

Les difficultés rencontrées

A - Problèmes posés par les ressources

Plusieurs types de ressources sont disponibles à l'échelle du territoire ; ces ressources sont plus ou moins fiables selon leur localisation, leur utilisation, leur environnement amont et les précautions prises pour en sauvegarder la qualité.

Le traiteur d'eau s'intéressera d'ailleurs beaucoup plus aux variations éventuelles de qualité d'une eau, qu'à une qualité constante pour laquelle un traitement adéquat est facile à définir (ou relativement facile si le problème est nouveau et que le procédé n'existe pas encore, ce qui fut le cas des nitrates, il y a quelques années).

Enfin, le cas des pollutions accidentelles est tout à fait particulier, par le caractère aléatoire de ces problèmes, en termes de périodicité et de diversité des produits polluants. Si la fréquence des pollutions accidentelles est plus faible en zone rurale qu'en zone urbaine, le risque n'en existe pas moins dans certains cas et il doit donc être pris en considération.

A.1 - Eaux souterraines

Les problèmes rencontrés sont différents selon que l'aquifère exploité est de type poreux (sables, alluvions, roches altérées,...), ou de type fracturé (zones karstiques).

Dans le premier cas, la circulation de l'eau est lente dans le sol, et les variations de qualité de l'eau sont donc "amorties" ; les difficultés rencontrées sont liées à une augmentation régulière des teneurs en éléments indésirables : c'est le cas des nitrates et des pesticides en zone d'agriculture intensive, ou le cas de la salinité en zone littorale. Le pouvoir filtrant du sous-sol empêche l'apparition d'eaux turbides et permet une certaine auto-épuration des eaux d'alimentation de la nappe ; cependant, en cas de pollution non-assimilable près du captage, l'eau pourra être contaminée dans un délai assez court.

La diminution des risques passe le plus souvent par la mise en place d'une protection du captage : périmètres de protection, élimination ou réduction des rejets polluants ponctuels, sensibilisation des pollueurs éventuels,...

Dans le second cas, l'eau circule dans des failles (rivières souterraines), souvent en relation avec l'extérieur ; en période de pluie les eaux de ruissellement s'engouffrent dans les failles et y circulent rapidement jusqu'aux captages, qui produisent alors des eaux turbides et chargées en matières organiques.

D'autre part, les captages en zone fracturée sont difficiles, voire impossibles à protéger par les procédures habituelles des périmètres ; les risques de pollution accidentelle sont délicats à apprécier et à limiter.

A.2 - Eaux de rivière

La caractéristique essentielle des eaux de rivière par rapport aux autres types de ressource est leur grande sensibilité aux sollicitations extérieures ; la qualité des eaux brutes dépend de nombreux facteurs :

- Conditions climatiques : étiage (prépondérance des matières organiques), orages (augmentation brutale et importante de la turbidité), crues et décrues.

- Rejets : l'assimilation des rejets par la rivière n'est pas constante ; elle dépend de paramètres tels que température et débit de l'eau, toxicité des effluents (niveau de traitement, rejets accidentels),...

- Gestion de la rivière et des ouvrages en amont : la vidange périodique des barrages conduit à des variations importantes de la qualité des eaux en aval, et pose de réels problèmes de traitement si elle n'a pas été correctement anticipée ; le problème est identique pour les étangs sur les petits cours d'eau.

La rapidité de variation est en général inversement proportionnelle à la taille du cours d'eau.

La température de l'eau varie au gré des saisons ; les eaux froides en particulier sont souvent difficiles à traiter.

La minéralisation de l'eau peut également varier, en période de fonte des neiges par exemple.

A.3 - Eaux de retenues

Les difficultés de traitement surgissent lorsque la retenue est en état d'eutrophisation ; l'usine doit alors être en mesure de traiter des eaux de caractéristiques très différentes, selon que la prise d'eau se fait dans les couches supérieures (eau riche en algues - jusqu'à 100 000/ml - et en oxygène dissous), ou dans les couches inférieures (eau chargée en ammoniacque, fer, manganèse, matières organiques, et absence d'oxygène dissous). Selon le niveau d'eau dans la retenue et le niveau de prise, la qualité de l'eau admise dans l'usine risque de varier dans l'année.

De plus, en zone tempérée, l'eau des retenues se met en circulation une à deux fois par an, provoquant ainsi un mélange au moins partiel des couches et des variations brusques de qualité.

Des risques de variations plus ou moins rapides et prévisibles existent donc quelle que soit la ressource. Les usines devront être équipées des dispositifs adéquats pour faire face à toutes les situations ; en particulier, la possibilité de détecter, au moins qualitativement, les variations est l'un des points déterminants à prendre en compte pour fiabiliser la production d'eau potable.

A.4 - Pollutions accidentelles

L'Agence de Eau "Seine-Normandie" a mandaté les bureaux d'études SAFEGE et SAUNIER pour la réalisation d'un fichier regroupant les pollutions accidentelles survenues entre 1977 et 1988. Tous les procès-verbaux établis par les services de police des eaux ont été recensés sur l'ensemble du bassin à partir des données disponibles dans les DDAF, DDE, Services de Navigation, auprès du Ministère de l'Environnement et des Distributeurs d'eau potable.

Au total, 1663 cas ont été recensés. Parmi ces cas, près de 40 % sont situés en zone rurale, c'est-à-dire en dehors de la région Ile de France et des départements de la Seine-Maritime et de l'Oise fortement industrialisés. Certaines communes de taille relativement importante peuvent donc être comprises dans les données analysées.

Une analyse du fichier permet de mettre en évidence les caractéristiques des pollutions accidentelles dans les zones rurales ainsi définies. On peut ainsi déterminer les points forts de ces pollutions et les moyens préventifs à mettre en place.

Une première approche des **activités** en cause, permet de mettre en évidence que l'agriculture et les industries agro-alimentaires sont bien entendu très fortement représentées, ainsi que l'industrie lourde (notamment la construction) et les pollutions diffuses dues aux particuliers. Il est à noter également que la plupart des activités polluantes sont identifiées.

ACTIVITE	ZONE RURALE		ZONE URBAINE	
	Nb de cas	%	Nb de cas	%
Agriculture	179	27,4	83	8,2
IAA	114	17,4	61	6,0
Industrie lourde	111	17,0	197	19,5
Particuliers	62	9,5	84	8,3
Chimie	52	8,0	106	10,5
Services	37	5,7	83	8,2
Inconnue	35	5,3	213	21,1
Epuration	32	4,9	52	5,2
Transports	30	4,6	125	12,4
TOTAL	654	100	1009	100

PRODUITS POLLUANTS	ZONE RURALE		ZONE URBAINE	
	Nb de cas	%	Nb de cas	%
Hydrocarbures	245	7,5	680	67,4
Effluents	116	17,7	73	7,2
Phytoprotecteurs	108	16,5	56	5,6
Divers chimie	77	11,8	105	10,4
Boues	46	7,0	27	2,7
Produits agro-alimentaires	24	3,4	22	2,2
Engrais	14	2,1	12	1,2
Inconnu	12	1,8	14	1,4
Désinfectants	9	1,4	12	1,2
Métaux lourds + divers	3	0,4	8	0,7
TOTAL	654	100	1009	100

Quant aux **produits polluants**, ils sont le plus souvent représentés par les effluents et les phytosanitaires, de façon bien plus nette qu'en zone urbanisée. Les boues, les produits agro-alimentaires et les engrais sont également relativement plus nombreux.

Le pourcentage des produits chimiques est uniforme.

Les hydrocarbures représentent le plus fort pourcentage, mais de façon beaucoup moins nette qu'en zone urbanisée.

Les **dommages** se portent essentiellement sur la faune piscicole (élevage ou non) pour près de 53 % des cas en zone rurale, contre seulement 32 % des cas recensés en zone urbaine. Les berges sont également fréquemment endommagées (45 % des cas en zone rurale, 14 % en zone urbaine).

Par contre, les nappes et les captages d'eau potable sont relativement peu souvent touchés en zone rurale (2,7 % des cas pour 9,5 % en zone urbaine).

Les **causes** sont le plus souvent liées à des erreurs humaines ou à des incidents techniques (65 % des cas en zone rurale et 60 % en zone urbaine).

Les erreurs humaines sont cependant relativement plus fréquentes en zone rurale (30 % contre 25 %) ; de même que les rejets volontaires (14,4 % contre 8,7 %).

Par contre, les incendies et attentats sont plus fréquents en zone urbaine. Leur pourcentage est cependant peu représentatif (respectivement pour les zones rurales et urbaines : 1,1 et 2,6 %).

Enfin, les origines inconnues sont moins fréquentes en zone rurale (17 contre 30 %).

Conclusion :

En zone rurale, une attention toute particulière doit être portée sur :

– les stockages de produits phytosanitaires ainsi que sur leur utilisation (dans une moindre part pour les engrais),

– les stations d'épuration présentant souvent un fonctionnement peu satisfaisant, tant du point de vue du traitement des effluents que du devenir des boues,

– les industries agro-alimentaires dont les effluents bien que rarement toxiques sont très chargés en matières organiques et peuvent provoquer des chutes brutales de la teneur en oxygène des eaux et de fortes mortalités de poissons.

B - Problèmes rencontrés dans les réseaux

Le réseau de distribution permet le transport de l'eau traitée jusque chez le consommateur ; or la notion de potabilité de l'eau n'a de sens qu'au point de distribution à l'abonné, et les risques d'altération de la qualité dans le réseau sont donc autant de contraintes pour le distributeur d'eau.

