

Agir sur tous les fronts pour optimiser l'aération et l'efficacité énergétique



Par Françoise Breton, Technoscope

De nombreux systèmes d'aération performants sont aujourd'hui proposés par les fabricants. Ils s'améliorent au plan de la conception, de la durabilité et de la facilité d'entretien, permettant ainsi d'accroître l'efficacité de l'oxygénation des bassins. Il est cependant nécessaire de veiller à ce que les conditions de leur utilisation soient remplies (génie civil, disposition dans le bassin, pilotage) pour profiter pleinement de leurs capacités.

ABSTRACT

Acting on all fronts to optimise aeration and energy efficiency.

Many efficient aeration systems are currently proposed by manufacturers. They are constantly being improved in terms of design, durability and ease of maintenance, thus enhancing basin oxygenation efficiency. Nevertheless, we must ensure that their conditions of use are met (civil engineering, placement in the basin, control) if we are to make full use of their potential.

L'aération est une composante essentielle du procédé d'épuration biologique des effluents. Elle fournit en effet l'oxygène indispensable aux bactéries qui dégradent les matières organiques contenues dans ces effluents et garantit en cela la qualité de l'épuration.

Pour que cette oxygénation soit optimale, il peut être nécessaire d'adjoindre aux aérateurs des agitateurs permettant d'améliorer

la mise en mouvement des effluents et leur mélange intime avec l'air fourni. « Ce sont cependant deux opérations différentes, souligne Rachel Davies, chargée d'affaires chez EDI Europe. Si l'aération est bien conçue, il n'est pas nécessaire d'agiter durant cette phase ». Ces deux opérations, d'aération et d'agitation, représentent à elles seules de 60 à 80 % de la consommation en énergie d'une station d'épuration, ce qui explique les efforts réalisés par les fabri-

Pour que l'oxygénation soit optimale, il peut être nécessaire d'adjoindre aux aérateurs des agitateurs permettant d'améliorer la mise en mouvement des effluents et leur mélange intime avec l'air fourni. Les hélices de la gamme des agitateurs AMG de Grundfos ont fait l'objet d'optimisations poussées.



cants
pour
amélio-
rer le rende-
ment des aéra-
teurs comme, plus en amont,
des compres- seurs, surpres-
seurs et turbo compresseurs qui
les alimentent (pour la production
optimale d'air comprimé, voir Eln n° 378).
« Une aération bien conçue et bien entre-
tenue permet cependant de descendre très
en dessous de ce chiffre » souligne toute-
fois Rachel Davies.

ration de
des bas-
contrôle
circula-
ment.

la géométrie
sins ainsi que par un
précis des vitesses de
tion et des phases de traite-
à

onéreux à
l'achat comme
la maintenance et consti-
tuent ainsi une solution
économique souvent privi-
légiée pour les petites sta-
tions d'épuration.

Assurer une oxygénation maximale

Dans ses documents techniques, le FNDAE (fiche technique n° 26) identifie l'efficacité du transfert d'oxygène au liquide dans le bassin comme un paramètre primordial de performance. Il correspond à l'apport spécifique brut (ASB), exprimé en kg d'oxygène fourni par kWh. Les systèmes utilisés aujourd'hui, aération de surface (turbines lentes ou rapides) ou systèmes immergés (fines bulles ou déprimogènes), se distinguent par leur efficacité de transfert et leurs applications.

Les procédés mécaniques sont un peu moins efficaces que les systèmes fines bulles, avec des ASB de l'ordre de 1 à 2 kg d'O₂/kWh, mais ce sont souvent les seuls utilisables dans des lagunes ou bassins de faible profondeur (jusqu'à 4 m). Ils présentent également l'avantage d'être beaucoup moins

Les turbines lentes (1,35-1,75 kg O₂/kWh) sont en moyenne plus efficaces que les turbines rapides (1,05-1,35 kg O₂/kWh). De nombreux constructeurs comme Europelec, Sulzer, Grundfos, Biotrade, Faivre, Isma, SCM Technologie, TMI, Emyg Environnement et Aquaculture, ou CE2A-Tsurumi France proposent ce type de matériel. Eau Claire propose des turbines d'aération flottantes à vitesse lente (type Belouga) de 8 à 12 pales produisant, en condition standard, de 1,6 à 1,8 kg O₂/kWh, et une gamme de turbines rapides (Oxyrapid) de 3 à 45 kW produisant 1,1 kg O₂/kWh. La turbine rapide Flopulse de Faivre, de 1,5 à 22 kW affiche un apport spécifique brut de 1,2 kg O₂/kWh. Certains systèmes combinent brassage et aération, comme la turbine d'aération MOS de Biotrade qui offre



En stations d'épuration, la consommation d'énergie représente couramment plus de 60 % du coût annuel d'exploitation. Pour cette raison, Robuschi a développé le Robox Screw, une solution pour réduire les coûts.

Les fabricants d'aérateurs comme Sulzer, Grundfos, Xylem, Wilo, Europelec, Bibus, AxFlow, EDI Europe, SCM Technologie, TMI, Faivre, Isma, Aquago, Landia, Aqua-systems, R&O Dépollution ou encore Eau claire améliorent constamment les performances techniques de leurs matériels, leur fiabilité ou leur facilité d'entretien. Il n'en reste pas moins que l'équipement, quelles que soient ses performances, n'est pas tout. Il doit d'abord être correctement dimensionné pour l'application à laquelle il est destiné. La performance finale dépendra tout autant de la façon dont l'ensemble des dispositifs s'agencent (génie civil, brassage, compresseur, disposition dans le bassin...) et dont leur pilotage et leur régulation sera conçue. Des voies d'optimisation existent encore qui passent par l'amélio-



Nourrices flottantes pour aération par diffusion pour lagunage. Réalisation EDI Europe.

Grundfos équipe Valenton

Grundfos a réalisé la mise à niveau des réservoirs de process de la station d'épuration de Valenton, la deuxième plus grosse usine de traitement d'eau en France.

