

Architecture et conception durable d'une cave : concept, application et exemples

Sustainable cellar architecture and design: Concept, application and examples

Joël Rochard*

Vitis Planet, 10320 Bouilly, France

Résumé. La construction d'un chai, ainsi que sa rénovation, imposent la prise en compte du développement durable. Cet aspect est particulièrement important pour les caves, construites pour très longtemps et support de l'image de la structure. L'architecture bioclimatique, est une approche destinée à tirer le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement, pour une conception naturellement confortable pour ses utilisateurs tout en optimisant notamment la gestion de l'eau et de l'énergie. L'optimisation de l'énergie, et la réduction de l'impact sur l'effet de serre associent l'utilisation de l'inertie thermique du sous-sol, et d'énergies renouvelables (solaire, puits canadien, géothermie, etc.). Vis-à-vis des effluents, le traitement écologique, vise à réduire la consommation d'énergie, à mieux s'intégrer dans le paysage et éventuellement contribuer à un développement de la biodiversité. Celui-ci repose souvent sur le principe de phytoremédiation par les plantes avec une vision d'économie circulaire. Ces traitements visent également progressivement un recyclage de l'eau pour l'irrigation ou éventuellement les dispositifs de refroidissement de la cave. La communication a pour objectif de présenter les principales pistes et démarches opérationnelles, qui peuvent s'appliquer aux caves avec les labels et retours d'expérience dans différentes régions du monde.

Abstract. The construction of a winery, as well as its renovation, requires that sustainable development be taken into account. This is particularly important for cellars, which are built for a very long time and support the image of the structure. Bioclimatic architecture is an approach designed to make the most of the conditions of a site and its environment, for a design that is naturally comfortable for its users while optimising water and energy management in particular. The optimisation of energy and the reduction of the impact on the greenhouse effect combine the use of the thermal inertia of the subsoil and of renewable energy (solar, Canadian well, geothermal, etc.). With regard to effluents, ecological treatment aims to reduce energy consumption, better integrate into the landscape and possibly contribute to the development of biodiversity. This is often based on the principle of phytoremediation by plants with a view to the circular economy. These treatments also aim to progressively recycle water for irrigation or possibly for the cellar's cooling systems. The aim of the communication is to present the main operational approaches and paths that can be applied to wineries with labels and feedback from different regions of the world.

1 Bases d'une cave durable

+ Objectifs

De conception traditionnelle ou moderne [1], au-delà de leurs fonctions d'élaboration des vins, les caves (du latin *cavita* « lieu creusé ») et les chais (terme d'origine celtique), sont des vitrines emblématiques du vigneron, du domaine viticole ou du négociant. Ainsi, l'architecture de ces lieux de production des vins constitue des supports d'identités esthétiques et parfois artistiques des vins, de plus en plus valorisés par l'œnotourisme (et notamment l'éco-œnotourisme). Au-delà de l'image, les réglementations et éventuellement les aides financières intègrent progressivement des prérequis durables, qui vont très probablement s'amplifier, évolution importante à prendre en considération pour l'avenir. L'écoconstruction ou construction durable est la création, la restauration, la rénovation ou la réhabilitation d'un bâtiment en lui

permettant de respecter au mieux l'écologie à chaque étape de la construction, et plus tard, de son utilisation (chauffage, consommation d'énergie, gestion de l'eau et des déchets). Cette notion, apparue à la fin des années 1940, cherche aussi à intégrer le plus respectueusement possible le bâti dans le milieu naturel en utilisant au mieux des ressources locales. L'éco-conception d'une cave intègre à la fois des concepts développés autrefois dans les caves traditionnelles (forte inertie des murs, matériaux de construction et d'isolation locaux, zone enterrée, etc.) et des technologies modernes en lien notamment avec des énergies alternatives (solaire, géothermie) et des systèmes de régulation (ventilation, éclairage).

Ainsi au-delà des aspects œnologiques, les caves et chais doivent prendre en compte un certain nombre d'aspects opérationnels durables (Fig. 1) [2] :

+ Gestion des **déchets et des sous-produits**, qui peuvent impacter le traitement des effluents et qui représente des gisements potentiels à utiliser comme

*Corresponding author: rochard.joel@gmail.com

source d'énergie renouvelable dans le cadre d'une économie circulaire.

+ **Gestion de l'eau**, qui associe à la fois des technologies permettant sa préservation et un traitement optimal des effluents [3].

+ **Limitation de la consommation de l'énergie**, notamment fossile, avec le recours à l'isolation et aux énergies renouvelables.

+ **Intégration paysagère**, pour que le chai trouve sa place dans l'exploitation (au même titre que les autres bâtiments d'exploitation), sur le plan esthétique et patrimonial.

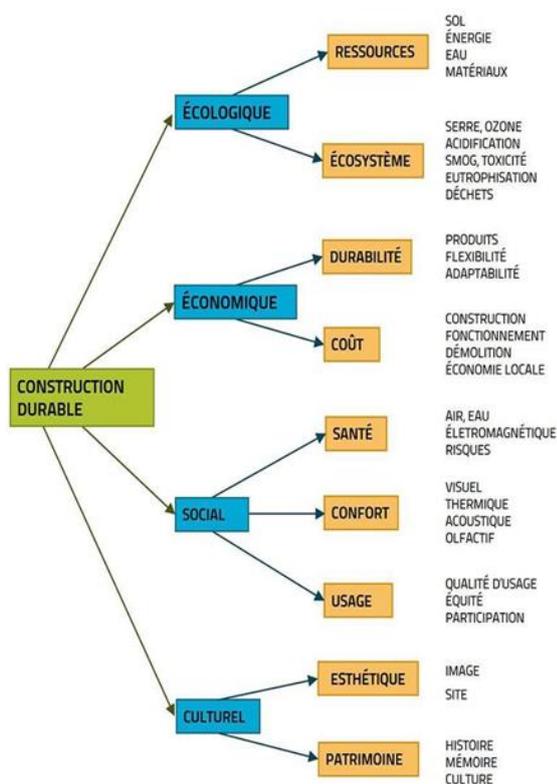


Figure 1. Principaux objectifs d'une construction durable, d'après B Peuportier [4].

CONCEPTION TRADITIONNELLE DES CAVES

Les caves anciennes, construites avant l'utilisation de la climatisation, intégraient des formes d'architectures traditionnelles qui permettaient naturellement de bénéficier de la fraîcheur en été et de la chaleur en hiver grâce notamment à l'utilisation de l'inertie thermique du sous-sol et de murs en pierre très épais qui atténuent la variabilité thermique interne (Fig. 2 et Photo 1). Ainsi chacune des régions viticoles, en fonction du climat local et des matériaux disponibles, avait su développer des habitats vigneron qui associaient les conditions thermiques optimales, à la fois pour l'élaboration des vins ainsi qu'éventuellement d'autres productions agricoles et la zone d'habitation.



Figure 2. Maison traditionnelle du Mâconnais encyclopédie touristique des vins de France éd Hachette 1994 Dessin atelier D. Duplantier.



Photo 1. Cave traditionnelle moldave avec un toit végétal, photo J. Rochard.

