

Eaux de distribution

Traitements spécifiques

par **Hugues GODART**

Ingénieur civil des Mines

Ingénieur en chef à la Générale des Eaux

| | |
|--|--------------|
| 1. Mise à l'équilibre calco-carbonique | C 5 201 - 2 |
| 1.1 Caractéristiques carboniques | — 2 |
| 1.2 Aération | — 4 |
| 1.3 Percolation | — 4 |
| 1.4 Injection de réactif | — 4 |
| 1.5 Reminéralisation..... | — 4 |
| 1.6 Cas du plomb | — 4 |
| 1.7 Décarbonatation | — 5 |
| 1.8 Adoucissement sur résine cationique..... | — 5 |
| 1.9 Séparation par membranes | — 5 |
| 1.10 Dispositifs antitartre pour les particuliers | — 5 |
| 2. Prétraitements naturels extensifs | — 6 |
| 2.1 Stockage | — 6 |
| 2.2 Percolation au travers du sol..... | — 6 |
| 3. Sous-produits de traitement | — 6 |
| 3.1 Réglementation des sous-produits de traitement | — 6 |
| 3.1.1 Réglementation des sous-produits | — 6 |
| 3.1.2 Évacuation de résidus sous forme d'épandage agricole | — 6 |
| 3.1.3 Rejets en milieu naturel | — 6 |
| 3.1.4 Rejets dans le réseau d'eaux usées | — 7 |
| 3.2 Techniques de traitement des sous-produits de traitement | — 7 |
| 4. Automatisation des mesures analytiques | — 7 |
| Pour en savoir plus | Doc. C 5 205 |

Nous regrouperons sous le vocable « traitements spécifiques » des traitements faisant appel à plusieurs techniques et processus, qui sont de plus en plus généralisés. Il en va ainsi de :

— la mise à l'équilibre calco-carbonique, parfois considérée comme un luxe, mais sérieusement remise en avant depuis que l'on se préoccupe plus du confort du consommateur (machines entartées, etc.), de la longévité des canalisations (corrosion, incrustation...), et de nouveaux problèmes sanitaires comme celui du plomb ;

— les prétraitements naturels extensifs qui permettent de limiter les autres traitements ;

— le traitement enfin des sous-produits de traitement.

Nous dirons également quelques mots des progrès réalisés en automatisation des mesures analytiques notamment appliquées directement au traitement.

L'étude complète du sujet comprend les articles :

— C 5 198 - Eaux de distribution. Objet des traitements ;

— C 5 199 - Eaux de distribution. Clarification ;

— C 5 200 - Eaux de distribution. Traitements unitaires ;

— C 5 201 - Eaux de distribution. Traitements spécifiques (le présent article).

1. Mise à l'équilibre calco-carbonique

1.1 Caractéristiques carboniques

Le dioxyde de carbone CO_2 peut exister dans l'eau sous trois formes :

- gazeuse dissoute et non dissociée : H_2CO_3 ou $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O})$;
- ion hydrogénocarbonate (bicarbonate) : HCO_3^- ;
- ion carbonate : CO_3^{2-} .

Les quantités relatives de ces trois formes sont dépendantes entre elles et sont fonction du pH de l'eau (teneur en ion H^+), l'équilibre final étant une résultante des trois équilibres ci-après :

$$[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2] = K_1$$

$$[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]/[\text{HCO}_3^-] = K_2$$

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_3$$

Ces équilibres ont été longuement étudiés et l'on connaît les valeurs des constantes d'équilibre pour différentes configurations de température et d'environnement. Ce système de trois équations pour cinq variables permet de calculer trois variables si on s'en donne deux. Pour des commodités de mesure, on introduit une sixième variable, l'alcalinité, ainsi qu'une équation supplémentaire :

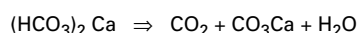
$$[\text{Alc}^+] = 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

L'alcalinité peut se définir et se mesurer aisément comme la quantité d'ions $[\text{H}^+]$ qu'il faut ajouter à ceux existant déjà dans l'eau pour équilibrer les trois ions carbonate, bicarbonate et hydroxyle. Cela a permis de bâtir des abaques, tels que ceux de la figure 1 et des annexes [C 5 202] et [C 5 203] (en pochette fin de reliure) qui permettent de déterminer, à partir de deux mesures simples, celle du pH et celle de l'alcalinité, les autres caractéristiques carboniques, et surtout de savoir si une eau contient un excès de CO_2 dissous (eau agressive) ou au contraire si la teneur en CO_2 est déficitaire (eau entartrante) ainsi que le manque (ou l'excès) d'alcalinité dans l'eau et, par conséquent, permettent de déterminer et de quantifier les traitements de correction. Cette représentation graphique de Hallopeau et Dubin tient compte de simplifications du second ordre, mais elle est suffisamment précise pour la quasi-totalité des cas pratiques. Elle présente l'avantage d'être très visuelle : on peut donc l'utiliser pour faire comprendre les phénomènes selon les traitements et l'employer sans ordinateur dans les petites exploitations. Elle peut également se prêter à une implantation sur ordinateur, voire sur calculette. Elle est alors concurrencée par d'autres méthodes parfois plus détaillées, comme celle de Legrand et Poirier.

