

EDITORIAL

VOLTAIRE prétendait que les femmes s'ennuyaient chez elles et qu'elles « allaient aux eaux » surtout pour se distraire. Pour PASCAL, le malheur des hommes est dû à ce qu'ils ne savent pas demeurer en repos dans leur chambre... Avouons que la vie solitaire serait bien lugubre ; la vocation d'anachorète est assez rare... Au fond, les êtres humains sont comme les animaux, ils aiment se rassembler et ont, en outre, besoin de faire commerce aussi bien d'idées que de marchandises et, pourtant, l'harmonie ne dure pas toujours. Alternativement, il s'agit de s'unir, ou il s'agit de s'écarter les uns des autres.

C'est là un phénomène extrêmement général en toutes choses, inhérent à l'existence même de la Nature et qui s'observe aussi bien de manière spontanée que du fait de l'homme.

Tous comptes faits, il y a un éternel va-et-vient entre les actions agglomérantes et les actions dissociantes ; tantôt des associations d'êtres vivants ou de matières inanimées se constituent, tantôt des dislocations se produisent.

Si l'on y réfléchit bien, on peut dire que l'on passe le plus clair de son temps à démolir pour construire et une bonne part de la technologie consiste à séparer des matériaux combinés ou mélangés pour se servir des parties d'un tout en vue d'édifier un autre tout plus simple ou plus compliqué.

C'est ce qui arrive dans notre métier d'hydrologue où se manifestent continuellement des mécanismes de triage qui sont le fait souvent de la Nature, mais de notre point de vue, plutôt des hommes de l'art, tandis que les consommateurs s'emploient, eux, à tout mélanger, les eaux propres avec les résidus !

En l'occurrence, tenons-nous-en aux procédés de séparation. Si le tamisage est une technique purement mécanique pour le cuisinier, le mineur, le pharmacien, le maçon, et qui, en hydrurgie, est la première phase des traitements de purification et d'épuration, on peut, en réalité, en changeant d'échelle, étendre la notion de triage à la manière du tamis, infiniment plus loin.

Du tamis le plus grossier, puis le plus fin, qui est une toile métallique ou un tissu aux mailles plus ou moins serrées, on passe à la filtration. Il a déjà été noté dans ce Journal que l'arrêt par un filtre des grosses particules par rapport aux plus fines, lorsque les dimensions des pores diminuent, ne relève plus seulement de la géométrie.

Les systèmes de triage et de séparation sont multiples et les mécanismes impliqués nombreux. Ici, il s'agit, en délaissant les méthodes telles que distillation, électrolyse, électrophorèse, chromatographie et beaucoup d'autres, de réfléchir aux processus membranaires, lesquels s'apparentent en somme au tamisage et à la filtration.

On doit à l'Anglais Robert HOOKE la découverte de la structure cellulaire des plantes. Une cellule est, à elle seule, un univers, mais un univers fini et limité par une enveloppe. A travers celle-ci se font, grâce à l'eau, phase liquide, les échanges entre le milieu intérieur

et le reste du corps de l'être vivant ou l'espace ambiant. Après l'observation du phénomène par l'Abbé NOLLET en 1756, c'est DUTROCHET, physiologiste, qui, le premier, en 1821, parla d'osmose ; puis, PFEFFER, en 1877, l'étudia expérimentalement, ce qui permit à VAN T'HOFF, en 1885, d'énoncer la fameuse loi qui porte son nom. De là, d'ailleurs, découlèrent les découvertes, par DE VRIES, puis ARRHÉNIUS, de l'ionisation des électrolytes en solution.

C'est à l'occasion de ces événements scientifiques extraordinaires que l'enveloppe cellulaire reçut la dénomination de membrane, parce que, comme la peau recouvre les membres, elle entoure le protoplasme, c'est-à-dire l'ensemble cytoplasme, noyau ou ce qui en tient lieu, vacuoles et autres organites cellulaires.

On a longtemps cru que la cellule animale ne possède pas de membrane proprement dite et ce n'est qu'il y a peu d'années, essentiellement grâce à la microscopie électronique, qu'a pu être mise en évidence l'existence, à la périphérie du protoplasme cellulaire, d'une pellicule différenciée se présentant comme une couche externe condensée du cytoplasme. On a pris l'habitude d'appeler cette zone membrane plasmique (ou ectoplasmique) cellulaire.

