

Les effluents vinicoles : problématique du traitement et premier bilan sur la conception et le fonctionnement des procédés biologiques

Yvan Racault, Anne-Emmanuelle Stricker et Jacky Vedrenne

Les effluents issus des caves ou des chais et leur charge polluante sont très variables. Il convient donc de définir la solution la plus adaptée en fonction des caractéristiques des rejets, de l'environnement et des capacités de stockage in situ. Après un rappel des caractéristiques particulières des effluents vinicoles, les auteurs présentent la problématique du choix des procédés, dressent un panorama des traitements biologiques possibles, en particulier pour les petites et moyennes unités de production, et font un premier bilan des solutions mises en œuvre et des performances réalisables.

Le problème du traitement des effluents générés par les activités de vinification et d'élevage du vin est connu depuis longtemps mais n'a vraiment été mis à l'ordre du jour que depuis cinq à dix ans au plan national. Contrairement aux effluents de distillerie dont la forte charge polluante est facilement quantifiable, les effluents issus des caves ou des chais sont très variables, et leur charge polluante est restée longtemps sous-estimée avec un taux de redevance auprès des Agences de l'Eau ne traduisant pas la pollution réelle.

À titre d'illustration, la charge polluante organique journalière générée en période de vendanges par l'ensemble de la production vinicole girondine (6 500 000 hl) peut être estimée équivalente à celle de la population de l'agglomération bordelaise, soit 750 000 équivalents habitants. Ces rejets sont toutefois répartis sur un vaste territoire et leur impact doit s'apprécier en fonction de la sensibilité des milieux récepteurs concernés.

Au cours des dernières années, la meilleure connaissance des charges polluantes et de leur répartition temporelle a conduit à une nette révision des bases de taxation des rejets, et a accéléré la mise en place de systèmes de traitement. Par ailleurs, depuis 1993, les établissements vinicoles sont concernés par la réglementation des installations classées dès que leur production excède 500 hl/an.

Un nombre important d'installations de traitement a déjà été réalisé principalement pour les plus grosses unités. Désormais, les stations de traitement à mettre en place concernent majoritairement les petites et moyennes unités de production. La demande d'équipement des années passées et les perspectives nouvelles dans le domaine des effluents vinicoles ont favorisé la mise sur le marché de nombreux systèmes de traitement utilisant une large gamme de techniques (épandage, évaporation naturelle ou forcée, concentration, traitements biologiques...). Les traitements biologiques sont largement dominants et seuls ces derniers seront présentés ici. Grâce à des suivis approfondis réalisés avec l'aide des Agences de l'Eau concernées, on dispose désormais de données plus précises sur les charges à traiter et sur le comportement des systèmes de traitement mis en place.

Après un rappel des caractéristiques particulières des effluents vinicoles, la problématique du choix des procédés sera présentée. Un panorama des traitements biologiques possibles sera dressé avec un développement particulier sur le cas des petites et moyennes unités de production. De l'expérience acquise, on dégagera un premier bilan des solutions mises en œuvre et des performances possibles.

Contact

Cemagref, UR
Qualité des eaux,
50, av. de Verdun,
BP 3,
33612 Cestas Cedex

Problématique du traitement des effluents vinicoles

Spécificité des effluents vinicoles

SAISONNALITÉ DE L'ACTIVITÉ POLLUANTE, ÉTALEMENT DES REJETS

La pollution engendrée par les caves vinicoles a un caractère saisonnier très marqué comme beaucoup d'activités agroalimentaires. Pour l'ensemble des régions vinicoles, la répartition des rejets au cours du temps présente des caractéristiques communes qui seront déterminantes dans le choix des systèmes de traitement : forte pointe lors des vendanges, activité soutenue jusqu'en janvier-février, et très peu de rejets de mai à août. Cependant, le type de vinification peut influencer largement sur l'étalement des rejets. Certaines opérations comme le pressurage en Champagne sont très limitées dans le temps, d'autres comme l'élevage des vins en Bordelais produisent des effluents durant plusieurs mois suite aux soutirages et filtrations.

Le dimensionnement d'un ouvrage d'épuration traitant les effluents d'une cave exige une connaissance assez précise des volumes et des flux polluants rejetés sur l'ensemble de la période d'activité. L'expérience montre une très grande variabilité des résultats d'un site à un autre. Une bonne évaluation de la pointe (charge organique et charge volumique) est indispensable pour les traitements fonctionnant au fil de l'eau sans stockage, et demeure très utile pour le dimensionnement optimal de la plupart des procédés de traitement. Les mesures continues sur de longues périodes ne sont disponibles que dans le cadre de suivis détaillés de dispositifs de traitement, en raison en particulier des contraintes de maintenance

prolongée d'un système de prélèvement automatique et d'analyses quotidiennes à réaliser. Sur quelques établissements vinicoles, on dispose cependant de ce type de mesures, notamment dans le Sud-Ouest où des procédés de traitement ont fait l'objet d'évaluation pendant plusieurs mois d'affilée à compter des premières réceptions de raisin. À titre d'exemple, les variations quotidiennes de charges polluantes sont présentées sur une cave importante du Sud-Ouest (suivi de 5 mois, figure 1).

On observe (figure 1) la très forte charge enregistrée en période de vendanges avec des pointes non directement corrélées à l'apport journalier de vendanges et une pointe exceptionnelle liée à un débordement de cuve accidentel. Rappelons que la DCO moyenne du vin est de 200 g/l, ce qui représente par hl de vin accidentellement déversé une pollution d'environ 170 équivalents habitants (EH). Hors période de vendanges, les variations journalières sont importantes et résultent principalement des activités de soutirages et de filtration des vins.

VOLUMES ET CHARGES POLLUANTES SPÉCIFIQUES

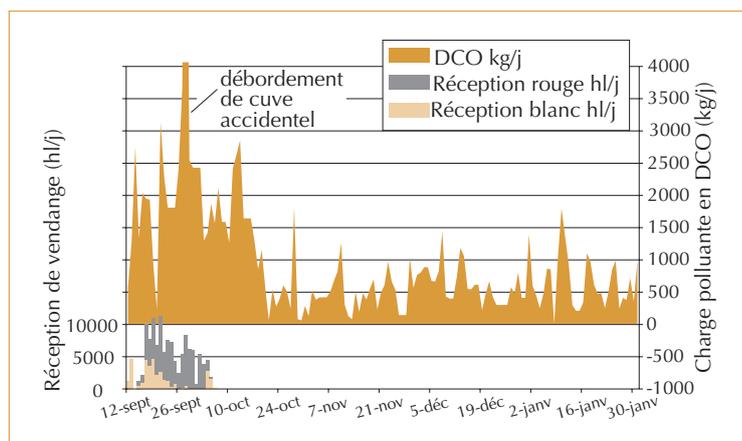
En moyenne, la consommation d'eau annuelle est de 0,8 l/l vin, mais de fortes disparités existent entre régions, tailles d'établissements et méthodes de vinification. Il en est de même pour la concentration des effluents en période de vendanges qui est de l'ordre de 10 000 à 30 000 mg/l pour la DCO (moyenne à 15 000 mg/l soit environ 20 fois la concentration d'un effluent urbain) et de 2 000 mg/l pour les MES (Groupe technique effluents vinicoles, 2000). Le ratio DCO/DBO⁵ est de l'ordre de 1,55, soit une valeur sensiblement inférieure à celle obtenue avec des effluents urbains (DCO/DBO⁵ ~ 2,2).

