

# Les Itinéraires

Les références techniques de l'IFV

## HYGIÈNE RAISONNÉE AU CHAI

Optimiser les procédures pour sécuriser la production et réduire la consommation en eau

Mise en œuvre des  
opérations d'hygiène

L'eau dans les opérations  
d'hygiène

Bonnes pratiques  
d'hygiène

## INTRODUCTION

### I. SOUILLURES, ENCRASSEMENT ET BIOADHÉSION

- 1.1 Les souillures
- 1.2 Les matériaux
- 1.3 L'encrassement
- 1.4 Les micro-organismes d'altération
- 1.5 L'adhésion microbienne et le biofilm

### II. LA MISE EN ŒUVRE DES OPÉRATIONS D'HYGIÈNE

- 2.1 Conception hygiénique, nettoyabilité
- 2.2 Le nettoyage : principes et détergents
- 2.3 La désinfection : principes et désinfectants
- 2.4 La mise en œuvre du nettoyage et de la désinfection, le plan d'hygiène

### III. L'EAU DANS LES OPÉRATIONS D'HYGIÈNE

- 3.1 Consommation et opérations unitaires
- 3.2 Réglementation et utilisation de l'eau

### IV. LES BONNES PRATIQUES D'HYGIÈNE

- 3.1 Accès aux surfaces
- 3.2 Outils adaptés
- 3.3 Raisonner l'hygiène et limiter la consommation en eau : le projet EFFLU'EAU :
  - Qualité du rinçage
  - Niveau d'hygiène
  - Incidences des procédures sur les populations résiduelles et leur survie

### V. PERSPECTIVES

### VI. BIBLIOGRAPHIE

De la récolte au conditionnement, la vendange, le moût puis le vin subissent de nombreux transferts et sont en contact avec de nombreuses surfaces. En raison de leur fréquence d'utilisation et de leur aptitude au nettoyage (nettoyabilité) généralement insuffisante, les éléments de transfert et les surfaces au contact constituent les principales causes d'apparition d'un encrassement (microbien, minéral ou organique). Cette adhésion récurrente est à l'origine des altérations microbiennes et des déviations organoleptiques, mais également d'une surconsommation d'eau et de formulations chimiques, d'un vieillissement prématuré des surfaces ou d'une baisse de rendement (échangeurs thermiques). La mise en place de l'hygiène doit limiter les risques de déviations tout en optimisant la durée de vie des surfaces et équipements.

L'hygiène, pour maîtriser ces phénomènes,  
a deux objectifs essentiels.

Dans un premier temps, elle doit limiter tout au long de l'itinéraire d'élaboration du vin, la présence résiduelle des souillures de toute nature, sur l'ensemble des surfaces en contact avec le raisin, le moût ou le vin. La mise en place d'opérations de nettoyage et désinfection des matériels est essentielle et doit répondre à la réglementation en place. Le plan d'hygiène définit les procédures à mettre en place.

Dans un deuxième temps, elle doit assurer un environnement sain, limitant notamment la survie des microorganismes d'altération, en maintenant une propreté physique, chimique et microbiologique des sols, des murs, du personnel, des matières sèches.

L'état de surface des matériaux et la nettoyabilité des équipements ont une incidence sur les phénomènes d'encrassement et de bio-adhésion et par conséquent sur le résultat des procédures d'hygiène. Les moyens chimiques, physiques et mécaniques disponibles aujourd'hui sont nombreux et adaptés à chacune des situations mettant en jeu une souillure et une surface, dans le respect de la réglementation et celui de l'environnement.

La prise de conscience de la rareté de l'eau, les tensions de plus en plus importantes sur la mise à disposition de l'eau et la réglementation sur la gestion des effluents, obligent les filières agroalimentaires en général et celle du vin en particulier, à réduire leurs consommations. Les solutions se situent au niveau du choix des matériaux, de l'optimisation des procédures, dans les techniques d'application des agents de détergence et désinfection ou dans les alternatives au chimique, dans les indicateurs de la qualité de l'eau et dans le recyclage de l'eau. La conception des chais (pentes et nature des sols) et l'écoconception plus généralement, apportent également des solutions.

Ce document a pour objectif de mettre à jour les connaissances techniques sur l'hygiène au chai et leurs applications, en particulier sur l'optimisation des procédures et la gestion de l'eau, illustrée par des résultats de projets récents menés par l'IFV et ses partenaires, notamment le projet Efflu'Eau.

# I. SOUILLURES, ENCRASSEMENT ET BIOADHÉSION

## 1.1 Les souillures

Toute souillure résiduelle, quelle qu'elle soit, peut être à l'origine d'altérations dans le vin (contaminations chimiques, physiques ou microbiennes) et nuire à la qualité sensorielle ou sanitaire du vin.

Les souillures sont principalement de nature organique avec pour origine le raisin, le moût ou le vin. Ce sont les matières végétales, les matières colorantes et tanniques, les protéines, les acides organiques, les glucides et les microorganismes. Elles peuvent être de nature cristalline (essentiellement le bitartrate de potassium, qui précipite lors du refroidissement du vin et se fixe sur les parois des équipements, contenants...). Ces souillures évoluent avec le temps (oxydation, séchage, cristallisation, déshydratation). Cette évolution les rend généralement plus adhérentes et plus difficiles à décoller puis à éliminer.

Des souillures étrangères à la matière première sont susceptibles de se retrouver dans le moût ou le vin (Tableau 1). Leur nature est très variée. Selon leurs propriétés physico-chimiques, elles sont solubles dans l'eau (acides, sucres...), hydrophiles (amidon, protéines...), émulsifiables (graisses, lipides...), insolubles (terre, métaux, cellulose, papier), solubles en milieu acide (carbonate de calcium) ou en milieu alcalin (tartre). Il faut y ajouter les graisses et huiles provenant des machines, les résidus de produits de nettoyage.

Tableau 1. Nature et propriétés des souillures  
(Pierre Jaudon, Hygiène et propreté des surfaces en milieu agro-alimentaire, 2002)

Composant de la souillure	Solubilité	Facilité de nettoyage	Qualité requise du produit nettoyant
Sucres solubles, acides organiques, sels	Soluble dans l'eau	Facile. Plus difficile une fois séchés	Détergence alcaline moyenne
Autres glucides (amidon, cellulose, polysaccharides)	Solubilité faible ou nulle Formation de gels	Assez facile	Pouvoir dispersant, hydrolysant, saponifiant
Protéines	Variable dans l'eau, soluble en milieu alcalin	Difficile à l'eau. Facile avec solution alcaline	Pouvoir (alcalin) dispersant, solubilisant, désagrégeant
Matières grasses, lipides	Insoluble dans l'eau	Facile à l'aide de détergent	Pouvoir émulsifiant, dispersant, alcalin
Tartre	Insoluble dans l'eau	Facile en milieu alcalin	Alcalin fort
Minéraux (sels, tartre, oxydes métalliques)	Variable dans l'eau. Solubilité dans les solutions acides, parfois dans les alcalins	Très facile à difficile suivant la solubilité	Pouvoir (acide) complexant, solubilisant

Ces souillures constituent les principaux supports aux micro-organismes d'altération. La présence des souillures, du fait de leur nature, entraîne une diversité importante de microorganismes aux conditions de survie et de croissance variées.

## 1.2 Les matériaux

Le Règlement (CE) n°1935/2004 précise que « ... tous les matériaux et objets destinés à entrer en contact, directement ou indirectement, avec des denrées alimentaires doivent être suffisamment inertes pour ne pas céder à ces denrées des constituants en une quantité susceptible de présenter un danger pour la santé humaine, d'entraîner une modification inacceptable de la composition des aliments ou d'altérer leurs caractères organoleptiques ».

Le principe d'inertie implique également l'absence d'absorption de liquides alimentaires par les matériaux sauf si le bon usage de ces matériaux est basé sur leur caractère poreux.

Ainsi, dans la filière vitivinicole, la nécessité technologique, combinée aux usages traditionnels et à l'absence de risque lié au développement de microorganismes pathogènes, rend possible l'utilisation de matériels en bois (barriques...).

Pour tous les nouveaux matériels une attestation de conformité à la réglementation en vigueur concernant le contact alimentaire doit être fournie. Un sigle constitué d'un verre et d'une fourchette permet de repérer qu'un objet est conçu pour être mis en contact avec les aliments et les boissons.



### ► Les aciers inoxydables

Les aciers inoxydables sont fréquemment utilisés dans le secteur vinicole, en raison notamment de leur inertie chimique et de leur aptitude au nettoyage.

Les aciers inoxydables utilisés pour la fabrication des équipements au contact de produits alimentaires doivent titrer au moins 13% de chrome, le chrome étant l'élément qui donne les principales caractéristiques anticorrosion de l'acier.

Selon leur utilisation, il peut être utilisé des aciers inoxydables de différentes familles : ferritiques, austéno-ferritiques ou austénitiques. Ces derniers sont les plus utilisés, particulièrement pour la fabrication des cuves, en raison de leur haute tenue à la corrosion. L'état de surface d'une tôle d'acier inoxydable dépend du type de finition réalisée en aciérie. En œnologie, la finition « glacé de laminage à froid, décapé », type 2B, est la plus utilisée pour les cuves de vinification et de stockage. Elle donne un aspect lisse légèrement brillant, satisfaisant en termes de nettoyabilité. La finition « recuit brillant » 2R (parfois appelée RB ou 2RB), de rugosité inférieure est encore plus facile à nettoyer que la finition 2B, mais avec un coût supérieur.

Le polissage mécanique entraîne une diminution de la rugosité. Il est réalisé à l'aide d'abrasifs, avec des grains généralement de 120, 180 voire plus (plus le numéro de grain est élevé, plus fin est le polissage). Le poli-miroir est obtenu à l'aide d'abrasif encore plus fin. Le polissage électrolytique permet de dissoudre les aspérités du métal dans un bain acide par voie électrolytique. Ce type de finition, de même que le poli-miroir, permet de limiter l'adhérence des souillures, notamment du tartre. Il est donc recommandé notamment pour les surfaces d'échanges thermiques (échangeurs drapeaux) ou lorsque les exigences en termes d'hygiène sont très élevées.

## ► Le béton

Le béton doit être protégé du vin, qui constitue un produit agressif en raison de son faible pH. En l'absence de revêtement, un affranchissement à l'acide tartrique est nécessaire. Cet affranchissement ne permet pas d'obtenir de bonnes conditions d'hygiène (développement de micro-organismes, infiltrations du vin).

Le revêtement époxydique des cuves permet une amélioration de l'hygiène de la cuverie et de la conservation des vins. L'utilisation de ce revêtement nécessite le respect d'un certain nombre de précautions.

La résine époxydique utilisée doit être « Apte pour le contact alimentaire » et adaptée à la nature du produit contenu.

La résine doit être appliquée par un professionnel recommandé par le formateur. Les prestations offertes par le formateur et/ou l'applicateur doivent être associées à des garanties réelles et sérieuses : contrat d'assurance. L'intégrité du revêtement (cloques,) doit régulièrement être vérifiée.

Les protocoles d'application, les délais et conditions de séchage (aération) doivent être respectés avant utilisation de la cuve et un rinçage de celle-ci est indispensable.

Une plus grande attention doit être portée aux résines destinées aux cuves de stockage des vins présentant plus de 15 % en volume d'alcool, pour lesquels les phénomènes d'agression sont plus importants.

## ► Le bois

En qualité de contenant, le bois est utilisé de façon ancestrale au contact des produits de la filière vinicole. Le vin et les eaux-de-vie de vin étant des produits à conservation longue, le temps de contact est important.

Les contenants en bois nécessitent un entretien et une hygiène rigoureuse compte-tenu de son caractère poreux, qui favorise l'encrassement microbien et rend plus difficile la désinfection.

## ► Les autres matériaux : plastiques, fibre de verre, acier doux

L'acier nécessite un revêtement intérieur et extérieur ou un émaillage pour le protéger de la corrosion et éviter les contaminations métalliques. Les préconisations sont identiques à celles décrites dans le cas des revêtements des cuves en béton. Attention aux peintures antirouille, qui contiennent souvent du plomb, ne pas les utiliser sur des surfaces en contact avec les produits.

Les plastiques, composites et élastomères sont très divers. Ils doivent être aptes au contact des denrées alimentaires et du produit (moût, vin, muté...) et ne pas laisser migrer de contaminants (phtalates). Il convient de consulter le fournisseur : conditions d'utilisations (température, teneur en alcool, produits de nettoyage-désinfection, concentration...), vieillissement (physique, thermique, oxydatif, lumière, biochimique...), porosité et aptitude au nettoyage...

Les cuves en polyesters armés de fibre de verre doivent être fabriquées selon des spécifications précises (notamment teneur en styrène libre dans le stratifié inférieure à 0.1 % en poids). Les conditions d'utilisation doivent être précisées.

## ► Peintures

Il est recommandé de n'utiliser que des peintures pour contact alimentaire sur les surfaces en contact avec les raisins, le moût ou le vin. Il convient aussi de respecter les paramètres d'application, de séchage et de ventilation des locaux, d'en vérifier les plages d'utilisation (résistance aux produits de nettoyage, à l'acidité, à l'alcool).

