pas à absorber de l'eau, mais s'imbibe de la solution elle-même en la réduisant à un taux correspondant à son affinité propre. Pourquoi Graham passe-t-il sous silence la moitié du phénomène et ne s'occupe-t-il que de l'eau ? Il est certain que la membrane s'hydrate et se déshydrate dans l'osmose, mais en même temps (qu'on nous passe une expression triviale) elle se sale et se dessale. L'osmose est la réunion, l'ensemble de ces deux mouvements. Du reste, nous n'avons pas à revenir sur ce qui a été dit plus haut, de la manière dont les phénomènes osmotiques nous semblent le mieux se comprendre.

Une autre théorie très-ingénieuse est due à M. Bécclard qui fit, pour l'étayer, un grand nombre d'expériences rigoureuses. Comparant entre eux les pouvoirs osmotiques de beaucoup de liquides par rapport à l'eau ou les uns par rapport aux autres, il vit que le sens et l'intensité de l'osmose étaient dans des rapports constants avec la différence des chaleurs spécifiques des deux liquides osmotiques. Le liquide qui jouit de la plus forte capacité calorifique se dirige vers l'autre liquide et forme le courant prédominant. « Les phénomènes d'osmose peuvent être, au point de vue physico-chimique, considérés comme des phénomènes moléculaires de chaleur latente. »

Malheureusement, cette théorie est infirmée par un fait très-souvent reproduit, c'est qu'entre deux mêmes liquides le sens de l'osmose peut varier suivant la nature de la membrane. Pour qu'elle eût une portée générale, il nous semble qu'elle devrait faire entrer en ligne de

compte ce dernier facteur, dont nous espérons être parvenu à montrer l'importance.

Reste une dernière explication généralement admise en Allemagne, où l'ont surtout répandue les travaux de Brücke et de Fick.

Elle rapporte les phénomènes d'endosmose à l'ensemble des causes suivantes : 1° à la force d'attraction des deux liquides l'un pour l'autre ; 2° à l'attraction relative que la substance de la membrane exerce sur les deux liquides en diffusion, force qui détermine le mode de passage des liquides et la rapidité du passage de chaque liquide à travers les canalicules poreux du diaphragme ; 3° à l'étroitesse des pores à travers lesquels cheminent les liquides ; et 4° à la diminution de l'adhérence du liquide à la paroi du canalicule poreux, en raison de l'élévation de température (Wundt).

Il est un de ces ordres de causes que nous ne saurions admettre, c'est celui qui se rapporte à l'influence des pores. D'après cette théorie, plus les pores de la membrane deviennent étroits, plus l'osmose se ralentit et s'affaiblit. Or, nous voyons les membranes organiques, qui ne contiennent pas de pores, donner lieu à des osmoses ordinairement plus intenses que les cloisons minérales éminemment poreuses ; que devient l'influence du diamètre des pores ? si les membranes organiques en possédaient, ils seraient en tout cas plus étroits que les plus petits objets appréciables au microscope.

Il nous semble qu'il reste encore beaucoup d'inconnues à déterminer dans les phénomènes de l'osmose, entre autres le rôle de la chaleur à propos duquel, si nous faisons abstraction des expériences de M. Béclard, rien n'a été tenté. Et pourtant dans l'osmose, il se développe

lentement, mais progressivement, une force qui peut atteindre une intensité énorme, puisque nous l'avons vue dans certaines expériences de Dutrochet, faire équilibre à une pression de 4 atmosphères ¹/₂.

Il y a donc, dans l'osmose, production de travail mécanique ; aux dépens de quelle force, de quelle espèce d'énergie, voilà ce qu'il faudrait connaître. Tant que la question n'aura pas été portée expérimentalement sur ce terrain, toute théorie de l'osmose sera incomplète et vaine.

De là, nous pouvons conclure que la meilleure définition de l'osmose est encore, pour le moment, celle qui résume le mieux les faits principaux dont se compose ce grand acte physique.

A ce titre, nous nous permettrons de proposer la formule dont nous nous sommes déjà servi précédemment et qui n'est que la traduction des faits.

L'osmose est un acte physique résultant de la double diffusion qui s'opère entre deux liquides différents et leur mélange produit, dans des proportions déterminées, par l'affinité spéciale d'une membrane.

C'est là, en somme, à bien peu de chose près, la manière dont Dutrochet comprenait les phénomènes osmotiques. Si le temps a grandement étendu les limites de sa découverte, il n'a rien changé aux lois fondamentales que ce grand homme y a reconnues.

OSMOSE DES GAZ.

Si l'osmose des gaz a été moins souvent étudiée que celle des liquides, elle a donné en revanche des résultats plus précis, plus susceptibles d'être formulés en lois.

Nous allons retrouver dans cette étude les mêmes faits fondamentaux que dans l'osmose des liquides, faits seulement un peu modifiés par les propriétés spéciales des gaz.

En effet, les gaz se diffusent les uns dans les autres, et cela beaucoup plus parfaitement que les liquides.

De même que ces derniers, ils sont absorbés par les membranes osmogènes dans certaines proportions déterminées.

Le mécanisme de l'osmose des gaz est donc essentiellement le même que celui de l'osmose des liquides.

Nous allons étudier successivement ces trois ordres de faits ; 1° diffusion des gaz, 2° absorption des gaz par les membranes, 3° osmose des gaz.

A. — DIFFUSION DES GAZ.

Tout le monde sait que deux gaz sans action chimique l'un sur l'autre, mis directement en contact, se répandent l'un dans l'autre, de manière à former un mélange uniforme dans toute sa masse. L'expérience de Berthollet est bien connue à ce sujet.

On sait que le mélange de ces deux gaz possède une pression uniforme, qui est la somme de celle que posséderait chaque gaz s'il occupait seul le volume du mélange.

Un gaz entre dans un espace occupé par un autre gaz comme s'il entrait dans le vide, et il ajoute à la pression du gaz primitif sa pression propre.