Dans le Bordelais, à titre d'exemple, la période de pointe des vendanges (5 semaines) représente environ 40 % des flux annuels avec des charges organiques journalières de l'ordre¹ de 10-15 g DCO/hl_{vin}.j.

Hors période de vendanges, les rejets résultent d'une série limitée d'opérations qui sont reproduites un grand nombre de fois : lavages de cuves (fermentation, soutirages, collage, détartrage...), filtrations, centrifugation pour lesquelles on peut déterminer des charges polluantes spécifiques (g DCO/hl_{vin}). Ces mesures réalisées sur une cave donnée peuvent permettre d'accéder à une première estimation de la charge polluante journalière (Racault et Lenoir, 1995).

1. Moyenne journalière observée en bordelais, calculée à partir de la charge cumulée sur les 5 premières semaines et rapportée à la production annuelle de vin.

▼ Figure 1 – Évolution de la charge polluante sur 5 mois dans une importante cave du Sud-Ouest.



Méthodologie pour aborder le problème du traitement

LES PRINCIPAUX CRITÈRES DE DÉCISION

Caractéristiques des rejets

Avant toute démarche de traitement, il est nécessaire de réaliser un inventaire détaillé de l'origine des rejets dans le chai et de rechercher des solutions d'économie d'eau (Jourjon *et al.*, 2001). Réduire les volumes à traiter s'avère toujours une opération rentable tant pour limiter le volume des ouvrages de traitement que pour optimiser le processus d'épuration et réduire les coûts d'exploitation. La confrontation des consommations d'eau mesurées avec celles des bases de données existantes (si possible de la même région vinicole et de la même classe de taille d'établissement) doit faire prendre conscience des éventuels progrès réalisables.

Des mesures de charge sur plusieurs journées consécutives et représentatives de la pointe pourront être nécessaires surtout dans le cas où un traitement au fil de l'eau est envisagé.

Qualité requise pour les eaux épurées avant rejet, réglementation

Suivant la destination envisagée pour les rejets (milieu récepteur plus ou moins sensible, réseau communal d'effluents domestiques, réseau spécifique d'effluents vinicoles regroupant plusieurs unités de production...) la qualité requise peut être très différente.

Les caves vinicoles sont intégrées dans la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) depuis le décret 93-1412 du 29 décembre 1993 sous la rubrique 2251 : « Préparation et conditionnement des vins ». Les arrêtés ministériels n'ont cependant été publiés qu'en 1999 et 2000 (Jourjon *et al.*, 2001). Les établissements sont répartis en trois catégories :

- en dessous d'une production de 500 hl/an, ils ne relèvent pas des ICPE. C'est le règlement sanitaire départemental qui s'applique aux effluents ;
- lorsque leur capacité de production est comprise **entre 500 hl/an et 20 000 hl/an, ils sont soumis à déclaration des ICPE**. L'arrêté ministériel du 15 mars 1999² en fixe les dispositions et précise les conditions générales d'exploitation ; pour ce qui concerne les effluents, il indique notamment les conditions de rejet ou d'épandage ;

- lorsque leur capacité de production est **supérieure à 20 000 hl/an, les établissements sont soumis à autorisation**. L'arrêté ministériel du 3 mai 2000³ fixe les dispositions s'y appliquant. Sont concernés par l'autorisation : les nouveaux établissements, ceux augmentant leur capacité ou ceux dont une transformation notable peut avoir un impact sur l'environnement. Ce texte précise entre autres : volume de rétention, paramètres imposés pour le suivi des rejets, obligation d'une convention de raccordement en cas d'admission des effluents sur une station d'épuration communale.

Dans les deux derniers cas (production supérieure à 500 hl/an), les valeurs limites de concentration en DCO des rejets en milieu naturel sont de 300 mg/l jusqu'à 100 kg/j et 125 mg/l au-delà. On observera toutefois que des valeurs plus contraignantes peuvent être imposées pour respecter les objectifs de qualité du milieu récepteur. Lorsque les rejets s'effectuent dans un réseau alimentant une station d'épuration communale, la concentration en DCO doit rester dans le cas général inférieure à 2 000 mg/l.

Contraintes de site

La place disponible, l'environnement immédiat du chai, la façon dont on intègre la démarche environnementale et paysagère dans l'image de l'exploitation concourent à choisir tel système plutôt que tel autre. La présence ou non de terrains d'épandage possibles pour les eaux usées à proximité (sols cultivés) constitue une des contraintes de site.

Contraintes climatiques

Elles jouent principalement dans le domaine de l'évaporation, technique non abordée ici, et de l'épandage parfois soumis aux contraintes d'accès aux parcelles ou limitant les périodes favorables dans l'année. Elles interviennent également dans les risques d'odeurs lors des stockages d'effluents.

Contraintes d'exploitation, possibilité de traitement collectif

Hors les établissements importants qui peuvent déléguer un personnel spécialisé, même en période de pointe, pour l'exploitation d'un système de traitement, la plupart des petites ou moyennes unités recherchent des procédés simples et relativement tolérants vis-à-vis des éventuelles surcharges. En période de vendanges notamment, le temps

2. Loi 76-663 du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement.

3. Loi 76-663.

disponible est très réduit et la gestion du système de traitement des rejets constitue rarement une priorité.

Une installation collective avec gestion autonome peut alors constituer une bonne solution notamment lorsqu'il existe une densité importante de petites unités de production dans un même secteur. Les avantages d'un tel système sont de réaliser une économie d'échelle, de libérer le viticulteur de la contrainte d'exploitation du procédé de traitement, de fiabiliser les performances et de mettre en place une gestion commune des boues. Elle offre aussi l'intérêt d'intégrer une évolutivité de la répartition entre viticulteurs des charges polluantes à traiter au fil du temps. Comme tout système collectif, des règles claires devront cependant être établies pour la répartition des charges financières, notamment pour sauvegarder l'intérêt des mesures amont visant à réduire le volume.

Quantité de boues produites, destination

Tout système de traitement génère des sous-produits dont le devenir doit être intégré dès le début du projet. Les traitements biologiques intensifs des effluents viticoles ont une production de boue de l'ordre de 0,25 à 0,35 kg MES/kg DCO_{dégradée} en période de vendanges (Jourjon *et al.*, 2001). Suivant que les boues sont épandues sous forme liquide ou déshydratée (cas des unités importantes), la quantité à épandre peut être très différente. Avec des boues liquides, la qualité de l'épaississement peut faire varier la concentration en MES de 20 à 50 g/l. Compte-tenu des différences de production de boue entre procédés, de la minéralisation importante en périodes creuses, de la concentration des boues liquides extraites, le volume à épandre peut être estimé à 1,5 à 10 l/hl_{vin}.an.

TRAITEMENT EN CONTINU OU STOCKAGE AMONT

Dès lors que l'on doit traiter des volumes et des flux polluants très variables au cours du temps, le problème de l'optimisation du dimensionnement de l'installation de traitement et du maintien de la garantie des performances se pose. Évaluer la pertinence de traiter en continu ou en discontinu passe par une bonne appréciation des volumes et de la charge polluante à traiter.