### Etat de surface et vieillissement des matériaux

Les caractéristiques des surfaces, délivrées par le fabricant du matériau constituant tout équipement, peuvent évoluer au cours du temps d'utilisation pour plusieurs raisons :

- un conditionnement de surface après contact avec l'eau, l'aliment, le détergent,
- un vieillissement,
- une abrasion, un endommagement (rayure), une usure, etc.

Au cours du temps et de leur utilisation, l'état de surface des matériaux évolue, ainsi que leurs propriétés de résistance (à la corrosion, aux produits chimiques), leur aptitude au nettoyage. D'autres conséquences liées à leur dégradation ont été observées. Par exemple l'enrichissement en plomb du vin est principalement lié au matériel vinicole. De précédentes expérimentations ont démontré que les anciennes pompes possédant des pièces en bronze ou laiton au contact du vin, peuvent engendrer des contaminations en cuivre et en plomb. Le plomb doit être proscrit : canalisations, raccord, robinetterie (Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène filière vin, GBPH). Le plomb fait partie des dangers à surveiller dans la filière.

Classée comme CMR (Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique) de catégorie 1B, perturbateurs endocriniens, les phtalates sont utilisés comme additifs pour conférer de la souplesse au matériau. Ils sont présents dans les équipements vinicoles. De même pour le Bisphénol A (BPA). Des études récentes ont mis en évidence des relargages de phtalates sur des cuves anciennes, revêtues de résines époxydiques ou des cuves en fibre de verre. Il en est de même pour des tuyaux PVC (Polychlorure de Vinyle) antérieurs à 2010. La migration de ces contaminants est rapide et plus importante quand la température s'élève. Au risque lié à la présence de ces contaminants dans la constitution de certains matériaux s'ajoute le facteur vieillissement. Depuis 2015, en France, la fabrication, l'importation et la mise sur le marché de tout conditionnement à vocation alimentaire comportant du BPA, sont interdites.

La plupart des fournisseurs proposent aujourd'hui des tuyaux PVC sans phtalates (phtalates « free »).



### Recommandation pour la gestion des risques « phtalates » et « bisphénol A » dans les caves

Les phtalates (largement utilisés comme additifs en tant que plastifiant dans la fabrication des produits en PVC) entrent dans la composition d'un grand nombre d'équipements au chai (tuyaux, cuves). Le bisphénol A est un des constituants majeurs des résines époxydiques. Ces deux substances sont suspectées d'être perturbateurs endocriniens et peuvent migrer dans le vin au contact des équipements cités (Groupe de travail national sur l'impact des itinéraires techniques viti-vinicoles). Les mesures préventives, la réglementation les concernant sont proposées en termes de recommandations pour limiter leur présence (Itinéraire IFV, 2019).

### 1.3 L'encrassement

L'encrassement peut être défini comme l'accumulation d'éléments solides indésirables (souillures) sur une interface (espace où sont possibles les échanges ou interactions entre le matériau d'une part, la substance liquide ou solide au contact d'autre part) : il affecte une grande variété d'opérations.

Le contact répété avec les surfaces, lors des transferts successifs de moût, raisin ou vin, sont à l'origine des phénomènes d'encrassement, que va devoir limiter le vinificateur par la mise en place des procédures d'hygiène. L'encrassement est à l'origine de la plupart des problèmes d'hygiène dans les industries agro-alimentaires. Constitué de cristaux, de sédiments, de résidus biologiques ou des produits d'une réaction chimique, cinq types d'encrassements différents ont été définis par Epstein (1978) (photos 1a à 1d) ; la corrosion, l'encrassement biologique, l'encrassement par réaction chimique, l'entartrage, l'encrassement particulaire. Il a été démontré que l'encrassement était lié aux propriétés physico-chimiques des fluides (moûts, vin), à la géométrie du contenant, à la nettoyabilité des matériels, à la nature des surfaces (et des matériaux les constituant).

Dans les chais, différents types d'encrassement peuvent se superposer de façon plus ou moins complexe. Ainsi, l'entartrage des surfaces (vannes, joints, soudures) facilite l'encrassement biologique (microorganismes d'altération).

La température, la nature et la rugosité du matériau sont les paramètres qui influencent l'initiation d'un encrassement. S'en suit une phase de transport, gouvernée par des phénomènes de diffusion, sédimentation, à partir de la surface conditionnée, puis, la phase de déposition où une partie de la matière encrassante est attachée à la surface. Les forces agissantes des particules, en plus des propriétés du matériel, jouent un rôle primordial (forces de Van der Waals ou capillaires).

Ces forces attractives, électrochimiques, se créent entre les particules d'une part et entre les particules et la surface d'autre part. Elles l'emportent sur les forces de gravité.

Les forces de cisaillement générées par le flux des particules (à l'intérieur du fluide) s'exercent alors sur le dépôt, entraînant des phénomènes d'érosion ou d'écaillage, conduisant à la disparition d'une partie de la matière encrassante, dont le déplacement dépend de la vitesse du flux, de la viscosité du fluide et de la rugosité de la surface. Enfin, la phase de vieillissement du dépôt mène rapidement à un changement de sa texture et une usure de la surface.

L'encrassement par une souillure est constamment remis en question, au gré des flux passant, réalimentant les couches supérieures, mais n'est pas infini. A partir d'une certaine épaisseur, les forces d'enlèvement sont supérieures aux forces d'adhésion.



Photo 1  
Encrassement par corrosion (P.Poupault)



Photo 2  
Encrassement biologique (P.Poupault)



Photo 3  
Encrassement particulaire (P.Poupault)



Photo 4  
Encrassement par entartrage (P.Poupault)

### 1.4 Les micro-organismes d'altérations

Le vin est un milieu hostile pour les germes pathogènes, à cause notamment de la présence de l'alcool. Cependant, si certains des micro-organismes présents naturellement dans le moût ou le vin sont sans danger ou sans intérêts, d'autres trouvent malgré ce milieu hostile des conditions plus ou moins favorables pour survivre ou se développer. Quand les conditions sont réunies (nutriments, oxygène, surfaces), les micro-organismes ont la capacité de se reproduire et, en présence de précurseurs dans le vin, d'entraîner des déviations aromatiques qui remettent en question la qualité de ce dernier. Ce sont surtout des levures, des moisissures, des bactéries acétiques et lactiques. Les principales altérations et leurs origines microbiennes sont connues des vinificateurs (Tableau 2). L'évolution des pratiques opérées ces dernières années à la vigne comme au chai (modification du pH des moûts, diminution de l'efficacité du sulfitage, élevage sur lies, filtrations moins serrées, diminution des doses de SO<sub>2</sub>...) contribue à une recrudescence de certaines de ces altérations.

Tableau 2 Principales altérations et les micro-organismes associés (V.Gerbaux, IFV, 2020)

Stades	Espèces	Produits	Effets
Raisin	Moisissures (dont <i>Penicilium</i> ou <i>Aspergillus</i> )	Géosmine Ochratoxine A	Goût «moisi» propriétés cancérogènes
Moût	Levures oxydatives (dont <i>Hanseniaspora</i> )	Ac. acétique, Acétate d'éthyle	Acescence
Moût & Vin	Bactéries acétiques	Ac. D lactique, Ac. acétique (mannitol)	Piqûre acétique, acescence
	Bactéries lactiques	Phénols volatils (éthyl-phénol, éthyl-gaïacol)	Piqûre lactique, goût «fromage»
Vin	Levure <i>Brettanomyces</i>	Phénols volatils (éthyl-phénol, éthyl-gaïacol)	Goût phénolé «animal»
	Bactéries lactiques <i>Brettanomyces</i>	Tétrahydropyridine, pyrroline	Goût «souris»
	Bactéries lactiques ( <i>Oenococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> )	Diacétyl (métabolisme de l'ac. citrique)	Arôme beurré
		Amines biogènes (histamine, tyramine, putrescine)	Masque aromatique (allergie)
		Acroléine (métabolisme du glycérol)	Maladie de l'amertume
		Ac. acétique, ac. lactique, ac. succinique (métabolisme de l'ac. tartrique)	Maladie de la tourne, vin plat et aigrelet
polysaccharides (produit par <i>Pediococcus</i> )	Maladie de la graisse, vin filant		

## 1.5 L'adhésion microbienne et le biofilm

Les microorganismes ont la propriété de se reproduire et se multiplier. Ils le font de façon importante quand ils trouvent des conditions favorables (nutriments apportés par les souillures, résidus de matières premières). Ils sont également capables de survivre dans des conditions plus difficiles, dans un environnement stressant, en adoptant des états physiologiques dits viables non cultivables (VNC).

C'est ainsi que l'on peut les retrouver à tout moment sur toutes les surfaces d'un chai, et d'autant plus qu'ils présentent une affinité, une aptitude à l'adhésion. Cette affinité souillure-matériau est très étroitement liée aux propriétés physico-chimiques des surfaces. La bioadhésion, terme utilisé quand l'adhésion implique une surface biologique vivante, a été mise en évidence sur tout type de matériaux, dès qu'un microorganisme se rapproche d'une surface. Elle dépend de la nature du matériau (composition physico-chimique) et de ses

caractéristiques de surface (caractère hydrophobe/ophile, forces de Van der Waals et Lewis) principalement. La topographie des matériaux et leur état d'usure, sont d'autres paramètres influençant les mécanismes de bioadhésion. Ces défauts de surface protégeraient les microorganismes des forces de cisaillement générées par les conditions dynamiques des opérations d'hygiène et les écoulements en général. Ils constituent naturellement des surfaces d'adhésion supplémentaires ou des niches.

Les facteurs physiques et physico-chimiques sont responsables des phénomènes de bioadhésion, adhésion dite en deux dimensions. La consolidation de l'adhésion se traduit par une colonisation du support, l'adhésion dite en trois dimensions. C'est l'aptitude des microorganismes à former une communauté adhérente, qui est favorisée par la multiplication, la co-agrégation, organisée en une structure tridimensionnelle sous le nom de biofilm (Figure 1).

Figure 1. Etapes de formation d'un biofilm (Bellon-Fontaine et coll., Conception hygiénique de matériel et nettoyage-désinfection, 2016).

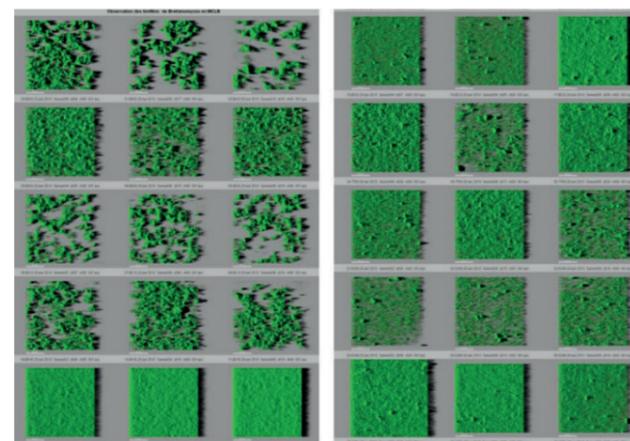
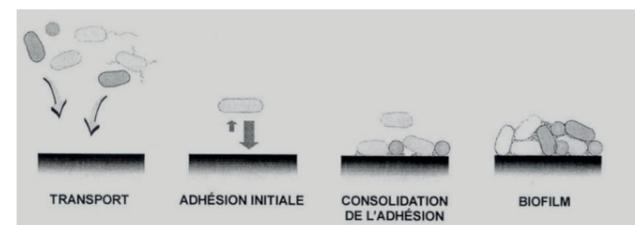


Photo 1. Biofilms formés par 10 souches à la surface de microplaques (microscopie électronique) –APT-INRA UMR MICALIS, 2014.

Certains micro-organismes produisent des substances exo cellulaires qui vont consolider cette structure. Quand les conditions de croissance sont favorables (pH, température), les microorganismes prolifèrent pour entretenir la communauté et renforcer l'adhésion intracellulaire et celle au matériau. Ces polymères formés contiennent une matrice qui protège des agressions telle une procédure de désinfection.

L'utilisation de techniques comme la microscopie confocale laser à balayage, a permis de confirmer cette dynamique au sein des structures de biofilms (Briandet et Bellon-Fontaine, 2000). La bioadhésion tridimensionnelle a pu être mise en évidence par modélisation sur microplaques, pour différentes souches de levure du genre *Brettanomyces* (photo 1).

Sur circuit-test en conditions dynamiques maîtrisées (débit, température), l'incorporation d'un manchon muni de coupons extractibles (photo 2) permet d'apprécier la bioadhésion de souches de levures *Brettanomyces* (Figure 2). Le circuit-test a été conçu pour étudier la nettoyabilité de raccords, d'éléments de transfert. Il a été équipé d'un manchon muni de coupon extractibles (projet FAM des surfaces) pour étudier les phénomènes de bioadhésion et comparer des procédures de nettoyage/désinfection.