Le fabricant a installé 26 000 disques diffuseurs en couverture totale des 4 bassins de process de 8 m de hauteur d'eau. Dans le but de parvenir à une performance d'aération optimale, Grundfos a opté pour une densité élevée de diffuseurs de 18 % (proche du maximum



Installation de raquettes Grundfos, phase d'essai de bullage sur la station d'épuration de Paris.

efficace 20 %) afin de réduire le débit par diffuseur et s'assurer ainsi de produire des fines bulles. La tuyauterie a été choisie en PP, plus résistante à la chaleur que le PVC car du fait de la profondeur du bassin, la température de l'air au niveau du compresseur peut atteindre 140 °C en été. Un système de purge automatique et manuel a été intégré aux points bas de la grille d'aération afin

d'éliminer l'eau due à la condensation.

les bassins d'essai de l'Ifremer: chaque unité déplace 2 500 m³/h, et augmente le volume utile pour le traitement. Ce brassage permet d'augmenter les performances de traitement des lagunages naturels et d'en corriger les dysfonctionnements tels que les odeurs ou les virages en bactéries pourpres, ou encore le développement de lentilles d'eau. Des études réalisées sur plusieurs années ont permis de quantifier les gains sur l'augmentation de capacité d'un lagunage, notamment sur la commune de Audresselles, où le lagunage initialement

un rendement de 2,3 kg O₂/kWh. Isma propose de son côté l'aérateur à vis hélicoïdale Fuchs à rotation rapide. Avec une poussée axiale au niveau de l'hélice de 100 N/kW, il réalise une homogénéisation, une oxygénation et un déplacement horizontal de l'eau pour le traitement en lagune aérée jusqu'à 4 mètres de profondeur. Il permet également d'accroître la capacité de traitement des lagunes naturelles en les transformant à des coûts minimes en lagunes aérées ou bien d'apporter une aération supplémentaire pour une station d'aération.

Aquago, qui a développé une gamme d'aérateurs autonomes fonctionnant aux énergies renouvelables, propose un nouveau système: le Submix, dont la modularité permet d'installer les panneaux solaires soit sur l'eau, soit en berge; mais aussi de le connecter au réseau si une source d'énergie est disponible à proximité. Sa capacité de brassage a été mesurée dans



Le nouvel aérateur-circulateur solaire de Aquago, le Submix, a une capacité de brassage de 2 500 m³/h. Utilisé sur des lagunages naturels surchargés ou en dysfonctionnement, il a permis d'augmenter la capacité de traitement de 30 à 60 % selon les cas.



L'efficacité énergétique de l'aérateur déprimogène TRN de CE2A Tsurumi France varie de 0,9 à 1,5 kg O₂/kWh selon les appareils et la profondeur du bassin.

dimensionné pour 640 eqH a été augmenté de 60 %.

Plus rustique, l'hydroéjecteur est simple d'utilisation et de mise en œuvre. Il offre des solutions à coût réduit pour des cuves de petites à moyennes tailles, les bassins de rétention et les bioréacteurs, avec un rendement en oxygène de 0,5 à 1,2 kg O₂/kWh selon l'appareil et la hauteur d'eau. L'hydroéjecteur submersible d'Atlantique Industrie affiche par exemple un rendement de 1,1 kg O₂/kWh. Le système Venturi génère des bulles de grosses tailles ayant une grande vitesse ascensionnelle qui limite son rendement de transfert mais il est intéressant en cas de besoin d'oxygénation sur des temps très courts de l'année, par exemple pour le traitement des déchets vinicoles au moment des vendanges.

Atlantique Industrie propose le système Airjet (aération et brassage de marque Lan-

Wilo a développé des diffuseurs permettant d'atteindre des transferts d'oxygène élevés grâce à la perforation optimale de leur membrane. Ils sont utilisables de manière efficace sur une large plage de débit d'air.

dia) dans les cas suivants: en fond de lagunes avec géomembranes (châssis spécifique immergé), sur flotteur, en traversée de parois d'un bassin (facilité d'accès) ou encore immergés sur barres de guidage orientables de 0 à 180° depuis une passerelle. Idéal pour les bassins pleins ou à niveaux variables, l'Airjet permet une réduction importante des odeurs des effluents très chargés (plateforme de compostage, vinicole...) et génère un brassage puissant, améliorant le transfert d'oxygène en évitant la sédimentation; Facile et rapide à installer, il ne présente pas de risque de colmatage du fait de la combinaison d'une pompe Non Stop Landia dilacératrice avec roue ouverte et plateaux avant et arrière rainurés. L'Airjet se décline en fonte, fonte haute aussi en inox de dureté, mais pour des applications sévères. C'est

une solution économique, facile à mettre en place et à entretenir, appréciée des industriels.

Pour des hauteurs d'eau supérieures à 4 m, il faut adop-

pelec, l'hydropulse à 3 pales de Faivre, la turbine TRN de CE2A-Tsurumi France ou l'OKI de Sulzer affichent un coefficient de transfert similaire aux aérateurs de surface mais présentent l'avantage d'être moins bruyants et de ne pas générer d'aérosols. L'efficacité énergétique de l'aérateur déprimogène TRN, par exemple, varie de 0,9 à 1,5 kg d'O₂/kWh selon les appareils et la profondeur du bassin. « Le TRN a parfois un rendement moins bon que certains autres aérateurs de vitesse lente mais il peut être utilisé sans surpresseur jusqu'à 6 mètres de profondeur, souligne Christophe Eginer, directeur général de CE2A-Tsurumi France. Son installation

est très simple puisqu'il suffit de poser l'appareil au fond du bassin. En ajoutant un surpresseur, on peut descendre à 10 m de profondeur ». Le TRN est un venturi sophistiqué présentant une géométrie diamétrale et posé sur des pieds entourés de crépine. Il fonctionne par aspiration directe de l'air

en surface qui est ensuite brassé et mélangé à l'eau avant d'être rejeté par des tuyères disposées en étoile. Tsurumi dispose d'une gamme de 0,75 à 40 kW avec des diamètres de convection principale de 7,30 m pour les 40 kW et de convection secondaire de 17 m (l'efficacité reste positive). Le risque d'usure par abrasion est cependant élevé s'il travaille sur des sédiments car les moteurs tournent à grande vitesse (3000 à 1500 t/mn selon les appareils). Pour un même investissement, il peut être intéressant d'utiliser 2 appareils plus petits au lieu d'un seul pour gagner en souplesse, en cas de panne par exemple, ou pour s'adapter aux bassins rectangulaires. « Les applications sont essentiellement industrielles, précise Christophe Eginer, car cette turbine offre une fiabilité et une résistance aux effluents corro-

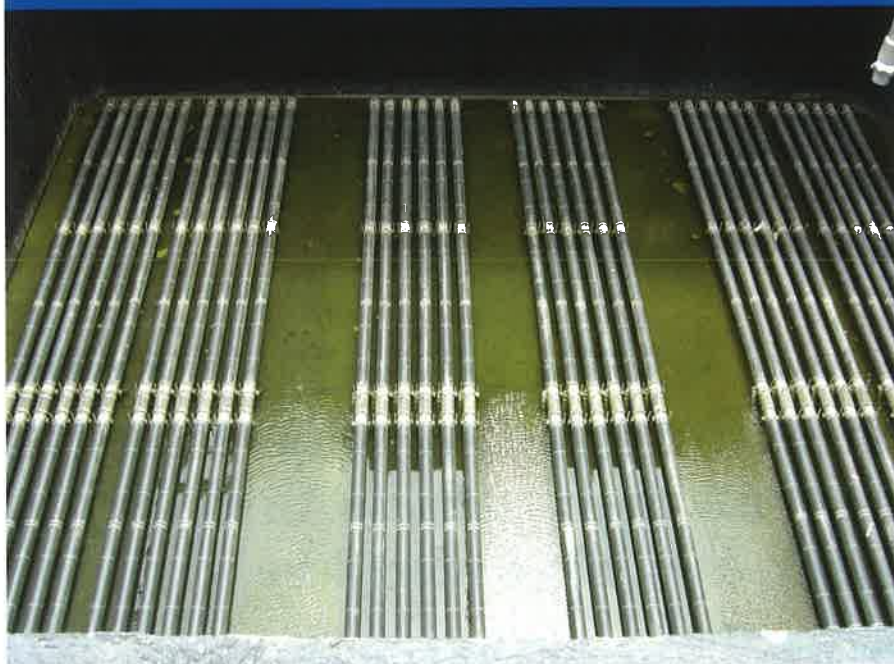
Le Force 7 d'Emyg Environnement et Aquaculture permet un micro-bullage fin ce qui lui confère une dissolution en oxygène optimale. Le moteur est étudié pour permettre une connexion directe à un générateur d'ozone ou d'oxygène pur.