Dans la méthode graphique de Hallopeau et Dubin, la droite d'équilibre CO_3Ca et la droite d'équilibre CO_2 vis-à-vis du CO_2 de l'air partagent le graphique en quatre zones. Il faut également noter que la droite horizontale $\text{pH} = 8,35$ qui passe par le point d'intersection des deux premières partage le graphique en deux. Il n'existe pas, pratiquement, d'eaux naturelles utilisées pour la distribution dont le pH soit supérieur à 8,35. Il ne reste donc à considérer que trois zones : I, II et III. Par ailleurs, les caractéristiques pH et alcalinité des eaux rencontrées le plus fréquemment se situent à l'intérieur de quatre ovoïdes : 1, 2, 3, 4.

Toute eau se situant au-dessus de la droite d'équilibre CO_3Ca souffre d'un excès de bicarbonate et d'un défaut de CO_2 .

Le bicarbonate se décompose :



et le carbonate formé (peu soluble) se dépose ; les eaux sont entartrantes.

Il faut noter que, à l'état initial, les eaux souterraines sont équilibrées ou agressives ; c'est essentiellement l'élévation de température qui abaisse la droite d'équilibre et les rend incrustantes.

Toute eau se situant au-dessous de la droite d'équilibre CO_3Ca souffre d'un excès de dioxyde de carbone CO_2 qui, dès qu'il est au contact d'un matériau contenant du calcaire, a tendance à le dissoudre suivant la même réaction, mais en sens inverse ; les eaux sont dites agressives envers le calcaire (et notamment envers les mortiers ou bétons à base de ciment ordinaire Portland). Le problème de rééquilibrage consiste à traiter les eaux de façon que leur point de rencontre pH-alcalinité s'établisse sur la droite d'équilibre CO_3Ca .

En fonction des sels présents dans l'eau, on définit le **titre alcalimétrique complet** (TAC), le **titre hydrotimétrique** (TH), le **titre calcique** (TCa) et le **titre magnésien** (TMg), comme indiqué au tableau 1.

Tableau 1 – Définition des titres en fonction des sels présents dans l'eau

| Titres | Sels d'acides faibles | | | Sels d'acides forts | | |
|--------|-----------------------------------|----|----|-----------------------|----|----|
| | Carbonates et hydrogénocarbonates | | | Sulfates et chlorures | | |
| | Ca | Mg | Na | Ca | Mg | Na |
| TAC | + | + | + | | | |
| TH | + | + | | + | + | + |
| TCa | + | | | + | | |
| TMg | | + | | | + | |

On classe notamment les eaux en fonction de leur *dureté*. Les *eaux douces* ont un TH < 14 °F et les eaux très « dures » un TH > 30 °F.

Degré français (°F) : unité de concentration valant 1/5 de milliequivalent par litre et utilisée pour exprimer la valeur des différents titres d'une eau, dont les principaux sont le TAC et le TH.

On dispose pour équilibrer une eau de l'aération, de la percolation au travers des lits de calcaires minéraux ou marins (Lithotamne), de *Magno* (nom commercial de la dolomie semi-calcinée), de *Magnédolite* (nom commercial de la dolomie surfritée), d'injections de bases fortes (chaux, soude, carbonate de sodium), d'injections de bicarbonate de soude soit seul, soit accompagné d'un sel calcaire (chlorure ou sulfate de calcium), d'injections de dioxyde de carbone CO_2 , voire d'injections d'acides.

Le seul composé dont on peut modifier la teneur sans modifier immédiatement celle des autres est le dioxyde de carbone. Si l'on extrait CO_2 par dégazage, le point figuratif de l'eau P se déplace verticalement vers le haut ; réciproquement, si l'on dissout du CO_2 par injection directe, le déplacement aura lieu vers le bas.

Par contre, si l'on modifie simultanément le pH et l'alcalinité, la courbe de déplacement peut être déterminée. Il s'agit en fait d'un faisceau de courbes déduites par translation horizontale de la courbe apparaissant sur la figure 1 et dénommée « neutralisation par chaux » si la modification s'obtient par action de la chaux, de la soude ou de la *Magnédolite*, soit par translation horizontale de la courbe dénommée « neutralisation par calcaire » s'il s'agit de carbonate de soude, de dissolution de calcaire, de l'action du *Magna ou* de l'effet de coagulants fortement acides.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Construction

Il ne faut pas confondre **agressivité** (vis-à-vis du calcaire) et **corrosivité** (vis-à-vis des métaux comme le fer ou le plomb). Il est vrai qu'une eau agressive est souvent corrosive, mais la propension à la corrosion relève d'une série d'équilibres physico-chimiques plus large même si elle inclut l'équilibre carbonique. D'une façon un peu simplificatrice, on peut noter que la corrosion est liée au pH, à la teneur en oxygène dissous et à la composition chimique de l'eau. Il faut aussi noter que l'utilisateur peut parler de conduites *entartrées* alors qu'il s'agit en fait de boursoufflures des parois internes dues à la corrosion (tuberculation des conduites) et non d'un dépôt de calcaire (entartrage vrai).

1.2 Aération

Elle peut être assurée par ruissellement en cascades, dans une tour à contre-courant d'air garnie de matériaux de contact tels les anneaux Raschig, par injection d'air, par émulsion à l'aide d'une hélice de surface, par pulvérisation de l'eau dans l'air.

Le point figuratif P (figure 1 ou annexes [C 5 202] et [C 5 203]) se déplace verticalement et, si l'aération est suffisamment prolongée, il a tendance à s'arrêter quand il atteint la droite d'équilibre CO_2 à l'air – CO_2 libre. Pour la zone III (entartrante), l'aération qui rendrait les eaux encore plus entartrantes n'a pas à intervenir.