De même, l'eau ne doit pas provoquer de dégradation dans le réseau intérieur des abonnés (corrosion des branchements en plomb par exemple) ni subir d'altération.

Les dégradations de qualité les plus fréquemment rencontrées sont les suivantes :

• Microbiologie :

– présence de germes-tests de contamination fécale et risque d'apparition de germes pathogènes

– présence aux extrémités de réseau d'animalcules (vers, crustacés,...)

– prolifération bactérienne dans les conduites avec apparition d'un film biologique inoffensif mais à l'origine de gênes (consommation d'oxygène, formation de mauvais goûts, décrochage périodique,...)

– prolifération d'algues dans les réservoirs et formation de mauvais goûts

• Matières en suspension :

– remise en suspension de dépôts antérieurs lors des forts tirages (essais incendie en particulier)

– apparition de particules en suspension par refloculation d'aluminium dissous

– corrosion des conduites en acier ou fonte non revêtues et entraînement de particules de fer

- **Mauvais goûts :**

- disparition d'oxygène dissous
- matières organiques de l'eau
- métabolites secrétés par des algues ou des bactéries

- **Présence d'éléments chimiques indésirables :**

- dissolution des conduites (fer, plomb, zinc,...)
- pollution par retours d'eaux souillées

Ces désordres, qui annulent les effets des traitements précédents, peuvent être dûs au réseau et à son exploitation :

- Entrées d'eaux contaminées lorsqu'il se crée des dépressions (fuites, manque d'eau, arrêt du service, coups de bélier,...)
- Contamination dans les réservoirs (nettoyages insuffisants, mauvaise protection des dispositifs d'aération,...)
- Contamination lors des interventions sur les conduites (réparations)
- Stagnation de l'eau aux extrémités du réseau
- Retours d'eaux par les branchements

Cependant, dans bon nombre de cas, ces dégradations pourraient être réduites en admettant une eau de meilleure qualité à l'entrée du réseau :

- Eau parfaitement désinfectée en permanence ; une contamination périodique favorise la création du film biologique difficile à éliminer par la suite.
- Absence d'algues (au plus une centaine par ml) ou de kystes (qui peuvent résister à la désinfection et se développer lorsque les conditions deviennent favorables).
- Présence d'un désinfectant rémanent (chlore ou dioxyde de chlore) en quantité suffisante pour protéger l'eau tout au long des conduites ou chloration intermédiaire sur les réseaux longs.
- Absence de matières organiques susceptibles selon les cas, soit de réagir avec le désinfectant et d'accélérer ainsi sa disparition, soit de servir de substrat (nourriture) aux divers organismes présents. De même, la présence d'ammoniacque diminue l'efficacité du chlore et favorise les proliférations bactériennes.
- Absence de matières en suspension (turbidité faible) ou d'éléments susceptibles de précipiter (aluminium, fer ou manganèse dissous).

- Eau non corrosive : d'une manière générale il est souhaitable de délivrer une eau non agressive pour protéger les conduites sensibles à la corrosion ; dans le cas des eaux très douces, des dispositions particulières sont nécessaires.

Il est donc tout à fait primordial que le traiteur d'eau soit parfaitement conscient de la précarité de ses efforts s'il ne prend pas un certain nombre de précautions pour protéger l'eau pendant son transport.

C - Problèmes rencontrés au niveau du traitement

Ces problèmes peuvent grossièrement être classés en deux catégories :

- Traitement inadapté à la qualité de l'eau brute disponible :

- Il s'agit soit d'une évolution de la qualité de l'eau depuis la construction de l'usine et la définition du traitement nécessaire, soit de variations de qualité d'une amplitude plus grande que prévue. Il peut s'agir également de corrections qui n'avaient pas paru indispensables initialement et qui le deviennent sous la pression des contraintes nouvelles décrites précédemment ; ou encore d'effets indésirables du traitement mis en évidence récemment.

- Traitement momentanément inadapté à la qualité de l'eau :

Le potentiel de traitement existe, mais un problème passager (panne d'un équipement, réaction tardive à un changement de qualité, mauvais choix du dosage,...) rend le traitement inefficace.

La difficulté principale dans les deux cas est due aux principes mêmes des procédés utilisés : en effet la quasi-totalité des usines mettent en oeuvre des traitements physico-chimiques, dont l'efficacité dépend du bon déroulement de réactions chimiques. Or ces réactions sont très sensibles aux conditions de leur mise en oeuvre ; en particulier l'adéquation permanente entre la qualité de l'eau brute, la technologie utilisée et les réactifs éventuellement nécessaires revêt une importance prépondérante.

Si la qualité de l'eau et les ouvrages composant l'usine sont des données imposées à l'exploitant, le choix des produits à injecter et

surtout leur dosage sont sous sa responsabilité et conditionnent l'efficacité du traitement ; c'est souvent cette étape, mal maîtrisée, qui est à la base des défaillances constatées.

C.1 - Mise en oeuvre et dosage des réactifs

Les difficultés sont présentes à plusieurs niveaux :

– **Définition des taux de traitement** : pour tous les produits utilisés, il existe une dose optimale, au delà de laquelle l'efficacité se dégrade et amène un surcoût inutile ; le choix de cette dose est fait généralement empiriquement à partir des résultats de tests, ou a posteriori à partir des résultats obtenus en vraie grandeur (ajustement de résiduels).

Pour certaines phases du traitement, le résultat a posteriori est insuffisant car trop tardif (il faut souvent plus d'une heure avant de voir l'effet d'une modification) ; c'est le cas en particulier de la phase de coagulation.

Pour pouvoir réaliser les tests en question il faut cependant disposer du matériel, du savoir-faire (réalisation et exploitation des résultats) et de suffisamment de temps ; lorsque ce n'est pas le cas (situation fréquente en zone rurale), l'exploitant fait appel à son expérience.

Dans le cas de la coagulation et du taux de sulfate d'aluminium 2 écoles existent : certains exploitants respectent scrupuleusement le cahier d'exploitation de l'usine (même si l'eau n'a plus les mêmes caractéristiques) et d'autres emploient un processus itératif (une heure après la modification, si l'eau en surface du décanteur est bleutée, il y a trop de produit, si elle est sombre, il en manque d'où une correction en conséquence).

Il est certain que cette expérience qu'acquière les exploitants est très précieuse et efficace, mais fait défaut lorsqu'ils sont absents (congs, maladie) ou que la situation diffère de l'habitude.

– **Contrôle du traitement** : beaucoup d'exploitants ne disposent d'aucun équipement, même sommaire, qui leur permettrait de réaliser des analyses de routine pour apprécier l'efficacité du traitement rapidement et dont

les résultats seraient immédiatement utilisables pour régler les dosages.

– **Mise en oeuvre des réactifs** : la préparation des solutions est parfois rendue difficile par manque de moyens adaptés ou par l'utilisation de dispositifs simplifiés (par souci d'économie) dont l'exploitation se révèle à l'expérience fastidieuse et aléatoire. C'est le cas par exemple de beaucoup de doseurs sans énergie (pas d'agitation pour dissoudre les produits en poudre ou réglages de débit délicats). Souvent le manque d'équipements simples du type balance ou densimètre (pour mesurer des concentrations), rend l'exploitation peu fiable ; par exemple la concentration des solutions est réglée par le nombre de seaux ou de boîtes plus ou moins arasés de produit versés dans le bac, sans aucun moyen de vérification après dissolution.

– **Compétence de l'exploitant** : La mise en oeuvre des réactifs impose également que le préposé connaisse le produit qu'il manipule, d'une part pour sa propre sécurité, et d'autre part, pour le bon fonctionnement de l'usine. Exemple : sur une usine utilisant du chlorure ferrique, l'exploitant mélangeait manuellement la solution. L'agitation insuffisante provoquait une stratification de concentration dans le bac, avec pour conséquence un traitement d'abord surdosé, puis progressivement sous-dosé.

Que penser également des usines où une ozonation a été mise en place pour lutter contre des mauvais goûts, et que l'exploitant utilise au minimum de sa capacité pour réduire sa consommation d'énergie (en prétextant souvent que les goûts apparaissent dans le réseau et ne sont donc pas de son ressort) ?

– **Entretien des équipements de préparation et de dosage** : le bon fonctionnement de ces équipements est primordial. Ils véhiculent des produits agressifs ou colmatants, et doivent cependant fournir les débits nécessaires sans variations inopinées.

Il importe donc qu'ils fassent l'objet d'une surveillance et d'un entretien suivis, que leur usure soit prise en compte lors des réglages. Combien de pompes doseuses dont on ne peut plus ajuster le débit pour cause d'usure (le taux de traitement est alors ajusté par la concentration dans le bac de préparation) ? Combien y a-t-il d'injecteurs de chaux colmatés par manque d'entretien ?

C.2 - Choix des réactifs

Beaucoup de filières de traitement d'eau de surface en zone rurale sont basées sur la coagulation au sulfate d'aluminium, complétée éventuellement par une correction de pH à la chaux et un adjuvant de floculation.

Cette séquence n'a que peu évolué jusqu'à maintenant, si ce n'est le remplacement de la silice activée (délicate à préparer) par les alginates de sodium. La chaux a quelquefois été remplacée par le carbonate de sodium, plus facile à préparer même s'il est plus coûteux.