ter des systèmes immergés, fines bulles ou des systèmes déprimogènes. Les aérateurs radiaux immergés déprimogènes type SC et SCL ainsi que l'aérateur pressurisé SCLK de SCM Technologie, la turbine lente immergée Sofia d'Euro-



Atlantique Industrie propose le système Airjet (aération et brassage de marque Landia) dans les cas suivants: en fond de lagunes avec géomembranes (châssis spécifique immergé), sur flotteur, en traversée de parois d'un bassin (facilité d'accès) ou encore immergés sur barres de guidage orientables de 0 à 180° depuis une passerelle.

StreamLine™, présenté par EDI, est une nouvelle génération d'aérateurs fines bulles permettant une large plage de débit d'air tout en gardant des transferts d'oxygène élevés. La conception de Streamline™ facilite son installation tout en réduisant la tuyauterie et la quantité de composants constituant les rampes d'aération. Ces diffuseurs peuvent être installés avec jusqu'à 80 % de densité de membrane au sol.



sifs ou à l'entartrage très appréciées. Elle est également utilisée dans les petites stations d'épuration, par exemple pour une station d'autoroute de 500 à 1000, voire 2000 équivalent habitants, ou bien en appoint dans des stations domestiques, par exemple en cas de panne, ou bien de canicule ou encore de sous-dimensionnement pour compléter l'oxygénation ». Sur ce type de process, l'achat n'est pas toujours la solution la plus intéressante : le Belge Aquasystems loue ses aérateurs de surface Aquaturbo tout comme la société Oxydro qui s'est spécialisée dans la location de machines pour faire face aux surcharges saisonnières et en cas de panne des installations fixes (pont brosse...) en attente de leur réparation.

Les aérateurs immergés déprimogènes SC et SCL de SCM Technologie sont réalisés avec des matériaux de qualité. Le diffuseur est réalisé entièrement en acier inox AISI304 et 316 et l'hélice est soumise à un traitement de durcissement au carbure de molybdène afin de garantir une durée et performance maximale, même dans des conditions d'opération extrêmes. Vraie alternative aux diffuseurs, les aérateurs submersibles radiaux SCLK de SCM Technologie procurent des rendements de transferts en oxygène en eau usée (kgO₂/kWh) voisins de ceux des diffuseurs tubulaires ou à disques ; ils constituent ainsi une alternative économique à ces derniers. D'autre part, ils ne craignent pas

le colmatage et assurent un rendement constant dans le temps. Les SC/LK sont disponibles en puissances de 5,5 à 37 kW pour un fonctionnement en immersion jusqu'à plus de 12 mètres. Alimentés en air avec une soufflante, le SCLK peut délivrer selon sa configuration jusqu'à 200 kgO₂/heure sur un rayon d'action de 6 à 15 mètres. « Le coût d'investissement pour la réalisation d'un bassin d'aération est ainsi nettement inférieur à celui des diffuseurs traditionnels dans la majorité des configurations, estime Claudio Sereni chez SCM Technologie. Leur souplesse d'utilisation alliée à la facilité de maintenance qui en découle, leur assurent aussi un coût d'ex-

ploitation bien moindre en moyenne que celui des diffuseurs, tout en conservant sur plusieurs années un bilan énergétique proche de ces derniers ».

Invent propose de son côté les agitateurs-aérateurs Hyperclassic et Hyperdrive à rotation lente (25 à 45 rpm en mode aération et 15 à 25 rpm en mode agitation) équipés d'un véritable agitateur qui assure un meilleur brassage et permet de mieux disperser l'air dans les bassins. « Il est ainsi possible d'augmenter le rendement de 10 à 30 % par rapport aux autres aérateurs mécaniques immergés » assure Jantoon Reyers, Invent. Les rendements varient de 1,2 à 3 kgO₂/h selon d'une part, la hauteur d'eau et le débit d'air par machine mais surtout selon la géométrie du bassin (la différence d'efficacité entre un bassin de 10 m de diamètre et un de 20 m de diamètre avec la même hauteur d'eau et le même volume d'air peut varier de 50 à 100 % selon le ratio entre la hauteur et la largeur du bassin). « Pour les processus incluant un syn-copage ou un SBR en phase anoxie, la consommation d'énergie est très faible grâce à la réduction de vitesse de rotation de l'agitateur, indique Jantoon Reyers. Ainsi, une économie d'énergie d'environ 70 % (2 à 3 W/m³) est réalisable par rapport à des machines classiques ».

Des systèmes fines bulles de plus en plus maîtrisés

Les procédés fines bulles sont aujourd'hui très prisés pour leur rendement de 2 à 3-4 kg O₂/kWh : moyennes bulles (0,90-



Les aérateurs SCLK de SCM Technologie assurent un rendement constant dans le temps. Ils sont disponibles en puissances de 5,5 à 37 kW pour un fonctionnement en immersion jusqu'à plus de 12 mètres. Alimentés en air avec une soufflante le SCLK peut délivrer selon sa configuration jusqu'à 200 kgO₂/heure sur un rayon d'action de 6 à 15 mètres.

SCM Technologie

La gamme flow booster XSB de Sulzer est pourvue de moteurs IE3 et bénéficie d'améliorations qui renforcent le rendement et la fiabilité. Parmi celles-ci, les nouvelles conceptions optimisées d'hélices à 2 et 3 pales qui couvrent un large éventail de besoins.

1,10 kg O₂/kWh), fines bulles (2,20-3,20 kg O₂/kWh), fines bulles en chenal avec agitation (2,50-3,80 kg O₂/kWh). Ils sont nettement plus chers mais la prise en compte de plus en plus fréquente des coûts d'exploitation et du facteur énergétique sur des durées qui peuvent atteindre 20 ans fait qu'il est possible d'amortir assez rapidement ces investissements. Leur apport réel dépend toutefois de nombreux facteurs, dont la forme et la hauteur de bassin, la position des raquettes dans les bassins, du type de diffuseurs et du débit d'air.