Pour la zone I, l'aération ne peut modifier la teneur en CO_2 et n'a pas à intervenir.

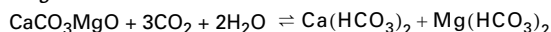
Pour la zone II à gauche de la verticale de P, l'aération élimine partiellement le CO_2 en excès, mais ne peut amener les eaux à l'équilibre. Pour la zone II à droite de la verticale de P, il faut une aération contrôlée qu'il y a lieu d'arrêter quand le point figuratif atteint la droite d'équilibre CO_3Ca .

1.3 Percolation

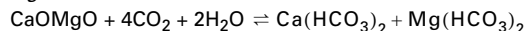
Si une eau percole sur un matériau divisé contenant du calcaire, l'eau se mettra d'elle-même en équilibre si l'opération est suffisamment prolongée. En effet, si l'eau est entartrante (zone III) (figure 1 ou annexes [C 5 202] et [C 5 203]), elle tendra à déposer le calcaire avec un dégagement de CO_2 jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Par contre, si elle est agressive (zones I et II), le CO_2 en excès attaquera le calcaire et donnera du bicarbonate de calcium : le CO_2 dissous décroîtra et l'alcalinité augmentera. Le point figuratif suivra la courbe calcaire jusqu'à ce qu'il ait atteint la droite d'équilibre CO_3Ca .

Dans le cas du *Magno* et de la *Magnérolite*, les eaux entartrantes déposeront leur CO_3Ca en excès et la neutralisation de CO_2 se fera suivant les réactions :

— *Magno* :



— *Magnérolite* :



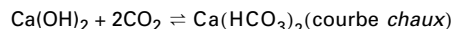
Le point figuratif P suivra la ligne calcaire pour le *Magno chaux* pour la *Magnérolite*.

1.4 Injection de réactif

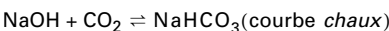
Pour les eaux agressives, on peut augmenter l'alcalinité par une injection de bicarbonate de sodium jusqu'à ce que le point représentatif P atteigne la droite d'équilibre CO_3Ca , la teneur en CO_2 dissous restant inchangée. Le point figuratif suivra une ligne CO_2 constante.

D'autres réactifs permettent simultanément de diminuer la teneur en CO_2 et d'augmenter l'alcalinité :

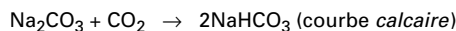
— chaux :



— soude :



— carbonate de sodium :



La soude et le carbonate de sodium remontent le TAC mais pas le TH.

Les injections de réactifs (chaux et soude) sont utilisées pour les installations moyennes à grosses. Elles nécessitent des réglages, des stockages, etc. Par ailleurs, on injecte des réactifs équilibrants avant la décantation en fonction des caractéristiques de l'eau brute et du coagulant choisi.

1.5 Reminéralisation

Les eaux très douces (très peu alcalines) ne peuvent être amenées à l'équilibre que pour des pH très élevés (> 8,35) ; cela entraîne deux difficultés principales :

— une désinfection par le chlore ou l'hypochlorite perd plus de 80 % de son efficacité ;

— l'ajustement de l'équilibre est difficilement stable (on voit sur le graphique que cela correspond à une partie quasi verticale de la courbe de neutralisation).

Par ailleurs, de telles eaux sont très peu tamponnées et perdent aisément leur équilibre. Une solution consiste à les reminéraliser en augmentant sensiblement d'abord leur teneur en dioxyde de carbone, puis leur alcalinité.

Pour les points de la zone I, on injecte suffisamment de CO_2 pour que le point figuratif P (qui descendra le long d'une verticale) pénètre assez loin dans la zone II ; on lui applique alors un traitement de neutralisation (en général à la chaux). Pour les points de la zone II, on peut ajouter du bicarbonate de sodium et un sel calcique d'acide fort (chlorure ou sulfate de calcium).

1.6 Cas du plomb

Bien qu'il s'agisse d'un problème de corrosion (comme évoqué au § 1.1) nous traiterons ici du plomb car le problème est très lié à l'équilibre.

Le plomb au robinet du consommateur provient essentiellement de la dissolution des canalisations intérieures des habitations et de certains branchements.

La dissolution du plomb est notamment fonction de l'alcalinité, du pH et de la température de l'eau (figure 2).

À la température de 25 °C, un diagramme de la solubilité maximale du plomb en fonction de l'alcalinité et du pH a été établi par Schock (figure 3).

On peut voir sur le graphique de la figure 2, que la concentration maximale en plomb peut être plus importante pour une eau incrustante de type très courant que pour une eau initialement agressive, mais bien entendu plus ou moins corrigée dans son équilibre calco-carbonique.

Les valeurs indiquées sont des maximums théoriques. Les valeurs rencontrées en pratique sont plus faibles, d'autant que la température de l'eau est plus basse. Il est à noter que, même à température normale, une eau correctement mise à l'équilibre entraînera des concentrations en plomb supérieures à celles fixées par les directives européennes en vigueur dans les prochaines années.