L'architecture bioclimatique est un savoir-faire pour tirer le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement, avec une conception confortable pour ses utilisateurs, tout en optimisant notamment la gestion de l'eau et de l'énergie. Elle fait appel à de nombreuses stratégies, techniques et systèmes de rafraîchir et ventiler l'ambiance intérieure d'une construction. Le contexte du site (climat, microclimat, géologie, relief, etc.) a une place prépondérante dans l'étude et la réalisation du projet. Une étude approfondie d'en tirer profit et de cerner les contraintes. Par ailleurs, la conception bioclimatique s'accompagne de réflexions et de démarches plus larges sur le respect de l'environnement, au niveau local et global (Figs. 5 et 6).

MATÉRIAUX BIOSOURCES ET GEOSOURCES

Au 20^e siècle, avec l'essor des transports, et la standardisation de l'architecture, la construction a souvent délaissé l'emploi de ressources locales et privilégié des matériaux non renouvelables (sable, granulats, métaux, etc.). Mais les ressources sur Terre ne sont pas infinies. Progressivement, les acteurs du secteur de la construction prennent conscience de l'intérêt de recourir à nouveau aux matériaux disponibles à proximité du site et à mettre en œuvre des matériaux à impact carbone faible voire négatif. Plusieurs types de matériaux peuvent être envisagés :

+ **Biosourcés** (Fig. 3) qui contiennent majoritairement de la matière issue du vivant (animal ou végétal). Cette matière est considérée comme renouvelable, mais doit être issue d'une gestion raisonnée et durable. (Exemple : bois, paille, chanvre, ouate de cellulose, laine de bois, laine de mouton, etc.).

+ **Géosourcés** (Fig. 4) à base d'éléments minéraux naturels (pierre) ou de terre (pisé, brique de terre crue, enduit de terre, béton de site, etc.).

Ces matériaux présentent plusieurs avantages :

+ **Qualité de régulation de l'hygrométrie** : Ils stockent l'humidité et la restituent.

+ **Stockage temporaire du carbone** : Les matériaux biosourcés participent à la séquestration du carbone, absorbé par les plantes au cours de la croissance des végétaux, tout au long de leur mise en œuvre.

+ **Faible émission de Composés Organiques Volatiles (COV)**, nocifs pour la santé des occupants et qui présentent généralement un bon classement vis-à-vis de la qualité de l'air.

+ **Bon déphasage thermique**, dû à leur densité.



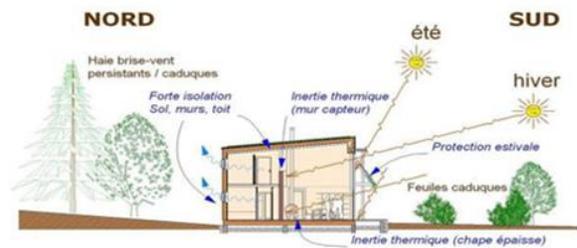
Figure 3. Principaux matériaux biosourcés, www.envirobatbdm.eu



Figure 4. Principaux matériaux géosourcés, www.envirobatbdm.eu

Ces démarches, qui concernent aussi bien les projets de nouvelle construction que les rénovations, associent la prise en compte des impacts d'un bâtiment sur l'environnement, ainsi que les moyens mis en œuvre pour les réduire. En France, un bâtiment certifié HQE intègre des critères d'exigence environnementaux dès le projet de construction ou de réhabilitation. Cette approche gérée en France par www.hqegbc.org s'inscrit dans une dynamique

internationale de construction durable portée à l'international par World Green.



+ **Certifications durables des constructions**



Figure 5. Logos des certifications écologiques des bâtiments du réseau international www.worldgbc.org.

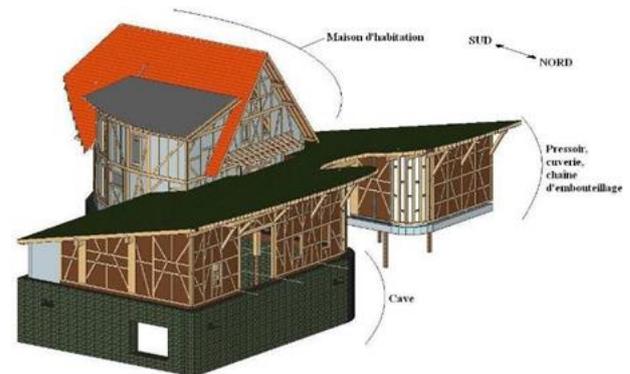


Figure 6. Un exemple de cave bioclimatique avec une architecture bioclimatique (Domaine Léon Boesch en Alsace). Conçu par l'architecte Mathieu Winter, le domaine viticole constitue un exemple remarquable de cave bioclimatique. Il est construit à partir d'une ossature en bois, mode de construction traditionnel en Alsace. La construction associe notamment des fondations en pierre sèche, une toiture végétalisée, une isolation des murs en bottes de paille, etc. Les matières premières viennent des alentours du village viticole. Les fondations sont constituées de roches calcaires permettant de garantir l'hygrométrie et la « respiration » de la cave. La zone d'élaboration, située au nord, bénéficie de la fraîcheur, tandis que la maison d'habitation, positionnée au sud, profite de l'ensoleillement. L'ossature est constituée de colombages (mode de construction traditionnel en Alsace), issus des forêts locales. www.domaineboesch.fr.

Building Council (WorldGBC) www.worldgbc.org (Fig. 8). Selon cette organisation, un bâtiment durable, dans sa conception, sa construction ou son exploitation, réduit ou élimine les impacts négatifs et peut créer des impacts positifs sur notre climat et notre environnement naturel.

INTEGRATION PAYSAGERE DU BATIMENT

Une bonne analyse de l'impact visuel des bâtiments en vue proche et lointaine est primordiale compte tenu des volumes bâtis souvent importants à implanter sur un relief très marqué (Fig. 7 et Photo 2).

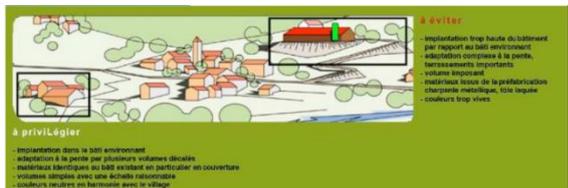


Figure 7. Quelques points clés pour une bonne intégration paysagère d'un bâtiment, www.parc-monts-ardeche.fr.



Photo 2. Cave Antinori « la Mortelle » en Toscane. Elle a été conçue pour limiter l'impact sur l'environnement avec une intégration optimale dans les collines environnantes. La cave a une forme hémisphérique semi-enterrée, cachée en grande partie dans une colline et une végétalisation des zones non enterrées. Un puits de lumière permet d'assurer un éclairage naturel à l'intérieur de la cave. Photos www.antinori.it.

Les bâtiments écologiques préservent de précieuses ressources naturelles et améliorent notre qualité de vie, en intégrant notamment les aspects suivants :

- Utilisation efficace de **l'énergie**, de l'eau et d'autres ressources
- Utilisation **d'énergies renouvelables**, telles que l'énergie solaire
- Mesures de réduction de la **pollution et des déchets**, et possibilité de réutilisation et de recyclage
- Bonne **qualité de l'air** ambiant intérieur

- Utilisation de **matériaux non toxiques**, éthiques et durables
- Prise en compte de **l'environnement** dans la conception, la construction et l'exploitation
- Prise en compte de la **qualité de vie** des occupants dans la conception, la construction et l'exploitation La démarche HQE, qui a initialement concerné majoritairement le secteur de l'habitat, s'élargit maintenant à la production industrielle avec
- l'intégration progressive dans le processus de différentes caves françaises (Fig. 8 et Photo 3).