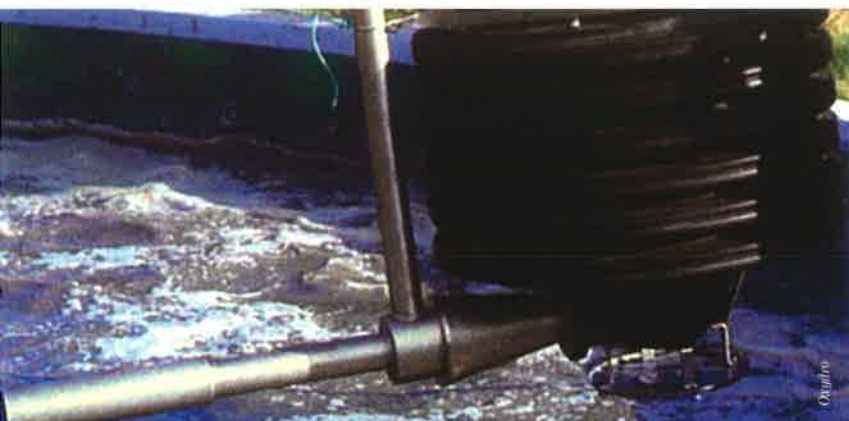
Les diffuseurs proposés par Europelec, Bibus, Grundfos, Sulzer, Xylem, Environmental Dynamics International (EDI), Wilo ou Rehau existent sous forme de disques, tubes ou plaques, en céramiques ou en membranes en EPDM, développées pour supporter les arrêts d'aération nécessaires pour alterner les phases d'oxygéna-

municipales peuvent être remplacées par d'autres types de membranes, tout particulièrement pour les applications industrielles: polyuréthane simple ou Matrix, la nouvelle technologie membranaire d'EDI. « Le téflon intégré à la formulation de la membrane la rend résistante aux carbonates, aux biofilms sa durée de vie », souligne Rachel Davies. EDI peut également adapter la taille des perforations

à la perforation optimale de leur membrane en EPDM ou silicone. Ils sont utilisables de manière efficace sur une large plage de débit d'air ce qui permet de les rentabiliser rapidement.

Les systèmes d'aération Wilo-Sevio Air constituent une solution intéressante pour optimiser le traitement des eaux usées d'installations existantes.

Le nombre (7 à 20 par cm²) et la taille des perforations (référence 1,1 mm) et le débit par diffuseur, ou de préférence par orifice



Hydro Injecteur flottant Oxydro en cours d'installation sur un bassin d'aération en situation d'urgence.

tion et d'anoxie. En effet, les disques céramiques, plus résistants, ont tendance à se boucher lors de l'arrêt de l'injection d'air. Aujourd'hui, des fabricants développent plutôt des membranes en polyuréthane qui présentent une meilleure tenue à l'agression ou en silicone et sont moins sensibles à l'adhésion bactérienne et aux agressions chimiques.

« L'EPDM reste cependant ce qu'il y a de plus résistant, notamment aux températures, ce qui le rend bien adapté aux eaux résiduaires municipales, souligne Rachel Davies chez EDI. Le polyuréthane se caractérise par une bonne tenue aux graisses ce qui explique qu'on le trouve fréquemment en eaux industrielles ». Les membranes habituellement en EPDM d'une longévité de 5 à 10 ans dans des eaux

rations des membranes aux besoins spécifiques de l'application.

Pour optimiser le couple aération-agitation, Wilo a élargi sa gamme, notamment en aération pour proposer des solutions globales. Wilo a ainsi développé des diffuseurs permettant d'atteindre des transferts d'oxygène élevés grâce



Xylem lance un nouveau système d'aération permettant une maintenance plus facile des diffuseurs d'air dans les bassins de traitement biologique. Le châssis grutable Eco-lift est constitué d'une structure servant de cadre et ballast sur laquelle sont montés des diffuseurs fines bulles.

Avec une poussée axiale au niveau de l'hélice de 100 N/kW, l'aérateur à vis hélicoïdale Fuchs, commercialisé par Isma, provoque une homogénéisation, une oxygénation et un déplacement horizontal de l'eau pour le traitement en lagune aérée jusqu'à 4 mètres de profondeur.

Isma



(en Nm^3/h), définissent la taille des bulles, une caractéristique essentielle pour optimiser l'efficacité du transfert. « Plus les bulles sont petites, plus le temps de contact est important pour un même volume d'air et plus leur vitesse ascensionnelle est faible », souligne Nicolas Leleu, Technico-commercial Water Management chez Wilo Salmson France. Obtenir des bulles les plus petites possible est donc l'objectif à atteindre pour améliorer le rendement de transfert. « Il est préférable pour cela de ne pas utiliser les systèmes de diffusion d'air aux valeurs nominales car le débit maximal est celui qui produit les plus grosses bulles », confie Michel Leromain, ABS Sulzer. Plus le débit sera faible tout en s'assurant que tous les orifices débitent, plus les bulles seront fines et meilleur sera le rendement de transfert. Les membranes dureront également beaucoup plus longtemps ».

Invent propose également des solutions avec des disques ou en tubes pourvus de membranes en EPDM ou silicone. « Combiné avec notre accélérateur de flux Cyberflow, l'agitateur le plus économique en énergie dans sa catégorie, nous pouvons concevoir des systèmes optimaux en rendement total d'aération et de brassage », souligne Jantoon Reyers.

Trio gagnant: forte densité de diffuseurs, hauteurs d'eau suffisantes et débits par orifice assez faibles.

La hauteur d'immersion est également un facteur clé: cette dernière augmente le temps de séjour des bulles dans l'eau (et

donc le transfert d'oxygène) mais le rendement décroît ensuite avec la profondeur du fait de l'appauvrissement de l'air en oxygène dès lors qu'il est exprimé en mètres. Au-delà de 8 mètres, la dissolution de l'azote dans l'eau nécessite un dégazeur coûteux. Autre paramètre essentiel, la densité des diffuseurs (surface de membrane perforée/surface totale du radier) doit être suffisante pour limiter les petits courants d'eau créés par l'ascension des bulles entre les diffuseurs et qui accélèrent leur vitesse (spiral flows locaux), dans des proportions dépendant aussi d'autres facteurs comme

la hauteur d'immersion et le débit d'air. « Le rapport entre la surface active et la surface de travail sur la raquette est un critère important pour optimiser la performance qui n'est pas encore bien pris en compte aujourd'hui, estime Wladimir Scriabine chez Xylem. Plus il diminue, meilleure est la performance: cela correspond à des espaces minimums entre diffuseurs. Les diffuseurs les moins performants sont les diffuseurs tube dont la surface active correspond au diamètre et non à sa surface développée et les meilleurs sont les diffuseurs plats, comme ceux de la Gold série, qui couvrent le mieux la surface de la raquette. Il faut donc prendre en considération simultanément le débit d'air par mètre carré et ce ratio ». Xylem développe toute une gamme des diffuseurs: fines bulles Sanitaire Gold pour une oxygénation élevée (rendement d'oxygénation de 3 à 8 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$), les Sanitaire Silver EPDM (2,5 à 6 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$) pour les aérations standards à pression réduite ou des diffuseurs céramiques pour les applications en milieu corrosif (2,5 à 6 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$). Des diffuseurs moyennes bulles sont aussi disponibles pour les applications difficiles (boues, eaux usées industrielles). La série Gold notamment, permet une densité d'aération élevée et un débit