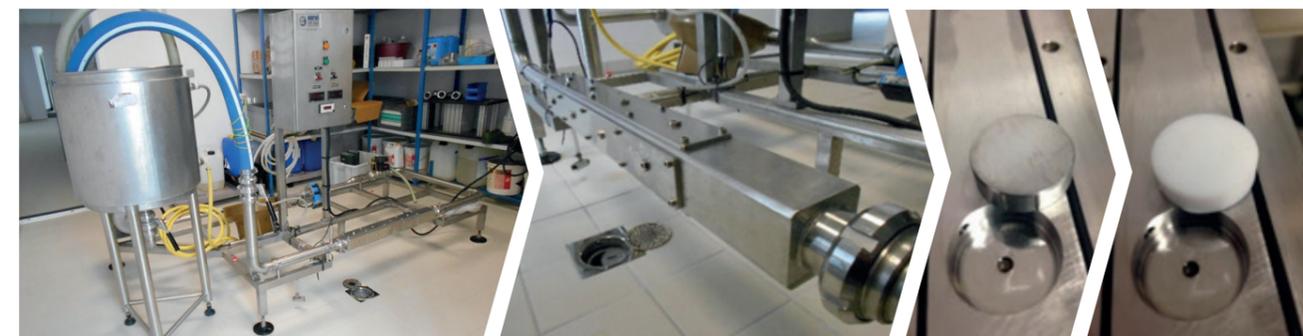


Photo 2. Circuit-test et son manchon incorporé, équipé de coupons extractibles en inox ou PET (P.Poupault)

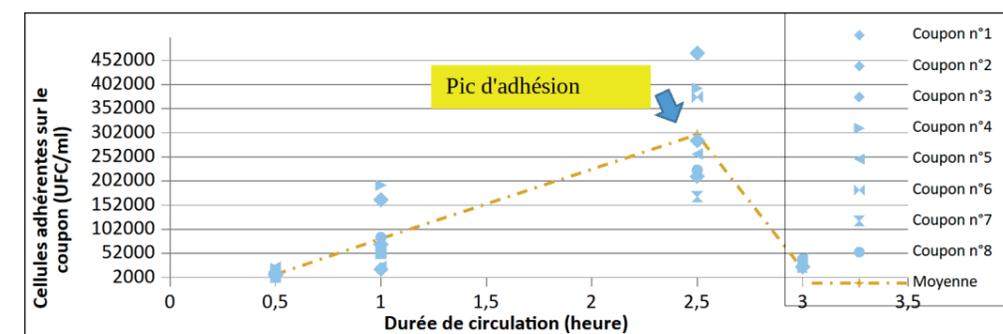


Figure 2. Cinétique d'adhésion (nombre de cellules vivantes adhérentes par coupon) et pic d'adhésion en dynamique (sur circuit-test) sur acier inoxydable en UFC (Unité Formant Colonie), IFV, 2015.

La bioadhésion (UFC adhérentes à la surface du coupon, de l'ordre de 3cm<sup>2</sup>) et le pic d'adhésion dans le temps, sont liés à la souche de levure et à ses caractéristiques génétiques. La bioadhésion, ici, est de même ordre de grandeur (à l'échelle logarithmique) quelle que soit la nature du matériau (acier inoxydable et le polytétrahydrofur (PET) (Poupault, 2017).

La plupart des microorganismes d'altérations rencontrés dans les vins possède un pouvoir bio-adhésif. Il diffère selon le microorganisme et la souche (phénotype génétique). La plupart du temps, les phénomènes de bioadhésion rencontrés sont constitués de microorganismes de nature différente. La résistance aux environnements agressifs et stressants, associée au déficit de nettoyabilité, rend plus difficile les opérations de nettoyage et désinfection.



### Comportement bio-adhésif des levures du genre *Brettanomyces*

Les levures du genre *Brettanomyces* montrent une aptitude certaine à l'adhésion, quelle que soit la nature du matériau, avec un comportement soucho dépendant. Ceci contribue d'autant plus au maintien et à la survie de cette population sur les surfaces où les opérations de désinfection sont en échec (nettoyabilité). Les récentes avancées confirment également l'aptitude des souches présentes généralement dans le vin (vs autres boissons) à résister aux sulfites et entrer en état VNC et ainsi à «échapper» à la détection classique sur milieu gélosé. La détection demande alors des outils, indicateurs plus adaptés. La prévention et la surveillance restent le meilleur moyen de contrôle.

Quelques outils d'aide à la décision sont proposés au travers des documents disponibles aujourd'hui.

Par exemple, les outils BRETTL'ESS (<https://youtu.be/x78SHRm5bEM>) et Excell Brett Scoring offrent une mesure du risque microbiologique mesuré en temps réel, aux différents stades d'élaboration, en fonction des paramètres saisis. Elle s'accompagne de recommandations pour une meilleure gestion de ce risque.

Les travaux des différents groupes de travail initiés par l'IFV dans le cadre de programmes FranceAgriMer sur le risque «*Brettanomyces*» ont conduit notamment à la publication d'une plaquette Guide de Gestion du risque BRETTL'ESS en cave ([https://www.matevi-france.com/uploads/tx\\_matevibase/Plaquette\\_Brettless.pdf](https://www.matevi-france.com/uploads/tx_matevibase/Plaquette_Brettless.pdf)). Elle aborde la diversité génétique, les méthodes de détection et la gestion du risque en cave.

## II. LA MISE EN OEUVRE DES OPÉRATIONS D'HYGIÈNE

La propreté des surfaces est assurée par l'application de forces d'arrachement supérieures aux forces d'adhésion des souillures.

L'utilisation de détergents et de la chaleur rend plus aisé l'arrachement des souillures quand elles sont soumises à un cisaillement généré par l'écoulement du fluide dans les équipements fermés (canalisations, contenants...). L'effet mécanique ou thermique sont des paramètres importants dans la réussite des procédures d'hygiène (voir chapitre 2.4 La mise en œuvre du nettoyage et de la désinfection).

### 2.1 Conception hygiénique, nettoyabilité

La nettoyabilité d'un matériel, d'une machine, d'un contenant, peut être définie comme son aptitude à être débarrassé des souillures minérales, organiques et microbiologiques.

L'aptitude au nettoyage d'un équipement a été négligée dans un passé assez proche, tant par les équipementiers que par les vinificateurs. Certains équipements de cave restent à ce jour très difficilement nettoyables, comme les vannes, les joints, certains contenants.

La nettoyabilité est désormais un critère de choix essentiel, pour plusieurs raisons :

- Certaines pratiques (telles l'élaboration de vin sans sulfites, l'utilisation des flores indigènes pour les phases fermentaires) imposent une hygiène rigoureuse des équipements et surfaces,
- La tendance actuelle est d'optimiser, dans un souci environnemental, les consommations d'eau et de produits de nettoyage et de désinfection. Des équipements facilement nettoyables peuvent permettre de limiter de manière significative les quantités d'eau et d'effluents générés,
- Enfin, d'un point de vue pratique et économique, la durée et la pénibilité des opérations de nettoyage sont très souvent liées à la nettoyabilité des matériels.

Les équipements utilisés dans la filière vinicole, de la réception de la vendange au conditionnement, présentent une large variété de géométries et de matériaux. Ils doivent au mieux répondre ou tendre vers des règles de conception hygiénique afin de limiter les phénomènes d'encrassement.

Ces équipements ne doivent pas être à l'origine de dangers d'ordre chimique, microbien ou physique. Les défauts de conception hygiénique peuvent conduire à des situations de cet ordre : dégradation dans le temps (résidus physiques ou chimiques), nettoyabilité (résidus microbiens conduisant à des altérations), présence d'allergènes, de résidus chimiques (produits d'hygiène). Les concepts relatifs à une bonne conception hygiénique sont aujourd'hui bien documentés. Il y a obligation pour les équipements vendus au sein de l'Union Européenne d'être conçus de façon hygiénique (Norme techniques ISO 14159 et EN 1672-2). La directive machine (2006/42/CE) et le règlement (CE) 1935/2004 déjà mentionnée complète ce dispositif.

Il faut également souligner le rôle fondamental de l'organisme européen EHEDG (European Hygienic Engineering and Design Group), qui accompagne les législateurs, en assurant la définition et la diffusion des normes de conception hygiénique et la certification des équipements.

Les principes généraux de la conception hygiénique sont présentés sous forme d'exigences fonctionnelles, mentionnées ci-après.



Le choix des matériaux constitutifs des équipements et des contenants est un critère important. En premier lieu, ils doivent être conformes à la réglementation concernant le contact alimentaire, pour éviter les contaminations chimiques.

#### Rugosité

Les surfaces lisses limitent l'accrochage des souillures et donc facilitent le nettoyage. A l'inverse, des surfaces rugueuses retiendront bien les souillures et seront difficiles à nettoyer. Une caractérisation de l'état de surface peut être réalisée par la mesure de la **rugosité**, exprimée en micromètre ( $\mu\text{m}$ ). Le passage d'un état de surface de 0,5 à 1  $\mu\text{m}$  double le temps d'enlèvement d'une même quantité de souillure.

En agroalimentaire, les surfaces en acier inoxydable de grande taille doivent avoir une rugosité moyenne inférieure ou égale à 0,8  $\mu\text{m}$ . Cependant, plus que le niveau de rugosité lui-même, le paramètre important sur la nettoyabilité semble être le mode d'obtention de cette rugosité (polissage mécanique, polissage électrolytique).

L'état de surface peut évoluer dans le temps par oxydation, corrosion, rayures, abrasion, usure, encrassement.... Le nettoyage chimique lui-même est susceptible d'endommager les surfaces. Le maintien d'un état de surface adapté nécessite donc des conditions d'utilisation spécifiques, à faire préciser par le fournisseur.

Au-delà des performances purement hygiéniques, un état de surface lisse permet des économies d'eau et de produits de nettoyage/désinfection. En effet, selon l'état de surface, les dépôts adhèrent plus ou moins fortement. Quelques valeurs de consommation d'eau (pour 100 hl de cuverie) sont mentionnées dans le [tableau 3](#).

Tableau 3 <sup>1/2</sup> Volume d'eau nécessaire pour le nettoyage de cuve. Moyenne de 200 mesures. Desenne, 2010.

Type de cuve	Volume d'eau pour le nettoyage (l/100 hl de cuverie)
Béton non revêtu	133
Béton revêtu résine époxydique	108
Fibre de verre	65
Acier inoxydable 2B	101
Acier inoxydable électropoli	34

### Accessibilité aux surfaces au contact du produit

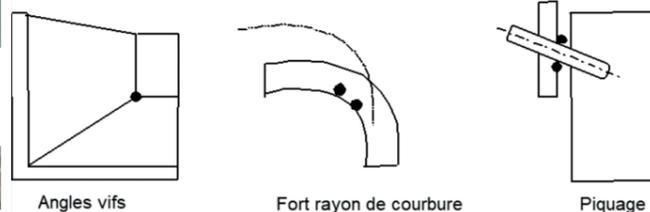
Les surfaces au contact avec le produit (vendange, mout, vin) doivent être de préférence accessibles pour faciliter le nettoyage, contrôler son efficacité et réaliser une inspection visuelle. Ceci nécessite des pièces rapidement démontables. A titre d'illustration, par impossibilité de démontage, certaines surfaces d'égouttage, certains corps de pompe, amortisseurs de pulsation (« cloches à air »), certaines bandes transporteuses, restent à ce jour très difficilement nettoyables (Hygiène en Œnologie, IFV, 2004).



### Aptitude à la vidange

La conception des équipements et des contenants doit permettre une vidange totale, sans stagnation de vin, d'eau ou de solution de nettoyage. A titre d'exemple, le fond des cuves doit avoir une pente suffisante (2 à 3 % minimum). Les pompes à vin doivent pouvoir être « purgées » après les opérations de transfert. L'utilisation de tuyaux souples, intéressants pour leur grande modularité, peut également conduire à créer des zones de rétention si des procédures adaptées ne sont pas appliquées (angle de courbure, égouttage).

En ce qui concerne les raccords, des expérimentations ont mis en évidence la difficulté de nettoyage des raccords types Mâcon. Des raccords de type DIN ou SMS sont préférables vis-à-vis de l'hygiène. Pour les contenants ou bacs de stockage, pour les surfaces ouvertes d'une façon générale, il est recommandé d'éviter les angles à 90°.



### Soudures

Les assemblages entre éléments (tuyauteries, pompes, vannes ...) ne doivent pas présenter de zones de rétention liées à la présence d'obstacles à l'écoulement. Le type d'assemblage recommandé entre pièces métalliques est le soudage. La soudure devra être continue, lisse et sans protubérance ni inclusion.

L'utilisation entre deux pièces métalliques d'un joint en polymère, qui va se déformer, va assurer l'étanchéité aux liquides, aux gaz et aux microorganismes.

### Écoulement, turbulence, cisaillement, vibration, tenue mécanique

Pour des surfaces non accessibles, comme l'intérieur des canalisations, l'action mécanique nécessaire au nettoyage peut être apportée par un fort débit, avec contre pression. En circuit fermé, l'effet mécanique impose une vitesse de circulation au moins égale à 1 m/s pour obtenir un régime turbulent.