Quand deux gaz s'abouchent directement l'un dans l'autre, ils se mélangent avec une grande vitesse, mais il n'est guère possible de mesurer exactement cette dernière.

On arrive à mesurer le rapport suivant lequel deux gaz se diffusent l'un dans l'autre, en interposant entre eux une cloison poreuse sèche.

Les premières expériences à ce sujet furent faites par Th. Graham, qui en 1834 trouva que les gaz se diffusaient à travers une cloison poreuse avec une vitesse inversement proportionnelle à la racine carrée de leurs densités (1).

Il se servait pour ces expériences d'un long tube cylindrique renflé à sa partie médiane, et terminé en haut par une plaque poreuse. Ce tube contenait un certain volume d'hydrogène, et plongeait dans le mercure par sa partie inférieure.

Il se faisait un échange réciproque entre l'hydrogène du tube et le gaz ambiant, jusqu'à ce que la composition fût devenue la même à l'intérieur et à l'extérieur. En comparant alors les volumes de gaz entrés et sortis, Graham les trouvait sensiblement en raison inverse des racines carrées des densités. Les vitesses d'entrée et de sortie étaient donc dans le même rapport.

(1) Graham. *Philosophical transactions*, 1834, 1846. *Elements of chemistry*, I, p. 87.

Mais cela n'est exact que dans le début de l'expérience; plus tard les deux vitesses se rapprochent l'une de l'autre, à mesure que la composition des deux atmosphères tend à s'égaliser.

Il était naturel de comparer à ces résultats la vitesse d'écoulement des gaz dans le vide, c'est-à-dire les résultats de la *diffusion simple* de Graham.

C'est ce que fit ce dernier auteur après Faraday et Bunsen. Il vit d'abord comme eux, pour l'oxygène, l'air, l'acide carbonique et l'hydrogène, que la vitesse d'écoulement de chaque gaz est proportionnelle à la pression qu'il supporte.

Il trouva de plus qu'avec une lame ayant des pores suffisamment fins, comme le graphite artificiel ou la plombagine comprimée, les vitesses de la diffusion des différents gaz dans le vide sont en raison inverse des racines carrées de leurs densités.

En employant des diaphragmes pourvus de pores plus larges, l'effet de la diffusion se compliquait d'un effet d'effusion, c'est-à-dire de transport en masse; c'est ainsi qu'à travers le biscuit de porcelaine et le plâtre, l'écoulement du gaz était plus rapide que ne l'indiquait sa densité.

M. Dufour (de Lausanne) a étudié un cas particulier, très-intéressant pour la physiologie, de la diffusion gazeuse; c'est la diffusion qui s'opère entre l'air sec et l'air humide, ou, d'une manière plus générale, entre deux airs inégalement humides. Il a reconnu qu'il y a toujours diffusion dans ce cas, et que, contrairement à la loi de Graham (la vapeur d'eau est plus légère que l'air), cette diffusion a lieu de l'air sec à l'air humide. Elle se démontre très-aisément, dit l'auteur, à l'aide d'un manomètre à eau.

Le même auteur a étudié les phénomènes thermiques qui accompagnent la diffusion des gaz. Ses recherches portent sur la diffusion entre l'hydrogène et l'air, et entre l'air et l'acide carbonique.

Le vase poreux renfermant le gaz à diffusion plus lente (l'acide carbonique par rapport à l'air, l'air par rapport à l'hydrogène) contient un thermomètre très-sensible, et plonge dans un vase fermé dans lequel on fait circuler l'autre gaz, l'hydrogène ou l'air. Un tube de verre traversant le bouchon qui ferme le vase poreux le fait communiquer tantôt avec l'air libre (pression constante), tantôt avec un manomètre; le tout est entouré d'une double enveloppe isolante de coton. On observe le thermomètre à distance à l'aide d'un cathétomètre.

M. Dufour distingue ainsi dans ses recherches le cas de la diffusion à pression constante de la diffusion à pression variable. Voici les résultats qu'il a obtenus :

1° Diffusion à pression constante. — Soit, par exemple, le cas de l'hydrogène et de l'air. Au début de l'expérience, on commence par amener de l'air autour de la paroi poreuse comme dans l'intérieur, pour établir l'équilibre de température; puis on fait circuler de l'hydrogène, et l'on voit alors le thermomètre baisser dans l'intérieur de la paroi. Un grand nombre d'expériences ont montré qu'il y a toujours élévation de température du côté où le gaz diffusant ressort de la paroi.

M. Dufour croit que ce changement de température ne s'accomplit pas dans toute la masse gazeuse, mais seulement à la surface de la paroi poreuse; il se représente que, du côté où le gaz entre, il y a condensation, compression, partant développement de chaleur, et de

Charpentier.

13

l'autre, au contraire, expansion du gaz et, par suite, absorption de chaleur.

2° Diffusion avec changement de pression. — Dans ce cas, le phénomène est compliqué des variations que la température subit avec la pression.

Lorsque le gaz diffusant entre dans le vase poreux, le thermomètre qui s'y trouve indique d'abord une petite élévation de température résultant d'une augmentation de pression rapide, il baisse après cela d'une quantité beaucoup plus grande (un dixième de degré, par exemple), recommence ensuite à monter lentement, baisse de nouveau par suite de la sortie de l'autre gaz et de la raréfaction qui se produit, puis monte enfin très-notablement, conformément à ce qui a été observé plus haut, dans le cas de pression constante.

Dans le cas de diffusion entre l'air sec et l'air humide, la loi de variation de la température est conforme aux faits précédents (1).

M. Merget a étudié des faits de thermo-diffusion gazeuse analogues à ceux de M. Dufour, d'abord sur des feuilles de *nelumbium*, puis sur des vases poreux ou des substances pulvérulentes.

Il vit, comme l'avait depuis longtemps signalé Raffenau-Delille, que si l'on emplit d'eau une feuille de *nelumbium* contournée en entonnoir, et qu'on fasse agir sur cette feuille les rayons solaires, il se fait une diffusion de l'air atmosphérique des parties chaudes vers les parties froides, et que l'air se dégage au point de contact de l'eau et de la face interne de la feuille.