La cellule animale n'est limitée que par la membrane plasmique. Chez les végétaux, le protoplasme cellulaire est également limité par une membrane plasmique ; celle-ci est appliquée sur la face interne de la paroi extérieure. Cette dernière représente la membrane végétale de Dutrochet dont la rigidité va de pair avec l'immobilité des plantes. Les bactéries, elles, sont des êtres vivants qui sont souvent considérés actuellement, par PRÉVOT par exemple, comme n'étant ni des plantes, ni des animaux ; leur cytoplasme cellulaire, cependant, de même que chez les végétaux, est limité par une membrane plasmique et par une paroi externe à la fois élastique et rigide.

Il faut aussi ajouter que les organites intracellulaires sont eux-mêmes limités par des membranes.

Ces diverses structures, peu perméables à l'eau et aux composés hydrosolubles et séparant deux phases aqueuses, présentent à la fois des analogies et des différences. Dans tous les cas, il s'agit d'assemblages lamellaires.

La paroi, c'est-à-dire la membrane squelettique des cellules végétales, est formée d'une couche médiane pectique, doublée de part et d'autre d'une couche pectocellulosique, comportant la présence de microfibrilles de cellulose entrelacées, puis d'une couche de microfibrilles de xylanes ; ce dispositif s'épaissit et se modifie selon l'âge de la plante ; il est transpercé de canalicules dans lesquels il y a continuité du cytoplasme entre deux cellules contiguës. Chez les bactéries, la paroi externe permet les transferts et comprend de l'extérieur vers l'intérieur quatre assises successives lipoprotéique, lipopolyosidique, protéique et mucopeptidique ou aminopeptidopolyosidique, quant aux bactéries gram négatives, et, essentiellement par un assemblage macromoléculaire mucopeptidique associé à des lipides et polymères additionnels et responsables de la coloration indélébile, quant aux bactéries gram positives.

Dans les membranes plasmiques, dont l'épaisseur est, par exemple, de huit ou neuf nanomètres, la structure de base est constituée par une double couche de chaînes lipidiques perpendiculaires opposées, les groupes polaires hydrophiles orientés vers l'extérieur, en contact de chaque côté avec une assise protéique ; cette structure, siège d'interactions polaires lipidiques et protéiques, est assez simple ; elle est en réalité plus compliquée du fait de l'association constante à ce dispositif de phospholipides et de nucléoprotéides et, selon les cas, de glycolipides, de stérols, de groupes sulfhydryle, etc.

Ainsi, en gros, il existe une certaine uniformité morphologique des barrières périphériques cellulaires dont une première propriété, nécessaire, est d'être semi-perméables.

Il faut, en effet, que s'effectue un triage compliqué. L'eau, les ions, les molécules doivent passer, et ceci obligatoirement de manière sélective, malgré la pression hydrostatique intérieure élevée, sans pour autant que les composants métaboliques cellulaires internes soient éliminés cependant que d'autres sont évacués. En outre de l'osmose simple, il se fait un transport contre des gradients de concentration. Il a été démontré que dans le mécanisme de transport contre un gradient de concentration, se manifeste une activité respiratoire cellulaire dans laquelle interviennent des composants tels que la cytochrome-oxydase, c'est-à-dire qu'il existe un transfert d'électrons liés aux échanges d'eau et de corps dissous à travers les membranes. Mais, surtout, la couche lipidique membranaire, peu perméable, intervient par la nature de la ou des liaisons existant entre elle et les assises protéiques; or, dans ce lieu essentiel des échanges transmembranaires, fonctionne un système dont sont responsables certaines des enzymes présentes dans les membranes, les perméases; il s'établit un lien entre l'enzyme de perméation ou une molécule associée et une autre molécule douée d'une affinité spécifique pour celle-ci (substrat) et le complexe formé migre à travers la couche lipidique vers le cytoplasme où la molécule est libérée, tandis que l'enzyme retourne vers la couche protéique extérieure prête pour un nouveau cycle de transport et inversement.

Cette intrusion de l'éditorialiste dans le domaine de la biologie est imparfaite et incomplète, mais là réside la plus haute mission que la Nature a assignée à l'Eau. Doit-on penser que celle-ci a été pourvue de ses propriétés physico-chimiques en vue de cette prédestination ou est-ce le contraire? Toujours est-il que l'Homme trouve dans cet appareillage un modèle qu'il lui est impossible de ne pas chercher à imiter...