La géométrie d'une canalisation a une influence directe sur l'écoulement et la production de turbulence, le cisaillement des parois. Ces phénomènes sont couramment étudiés aujourd'hui grâce, entre autres, à l'utilisation de la simulation numérique des écoulements. Le Centre Technique des Industries Mécanique (CETIM) a collaboré avec l'IFV sur ces aspects (Figure 4).

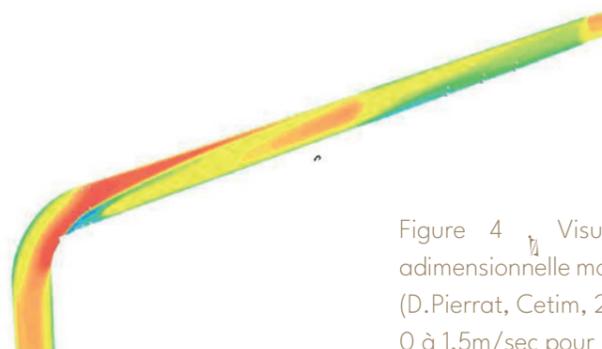


Figure 4  $\frac{v}{v_0}$  Visualisation du module de la vitesse adimensionnelle moyenne d'un liquide dans une canalisation (D.Pierrat, Cetim, 2014)  $\frac{v}{v_0}$  gradient bleu à rouge = vitesse de 0 à 1,5m/sec pour l'écoulement.

Dans la filière, les vins subissent de nombreux transferts, réalisés la plupart du temps à l'aide de pompes. L'enjeu est de limiter les brassages, d'un point de vue œnologique (limiter la dissolution d'oxygène) et microbiologique (contaminations croisées). La notion de débit de transfert est alors importante en plus des aspects environnementaux (limiter les consommations énergétiques). Il est important de considérer l'installation de transfert dans son ensemble. Les phénomènes de cisaillements, de turbulences, sont dus à des vitesses de rotation élevées qui diffèrent très sensiblement selon le type de pompe (tableau 4).

Tableau 4  $\frac{v}{v_0}$  Nature de l'écoulement dans une canalisation (vin à 20°C) (Desseigne, 2017)

Diamètre de la conduite en mm	Débit en hl/h	Vitesse en m/s	Régime d'écoulement
40	5	0,01	Laminaire
	15	0.3	Turbulent
	45	1.0	
	70	1.5	
80	10	0,05	Laminaire
	50	0.3	Turbulent
	180	1.0	
	280	1.5	

La nettoyabilité des pompes a été dans un passé assez proche souvent négligée par les équipementiers. Certaines pompes issues de l'industrie agroalimentaire suscitent un engouement récent, tant de la part des équipementiers que de certains œnologues, notamment en raison leur aptitude reconnue au nettoyage. On peut citer par exemple les pompes à lobes et les pompes péristaltiques, pour lesquelles l'aptitude à la vidange est meilleure et l'accès aux surfaces est plus facile.

Un rinçage d'une canalisation souple réalisé par une pousse à l'eau, montre qu'il faut un certain temps pour débarrasser les surfaces du vin résiduel, et que le moment qui suit (mélange eau/vin) nécessite d'adapter les paramètres (débit, temps) pour un résultat satisfaisant.

## 2.2 Le nettoyage . principes et détergents

**L'opération de nettoyage a pour objectif l'élimination des souillures visuelles ou adhérent à une surface. Elle consiste à décoller la souillure avant de la dissoudre et de l'éliminer. Le nettoyage doit préparer les surfaces à une désinfection éventuelle. Il doit être précédé d'un pré-lavage (ou pré-rinçage) pour éliminer les souillures non adhérentes afin d'optimiser l'efficacité du détergent.**

La plupart du temps, l'eau seule ne mouille pas suffisamment, au sens chimique, et n'a pas les propriétés suffisantes pour éliminer les souillures. L'utilisation conjointe de la chaleur et/ou de la pression (effet mécanique) peut permettre d'obtenir un nettoyage plus pertinent. L'utilisation d'un détergent est souvent nécessaire pour casser la tension superficielle et les forces d'adhésion qui se sont créées entre le support et la souillure (force exprimée en Newton/mètre). C'est le cas d'un tensio-actif (ou agent de surface ou surfactant), qui permettra à la solution de nettoyage de pouvoir s'étaler en surface et pénétrer dans les microfissures du revêtement. Le tensio-actif est une molécule amphiphile (un pôle lipophile apolaire, un pôle hydrophile polaire) qui abaisse la tension superficielle et augmente les propriétés mouillantes de la solution détergente.

La matière active utilisée dans la solution de nettoyage sera adaptée à la souillure. Elle devra respecter le support et la nature des matériaux le constituant.

Les souillures organiques sont liées au produit et aux résiduels endogènes apportés par le jus de raisin ou le vin tel que les matières colorantes, les tanins, les tartres, les sucres, avec pour dénominateur commun un pH bas (entre 3,5 et 4).

Au contraire, les sels minéraux (Calcium et Magnésium essentiellement) issus de l'eau utilisée dans les différentes procédures et qui apportent des résiduels tel que le tartre minéral ou calcaire, seront plutôt à pH élevé (entre 9 et 10).

En chimie, un principe de base est appliqué pour éliminer les souillures selon leur classification sur l'échelle de pH. Pour éliminer des souillures organiques à pH acide, on utilise un produit alcalin. Au contraire, pour éliminer des souillures minérales à pH alcalin, on utilise produit acide.

La soude ou hydroxyde de sodium, un détergent alcalin (poudre ou liquide) est la matière active la plus utilisée dans le domaine de la détergence dans les caves.

L'acide nitrique est utilisé pour l'élimination des sels minéraux ou pour la passivation des surfaces en acier inoxydable (intérieurs de circuits ou parois des cuves) afin de redonner une brillance aux surfaces.

Pour éliminer une épaisseur de tartre vinaigre sur les parois d'une cuve, on va mettre en œuvre une solution avec un détergent alcalin et un process de circuit fermé jusqu'à dissolution totale du tartre.

**Les composants principaux que l'on peut rencontrer dans un produit de nettoyage, en plus de la matière active (molécule de base), sont :**

- Tensio-actifs (action chimique)
- Agents séquestrant (pièges à calcium, magnésium)
- Inhibiteurs d'entartrage, de corrosion
- Agents oxydants (élimination des matières colorantes, dérogissant)
- Désinfectant associé (dans le cas d'une base détergente – un alcalin – associée à la présence de biocides, par exemple). La plupart des fournisseurs proposent aujourd'hui des tuyaux PVC sans phtalates (phtalates «free»).

### 2.3 La désinfection . principes et désinfectants

L'opération de désinfection vise à éliminer les microorganismes qui subsistent sur les surfaces après la mise en œuvre du nettoyage. Le mode d'action général d'un produit désinfectant consiste à fixer son principe actif sur la paroi cellulaire, puis dénaturer, détruire les protéines de la membrane cytoplasmique ou oxyder les constituants membranaires. Cela conduit à une perforation et un blocage du métabolisme du microorganisme, aux conséquences létales.

**Les désinfectants utilisés dans la filière sont ou non oxydants.**

**L'acide peracétique est de plus en plus utilisé car très efficace rapidement sur un ensemble de microorganismes. Les ammoniums quaternaires et les amines sont utilisés de façon anecdotique.**

Le chlore est la matière active oxydante qui a longtemps été utilisée, pour ses nombreux avantages (action détergente, désinfectante, dérogissant et désodorisante). Reconnu comme étant un facteur précurseur de la formation des TCA (TriChloroAnisols), communiquant aux vins le « goûts de bouchon ou de liège », il est beaucoup moins utilisé aujourd'hui mais reste autorisé. La mise en place d'un plan d'hygiène sans chlore sur un site de production doit prendre en compte l'approvisionnement et la composition de l'eau qui sera utilisée pour les nettoyages et les rinçages, et, s'assurer qu'elle n'apporte aucune contamination chlorée.

L'usage de solution à base d'alcool dénaturé, pour le rendre impropre à la consommation, est règlementé (annexe du règlement européen N°162/2013 du 21 février 2013). Peu toxique pour la santé humaine il a des propriétés dégraissantes et antiseptiques adaptées aux surfaces sensibles (boucheuse) et ne nécessitera pas de rinçage à l'eau.

La désinfection est une opération où le résultat est momentané : les risques de contamination sont de nouveau présents en fonction des conditions environnementales du chai (courant d'air, cuves en fermentation). C'est pourquoi il est conseillé de désinfecter une surface à un moment le plus proche de l'utilisation de l'équipement.

Les sols et les murs sont des supports de microorganismes et des vecteurs des risques d'altérations, tout comme la présence d'eaux stagnantes. Assurer leur propreté et l'évacuation des eaux est souhaitable.

### 2.4 La mise en œuvre du nettoyage et de la désinfection, le plan d'hygiène

L'inventaire des équipements, des surfaces, et des risques liés à chacune des opérations conduit à la mise en œuvre des procédures d'hygiène. La procédure doit être adaptée à la nature du matériau et son état de surface, à la géométrie des équipements, à la nature de la souillure : le concept de bon SENS (Figure 5). Elle doit prendre en compte les moyens disponibles et les plus adaptés : le concept de travail avec TACT (Figure 6).

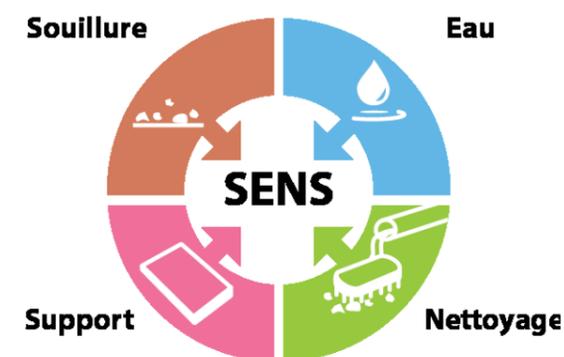


Figure 5 Principe de bon SENS (Diversey 2020).

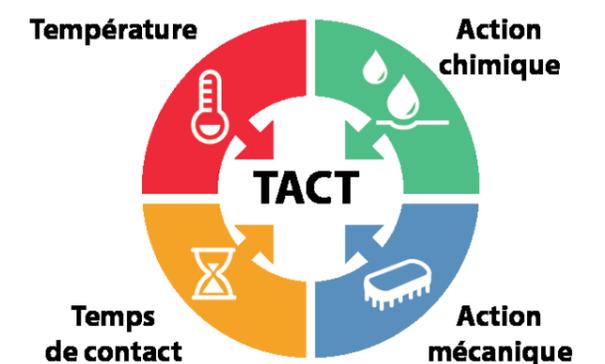


Figure 6 Principe de travail avec TACT (Diversey 2020).

Le **plan d'hygiène** est le préalable aux opérations d'hygiène. Il organise la mise en place du nettoyage et de la désinfection. Il peut être résumé en 8 étapes :

- Etudier l'approvisionnement en eau (où? débit? pression? qualité?)
- Faire l'inventaire des installations à traiter
- Lister les types de matériaux utilisés (et leur sensibilité à la corrosion)
- Faire le choix des process de nettoyage (détergent) et/ou désinfection (désinfectant)
- Déterminer les équipements nécessaires (fréquence d'utilisation, durée, faisabilité de l'installation) à l'application du détergent et du désinfectant
- Définir des moyens de contrôle
- Veiller à la sécurité des opérateurs
- S'assurer du bon respect de l'environnement

Quels que soient l'équipement ou la surface, le stade ou l'opération, le nettoyage et la désinfection sont mis en place en respectant la chronologie des étapes ci-dessous (Figure 7).



Figure 7 Chronologie et étapes du plan d'hygiène (C.Dupéroux, Diversey, 2020).

L'efficacité d'une procédure de nettoyage est visuelle. La désinfection peut être évaluée par ATPmétrie ou par des prélèvements microbiologiques sur les points critiques ou surfaces. Certains prestataires proposent le recours à ces outils d'évaluation et de contrôle (audit hygiène).

Ce **plan d'hygiène** doit répondre aux questions suivantes :

- Qui ? (Quel personnel en quantité et en compétence pour les opérations de nettoyage et de désinfection ?)
- Quand ?
- (A quel moment ? Après quelle utilisation ? Avec quelle fréquence ?)
- Comment ?
- Quels matériels utiliser (manuels, mécaniques)
- Quels produits ? quelle durée ?

**Filière vins**

Le guide de bonnes pratiques d'hygiène est un document officiel rédigé par les professionnels de la filière relatif à la sécurité sanitaire des vins. Il comporte une partie sur les bonnes pratiques au sens large pour garantir un environnement sain dans les entreprises et une partie concernant la mise en œuvre de l'HACCP pour la maîtrise de risques spécifiques.