Pour les grosses unités où les débits journaliers sont relativement élevés (> 40 m³/j), un traitement en continu (c'est-à-dire au fil de l'eau) sera souvent nécessaire pour éviter des stockages importants. Dans ce cas, il faudra dimensionner le système de traitement pour pouvoir admettre les pointes de

charge et de débit. Ceci supposera, pour établir les bases du projet, des campagnes de mesures lors de la période critique qui se situe généralement dans les 5 à 6 semaines succédant au début des vendanges. À défaut de mesures en continu sur une quarantaine de jours, ce qui serait idéal, on pourra éventuellement se référer à l'expérience acquise sur des installations de traitement situées dans la même région viticole et ayant fait l'objet de mesures régulières (bilans d'autosurveillance). En Bordelais par exemple, sur des caves importantes, on a pu déterminer que la période idéale des mesures, pour bien cerner le pic de pollution, se trouvait immédiatement après la pointe des apports de vendanges et devait durer un minimum de 3 jours (Grenier *et al.*, 1998).

Sur les caves particulières ou sur les petites et moyennes installations, le traitement discontinu dominera et ce sont les flux de pollution cumulés en période de pointe (sur 1 semaine ou 2 semaines) qui devront être bien évalués. Des valeurs guides de la charge polluante en g DCO/hl pourront servir à préciser le dimensionnement mais le critère du volume réel à traiter restera déterminant dans le type de stockage à mettre en place.

Intérêt du stockage

Le stockage constitue un point clé de l'optimisation des dimensionnements et de la fiabilité des systèmes de traitement. Pour les installations viticoles générant en pointe des volumes journaliers inférieurs à environ 30 m³/j, la plupart des solutions appliquées fait appel soit à un système ayant une forte capacité tampon, soit à un ouvrage de stockage implanté à l'amont de la filière de traitement proprement dite. Plus la taille des établissements viticoles est réduite, plus le dimensionnement de ce stockage devient déterminant dans la conception du système.

La problématique générale sera donc de trouver le meilleur compromis technico-économique entre les volumes de stockage et la taille de l'installation de traitement calculée sur un débit et une charge organique moyennés sur les semaines de pointe. Le stockage peut aussi faire partie intégrante du traitement avec une contribution plus ou moins importante dans l'abattement de charge polluante. Plusieurs options de stockage sont ainsi envisageables avec des capacités d'aération adaptées aux buts recherchés :

- si l'objectif visé par l'aération est principalement d'éviter les nuisances olfactives, le dispositif

d'oxygénation sera dimensionné avec de très faibles puissances spécifiques ($2-3\text{W}/\text{m}^3$) pour limiter son effet au maintien d'un potentiel d'oxydoréduction suffisant. L'expérience montre que cette faible aération entraîne un abattement non négligeable de la DCO en générant une quantité de boues très faible ;

– si l'objectif est de traiter tout ou partie de la charge polluante dans le stockage avec peu de contraintes de volume de bassin, la durée du stockage pourra être importante et permettra d'étaler le traitement sur plusieurs mois si nécessaire en utilisant une capacité d'aération limitée ;

– si un traitement discontinu est recommandé et qu'il existe une contrainte forte sur le volume de stockage (par exemple ne pas dépasser 15 à 20 % du volume annuel), il devient pertinent de coupler stockage et forte capacité d'oxygénation pour permettre une dégradation rapide de la DCO. Dans ce cas, pour libérer régulièrement du volume, l'évacuation des eaux traitées doit rester indépendante de l'état de la biomasse (floculée ou non) et de la turbidité du surnageant ; elle pourra s'effectuer par exemple en utilisant des techniques de filtration tangentielle.

Spécificité des traitements biologiques avec des effluents vinicoles

Les caractéristiques des effluents vinicoles par leur concentration, leur composition, leur brutale arrivée en début de vendanges conditionnent la conception des systèmes de traitement.

CONCENTRATION DES EFFLUENTS ET CARENCES EN NUTRIMENTS

Les effluents vinicoles sont fortement concentrés. En moyenne, leur concentration en DCO ($15\,000\text{ mg}/\text{l}$) est vingt fois supérieure à celle des eaux usées urbaines et l'essentiel de la matière organique est sous forme dissoute.

De telles caractéristiques limitent fortement l'abattement de la charge polluante que l'on pourrait attendre d'un traitement physique de décantation ou même physico-chimique en utilisant des floculants. Ces dernières techniques restent donc généralement peu efficaces.

En conséquence les traitements envisageables s'orientent en large majorité vers des solutions biologiques. La concentration élevée des effluents et les niveaux de qualité requis pour les eaux traitées incitent à concevoir, pour les systèmes fonctionnant

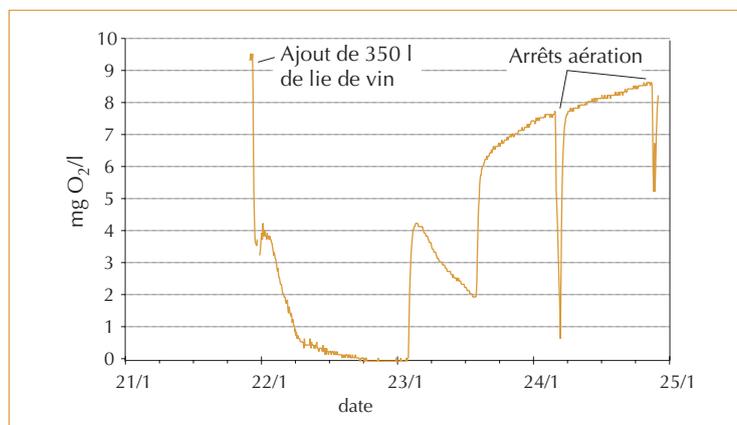
au fil de l'eau, des procédés multi-étages travaillant à forte charge volumique sur le premier étage. Cette approche permet de limiter le volume des ouvrages et de réduire les coûts d'investissement. Suivant la nature du premier étage installé (biologique aérobie ou anaérobie), on peut s'attendre à des abattements de DCO de 80 à 90 % voire davantage, ce qui ramène les concentrations en DCO dans une plage de $1\,500$ à $2\,500\text{ mg}/\text{l}$.