Le sulfate d'aluminium n'a été remplacé que sur quelques usines et assez peu en zone rurale ; il est vrai qu'il est particulièrement adapté aux traitements dans les petites unités, à la restriction près qu'il impose la surveillance du pH. En effet, en eau douce, le sulfate d'aluminium provoque une chute de pH qu'il faut rectifier sous peine de voir la coagulation se dégrader, et aussi de voir augmenter la teneur en aluminium résiduel.

De même, la préchloration a longtemps été considérée comme une étape indispensable pour éliminer les matières organiques et l'ammoniaque (sans d'ailleurs que les exploitants sachent toujours ce que représente le point critique). L'apparition de composés sapides (générateurs de mauvais goût de l'eau) et la mise en évidence de sous-produits indésirables (composés organo-chlorés tels que les THM), générés par l'action du chlore dans certains cas, ont conduit les traiteurs d'eau à s'interroger sur la place de la chloration lors du traitement, et à imaginer des solutions alternatives lorsque nécessaire.

Enfin, la tendance a souvent été jusqu'à maintenant de réduire le plus possible le nombre de réactifs utilisés, dans une logique tout à fait compréhensible de simplification de l'exploitation et donc d'amélioration de la fiabilité des usines. Or il semblerait, au vu des résultats de cette démarche, qu'elle soit simpliste. Parfois une plus grande fiabilité pourrait être atteinte (en termes de continuité et de qualité de l'eau produite) par une filière de traitement plus complexe - réactifs plus diversifiés, injections étagées d'un même produit - en renforçant parallèlement les structures de suivi du traitement et d'entretien des équipements.

C.3 - Autres difficultés rencontrées

– **Hydraulique des ouvrages**; lorsque le débit admis sur l'usine a été progressivement augmenté pour faire face à la demande, les pertes de charge créées par l'augmentation des vitesses provoquent des turbulences (floculation), les vitesses superficielles deviennent trop grandes (décanteurs), des zones mortes apparaissent dans les bassins. Ces considérations sont également importantes lorsqu'on désire augmenter la capacité d'une usine en profitant des ouvrages existants et en minimisant le Génie Civil.

– **Le bon mélange des réactifs** avec l'eau à traiter conditionne l'efficacité du traitement; cela est particulièrement vrai pour l'étape de coagulation et la mise en oeuvre du coagulant : l'énergie dispensée et la durée du mélange doivent être adaptées.

– **Gestion technique des ouvrages** : certains exploitants ne savent pas régler les décanteurs (purges ou recirculation des boues, pulsation des appareils à lit de boues) ou les filtres (fréquence des lavages) dont ils disposent pour en tirer la meilleure efficacité (turbidité plus faible, réduction des pertes d'eau et de la consommation d'énergie,...). Ils s'appuient sur les réglages moyens proposés par le constructeur et subissent les situations de crise sans pouvoir s'adapter.

3 FICHES TECHNIQUES

INDEX DES FICHES ET PRINCIPAUX MOTS-CLES

- 1 - Coagulation-floculation
- 2 - Mise en oeuvre des réactifs
- 3 - Préoxydation
- 4 - Désinfection
- 5 - Nitrification biologique
- 6 - Affinage
- 7 - Corrosion-neutralisation
- 8 - Décantation
- 9 - Filtration
- 10 - Contrôle et suivi du traitement
- 11 - Aménagement des prises d'eau
- 12 - Elimination des boues
- 13 - Filtration tangentielle
- 14 - Elimination des solvants chlorés
- 15 - Déferrisation et démanganisation biologiques
- 16 - Automatisation des usines
- 17 - Personnel

Mots clés complémentaires :

- Algues : fiche 1
- Aluminium : fiche 1
- Ammoniaque : fiches 3 et 5
- Bactériologie : fiche 4
- Capteurs : fiche 10
- Couleur : fiches 1, 6 et 7
- Exploitation : fiche 17
- Fer : fiches 7 et 15
- Goûts : fiches 1 et 6
- Manganèse : fiche 3
- Matières organiques : fiches 1 et 6
- pH : fiches 1 et 7
- Turbidité : fiche 1

1

Coagulation-Floculation

1 - Réglages des taux de traitement

La dose de coagulant dépend des caractéristiques de l'eau et doit être en permanence adaptée ; à chaque moment il existe une dose optimale, qui change en fonction des variations de qualité de l'eau :

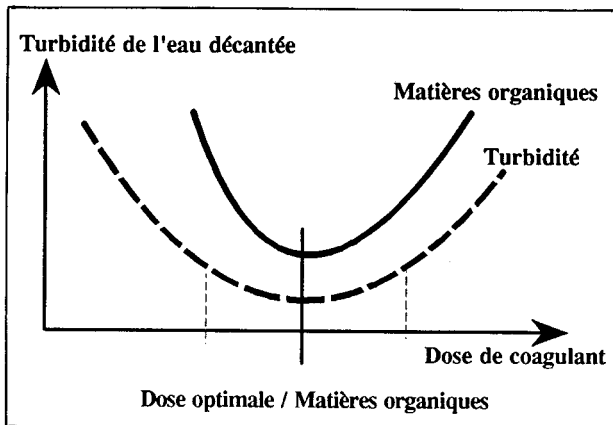


fig.1 : Dosage du coagulant

Si la dose optimale pour la réduction de la turbidité est comprise dans une fourchette de valeur, plus ou moins large selon le réactif utilisé, l'élimination des matières organiques nécessite généralement un dosage plus précis, correspondant à un potentiel Zéta nul (théorie de la double-couche).

En particulier cette condition est requise lorsqu'il s'agit d'éliminer des algues, et principalement des algues bleues (cyanophycées) qui sont les plus gênantes pour la production d'une eau de bonne qualité.

(Voir figure 2)

La maîtrise du pH de floculation est un facteur important de bon fonctionnement du traitement :

– teneur en aluminium résiduel : le pH de floculation doit être maintenu dans une fourchette assez étroite, pour que la précipitation de l'aluminium soit effective et complète.

Les valeurs à respecter dépendent en particulier de la minéralisation de l'eau ; elles varient, en général, entre 6-6,4 pour les eaux douces et 7,0-7,2 pour les eaux plus dures (TH > 15°F).

Le problème est particulièrement important dans le cas des eaux douces, pour lesquelles le pH est difficile à maîtriser. En effet, la moindre variation de taux de traitement (sulfate d'aluminium, correcteur de pH) a des répercussions immédiates et de grande amplitude sur le pH.

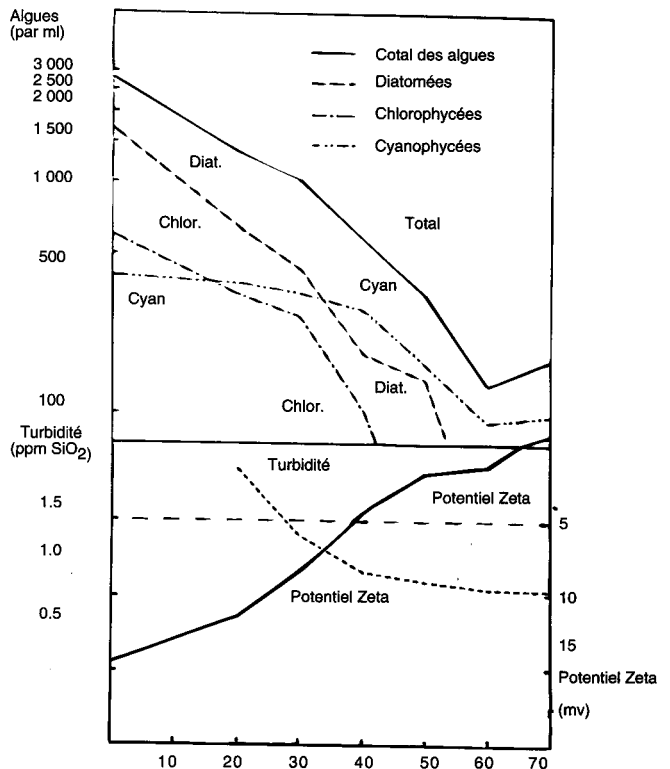


fig.2 : Algues résiduelles en fonction de la dose de coagulant

Le pH doit alors être surveillé en permanence pour pouvoir remédier rapidement à tout défaut. Si un traitement complémentaire de reminéralisation est effectué pour lutter contre la corrosion dans le réseau, sa mise en oeuvre partielle en amont de la clarification permet d'obtenir un pH plus stable.

– Meilleure élimination des matières organiques : il semblerait qu'une coagulation à pH bas (compris entre 5 et 6) permette dans certains cas une meilleure élimination des matières organiques et de la couleur.

L'optimum dépend du type de molécules organiques présentes et des proportions res-

pectives entre acides humiques, acides fulviques, etc. ; il doit être déterminé au cas par cas à l'aide des tests classiques (essais de floculation).

L'eau traitée risque cependant de contenir un résiduel en aluminium trop élevé (cf paragraphe ci-dessus) ; cette situation amène alors à travailler à pH acide dans le décanteur, puis à augmenter le pH à une valeur plus compatible avec la précipitation du coagulant avant filtration.

(Voir figure 3)

Une étape de coagulation-floculation correctement ajustée (dose de coagulant et pH) favorise une élimination optimale des matières organiques.

Le gain ainsi réalisé, par rapport à une mise en oeuvre classique, basée sur la réduction de turbidité, permet ensuite soit de disposer d'une eau de qualité satisfaisante, soit d'alléger une étape ultérieure d'affinage, et cela à moindre coût.