Figure 8. Objectifs d'une démarche HQE, www.hqegbc.org.

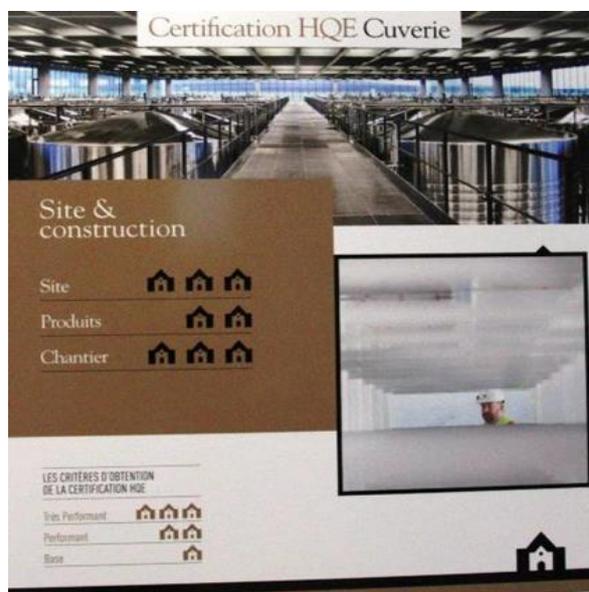


Photo 3. Exemple d'application de la démarche HQE pour la cuverie du Champagne Moët et Chandon, photo J. Rochard.

2 Optimisation thermique

+ Stratégie

Les vignerons connaissaient souvent par empirisme l'importance des aspects thermiques au cours de l'élaboration d'un vin [5]. Tous les moyens qui permettaient de bénéficier de la fraîcheur ou de la chaleur

naturelle étaient utilisés (caves souterraines, ouverture des celliers pendant l'hiver, soupirail orienté en fonction de l'exposition ou des vents dominants). Par ailleurs, le froid hivernal était privilégié pour assurer la stabilisation tannique des vins.

Cependant, les vinifications restaient très dépendantes du cycle immuable des saisons et des conditions météorologiques de l'année. C'est ainsi que depuis quelques décennies, les impératifs qualitatifs, la nécessité d'assurer une parfaite stabilité biologique et physico-chimique des vins, la réduction des cycles de vinification et l'implantation des chais en surface tendent à généraliser les applications thermiques tout au long de l'élaboration des vins. Pour concevoir une cave écologique, un cadre architectural clair doit être rédigé, fixant les objectifs à atteindre, ce qui suppose une forte implication des personnels responsables et opérationnels de la cave en liaison avec l'architecte, le maître d'œuvre et éventuellement un paysagiste, tout en intégrant les matériaux, les techniques et les savoir-faire disponibles localement. En complément des choix de structure du bâtiment, il est possible d'optimiser la consommation d'énergie par l'utilisation d'isolants si possibles écologiques et de structures végétales (Fig. 9).

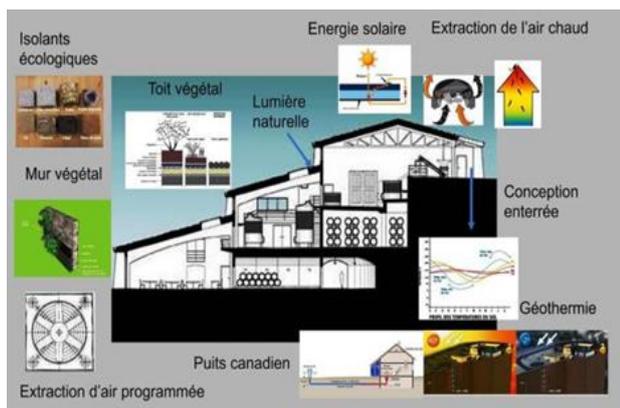


Figure 9. Principales pistes d'optimisation thermique d'une cave, d'après J. Rochar.

+ Inertie thermique

En limitant la surchauffe du bâtiment par temps estival et son refroidissement l'hiver, l'inertie thermique a un impact direct à la fois sur le confort du personnel, la qualité des vins et la consommation d'énergie nécessaire pour climatiser ou chauffer le bâtiment. Appliquée au domaine thermique, la notion d'inertie désigne la capacité d'un matériau (ou d'une structure) soumis à des changements extérieurs (apports de chaleur ou, au contraire, refroidissement) à conserver sa température, dans un premier temps ; puis à restituer le flux thermique, dans un second temps. Le déphasage thermique désigne la capacité d'un matériau à différer les variations de température. Il s'agit donc du décalage dans le temps de la restitution du flux thermique, par rapport à la période de stockage. Le sous-sol, dont la température est pratiquement constante à une profondeur de 5 à 7 mètres (soit 10 à 16 °C pour la plupart des régions viticoles) permet d'assurer une inertie thermique pour les bâtiments enterrés [6] (Figs. 10 et 11).

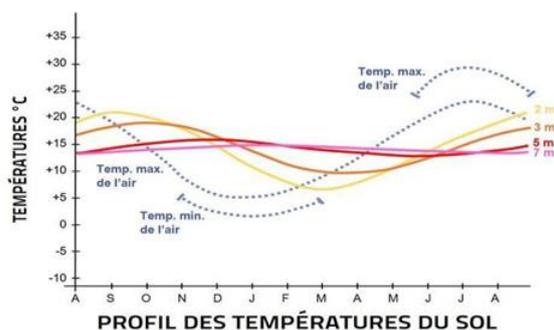


Figure 10. Exemple de profil de température en fonction de la profondeur dans le Vaucluse. On constate que l'amplitude des fluctuations décroît avec la profondeur. À 6 ou 7 mètres sous terre, la température se stabilise autour de la moyenne annuelle des températures de l'air, à 15 ou 16 °C. À des profondeurs moins importantes, on remarque un déphasage des minimas et des maximas. Ce déphasage s'accroît avec la profondeur. En juillet, à 2 mètres de profondeur, la température du sol est de 16-17 °C, alors que les températures maximales de l'air sont de 30 °C. Ces données soulignent le rôle de climatisation naturelle de la terre. www.archi.climatic.free.fr.

Au-delà des variations de la température au cours de l'année, il est également important de prendre en compte la variation thermique entre le jour et la nuit et d'un jour à l'autre au cours de la semaine. L'inertie thermique d'un matériau représente sa résistance au changement de température, lorsque intervient une perturbation de son équilibre thermique. Une bonne inertie thermique du bâtiment (sans isolation intérieure) peut être obtenue par l'utilisation de matériaux denses (pierre, béton). La brique de type « monomur alvéolaire », avec une épaisseur (40 à 50 cm), est également intéressante.