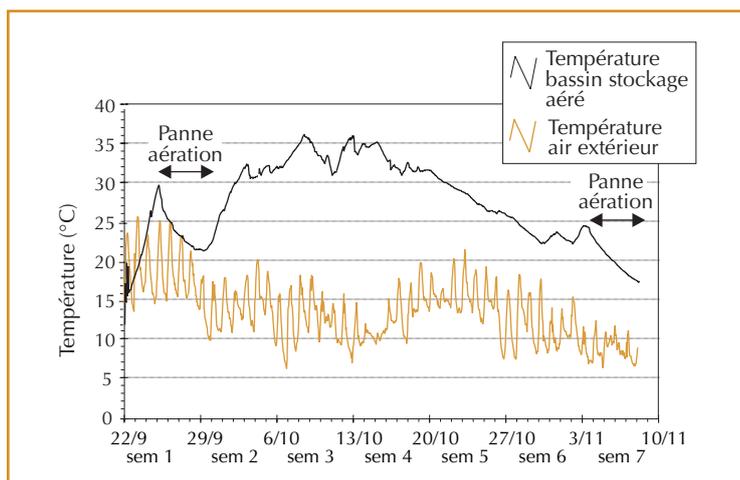
Les carences en nutriments (azote en particulier) constatées sur les effluents vinicoles peuvent être pénalisantes pour les traitements biologiques aérobies. Dans le cas des procédés intensifs, il est nécessaire de prévoir des ajouts de nutriments (N et P) pour favoriser le développement de la biomasse et éviter tout retard dans le démarrage biologique de l'installation. On note cependant que lorsque la biomasse est en place, un traitement stable peut être obtenu en l'absence d'ajout de nutriments et sans développement notable de bactéries filamenteuses.

DEMANDE EN OXYGÈNE, TEMPÉRATURE

Pour faire face aux augmentations brutales de charge organique et à des croissances rapides de biomasse (bactéries et levures), le poste aération des traitements biologiques aérobies des effluents vinicoles est essentiel. Une attention particulière devra donc être portée sur le dimensionnement des systèmes d'aération et leurs performances réelles. Une insuffisance de capacité d'oxygénation peut être très pénalisante pour le maintien des performances en période de pointe (figure 2). Compte tenu des charges volumiques élevées appliquées sur le premier étage des traitements, les puissances spécifiques installées sont nettement plus importantes que dans les systèmes conventionnels traitant des effluents domestiques. Elle peuvent atteindre 100 à $150\text{ W}/\text{m}^3$.

▼ Figure 2 – Évolution de l'oxygène dissous dans un stockage aéré intensif durant un essai de dégradation de lie de vin en réacteur fermé pendant 3 jours (aération continue et constante hors 2 arrêts courts involontaires).





▲ Figure 3 – Évolution non contrôlée de la température dans un stockage aéré intensif pendant 7 semaines de suivi à partir du début des vendanges.

De fortes charges organiques, des conditions non limitantes en oxygénation et un pH acide peuvent aussi conduire à un développement important de levures se traduisant par une élévation très sensible de température. Ainsi le traitement en cuvée d'un effluent concentré avec aération permanente peut conduire à une élévation de température de 15-20 °C en quelques jours (figure 3).

PH ET POUVOIR TAMPON

Les effluents vinicoles sont la majorité du temps acides. En phase de démarrage d'un processus biologique, il peut être nécessaire de neutraliser les eaux usées pour éviter une acidification de la boue. Sans neutralisation, lors du démarrage d'un stockage aéré, le pH demeure acide pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines et revient progressivement vers la neutralité avec la dégradation de la matière organique et la croissance de la biomasse (figure 4). En présence d'une concentration en biomasse suffisante et en appliquant des charges massiques faibles, le système biologique présente un certain pouvoir tampon permettant l'acceptation des effluents sans neutralisation. Dans les systèmes fonctionnant au fil de l'eau en continu, il est toutefois nécessaire de prévoir une neutralisation pour éviter l'accumulation d'acides.

EXPLOITATION : PÉRIODE DE POINTE ET CYCLE ANNUEL

L'arrivée brutale de la charge polluante des vendanges contraint à une gestion particulière des installations de traitement avec si possible une préparation des bassins avant la période de pointe. Sur les systèmes boues activées alimentés en continu, il sera utile de laisser monter les taux de

boue dans les bassins (jusqu'à 8-9 g/l) de façon à réduire les charges massiques appliquées et à disposer d'un meilleur pouvoir tampon (Racault *et al.*, 1998). Le dispositif d'aération doit donc être dimensionné pour faire face à la demande en oxygène résultant de la respiration de cette masse de boue importante.

Sur les procédés double étage, la mise en court-circuit du premier étage après les semaines de pointe (1,5 à 2 mois) constitue une bonne solution pour limiter les coûts d'exploitation et poursuivre séparément la minéralisation de la boue afin d'améliorer sa déshydratabilité si nécessaire. Une trop forte chute de charge organique après la pointe des vendanges supportée par l'ensemble de l'installation peut quant à elle entraîner des phénomènes de défloculation défavorables au maintien de la qualité des eaux traitées.

En tout état de cause, sur une installation traitant des effluents vinicoles en continu, un suivi intensif est nécessaire pour réagir rapidement aux conséquences de pointes de charge dues à des événements exceptionnels dans la cave (débordement de cuve par exemple). Tout dispositif de cuve tampon limitant les effets de pointe sera une garantie de meilleure fiabilité.

Les traitements biologiques possibles

Les principes des filières de traitement biologiques

En se limitant aux traitements biologiques, deux grandes options sont possibles suivant les volumes moyens à traiter. La figure 5 présente schématiquement les principales solutions :

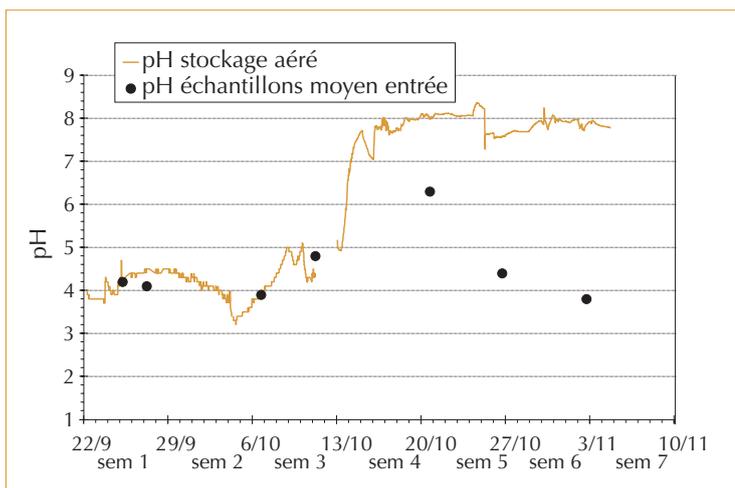
- pour les unités importantes où les volumes d'effluents sont élevés (volume > 40 m³/j), on opte pour des traitements continus ou semi-continus (volumes de 5 à 40 m³/j). Les procédés multi-étages sont généralement les plus adaptés en raison de la concentration initiale élevée des effluents. Ils permettent de limiter le volume des ouvrages et constituent un facteur de sécurité vis-à-vis de l'acceptation de pointes de charge aléatoires ;
- pour les unités où les volumes d'effluents sont faibles (< 5 m³/j), les solutions de traitement discontinu paraissent les mieux adaptées. Hors l'épandage, les autres procédés sont souvent des stockages aérés simples ou couplés à un dispositif de séparation des eaux traitées.

Systèmes multi-étages

Dans les procédés double étage, le premier stade du traitement fonctionne à forte charge volumique. Une large gamme de procédés biologiques est possible. Il ne s'agit pas ici de décrire tous les procédés existants mais de souligner les arguments concourant au développement des principales technologies et de rappeler leurs caractéristiques essentielles.