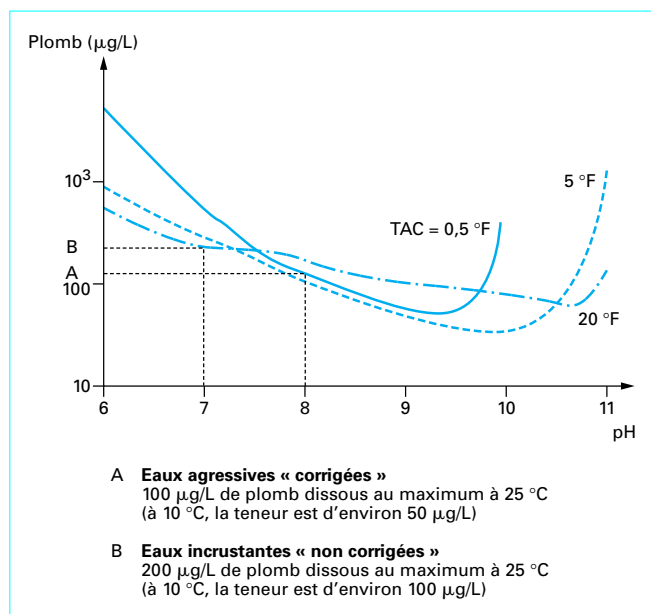


Figure 2 – Dissolution du plomb à 25 °C

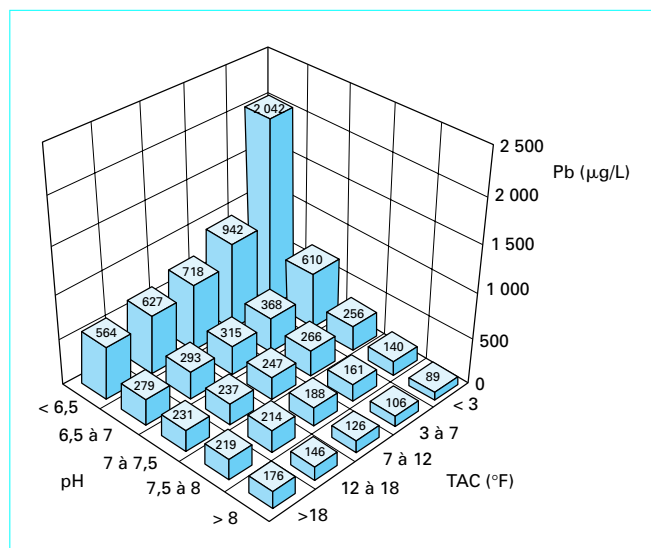


Figure 3 – Concentrations en plomb données par le modèle de Schock à 25 °C, à l'équilibre après stagnation prolongée

Des traitements par inhibiteurs de corrosion de type ortho-phosphates sont possibles. On peut atteindre des abattements supérieurs à 70 % sur la teneur en plomb chez l'utilisateur.

1.7 Décarbonatation

La décarbonatation s'applique à des eaux saturées dont le point représentatif P se trouve donc sur la droite de saturation à basse température (figure 1 ou annexes [C 5 202] et [C 5 203]).

En pratique, TAC > 18 °F et pH > 7,5.

Mais à température ambiante, ces eaux deviennent incrustantes (la droite de saturation s'abaisse), point P'.

Dans ce cas (inverse de la neutralisation), un ajout de chaux en excès précipite les carbonates, ce qui diminue le TAC. En parallèle, l'acidité de l'eau baisse, donc le pH remonte.

L'eau reste saturée ; le point figuratif remonte donc sur la droite de saturation à la nouvelle température de l'eau (température ambiante), théoriquement jusque vers pH = 10.

Dans la pratique, le procédé est limité vers pH = 8,2 à 8,4 c'est-à-dire TAC = 6 à 8 °F.

Pour favoriser la formation de particules décantables, on ajoute souvent un peu de coagulant, en général du chlorure ferrique. De plus, on procède fréquemment à une légère recarbonatation au CO₂ avant filtration des grains de carbonates.

Dans le cas de la **décarbonatation catalytique à la soude**, l'apport de soude abaisse le TH et le TAC dans un rapport théorique de 2 à 1. Des carbonates insolubles se forment, se fixent sur un support de type micro-sable et sont retenus par filtration.

1.8 Adoucissement sur résine cationique

L'eau naturellement équilibrée figurée par le point P, devient incrustante à température ambiante (température plus élevée que sa température d'origine).

Les ions calcium et magnésium caractéristiques des eaux incrustantes sont remplacés par des ions sodium.

Un échange d'ions :

- ne change pas le TAC ;
- abaisse le TH ;
- augmente la teneur en sodium ;
- abaisse le pH.

Mais du fait du changement de minéralisation, la droite de saturation remonte et l'eau devient agressive.

La réglementation impose un TH supérieur ou égal à 15 °F pour les eaux de consommation humaine adoucies.

Ce procédé est donc peu utilisé dans les services de distribution d'eau. Il a son utilité pour les eaux industrielles et de chaudières. Son utilisation parfois maladroite pour certaines installations privées, crée des risques de développements bactériens venant s'ajouter aux risques de corrosion.

1.9 Séparation par membranes

Les membranes de faible porosité, comme celles de la nanofiltration, font fortement obstacle au passage des molécules comme les carbonates, hydrogencarbonates, sulfates... Elles produisent de ce fait une véritable déminéralisation de l'eau. En pratique, il y a baisse du TAC, du TH et du pH.

1.10 Dispositifs antitartre pour les particuliers

On pourra se reporter à l'article [C 3 840] *Traitement individuel des eaux domestiques*.

Les **adoucisseurs** fonctionnent selon la technique de l'échange d'ions. On remplace le calcium et le magnésium par le sodium.