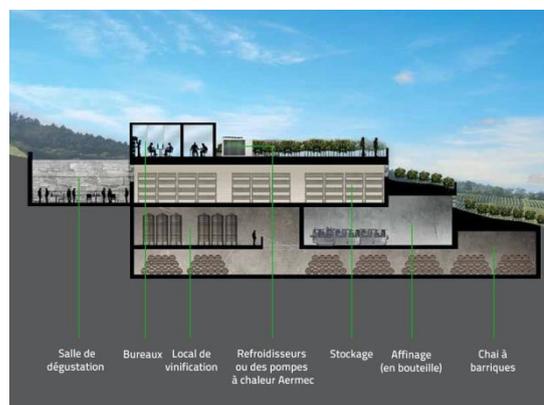


Figure 11. Utilisation optimale de l'inertie thermique du sol et du sous-sol dans la conception d'une cave. Une partie de la cave est enterrée et la zone supérieure bénéficie d'un toit végétalisé. www.produits.xpair.com.

+ Protection solaire architecturale

Pour les zones en surface, pour le confort du personnel et afin d'économiser l'énergie de l'éclairage artificiel, il est généralement intéressant d'intégrer des sources de lumière naturelles. Cependant, celles-ci augmentent l'interface entre le bâtiment et l'extérieur, avec des risques de transfert thermique. Au-delà de leur isolation, ces ouvertures lumineuses peuvent éventuellement être protégées par des

pergolas (Photo 4) ou des systèmes de lamelles de type « brise soleil » (Photo 5), qui limitent le passage du rayonnement, notamment en période estivale. Il est également possible de prévoir des puits de lumière qui, à l'image de nombreux monuments religieux, permettent de diffuser l'éclairage naturel avec un faible transfert thermique. Concernant les zones enterrées, pour lesquelles un éclairage artificiel est indispensable, des systèmes de LED doivent être privilégiés afin de réduire la consommation électrique tout en limitant le risque des goûts de lumière liés au rayonnement ultraviolet. L'éclairage ne doit pas représenter un poste de perte énergétique inutile, d'où l'intérêt de mettre en œuvre des systèmes, individuels ou centralisés, de pilotage automatisé.



Photo 4. Pergola de vigne à proximité des bâtiments administratifs, qui permet de filtrer la lumière en période estivale et à l'inverse de conserver l'éclairage naturel en hiver, Photo J. Rochard.



Photo 5. Dispositif de « brise soleil » à La Grajera, cave de la Gobierno de la région de la Rioja en Espagne, photo J. Rochard.

+ Isolants écologiques

L'isolation d'un bâtiment est un des points à privilégier dans l'éco-conception.

Depuis quelques années, les maîtres d'ouvrage ont cherché à améliorer les écobilans de l'isolation avec des matériaux moins toxiques, recyclés ou recyclables, peu consommateurs d'énergie, tout en gardant des performances équivalentes (et parfois supérieures) aux isolants classiques. Ce sont des matériaux de construction qui répondent à la fois aux critères techniques habituels de construction mais aussi aux critères environnementaux, tout au long de leur cycle de vie. Les isolants écologiques sont généralement d'origine minérale, végétale ou animale (Fig. 12) Parallèlement aux propriétés isolantes, il est important que le matériau soit adapté aux conditions d'ambiance et notamment à l'humidité de certaines zones de la cave, en évitant un développement microbien potentiel, préjudiciable à la qualité des vins.



Figure 12. Principaux isolants écologiques, www.eco-logis.com.

+ Structures végétales

L'utilisation des plantes en architecture n'est pas nouvelle. Les « Jardins suspendus de Babylone », et plus proches de nous, les maisons traditionnelles de Scandinavie ainsi que des constructions ancestrales en Turquie, en Mongolie ou encore construites par certains peuples amérindiens, utilisent des végétaux sur les toitures, notamment pour limiter l'écart de température entre l'été et l'hiver. Par ailleurs, la vigne vierge ou d'autres plantes grimpantes colonisent souvent les murs de nos habitations (Photo 6). L'usage du végétal au sein de projets d'architecture urbains répond à plusieurs attentes : le besoin de proximité d'éléments vivants, une source précieuse d'oxygène et de fraîcheur, une stratégie bioclimatique permettant la rétention, la filtration et la réutilisation des eaux de pluie, ainsi que le stockage et la séquestration du carbone avec parallèlement une intégration paysagère plus harmonieuse du bâtiment. L'utilisation de cette végétalisation est également intéressante pour les caves, afin notamment de limiter les besoins énergétiques de climatisation, de valoriser un espace dans la zone œnotouristique, support de biodiversité, avec une dimension écologique.



Photo 6. Mur végétal naturel de la cave de Miguel Torrès à Curico au Chili, photo J. Rochard.

- Mur végétal

Il existe plusieurs techniques de réalisation d'un mur végétal. La plus courante consiste à construire, parallèlement à la façade du bâtiment, une structure en acier verticale, servant de support (Fig. 13). L'espace entre le mur et la structure permet de laisser passer l'air et d'éloigner le mur de la partie humide. Des modules en PVC y sont fixés, afin d'agrafer des supports de feutres en polyamide, sur lesquels se développent les plantes. Un réseau d'arrosage situé dans la partie supérieure de la structure assure l'alimentation en eau et en matières nutritives par gravité le long du mur. L'eau non utilisée par les plantes est récupérée au pied du mur et dans le réseau d'arrosage supérieur avec les éléments nutritifs.

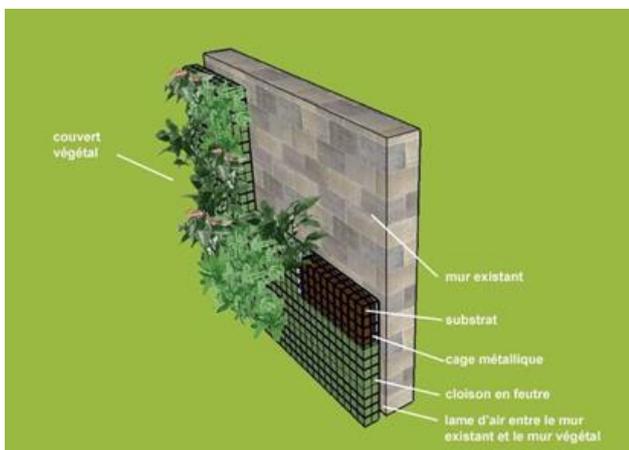


Figure 13. Vue en coupe d'un mur végétal, www.murmurevegetal.com.

- Toit végétal

Le toit végétal (Fig. 14) est disposé sur une structure horizontale (béton, acier ou bois) qui doit supporter le poids de l'installation (en intégrant l'humidification du substrat et éventuellement la neige). Parallèlement aux propriétés d'isolation et d'inertie thermique, le toit végétal joue un rôle tampon vis-à-vis de l'écoulement de l'eau en période de fortes précipitations (Fig. 15). C'est également un support de biodiversité, qui peut être valorisé avec

une diversité de cépages ou de plantes locales dans le circuit de visite œnotouristique.



Figure 14. Structure d'un toit végétal, www.liaisonvegetale.com.

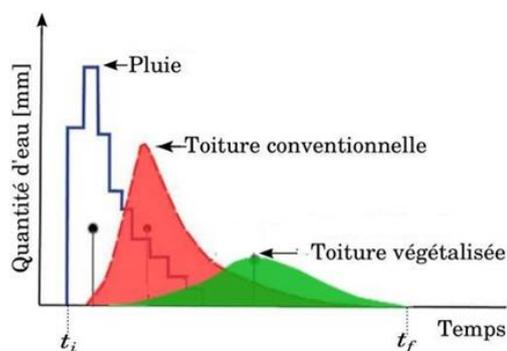


Figure 15. Effet tampon « retardateur » sur écoulement de la pluie d'un toit végétal, comparativement à une toiture conventionnelle, d'après R. Bouzouidja.