QUELQUES EXEMPLES DE PREMIER ÉTAGE

Une série de procédés biologiques répondent aux critères d'un premier étage : compacité et possibilité d'abattement de la DCO de l'ordre de 80-90 %. Tous sont suivis d'un traitement biologique faible charge indispensable pour atteindre les niveaux de rejet requis en DCO (300 mg/l ou 125 mg/l).



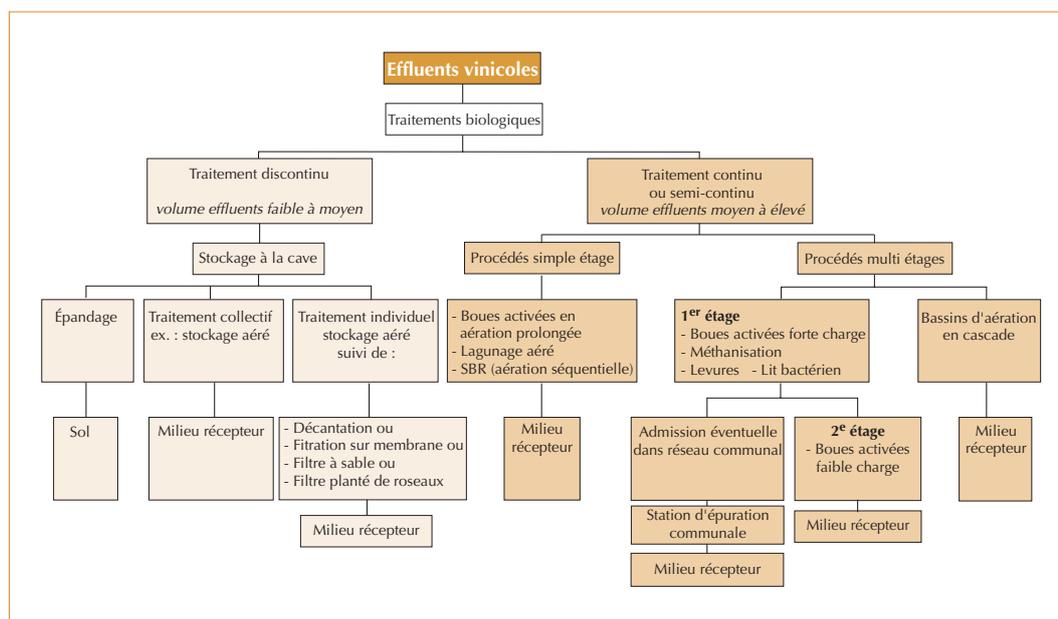
▲ Figure 4 – Évolution non contrôlée du pH dans un stockage aéré intensif pendant 7 semaines de suivi à partir du début des vendanges.

Lit bactérien

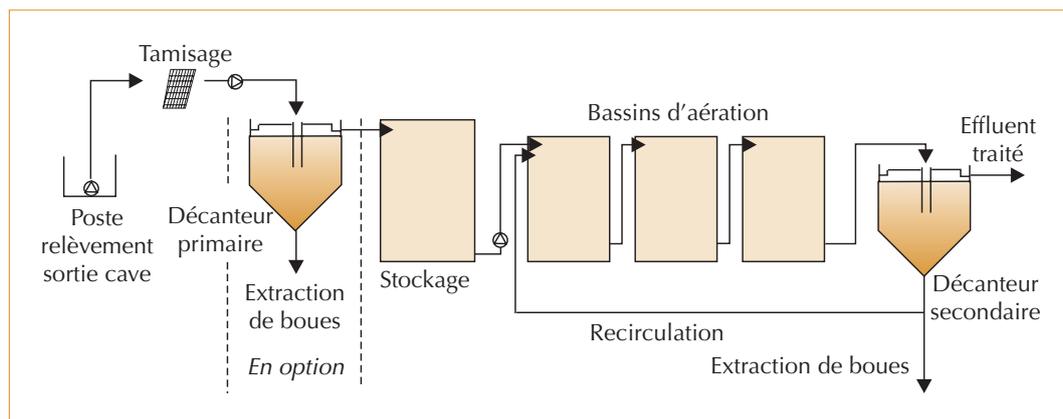
Traditionnellement dans les industries agro-alimentaires, le lit bactérien plastique est utilisé pour réaliser un premier traitement de dégrossissage avec des abattement de 65 à 80 % sur la DCO. Avec les effluents vinicoles, cette solution a été testée (Lefevre *et al.*, 1994). Cependant elle n'est envisageable que si l'ouvrage peut êtreensemencé avant la période des vendanges, ce qui limite son usage le plus souvent au traitement d'effluents mixtes (urbain + vinicole), si le fonctionnement est saisonnier.

Méthanisation

Un certain nombre de caractéristiques des effluents vinicoles constitue des facteurs favorables à l'utilisation de la méthanisation en première phase de traitement : concentrations en DCO élevées, carences en nutriments, phase d'arrêt du réacteur pendant plusieurs mois. Quelques installations mises en place ces dernières années utilisent donc cette technologie en premier étage. Les deux procédés industriels dominants sont le filtre anaérobie chauffé alimenté à débit régulier à partir d'un stockage de plusieurs mois, et le procédé lit



◀ Figure 5 – Organigramme des principaux traitements biologiques applicables aux effluents vinicoles.



▲ Figure 6 – Schéma de principe d'une filière avec bassins d'aération en série.

4. UASB : *upflow anaerobic sludge blanket*.

de boue (UASB)⁴ à température ambiante avec recirculation (Racault et Vedrenne, 1999). Les charges volumiques appliquées sont de l'ordre de 2 à 5 kg DCO/m³.j avec des abattements en DCO de 80 à 95 %. Avec de faibles stockages amont, une des contraintes majeures réside dans les risques d'acidification liés à une surcharge organique accidentelle, le milieu étant très peu tamponné. Ce type de solution est à réserver à des unités importantes où le maintien de concentrations élevées en DCO sont garanties.

Boues activées « forte charge »

Dans le domaine des effluents vinicoles, l'appellation « boues activées forte charge » en premier étage traduit essentiellement une forte charge volumique mais ne correspond pas aux valeurs conventionnelles de forte charge massique. En effet, les concentrations de boue atteintes après quelques semaines dans les bassins sont suffisamment élevées (5 à 10 g MES/l) pour maintenir les charges massiques à des valeurs inférieures à 0,35 kg DBO₅/MVS.j, et le plus souvent aux environs de 0,25 kg DBO₅/MVS.j.

Les premières installations de taille importante traitant les effluents au fil de l'eau ont fait appel à des techniques dites « double étage » où l'on cherche à maîtriser les conditions imposées dans chaque étage (aération, concentration de boue, pH, température).

Systèmes levures

En imposant des conditions de pH acide, en apportant des nutriments et en surdimensionnant l'aération, il est possible de favoriser le développement de levures dans un premier étage boues

activées. L'intérêt est de pouvoir disposer en quelques jours d'une biomasse importante et de réduire le volume du réacteur primaire en appliquant de très fortes charges volumiques. Les valeurs de charge effectivement appliquées sur l'étage levures sur installation réelle sont en effet 4 à 5 fois supérieures à celles admises en moyenne sur un premier étage de boues activées, mais pourraient atteindre des valeurs beaucoup plus élevées si nécessaire (Racault *et al.*, 1998). Ce type de procédé, s'il peut éviter la contrainte des stockages amont, exige une séparation des levures par centrifugation et une correction de pH avant le traitement aérobie complémentaire. Il en résulte une complexité d'exploitation défavorable au développement du procédé.