L'optimisation de cette étape primordiale du traitement repose sur un contrôle et un suivi du traitement sans faille, c'est à dire sur un personnel d'exploitation qualifié, ou disposant facilement d'outils d'aide à la décision, et sur des moyens d'auto-contrôle adéquats.

Il conviendra, en cas de travail en $\text{pH} < 5,5$, de tenir compte d'éventuels phénomènes de corrosion et/ou de dégradation des bétons, et de protéger en conséquence les ouvrages et équipements.

2 - Nouveaux produits

Des produits de substitution au sulfate d'aluminium ont été développés ces dernières années pour essayer de réduire les inconvénients liés à l'utilisation de celui-ci.

Les plus anciens de ces produits sont déjà utilisés depuis plusieurs années, en particulier sur les usines les plus importantes.

Les résultats attendus de ces coagulants sont les suivants :

- formation rapide du floc, même en période d'eaux froides,
- faible diminution du pH,
- sensibilité faible aux conditions de pH,
- floccs décantant rapidement,
- sensibilité du dosage modérée,
- meilleure cohésion des boues.

Ces produits sont le plus souvent des poly-chloro-(sulfate) d'aluminium (PACS) ; les plus connus de ces produits sont le WAC (ATO-CHEM) et l'Aqualenc (RHONE-POULENC), les différences entre les produits venant de masses moléculaires différentes, qui leur confèrent des propriétés spécifiques.

Dans les meilleurs des cas, ces produits peuvent se substituer à la séquence sulfate d'aluminium-chaux-adjuvant avec la même efficacité et à un coût comparable.

Il importe cependant de toujours réaliser des essais préalables poussés pour évaluer l'efficacité réelle des produits dans chaque cas particulier.

Par exemple, dans le cas des eaux peu minéralisées ($\text{TAC} < 2-3 \text{ }^\circ\text{F}$), le sulfate d'aluminium semble donner de meilleurs résultats technico-économiques que les PACS, mais cette assertion est elle-même à vérifier avec le développement de nouveaux produits.

Lorsque les floccs obtenus décantent mal, en ayant optimisé les conditions de traitement (choix et dose du coagulant, pH, hydraulique des ouvrages), le recours à un adjuvant peut améliorer les conditions de floculation.

Les produits autorisés jusqu'à maintenant, silice activée et alginates de sodium pour la plupart des usines, donnent des résultats plus ou moins bons, à des doses relativement élevées.

Leur remplacement par des polymères de synthèse, les polyélectrolytes, peut permettre

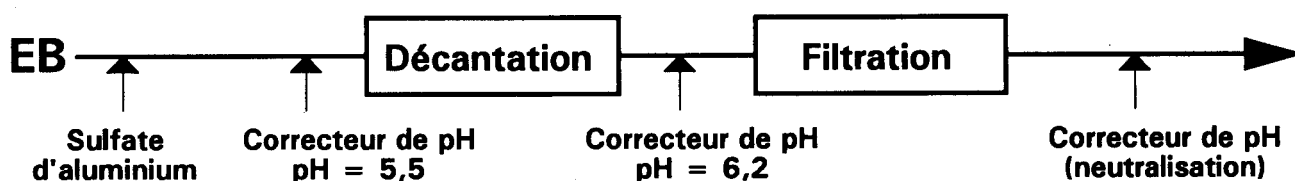


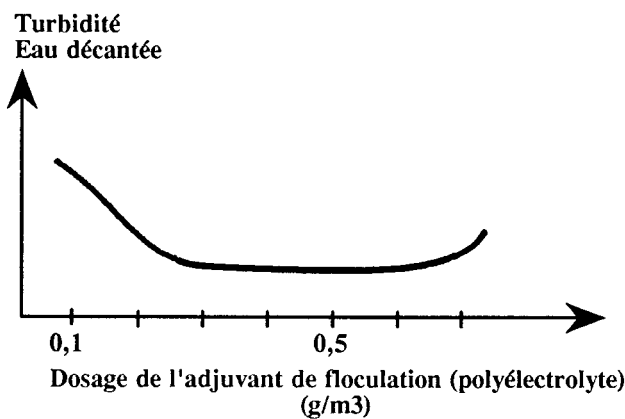
fig.3 : Gestion du pH de floculation

une amélioration sensible des résultats obtenus. En effet, la grande diversité des composés proposés (par leur taille moléculaire) permet une réelle sélection et des essais variés.

Pour les eaux peu minéralisées, à l'heure actuelle, la silice activée semble toutefois donner de meilleurs résultats que les polymères.

Les produits utilisables sont de type non-ionique ou légèrement anionique sur base polyacrylamide. Le traiteur d'eau devra s'assurer que le produit qu'il sélectionne est bien autorisé par les Autorités Sanitaires.

Les doses mises en jeu sont généralement inférieures à 0,5 g/m³.



Voir fig.4 : Dosage des polyélectrolytes

Un surdosage, s'il reste limité, n'a pas une influence très marquante sur la décantation des particules ; par contre, il risque de provoquer un colmatage accéléré des filtres.

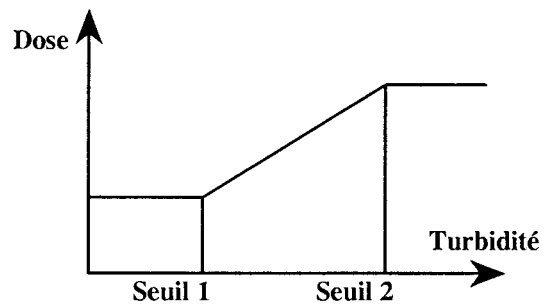
Le surcoût dû au polymère est en général inférieur à celui induit par un adjuvant classique.

3 - Automatisation du processus

L'automatisation sous-entend l'ajustement en permanence des caractéristiques du traitement (taux de coagulant, pH,...) aux caractéristiques de l'eau brute disponible, et non pas seulement, comme cela se fait déjà, le démarrage d'une seconde pompe doseuse de sulfate d'aluminium en cas de pluie, ce qui n'est qu'un pis-aller.

Cette méthode peut cependant être assez sophistiquée :

- 1^{er} taux de coagulant (prédéterminé) jusqu'à un premier seuil de turbidité,
- jusqu'à un second seuil de turbidité, application d'un taux de traitement variant linéairement selon un polynôme du 1^{er} degré du type $a \times \text{turbidité} + b$,
- au-delà de ce second seuil : application d'une dose constante.



De fait, l'automatisation complète de la coagulation n'est pas encore possible, mais plusieurs axes d'étude sont développés dont :

- **Le développement de modèles mathématiques** : des modèles prédictifs de la demande en coagulant sont en cours d'expérimentation.

Ces modèles empiriques sont basés sur une analyse stochastique des historiques de relevés sur une usine donnée.

Il semblerait qu'un petit nombre de paramètres (4-5) permette d'évaluer le taux de traitement nécessaire.

Cette démarche pose le problème du choix des informations nécessaires. Des essais de modélisation ont montré, par exemple, dans un cas donné, que les principaux descripteurs caractéristiques de l'eau brute étaient la température, la turbidité et les teneurs en ammoniac et en nitrate, et le débit de la rivière.

Ces modèles sont alors difficilement transposables d'une usine à l'autre : le poids de chaque paramètre, à supposer qu'il s'agisse des mêmes paramètres, doit être précisé dans chaque cas.

La nécessité d'un historique ancien (acquisition et stockage d'informations adéquats), rend la mise au point de ces modèles délicate sur bon nombre d'usines. Une autre voie

concerne l'aide à la décision par un système-expert. Par exemple un SE, en cours d'essais et de validation, confronte le jugement de l'exploitant sur les résultats d'un Jar-test à sa base de données, et en déduit la dose optimale de coagulant.

Les variations du pH de l'eau en fonction du traitement sont déjà assez facilement appréciables a priori par le calcul (logiciels créés à partir des travaux de LEGRAND et POIRIER).

– **La mesure directe de la qualité de la coagulation** : certains appareils, placés en aval de l'injection du coagulant, donnent un courant dont on connaît encore mal la signification, mais qui, semble-t-il, peut être relié, au moins empiriquement, au potentiel des particules dans l'eau (potentiel zéta).

Ces SCD (Streaming Current Detector) ou CCC (Coagulant Control Center) peuvent alors permettre de réguler un processus de coagulation.

Des essais sont cependant nécessaires pour vérifier au cas par cas le bon fonctionnement de ces équipements dans les conditions locales rencontrées. En particulier il semble que les résultats obtenus soient meilleurs dans le cas du traitement d'eaux peu minéralisées (et dont la conductivité naturelle est assez faible).

4 - Injection des réactifs

L'énergie mise en jeu au moment de l'injection du coagulant conditionne l'efficacité du traitement. En effet, il faut absolument que le mélange réactif et eau à traiter soit très rapide, pour que toute la capacité coagulante du produit soit mobilisée avant les réactions secondaires d'hydrolyse.

Dans beaucoup d'usines, les décalages existent entre les doses issues des tests et les doses réelles (supérieures), explicables en partie par un mauvais mélange des produits. La présence de deux coudes à angles droits après l'injection n'est pas toujours suffisante.

La mise en place de bacs de mélange rapide (flash-mixing), équipés d'agitateurs adéquats, ou de mélangeurs statiques en ligne sur la conduite après l'injection, selon le cas (ligne d'eau, charge hydraulique disponible), permet parfois d'optimiser le traitement et la consommation de réactifs (des baisses allant jusqu'à 40 % ont été observées).