Un automate pour optimiser l'aération

Pour dégrader les polluants comme la matière organique, en raison de leur affinité pour des conditions et molécules différentes, plusieurs populations de bactéries se succèdent. Ces dernières puisent en retour le carbone et l'énergie nécessaires à leur développement. Sans surprise, l'homme s'est inspiré de la nature, de ce principe, pour créer ses stations d'épuration... Avec cependant une contrainte supplémentaire: intensifier ces processus pour faire face à des charges polluantes extrêmement concentrées et variables. Aussi, afin de réunir les conditions propices au bon déroulement des différentes réactions de dégradation, les stations recréent en alternance des milieux avec ou sans oxygène favorisant tour à tour chaque population de bactéries. Cette alternance se fait par le biais d'aérateurs et c'est le pilotage de ces derniers qui influence directement la qualité des rejets... et la note en termes de consommation énergétique.

C'est à ce stade qu'intervient l'automate développé par les chercheurs de l'INSA Toulouse. À son origine, une meilleure compréhension des moments où cette alternance d'aération doit justement se produire. Travaux initiés dans le cadre d'une thèse soutenue en 1996, ce résultat a pourtant bien failli demeurer dans l'ombre. Les exigences alors en vigueur tant en termes de rejets d'eaux usées que de dépenses

énergétiques n'étaient pas aussi drastiques que celles d'aujourd'hui. Convaincus de l'intérêt d'un tel automate, les chercheurs de l'INSA (LISBP – Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés) ont alors pris le problème à bras le corps. Avec l'aide du CRITT Génie des Procédés et Technologies Environnementales et de Toulouse Tech Transfer, structures dédiées au transfert de technologies, ils sont parvenus à concevoir un objet industriel et à le transférer vers BioTrade, spécialisée dans la conception d'aérateurs pour stations d'épuration. Au cours des années passées, un prototype a été testé sur plus d'une dizaine de stations de capacités variées. Outre la qualité des eaux rejetées, les gains estimés sont conséquents: 10 à 15 % de consommation énergétique en moins.

Plus spectaculaire encore, testé sur des effluents industriels d'un abattoir, il a permis d'abaisser la facture d'énergie de près de 30 % pour un résultat là aussi amélioré. Devant un tel succès, l'automate désormais baptisé « INFLEX » a été définitivement installé sur les stations de St-Céré (46), de Graulhet (81) et de Villefranche-de-Lauragais (31)... Cerise sur le gâteau, en plus de pouvoir s'adapter à n'importe quelle station d'épuration, In-Flex ne représente qu'un investissement infinitésimal, amorti en moins de 2 ans...

Les agitateurs-aérateurs Hyperclassic et Hyperdive à rotation lente (25 à 45 rpm en mode aération et 15 à 25 rpm en mode agitation) d'Invent sont équipés d'un véritable agitateur qui assure un meilleur brassage et permet de mieux diffuser l'air dans les bassins.



propose également des disques moyennes bulles (Disc'Air) résistants à la corrosion et des diffuseurs fines bulles avec membrane en EPDM ou en silicone. Biotrade propose des diffuseurs fines bulles, disques ou tubes en EPDM ou silicone et fournit des rampes avec repiquage pour l'injection d'acide formique.

Une maintenance efficace pour un bon rendement sur la durée

Pour maintenir la densité optimale

de fonctionnement de leurs diffuseurs de 5 à 10 ans, il n'en est pas moins essentiel de procéder régulièrement à leur nettoyage pour maintenir le rendement d'aération de départ. « Nous préconisons un brossage des membranes de diffuseurs une fois tous les 2 ans environ, assorti d'un entretien préventif qui peut être piloté automatiquement, indique Wladimir Scriabine chez Xylem. Nos raquettes sont dimensionnées pour accepter un système de sursoufflage qui consiste à augmenter, une fois tous les 15 jours, le débit d'air de 4 Nm³/h à 6 ou 7 Nm³/h pendant 10 à 20 mn. Il est aussi possible d'injecter de l'acide formique pour prévenir les dépôts de carbonate de calcium par le biais d'un piquage avec pompe doseuse et réservoir d'acide ».

Pour pouvoir effectuer l'entretien et le renouvellement des membranes endommagées sans arrêter la station – ce qui est essentiel lorsqu'il n'y a qu'une chaîne de traitement – les fabricants ont conçu des systèmes grutables. L'objectif est de fabriquer des châssis suffisamment légers et solides pour résister aux conditions d'utilisation. « Si la résistance du châssis est calculée trop juste, le risque existe qu'il plie au moment de l'extraire du bassin du fait des surcharges de filasses, souligne Wladimir Scriabine. Nos châssis sont garantis pour une charge supérieure à la raquette

faible car ils peuvent être placés de façon très serrée (couverture dense) du fait de leur forme rectangulaire allongée. Ils sont munis d'une membrane en polyuréthane épaisse et souple, offrant une faible perte à la pression (réduction de la consommation énergétique) et une bonne résistance à une utilisation marche/arrêt. Une purge du système d'aération au point le plus bas permet d'éliminer l'eau qui a condensé dans le collecteur. « Nos systèmes d'aération peuvent être pilotés automatiquement pour adapter l'alimentation en air aux besoins en oxygène par le contrôleur de processus OSCAR, souligne Wladimir Scriabine, Xylem. On réalise ainsi des économies d'énergie substantielles ». De son côté, Grundfos propose des diffuseurs à disques fines pores (0,5-3 mm) pour la dénitrification et la dégradation des boues dans les bassins biologiques. Les diffuseurs sont montés soit sur une tuyauterie PVC, soit en acier inoxydable, fixes ou amovibles.

L'italien SCM Technologie a développé une nouvelle gamme de diffuseurs fines bulles à panneaux de 1,50 m sur 2 m avec des membranes en polyuréthane. Europelec

de fines bulles dans le liquide, il est nécessaire d'assurer le bon fonctionnement des membranes, en particulier éviter leur colmatage et les renouveler en temps utile. Si les fabricants font état de durées de



À l'aide de la mécanique des fluides numérique, Irstea développe plusieurs modèles pour améliorer la conception et le fonctionnement de ces dispositifs

La gamme Halia d'Air Products regroupe de nombreuses solutions pour le traitement des eaux. L'oxygène pur y est utilisé pour le dopage de stations d'épuration biologiques existantes, dans des contextes tels que des pointes de charges périodiques, des saturations chroniques, pour améliorer la qualité des rejets en termes de DCO, d'azote et de MeS. Cette technologie permet de s'affranchir d'un investissement important en limitant les consommations d'énergie et en préservant la simplicité de mise en œuvre.