<https://www.vignevin.com/process-vins/guides-des-bonnes-pratiques-dhygiene/>

La notion d'«hygiène» y est évoquée au sens large et inclue les contaminants de nature microbiologiques, chimiques et physiques. Le présent cahier itinéraire constitue un outil complémentaire pour approfondir le chapitre nettoyage/désinfection.

### 3.1 Consommation et opérations unitaires

Au chai, l'eau entre dans toutes les procédures de prélavage, nettoyage et désinfection, de la récolte au conditionnement. A l'issue de chacune de ces opérations, les matériels doivent être rincés à l'eau potable (prélavage avant nettoyage, rinçage après nettoyage et après désinfection). La stérilisation par la chaleur (eau chaude, vapeur) de certains équipements comme les filtres et tireuses, peut représenter des volumes très significatifs (Tableau 5). Les opérations de réception, égrappage, foulage et mise en bouteilles consomment les plus gros volumes. Enfin, en dehors des opérations d'hygiène, l'eau est utilisée pour le fonctionnement de certains équipements au contact du moût ou du vin (affranchissement et régénération d'éléments filtrants...).

Opération	Consommations d'eau
Réception vendange	(40-50 L/t)
Egrappage/foulage	(30-70 L/t)
Tapis élévateur	(60-80 L/t)
Cuve	0,3 à 1,5 L/hl
Pompes et canalisations	0,2 à 3 L/hl
Filtre à alluvionnage	2 à 3 L/hl
Mise en bouteille	0,6 L/co

Tableau 5 Estimation de la consommation par opération unitaire (Desseigne, IFV, 2019)

Dans les différentes phases où elle est nécessaire, l'eau va être utilisée brute ou filtrée en circulation, en trempage, par pulvérisation ou par application d'une mousse. L'action mécanique dans les circuits, grâce à une vitesse de circulation de l'ordre de 1mètre/seconde, assure un régime turbulent, garant de la réussite de l'opération.

En général, la température ambiante de l'eau est suffisante pour la plupart des opérations d'hygiène dans les chais. L'eau chaude ou vapeur sont nécessaires aux opérations de régénération ou de stérilisation.

La réglementation définit le niveau de pollution à respecter en vue de rejeter les effluents dans la station d'épuration. Les indicateurs retenus sont notamment la DCO (Demande Chimique en Oxygène en mg d'oxygène par litre), le pH, la MES (Matières en Suspension), la turbidité.

Dans un contexte global de tension de la ressource en eau, il importe d'être précautionneux dans l'utilisation de l'eau pour les procédures d'hygiène.

## Du pré-lavage au rinçage

Le pré-lavage est une opération essentielle qui prépare les phases suivantes, et qui peut représenter 70% de l'eau utilisée au chai. Toute opération préliminaire de raclage des surfaces contribue à la diminution du volume d'eau consommé. Lors du nettoyage, l'application par une tête de lavage fixe ou mobile et l'action mécanique (débit, pression) seront adaptées aux configurations et dimensions des contenants ou circuits. La désinfection chimique est également raisonnée par un mode d'application adapté : circulation, pulvérisation, trempage, mousse, nébulisation.

Le rinçage, obligatoire après tout nettoyage ou désinfection, est une succession de phases de dilutions qui permet d'assurer l'élimination de toutes traces de matières actives et de retrouver l'innocuité de la surface (absences de résidus quels qu'ils soient). Le test de rinçage est indispensable pour caractériser les eaux de rinçage mais également pour optimiser les quantités d'eau utilisées. Il consiste à vérifier la présence de résidus dans ces eaux (avec des bandelettes pH, bandelettes peroxyde...).

## Gestion de l'eau en cave

L'approche quantitative (consommation) et qualitative (nature des flux et des effluents) est importante pour mettre en place de bonnes pratiques (Figure 8). La pose de compteur par atelier permet d'identifier et hiérarchiser les priorités. La sensibilisation du personnel à la démarche conduit à une première surveillance : fuites, robinets ouverts inutilement, utilisation de raclette, rinçage rapide des équipements après utilisation pour limiter l'adhésion des souillures organiques et microbiennes.

Les opérations de nettoyage et désinfection sont facilitées par l'utilisation de matériaux (revêtement de cuve) sur lesquels l'adhésion (entartrage notamment) est moins importante (Figure 9) et entraîne la consommation moins importante de volume d'eau. Le flux de pollution exprimé en DCO (demande chimique en oxygène : consommation en oxygène par les oxydants chimiques pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau) varie en fonction du matériau et traduit un entartrage plus important par exemple pour l'inox 2B par rapport aux autres matériaux constituant la cuverie. La DCO représente la quantité d'oxygène utile pour dépolluer une eau.

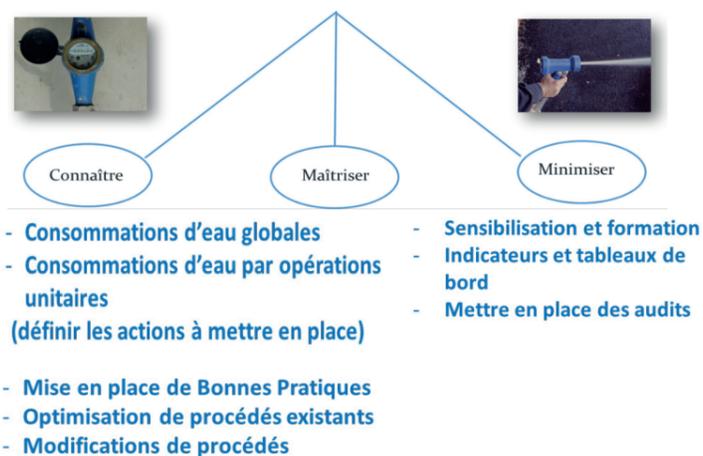


Figure 8 Approche d'une bonne gestion de l'eau en cave (Desseigne, IFV)

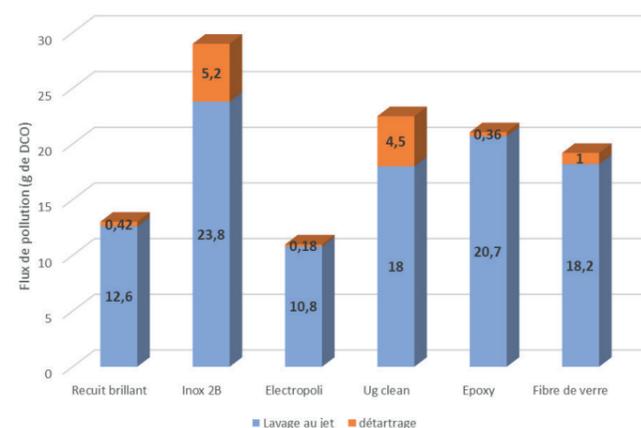


Figure 9 Nettoyabilité (flux de pollution en g de DCO) et nature du matériau (cuve) pour un lavage et détartrage de contenant de 2hL (Source CA33, A.Desene, Les carnets de l'eau, 2006).

L'utilisation de la **mousse** (80% d'air) améliore le temps de contact et la visualisation des surfaces nettoyées (photo 4). Le rinçage en moyenne pression est rapide. C'est un outil parfaitement adapté aux surfaces difficiles à atteindre, murs, extérieurs de cuve, tapis convoyeurs.

Le **lavage automatique** des drains de pressoirs est proposé depuis de nombreuses années pour une action rapide et régulière, qui limite les volumes d'eau utilisés.

La nature des matériaux constituant les sols et l'écoconception des chais (pente, aptitude à évacuer les eaux) permet un nettoyage plus facile et plus économe en eau et contribue au confort et à la sécurité du travail (Photo 5).

L'utilisation de la mesure de **conductivité** (indicateur de qualité des eaux de rinçage), l'optimisation de chacune des opérations d'hygiène et l'utilisation des outils d'application adaptés sont un gage d'une meilleure maîtrise du nettoyage et de la désinfection, et une réponse au besoin de limiter les consommations d'eau.



Photo 4 usage de la mousse pour les surfaces ouvertes (IFV, 2009)



Photo 5 la nature du sol et la conception des évacuations contribuent à limiter la consommation d'eau.

### 3.2 Règlementation et législation de l'eau

La loi sur l'eau (loi 92-3 du 03/01/92) appuyée par les décrets de Déclaration et Autorisation, pose les enjeux de la préservation, quantitative et qualitative, de la ressource. Ses objectifs visent à limiter les prélèvements, préserver la qualité des milieux aquatiques naturels, prévenir les risques de pollution accidentelle, surveiller les effets sur le milieu et la qualité des eaux souterraines.

Cette réglementation (réglementation « ICPE » (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement)) propose une nomenclature pour les activités relatives à l'eau, définie par deux régimes de classement ; déclaration et autorisation. Elle définit le risque industriel (et le niveau de pollution) pour préserver l'environnement et la santé. Elle encadre les émissions polluantes des activités et prévoit les outils de gestion des risques.

La qualité de l'eau utilisée au sein des chais est largement abordée dans le Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène de la filière vins. Il y est précisé que l'eau entrant en contact direct avec le produit mais également de manière indirecte (notamment lors du nettoyage des équipements, la dilution des produits de nettoyage ou le lavage des mains), doit être potable et répondre ainsi aux critères fixés par l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

De l'eau non potable (non conventionnelle) peut être présente dans le chai mais celle-ci ne doit être utilisée que pour des opérations sans contact direct ou indirect avec le produit. Elle peut ainsi essentiellement servir à nettoyer les sols. Elle doit être véhiculée dans des conduits spécifiques clairement identifiés.

La réglementation est en pleine évolution (Décret no 2024-33 du 24 janvier 2024) avec le constat actuel sur la disponibilité de l'eau sur le territoire.

Dans le cadre du projet Minimeau (ANR, 2020) l'IFV et ses partenaires d'autres filières ont initié des travaux sur la possibilité de traiter certains effluents pour les remettre dans le circuit de production, en particulier pour nettoyer/régénérer les filtres, moyennant certains seuils à définir (quelle qualité d'eau recyclée pour quel usage ?). La méthode de pincement eau (ou pinch eau) a été envisagée pour un recyclage d'une partie de ces effluents. Un outil d'aide à la décision (figure 10) permet de mettre en place une réflexion sur la maîtrise de l'eau au chai

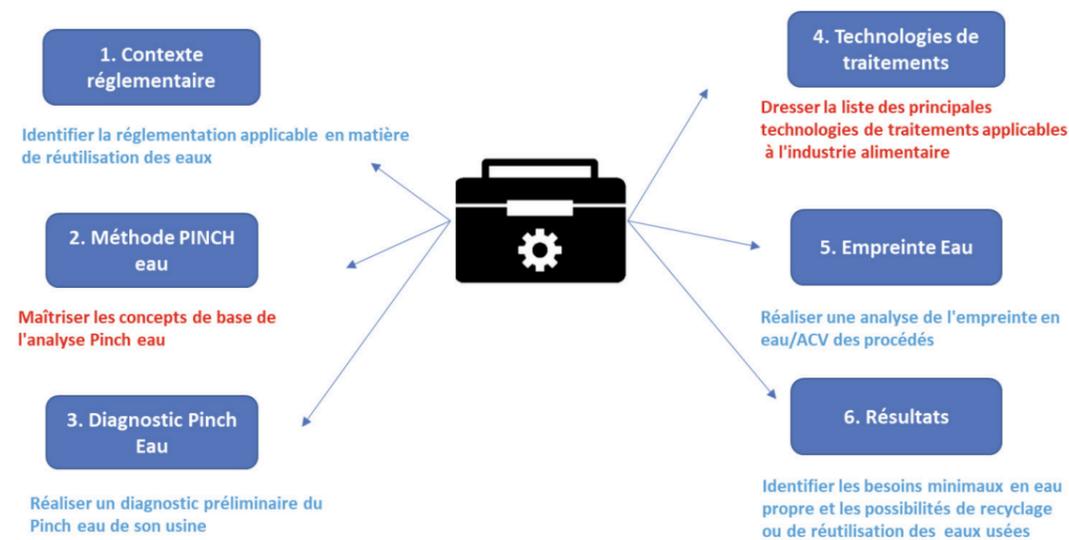


Figure 10 La boîte à outils proposée en livrable du projet Minimeau

## IV. LES BONNES PRATIQUES D'HYGIÈNE

### 4.1 Accès aux surfaces

La mise en place des procédures et l'accès aux surfaces contaminées sont les principaux freins à la réussite des opérations d'hygiène.

Le démontage (photo 6 et 7), quand il est possible, permet d'augmenter l'accès aux surfaces. Le contact des surfaces avec les solutions détergentes ou désinfectantes est rendu possible par des étapes de trempage. Cela a été mis en évidence sur du matériel de transfert (Figure 11, photos 8 et 9). La procédure dite « poussée » (un cycle de détartrage à la soude 5% avec un ajout de peroxyde à 2% en fin de cycle) laisse quelques-unes des surfaces avec un niveau d'hygiène insuffisant (<500 RLU, Unité Relative de Luminosité). La même procédure dans laquelle un maximum d'éléments sont démontés et traités en trempage mène à un niveau d'hygiène de ces points plus satisfaisant (<100 RLU).