On peut faire diffuser de la même façon différents

(1) Dufour. Congrès de la Société helvétique des sciences naturelles, 1872. — Comptes-rendus de l'Ac. des sciences, 1874, t. 78.

gaz, tels que l'air, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, le protoxyde d'azote.

Ce dégagement de gaz est lié à l'échauffement inégal de la feuille, échauffement qu'on peut réaliser à l'aide de n'importe quelle source de chaleur.

Les mêmes faits se produisent par l'échauffement inégal de vases poreux ou de substances pulvérulentes quelconques, pourvu qu'on les humecte d'eau.

En somme, dans ces conditions, il se fait une évaporation inégale sur la surface du vase ou de la feuille, et il se produit un courant gazeux dirigé de la face qui évapore le plus à celle qui évapore le moins (1).

Il peut se produire dans la diffusion des gaz des faits de décomposition chimique analogues à ceux que nous avons signalés précédemment pour la diffusion des liquides.

Ainsi, M. Pebal a pu décomposer partiellement la vapeur de chlorhydrate d'ammoniaque en ammoniaque et acide chlorhydrique, en la faisant passer à travers des tampons d'amiante (2).

La diffusion des gaz peut se faire à travers des métaux incandescents aussi bien qu'à travers des cloisons poreuses à la température ordinaire, comme l'ont prouvé les expériences de MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost et d'autres auteurs. Mais dans ce cas il se produit plutôt des phénomènes d'osmose, les métaux exerçant alors sur les gaz une action élective spéciale. Nous reviendrons donc plus loin sur ces phénomènes, en-

(1) Merget. Comptes-rendus de l'Ac. des sciences, 1873, t. LXXVII, p. 1468, et 1874, t. LXXVIII, p. 884.

(2) Pebal. *Ann. der Chemie und Pharmacie*, t. 124.

les rapprochant de l'action des matières colloïdes sur les gaz.

B. — ABSORPTION DES GAZ PAR LES MEMBRANES
OSMOGÈNES.

Les membranes colloïdes dont on se sert le plus ordinairement pour produire l'osmose, exercent sur les gaz une certaine action tout à fait comparable à leur action sur les substances liquides. Une proportion particulière de chaque gaz est dissoute par la membrane, que celle-ci soit sèche ou mouillée.

Graham, qui découvrit ce fait, y fut amené par l'étude qu'il fit de la vitesse de diffusion des gaz à travers le caoutchouc, comme il avait déjà fait pour les cloisons poreuses.

Il vit que, si l'on représente par 1 la vitesse de l'azote, on a pour celle des différents gaz étudiés les nombres suivants :

Azote.	1
Oxyde de carbone. . .	1,113
Air atmosphérique. .	1,149
Gaz des marais. . . .	2,148
Oxygène.	2,556
Hydrogène.	5,500
Acide carbonique. .	13,585

Ces chiffres n'ont, comme on le voit, aucun rapport avec les densités de ces différents gaz. Il intervient donc là un phénomène différent de la simple diffusion.

Déjà, en 1834, Mitchell, de Philadelphie, avait remarqué que l'hydrogène contenu dans les ballons de caoutchouc dont s'amusaient les enfants diminue peu à peu de volume ; alors répétant l'observation avec des ballons pleins de différents autres gaz, il avait comparé les vitesses avec lesquelles ils se diffusaient vers l'air à travers le caoutchouc. Il avait trouvé l'ordre suivant, en commençant par les gaz les plus rapides : ammoniaque, hydrogène sulfuré, cyanogène, acide carbonique, protoxyde d'azote, hydrogène arsénié, gaz oléfiant, hydrogène, oxygène, oxyde de carbone et azote. L'azote sort 200 fois moins vite que l'ammoniaque (1).

Cet ordre répond parfaitement à celui de Graham. Il est à remarquer que les gaz les plus diffusibles à travers le caoutchouc sont les plus liquéfiables et les plus solubles dans l'eau.

« Dans le cas présent, dit Graham, il y a ici une sorte d'affinité en jeu entre le caoutchouc et le gaz, analogue à celle qui existe entre un corps soluble et son dissolvant. » Dans le passage du gaz à travers le caoutchouc, les fonctions de gaz sont complètement suspendues, il est pour ainsi dire à l'état liquide. « Lorsque le caoutchouc est saturé de gaz liquéfié, celui-ci, rencontrant un espace vide ou, ce qui revient au même, un gaz différent, reprend l'état gazeux. »

Pour confirmer cette explication, Graham prouve que le caoutchouc, en effet, absorbe et retient le gaz. « Un bloc de caoutchouc de 50 grammes, exposé dans une atmosphère d'oxygène, puis dans le vide pendant vingt-quatre heures, abandonna 6,22 pour 100 de son volume de gaz oxygène ; ce gaz est donc environ deux fois plus

(1) Mitchell. *Journal of royal Institution*, t. II.

soluble dans le caoutchouc solide que dans l'eau. L'hydrogène n'est que très-faiblement absorbé par le caoutchouc.

« La chaleur exerce une grande influence sur la perméabilité du caoutchouc, et cette influence paraît être complexe. Une augmentation de chaleur éloigne le gaz de son point de liquéfaction et le rend moins absorbable par la substance colloïdale, tandis que d'un autre côté le caoutchouc se rapproche plus de l'état liquide et acquiert des propriétés dissolvantes plus marquées; la résultante de ces deux effets est d'augmenter le passage des gaz. Ainsi :

à 4°	1 mètre carré	laisse passer	0,56 cc.	d'air par min.
à 14°	—	—	2,25	—
à 60°	—	—	6,63	—

les volumes de gaz étant ramenés aux mêmes conditions de température et de pression.