(1,5) et avec un levage en 4 points, tout en utilisant moins d'acier ce qui permet de réduire son coût, et en ne nécessitant pas de support béton ». Pour compenser la poussée d'Archimède, le nouveau châssis Eco-lift proposé par Xylem possède une architecture de tuyaux concentriques qui réduit la flottabilité de 60 % en permettant à l'eau de pénétrer dans le tuyau intérieur. Europelec propose de son côté une nouvelle nourrice auto-lestée béton qui peut être fixe ou grutable. « Le problème est que bien souvent, même avec les châssis grutables, l'exploitant se contente de renouveler les membranes au bout de 7 à 10 ans, déplore Wladimir Scriabine. Pourtant la perte d'efficacité est directement liée à ce manque d'entretien ».

EDI propose des systèmes d'aération complets et des pièces de rechange. Les systèmes varient selon les besoins : tubes, disques ou panneaux de type StreamLine sur des raquettes fixes ou grutables.

Sulzer fabrique également des disques diffuseurs « mais du fait des cahiers des charges français qui imposent des systèmes relevables. Nous n'en vendons que peu car nous pensons que les systèmes relevables, s'ils sont attrayants sur le principe, sont voués à obtenir de mauvaises performances », indique Michel Leromain. « Si tout semble parfait lors de l'installation, il en est autrement après un premier levage bassin plein. Lors de la remise en place, il est quasiment impossible de

se passer de plongeurs pour remettre en place les raquettes du fait des dépôts au fond des bassins. Dépôts économiquement impossible à nettoyer correctement bassins pleins. Cette mise en place ne permet pas de vérifier l'horizontalité de la raquette ni la position relative d'une raquette à l'autre. La perte de charge d'une membrane est d'environ quelques cm de colonne d'eau. Si cet écart existe entre un bout et l'autre de la raquette, alors la part la plus haute des membranes va voir son débit augmenter fortement (souvent au-delà du nominal) alors que de l'autre côté, le débit va être fortement réduit. L'inconvénient est le même d'une raquette à l'autre. Lorsque nous posons nos systèmes, nous nous assurons que l'ensemble des membranes se trouvent dans un plan de quelques milli-

mètres de tolérance sur l'ensemble du bassin, gage d'un bien meilleur rendement et d'une longévité accrue ».

Un point de vue partagé par Wilo qui propose également des châssis mais non relevables. « Il est très difficile d'associer de la solidité à du relevage », souligne Nicolas Leleu. « On parle de canalisations en plastique réparties sur plusieurs dizaines de m². Nous préférons miser sur la fiabilité en proposant un démontage plus sûr tout en restant simple et facile ».

La température : un facteur limitant pour l'oxygénation

Un avantage associé la conception du châssis Eco-lift est de refroidir l'air circulant entre les 2 tuyaux, favorisant ainsi la dissolution de l'oxygène dans l'eau, car pour une profondeur de 6 m, l'air peut atteindre 95 °C au sommet du collecteur. En effet, le taux de dissolution de l'oxygène dans l'eau baisse quand la température augmente, et la compression nécessaire à la production



Les agitateurs submersibles Landia commercialisés par Atlantique Industrie sont conçus pour l'agitation, l'homogénéisation, le brassage, la création de courants hydrauliques, la dénitrification... etc.

de fines bulles augmente la température de l'air d'une dizaine de degrés par mètre d'immersion. La température de la liqueur s'en trouve accrue d'environ 2 °C par rapport à une aération de surface. Plutôt intéressante en hiver, cette hausse peut être malvenue, notamment en période caniculaire. « Lors de l'épisode caniculaire de 2003, l'eau de certaines stations atteignait 38 °C, se souvient Michel Leromain, ABS Sulzer. Le fonctionnement des bassins en est rapidement affecté car les bactéries se développent de façon optimale aux alentours de 25 °C. Il faut sérieusement prendre en compte ce facteur pour améliorer le rendement car ces événements sont amenés à se multiplier ». Comme un refroidissement n'est pas économiquement envisageable, il faut trouver d'autres voies pour limiter le réchauffement et les associer si possible. L'un d'eux consiste à choisir soigneusement le compresseur car la température de l'air produit dépend du rendement du compresseur et elle s'additionne aux calories des effluents et du soleil. « Il est nécessaire d'adopter une technologie de compresseur offrant un très bon rendement, conseille Michel Leromain, ABS Sulzer. Nous avons mené des études comparatives montrant qu'il y a 20 °C de différence de température en sortie entre un roots et un turbo de Sulzer, par exemple ». Les constructeurs comme Sulzer, Robuschi ou Kaeser sont à même de fournir tous les conseils pour un meilleur fonctionnement des machines installées et pour une résolution rapide de tout problème éventuel.

Les turbines de surface permettent par ailleurs de refroidir les bassins en été car ils projettent de l'eau dans l'air qui s'évapore tout en insufflant de l'air. Il est également possible de doper les process, c'est-à-dire d'améliorer l'oxygénation par un apport ponctuel d'oxygène pur, des solutions couramment proposées par Air Liquide ou Air Products. L'oxygénation de bassins biologiques peut également être réalisée par injection d'oxygène pur. L'avantage premier est d'injecter un volume de gaz 5 fois plus riche en oxygène que l'air. Un dimensionnement bien adapté de l'équipement d'injection permettra d'optimiser au mieux le rendement de dissolution de l'oxygène dans l'eau. L'injection d'oxygène pur répond à diverses problématiques. Elle est parfois mise en œuvre à l'occasion de

maintenance d'un ouvrage biologique pour substituer les compresseurs provisoirement indisponibles. Elle permet également de booster un bassin au-delà de ses capacités nominales, soit en raison d'une évolution des normes en vigueur ou encore d'un accroissement de la quantité d'effluents alimentant la station biologique. Dans le cas d'un pic de DCO saisonnier, l'oxygène pur est injecté de façon additionnelle et provisoire dispensant la collectivité ou l'industriel à s'engager dans des investissements d'ouvrages imposants, qui seraient surdimensionnés dans la majorité du temps de vie de la station. L'utilisation de l'oxygène pur en bassin biologique va avoir pour effet de concentrer la biomasse et générer un métabolisme important de la masse organique et par ce biais, limiter la quantité de boues produites. Une économie au niveau de la mise à destruction de ces boues est à considérer. Une eau bien oxygénée, c'est une flore bactérienne plus robuste et un moyen de se préserver des risques de développement des filamenteux, ennemis jurés des clarificateurs.