Points critiques	Bilan après soutirage (bilan ATP)	Après procédure poussée (bilan ATP)	Après procédure stricte (bilan ATP)
Vanne 1	Orange	Orange	Vert
Vanne 2	Orange	Orange	Orange
Robinet dégustation	Orange	Orange	Orange
Joint couvercle	Orange	Orange	Orange
Paroi interne	Orange	Vert	Vert
Pompe « entrée »	Orange	Orange	Vert
Pompe « sortie »	Orange	Orange	Vert
Pompe « corps interne »	Orange	Orange	Vert
Tuyau 1 vers pompe	Orange	Orange	Vert
Tuyau 1 vers 50hl	Orange	Orange	Vert
Tuyau 2 vers pompe	Orange	Vert	Vert
Tuyau 2 vers cuve 50	Orange	Orange	Vert

< 100 RLU ; 100 < RLU < 500 ; > 500 RLU - IFV 2015

Figure 11 Bilan du niveau d'hygiène (en RLU\*) par ATPmétrie avant (après soutirage) / après procédure usuelle (après procédure poussée) / après démontage et trempage (après procédure poussée)

Les vannes 1 et 2, le robinet de dégustation, le joint et la paroi interne concerne la même cuve. Les tuyau 1 et 2 permettent la circulation entre la pompe et la cuve.

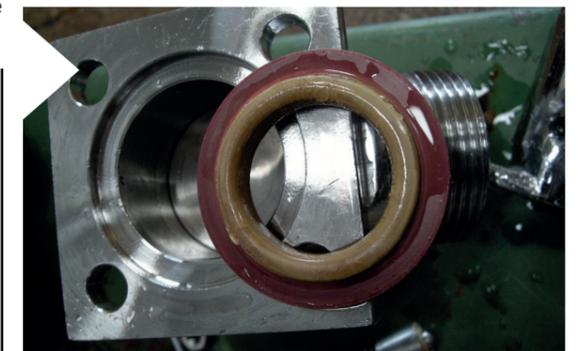


Photo 6 et 7, corps de pompe démonté avant trempage (IFV, 2016)



Photo 8 et 9, trempage lors d'une opération d'hygiène (IFV, 2016).

## 4.2 Maitrise de la consommation d'eau

Pour un maximum de surface traitée lors des opérations d'hygiène, le matériel d'application utilisé doit être adapté aux dimensions et configurations du contenant. Cela concerne les équipements d'aspersion notamment (Photos 10).



Photos 10a, b, c Le choix de l'applicateur doit être raisonné en fonction des configurations du contenant (P.Poupault, IFV, 2020)

Lors de l'utilisation du canon à mousse, la consistance de celle-ci est primordiale. Le choix de la buse, pour garantir une force et une portée du jet optimaux, est très important également (Photos 11).



Photo 11 La consistance de la mousse et choix de la buse pour l'utilisation du canon à mousse (CTCPA).

Les équipements proposant la mise en œuvre de la moyenne pression (20 à 40 bars) sont une alternative à la haute pression (>50 bars) pour limiter l'effet d'aérosol tout en apportant une action mécanique suffisante.



L'automatisation prend de plus en plus de place dans les caves. Son introduction dans le chai pour la mise en œuvre des procédures d'hygiène propose un certain nombre d'atouts : une meilleure gestion de l'eau (validation du rinçage), un gain de temps, une meilleure sécurité de travail (pour faire le mélange eau-détergent ou désinfectant). Les centrales d'hygiène (ou NEP – Nettoyage En Place) permettent une mise en œuvre plus ou moins automatisée des procédures d'hygiène (photo 12).

Photo 12 Centrale d'hygiène dans un chai (P.Poupault, IFV, 2022)

Les équipements proposant un rinçage des canalisations par raclage permettent de maîtriser les volumes d'eau. La propagation du racler (silicone ou éponge) permet par l'utilisation d'air comprimé, de réaliser un rinçage complet et efficace des tuyauteries, en autorisant d'importantes réductions de consommation en eau (plus de 80%). En fin de rinçage, les canalisations ne contiennent plus d'eau résiduelle (Figure 13).

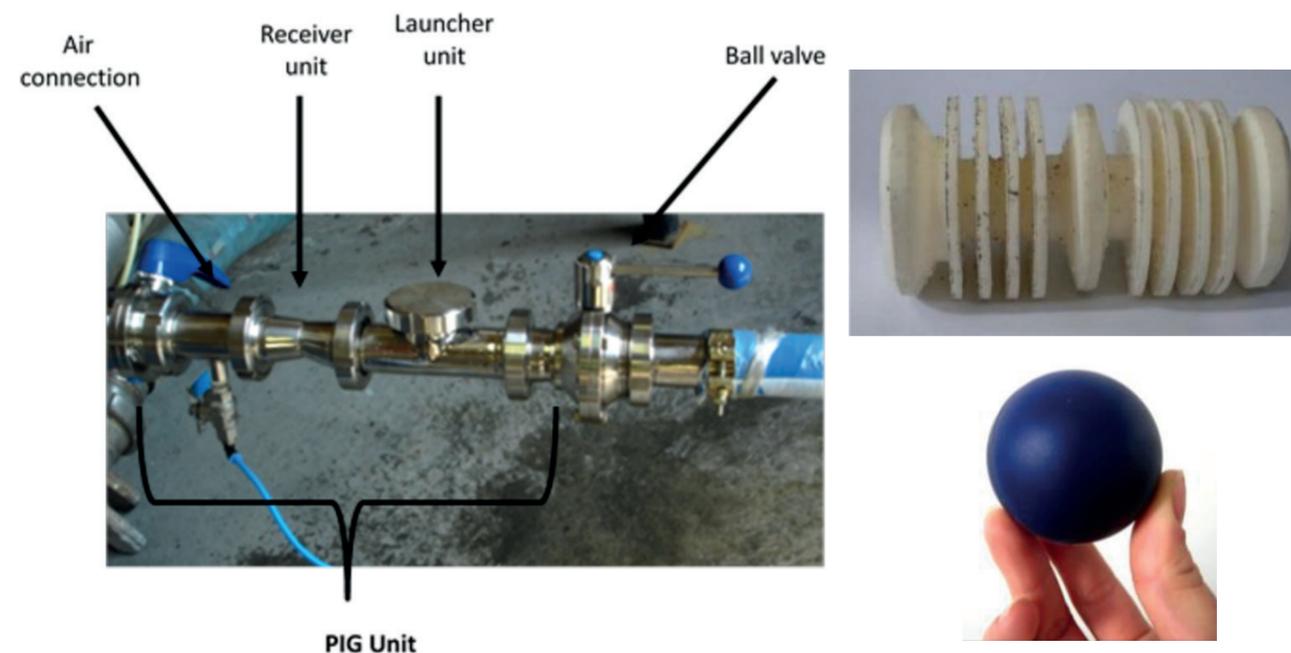


Figure 13 Principe et équipement « PIG System » de raclage à l'eau des canalisations (Projet Wine Environment, 2018).



### Une banque de données sur les matériels et produits d'hygiène

La Chambre d'Agriculture de Gironde et l'IFV propose, à travers la banque de données sur le machinisme vitivinicole MATEVI ([www.matevi-france.com](http://www.matevi-france.com)) un accompagnement dans le choix de matériel et produit vinicole. Une interface spécifique consacrée à l'hygiène; y sont référencés des matériels (centrale de nettoyage, canne et buse de lavage) ainsi que des produits d'hygiène avec leur fiche technique.

### Entretien des contenants en bois

Dans le cadre d'un projet FAM sur l'hygiène des surfaces, un ban d'essais a permis de classer la performance de différentes techniques sur la disparition (perte en log) des populations de levure du genre *Brettanomyces* sur la surface des barriques. Si certaines techniques donnent des résultats plus favorables (tableau 5), l'entretien des contenants en bois se heurte à la configuration du contenant et la porosité du matériau.

<i>Perte de Brett après traitement par rapport à la population initiale :</i>	<i>De la surface intérieure à -3 mm</i>	<i>De -3 mm à -6 mm de profondeur</i>
<b>Vapeur (barriclean 10min 110°C)</b>	<b>3 log</b>	<b>2 log</b>
<b>Ultrasons (10min)</b>	<b>2 log</b>	<b>1,5 log</b>
<b>Méchage sur vin (5g/hL)</b>	<b>2 log</b>	<b>1,5 log</b>
<b>Eau chaude sous pression (canne Moog 7 min 70°C 100bars)</b>	<b>2 log</b>	<b>1 log</b>
<b>Eau ozonée</b>	<b>0,5 log</b>	<b>négligeable</b>
<b>Soude/permanganate</b>	<b>négligeable</b>	<b>négligeable</b>

Tableau 5 : Performance de différentes techniques d'entretien des contenants en bois (perte, en log, de population de levure *Brettanomyces* (Nicolas Richard, 2019)

## A retenir

- Le temps consolide l'adhésion et la bio-adhésion
- La chaleur est un allié au nettoyage : l'eau chaude accélère la réaction chimique (optimum : 45°C), et facilite le décrochement des souillures.
- Le nettoyage est obligatoire avant toute désinfection
- Une alternance entre procédures chimiques et thermiques limite les phénomènes d'accoutumances pour les microorganismes
- La traçabilité (GBPH) pour les procédures d'hygiène et les moyens de contrôle est recommandée pour une remise en cause éventuelle (si échec) et une meilleure gestion des points dits critiques
- La formation de l'ensemble du personnel est importante dans la gestion des fiches techniques et des aspects sécuritaires
- Optimiser les volumes d'eau nécessaires, c'est réduire les volumes d'effluents à traiter

### 4.3 Raisonner l'hygiène et limiter les consommations en eau . le projet EFFLU'EAU

Initié dans le cadre du Plan Climat et soutenu par le CIVB (Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux), le projet Efflu'Eau répond à la nécessité d'une meilleure gestion de l'eau, en augmentant la performance de chacune des étapes du plan d'hygiène (rinçage, nettoyage, désinfection) pour réduire les effluents produits.

Les opérations étudiées et présentées ici, sur deux sites pilotes, sont le nettoyage et la désinfection de cuves en inox. Dans l'objectif de mieux contrôler les volumes d'eau utilisés, les investigations ont porté sur :

- L'utilisation de la conductivité comme indicateur de qualité de l'eau pour les étapes de rinçage,
- La performance d'outil adapté pour l'opération de détartrage,
- Les conséquences du démontage de certains points critiques sur le niveau d'hygiène en général, sur le niveau de population résiduelle, et ses conséquences sur la stabilité microbiologique du vin

Ainsi l'impact de l'ensemble de la procédure (détartrage/nettoyage – désinfection et outils mis en place) a pu être évalué au travers des suivis microbiologiques (traduisant une population résiduelle en microorganismes), et de l'utilisation de la conductimétrie pour juger de la qualité du rinçage.

Pour chacune des opérations suivies à différents stades (fin fermentation alcoolique et malolactique, avant et après entonnage, avant mise en bouteilles) sur chacun des deux sites, une procédure dite « optimisée » est comparée à la procédure habituelle du site qui accueille l'étude : adaptation du système d'aspersion (pour le détartrage), utilisation de la conductimétrie pour optimiser le volume d'eau utilisé pour le rinçage, démontage des points critiques (pour une meilleure accessibilité aux surfaces). L'incidence de ces procédures dites optimisées est mesurée sur le niveau d'hygiène (ATPmétrie, prélèvements microbiens par écouvillonnage) et les volumes d'eau pour les étapes de pré-lavage et de rinçage. L'ensemble des opérations concernent uniquement des cuves en acier inoxydable.

### Qualité du rinçage

Au cours du rinçage, la conductivité de l'eau indique, par comparaison avec l'eau en sortie de robinet, le moment où le rinçage est effectif et suffisant. Dans l'exemple retenu ici (figure 14), la durée du rinçage à l'eau après les étapes de détartrage et désinfection s'avère plus importante que nécessaire.

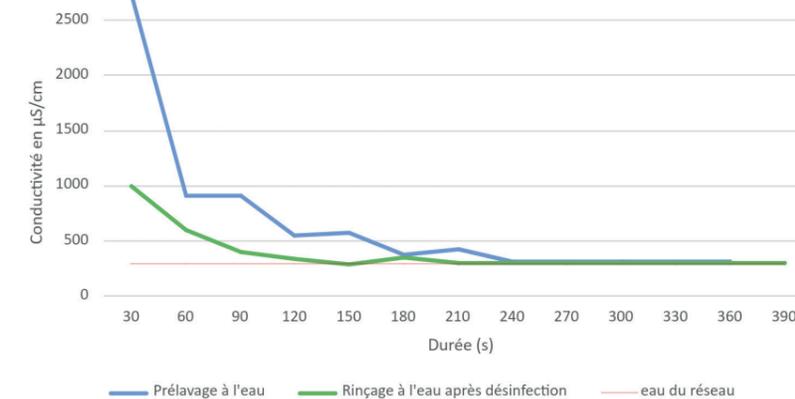


Figure 14 Mesure de la conductivité des eaux de rinçage stade fin FA à l'écoulage - Essai 5 - Efflu'Eau, 2018.