SYSTÈMES DE BASSINS EN SÉRIE

Le système avec bassins en série (ou bassins d'aération en cascade) est un procédé simplifié par rapport à une boue activée double étage dans la mesure où il n'existe pas de séparateur de boue intermédiaire (décanteur, flottateur...) permettant de réguler la quantité de biomasse présente sur le premier étage et donc de fixer les paramètres biologiques de fonctionnement. La charge massique appliquée sur chaque étage dépend essentiellement de la charge entrante et de l'équilibre qui s'établit dans les quantités de biomasse présentes dans les bassins en fonction notamment du taux de recirculation.

En prenant l'exemple d'un système à trois bassins en série (figure 6) la charge massique moyenne de dimensionnement calculée sur l'ensemble des bassins est de l'ordre de 0,12 kg DBO₅/kg MVS.j avec

une répartition des capacités d'oxygénation en pourcentage entre bassins qui devrait être respectivement d'environ 75, 15 et 10 (Canler *et al.*, 1998). Au débit nominal, avec des effluents bruts aux environs de 15 000-20 000 mg/l en DCO, un temps de séjour minimum d'une dizaine de jours est nécessaire pour atteindre en sortie 125 mg/l, même si de bons résultats ont pu être obtenus avec des temps de séjours moyens plus courts (Racault *et al.*, 2000).

BILAN SYNTHÉTIQUE DES FILIÈRES INTENSIVES

Les valeurs moyennes des paramètres de fonctionnement des installations suivies par le Cemagref en période de pointe peuvent se résumer dans le tableau 1.

Stockage aéré et variantes

Le stockage aéré est la mise en œuvre rustique de l'épuration biologique aérobie par boues activées par cuvée. Ce procédé a été largement appliqué dans le domaine des effluents vinicoles dans la région champenoise depuis de nombreuses années, en raison notamment d'un nombre important d'ateliers de pressurages rejetant des effluents sur la seule période des vendanges (3 à 4 semaines). Tant que la période de production d'effluents reste ainsi très limitée dans le temps et permet de stocker le volume global de la campagne, la solution conventionnelle de stockage aéré constitue un procédé simple et fiable.

VARIANTES : TRAITEMENTS COMPLÉMENTAIRES ASSOCIÉS AU STOCKAGE AÉRÉ

Lorsque les rejets sont étalés sur une longue période avec des volumes annuels importants, il devient pertinent de chercher à réduire les capacités de stockage et à adjoindre à cette épuration partielle des traitements complémentaires pour produire directement un effluent traité admissible dans le milieu récepteur avec étalement dans le temps de son déversement. Ainsi, des solutions variantes du stockage aéré conventionnel ont été mises au point ou sont en cours de développement par différents constructeurs. Ces diverses solutions font appel à des volumes de stockages sensiblement réduits, une partie du traitement étant assurée par l'étape complémentaire.

Couplage stockage aéré et infiltration-percolation

Cette filière vise à assurer un traitement poussé tout en maintenant une grande souplesse dans l'admission des eaux usées provenant de la cave. Elle consiste principalement en un stockage aéré,

Type de procédé	Charge volumique étage 1 kg DBO ₅ /m ³ .j	Charge massique étage 1 kg DBO ₅ /kg MVS.j	Concentration des boues étage 1 g MES/l
Boues activées double étage	1,5-2	0,25-0,35	7-12
Système avec bassins d'aération en série	2-3	0,15-0,45	6-12,5
Méthanisation + boues activées	2-4	Non mesurable	Boues granuleuses
Levures + boues activées	2,5-15	0,5-1,3	2,5-11,5

un ouvrage de décantation et un massif sableux filtrant.

Le stockage est généralement calculé pour admettre les rejets cumulés sur les trois premiers mois environ succédant au début des vendanges. L'objectif du stockage aéré est de ramener la concentration en DCO décantée à une valeur suffisamment faible et de ne plus la dépasser (environ 1g DCO/l). La charge organique appliquée sur le filtre doit être en effet compatible avec les capacités de traitement de ce dernier pour éviter tout colmatage par développement excessif de biomasse au sein du matériau. Le filtre à sable est alimenté par bâchées (alimentation suivi de temps de repos de plusieurs heures) suivant les règles classiques d'alternance pratiquées en traitement biologique d'infiltration-percolation.

Le dispositif d'aération du stockage étant calculé pour assurer le brassage et l'aération d'un grand volume, il est indispensable de prévoir une mesure de l'oxygène dissous par sonde pour asservir le fonctionnement des appareils et limiter les dépenses énergétiques. Le long temps de séjour de la boue dans le stockage permet une minéralisation poussée et une auto-oxydation qui aboutit à une production de boue très réduite.

Couplage stockage aéré et filtres plantés de roseaux

Le traitement par filtres plantés de roseaux connaît depuis ces dernières années un développement croissant dans le domaine de l'épuration des eaux usées domestiques de petites collectivités. Son aspect « technologie rustique et intégrée à l'environnement » incite les viticulteurs à l'adapter au cas des effluents vinicoles. Il convient cependant

▲ Tableau 1 – Paramètres réels de fonctionnement de différents premiers étages en période de pointe.

de rappeler que de tels procédés ne peuvent fonctionner sans régulation amont des flux de charge organique, ce qui nécessite un volume tampon important. Un premier stade de dégradation dans un stockage aéré est nécessaire pour réduire la concentration en DCO. Des concentrations inférieures ou égales à 2g DCO/l paraissent acceptables sur ce type de filtre pour atteindre un rejet dans le milieu récepteur inférieur à 300 mg DCO/l.

Des premières expérimentations réalisées, il ressort que le volume du bassin de stockage devrait correspondre au volume cumulé des rejets de la cave sur les 6 à 8 semaines succédant au début des vendanges.

L'avantage d'un tel système repose dans la possibilité d'alimenter les lits plantés avec le mélange (effluent + boues) présent dans le stockage, sans décantation, et de s'affranchir de la contrainte des boues. Ces dernières retenues en surface des filtres plantés se déshydrateront en période de non rejet.

Couplage stockage aéré intensif, filtration tangentielle membranaire et finition sur filtre à sable

À l'échelle de petites unités de vinification, le système grand stockage + filtre à sable engendre des volumes de bassin importants, souvent incompatibles avec les contraintes de place et implique des équipements de brassage et d'aération en relation avec le volume total. Cette solution n'atteignant pas l'optimum économique, certains constructeurs maîtrisant les techniques de filtration ont cherché à remplacer l'étape critique de décantation par une filtration tangentielle membranaire. Ceci permet de s'affranchir de la mauvaise décantabilité, inévitable en cours de stockage aéré, et de filtrer quand on le souhaite, en raccourcissant notablement les temps de traitement. Le filtre à sable a pour fonction d'effectuer un traitement biologique de finition.

Cela conduit à des procédés qu'on peut qualifier de stockages aérés intensifs avec des capacités d'aération importantes, égales ou supérieures à celles rencontrées dans les boues activées.