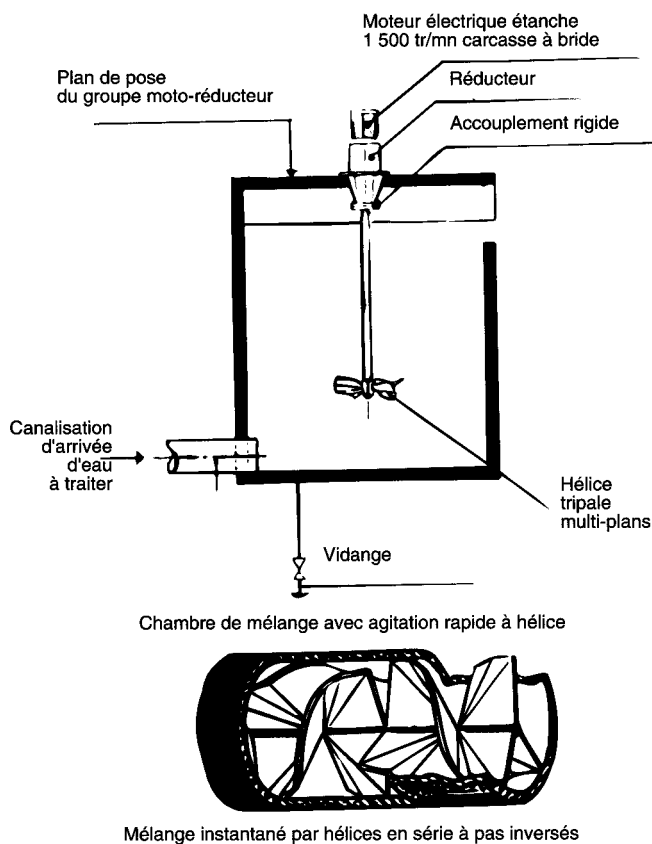


Fig.5 : Mise en oeuvre de la coagulation

De plus, l'injection simultanée de plusieurs produits peut conduire à des interactions néfastes et des pertes d'efficacité : hydrolyse du coagulant ou consommation de chlore par la chaux, par exemple.

Des injections décalées, pour que le 1er produit soit parfaitement mélangé avant l'injection du second, sont nécessaires pour optimiser le traitement.

Autres fiches à consulter

- 2 Mise en oeuvre des réactifs
- 10 Contrôle et suivi du traitement
- 16 Automatisation des usines
- 17 Personnel
- 7 Corrosion et neutralisation

2

Mise en œuvre des réactifs

1 - Utilisation de produits liquides

La préparation des solutions à partir d'un produit commercial solide en sac n'est jamais parfaitement fiable (concentration variable, manipulation fastidieuse,...).

La possibilité de disposer de coagulants liquides (sulfate d'aluminium en solution, PACS) permet d'envisager un dosage direct du produit commercial.

L'exploitation de l'usine sera ainsi facilitée (manipulation réduite, réglages simplifiés,...), à condition toutefois d'utiliser des doseurs suffisamment fiables ; ce qui semble être le cas des pompes doseuses actuelles et particulièrement des pompes électromagnétiques pour les faibles débits.

Des précautions de stockage sont nécessaires pour assurer la protection des personnels et de l'environnement :

- Dispositifs anti-projection,
- Cuves de rétention sous les citernes,
- Repérages des citernes pour éviter tout mélange de produits.
- Précautions de stockage : certains réactifs doivent être stockés dans des conditions particulières (par exemple, la soude à 30% cristallise à 4°C).

Une dilution du produit avant son injection, mais après son dosage, est souvent préférable pour éliminer les risques de mauvais mélange dus à la viscosité de ces solutions concentrées.

Il convient cependant de s'assurer que cette dilution ne risque pas de provoquer une dégradation de la qualité du produit, comme c'est le cas par exemple des PACS, qui s'hydrolysent rapidement (rapports de dilution autorisés par les fabricants : de 3 à 0 selon les produits).

2 - Préparation des réactifs

Lorsque l'utilisation d'un produit nécessitant une certaine préparation est inévitable (seul produit adéquat, pas d'approvisionnement,...), le dispositif de préparation et de dosage doit être choisi et entretenu avec soin :

- bonne agitation lors de la dissolution : un simple brassage "manuel" est généralement insuffisant.

L'agitation peut être réalisée par un agitateur mécanique, de l'air comprimé ou un retour de solution en excès à fort débit ; le brassage doit être en rapport avec la taille du bac de préparation.

- bon brassage pour les produits en suspension ou les produits qui risquent de se stratifier : de permanent dans le premier cas, il peut être périodique dans le second.

- doseurs bien adaptés : par exemple, le dosage du lait de chaux nécessite une pompe doseuse robuste, équipée de clapets lourds et d'un système de rinçage automatique en cas d'arrêt, ou une pompe centrifuge à fort débit et retour de l'excédent dans le bac de préparation ; des vitesses élevées doivent être respectées dans les conduites sous peine de colmatage rapide.

Chaque produit a des contraintes spécifiques de préparation ; ainsi les polyélectrolytes, commercialisés en poudre, doivent-ils être utilisés après un temps de maturation (15 à 30 mn) sous une agitation appropriée (une agitation trop forte dégrade le produit).

Il est important de consulter les notices techniques des fabricants de produits pour définir les caractéristiques des dispositifs de préparation.

Autres fiches à consulter

- 16 Automatisation des usines
- 10 Contrôle et suivi du traitement
- 17 Personnel

3

Préoxydation

1 - Chlore

La préchloration est le type de préoxydation de l'eau le plus ancien, le plus simple à l'emploi, le moins coûteux et donc le plus répandu.

Il ne saurait être question de remettre en cause l'utilisation du chlore dans la majorité des usines, mais, dans un certain nombre de cas, la préoxydation au chlore doit être revue : formation de mauvais goûts, de composés organochlorés indésirables, consommation excessive,...

Des alternatives à la préchloration, lorsqu'elle est utile (présence d'algues, de matières oxydables,...), existent. Il convient toutefois de bien connaître les effets des différents procédés de substitution.

Dans certains cas (pas de prolifération algale en particulier), un simple report de la chloration, après le décanteur par exemple, lorsque la teneur en précurseurs de THM a diminué, et avant les filtres, pour que le temps de contact soit suffisant, permet de limiter la quantité de composés indésirables produite.

2 - Dioxyde de chlore

Les réactions d'oxydation sont généralement, mais pas toujours, plus poussées que celles rencontrées avec le chlore.

Il ne réagit pas avec l'ammoniaque.

Il ne forme pas de THM ; des ions chlorite et chlorate apparaissent, dont on ne connaît pas bien la toxicité, mais pour lesquels les autorités américaines recommandent une teneur limite de 0,5 mg/l (ce qui n'autorise qu'une dose maximale de 0,7 g/m³).

Lorsque le dioxyde de chlore est produit avec un excès de chlore gazeux (de 200 à 300 % de la dose normale), le chlore résiduel peut provoquer l'apparition de THM.

3 - Monochloramines

Une préoxydation aux monochloramines n'entraîne pas la formation de THM, puisque ceux-ci ne semblent apparaître qu'en présence de chlore libre.

L'efficacité du traitement semble similaire à celle d'une filière avec préchloration par rapport aux matières organiques et aux algues.

La fabrication des monochloramines impose un suivi assez précis : injection d'un complément d'ammoniaque et de chlore (rapport Cl₂/NH₄ de l'ordre de 5) et chloration finale au point critique (lorsque la teneur en précurseurs de THM est devenue faible) pour obtenir du chlore libre et éliminer l'ammoniaque dans l'eau traitée.

Si la teneur en ammoniaque de l'eau brute varie dans des proportions importantes, le réglage du traitement peut être délicat.

4 - Ozone

Une préozonation peut permettre une amélioration des conditions de clarification (au niveau de la coagulation) ; les taux appliqués sont généralement de l'ordre de 0,5 à 1 g/m³.

L'ozone ne réagit pas avec l'ammoniaque.

La difficulté de mise en oeuvre d'une préozonation sur une usine existante vient de la cuve de contact, souvent difficile à intercaler.

Les coûts d'investissement et de fonctionnement d'une unité d'ozonation sont importants.

Après une ozonation peu poussée, des algues peuvent se développer dans les bassins de décantation et de filtration, provoquant, outre une salissure importante, des risques de colmatage accéléré des filtres. Dans ce cas, seule la couverture des ouvrages peut permettre de réduire ces phénomènes (pas d'apport de lumière).

En outre, ces couvertures facilitent l'exploitation des usines en période de gel.

La protection, couvrant l'ensemble de l'usine ou unitaire par bassin, doit résister aux atmosphères corrosives dues à l'utilisation d'ozone et de chlore (problème similaire aux piscines couvertes).

Ces alternatives n'ont pas toutes les mêmes effets et il est impératif de réaliser des essais préalablement à toute décision, pour détecter les effets de synergie ou les interférences éventuelles avec la suite du traitement.

Par exemple, une préoxydation au dioxyde de chlore ou aux monochloramines augmente la demande en ozone de l'eau dans le cas d'une désinfection par l'ozone :

- Transformation du dioxyde résiduel et du chlorite formé en chlorate ; la surconsommation est proportionnelle aux teneurs ;

- Surconsommation d'ozone de l'ordre de 30 % due à la présence des chloramines.