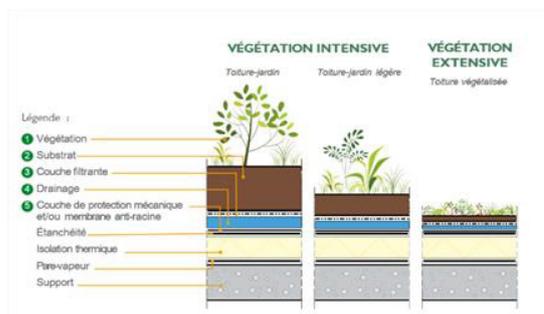


Figure 16. Différents types de toitures végétales, www.matgeco.be.

Trois techniques de végétalisation de toitures peuvent être envisagées (Fig. 16).

+ **Végétalisation intensive** qui comporte une épaisseur de terre généralement comprise entre 30 et 90 centimètres. La réserve d'eau constituée augmente le poids de l'ensemble et nécessite une structure renforcée du bâtiment. Ce système est véritablement un jardin suspendu qui s'adapte à de nombreuses espèces végétales y compris arbustive. La mise en place d'un sol reconstitué en toiture, souvent intégré dans circuit de visite œnotouristique, permet de

valoriser la biodiversité locale, avec une implantation possible des cépages et de la flore locale (Fig. 17).

+ **Végétalisation semi-intensive.** Tout en restant modérés en poids, elles permettent d'agrémenter une toiture-terrasse avec des vivaces d'ornement, du gazon ou des petits buissons.

+ **Végétalisation extensive,** moins performante vis-à-vis de l'isolation, c'est un procédé plus facile à mettre en œuvre car les plantes n'utilisent que peu de terre (6 à 20 centimètres d'épaisseur d'un substrat spécifique). Le système de végétalisation constitue un tapis végétal de sedum (plante vivace succulente) qui s'adapte progressivement à son milieu et fonctionne de façon quasi autonome. Toutefois un arrosage dans les périodes chaudes et un apport d'engrais dans l'année sont obligatoires. Il est possible de les mettre en œuvre classiquement pour des inclinaisons de toiture jusqu'à 20 % et avec des dispositifs particuliers pour des pentes supérieures.

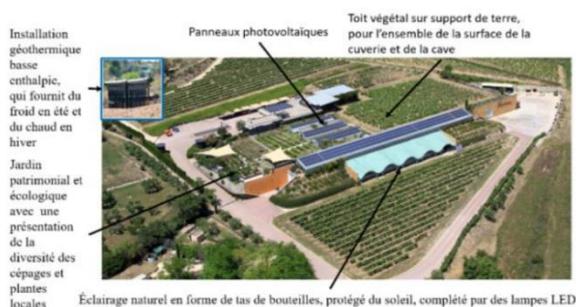


Figure 17. Description de la cave écologique Gramona dans la région catalane du Penedès en Espagne Catalogne, photo www.gramona.com.

+ Régulation de la ventilation

Un renouvellement de l'air de la cave est nécessaire afin de limiter le taux d'hygrométrie et d'assainir (odeur, microorganismes) « l'ambiance » interne. Une ventilation mécanique est souvent envisagée pour les cuveries importantes. L'asservissement de fonctionnement de la ventilation à une horloge permet de privilégier l'aération pendant la nuit en été (température plus basse) et le jour en période hivernale (température plus élevée), afin de réduire les besoins énergétiques de climatisation.

Les bâtiments avec une hauteur importante peuvent présenter un phénomène d'accumulation d'air chaud sous la toiture (Fig. 18), qui peut également se traduire par une variation de la température dans les cuves (zone plus chaude dans la partie supérieure, avec un risque de piqûre acétique). Pour éviter ce phénomène et parallèlement limiter les besoins énergétiques de climatisation, il est possible d'envisager une extraction de l'air chaud sous la toiture avec un extracteur dynamique. Celui-ci peut éventuellement être associé à une alimentation par panneau solaire.



Figure 18. Variations de température selon la hauteur dans un bâtiment, Schéma J. Rochard.



Photo 7. Exemple d'extraction d'air chaud sous toiture dans la région McLaren Vale en Australie, photo J. Rochard.

L'aération doit également prendre en compte l'optimum d'humidité recherché (Photo 8). Une faible humidité dans le chai favorise une perte de vin par évaporation (consomme). Les températures élevées, associées à de faibles humidités relatives augmentent la « consomme » ainsi que le transfert d'oxygène, ce qui est pénalisant financièrement (perte de vin), avec également un risque de développement des bactéries acétiques, si le remplissage des futs (ouillage), n'est pas assuré régulièrement. Lorsque le taux d'humidité est excessif, des risques de ruissellement à l'intérieur de la cave, préjudiciable à la qualité, sont à craindre. Le taux optimal d'hygrométrie se situe généralement autour de 70-85 %.



Photo 8. Maîtrise naturelle de l'humidité dans le chai en maintenant le lien avec le sous-sol dans la zone de stockage des fûts. Photos J. Rochard.

+ Définition

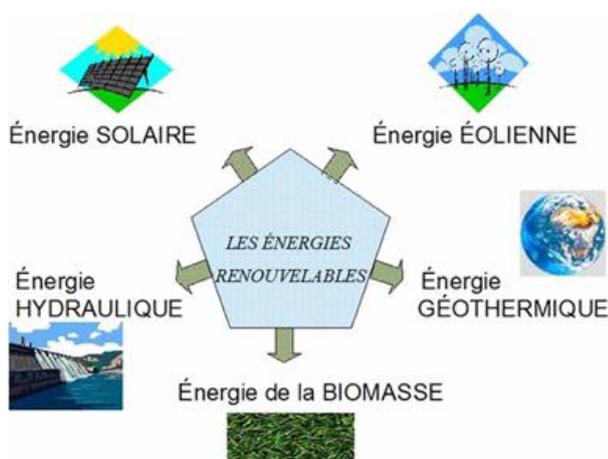


Figure 19. Les différents énergies renouvelables www.energie-eolienne.over-blog.

3 Énergies renouvelables

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à échelle humaine de temps (Fig. 19). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement, cycle d'évaporation, photosynthèse, biocarburants...). Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Ainsi, par exemple, le bois est considéré comme une énergie renouvelable avec un équilibre entre la pousse et la coupe, et sous réserve que la forêt maintienne ses fonctions écologiques.

+ Géothermie basse énergie

La géothermie, du grec géo (la terre) et thermos (la chaleur) désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Le flux géothermique de la terre est généralement beaucoup trop faible pour être utilisé directement avec un procédé « haute température » mis à part les zones dotées de sources thermales ou de chambres magmatiques superficielles. Néanmoins, en dessous de 4,50 à 10 m, la température du sol est constante tout au long de l'année. Celle-ci est proche de la moyenne superficielle annuelle (11 à 16 °C dans les régions viticoles européennes). À l'image d'une cave enterrée, il s'agit d'utiliser l'inertie thermique du sous-sol par des forages, dans lesquels sont insérés des tubes, où circule de l'eau glycolée, qui alimente une pompe à chaleur (Fig. 20). Ainsi, en hiver, le dispositif permet d'obtenir naturellement une source de chaleur et à l'inverse en été, une source de fraîcheur. La profondeur du forage est en général comprise entre 80 et 120 m pour les sondes à eau glycolée.