La disposition des raquettes : un élément essentiel de la performance

Couvrir l'intégralité du radier des bassins de diffuseurs fines bulles assure une aération optimale ainsi que le brassage des effluents.

Néanmoins, le développement des systèmes de raquettes sur châssis grutables conduit à réduire la surface d'aération pour limiter le nombre de rampes en inox. La conséquence de cette couverture partielle est une baisse des performances car elle provoque des courants de convection verticaux entre les raquettes ou entre les raquettes et les parois du bassin qui, en accélérant les bulles, diminuent le transfert d'oxygène parfois de moitié. « Il existe des ratios qu'il ne faut pas dépasser, prévient Michel Leromain. Moins la surface est couverte, plus le nombre de $m^3/h/m^2$ va augmenter et devenir propice au spiral flow. Nous considérons que l'optimum se situe aux alentours de 20 à 24 $Nm^3/h/m^2$ ».

Dans le cas des bassins à chenaux, ces courants peuvent être diminués ou annulés par l'imposition d'un mouvement horizontal d'environ 0,30 à 0,40 m/s selon la taille du chenal. Ce brassage accroît même l'ASB

de 27 % pour les grands chenaux et de 10 % pour les petits chenaux en allongeant le parcours des bulles.

Cela suppose néanmoins qu'aucun obstacle ne génère de pertes de charges, que le positionnement de l'agitateur soit tel que le cône de poussée directe n'atteigne pas la surface avant l'émergence des bulles afin d'éviter les effets hydrauliques indésirables, que la largeur du chenal soit inférieure à la hauteur d'eau et que le haut de pales de l'agitateur soit disposé au-dessus de la mi-hauteur d'eau. Les agitateurs à grandes pales (> 2 m) et vitesse lente, occupant au maximum (avec 0,5 m de garde) la largeur du chenal, se sont révélés plus efficaces que les petites pales et grande vitesse dans les configurations en chenal pour obtenir la vitesse voulue. Les fabricants offrent aujourd'hui un choix important de tels agitateurs. Grundfos propose par exemple des hélices à 2 pales de 130 et 260 cm de diamètre à 76 et 27 tours par minute et Xylem a développé des agitateurs à 3 pales à profil optimisé de 120 cm de diamètre et une vitesse de 90 à 150 tours par minute. Wilo Water Management est le premier constructeur à avoir proposé des agitateurs de mise en circulation à 3 pales en IE3. Ils offrent une résistance mécanique optimale ; les pâles résistant aux effluents les plus chargés. Celles-ci garantissent une sécurité de fonctionnement, même lorsque l'effluent contient de longues fibres, ainsi qu'une durée de vie accrue pour un coût de maintenance minimal. Sulzer propose de son côté de très grands agitateurs qui peuvent en remplacer deux. « Nos grandes pales sont des machines hors du commun, insiste Michel Leromain. C'est la plus grande qui existe sur le marché avec 3 pales, 7,5 kW, un très bon rendement (moteur IE3) et un réducteur conçu en interne. Une étude réalisée par Lyonnaise des Eaux montre que notre nouvel agitateur équipé d'un moteur premium IE3 (type XSB) offre un gain énergétique de 43 % par rapport aux agitateurs lents classiques (type RWS 1800) et un gain de 19 % pour la puissance active et élimine totalement l'énergie réactive, la conséquence en est la diminution de l'intensité absorbée d'un facteur supérieur à 2 ». Les agitateurs submersibles Landia, commercialisés par Atlantique Industrie sont conçus pour l'agitation, l'homogénéi-

Les agitateurs submersibles Landia, commercialisés par Atlantique Industrie sont conçus pour l'agitation, l'homogénéisation, le brassage, la création de courants hydrauliques, la dénitrification en stations d'épuration urbaines ou industrielles.



sation, le brassage, la création de courants hydrauliques, la dénitrification en stations d'épuration urbaines ou industrielles. Ces équipements sont particulièrement reconnus sur des applications difficiles (méthanisation, coproduits, etc...) grâce à leur conception robuste et rustique (Réducteur alliant vitesse et rendement idéal, triple étanchéité, hélice à 3 pales de forme hydrodynamique suivant la problématique à traiter...etc).

L'application d'un mouvement horizontal n'est toutefois pas toujours une bonne idée. Pour les bassins cylindriques, seule la couverture plancher donne des résultats satisfaisants (3 à 3,3 kg O₂/kWh pour des hauteurs d'eau comprises entre 3 et 7 m) car l'utilisation de raquettes crée des spiral flows, sans effet efficace des agitateurs avec très peu de surplus de transfert d'oxygène: le mieux est l'alternance de phases de brassages et de phases d'aération (FNDAE, fiche technique n° 26). « Le couple aération-agitation doit faire l'objet d'études très minutieuses qu'il soit adapté et compatible avec de nombreux facteurs tels que la géométrie des bassins, la nature des effluents, les caractéristiques de l'aération, etc... », souligne Nicolas Leleu chez Wilo Salmson France. Pour développer son expertise dans ce domaine, Wilo dispose d'un important bureau d'études interne en Allemagne et noué un partenariat avec la société Aerzen pour pouvoir proposer des compresseurs d'air en plus des raquettes.

Le génie civil est crucial pour l'optimisation

« Prendre en compte la géométrie des bassins est essentiel pour obtenir des résultats satisfaisants, assure Michel Leromain d'ABS Sulzer. Leur dimension et la hauteur d'eau sont des paramètres importants, tout comme la taille et la position des entrées et des sorties qui sont souvent négligées. Selon l'angle ou l'endroit où elles sont positionnées, elles peuvent créer un frein hydraulique, aller dans le sens de l'écoulement ce qui permet de gagner en énergie, ou bien forcer le courant dans une zone morte. Nous développons des logiciels permettant de modéliser les écoulements dans les bassins et d'évaluer l'impact d'erreurs de génie civil en fonction des autres caractéristiques de l'ouvrage: géométrie du bassin, hauteurs d'eau, équipements, etc. Le plus souvent, il est relativement aisé de les corriger tant que les bassins ne sont pas pleins ». Il est toutefois difficile de modifier ou de faire évoluer la forme des ouvrages, bien que ce soit une clé pour améliorer le rendement car le génie civil constitue un poste prépondérant du chantier (55 %) comparé à l'aération et la compression qui ne pèsent que pour 5 % du prix total. Pour des raisons de coût du génie civil mais aussi du foncier, la France privilégie les bassins ronds et profonds (jusqu'à 12 mètres). Pourtant, si la profondeur augmente le temps de séjour des bulles dans l'eau, cet avantage peut

rapidement s'avérer bien faible par rapport aux inconvénients car les bulles gonflent sur leur trajet et atteignent une grande vitesse ascensionnelle. « Les grandes profondeurs sont propices à la formation de spiral flow qui sont un désastre pour le rendement de transfert, s'alarme Michel Leromain, ABS Sulzer. Au-delà d'un certain débit d'air par mètre carré et en fonction des proportions du bassin, le spiral flow augmente la vitesse ascensionnelle des bulles et détruit le rendement ».