De même, les implications technologiques liées au choix réalisé ne sont pas sans influence sur l'exploitation et la maintenance de l'usine : les dispositifs de production doivent être réglés et entretenus avec soin pour en assurer la fiabilité et en réduire le coût de fonctionnement.

Autres fiches à consulter

- 6 Affinage
- 5 Nitrification biologique

4

Désinfection

La désinfection au chlore est encore le traitement le plus répandu et certainement le plus approprié à l'heure actuelle dans la majorité des usines de production d'eau.

Le rejet du chlore par les consommateurs provient des goûts induits ; or ceux-ci ne sont dus au chlore qu'indirectement :

– Présence de matières organiques dans l'eau, qui réagissent avec le chlore en donnant des sous-produits sapides ; une meilleure élimination de celles-là permet de réduire les mauvais goûts.

– Teneur en chlore excessive (sup. à 0,5-0,8 mg/l) dans l'eau au départ de l'usine, pour compenser une consommation de chlore importante dans le réseau ; la distribution d'une eau mieux "stabilisée" (pas de matières organiques à oxydation lente, pas de développement bactérien important) dans un réseau bien entretenu (purges d'antennes, nettoyages de réservoirs, rinçages et désinfection après intervention) permet de maîtriser en partie ce problème important.

– Teneur en chlore variable : ce phénomène est souvent dû à un manque de savoir-faire des préposés, qui ajustent mal ou avec retard les doses à la qualité de l'eau disponible.

1 - Dioxyde de chlore

Par rapport au chlore, outre sa plus grande rémanence, il semble que les goûts rencontrés soient en général moins gênants pour les consommateurs, ou deviennent excessifs pour des teneurs plus importantes.

2 - Ozone

Il est impératif de prévoir après l'ozonation, l'injection d'un produit rémanent (chlore ou dioxyde de chlore) pour éviter des reviviscences bactériennes dans le réseau ; en effet, lors de la désinfection à l'ozone, si la teneur globale en matières organiques (COT) reste identique, la biodégradabilité des composés organiques présents augmente souvent.

Ces proliférations peuvent être maîtrisées en éliminant les matières organiques bioassimilables par un traitement complémentaire d'affinage (filtration sur CAG).

Une destruction de l'ozone résiduel est parfois nécessaire pour éviter des interférences avec le produit bactériostatique ; l'anhydride sulfureux et le bisulfite de sodium sont alors utilisés.

3 - Ultra-violet

La désinfection par les UV peut être une alternative à la chloration, en particulier lorsque la qualité bactériologique est le seul critère de non-potabilité, et lorsque le réseau de distribution est en bon état et correctement entretenu.

Les avantages d'un traitement aux UV tiennent à sa facilité de mise en place et d'automatisation, et son autonomie (pas de réactif à préparer).

La consommation d'énergie des irradiateurs dépend de la qualité de l'eau (adsorption des UV) ; elle peut être de l'ordre de 10 à 15 Wh/m³ pour une eau de bonne qualité.

La durée de vie des lampes (lampes à mercure basse-pression) est de l'ordre de 8 000 à 10 000 heures en fonctionnement continu, réduisant ainsi les opérations de maintenance, qui comprennent également le nettoyage des tubes UV.

La non-rémanence de la protection peut être un inconvénient majeur pour la distribution d'une eau de bonne qualité.

Autre fiche à consulter

– 3 Préoxydation

5

Nitrification biologique

C'est la seconde voie d'élimination de l'ammoniaque lorsqu'il est souhaitable de ne pas utiliser la chloration au point critique : dose requise de chlore trop importante (le rapport Cl_2/NH_4 est en effet de l'ordre de 8 à 15 pour atteindre le point critique), ou utilisation d'un autre oxydant que le chlore.

Cette étape peut s'insérer dans une filière de traitement existante, si des conditions favorables sont réunies :

– Teneur en oxygène dissous suffisante : l'oxydation de l'ammoniaque par les bactéries requiert une eau suffisamment oxygénée (consommation de l'ordre de 4,5 mg/l pour éliminer 1 mg/l de NH_4) ; une aération préalable est donc nécessaire dans certains cas (eaux souterraines, eaux de retenue eutrophe).

– Température de l'eau : si la température est très basse (inf. à 5°C), les réactions deviennent très lentes. Cette situation peut se rencontrer en particulier avec des eaux de rivière et conduire à des "fuites" d'ammoniaque (oxydation trop lente pour le temps de séjour dans l'usine).

– pH de l'eau : la nitrification est optimale lorsque le pH est de l'ordre de 8. Cette condition est difficile à respecter pour les eaux douces pendant un traitement de clarification (pH < 6,5), et les réactions sont alors lentes,

ce qui peut bloquer le développement des souches nitrifiantes.

– Variation de la teneur en ammoniaque : la biomasse nitrifiante ne réagit pas très rapidement aux variations brutales de concentration et la longueur des phases d'adaptation peut être incompatible avec la fréquence des variations.

– La présence de phosphore est nécessaire au développement des bactéries. En cas de déficit, une injection complémentaire s'impose, sous forme de phosphate trisodique ou d'acide phosphorique ; la dose utilisée est faible, de l'ordre de 0,2 à 0,5 mg PO_4/l .

Si la nitrification des eaux souterraines ne pose en général que peu de difficultés, à condition de respecter les conditions de vie des bactéries (oxygène, phosphate, absence de toxiques), il n'en est pas de même lors du traitement des eaux de surface.

En effet, les variations de concentration et de température de ces eaux provoquent des "percées" périodiques des filtres nitrificateurs (pendant la phase d'adaptation de la biomasse) et des fuites en ammoniaque.

Une chloration au point critique en fin de traitement doit assurer alors l'élimination complète de l'ammoniaque, en se basant soit sur

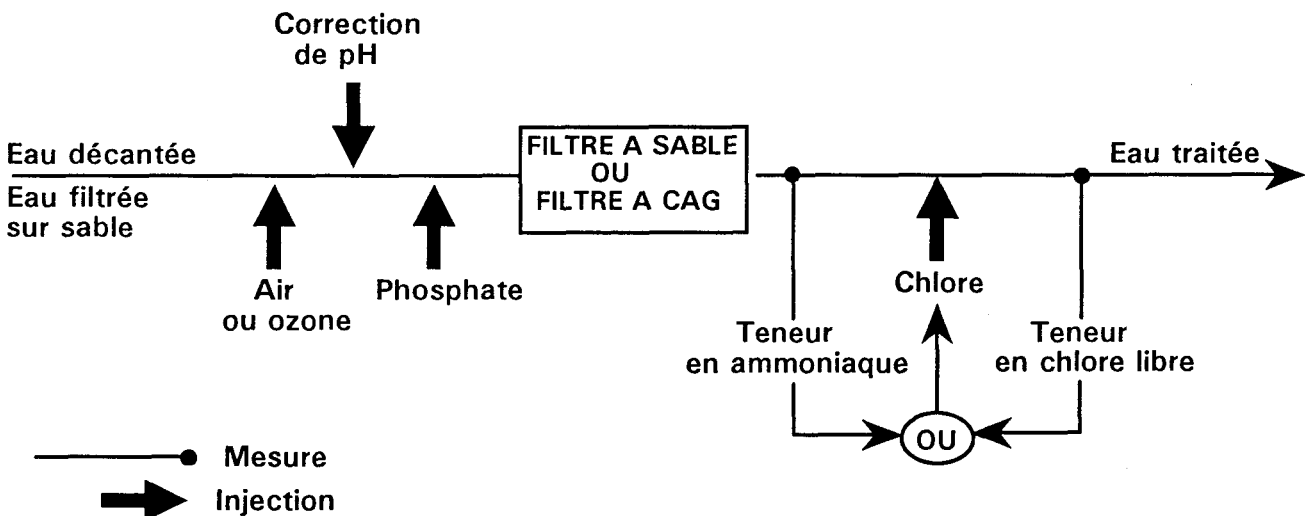


fig. 6 : Nitrification biologique des eaux de surface

la teneur en ammonium à la sortie des filtres, soit sur la présence de chlore libre après la chloration.

La nitrification peut être mise en oeuvre dans des filtres à sable classiques lorsque la teneur en ammoniac ne dépasse pas 1 à 1,5 mg/l; pour des teneurs plus importantes, des filtres spécifiques aérés sont nécessaires ou une combinaison telle que aération ou ozonation et filtration sur Charbon Actif en Grains.

La nitrification des eaux douces dans les filtres à sable après décanteur peut être trop lente à cause du pH de l'eau, généralement de l'ordre de 6,2 à cet emplacement ; une correction de pH risquerait de provoquer l'apparition d'aluminium dissous dans l'eau traitée et

il semble alors souhaitable que la nitrification ait lieu dans un second filtre, après (ou pendant) une correction de pH intermédiaire (étape de neutralisation par exemple).

Si la teneur en oxygène est suffisante, la nitrification peut démarrer dans les décanteurs à recirculation ou à voile de boues ; il convient alors d'adapter les réglages de l'appareil car les boues produites, plus lourdes que les floccs classiques, risquent de s'accumuler au fond et d'entrer en fermentation, provoquant ainsi des dégagements gazeux et des remontées de boues.

Autre fiche à consulter

– 6 Affinage

6

Affinage

Il s'agit alors d'améliorer la qualité de l'eau vis à vis de sa teneur en matières organiques, susceptibles de provoquer l'apparition de troubles pour le consommateur (mauvais goûts en particulier).