Rappelons que **pour être conforme à la réglementation** :

- le TH doit être au moins égal à 15 °F : il ne faut donc pas trop adoucir ;

— la teneur en sodium doit être inférieure à 150 mg/L : il n'y a en revanche pas de limite pour le calcium ;

— l'eau ne doit pas contenir de germes tests : les adoucisseurs peuvent faciliter la prolifération des bactéries (matériau support pour les fixer ; succession de phases marche-arrêt pour les développer).

Il faut donc éviter de boire une eau ainsi adoucie, mais elle peut être utilisée pour les chaudières, les cumulus...

2. Prétraitements naturels extensifs

Lorsque les circonstances s'y prêtent, on a toujours intérêt à utiliser les processus naturels d'épuration. Ils comprennent le stockage d'une certaine durée et la percolation à travers le sol.

2.1 Stockage

Le stockage peut avoir deux objectifs : constitution d'une réserve assurant au distributeur un degré de liberté supplémentaire dans la gestion hydraulique de la ressource, ou modification de la qualité de l'eau brute ; dans le cas le plus général, les deux aspects doivent être pris en considération.

Avec une réserve de 24 à 48 h, on vise essentiellement la possibilité de diluer ou même de passer outre à une vague de pollution accidentelle. C'est un objectif important lorsque des zones industrielles se trouvent en amont du point de prise. L'intérêt d'une réserve de cet ordre apparaît déjà dans l'abaissement de la turbidité de l'eau, à condition de concevoir le bassin et surtout les ouvrages d'entrée et de sortie de façon à éviter les courts-circuits. Une modification de la qualité peut être perçue, même avec des réserves de cette importance, surtout si celles-ci sont de faible profondeur (quelques mètres), ce qui favorise l'oxygénation par la surface. L'effet d'autodégradation biologique peut être accéléré en ménageant une préozonation à l'admission de l'eau brute.

Pour des réserves plus importantes (temps de séjour : 8 jours), l'effet d'amélioration est beaucoup plus sensible.

Les autorités de Grande-Bretagne préconisent de systématiser l'utilisation d'un bassin d'une capacité de 8 jours de la consommation moyenne pour toute prise d'eau de surface.

Avec des bassins de régulation annuelle ou même interannuelle, on bénéficie certes des mêmes avantages, mais les améliorations de qualité ne sont en rien proportionnelles à la durée du séjour : on constate une asymptote située aux alentours d'un mois de durée. Par contre, avec de telles capacités (nécessaires pour des besoins de régulation hydraulique), on peut se trouver face à des problèmes de qualité liés aux phénomènes limnologiques : floraison de plancton avec produits néfastes du métabolisme (accroissement des teneurs en manganèse, apparition de complexes organométalliques, développement de goûts et odeurs, pouvoir colmatant accru, etc.). Les phénomènes indésirables sont souvent décelés dans des zones stratifiées et il est indispensable de se ménager des possibilités de prise à différentes profondeurs pour pouvoir jouer sur la hauteur de prise en fonction des gradients de modification des paramètres de qualité.

2.2 Percolation au travers du sol

Ce sont des techniques de traitement qui se sont développées là où, à l'origine, on avait fait appel à des nappes phréatiques dont l'abaissement a nécessité d'en améliorer artificiellement la réalimentation.

Il existe quelques cas où cette technique a été délibérément adoptée comme prétraitement naturel lorsque les eaux brutes étaient d'une qualité particulièrement dégradée. Dans les grandes plaines alluviales, notamment allemandes, elle a été assez systématiquement utilisée sous forme de captages souterrains dans les berges des cours d'eau, l'eau obtenue étant ainsi améliorée en qualité, plus particulièrement sa turbidité et son pouvoir colmatant, ce qui facilite les traitements ultérieurs.

Par une évolution naturelle, lorsque le débit naturel entre le cours d'eau et les captages à travers les alluvions des berges est devenu insuffisant, on s'est tourné vers une réalimentation artificielle par tranchée ou par forage inverse d'injection.

Dans tous les cas (avec des degrés divers selon la qualité initiale, la nature des terrains, les vitesses et les durées de percolation), on constate une nette amélioration vis-à-vis de la turbidité et du pouvoir colmatant, de la teneur en matières organiques et de l'ammoniacale, dans les limites de la teneur initiale en oxygène dissous. Vis-à-vis du fer et du manganèse, les résultats obtenus sont variables.

Ces techniques sont à envisager quand les conditions économiques sont favorables : terrains peu onéreux ou domaine foncier inaliénable, service d'eau constitué depuis très longtemps, et bien sûr dans les cas où la nature du terrain s'y prête : dunes, alluvions.

3. Sous-produits de traitement

3.1 Réglementation des sous-produits de traitement

L'identification des sous-produits de traitement est donnée dans l'encadré 1.

3.1.1 Réglementation des sous-produits

Les rejets des unités de potabilisation n'ont pas encore de réglementation propre. Les boues d'eau potable ne présentent pas de qualités intrinsèques intéressantes. Elles sont, dans la majorité des cas, constituées de matières inertes d'hydroxydes d'aluminium ou de fer.

Les textes qui s'appliquent sont :

- loi du 13 juillet 1992 ;
- arrêté du 9 septembre 1997.

3.1.2 Évacuation de résidus sous forme d'épandage agricole

La valeur agronomique des sous-produits d'eau potable est peu intéressante. D'un point de vue législatif, il n'existe pas de données dans ce domaine. En principe, les boues d'eau potable peuvent être épandues en agriculture sans contraintes particulières, sous l'appellation « terre de décantation ».