« La faculté de retenir les gaz varie avec le degré de ramollissement du caoutchouc. Cette substance, chargée à 20° d'acide carbonique et exposée au froid, perd moins rapidement son gaz à l'air que si elle est maintenue molle. Ainsi, après quarante-huit heures, le caoutchouc dur retient 10,76 p. 100 de son volume d'acide carbonique, tandis que, ramolli, il ne retient que 7,08 p. 100. » On remarque des faits analogues avec les métaux (1).

On voit donc que les colloïdes à l'état sec absorbent les gaz en proportions spéciales, comme pour les liquides. Occupons-nous maintenant des membranes mouillées.

Dans les membranes organiques imbibées d'eau, il y

(1) Graham. *Ann. de chim. et de phys.*, 1837, 4^e série. t. XII.

a tout lieu de croire que les gaz se dissolvent principalement dans ce dernier véhicule. Le tissu de la membrane elle-même est-il susceptible d'absorber pour sa part une certaine portion de gaz, c'est ce qu'on ne sait pas, par faute d'expériences directes.

Quant à la manière dont un gaz se dissout dans un liquide, on se rappelle qu'elle est régie par les lois suivantes (lois de Henry et de Dalton) :

1° Pour une même température, un liquide dissout toujours une même fraction de son volume d'un gaz, quelle que soit la pression extérieure de ce gaz (le volume dissous étant naturellement rapporté à cette pression).

2° Lorsqu'un même gaz se trouve en présence d'un même liquide, chacun d'eux est absorbé comme s'il était seul.

On appelle coefficient de solubilité dans un liquide, ou coefficient d'absorption, le volume de gaz (rapporté à 0° et à la pression de 760) que dissout l'unité de volume de ce liquide. Sa valeur diminue avec la température.

Voici, d'après Bunsen et Carius, quel est le coefficient de solubilité de plusieurs gaz dans l'eau pure.

	A 0°.	A 10°.	A 20°.
Azote.	0,020	0,016	0,014
Hydrogène.	0,019	0,019	0,019
Oxygène.	0,041	0,032	0,028
Acide carbonique. . . .	1,798	1,184	0,901
Protoxyde d'azote. . . .	1,305	0,919	0,670
Acide sulfureux.	79,785	56,647	39,374
Ammoniaque.	1049,600	812,800	654,070
Air atmosphérique. . . .	0,024	0,019	0,017

Un fait digne de remarque, c'est que l'oxygène et l'azote n'ayant pas le même coefficient de solubilité, l'air en dissolution dans l'eau n'aura pas la même composition que l'air atmosphérique. Il est facile de calculer que cet air dissous doit contenir 35 volumes $\frac{1}{2}$ d'oxygène et 66 volumes $\frac{1}{2}$ d'azote. Il est donc plus riche en oxygène que l'air atmosphérique. L'expérience confirme entièrement ces données. Les animaux aquatiques ont donc à leur disposition un air plus oxygéné que les animaux aériens. Il est vrai que cet air est moins abondant, en quantité absolue.

De ces chiffres il résulte que les membranes humides doivent absorber à peu près les mêmes proportions relatives des différents gaz ci-dessus que les membranes sèches en caoutchouc. L'hydrogène seul paraît être absorbé d'une manière légèrement différente.

Nous avons dit que les métaux chauffés au rouge paraissent se comporter jusqu'à un certain point, vis à vis des gaz, de la même manière que des corps colloïdes.

MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost ont, en effet, montré que si de l'azote et de l'hydrogène étaient séparés par un tube de fer rouge, l'hydrogène traversait la paroi métallique pour se rendre vers l'azote (1). M. Caillietet a depuis observé le même fait.

Le platine au rouge laisse aussi passer l'hydrogène (H. Sainte-Claire Deville).

Graham a vu que ce gaz passait au travers d'une lame épaisse de 1 millimètre et portée au rouge, quatre fois plus vite qu'à travers une même membrane de caoutchouc offrant la même surface. Quant aux autres gaz, oxygène, azote, chlore, acide chlorhydrique, vapeur

(1) Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, t. LII et LVII.

d'eau, acide carbonique, oxyde de carbone, hydrogène proto et bicarboné, acide sulfhydrique, gaz ammoniac, ils passaient aussi à travers le métal, mais environ 1000 fois plus lentement que l'hydrogène.

MM. H. Sainte Claire-Deville et Troost ont aussi constaté le passage de l'oxyde de carbone au travers des poêles chauffés au rouge ; c'est de là que viennent probablement en grande partie les dangers auxquels expose l'usage de ces appareils de chauffage (1).

Ces phénomènes sont dus, comme ceux de l'osmose gazeuse ordinaire, à ce que dans ces conditions les métaux absorbent ou dissolvent des gaz. Cette absorption a reçu le nom d'*occlusion*.

F. Savart a vu que le fer ou le cuivre incandescents, entourés d'un courant d'ammoniaque, absorbaient de l'azote et augmentaient de poids. L'argent chauffé au rouge absorbe 18 ou 20 fois son volume d'oxygène.

Le platine fondu absorbe les 2 dixièmes de son volume d'hydrogène, le platine forgé en absorbe de 2 à 3 volumes $1/2$. Le palladium, à 245° absorbe 526 fois son volume d'hydrogène, et 643 fois à 97°. Il exclut même ce gaz à froid, puisqu'à 19° il peut absorber jusqu'à 376 fois son volume d'hydrogène. La vapeur d'éther est absorbée comme l'hydrogène par le palladium à la température ordinaire (Graham).

Tels sont les principaux exemples qu'on peut donner de l'occlusion des gaz par les métaux. Graham attribue ces faits à une sorte de liquéfaction de ces gaz dans l'épaisseur du métal. C'est à ce titre qu'il était curieux de rapprocher ces faits de l'absorption du gaz par les membranes colloïdales.

(1) Comptes-rendus de l'Ac. des sciences, t. LXVI.
Charpentier.

C. ECHANGES OSMOTIQUES ENTRE LES GAZ.

Il y a, en somme, peu d'expériences relatives à l'osmose gazeuse proprement dite.

Nous avons cité l'observation de Marianini, qui vit des bulles d'hydrogène s'emplir d'acide carbonique dans une atmosphère de ce gaz.