Le traitement de base pour l'élimination des matières organiques (MO) est la coagulation-floculation ; il permet en effet d'éliminer de l'ordre de 60 % de l'oxydabilité au permanganate et environ 40 % du COT.

L'optimisation des conditions de mise en oeuvre de cette étape permet un gain de quelques % sur les rendements épuratoires.

L'oxydation de ces matières organiques permet de réduire leur demande en oxygène, mais non leur teneur globale (mesurée par le COT).

De plus, la transformation induite par l'oxydation peut se révéler gênante (apparition de composés organochlorés (THM en particulier) pour le chlore, biodégradabilité accrue pour l'ozone et risque de développement bactérien dans le réseau,...).

Une étape complémentaire d'affinage par le charbon actif peut donc être nécessaire.

Le charbon actif permet de réduire les teneurs en MO par rétention de celles-ci (phénomène d'adsorption qui n'induit pas de sous-produits).

L'élimination d'une pollution chronique implique généralement la mise en oeuvre d'une filtration sur charbon actif en grains (CAG), le charbon actif en poudre (CAP) restant plutôt un moyen de lutte contre une pollution accidentelle. En effet, les sujétions de mise en oeuvre du CAP sont importantes, à moins de disposer d'un matériel bien adapté (containers étanches par exemple) ; de plus, le coût d'une utilisation prolongée du CAP risque d'être prohibitif par rapport à celui du CAG.

Un autre inconvénient à une utilisation prolongée du CAP réside dans le devenir des boues issues des décanteurs ou filtres, dont le rejet, déjà source de nuisances pour une

usine classique, peut devenir totalement incompatible avec le milieu naturel.

Un couplage CAP-CAG peut être utile : en effet, le CAG seul peut arrêter ou réduire une pointe de pollution, mais d'une part il risque de se saturer prématurément, d'autre part des phénomènes de relargage risquent d'apparaître après la fin du flux polluant, conduisant à une teneur en micropolluants dans l'eau traitée supérieure à l'eau brute ; la mise en oeuvre de CAP permet alors de s'affranchir de ces problèmes et de rationaliser l'utilisation du CAG.

Il peut se développer à l'intérieur d'un filtre à CAG une activité biologique complémentaire à l'action d'adsorption du matériau ; la dégradation de la fraction biodégradable des MO ainsi réalisée permet d'améliorer l'efficacité du traitement, d'accroître la "durée de vie" du charbon et de produire une eau plus stable (moins de risque de dégradation biologique dans le réseau).

(Voir fig.7)

Le charbon présente les avantages sur d'autres matériaux d'être un bon support pour la flore bactérienne (concentration locale de nourriture importante) et de provoquer la disparition d'un éventuel résiduel d'oxydant, qui pourrait détruire la biomasse et perturber le traitement.

Cette activité biologique peut être amplifiée par une ozonation de l'eau avant filtration ; l'ozonation entraîne en effet une très bonne oxygénation de l'eau et une réduction de la taille des molécules organiques, ce qui les rend plus facilement assimilables par les bactéries (couplage OZONE-CAG pour bénéficier des synergies existantes).

Une aération de l'eau peut être suffisante selon le but recherché (simple nitrification biologique par exemple). Cet apport d'air peut être réalisé avant le filtre (canal d'amenée d'eau décantée) ou dans le filtre (procédé BIO-CARBONE).

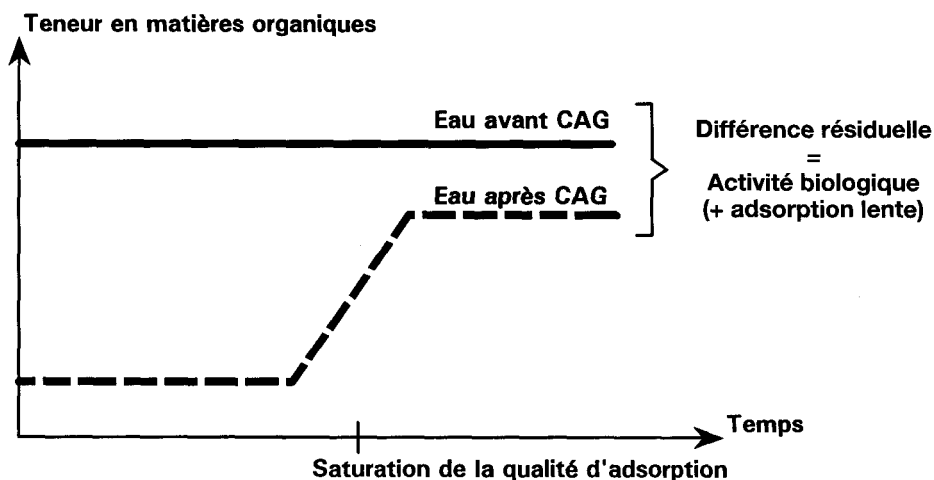


fig. 7 : Efficacité des filtres à CAG

Le charbon doit être convenablement choisi, certains ayant une plus grande affinité pour les petites molécules, d'autres pour des molécules de plus grande taille ; la diversité des composés rencontrés dans les eaux de surface entraîne souvent le choix de charbons polyvalents.

De même, le choix entre un CAG régénérable ou non-régénérable dépend des conditions économiques d'utilisation.

Le CAG peut être mis en oeuvre sur une usine existante :

- En lieu et place du sable dans les filtres existants ; des aménagements sont nécessaires, tels que dispositifs anti-affouillement à l'arrivée de l'eau, modification des séquences de lavage des filtres (air puis eau, mise en expansion finale pour reclasser les grains) et systèmes facilitant le remplacement de la charge de charbon lorsqu'il est saturé.

Il convient alors d'optimiser le traitement en amont pour réduire la fréquence des lavages, qui provoquent l'usure de ce matériau assez friable et perturbent un éventuel traitement biologique.

- En réalisant un second étage de filtration, ce qui présente l'avantage de bien séparer les étapes de traitement et de pouvoir les optimiser séparément :

- Admission d'une eau claire : lavages peu fréquents (1 à 3 par mois) favorisant le développement de la biomasse,
- Possibilité de correction de pH pour favoriser d'éventuels traitements biologiques,
- Ozonation intermédiaire éventuelle plus facile à intercaler entre filtres à sable et filtres à CAG,

- Meilleure utilisation de la capacité d'adsorption du charbon : cela permet en effet d'augmenter la hauteur de charbon actif et le volume utilisé.

Les inconvénients de cette démarche sont liés au coût du Génie Civil complémentaire et à l'insertion des nouveaux filtres dans la "ligne d'eau" de l'usine existante ; la mise en place souvent nécessaire d'un pompage supplémentaire induit des coûts d'exploitation et des besoins en maintenance accrus.

La bonne gestion de l'usine impose de suivre les performances du traitement d'adsorption par des analyses (mesure du COT ou autre), qu'il faut confier en général à un laboratoire spécialisé.

Ce suivi doit permettre de programmer les renouvellements des charges de charbon pour régénération ; la fréquence de cette opération coûteuse dépend des objectifs poursuivis (élimination d'un composé particulier, réduction des goûts,...) et peut varier entre quelques mois et quelques années.

Il est important de considérer que le charbon actif permet de fiabiliser la production d'une eau de bonne qualité mais que le coût d'exploitation supplémentaire induit ne permet pas de le considérer comme solution facile dans certains cas de carences d'exploitation (choix des doses de réactif ou mauvaise gestion du traitement, par exemple).

Autres fiches à consulter

- 1 Coagulation-floculation
- 5 Nitrification biologique
- 12 Elimination des boues
- 9 Filtration

7

Corrosion et neutralisation

L'étape de neutralisation de l'agressivité carbonique est importante pour lutter contre la corrosion des conduites et éviter ainsi de dissoudre des éléments indésirables (fer et plomb en particulier).

Il s'agit en fait de réunir toutes les conditions favorables pour qu'une couche protectrice à base de carbonate de calcium puisse se déposer sur les conduites, et en isoler les parois de l'eau transportée :

- Une dureté (TH calcique) et une alcalinité (TAC) suffisantes, supérieures à environ 6°F (ou plus si l'eau contient beaucoup de chlorure ou de sulfate),
- Une teneur en oxygène suffisante, supérieure à 6 mg/l,
- Une eau à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement entartrante.

Il importe donc :

- Que l'exploitant de l'usine sache déterminer, en fonction des caractéristiques de minéralisation de l'eau, les conditions de mise à l'équilibre.

Il dispose pour cela de différentes méthodes (test au marbre, graphique de Hallopeau et Dubin, logiciels mettant en oeuvre la méthode de Legrand et Poirier), qu'il doit maîtriser et interpréter correctement.

- Que les réactifs utilisés soient adaptés ; la chaux apporte du calcium et des bicarbonates (TAC) à l'eau, la soude ou le bicarbonate de sodium n'apportent que des bicarbonates ; le remplacement de la chaux, délicate à utiliser (problème de la préparation de l'eau de chaux), par l'un des autres produits cités (plus simples d'emploi), doit donc être analysé préalablement en terme d'efficacité du traitement.

En cas de manque de calcium, même si l'équilibre est atteint, la protection contre la corrosion est faible.

Lorsque les eaux disponibles sont très douces, une simple neutralisation de l'agressivité carbonique ne permet pas d'atteindre des valeurs de TH et de TAC suffisantes, et le pH de l'eau est en général très instable.

Un traitement de reminéralisation (ou recarbonatation) est alors nécessaire, qui consiste à augmenter la dureté et l'alcalinité dans des proportions plus importantes.