En vérité, les phénomènes biologiques membranaires naturels sont incomparablement plus complexes que ce qui précède permet d'en entrevoir et l'on ne connaît pas tout encore dans ce domaine (et d'ailleurs encore moins pour ce qui est de la cellule elle-même). La technologie des membranes artificielles modernes et ce qui peut s'y passer tendent à obtenir des effets rappelant les performances des membranes naturelles, mais ces derniers restent encore sans commune mesure et beaucoup trop simples par rapport aux comportements des systèmes biologiques.

Pourtant, depuis le parchemin de l'osmomètre de DUTROCHET et le vase poreux au ferrocyanure de cuivre de PFEFFER, un long parcours a été franchi — à une vitesse accélérée — grâce à la fois au développement de la chimie macromoléculaire et aux besoins industriels qui se font jour dans diverses directions depuis un certain temps. Des premiers colloïdes et celluloids, on est passé à toutes sortes de polymères filmogènes destinés surtout à des emplois comme matériaux de support, de protection, de couverture, sans compter les fibres textiles artificielles; l'application aux moyens de séparation, c'est-à-dire aux membranes à perméabilité sélective, à partir des possibilités fournies par l'industrie des matières plastiques, devait alors s'imposer peu à peu tout naturellement.

D'ailleurs, c'est à partir de produits polycondensés, classiques mais susceptibles de subir des modifications structurales secondaires par incorporation réactionnelle de molécules ou d'autres polymères convenablement choisis, que l'on peut aboutir à l'obtention d'un matériau membranaire ayant les qualités d'utilisation requises pour un emploi et des exigences déterminées. Parmi les polymères filmogènes modifiables, citons en premier lieu les esters cellulosiques dont l'acétate de cellulose, les chlorure, alcool, acétate et esters polyvinyliques, le polyacrylonitrile, les polysters, polyuréthanes, polyamides, polystyrènes, les polymères cycliques et polycycliques, les polymères fluorés, les silicones.

Les chimistes peuvent assez facilement faire subir à ces substances de base des variations de constitution et des combinaisons par coulage de mélanges de polymères et par des traitements provoquant des pontages internes et conduisant à une structure réticulaire tridimensionnelle insoluble, porteuse de radicaux divers. Au surplus, les possibilités techniques industrielles permettent de réaliser des matériaux qui, non seulement ont des propriétés physico-chimiques spéciales, mais présentent aussi les qualités désirables d'homogénéité, de faible épaisseur, de résistance mécanique et chimique et de mise en forme.

A côté des membranes artificielles fabriquées à partir de polymères non ioniques, tels que l'acétate et le diacétate de cellulose, une très grande place est tenue par les membranes échangeuses d'ions obtenues à partir de polymères de base modifiés par incorporation de radicaux sulfoniques ou carboxyliques et de sels d'ammoniums quaternaires. On fabrique également divers types de membranes ayant des propriétés particulières, notamment électriques ou encore de haute perméabilité aux gaz.

La fonction des membranes à perméabilité sélective, par rapport à une dispersion aqueuse, solution d'ions ou de molécules organiques ou sol de micelles colloïdales, est de laisser passer certaines particules, dont les molécules d'eau, et d'arrêter les autres; le transport comporte un aspect cinétique; à l'arrêt du passage correspond l'établissement d'un équilibre. La texture des membranes artificielles doit donc posséder un certain degré de porosité due aux lacunes réticulaires existant entre les groupements moléculaires, atomiques ou ioniques.

Parmi les systèmes membranaires, les uns, surtout les systèmes artificiels, se rapprochent plutôt des simples filtres tout en mettant en jeu des processus physiques d'osmose; les autres, c'est-à-dire les membranes biologiques, mettent en jeu plutôt des processus de caractère valentiel, c'est-à-dire chimique. Les processus de perméabilité ultra-sélective de la seconde catégorie sont évidemment moins facilement accessibles à l'explication physique qui n'a concerné, pendant longtemps, que ceux de la première.

A certains égards, le principal intérêt de la loi de VAN T'HOFF est de permettre, grâce à la porosité particulière ou à la semi-perméabilité d'une membrane, de rendre la pression osmotique équivalente à une pression hydrostatique. Un autre trait du fonctionnement de la membrane semi-perméable classique est d'entraîner l'existence d'une dissymétrie électrique et par conséquent d'un potentiel de membrane dû, en régime dynamique, à l'inégale concentration des ions des deux côtés de la membrane, ce qui a, par exemple, une conséquence physiologique importante vis-à-vis des molécules chargées telles que les protéines. En outre, l'inégalité de diffusibilité des ions les uns par rapport aux autres, entraîne dans chaque compartiment, lorsque l'équilibre de diffusion est atteint, une inégalité de distribution des ions entre eux; c'est l'équilibre de DONNAN.