L'utilité d'un pré-lavage à l'eau avant l'étape de nettoyage doit aussi être raisonnée. Il ne doit pas remplacer le nettoyage et devenir une source de surconsommation d'eau. Chacun des rinçages à l'eau doit également être utilisé pour remplir au mieux leur rôle (en matière de temps et de volume, pour éviter les gaspillages (Figure 15)). Il apparaît clairement que le rinçage après désinfection est moins consommateur d'eau que celui venant après un détartrage

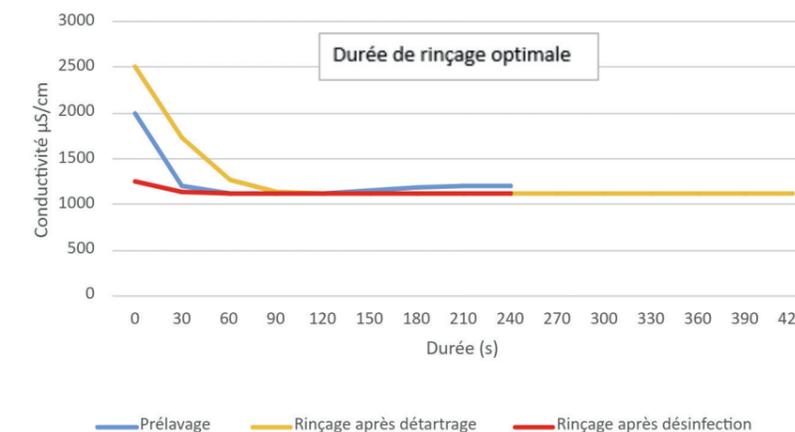


Figure 15 Evolution de la conductibilité au cours de 3 rinçages d'une même procédure - Essai 1 - Hygiène des surfaces, IFV, 2015).

### Performance des outils

La réussite d'une opération tel que le détartrage est liée, entre autres, aux outils utilisés pour mettre en contact le détergent (la soude) et l'ensemble de la surface entartrée. Si les forces de détachement (effet mécanique obtenu par la projection) ne sont pas supérieures aux forces d'attraction sur l'ensemble des surfaces, l'opération n'est pas complètement réussie.

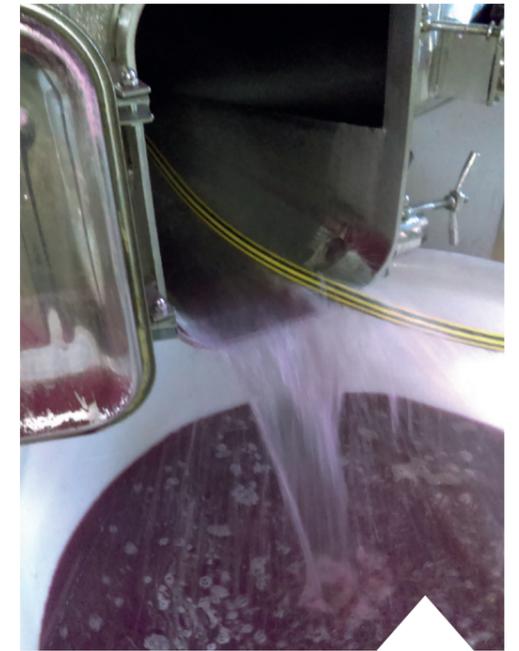


Photo 11 Procédure de détartrage sur un contenant en inox



Photos 13a et b zones entartrées avant procédure (IFV, 2018).

L'essai comparatif avec un jet rotatif, pour les opérations de détartrage sur chaque site, confirme l'intérêt de cet équipement pour atteindre de façon satisfaisante l'ensemble de la surface entartrée, par rapport à l'outil habituellement utilisé sur le site (cône de lavage).

Pour une cuve comme pour tout autre matériel, le démontage des pièces est une alternative qui donne entière satisfaction. Il permet de donner accès au détergent/désinfectant à l'ensemble des surfaces. L'hygiène de ces surfaces est ainsi possible et a pu être vérifiée notamment lors des essais.



Photos 14 et 15  
Démontage de 2 points critiques (vanne et dégustateur) avant procédure (IFV 2018)

### Optimisation des procédures

Dans le cadre des opérations de détartrage, l'utilisation de la conductimétrie sur les caractéristiques des eaux utilisées (prélavage, rinçage) a conduit à une **consommation moindre de 20 à 50%**, sur un volume total de l'ordre de 250 à 400 litres par cuve. Il en est de même pour les opérations de rinçage dans le cadre d'une désinfection où, en moyenne, 250 litres d'eau sont nécessaires.

Le tableau 6 représente en exemple, l'incidence de l'optimisation des procédures, sur un même site, sur les économies d'eau et le niveau d'hygiène des surfaces. La figure 16 représente l'estimation de l'économie d'eau annuelle sur ce même site pour les procédures de nettoyage-désinfection de l'ensemble de la cuverie.

Millésime	2018	2019	2020
Stade	Fin FML	Fin FML	Fin FML
<b>Procédure domaine</b>	Prélavage au jet eau froide Détartrage-désinfection (soude + peroxyde) avec un cône de lavage Rinçage jet eau froide	Idem 2018	Idem 2018
<b>Procédure domaine optimisée</b>		Prélavage au jet eau froide Détartrage-désinfection (soude + peroxyde) au jet rotatif et pulvérisation des points « critiques » Rinçage au jet rotatif	Prélavage au jet eau froide (jet et jet rotatif) Détartrage-désinfection (soude + peroxyde) au jet rotatif Rinçage au jet rotatif + manuel
<b>Durée totale de la procédure (min)</b>	22	21	15
<b>Volume d'eau total (L)</b>	435	302	250
<b>Volume d'eau économisé (%)</b>	-	31	43
<b>Levures totales UFC/écouvillon</b>	150	55	48
<b>Levures non-Saccharomyces (Brettanomyces...) UFC/écouvillon</b>	50	3	3
<b>Bactéries totales UFC/écouvillon</b>	3000	26	45

Tableau 6. Incidence de l'optimisation des procédures, sur un même site, au cours du temps – Efflu'Eau – 2018-2020.

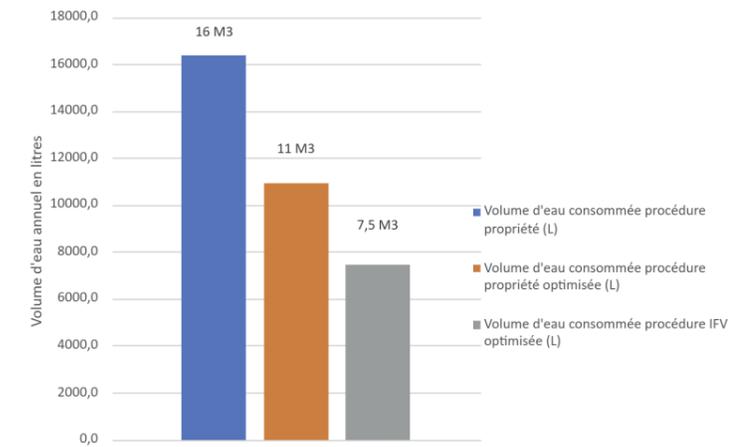


Figure 16. Estimation de l'économie d'eau sur une année pour la procédure d'hygiène complète (pré-rinçage, détartrage, désinfection) de l'ensemble de la cuverie inox du chai (de l'encuvage à la mise) de 2400 hL.

### Niveau d'hygiène des surfaces et incidences sur les populations résiduelles et leur survie

La réussite des opérations de désinfections est liée à celle du nettoyage, surtout sur l'ensemble des surfaces critiques, où un simple rinçage n'a que peu d'efficacité sur les microorganismes adhérent (Figure 17).

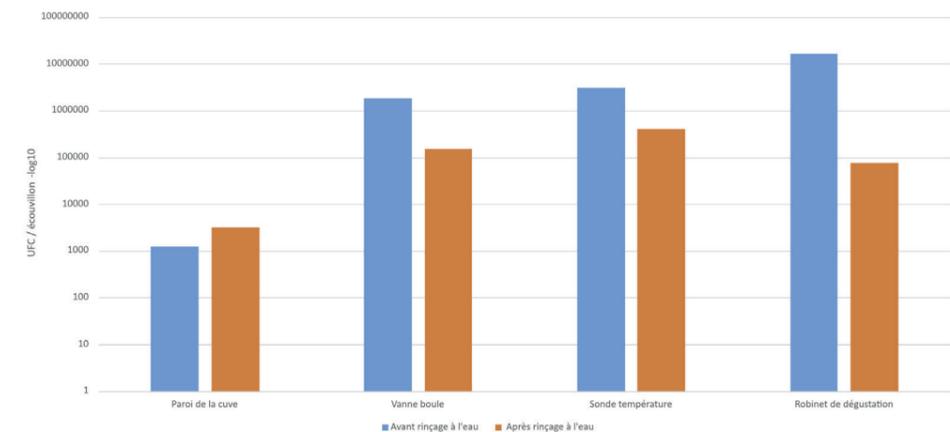


Figure 17. Dénombrement des populations de levures totales (prélèvements par écouvillonnage) Stade fin FA à l'écoulage – Essai 4 – Efflu'Eau 2019.

Comme pour l'opération de nettoyage, la désinfection nécessite que l'ensemble de la surface puisse rentrer en contact avec l'agent désinfectant. Ce déficit de nettoyabilité est un frein à la réussite de l'opération. Une population résiduelle se maintient même après désinfection ; c'est une source potentielle d'altération pour les vins qui séjourneront par la suite dans ce contenant. Après une procédure complète et avant réutilisation des cuves, des populations résiduelles subsistent sur quelques-unes des surfaces critiques, et peuvent se maintenir et évoluer dans le temps (Figure 18).

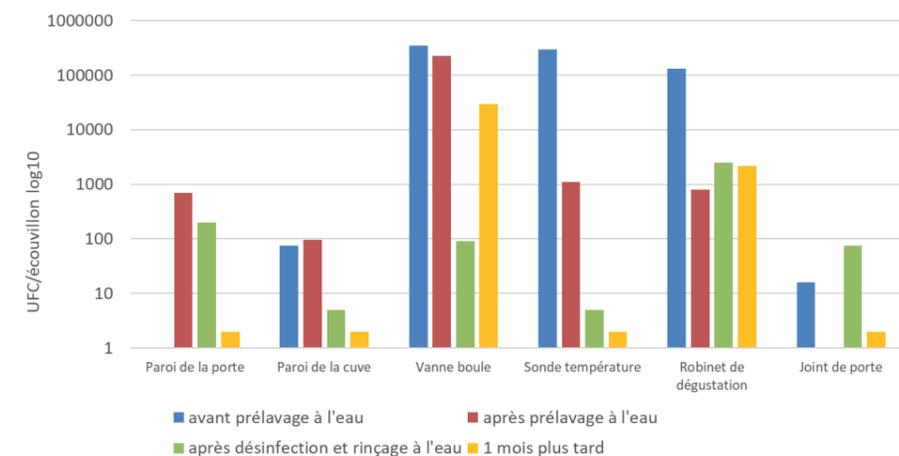


Figure 18. Dénombrement (écouvillonnage) des populations de levures totales, Stade fin élevage en cuve et après 1 mois – Essai 1 – Efflu'Eau, 2019.

Les figures 19 et 20 montrent l'incidence d'une procédure non optimisée sur l'hygiène des surfaces.

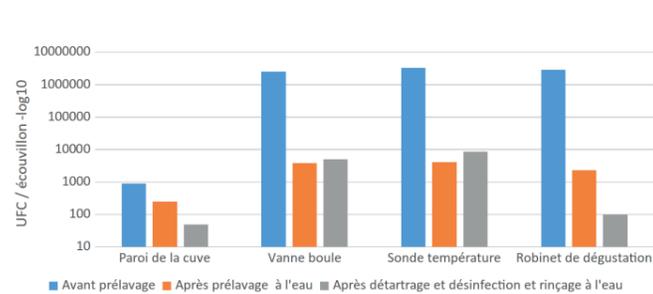


Figure 19, Dénombrement des populations de levures totales, stade écoulage fin FA – Essai 5 – Efflu'Eau 2019.

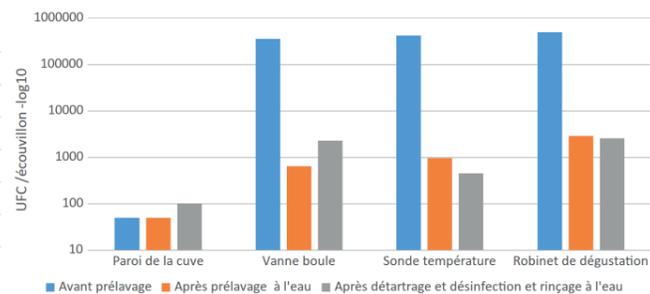


Figure 20, Dénombrement des populations de bactéries totales, stade écoulage fin FA – Essai 5 – Efflu'Eau 2019.