Le texte qui s'applique est l'arrêté du 8 janvier 1998.

3.1.3 Rejets en milieu naturel

D'après le décret 93-743, les unités ayant un rejet en milieu naturel (eaux douces ou de mer) sont soumises à autorisation ou à déclaration préfectorale.

Encadré 1 – Identification des sous-produits de traitement

1. Sous-produits solides

- Boues hydroxydes :
 - issues de filières classiques : essentiellement des amas de floc recueillis au fond des décanteurs et qui contiennent :
 - les matières qui étaient en suspension dans la rivière,
 - celles qui étaient en solution et qu'on a réussi à rendre insolubles et à faire décanter en cours de traitement,
 - le charbon actif en poudre avec les matières organiques piégées dans ses pores,
 - les précipités d'hydrate de fer ou d'aluminium formés par les réactifs coagulants ;
 - issues de filières spécifiques : déferrisation, démanganisation.
 - Boues de décarbonatation (réacteur de décarbonatation à la chaux).
 - Boues de saturateurs à eau de chaux.
 - Boues biologiques provenant des lavages de filtres spécifiques (sable, charbon actif en grains, bicouche) et des traitements par le charbon actif en poudre.
 - Résines usagées (dénitratation, adoucissement).
 - Déchets issus du dégrillage (feuilles, branches) ou du tamisage.
2. Sous-produits liquides
- Eaux de lavage des filtres contenant très peu de floc.
 - Éluats de lavages et régénération des résines de dénitratisation, d'adoucissement ou décarbonatation ainsi que des membranes.
 - Concentrats issus des techniques membranes : rejets des eaux n'ayant pas traversé les membranes et où les impuretés se sont concentrées.

La **circulaire du 5 novembre 1980** s'applique aux rejets d'une unité de production d'eau potable.

Les paramètres à suivre sont :

- les matières en suspension (MES) ;
- les matières oxydables ;
- les substances azotées ;
- les substances phosphorées.

Les niveaux de rejets acceptables sont fixés par la Direction de l'industrie et de la recherche (DRIRE) selon les objectifs de qualité de la rivière ou de la portion de rivière concernée.

Les teneurs en métaux de ces rejets (aluminium et fer entre autres) ne sont pas prises en compte car ils sont considérés comme déjà présents à de fortes concentrations dans le milieu naturel.

3.1.4 Rejets dans le réseau d'eaux usées

C'est la solution la plus simple à mettre en œuvre. Ce système d'évacuation des boues d'eau potable peut toutefois entraîner quelques inconvénients sur le bon fonctionnement de la station d'eau résiduaire urbaine.

En revanche, le rejet des éléments de dénitratisation a un impact favorable : il permet de réduire l'oxygénation des boues par voie mécanique (apport de l'oxygène des nitrates).

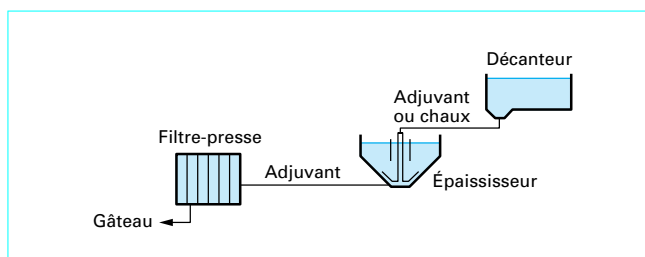


Figure 4 – Traitement des boues

3.2 Techniques de traitement des sous-produits de traitement

Les techniques de traitement sont les suivantes :

- **techniques de déshydratation** : épaissement, déshydratation mécanique ou naturelle (figures 4 et 5) ;
- **traitement des éluats** : la destination des éluats de régénération de résines est en général une usine de dépollution urbaine. Les eaux issues de la partie rinçage de la régénération, donc à faible teneur en chlorures, peuvent être rejetées directement dans le milieu naturel ;
- **traitement des concentrats de membranes** : d'après une étude effectuée aux États-Unis, dans 50 % des cas les concentrats sont rejetés dans les eaux de surface. Seulement 25 % des effluents sont évacués vers des usines de dépollution et l'élimination du dernier quart se fait par épandage ou réinjection dans le sol. En France autant qu'à l'étranger, il n'existe pas de traitement particulier d'élimination des phosphonates ou des polycarboxylates avant rejet au milieu naturel ;
- **traitement commun des boues d'eau potable et des boues d'eau résiduaire urbaine** : ce type de traitement sera presque exclusivement réservé aux boues de décarbonatation qui, en raison de leurs qualités, sont susceptibles d'améliorer les performances de la déshydratation des boues d'eau résiduaire urbaine.

Parmi les **diverses destinations** des sous-produits après traitement, on peut citer :

- la mise en remblais routiers ;
- l'incinération ;
- les briques ou tuiles enrobées, les bétons colloïdaux ;
- les réactifs de stabilisation de déchets ;
- la couverture de décharge.

4. Automatisation des mesures analytiques

En laboratoire, elle n'a d'intérêt que pour des organismes centraux de contrôle ou de surveillance où affluent de très nombreux échantillons. Pour un nombre réduit de mesures quotidiennes, l'intérêt en décroît rapidement en raison de l'inertie de démarrage nécessitée par le rééchantillonnage précis auquel il faut se plier chaque fois.

L'analyse automatique couvre un champ d'application privilégié dans la surveillance de la ressource ou dans le contrôle semi-continu des résultats obtenus aux différentes étapes d'une usine de traitement.