Les procédés utilisés sont les suivants :

- Apport de gaz carbonique et de chaux : 8,8 g de CO₂ et 7,4 g de Ca(OH)₂ par m³ et par °F de TH et de TAC sont nécessaires.

La chaux est quelquefois remplacée par une filtration sur un matériau alcalinoterreux (marbre ou Acticalmag, Magno, Neutralite, Granulite), en particulier sur les petites unités.

- Apport de bicarbonate de sodium et de chlorure de calcium : respectivement 16,8 et 11,1 g/m³ et par °F à corriger ; on peut également utiliser le sulfate de calcium (13,6 g), mais sa faible solubilité le rend peu pratique.

Ce traitement présente quelques inconvénients : ajout d'ions chlorure (ou sulfate) à l'eau, qui ont tendance à accélérer les phénomènes de corrosion, le taux de bicarbonate de sodium doit alors être très bien ajusté.

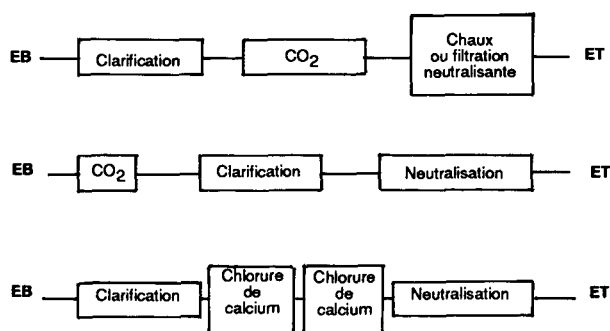


fig.8 : Mise en œuvre de la reminéralisation

Le choix du procédé est fonction des conditions de mise en oeuvre sur l'usine, des conditions d'approvisionnement et d'une comparaison économique des différentes solutions.

Une autre démarche pour s'affranchir de ces problèmes de corrosion consiste à conditionner l'eau à l'aide d'un produit anti-corrosion ;

les produits autorisés (sur dérogation pour la distribution publique, puisque ces produits sont normalement utilisés pour le conditionnement des eaux chaudes sanitaires) sont à base de polyphosphate-zinc ou de silicate.

Les autorités sanitaires semblent réticentes à généraliser l'emploi de ce type de conditionnement ; des essais ont cependant été réalisés, qui montrent une bonne efficacité, à condition toutefois de respecter des dosages proches de la limite supérieure autorisée (5 mg P_2O_5/l et 10 mg SiO_2/l).

La mise en oeuvre aisée de ces produits permet leur utilisation à moindre coût.

Il convient cependant d'être attentif au devenir de ces produits : risque d'apport supplémentaire de phosphates dans le milieu naturel, ce qui peut entraîner des phénomènes d'eutrophisation.

Autres fiches à consulter

- 2 Mise en oeuvre des réactifs
- 10 Contrôle et suivi du traitement
- 17 Personnel

8

Décantation

Certains décanteurs requièrent des réglages spécifiques appropriés, que l'exploitant doit maîtriser :

- Recirculation des boues (type Accélétor) par la vitesse de rotation de la turbine,

- Position du voile de boues (type Pulsator ou Aquacycle) par le réglage des pulsations,

- Taux de microsable (type Cyclofloc ou Fluorapid) par le taux de recirculation et la quantité injectée,

- Purge des boues en excès par le réglage des cycles d'extraction.

Or souvent, par méconnaissance des phénomènes mis en oeuvre, les exploitants n'osent pas modifier les réglages existants, considérant que ceux-ci sont immuables (données constructeur).

Dans un certain nombre de cas, il serait possible d'améliorer la qualité de l'eau décantée, ou d'admettre un débit supérieur sans dégradation inacceptable de la qualité, en affinant les réglages.

D'autre part, il est parfois possible d'améliorer l'efficacité des décanteurs en les dotant d'équipements supplémentaires, outre bien sûr l'optimisation du traitement déjà décrite :

1- la mise en place de lamelles dans les zones de clarification, qui permet en particulier de multiplier la vitesse ascensionnelle admissible par 2 (décanteur à voile de boues, jusqu'à 10 m/h) à 5 (décanteur statique, jusqu'à 5-6 m/h).

Il convient toutefois de remarquer que cette transformation doit s'accompagner d'autres mesures, liées à l'accroissement des pertes de charges engendrées par la vitesse plus importante :

- Pertes de charge dans les canalisations de liaison entre ouvrages (risque d'apparition de "bouchons hydrauliques"),

- Création de turbulences excessives dans la zone d'alimentation du décanteur, qui risquent de perturber fortement la décantation des particules,

- Capacité d'évacuation des dispositifs de reprise de l'eau clarifiée qui peut devenir insuffisante et provoquer une élévation du niveau de la surface libre de l'eau dans le bassin (par rapport au trop-plein),

- Réduction du temps de séjour dans les ouvrages annexes, tels que les bassins de mélange rapide et de floculation lorsqu'un décanteur statique devient un décanteur lamellaire. Ce temps doit rester compatible avec la finalité de l'ouvrage (15 à 20 minutes de brassage lent pour assurer une floculation satisfaisante).

Selon la configuration du Génie Civil existant, deux techniques sont disponibles :

- Décantation lamellaire à contre-courant, lorsque le flux d'eau est plutôt ascendant (décanteurs assez profonds),

- Décantation lamellaire à courants-croisés, dans le cas où la hauteur d'eau est faible (décanteurs couloirs, superposés ou non).

Dans les deux cas, l'utilisation de modules de plaques en matériaux plastiques simplifie la transformation. L'adaptation des décanteurs circulaires est plus délicate, à cause des ajustements qu'elle nécessite.

2- L'élimination des boues dans certains décanteurs statiques anciens, et dans les décanteurs-couloirs, se fait par une vidange périodique de l'ouvrage ; cette vidange, partielle ou totale, impose d'isoler l'appareil pendant un certain temps et provoque une production massive de boues à évacuer et une perte d'eau importante.

La périodicité de ces vidanges dépend de la production de boues et varie généralement entre quelques mois et un an.

Cette situation est corrigée en modifiant les modalités d'élimination des boues produites; cette démarche est impérative si on désire aug-

menter la productivité d'un appareil, en l'équipant de lamelles par exemple :

- Adaptation en fond d'ouvrage de trémies prismatiques, équipées de collecteurs perforés dont l'ouverture périodique est commandée par une horloge. Ces trémies, préfabriquées ou réalisées en béton, ne peuvent cependant s'adapter qu'aux décanteurs suffisamment profonds.

- Mise en place de racleurs de fond, qui rassemblent les boues à évacuer à une extrémité du décanteur, où un collecteur perforé permet leur extraction ; ces racleurs doivent être très fiables, les opérations de maintenance étant délicates lorsque les appareils sont immergés (cas des décanteurs-couloirs superposés).

Avant de vouloir transformer un appareil existant, il peut être intéressant de l'ausculter préalablement par un test de traçage ; ce test, simple à mettre en oeuvre, permet de détecter la présence de courts-circuits hydrauliques ou de zones mortes préjudiciables au fonctionnement du décanteur.

Le test consiste à injecter ponctuellement un traceur (sel) dans l'eau d'entrée et à suivre sa sortie du décanteur (mesure de conductivité) ; la forme de la courbe obtenue renseigne sur les performances de l'ouvrage.

$\frac{t_0 - t_m}{t_0}$	Comportement du décanteur
0.10	Excellent
0.20	Très bon
0.30	Bon
0.50	Médiocre
0.55	Panne

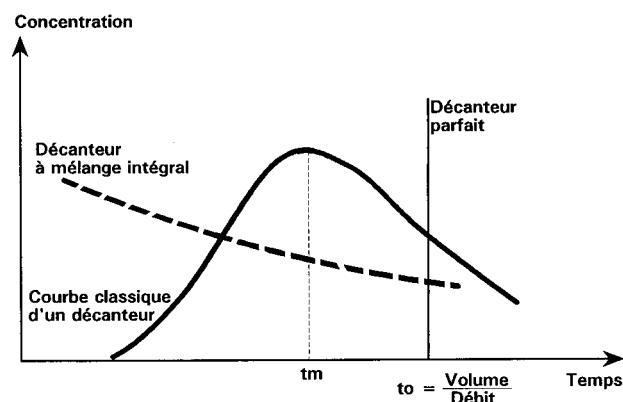


fig 9. : Réponse du traceur lors du test

Cette procédure peut être utilisée également pour aider au diagnostic d'un mauvais fonctionnement.

Dans certains cas, la flottation à air dissous peut apporter de meilleurs résultats que la décantation ; en particulier lorsque les eaux sont peu turbides mais colorées (ce qui conduit à des doses élevées de coagulant), la flottation est généralement plus facile à maîtriser, au prix d'une exploitation et d'une maintenance plus délicates.

Par contre, si l'eau présente des teneurs importantes en MES, même périodiques, la décantation reste la technique la plus fiable.

La flottation, lorsqu'elle est appropriée, apporte des résultats sensiblement meilleurs que la décantation, mais au prix d'une exploitation et d'une maintenance plus délicates.

L'ozoflottation permet de combiner dans un même bassin préoxydation à l'ozone et flottation (ou pseudo-flottation, au vu de la taille des bulles utilisées), ce qui conduit à des résultats d'élimination des algues en particulier bien meilleurs que par des procédés classiques.

Autres fiches à consulter

- 1 Coagulation-floculation
- 12 Elimination des boues
- 17 Personnel