

ÉDITORIAL

DANS l'éternel ballet des choses inanimées ou des êtres animés qui, dans la Nature, s'agitent et s'échangent, s'écartent les uns des autres ou se précipitent les uns vers les autres continuellement, fait fondamental déjà noté dans un précédent Editorial, tout est dû, sans compter l'énergie rayonnée à partir des espaces intersidéraux, à l'énergie emmagasinée dans la matière et à sa répartition dans celle-ci, selon des mécanismes divers et compliqués. Ces phénomènes malgré la profonde unité de l'Univers, ne se présentent pas de la même manière selon l'échelle considérée.

Pour nous, hydrologues, nous constatons que l'eau, spontanément ou non, se manifeste comme un facteur puissant de dispersion des produits qu'elle reçoit, agite, accumule ou véhicule ; aussi bien l'entraînement des déchets de la vie humaine que le transfert des détritiques naturels ayant pour origine par exemple, l'érosion, ont, comme le dirait Monsieur de La Palice, l'influence la plus directe sur les compositions statiques et dynamiques des eaux et, par conséquent, évidemment, sur leur qualité hygiénique.

Les mouvements de tout ce qui se trouve dans ce milieu liquide vont du simple entraînement des objets les plus volumineux et pesants par l'énergie cinétique du courant ou sous l'action directe de la pesanteur, aux déplacements moins spectaculaires des corpuscules les plus petits par différences de densité, par diffusion, par tensions interfaciales, par agitation brownienne et par le fait de bien d'autres causes.

Si l'on s'en tient à un volume d'eau paraissant exempt de corps étrangers et uniforme dans toute sa masse à l'observateur qui limite son examen à ses seuls moyens sensoriels, la gamme des dimensions de tout ce qui peut s'y rencontrer est très étendue ; elle comprend les très petits diamètres corpusculaires à partir

de valeurs au-dessous de l'angström jusque vers dix nanomètres (nm) que possèdent les ions, les molécules, les macroions et macromolécules en solution vraie, à partir de un nanomètre de diamètre, les macromolécules colloïdales, dispersées sous forme de sols, puis les suspensions de micro-cristaux ou de micro-poussières à partir également de un nm (1 m μ ou 10 Å).

Les particules colloïdales, dans l'ensemble, présentent des diamètres allant, pour les plus petites, de 1 nm à 5 nm et pour les plus grosses de 10 nm à 100 nm. Elles ont presque toujours tendance à être formées d'agrégats de molécules vraies d'où l'appellation de colloïdes micellaires, les molécules très grosses possédant cependant les caractères de l'état colloïdal recevant la désignation de colloïdes moléculaires.

Or, une eau même incolore et limpide peut contenir en phase physique homogène, des particules dissoutes les plus hétéroclites en quantités considérables et, par conséquent, pour l'hygiéniste être polluée. Inversement, un taux de particules colloïdales ou en suspension stable, pondérablement faible, peut être cause de turbidité.

Les particules non dissoutes dans l'eau, au sens de la phase physique homogène, et contribuant à la turbidité, comprennent de minuscules fragments, plus ou moins rigides, souvent infra-microscopiques, en outre des molécules colloïdales. Les frontières entre ces catégories sont, bien entendu, extrêmement floues. Elles ont des caractères plus ou moins différents, dont des propriétés de surface présentant un intérêt capital et auxquelles est lié le phénomène de l'adsorption. Nous sommes là, avec ces phénomènes physico-chimiques, au cœur des préoccupations scientifiques des hydrologues et ingénieurs qui ont pour mission de restituer à la Nature, à qui nous devons de vivre, les eaux de qualité dont nous avons besoin pour nous abreuver et aussi pour en user sainement et agréablement de toutes façons.

Si une forte teneur saline non toxique, ou à plus forte raison toxique dans le cas d'une pollution industrielle, est évidemment rédhitoire pour le consommateur, c'est la turbidité de l'eau qui est perçue avant tout, l'odeur étant nulle ou négligeable et la saveur ne se découvrant que par le contact avec les papilles gustatives.

Mais, aussi, l'efficacité de tout processus d'épuration de l'eau, naturel ou artificiel, implique forcément l'élimination de la turbidité ; non seulement, est supprimé l'inconvénient organoleptique, mais surtout la charge polluante disparaît, dont les bactéries pathogènes, les virus et les toxiques, avec une efficacité dont le degré dépend des conceptions scientifiques sur lesquelles repose la technologie des installations du génie sanitaire.