Graham vit une vessie remplie d'air se gonfler et éclater dans une atmosphère d'acide carbonique ou d'acide sulfhydrique. Matteucci vit aussi l'acide carbonique s'endosmoser vers l'air à travers un poumon isolé d'agneau.

Mais ce n'est là, pour ainsi dire, qu'un état embryonnaire de la question.

Les premières expériences d'osmose gazeuse vraie sont dues à M. le professeur Bécclard (1851), qui établit comme pour l'osmose des liquides, une relation directe entre les chaleurs spécifiques des gaz et l'intensité de leur échange osmotique. Il se servit d'un petit appareil fort commode qui se trouve décrit et figuré dans sa *Physiologie* (§ 142).

Plus tard viennent les expériences de Graham, qui sont à proprement parler des expériences de dialyse gazeuse ou d'*atmolyse*.

Par exemple, Graham remplit un ballon d'hydrogène et l'expose à l'air; au bout de trois heures, il a diminué de volume et contient un mélange de 8,98 p. 100 d'oxygène, de 12,60 d'azote et de 78,42 d'hydrogène. Donc en même temps qu'il sortait de l'hydrogène du ballon, il rentrait de l'azote et de l'oxygène dans des propor-

tions différentes de celles de l'air, car il passait 41,6 d'oxygène pour 58,4 d'azote, par conséquent un air suroxygéné.

Si le ballon plein d'hydrogène est placé dans l'acide carbonique, au bout de quatre heures il ne contient plus que 21 p. 100 de ce gaz ; le reste est formé d'air suroxygéné (37,1 d'oxygène pour 62,9 d'azote).

Il répéta les mêmes expériences avec des membranes de caoutchouc vulcanisé ou non, et obtint des résultats analogues. La gutta percha ne produisait pas d'atmolyse sur l'air extérieur.

Les seules expériences suivies d'osmose gazeuse vraie sont celles de Ch. Boulland, de Limoges (1873).

Elles ont été faites à l'aide de l'instrument que nous avons décrit à propos de l'osmose liquide, et qu'il appelle *osmopneumètre*. Les gaz s'osmosent à travers la fine tunique fibreuse de l'estomac de la grenouille. Cet appareil est très-ingénieux ; le seul reproche dont il soit passible est de soumettre le gaz renfermé dans l'instrument à la pression, légère, il est vrai, de 4 ou 5 centimètres de mercure.

La membrane doit toujours être mouillée pour l'expérience.

L'auteur a fait 81 expériences d'osmose gazeuse, dont nous allons résumer les plus intéressantes. Elles ont été faites à la température ambiante.

D'abord un fait remarquable est que l'azote attire à lui tous les gaz mis en expérience, et ne s'endosmose vers aucun d'eux. Ainsi, l'oxygène, l'hydrogène, l'acide carbonique, l'air (très-peu), le cyanogène, l'hydrogène phosphoré, l'acide cyanhydrique, l'oxyde de carbone, le protoxyde d'azote, la vapeur d'éther sulfurique, celle du chloroforme, tous ces gaz s'endosmosent vers l'azote.

L'endosmose la plus forte vers ce gaz est celle de l'acide carbonique; un peu plus faibles sont celles du protoxyde d'azote et du cyanogène. L'équivalent endosmotique de l'azote par rapport à l'acide carbonique serait de 5 environ.

L'oxygène est aussi un gaz assez fixe, c'est-à-dire attirant à lui la plupart des gaz : l'acide carbonique, l'hydrogène, le cyanogène, l'hydrogène phosphoré, l'acide cyanhydrique, le protoxyde d'azote, l'oxyde de carbone, l'acide sulfhydrique s'endosmosent vers lui. L'acide carbonique se rend vers l'oxygène avec la même intensité que vers l'azote.

L'air devra donc, lui aussi, attirer fortement les gaz, surtout l'acide carbonique, pour lequel nous voyons en effet que son équivalent a varié entre 6 et 7. Notons même que cette valeur doit être légèrement trop faible, à cause de la pression supportée par le gaz intérieur.

Les autres gaz expérimentés s'endosmosent tous vers l'air.

L'acide carbonique s'endosmose assez fortement vers l'hydrogène, vers le gaz d'éclairage, vers le protoxyde d'azote, vers l'hydrogène perphosphoré, à un moindre degré vers le protoxyde d'azote et vers l'acide cyanhydrique. Il attire le cyanogène et l'éther sulfurique.

Notons enfin, à cause de son extrême lenteur, l'endosmose de l'hydrogène perphosphoré soit vers l'hydrogène, soit vers l'air atmosphérique.

Si nous dressions une liste de ces divers gaz, suivant l'ordre de leur fixité, c'est-à-dire en commençant par ceux qui attirent le plus fortement les autres, nous aurons en première ligne l'azote, puis l'acide cyanhydrique (en vapeur), l'oxyde de carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'hydrogène phosphoré, le cyanogène, le

protoxyde d'azote, et en dernier lieu l'acide carbonique.

C'est, du moins pour les gaz dont nous connaissons la solubilité dans l'eau, le même ordre que suit cette dernière. Par conséquent, plus un gaz est soluble, plus il s'endosmose facilement.

Une application intéressante du fort pouvoir osmotique de l'azote est l'expérience suivante que fit Ch. Boulland :

Ayant empoisonné par l'acide carbonique deux grenouilles d'égale force, il les sortit de cet amosphère au moment où elles eurent complètement perdu la sensibilité et le mouvement, et il les plaça, l'une dans l'air, l'autre dans du gaz azote pur. Celle qui était dans l'azote fut la première à donner signe de vie ; cela eut lieu au bout de 4 ou 5 minutes ; l'autre ne remua que 6 minutes après avoir été rendue à l'air libre.

Le fort pouvoir endosmotique de l'azote pour l'acide carbonique peut expliquer ce fait que l'élimination de ce dernier gaz fut tout aussi rapide et même plus rapide, dans l'azote que dans l'air (1).