Figure 20. Application de géothermie dans les caves qui permet de bénéficier de l'inertie thermique du sous-sol (fraîcheur en été et chaleur en hiver), Bodegas Regalia de Ollauri dans la Rioja en Espagne, www.marquesdeteran.com.

Les avantages de ce système (petite surface d'occupation et température constante à 100 ou 150 mètres de profondeur) permettent d'envisager une implantation dans la plupart des secteurs, avec néanmoins une contrainte économique liée à la réalisation des forages. Une des pistes complémentaires, développée notamment en Alsace, consiste à stocker dans le sous-sol la chaleur excédentaire en période estivale, liée notamment à la fermentation des moûts, et la réutiliser en hiver.

+ Puits canadien

Le terme « puits canadien » aurait été utilisé pour la première fois en 1977 par l'architecte Claude Micmacher. Il semble que les Romains utilisaient déjà des systèmes de canalisation sophistiqués pour se chauffer avec l'air circulant sous terre. Le puits canadien, ou puits provençal, avec un système de ventilation souterrain utilise de manière passive l'énergie géothermique (Fig. 21). En

hiver, il transfère de l'air doux dans le bâtiment et en été de l'air frais, permettant ainsi de réaliser des économies de climatisation. Les canalisations horizontales sont installées à une profondeur d'environ 1 à 2 mètres pour prétraiter l'air de ventilation des bâtiments. D'un point de vue pratique, la température du sol à faible profondeur des zones viticoles est d'environ 15 °C en été et 5 °C en hiver. Ce dispositif est obligatoirement équipé d'un siphon d'évacuation pour les eaux de condensation à l'intérieur des tuyaux. À partir du local de traitement de l'air, celui-ci est réparti avec une ventilation à l'intérieur du bâtiment par un réseau de canalisation (Fig. 22).

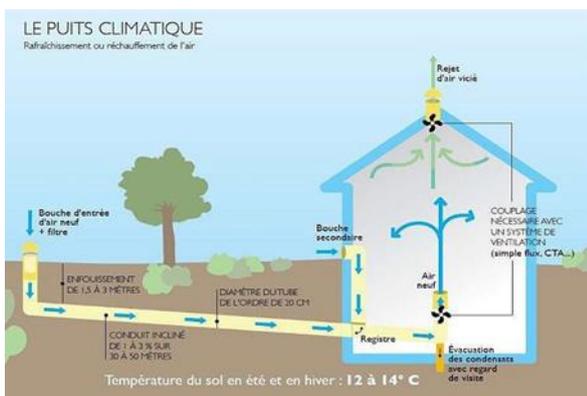


Figure 21. Principe d'un puits canadien, www.ademe.fr.

+Energie solaire

L'énergie solaire permet d'assurer des conditions de température favorables à la vie et anime les cycles de l'eau, des vents et du carbone dans la biosphère. Mais elle peut aussi être utilisée directement pour produire de la chaleur à différents niveaux de température pour divers usages : chauffage et rafraîchissement de locaux, production d'eau chaude et de vapeur, production d'électricité par le biais de panneaux avec des capteurs solaires.

Le potentiel de production d'énergie solaire varie en fonction de l'ensoleillement local moyen (Fig. 24),



Diffuseur d'air intérieur



Figure 22. Exemple d'un puits canadien au Château de Malleret dans le Médoc, photos J. Rochard.

de l'exposition et de l'inclinaison des capteurs (Fig. 25). Dans l'hémisphère Nord, l'optimum correspond à une inclinaison de 35 degrés par rapport à l'horizontale, avec une orientation sud.

Dans la phase initiale de développement, le solaire a souvent été développé dans le cadre d'une revente au fournisseur local. Actuellement, compte tenu de l'évolution des subventions, l'électricité produite est majoritairement utilisée pour les besoins internes de la cave (Photo 9). Au-delà de l'aspect économique, la production interne d'énergie limite le risque de rupture énergétique, qui concerne déjà certaines régions du monde et qui pourrait s'accroître avec les changements climatiques et les tensions internationales.

PRINCIPE DE L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. Il est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère une tension électrique. La lumière du soleil se compose de photons contenant une énergie correspondant aux différentes longueurs d'onde du spectre solaire. Lorsqu'un photon vient traverser la cellule photovoltaïque, il crée un trou dans la couche supérieure, qui est chargée négativement (Fig. 23). Cela génère alors une tension électrique avec la couche inférieure, qui est positive. Les photons sont dès lors récupérés par des contacts électriques, situés à la surface. L'électricité est ainsi produite, sous forme de courant continu.

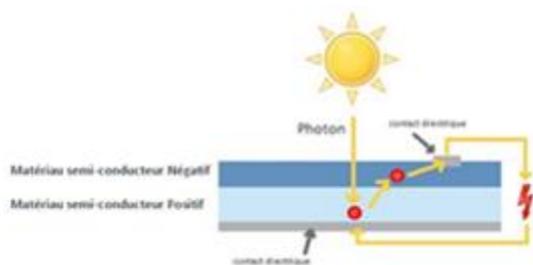


Figure 23. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. www.mypower.engie.fr.



Photo 9. Panneaux solaires installés dans la cave Miguel Torres à Curico au Chili, photo J. Rochard.

+ Biomasse

La biomasse est composée de l'ensemble des organismes vivants sur les continents et dans les océans, qu'ils soient des micro-organismes, des plantes ou des animaux. Grâce à la photosynthèse, mettant en jeu les molécules de chlorophylle, les plantes utilisent l'énergie solaire pour décomposer l'eau (H₂O) qu'elles contiennent dans leurs cellules et le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère pour les transformer en matières végétales, principalement des hydrates de carbone (sucres) et de la cellulose.

Le compostage est, dans une certaine mesure, une filière de valorisation énergétique. En effet, le compost limite l'impact énergétique des engrais, dont la production exige beaucoup d'énergie. L'utilisation la plus courante de la biomasse à des fins énergétiques intervient soit directement sous forme de « biocombustibles » comme le bois, les sarments, le marc, soit après l'avoir transformée en « biogaz » (mélange de méthane CH₄, un peu de CO et d'autres gaz) ou en biocarburants (alcool). Le CO₂ émis lors de la combustion ou de l'oxydation est refixé par les plantes lors de leur croissance, ce qui, contrairement aux énergies fossiles, n'impacte pas la concentration en CO₂ de l'atmosphère.

La biomasse viticole résulte du renouvellement de parcelles et de l'arrachage sans replantation : les sarments, la charpente, les ceps et les souches, ce qui représente environ entre 1,2 et 2,5 tonnes de matière sèche par hectare et par an. La biomasse viticole résulte du renouvellement de parcelles et de l'arrachage sans replantation : les sarments, la charpente, les ceps et les souches, ce qui représente environ entre 1,2 et 2,5 tonnes de matière sèche par hectare et par an.