L'existence du problème de l'épuration des eaux n'est pas récente. On sait bien qu'à Rome les édiles cherchaient à se débarrasser de leurs eaux usées, mais on se contentait seulement de les envoyer dans le Tibre. L'assainissement urbain n'a pris naissance, en fait, qu'au moment où a commencé le développement scientifique au milieu du XIX^e siècle ; à cette époque on s'était mis à préconiser d'utiliser les propriétés du sol terrestre en vue de purifier les eaux polluées et l'épandage s'actualisa. Mais progressivement, on se rendit compte de ce que cela ne constituait qu'une solution partielle et il semble que ce soit Henri Sainte-Claire-Deville, puis Henri Le Chatelier qui préconisèrent, les premiers, d'introduire la technique de la floculation. Mais c'est certainement en Allemagne, aux Etats-Unis, qu'elle se développa d'abord ; puis dans notre Pays, c'est à Jean-Baptiste Dumas que sont dues les premières conceptions pratiques modernes, dont le principe du perfectionnement essentiel, après Pasteur, fut l'épuration biologique. Mais cette méthode

suppose une opération préalable de clarification, plus ou moins poussée selon la nature de l'eau et l'objectif poursuivi.

Il y a plus ; en fait, la production d'eau potable, surtout à notre époque, ne peut se faire le plus souvent qu'à partir d'eaux qui sont tributaires de taux de pollution trop fréquemment importants, lesquels vont de ceux des eaux naturelles extrêmement pures (qui sont de plus en plus rarement rencontrées) à ceux des eaux de fleuves très chargées en déchets. De sorte qu'il faut, de plus en plus souvent, effectuer nécessairement des traitements d'épuration des eaux usées avant leur rejet dans le milieu ambiant à l'amont, puis d'autres traitements presque analogues, en vue de l'adduction, à l'aval à partir du captage dans la rivière ou le lac. On comprend facilement que, à une certaine échelle, l'épuration repose sur des méthodes qui ne sont pas nouvelles mais remontent à la plus lointaine antiquité : c'est le collage. Mais grâce à SELMI, vers 1848, puis GRAHAM, dix ou douze ans plus tard, qui amorcèrent la connaissance scientifique à ce sujet, la physique colloïdale est devenue l'une des bases fondamentales de la physique biologique et par ailleurs permet de nombreuses applications technologiques modernes importantes, dont celles intéressant les eaux.

Y ont contribué les découvertes successives, après GRAHAM, des caractéristiques de l'état colloïdal, avec, pour les plus intéressantes d'entre elles, dans le cadre de notre propos, QUINCKE, vers 1862 qui mit en évidence les propriétés électriques, HELMHOLTZ en 1879, qui précisa ces dernières, DUCLAUX, vers 1908, qui montra que les micelles sont constituées par un granule central correspondant à la majeure partie du colloïde et entouré à l'extérieur de celui-ci par des ions d'accompagnement d'ailleurs plus ou moins solvatés ; enfin, encore, parmi beaucoup d'autres auteurs, DEBYE et HUCKEL qui ont établi la théorie du mécanisme du transport des ions, appliquée à celui des colloïdes.

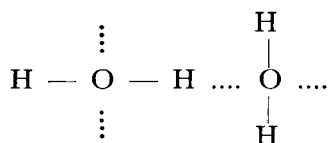
Considérons, après traitement mécanique de dégrillage et de décantation sommaire, une énorme quantité d'eau homogène, d'origine domestique, à épurer, dont, pour simplifier, la charge polluante ne contient pas de surfactifs. Il s'agit de la clarifier et ceci est justiciable d'une technicité, comme allusion y est faite précédemment, dont le principe est connu empiriquement, dans bien des domaines, on peut dire depuis toujours ; mais chacun de ceux-ci dont celui de l'eau, impose ses propres conditions, par exemple à cause de la variété parfois inattendue des facteurs en cause.

Ce qui est essentiellement recherché n'est autre chose qu'une séparation par gravité de la charge, c'est-à-dire que ceci n'est autre que la sédimentation, laquelle se produit spontanément dans les cours d'eau ou les masses d'eau accumulées. Mais on est contraint d'imaginer un procédé artificiel doué de rapidité et d'efficacité maximales. Finalement, on met en œuvre le processus essentiel de la coagulation-floculation-sédimentation, phénomène étroitement lié à l'état colloïdal et qui, grâce au pouvoir adsorbant du substrat engendré et à l'adsorbabilité des molécules et ions dissous, provoque en même temps l'élimination de ceux-ci à un degré souvent extrêmement élevé. Si, au lieu de rendre l'eau propre ainsi obtenue au milieu ambiant, il s'agit de distribuer de l'eau parfaitement potable, la filtration, puis les traitements d'affinage et de désinfection achèvent le travail.

Le phénomène de rassemblement et d'agrégation appelé floculation n'est pas simple ; il met en jeu diverses actions physico-chimiques dont principalement des mécanismes valentiels.