Les faux chenaux, qui se caractérisent par un petit rayon intérieur, nécessitent une surconsommation de puissance pour acquérir la vitesse horizontale nécessaire, pour un moindre gain de transfert. Dans ce cas, il y a des ratios à respecter pour éviter les effets hydrauliques inattendus qui grèvent le rendement d'oxygénation du fluide. Plus le chenal est large, avec un rapport du diamètre extérieur sur le diamètre intérieur (R/r) important, moins la vitesse de l'écoulement provoqué par l'accélérateur de courant est homogène entre le centre et la partie extérieure du voile, une valeur de 0,3 m/s près du centre correspondant à 1 m/s près du bord externe qui peuvent générer des phénomènes hydrauliques indésirables à la mise en route de l'aération. « Une solution consiste à adjoindre un voile concentrique à l'endroit des raquettes pour guider le flux, mais le génie civil coûte cher et le prix est toujours privilégié au détriment de solutions plus performantes », déplore Wladimir Scriabine.

L'idéal? Le bassin oblong avec une hauteur d'eau entre 3 et 4 mètres (6 mètres de profondeur maximum), une forme de bassin en chenal ($R/r < \text{ou} = 2$), une vitesse horizontale de 35 cm/s avec un agitateur à grandes pales occupant la majeure partie de la largeur à une distance telle des raquettes que le cône de poussée directe intercepte toute la section du chenal avant la première raquette. Dans cette configuration, adoptée par la plupart des autres pays, les lignes droites permettent d'éviter les tourbillons et de maîtriser l'aération. Les grands chenaux sont ensuite les plus efficaces par unité de volume mais sont difficiles à réaliser d'un point de vue technico-économique pour des stations de petites tailles (800 à 2500 EH). Les chenaux annulaires avec une partie anoxie ou stockage

au centre, réclament moins d'énergie si le ratio entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur est de 2 ou 2,5, et le rapport de la profondeur d'eau sur la largeur égale à 1.

Mais la tendance actuelle consiste à construire des chenaux de faible largeur et de grande profondeur, ce qui induit des pertes de charges des systèmes d'aération.

L'optimisation passe par une approche globale

« En tout état de cause, il est important de concevoir des solutions complètes de traitement par oxygénation en s'appuyant sur des outils de simulation pour optimiser les turbulences et réduire la consommation énergétique, insiste Wladimir Scriabine chez Xylem. Un point important serait d'adopter plus systématiquement la vitesse variable pour s'adapter aux besoins en oxygène ». En effet, l'aération est très couramment installée avec des systèmes de compression marche/arrêt, ce qui oblige à dimensionner l'aération pour les besoins maximums, rarement rencontrés en pratique, et à jouer sur les périodes d'activation et d'inactivation de l'aération. Non seulement le rendement de transfert s'en trouve affecté, mais le démarrage ou l'arrêt brutal de l'aération peut conduire à des effets hydrauliques délétères pour les dispositifs immergés comme les agitateurs comme par exemple la création d'une vague. Sulzer promet

Pour assurer le bon fonctionnement des systèmes d'épuration biologiques, il faut introduire l'oxygène en quantité suffisante pour permettre aux micro-organismes de se développer. D'autre part, l'effluent doit être mélangé à la boue biologique qui est maintenue en suspension. Les aérateurs de surface TMI assurent simultanément ces 3 fonctions d'introduction de l'oxygène, mélange effluent/boue et maintien en suspension.



la vitesse variable pour optimiser l'aération. Sur une installation de Lyonnaise des Eaux, le constructeur a testé l'effet de la variation de la vitesse des agitateurs en fonction des étapes du procédé. « Notre solution consiste à maintenir une puissance minimale sur l'agitateur durant la phase d'anoxie (4 kW pendant une à deux heures) puis de mettre en accélération le bassin pendant 15 minutes à 7,5 kW avant de mettre en marche de l'aération, explique Michel Leromain, Sulzer. Une fois l'aération en marche, on laisse encore la vitesse maximum 5 à 10 mn pour annuler les effets de vague avant de

descendre à 6 kW pour entretenir le mouvement. Cela permet d'éviter l'arrêt de circulation qui est parfois observé à la mise en route de l'aération. Si on observe la courbe de charge dans l'année, on se rend compte que le variateur est amorti en 1 à 2 ans. En effet, quand la vitesse d'aération est importante, on diminue de quelques pourcents la puissance absorbée sur les compresseurs car une petite amélioration du rendement en oxygène se traduit rapidement par une puissance économisée sur les compresseurs. Nous souhaitons pousser cette approche de l'optimisation ». ■

L'accès à l'eau, droit de l'Homme ou loi du marché

Franck DUHAUTOY

Historiquement, l'usage de l'eau ne correspond pas à un encadrement juridique unique. Il est des Etats et des situations où l'accès à l'eau s'approprie, donne lieu à un marché. Usage libre/usage approprié constituent les deux modèles historiques d'accès à la ressource hydrique. A l'image de sa nature physique, l'eau est ambivalente, renvoyant à deux fonctions: l'une vitale, l'autre économique. En effet, assurer la première par la potabilité a permis l'éclosion de la seconde, car l'absorption d'une eau saine a un coût, géré par des régies publiques ou des entreprises privées. A l'échelle internationale, le droit à l'eau repose seulement, pour l'instant, sur un corpus normatif très morcelé. Certains craignent que cette ressource vitale et les services d'accès en rapport ne soient pris en main par des groupes privés fondant leurs actions uniquement sur la loi de l'offre et de la demande. Cette crainte semble excessive car, en droit international, l'eau matière première n'est présentement pas reconnue comme un produit. De plus, même si tel était le cas, le GATT comporte des mécanismes juridiques autorisant un Etat en situation de nécessité à limiter ses exportations hydriques. Quant aux négociations de l'OMC permettant de libéraliser l'ensemble des services mondiaux liés à l'eau, elles sont gelées. Certes, le droit de l'investissement et ses techniques d'arbitrage avantagent les firmes hydriques multinationales mais, sociétés civiles voire gouvernements refusent toute atteinte au droit à l'eau par des prix élevés. Composant avec la double nature, économique et sociale, de cette ressource, les droits internes marient souvent non-gratuité et solidarité permettant un accès aux plus démunis.

De nombreuses jurisprudences poussent également en ce sens. Parallèlement, le droit du développement durable et le concept de patrimoine commun de l'humanité, qui rend moins exclusif le droit de propriété, font progresser le droit à l'eau.



Format 16 x 24 cm
752 pages
ISBN 979-10-91089-15-9
Prix public : 56,00 euros TTC

60, rue du Dessous des Berges - 75013 Paris
Tél. +33 (0)1 44 84 78 78 - Fax: +33 (0)1 42 40 26 46 - livres@editions-johanet.com

www.editions-johanet.com