Les membranes et leurs propriétés ne peuvent pas ne pas susciter l'attention des hydrologues dans le champ d'action desquels les membranes artificielles trouvent probablement l'un de leurs grands débouchés, sans pour cela oublier les industries chimiques et pharmaceutiques.

C'est, en premier lieu, l'emploi de ces dernières dans le dessalement de l'eau de mer ou d'eaux continentales salines, en vue de débits moyens, les taux de production importants restant justiciables, préférentiellement, de la distillation. Le procédé assez récent, vis-à-vis duquel notre pays est bien placé, est celui de l'osmose inverse ou hyperfiltration, consistant, comme l'on sait, à forcer sous des pressions de plusieurs dizaines de bars (40 kg/cm² et plus) l'eau salée à passer à travers des membranes circulaires planes ou tubulaires; on utilise généralement des membranes d'acétate de cellulose ou parfois des membranes échangeuses d'ions, de

ÉDITORIAL

100 Å, soit 10 nm d'épaisseur, par exemple, de haute résistance mécanique et assez minces pour permettre une vitesse d'écoulement suffisante mais aussi une filtration active, appliquées sur des surfaces solides grossièrement poreuses. L'électrodialyse consiste à recourir à des membranes échangeuses; on fait passer librement l'eau salée dans une cellule limitée parallèlement au sens de circulation par deux membranes échangeuses acide et basique, l'une négative, l'autre positive, traversées perpendiculairement par le courant électrique; il y a électrolyse, les cations se déplacent latéralement à travers la membrane négative vers la cathode et les anions à travers la membrane positive vers l'anode; l'installation comporte un grand nombre de cellules formant une série d'étages successifs de déminéralisation.

Une application des membranes artificielles à des problèmes d'hydrologie biologique ne peut être passée sous silence; brièvement, mentionnons l'hémodialyse ou dialyse rénale (rein artificiel). Il s'agit là d'un dispositif extérieur au corps humain, qui permet, chez un malade atteint d'une lésion rénale, d'épurer le sang, que l'on fait circuler entre deux feuillets membranaires sur les autres faces desquels circule le liquide de dialyse, solution aqueuse isotonique au plasma sanguin, composée des ions que renferme ce dernier et de glucose. Il s'agit là de reproduire, autant que faire se peut, c'est-à-dire difficilement, les possibilités des membranes biologiques naturelles en provoquant l'élimination de l'eau et des déchets métaboliques sans perdre les composés sanguins utiles; satisfaction minimale n'est obtenue que grâce à une conception technique de l'appareillage compliquée et coûteuse afin de résoudre le problème lui-même, tout en supprimant les risques et grâce à... beaucoup d'eau.

Au surplus, il faut encore signaler, pour tâcher de ne pas trop flouer le lecteur, la contribution des membranes artificielles organiques à la construction de certaines électrodes spécifiques de mesure dont on sait l'utilité en hydrologie analytique.

Une membrane définie comme il précède, est un objet précieux pour occuper le physicien, le chimiste, le biologiste, l'ingénieur et dont le propre travail est celui, tantôt d'un organe physiologique naturel des plus délicats, tantôt d'un outil à la disposition de l'hydrologue, du médecin, de l'homme de laboratoire ou de l'industriel.

La membrane biologique naturelle est, dans l'organisme, une porte d'entrée et une porte de sortie qui ne fonctionne d'ailleurs pas uniquement dans le cadre de la vie individuelle de la plante ou de l'animal; n'oublions pas qu'elle joue globalement son rôle dans le cadre de l'environnement et la pollution des eaux; son fonctionnement sélectif n'est-il pas responsable des concentrations toxiques ou radioactives chez les êtres vivants, dans la mer ou ailleurs? Il est vrai qu'inversement, on se servira peut-être un jour de cet aspect de la botanique et de la zoologie pour dépolluer ou récupérer les matières premières. Quant à la membrane artificielle, elle fait partie de l'arsenal des instruments technologiques et scientifiques de triage dont l'humanité a maintenant un besoin presque aussi impératif que celui de l'eau à boire, puisqu'elle permet d'en fabriquer...

A. M.