Nous signalerons en dernier lieu les expériences de diffusion gazeuse faites par M. Barthélemy (1873) à travers la cuticule des feuilles de Bégoniacées. Ces feuilles se comportent à peu près comme des membranes de caoutchouc, substance avec laquelle elles ont beaucoup d'analogies.

L'air qui se diffuse à travers ces cuticules est sur-oxygéné et contient en moyenne 36 p. 100 d'oxygène.

Quant à la vitesse de diffusion des gaz à travers ces cloisons, elle est très-grande pour l'acide carbonique,

(1) Ch. Boulland. *Loc. cit.*, p. 74 et suiv.

quinze fois moindre environ pour l'azote et six fois plus faible pour l'oxygène.

Cette propriété de la cuticule est bien propre à favoriser chez les plantes l'absorption de l'acide carbonique par les feuilles, absorption qui est si importante pour la vie végétale (1).

D. — THÉORIE DE L'OSMOSE GAZEUSE.

En somme, si le nombre des faits étudiés relativement à l'osmose des gaz est peu considérable, l'interprétation du phénomène en lui-même est assez facile et ne prête pas à beaucoup de contradictions.

Le mécanisme de l'osmose gazeuse nous rappelle celui de l'osmose des liquides, sur lequel nous avons précédemment insisté.

Deux gaz sont séparés par une membrane. Celle-ci absorbe de chacun un volume déterminé, augmentant généralement avec la température : chacun des gaz ainsi absorbés, liquéfiés par la membrane, a sa part de tension en rapport avec la proportion pour laquelle il entre dans le mélange. D'un côté de la membrane, il se trouve en présence d'un gaz identique, à une pression supérieure; de l'autre côté il est en contact avec un gaz différent, dans lequel il se diffuse comme dans le vide. Plus sa tension est forte, c'est-à-dire plus il est en forte proportion dans le mélange absorbé par la membrane, et plus il se diffusera dans l'autre gaz. Quant à la membrane

(1) Barthélemy. Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, 1873, t. LXXVII.

elle-même, elle répare ses pertes au fur et à mesure, se trouvant en présence d'une masse de gaz supérieure à sa propre capacité absorbante.

La vitesse relative avec laquelle chaque gaz traversera la membrane pour se diffuser dans le gaz opposé, est donc en rapport avec la composition du mélange gazeux absorbé par la membrane.

Nous voyons donc combien le rapprochement de l'osmose liquide et de l'osmose gazeux facilite la conception générale du phénomène. Cette conception n'est pas complète, tant s'en faut, mais aussi faut-il être bien convaincu que l'expérience est loin d'avoir dit son dernier mot sur cette question.

E. — OSMOSE ENTRE GAZ LIBRE ET GAZ DISSOUS.

On s'est, nous l'avons déjà dit, fort peu préoccupé d'étudier le cas où un gaz libre est séparé par une membrane colloïde d'un gaz en solution liquide.

Nous savons ce qu'il arrive quand le gaz dissous se trouve en contact immédiat avec un gaz libre différent. Il se précipite dans ce dernier comme dans le vide, jusqu'à ce que la tension du gaz dégagé fasse équilibre à celle du gaz encore dissous. Cela dépend du volume que le gaz dissous trouve devant lui ; plus ce volume est limité, moins le dégagement sera considérable ; si ce volume est indéfini, le gaz dissous se dégagera tout entier.

Cette condition est évidemment capitale, elle conserve encore toute sa valeur quand le liquide est séparé du gaz libre par une membrane.

Seulement, dans ce dernier cas, la vitesse de dégagement du gaz dissous sera retardé par la capacité d'absorption de la membrane; moins la membrane sera capable d'absorber de ce gaz, et moins il s'en diffusera dans un temps donné.

D'autre part, le gaz libre ne reste pas inactif en présence du liquide; il s'en dissout dans ce dernier une quantité qui dépend du coefficient d'absorption du liquide pour le gaz en question. De cette façon, le gaz libre ne se répandra pas dans le liquide comme il se fût répandu dans le vide ou dans un autre gaz; il se comportera comme s'il se trouvait en présence d'un gaz semblable possédant déjà une tension déterminée, tension inverse de sa solubilité.

Si à cette cause de retard dans la vitesse d'expansion du gaz dans le liquide, on ajoute le retard causé par l'absorption limitée de ce gaz par la membrane, on voit qu'à affinité égale de celle-ci pour les deux gaz, le gaz dissout se dégagera plus vite que le gaz libre ne se dissoudra.

Il est cependant des cas où l'avantage n'est pas aussi marqué en faveur du gaz dissout. Il peut arriver en effet que le gaz libre soit extrêmement soluble dans le liquide, ou qu'il soit attiré du côté de ce dernier par une affinité chimique considérable. Dans ces deux cas, sa vitesse de diffusion se rapprochera beaucoup de celle qu'il aurait en entrant dans un autre gaz ou dans le vide, et pourvu que la membrane absorbe à peu près également le gaz libre et le gaz dissout, l'entrée sera égale à la sortie.

Examinons par exemple ce qui se passe dans l'échange gazeux pulmonaire. L'acide carbonique dissout dans le sérum du sang se dégage par le seul fait de la

présence, à l'extérieur, du même gaz à une moindre tension. Quant à l'oxygène, pour pénétrer dans le sang en quantité suffisante, il a besoin soit d'une solubilité très-grande, ce qui n'est pas le cas, soit de l'attraction d'une substance intra-vasculaire très-avide de ce gaz. Or, cette substance existe en effet dans le sang, c'est l'hémoglobine, qui attire par son affinité spéciale l'oxygène introduit dans le poumon pendant l'inspiration.

Il suffit de citer cet exemple pour faire comprendre tout l'intérêt qui s'attacherait à ce que cette dernière partie des phénomènes osmotiques fût soumise à une étude expérimentale complète.

APPLICATIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'OSMOSE.