Depuis longtemps, on est d'accord sur ce qu'il existe trois modes de liaisons chimiques fondamentaux : la liaison covalente, c'est-à-dire chimique vraie, celle notamment rencontrée dans les composés organiques ;

la liaison ionique essentiellement électrostatique par polarités opposées ; la liaison métallique mettant en jeu les électrons libres de la structure métallique. Mais ces trois mécanismes sont loin d'être toujours typiques pures ; ils se superposent ou se mélangent les uns par rapport aux autres et beaucoup de forces de liaisons sont dues à des interactions secondaires telles, principalement, les covalences de coordination, la liaison hydrogène, qui s'établit à cause de la dissymétrie électronique de cet atome, les forces de Van der Waals qui sont responsables de ce que les gaz réels n'obéissent qu'approximativement à la loi de Mariotte - Gay-Lussac. La liaison hydrogène est due à ce que le noyau de cet atome, très particulier, lorsqu'il est lié à un autre atome fortement électronégatif, par sa positivité prépondérante attire une molécule voisine, ce qui crée un pont, comme dans la glace :



Quant aux forces de Van der Waals, ce sont des forces de cohésion dues à la mobilité des électrons dans les molécules (LONDON), créant ainsi des attractions intermoléculaires se manifestant, quoique très faibles, à des distances plus grandes que les forces polaires.

C'est à ces propriétés fondamentales des liaisons interatomiques que sont redevables les processus qui interviennent dans la formation des agglomérats de substances colloïdales dispersées dans l'eau ; les amas de macro-molécules colloïdales et de micelles acquièrent, ainsi, une densité apparente plus grande et offrent une résistance au déplacement vertical plus faible ; du sol colloïdal, on passe alors à la suspension de particules ; la loi de Stokes est plus ou moins suivie, à condition de songer que de nombreux effets secondaires interviennent, ne serait-ce que la forme des grains, car la loi de Stokes est théorique et n'est valable, d'abord, que pour des grains sphériques.

Tout le monde actuellement se trouve d'accord sur le schéma coagulation des corps colloïdaux-formation de flocons-sédimentation du floc. La coagulation est un processus de condensation par neutralisation des charges électriques dont sont porteuses les macromolécules et les micelles en dispersion colloïdale stable, la charge globale étant de signe unique, et donc responsable du mouvement brownien, c'est-à-dire d'une agitation continue par répulsion mutuelle. En dehors de toute opération artificielle, la neutralisation électrique des charges se fait spontanément de façon plus ou moins intense et lente. Par contre, on conçoit que l'addition artificielle d'aides de coagulation ayant une structure moléculaire spéciale, peut conduire à une coagulation très rapide ; passons sur les détails compliqués.

Les substances floculantes utilisées dans les traitements d'épuration sont des composés minéraux et organiques. Les premiers, disons, essentiellement l'hydroxyde d'aluminium et l'hydroxyde ferrique résultant de l'hydrolyse du sulfate ou du chlorure correspondants, sont d'un emploi plus récent que les seconds, disons les amidons, le dextran, l'algine. Mais, dans un incessant souci de perfectionnement, on recherche d'autres substances permettant de meilleures performances d'efficacité et d'économie, et, maintenant de nouveaux floculants organiques sont utilisés ; c'est ce que l'on appelle des polyélectrolytes ou, ce qui serait, au sens de l'auteur de ces lignes, d'une logique plus scientifique, les polymères ioniques.

Arrêtons-nous un peu sur le mécanisme de la coagulation-floculation qui a été décrit bien des fois par le Professeur LECLERC de Liège, le Professeur BONToux de Montpellier et beaucoup d'autres. Les

divers flocculants (dont les constitutions chimiques sont différentes) n'agissent pas tous entièrement de la même façon. Fondamentalement il y a neutralisation des polarités et par établissement de contacts intimes, il y a formation de forces valentiellles. Tout, en définitive est affaire de structures électroniques.

Il est certain que l'état de polymérisation du flocculant joue un rôle capital. Si l'on considère la formation d'un précipité minéral, il y a là un mécanisme qu'il ne faut pas perdre de vue. Un exemple est celui du chlorure d'argent ; à l'état naissant, c'est-à-dire à l'état protomorphique, il est extrêmement diffus et peu dense ; il est colloïdal et instable et possède une énorme surface par unité de masse, ce qui lui donne un grand pouvoir adsorbant ; il y a peu à peu une condensation progressive assez rapide et agglomération ; les gros grains grossissent aux dépens des petits, par différence de solubilité dans le milieu, en raison des différences de surface : c'est-à-dire qu'il y a polymérisation. Il en est de même dans le cas du sulfate d'aluminium qui, au moment de la précipitation de l'hydroxyde d'aluminium par hydrolyse, fournit un gel extrêmement diffus, possédant un grand pouvoir adsorbant, lequel diminue lorsque le précipité a mûri et vieilli, mais subsiste toujours. Le cas des polymères organiques de synthèse est tributaire d'un processus différent, mais les analogies ne sont pas absentes.