Le bois de taille est principalement laissé au sol, permettant un apport de matière organique sur la parcelle. Une part des bois de taille et d'arrachage peut être utilisée

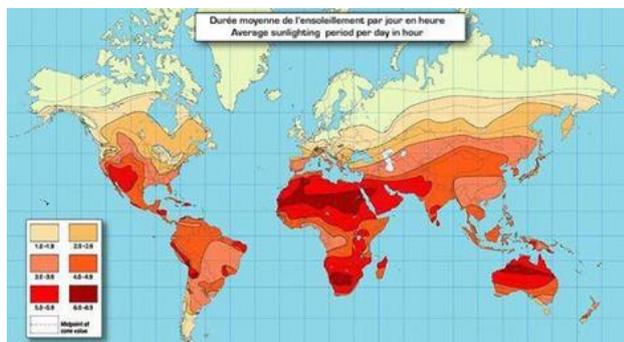


Figure 24. Carte de durée moyenne de l'ensoleillement dans le monde, www.cleantecnica.com.

		Inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88 %	87 %	85 %	83 %	77 %	65 %	50 %
	sud-est	88 %	93 %	95 %	95 %	92 %	81 %	64 %
	sud	88 %	96 %	99 %	max 100 %	98 %	87 %	68 %
	sud-ouest	88 %	93 %	95 %	95 %	92 %	81 %	64 %
	ouest	88 %	87 %	85 %	82 %	46 %	65 %	50 %

Figure 25. Potentiel de production d'énergie en pourcentage selon l'inclinaison et l'orientation des capteurs solaires, www.ef4.be.

comme source d'énergie renouvelable et valorisée en combustion (chauffage des bâtiments d'exploitation de la cave et éventuellement de la maison d'habitation et des structures œnotouristiques). Les sarments de vigne sont récoltés en vrac ou en bottes et éventuellement transformés en granulés de bois pour alimenter des chaudières à biomasse (Photo 10).

Parmi les contraintes, on peut citer la nécessité d'assurer un séchage pendant au minimum une année, la présence d'impuretés ainsi qu'un taux de cendre élevé ainsi que le risque éventuel de transfert de pesticides, liés à la combustion, vers l'atmosphère. D'un point de vue pratique le système d'alimentation en continu de la chaudière doit prendre en compte le risque de formation de voûte, lié au caractère fibreux des sarments. Bien évidemment, cette récupération doit intégrer la nécessité de conserver suffisamment de matière organique dans la vigne, ce qui suppose le plus souvent que la récolte des bois ne soit pas systématique tous les ans au sein de la même parcelle.



Photo 10. Unité de récupération des sarments destiné à la production d'eau chaude et l'alimentation de la distillerie mise en œuvre dans la cave Plantaze au Monténégro, photo J. Rochard.

4 Gestion de l'eau

+ Quantité d'eau utilisée dans la cave

La quantité d'eau liée aux opérations de nettoyage varie de manière importante d'une cave à l'autre. Le type de vinification, les technologies de nettoyage, la sensibilisation du personnel sont autant de facteurs déterminants dans la consommation d'eau. Les valeurs les plus couramment retenues sont comprises dans une fourchette de 3 à 30 litres par litre de vin produit (Fig. 27). La vendange et la vinification, qui s'étalent selon les régions sur une période de 2 à 6 semaines, représentent une part importante de la consommation annuelle d'eau (40 à 60 %). Dans une approche de type ACV, au-delà de la consommation à l'intérieur de la cave, « l'empreinte eau » globale doit également intégrer l'eau nécessaire aux intrants ainsi qu'à la gestion des déchets et sous-produits, et bien évidemment, ce qui peut représenter une quantité très importante dans certaines régions, l'irrigation de la vigne.

La connaissance des consommations d'eau est un préalable indispensable pour réaliser des économies d'eau et pour dimensionner et optimiser le système de traitement des effluents. Cette démarche nécessite d'être menée avec rigueur. L'obtention de résultats exploitables s'appuie sur les comptages séparés de l'eau de forage et de l'eau de la concession. Ces relevés de compteur permettent de corréliser les consommations d'eau avec l'activité de l'établissement et de détecter les périodes ou les activités, pour lesquelles des économies d'eau doivent être réalisées. Par expérience, pour les caves qui disposent d'une alimentation en eau économique, voire gratuite, (forage par exemple), les volumes utilisés annuellement sont souvent importants, mais dès lors qu'un projet de traitement des effluents individuels ou collectifs est envisagé, les mesures d'économie deviennent un impératif préalable prioritaire.

CERCLE DE SINNER

En 1959 en Allemagne, un employé de la société Henkel du nom de Herbert Sinner émit une théorie sur la propreté, s'articulant autour de quatre facteurs indissociables. Plus connu sous le nom de Cercle de Sinner, ou TACT (Température / Action mécanique / Chimie / Temps d'action), ce système prévoit que la diminution d'un ou plusieurs de ces facteurs doit être compensée par l'augmentation des autres (Fig. 26). Ainsi, selon le type de nettoyage à réaliser, il est possible d'obtenir un résultat équivalent, parfois même supérieur, tout en utilisant moins d'eau, en optimisant les différents facteurs de nettoyage :

- + **Action chimique** : application de détergents et autres produits d'entretien.
- + **Action mécanique** : action manuelle (éponge, balai) ou utilisation de machines de nettoyage (nettoyeur haute pression, autolaveuse, aspirateur...).
- + **Température** : plus la température de l'eau est élevée, meilleurs sont les résultats.
- + **Temps d'action** : plus le temps d'application est long, plus l'action du produit est efficace.

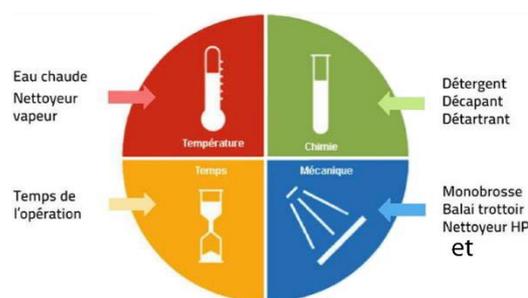


Figure 26. Principaux facteurs de nettoyage d'une surface (cercle de SINNER) www.science-environnement.com.

Un pré-nettoyage à sec, à l'aide de brosses, raclettes ou balais, permet d'éliminer les résidus et les débris solides qui peuvent entraîner un colmatage des canalisations. Ce pré-nettoyage réduit la charge polluante, tout en diminuant considérablement les volumes d'eau utilisés. L'utilisation d'une raclette

pour nettoyer les sols notamment à proximité de la zone de pressurage ou de décuvaage permet de limiter considérablement la consommation d'eau comparativement un nettoyage direct au jet.

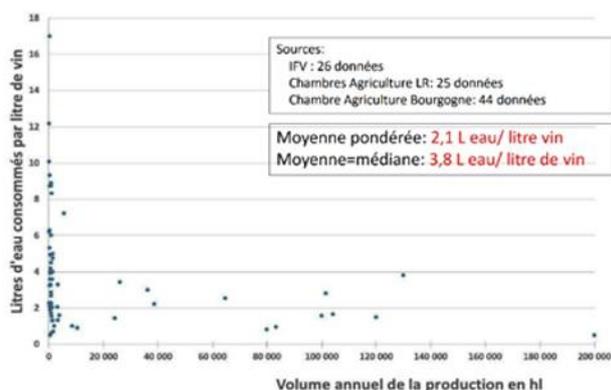


Figure 27. Consommation d'eau moyenne dans les caves établie par J. M. Desseigne, à partir de données de l'IFV, des Chambres d'Agriculture de Bourgogne et du Languedoc-Roussillon.