Si l'on voulait suivre en détail toutes les applications physiologiques des lois physiques de l'osmose, la tâche serait lourde et ingrate. Il nous suffira d'indiquer ici à quels points principaux il faudrait s'attacher pour faire une telle étude, et d'en montrer toutes les difficultés.

Le premier phénomène physiologique que l'on rencontre, le plus général, c'est la nutrition, propriété commune à tous les éléments vivants.

Or, nous avons vu déjà que les phénomènes osmotiques jouaient un grand rôle dans la nutrition, mais non le rôle principal. Mais il est bien difficile de préciser la limite qui, par exemple, dans l'absorption des matériaux nutritifs par la cellule, sépare ce qui revient à la physique de ce qui revient à la chimie, de même

Charpentier.

15

qu'à propos de l'affinité que possèdent les colloïdes pour l'eau et les solutions aqueuses, nous n'avons pas tenté d'attribuer le phénomène à des forces chimiques plutôt qu'à des forces physiques : la distinction eût été fort difficile. En somme, l'osmose intervient dans la vie cellulaire, mais, par son mélange avec les phénomènes de pure affinité chimique si nombreux et si mobiles que présente la substance vivante, elle constitue en réalité un phénomène d'un caractère particulier dont l'étude relève de la physiologie seule.

Il en est de même pour ce qu'on nomme la respiration des tissus et des éléments vivants. Vouloir distinguer dans ce phénomène ce qui relève de la nutrition de ce qui est simple osmose gazeuse, serait tout au moins prématuré. Tous les tissus vivants, quels qu'ils soient, végétaux ou animaux, absorbent de l'oxygène et éliminent de l'acide carbonique, c'est un fait bien démontré aujourd'hui. Mais comment a lieu cette absorption d'oxygène ? Sans aucun doute, bien plutôt par l'affinité des tissus que par la solubilité de ce gaz dans le liquide qui les imbibe. Quant à l'exhalation de l'acide carbonique, elle se fait évidemment quand la tension de ce gaz dans les tissus arrive, par le fait de sa production incessante, à dépasser la tension de ce gaz dans l'air. Mais quel est le rapport qui, dans l'élément lui-même, lie la production de l'acide carbonique, sa quantité, à la tension qui le pousse au dehors ? Voilà ce qu'on ignore. Quant au mode de production même de ce gaz, il constitue pour nous une énigme encore plus profonde.

Si, laissant de côté ces phénomènes intimes de la vie cellulaire, qui sont encore si obscurs pour nous, nous arrivons à des faits plus spéciaux, tels que ceux de l'absorption chez les organismes complexes, l'analyse est

moins difficile et cependant encore bien incomplète.

Examinons d'abord ce qui se passe chez les plantes. M. le professeur Baillon nous a donné récemment l'état de la science sur ce point (article *Absorption* du Dictionnaire de botanique); nous résumerons en quelques mots ses conclusions principales.

L'absorption, uniforme chez les végétaux à éléments homogènes, se circonscrit à des parties spéciales chez les végétaux à éléments plus différenciés.

Les racines absorbent des gaz, aussi bien ceux qui sont délétères que ceux qui sont indispensables à la plante. Elles absorbent non-seulement l'oxygène, mais l'azote, l'hydrogène, l'acide carbonique. De même, les racines aériennes paraissent absorber les gaz ambiants, alors même que ces gaz sont neutres et ne détruisent pas leurs tissus. Pour l'eau, on ne sait pas bien si elle est absorbée à l'état de vapeur.

Les racines absorbent aussi de l'eau et des matières dissoutes. Il se fait alors une véritable élection, une dialyse, par laquelle la racine choisit certains matériaux dans des proportions déterminées. Des faits antérieurs et de ses expériences sur l'absorption d'une solution colorante de *phytolacca*, M. Baillon conclut : « Les racines ne sont pas seulement des organes d'absorption, ce sont encore des instruments dialyseurs d'une grande délicatesse, qui ne peuvent absorber indifféremment, avec l'eau, toutes les substances dissoutes ; mais elles peuvent prendre aussi au sol des corps parfaitement insolubles dans l'eau et que ce liquide seul ne pourrait introduire dans leur intérieur. Dans ce cas, elles rendent ces corps solubles en les modifiant par les excréments acides qu'elles produisent. »

L'eau absorbée par les racines s'élève de cellule en cellule, comme Dutrochet l'admettait, jusqu'aux cellules les plus supérieures, dont le contenu, perdant de l'eau par évaporation au contact de l'atmosphère, devient plus concentré, plus avide d'eau. Il se fait ainsi, de proche en proche, un mouvement endosmotique des cellules les plus hydratées jusqu'à celles qui sont plus pauvres en eau. Mais nous pensons, avec M. Baillon, que ce transport n'est pas seulement un phénomène physique, mais un résultat de la vie du protoplasma cellulaire. Ce que nous avons dit plus haut sur l'absorption nutritive s'applique rigoureusement ici.

Les feuilles absorbent les gaz et les vapeurs (même les vapeurs mercurielles) mais cela sans sélection, paraît-il. L'absorption se fait alors principalement par les stomates. Nous avons vu plus haut, avec M. Merget, les gaz se diffuser à travers les feuilles sous l'action de la chaleur, et, comme cet auteur l'a montré dernièrement, sous l'action de toutes les causes capables de produire une rupture d'équilibre entre l'atmosphère extérieure et l'atmosphère intérieure de la feuille (1).

Les feuilles absorbent aussi des liquides; elles paraissent pouvoir absorber notamment de l'eau dans de certaines conditions (expériences de M. de Lanessan, de M. Baillon).

D'autres organes absorbent des liquides avec une grande intensité; parmi eux il faut citer les grains de pollen et les graines lors de la germination. Parmi ces dernières, il en est qui absorbent de l'eau seulement dans leur couche superficielle, qui se gonfle sous cette influence et finit par éclater.

(1) Merget. Comptes-rendus de l'Ac. des sciences, 17 juin 1868.