Initialement, les électrodes spécifiques fabriquées en petite série ont donné beaucoup d'espoir mais ont conduit à des déboires constants en raison de leur dérive de mesure et de leur encrassement rapide dans l'exploitation de terrain. C'est pourquoi on a été

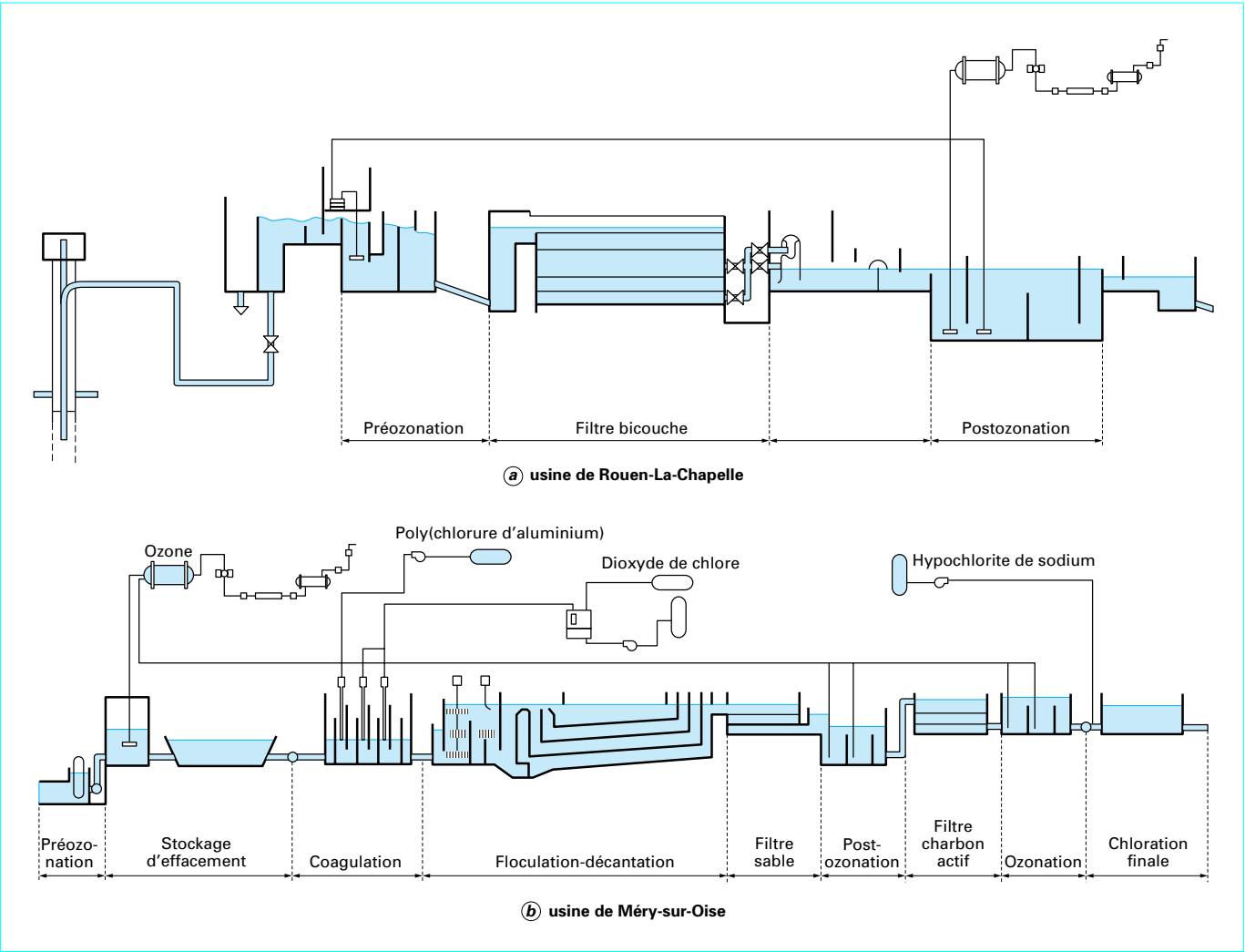


Figure 5 – Schémas complets de traitement (d’après doc. Vivendi)

contraint à mettre au point un appareillage relativement sophistiqué qui, entre deux mesures ou deux courtes séries de mesures, procède automatiquement au reconditionnement des électrodes. Un exemple de réalisation apparaît à la figure 6, qui vise la détermination des teneurs en métaux lourds. Avec des variantes appropriées, il s’adapte à d’autres mesures.

Les résultats peuvent être stockés ou encore télétransmis à un centre où ils sont exploités à l’aide d’ordinateurs.

À titre d’indication, les limites de détection obtenues sont notées dans le tableau 2.