Quant au mécanisme intime de la condensation dans l'eau par coagulation, il est plus compliqué que la simple explication par intervention de liaisons interatomiques, ou encore comme l'on dit de pontages, le laisse entendre ; en fait, l'adsorption existe aux interfaces mêmes des particules de même nature les plus petites qui s'agglomèrent entre elles, aussi bien qu'à l'extérieur, vis-à-vis des ions et molécules étrangers, des macromolécules, des micelles, voire des bactéries ; seules diffèrent plus ou moins qualitativement et quantitativement, les forces d'attraction.

Un phénomène qui joue son rôle, et dont on ne parle généralement que peu ou pas du tout, est la solvation, notamment des ions. Les molécules du solvant, en l'occurrence ici les molécules d'eau, qui forment le solvate constituent un cortège autour de la particule centrale ; leur nombre n'est pas forcément stœchiométrique, mais dépend évidemment de la structure du corps solvate dissous ou dispersé. La solvation est due essentiellement aux liaisons de coordinence homopolaire, mais aussi aux liaisons hydrogène et aux forces de Van der Waals.

D'une façon très générale, les solvants, c'est-à-dire, en Hydrologie, l'eau, sont solvolysants et il est bien certain que nombre de composants de la charge polluante s'hydrolysent et celle-ci change de nature à mesure même que le temps passe (en dehors même du métabolisme bactérien), en fonction, par exemple, de la température, ce qui n'est pas pour simplifier la besogne de l'ingénieur, s'il veut ajuster le dosage des réactifs à la composition exacte de cette charge à un instant donné. La solvation des ions et des micelles peut, soit inhiber, soit favoriser les contacts nécessaires à l'agrégation, ne serait-ce qu'à cause des facteurs stériques ; elle intervient certainement dans toutes les considérations relatives à la coagulation-floculation, par exemple dans le cas des hydroxydes métalliques colloïdaux, se formant à partir des anions et cations du sel hydrolysé.

Dans le cadre de ces notions sommaires, portant sur la floculation et la sédimentation, et qui se voudraient de quelque utilité pour les non spécialistes, malgré sa brièveté, on ne peut omettre les facteurs expérimentaux. Les mécanismes valentiels ne peuvent s'établir qu'à des conditions déterminées. Les caractéristiques propres, la structure, les dimensions des particules, le pH du milieu (point isoélectrique des composés amphotères), la charge ionique, la concentration globale, la viscosité, les vitesses de déplacement relatives des particules, la température, interviennent de façon majeure ; à ce propos, une caractéristique à laquelle

on attache généralement une certaine importance est le potentiel électrocinétique relatif aux déplacements des particules dans un sens ou un autre, dans le champ existant entre le milieu et une surface limitante (potentiel zéta), lequel, évidemment, au moins en théorie, constitue le domaine, si restreint soit-il, à traverser au cours de l'agglomération, entre deux particules et doit être aussi faible que possible.

Au fond, en vérité, le vingtième siècle est en passe de se terminer avec des préoccupations scientifiques croissantes. C'est le progrès scientifique qui a provoqué le développement technologique moderne, entraînant l'évolution sociale dont chacun peut se rendre compte.

Cette dernière entraîne un accroissement de plus en plus vaste et rapide de tous les problèmes humains ; la connaissance scientifique et rationnelle, exempte de technocratie sans âme, seule permettra de résoudre ceux-ci ; les solutions interviendront impérativement, davantage probablement dans cette voie que ne le pourront les conceptions sociologiques a priori, ce qui n'a rien à voir d'ailleurs avec le rationalisme philosophique ou la théologie, mais suppose de savoir ce que les gens veulent. On ne peut pas concevoir d'abîmer la Nature, de changer l'Ecologie naturelle, de déplacer inconsidérément les équilibres, cadre essentiel du bonheur. Si l'on a besoin de titane, il faut l'extraire et conduire sa métallurgie sans polluer les terrains, les eaux continentales, ni la mer, mais il faudra y mettre le prix, etc. Il en sera de même pour la protection des eaux et les ingénieurs hydrologues seront de plus en plus tributaires du travail de laboratoire.

On imagine mal comment il pourrait en être autrement.

Cela, après tout, ne s'inscrit-il pas dans la ligne générale de l'Univers en Expansion, ce qui n'empêche pas l'Homme de s'obliger à conserver son équilibre intérieur et extérieur ?

A. M.