Le bassin de stockage (ou bassin d'aération) d'un volume ramené à 15 à 20 % du volume d'effluents annuel est alimenté directement depuis la cave ou mieux par l'intermédiaire d'un bassin de délestage ou écrêteur. Il subit des variations de niveau en fonction des bilans volumiques entrée-sortie. Le débit journalier de filtration correspond au débit moyen de rejets de la cave.

Il s'agit donc d'un système semi-continu où la capacité journalière de dégradation de la DCO dans le bassin doit couvrir la charge moyenne reçue sur la période de pointe. Les boues produites sont intégralement conservées dans le bassin de stockage, leur masse augmente donc en cours de campagne et régresse progressivement par auto-oxydation lors des périodes avec très peu de rejets.

Couplage stockage aéré intensif par cuvée et filtration tangentielle membranaire périodique

La démarche consiste ici à traiter les effluents par voie aérobie et par bâchées dans une cuve à remplissage progressif avec des puissances spécifiques élevées pour limiter le volume de stockage. L'extraction de l'eau traitée s'effectue en fin de remplissage par filtration tangentielle membranaire avec un dispositif à demeure ou mobile et après vérification de la concentration du perméat. L'originalité du système pour de petites unités dispersées est de proposer une gestion collective de la filtration en évitant le transport d'effluent. Comme dans le système précédent, les boues sont conservées dans le bassin et sont auto-oxydées progressivement pendant les périodes de faible alimentation.

Il s'agit d'une approche traitement individuel avec une gestion centralisée confiée à un prestataire de service. Ce dernier prend en charge le suivi à distance des remplissages (capteurs de niveau), le suivi de l'état de la dégradation grâce à l'interprétation des données d'oxygène dissous et réalise des analyses de contrôle systématiques avant filtration et rejet.

BILAN SYNTHÉTIQUE DES DIVERSES OPTIONS DE STOCKAGE AÉRÉ

Les différentes approches possibles du stockage aéré ne sont pas toujours faciles à comparer. Le tableau 2 regroupe les principales options et synthétise les caractéristiques de conception.

Premier bilan des solutions mises en œuvre

Taux d'équipement dans les régions viticoles

Les premiers traitements biologiques ont été mis en œuvre en France dans les années 1970 mais en nombre très limité et il a fallu attendre le milieu des années 1990 pour enregistrer un fort développement d'installations. Les premiers équipements ont concerné les unités de vinification importantes

qui pouvaient représenter en pointe, pour certaines d'entre elles, une charge polluante équivalente à 25 000 éq-hab.

Le traitement des effluents vinicoles est désormais bien amorcé dans les vignobles français. En Gironde par exemple, aux vendanges 2001, la quasi totalité des caves vinifiant plus de 20 000 hl étaient

équipées de dispositifs de traitement des effluents, constitués aux deux tiers de systèmes à boues activées. Pour les caves vinifiant entre 2 300 hl (seuil de la perception de la redevance pollution par l'agence de l'Eau Adour-Garonne) et 20 000 hl, 40 % disposaient d'un traitement, contre environ 5 % pour les chais produisant de moins de 2 300 hl.

▼ Tableau 2 – Les différentes filières intégrant le stockage aéré.

Durée de la période des rejets de la cave	Type de procédé comprenant un stockage aéré (SA)	Type de fonctionnement	Volume de stockage	Capacité d'aération dans le stockage	Méthode d'obtention de l'eau traitée
Quelques semaines	Stockage aéré (SA) classique	Discontinu Vidange totale en fin de cycle	Vol. annuel	Faible à moyenne	Décantation en fin de cycle (filtre à sable éventuel en finition, rôle : rétention MES)
Plusieurs mois	(SA) cuve collective	Discontinu	Vol. annuel cumulé	Faible à moyenne	Décantation en fin de cycle
	(SA) en plusieurs cuves sur un site	Discontinu Vidange totale en fin de cycle	- 50%-70% vol. annuel - Configuration mini : 2 bassins en alternance (1 bassin pour vendanges-soutirages + 1 petit bassin complémentaire)	Faible à moyenne	Décantation en fin de cycle
	Variante (SA) + filtre à sable	Discontinu Vidange étalée via filtre dès $DCO_{SA} < 1 \text{ g/l}$	60%-80% vol. annuel	Moyenne	Décantation + filtre à sable
	Variante (SA) + filtre plantés (FP)	Discontinu Vidange étalée via FP. dès $DCO_{SA} < 2 \text{ g/l}$	40%-60% vol. annuel*	Moyenne	Mélange SA** + filtre planté
	Variante (SA) + membrane + filtre sable (finition)	Semi-continu Q Filtration = Q moyen Entrée SA $DCO_{SA} < 1 \text{ g/l}$	SA = mini 30 m ³ + bassin délestage amont	Forte	Mélange SA** + filtre tangentiel + filtre à sable
	Variante (SA) + membrane	Discontinu Vidange eau traitée par filtration tangentielle $DCO_{filt.} = \text{niveau rejet}$	~ 20% vol. annuel	Forte	Mélange SA** + filtre tangentiel

* Estimation à confirmer ** Mélange SA = contenu du stockage aéré sans décantation

Méthodologie d'évaluation des procédés

Dans le cadre du groupe technique national sur les effluents vinicoles, une part importante des procédés disponibles a fait l'objet de campagnes de mesures. Une douzaine de filières biologiques ont été évaluées sur site par le Cemagref entre 1994 et 2000. Afin d'apprécier la fiabilité des systèmes en période critique, un protocole spécifique a été mis en œuvre. Il prévoit des mesures en continu avec suivi de tous les paramètres fondamentaux du process et des bilans entrée-sortie pendant une durée de 5 semaines (cas du Bordelais) à compter du début des vendanges pour couvrir l'ensemble de la période de pointe de charge. Ces conditions d'évaluation en situation réelle sont nécessaires pour porter un avis sur la fiabilité des performances des procédés.

Bilan synthétique des évaluations de procédés

De l'expérience acquise au cours des évaluations de procédés réalisées par le Cemagref, on peut tirer un certain nombre d'enseignements généraux sur les performances possibles et sur les points critiques du fonctionnement des dispositifs mis en place.

SYSTÈMES FONCTIONNANT AU FIL DE L'EAU AVEC SÉPARATION DES BOUES PAR DÉCANTATION

Lorsque les durées de traitement sont suffisamment longues (souvent supérieures à 10 jours), et l'oxygène n'est jamais un facteur limitant, il est possible d'atteindre en sortie de systèmes multi-étages une DCO dissoute (mesurée sur échantillon centrifugé et filtré) de l'ordre de 45 à 70 mg/l. Ceci montre que la DCO réfractaire sur ce type d'effluent est très faible la plupart du temps. Les fluctuations observées sur la DCO totale en sortie d'installations sont souvent liées à une mauvaise maîtrise de la concentration en MES. La détérioration des performances peut intervenir soit en période de vendanges suite à des surcharges organiques, soit au contraire lors d'une période de sous-charge prolongée entraînant des phénomènes de défloculation.

Sur des installations de type boues activées simple étage ou multi-étages, les indices de boue⁵ relevés sont toujours demeurés inférieurs à 150 ml/g, témoignant d'un très faible développement de bactéries filamenteuses, même lorsque les apports de nutriments sont nettement inférieurs aux ratios idéaux.