Dans tous ces phénomènes, et dans bien d'autres dont nous ne parlons pas (entre autres dans les phénomènes d'égestion ou d'excrétion), l'osmose doit jouer un rôle important. Mais il est partout extrêmement difficile de le distinguer de celui que joue l'activité du protoplasma.

Il en est de même dans la physiologie animale.

Les phénomènes d'absorption qui s'opèrent chez les animaux, s'effectuent, eux aussi, surtout par osmose. Mais, pour peu que l'on se rappelle les expériences de Cima et Matteucci, que nous avons exposées précédemment, on verra qu'il est très-difficile d'analyser toutes les conditions qui influent simplement sur la partie physique du phénomène.

Tous les tissus absorbants sont doués d'une structure complexe. Nous n'en voulons pour exemple que la villosité intestinale, un des plus puissants organes d'absorption. Or, il faudrait se rendre compte des modifications apportées au liquide absorbable par les différentes couches à travers lesquelles il passe, pour pouvoir apprécier la valeur et les conditions variables de l'osmose intestinale. Au lieu de cela, quelques auteurs ont fait abstraction des tissus intermédiaires et se sont posé le problème de la sorte : Étant donnés différents liquides absorbables et un milieu très-osmotique comme le sang, que va-t-il se passer ? Dans les cas les plus généraux, il est bien évident que les liquides les plus diffusibles se rendront dans le sang, mais ce n'est pas constant. Dans la diarrhée, par exemple, quoique le sang n'ait pas changé de composition, c'est le contraire qui arrive. En somme, il se produit là sûrement des actions osmotiques nombreuses, mais très-difficiles à analyser parce qu'on ne peut les séparer des actions vitales des

tissus : c'est ce qu'a très-bien montré M. Vulpian à propos des purgatifs.

Nous pourrions suivre une à une toutes les absorptions particulières, dans l'appareil digestif, dans l'appareil respiratoire, dans le tissu sous-cutané, dans les cavités séreuses, dans les glandes, et nous retrouverions partout les mêmes conditions complexes qui nous interdiraient d'appliquer directement à ces absorptions les lois physiques de l'osmose. Ce n'est pas que tous ces faits ne soient soumis à ces lois physiques bien déterminées (aucun phénomène naturel n'échappe à cet empire), mais leurs diverses conditions sont encore trop incomplètement connues.

Seules, les conditions physiques de l'absorption d'oxygène, par le poumon, sont assez bien élucidées aujourd'hui, grâce surtout aux travaux récents de M. P. Bert. On sait que la pénétration de l'oxygène dans le sang dépend de la quantité de ce gaz introduite dans le poumon, quantité qui est en rapport direct avec la proportion d'oxygène de l'air. Or celle-ci résulte, nous le savons, et de la composition de l'air et de sa pression. Comme il faut à l'animal une certaine proportion constante d'oxygène pour vivre, il ne peut vivre dans un air pauvre en oxygène que si la pression extérieure augmente suffisamment, et dans un air à faible pression que si cet air est suroxygéné. Nous ne faisons que rappeler en un mot ces faits bien connus, pour montrer combien ils s'accordent avec ceux que nous avons précédemment étudiés dans l'osmose gazeuse.

Pour terminer ce court article, il nous reste à parler d'un fait qu'on donnait, naguère encore, comme caractéristique de la vie. Le protoplasma vivant, disait-on, n'absorbe pas les matières colorantes, qu'elles soient

en suspension dans l'eau (carmin), ou en dissolution parfaite (phytolacca, expériences de Baillon); il les dialyse pour ainsi dire, il les concentre en leur enlevant de l'eau pure. Or, sans parler de la fixation de la garance par les os vivants, et du carmin d'indigo par l'hépithélium du rein, MM. Pouchet et Legoff ont pu teindre récemment les éléments cellulaires et fibreux des tendons par l'injection de carmin dans les sacs lymphatiques de la grenouille vivante; d'un autre côté, MM. Max. Corhn et Maire ont coloré, avec différentes matières dissoutes, les éléments vivants de plusieurs plantes bulbeuses. Nous avons vu plus haut quelles sont les véritables particularités de l'osmose dans les éléments vivants.

113	Applications physiologiques de l'osmose
114	E. Osmose entre gaz libres et gaz dissous
110	D. Théorie de l'osmose gazeuse
108	C. Relations osmotiques entre les gaz
100	B. Absorption des gaz par les membranes osmotiques
94	A. Diffusion des gaz
92	Osmose des gaz
88	A. Théorie de l'osmose des mélanges
88	Principe
88	1. Formation et accroissement de cellules à membrane
88	osmose
88	2. Décomposition chimique produite par l'os-
80	4. Dialyse
79	3. Osmose entre mélanges de plusieurs substances
77	6. Osmose entre liquides purs et eau
75	5. Exemples des phénomènes
75	A. Phénomènes osmotiques complexes

TABLE DES MATIÈRES.

DÉFINITION	1
HISTORIQUE	3
Osmose des liquides	14
A. Moyens d'étude	14
B. Phénomènes fondamentaux	20
C. Pouvoir osmotique des différents liquides	24
D. Équivalents endosmotiques	31
E. Influence de la membrane sur l'osmose	35
F. Rapports de l'osmose avec la diffusion	52
G. Action de la chaleur sur l'osmose	67
H. Action de l'électricité sur l'osmose	68
I. Phénomènes osmotiques complexes	75
a. Exosmose des albuminoïdes	75
b. Osmose entre liquides autres que l'eau	77
c. Osmose entre mélanges de plusieurs substances	79
d. Dialyse	80
e. Décompositions chimiques produites par l'osmose	83
f. Formation et accroissement de cellules à membranes	83
J. Théories de l'osmose des liquides	88
Osmose des gaz	94
A. Diffusion des gaz	94
B. Absorption des gaz par les membranes osmogènes	100
C. Échanges osmotiques entre les gaz	106
D. Théorie de l'osmose gazeuse	110
E. Osmose entre gaz libre et gaz dissous	111
Applications physiologiques de l'osmose	113