Sur cet exemple, les analyses microbiologiques du vin complètent celles des surfaces. Elles montrent une population en levures non-Saccharomyces (20 UFC/mL à l'écoulage) qui augmente au cours des 18 mois d'élevage dans la cuve jusqu'à la mise en bouteille pour atteindre des valeurs de l'ordre de 104 UFC/mL.

A partir des analyses réalisées à l'écoulage, 4 clones de levures (2 sur les surfaces et 2 sur le vin) ont été identifiés comme étant des *Brettanomyces bruxellensis* résistantes aux sulfites. Les clones identifiés sur les surfaces sont retrouvés sur ce même vin après 18 mois d'élevage, avant mise en bouteilles. Ces résultats montrent la persistance spatiale et temporelle d'une même « famille » de souches de *Brettanomyces bruxellensis* dans le chai étudié. Cette persistance peut être attribuée aux propriétés d'adhésion et développement de biofilm sur des surfaces qui restent difficiles d'accès au nettoyage et à la désinfection.

Deux des 4 clones isolés en 2018 ont été testés pour leur capacité à adhérer sur une surface acier (souche NS5V2 issu du vin, souche NS53A1 issu du prélèvement sur la vanne boule). Les résultats montrent en laboratoire que la souche NS53A1 a des capacités de bioadhésion/développement de biofilm importantes et bien plus élevées que les autres souches testées (figure 21).

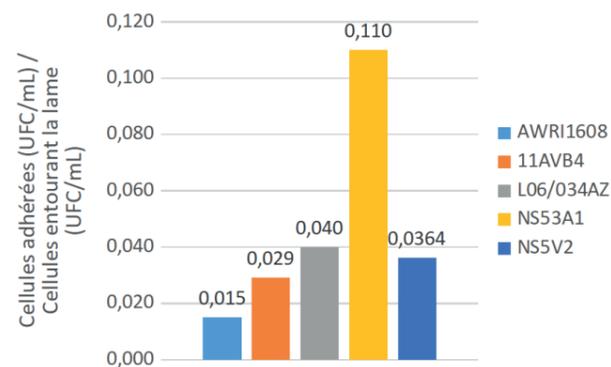


Figure 21, Représentation du phénomène de bioadhésion/formation de biofilm à 14 jours, de 5 souches de *B. bruxellensis*, en nombre de cellules adhérentes/nombre de cellules de la solution (ISVV, projet Efflu'eau 2020).

Ce test est réalisé dans le vin sur coupon d'acier. Les souches AWRI 608, L06/034AZ (groupe AWRI1608-like) et 11AVB4 (groupe CBS2499-like) sont des souches déjà connues et de référence ; elles ont été ajoutées aux souches NS53A1 et NS5V2 pour comparer les phénomènes adhésifs.

Le comportement de ces deux souches, étudié en conditions dynamiques sur circuit-test, confirme un pic d'adhésion dans le temps et un pouvoir de bioadhésion (quantité de cellules adhérentes) important, plus élevé pour la souche NS53A1 (figures 22 et 23).

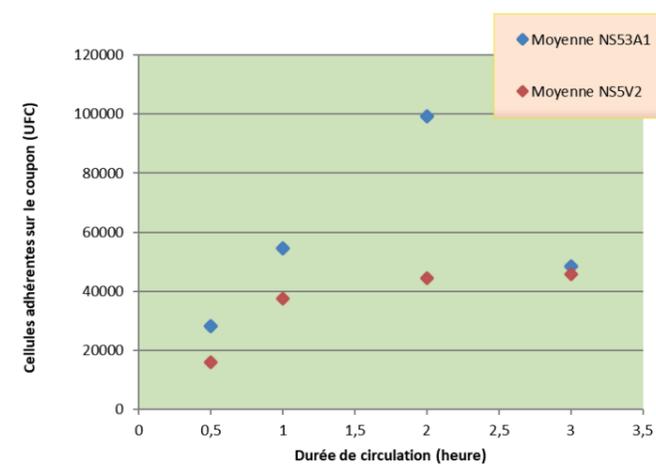


Figure 22, cinétique d'adhésion (nombre de cellules vivantes adhérentes par coupon) et pic d'adhésion en dynamique (sur circuit-test) sur acier inoxydable en UFC (Unité Formant Colonie) – moyenne de 4 répétitions – pour les souches NS53A1 et NS5V2, IFV 2020.

L'ensemble de ces résultats montrent qu'il est nécessaire d'optimiser les procédures de nettoyage-désinfection de façon à éliminer *Brettanomyces bruxellensis* à la surface des parois de la cuve et minimiser la recontamination du vin qui sera encuvé par la suite.

En exemple, les figures 23 à 25 montrent l'intérêt de l'utilisation d'un jet rotatif dans le cadre d'une procédure complète de nettoyage/désinfection, plus performant sur le niveau d'hygiène des surfaces. Le niveau des populations microbiennes résiduelles est inférieur dans ce cas au seuil de détection des techniques de numération utilisées.

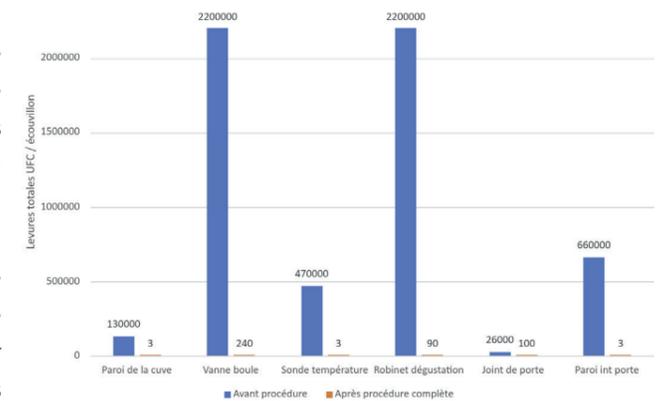


Figure 23, Dénombrement de populations de levures totales stade soutirage fin FML – Essai 2 – Efflu'Eau, 2019

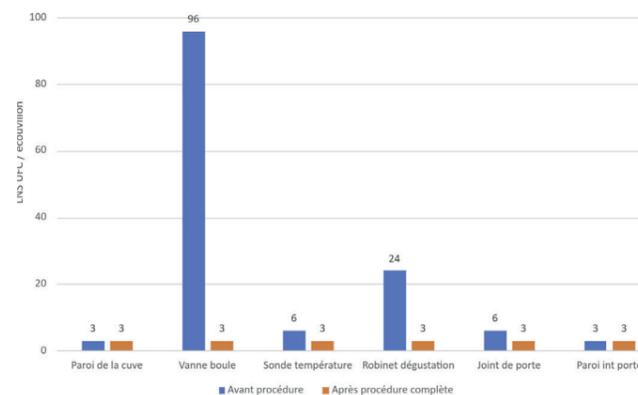


Figure 24, Dénombrement de populations de levures non-Saccharomyces (Brettanomyces) stade soutirage fin FML – Essai 2 – Efflu'Eau, 2019

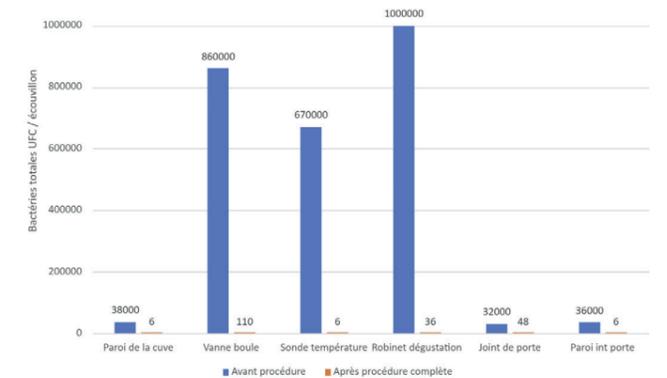


Figure 25, Dénombrement de populations de bactéries totales stade soutirage fin FML – Essai 2 – Efflu'Eau, 2019

## V. PERSPECTIVES

L'élaboration des vins dans un contexte de plus en plus favorable aux microorganismes replace l'hygiène au cœur des opérations technologiques. Des équipements difficiles à nettoyer sont en grande partie responsables de l'échec des procédures d'hygiène ; l'élaborateur doit adopter des gestes quotidiens pour raisonner et optimiser son nettoyage, sa désinfection.

Planifier les opérations d'hygiène et leur contrôle permet de répondre aux obligations sanitaires (GBPH) et réglementaire (loi sur les effluents) tout en assurant la qualité du produit, qui doit être et resté marchand.

L'automatisation, la conception hygiénique, la gestion de l'eau sont des préoccupations réelles de l'ensemble des acteurs de la filière (équipementiers, recherche appliquée, élaborateurs). Elles doivent s'accompagner d'une meilleure connaissance des phénomènes d'encrassement et de bioadhésion, d'une meilleure gestion du vieillissement et de l'état de surface des matériaux qui constituent les équipements.

L'évolution en cours de la réglementation sur l'utilisation des eaux (potable, usée, recyclée) doit offrir de nouvelles pratiques au chai. Les alternatives à l'utilisation des formulations chimiques peuvent également permettre de réduire les effluents à traiter ; ce sujet n'a pas été abordé ici.

## VI. BIBLIOGRAPHIE

- Pierre Jaudon – Hygiène et propreté des surfaces en milieu agro-alimentaire produits humides, 2002.
- Règlement (CE) n°1935/2004 du Parlement Européen et du Conseil du 27 octobre 2004 concernant les matériaux destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires.
- Marie-Noëlle Bellon-Fontaine et al. – Conception hygiénique de matériel et nettoyage-désinfection, Sciences et Techniques Agroalimentaires, Lavoisier, 2016.
- Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène filière vin, JO du 1er avril 2017.
- Epstein, N. 1978. "Fouling in Heat Exchangers, Heat Transfer." 6th International Heat Transfer Conference, 6: p 235-253.
- Recommandations pour la gestion des risques « phtalates » et « bisphénol A » dans les cuves, Itinéraires N°29, IFV, 2019.
- Romain Briandet, M.N. Bellon-Fontaine. Physicochemical mechanisms involved in the formation of microbial biofilms, and their consequences in terms of hygiene. Investigacion y Technica del Papel, 2000, 146, pp.520-547.
- NF EN ISO 14159 « Sécurité des machines – Prescriptions relatives à l'hygiène lors de la conception des machines ».
- NF EN 1672-2 «Machines pour produits alimentaires – Notions fondamentales – Partie 2 : Prescriptions relatives à l'hygiène».
- Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du conseil relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE.
- Annexe du règlement européen N°162/2013 du 21 février 2013 modifiant l'annexe du règlement (CE) n° 3199/93 relatif à la reconnaissance mutuelle des procédés pour la dénaturation complète de l'alcool en vue de l'exonération du droit d'accise.
- EHEDG – Principes de conception hygiéniques pour les usines agroalimentaires, Guide N°44, 2017.
- IFV - Hygiène en œnologie, Nettoyage, désinfection, HACCP, Dunod, 2004.
- Les carnets de l'eau, Chambre d'Agriculture de Gironde, 2006.
- Loi 92-3 du 03/01/92 sur l'eau.
- Décret no 2024-33 du 24 janvier 2024 relatif aux eaux réutilisées dans les entreprises du secteur alimentaire et portant diverses dispositions relatives à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

## REMERCIEMENTS



Les données présentées sont issues des travaux des unités IFV et de leur collaboration avec les partenaires de la filière :

IFV – Institut Français de la Vigne et du Vin

UMR Œnologie (Oeno) – ISVV UMR 1366 Université de Bordeaux, INRAE Bordeaux INP

Chambre d'Agriculture de la Gironde

Microflora

AgroParisTech-INRA UMR MICALIS

CETIM – Centre Technique des Industries Mécaniques

CTCPA – Centre Technique de la Conserverie des Produits Agricoles

Inter Rhône – Interprofession des vins AOC Côtes du Rhône et Vallée du Rhône

Vinopôle Bordeaux-Aquitaine

Nous remercions les sites d'essais ayant collaborer à la réalisation du projet Efflu'Eau.

Les résultats sont issus de projets récents :

Projet « Efflu'Eau », Plan Climat Bordeaux 2020, CIVB (2018-2021)

Projet européen WINE ENVIRONMENT (2009-2012)

Projet ANR « Minimeau » (2018-2022)

Projet National FranceAgriMer « Lutte contre Brettanomyces » (2016-2019)

Projet National FranceAgriMer « Hygiène des surfaces » (2011-2015)

Projet National FranceAgriMer « Matériaux au contact » (2012-2016)



## Comité de rédaction :

**IFV :**

Pascal Poupault, Emmanuel Vinsonneau

**ISVV :**

Patricia Ballestra

## Comité de relecture :

**IFV :**

Valérie Lempereur, Laure Cayla, Joëlle Béguin, Frédéric Charrier, Jean-Michel Desseigne, Régis Cailleau

**Chambre Agriculture Gironde :**

Maud-Isabeau Furet

Avec le soutien de :

Dans le cadre du :