5. Paramètre obtenu après décantation en éprouvette pendant 30 minutes et caractérisant la décantabilité.

Les systèmes à bassins d'aération en série par leur souplesse de gestion ou les systèmes biologiques à charge régulée par un grand stockage amont constituent, lorsqu'ils sont bien conçus, les solutions les plus performantes. En tout état de cause, une préparation de l'installation avant les vendanges et une exploitation attentive durant les premiers jours sont indispensables pour tenir les niveaux de rejets les plus sévères. Sur ce type d'installation, la gestion particulière de la phase de démarrage doit être renouvelée chaque année au moment des vendanges.

Les boues produites se situent dans la gamme 0,25 à 0,35 kg MES/kg DCO^{dégradée} en période de pointe, valeurs deux fois inférieures à celles obtenues habituellement avec des effluents urbains en raison de la fraction soluble importante des effluents vinicoles et de MES en majeure partie organiques et dégradables. Même si les études sur la réutilisation des « boues vinicoles » sont très limitées, l'usage agricole de ces boues devrait dans la grande majorité des cas poser peu de problèmes. Une attention particulière devra cependant être portée sur les teneurs en cuivre dans les boues. La concentration de ce dernier élément résultant des traitements phytosanitaires devra être mesurée pour adapter si nécessaire les doses d'épandage.

Le coût énergétique est très variable suivant l'optimisation de l'aération et le devenir des boues : en pointe de charge et pour des systèmes optimisés, la dépense énergétique peut se limiter à 1 kWh/kg DCO mais elle atteint 4 kWh/kg DCO en l'absence de régulation de l'oxygène dissous.

La qualité des prétraitements et en particulier du tamisage constitue un élément essentiel dans la fiabilité du procédé et la limitation des incidents d'exploitation. La séparation des terres de filtre (diatomées) doit s'effectuer en amont de tout traitement et si possible dans la cave en utilisant des filtres à débatissage manuel (dits filtres écologiques).

SYSTÈMES ADAPTÉS AUX PETITES UNITÉS

Pour les petites unités, les niveaux de rejets sont en général facilement atteignables si la durée du traitement est suffisante, cas par exemple du stockage aéré conventionnel. Cependant, il faut avoir conscience que toute limitation du stockage est contrebalancée par des contraintes d'exploitation plus fortes (obtention de la concentration de rejet sur de plus courtes durées, impératif de vidange,...). Dans ces cas, le dimensionnement doit bien prendre en compte les hypothèses les plus

défavorables de répartition dans le temps des charges organiques et hydrauliques. Pour des systèmes faisant intervenir une filtration automatisée (ex. : filtration tangentielle), la maintenance doit aussi pouvoir être réalisée dans les meilleurs délais. Le stockage aéré couplé à un système complémentaire assurant la finition biologique et la séparation des MES reste une des solutions actuelles les plus fiables avec des productions de boue très faibles.

Les installations travaillant au fil de l'eau paraissent peu adaptées pour de faibles débits en raison d'une difficile optimisation hydraulique (gestion de faibles débits non fiable, effet d'échelle pour les clarificateurs), en raison des risques de surcharges

accidentelles et de la nécessité d'une gestion des boues, souvent trop contraignante à l'échelle d'une petite unité vinicole.

Des procédés présentés comme innovants, quelquefois par des non professionnels de l'eau, arrivent régulièrement dans ce marché spécifique en phase d'équipement. Il y a lieu de rester vigilant sur la conception des systèmes qui doivent respecter les règles de dimensionnement des procédés biologiques, et rester très circonspects par exemple sur l'apport de bactéries sélectionnées dont les effets peuvent être présentés d'une manière exagérément bénéfique.

□

Résumé

Une large gamme de procédés de traitement est désormais applicable aux effluents vinicoles. Pour choisir la solution la plus adaptée en fonction des contraintes (caractéristiques des rejets, qualité requise pour les eaux traitées, environnement, capacités de stockage *in situ*...), il faut appliquer une méthodologie propre à ce type d'effluents. Les spécificités de fonctionnement des traitements biologiques appliqués aux effluents vinicoles sont rappelées ainsi que les performances possibles. Une large place est donnée aux procédés semi-continus adaptés aux petites unités de vinification, en particulier aux différents systèmes couplant stockage aéré et traitement complémentaire de finition.

Abstract

A wide range of processes is now available for the treatment of winery effluents. A specific methodology should be applied to choose the most adapted solution according to the constraints (characteristics of effluents, quality required for treated waters, local environment, storage capacity, ...). The specificity of biological treatment applied to winery effluents and the possible performances are discussed. A wide development is given to the semi-continuous and to the batch processes adapted to the small wine-making units. Among them, the systems combining aerated storage and various additional polishing treatment techniques are highlighted.

Bibliographie

- CANLER, J.-P., ALARY, G., PERRET, J.-M., RACAULT, Y., 1998, *Traitement biologique aérobie par bassins en série des effluents vinicoles*, Ingénieries-EAT, n° 16, décembre 1998, p. 69-79.
- GRENIER, P., RACAULT, Y., MEKIKDJIAN, C., 1998, Méthode simplifiée d'évaluation de la charge polluante d'une cave vinicole en période de vendanges. Deuxième congrès international sur le traitement des effluents vinicoles, p.15-24.
- Groupe technique effluents vinicoles, 2000, *Les filières d'épuration des effluents vinicoles*, nouvelle édition, ITV France, 86 p.
- JOURJON, F., RACAULT, Y., ROCHARD, J., 2001, *Effluents vinicoles : Gestion et traitements*, Féret éd., 224 p.
- LEFEUVRE, B., BERNARD, J.-F. AND AUDOIN, L., 1994, *Traitement des effluents vinicoles. Station d'épuration traditionnelle ou à géométrie variable, deux cas typiques*, Congrès international sur le traitement des effluents vinicoles, p. 119-125.
- RACAULT, Y., CORNET, D., VEDRENNE, J., 1998, *Application du traitement biologique aérobie double étage aux effluents vinicoles*, 2^e congrès international sur le traitement des effluents vinicoles, p. 205-214.
- RACAULT, Y., LENOIR, A., 1995, Évolution des charges polluantes de deux caves vinicoles du Sud-Ouest de la France sur un cycle annuel, *Revue Française d'Oenologie*, n° 152, Mai/Juin 1995, p. 16-18.
- RACAULT, Y., VEDRENNE, J., 2000, *Évaluation d'un procédé biologique aérobie compact par bassins en série pour le traitement des effluents vinicoles, suivi de l'installation « Bocard-EEIS » de la cave coopérative de Saint-Brice (33) lors des vendanges et soutirages 1999*, étude n° 62, juillet 2000, 63 p. + annexes.
- RACAULT, Y. and VEDRENNE, J. *QEBX CR n° 104 - CEMAGREF Bordeaux*, 1999, Évaluation d'un procédé double étage (méthanisation lit de boue + boues activées) pour le traitement des effluents vinicoles. Suivi de l'installation de Château-Bonnet à Grézillac (33) lors des vendanges 1997 et de la vinification 1997-1998.