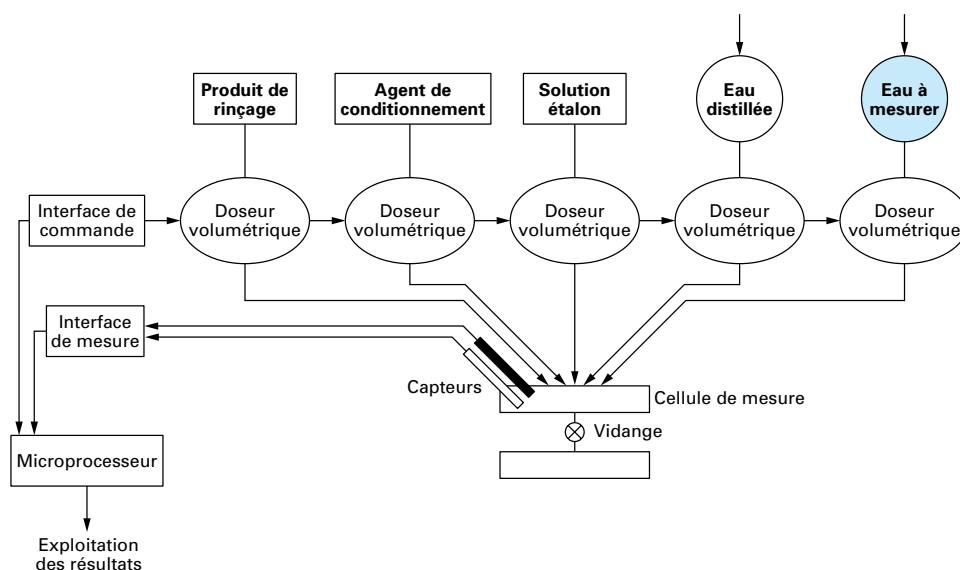
Dans le même esprit, ont été mis au point des préleveurs automatiques de fractions (échantillons discontinus) pour analyses physico-chimiques ou bactériologiques avec ou sans régulation de température (réfrigération).

Si les préleveurs automatiques présentent un coût encore compatible avec des unités de traitement moyennes, cela est moins vrai pour les appareils de mesure avec les limites de détection affichées et compatibles avec la réglementation européenne ;

| Tableau 2 – Limites de détection des mesures analytiques | | | |
|--|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Métaux lourds | Limite de détection (mg/L) | Divers | Limite de détection (mg/L) |
| Cu | 0,020 | NH ₄ | 0,01 |
| Zn | 0,020 | CN | 0,01 |
| Cd | 0,004 | NO ₃ | 0,5 |
| Pb | 0,010 | NO ₂ | 0,1 |
| Cr | 0,020 | F | 0,1 |
| Hg | 0,001 | Cl | 0,2 |
| Mn | 0,030 | COT (1)..... | 0,5 |

(1) COT : carbone organique total.

ceux-ci sont alors réservés aux grosses usines ou à quelques points de production particulièrement sensibles à l’égard d’un ou deux paramètres bien identifiés.



Sous le contrôle du microprocesseur, l'analyseur :

- conditionne le milieu de mesure (libération des espèces ioniques à analyser et élimination des interférences) ;
- effectue des étalonnages sur eau distillée (détermination des caractéristiques de l'électrode) ;
- calcule la force ionique du milieu à mesurer (ou des coefficients d'activité des ions) ;
- nettoie le capteur après chaque mesure.

Figure 6 – Détermination des teneurs en métaux lourds (d'après doc. Vivendi)

Pour les petites unités, on dispose d'une batterie d'analyses simplifiées et/ou de tests, qui permettent de multiplier les mesures sans obérer outre mesure le prix de l'eau ; il est évident toutefois que les limites de détection sont plus élevées et que la précision est plus faible.

Il faut aussi rappeler l'existence de détecteurs non analyseurs en continu ou semi-continu. On les emploie pour des détections rapides de toxicité globale. Il existe des appareils à base de poissons spécifiques, de daphnies ou de bactéries photoluminescentes.

La surveillance de la ressource (cours d'eau) est utilement complétée par des mesures des débits et des vitesses d'écoulement qui sont nécessaires pour l'exploitation des mesures de concentration et leur transformation en flux de matière ainsi que pour l'appréciation du délai d'arrivée d'une pollution donnée au droit de la prise d'eau.

Il peut être fait appel à tout dispositif de mesure des vitesses avec enregistrement et télétransmission. Dans les cas où les mesures limnigraphiques ne sont pas suffisantes (cf. article *Mesures en hydrologie de surface* dans le traité Mesures et Contrôle), on fait souvent appel à des dispositifs s'appuyant sur le processus d'entraînement par l'eau en mouvement d'une onde ultrasonore (cf. article *Mesures en océanographie physique* [R 2 340] dans le traité Mesures et Contrôle), corrélé à une mesure de hauteur d'eau dans un profil donné (figure 7).

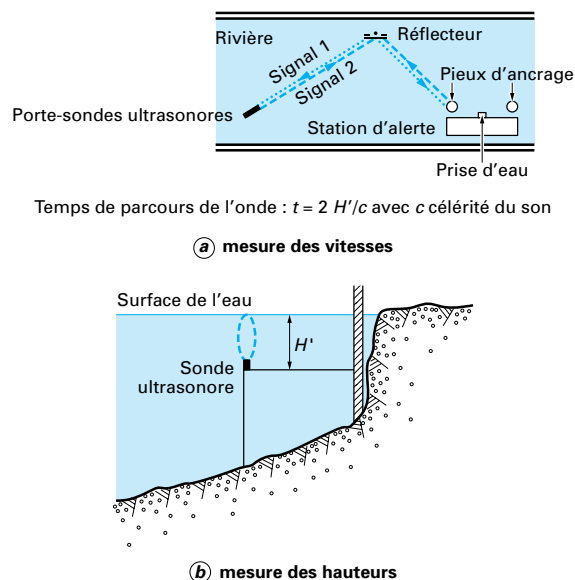


Figure 7 – Mesures des débits et des vitesses d'écoulement (d'après doc. Vivendi)