+ Stratégies de réduction de la consommation

Réduire les consommations d'eau ne doit pas remettre en cause la qualité du nettoyage et de l'hygiène générale de la cave. Il est important de mettre en œuvre une formation et la sensibilisation du personnel en particulier durant les périodes de vendanges, pendant lesquelles la main-d'œuvre opérationnelle est souvent constituée d'employés temporaires peu qualifiés. Ne pas laisser un robinet ouvert initialement, réaliser des pré-nettoyages à sec (raclette, balais), sont autant de gestes élémentaires limitant l'utilisation de l'eau. Le résultat est avant tout lié au soucis permanent du personnel d'encadrement de limiter le gaspillage.

D'un point de vue pratique, les principaux aspects à prendre en compte sont les suivants :

- Nettoyabilité des supports

Un support est d'autant plus facile à nettoyer qu'il présente une surface lisse. Le revêtement des surfaces en ciment avec des résines époxydiques et le type de finition de l'inco, ont une incidence sur toutes les opérations de nettoyages des cuves.

- Surpresseurs

Le lavage à haute pression (110 à 200 bars) grâce à un effet mécanique puissant permet de faciliter l'élimination des souillures au niveau du sol et du matériel tout en consommant une faible quantité d'eau. Néanmoins, cette technique présente quelques inconvénients : dispersion des salissures, risque de dégradation de la surface des circuits hydrauliques électriques. Une technique alternative consiste à mettre en place au sein de la cave un réseau de moyenne pression (généralement 15 à 20 bars).

- Canon à mousse

Le canon à mousse est un appareil qui permet de générer de la « mousse » à partir du produit de nettoyage sous l'action de l'injection de gaz. Cette mousse, par son état, va avoir pour effet de s'accrocher à la surface à nettoyer et ainsi d'augmenter le temps de contact et l'efficacité du lavage, notamment dans le cas des parties verticales.

- Utilisation d'eau chaude

La généralisation des circuits d'eau chaude va dans le sens d'une optimisation des nettoyages en utilisant moins d'eau et souvent de produits de nettoyage. L'emploi d'eau chaude doit être raisonné en prenant en compte l'économie d'eau mais aussi la consommation énergétique et la sécurité de l'utilisateur. Bien évidemment, la mise en place d'un chauffe-eau solaire ou d'un combustible biosourcé pour alimenter la chaudière (bois ou sarments).

+ Conceptions de la cave économe en eau

Il est important d'intégrer en amont de la conception d'une cave les contraintes liées aux opérations de nettoyage, en choisissant des aménagements qui facilitent le travail des opérateurs. La proximité, la facilité d'ouverture et de fermeture des robinets ainsi que l'utilisation d'enrouleurs et de systèmes à arrêt automatique (Photo 11), associée à une sensibilisation et une formation du personnel, permettent souvent de réduire sensiblement les consommations d'eau, sans porter préjudice à l'hygiène. Concernant la structure, le choix optimal du revêtement des sols, la pente, le système de collecte des eaux de lavage participe également à une stratégie d'économie d'eau. Vis-à-vis du refroidissement des cuves, généralement indispensables pour les vinifications en blanc, l'utilisation de ruissellement en eau perdue est un poste très consommateurs d'eau, ce qui justifie le plus souvent l'installation d'échangeurs reliés par un fluide frigorigène un groupe de froid.



Photo 11. Système d'enrouleur avec un dispositif d'arrêt automatique, Photo J. Rochard.

+ Caniveaux de sol

Le nettoyage du sol représente une part significative de la consommation d'eau globale ; il est donc important d'optimiser la conception des caniveaux et de choisir le revêtement le plus adapté (Fig. 28). Concernant le revêtement du sol, parallèlement à la facilité de nettoyage, le risque de glisse doit être pris en considération. Bien souvent, un compromis dépendant de la pente, de la fréquence des nettoyages ou des passages, doit être trouvé.

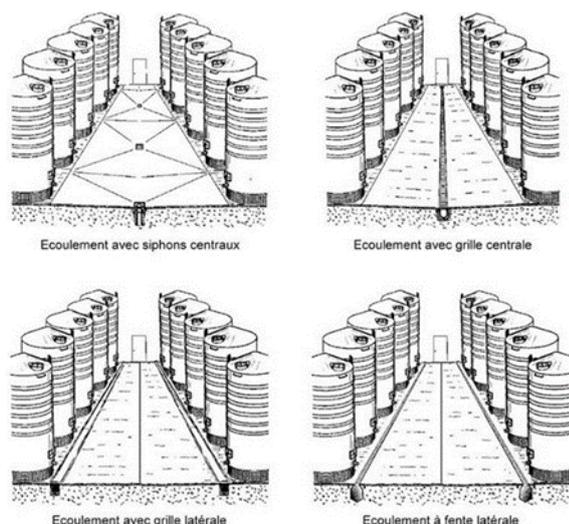


Figure 28. Différents types d'écoulement dans une Cuvierie d'après J. Rochard.

+ Refroidissement des moûts en fermentation

La maîtrise des températures au cours de la fermentation alcoolique des vins blancs est encore parfois réalisée par simple ruissellement d'eau. Le potentiel de refroidissement de l'eau est important lorsque celle-ci se volatilise (environ 600 cal/g), mais d'un point de vue pratique, compte tenu de la faible ventilation des cuvieries intérieures, l'hygrométrie ambiante dépasse généralement 95 % et dans ces conditions, l'évaporation intervient peu. Ainsi, le refroidissement intervient uniquement par transfert thermique, ce qui conduit à une consommation en eau importante (500 à 1000 litres par hectolitre de vin). L'installation d'échangeurs thermiques internes (drapeaux) ou externes (ceintures) permet de résoudre ce problème de rejet tout en augmentant l'efficacité de la maîtrise des températures.

5 Traitement des effluents de cave

+ Impacts

La pollution contenue dans les effluents de cave provient soit des composants-mêmes du raisin, du moût, ou du vin (pellicule, rafle, terre, sucre, acides, bourbes, alcool, polyphénols, levures, bactéries), soit des produits de détartrage et de nettoyage, soit encore de produits intervenant dans la vinification (média filtrant, colle, par exemple). Pour l'ensemble de ces effluents, la matière organique représente la principale source de pollution.

De même, ponctuellement, des cas de pollution liés à des effluents toxiques peuvent être rencontrés (produits de nettoyage, de détartrage). Les rejets issus des pressoirs et des caves sont susceptibles de perturber l'équilibre biologique des rivières, en particulier pendant la période des vendanges. La lutte contre la pollution dans le domaine vinicole repose sur deux démarches complémentaires. En amont, une adaptation du processus d'élaboration doit être mise en œuvre pour réduire la charge polluante et assurer une gestion optimale de l'eau. En aval, le traitement des effluents de cave, réalisé individuellement ou collectivement, peut être envisagé avec plusieurs techniques : évaporation, épandage, dispositifs biologiques.

La matière organique issue des eaux usées, lorsqu'elle est rejetée en grande quantité dans une rivière, un étang ou un lac, engendre la multiplication de micro-organismes qui assurent sa dégradation. Les micro-organismes puisent l'oxygène dissous dans l'eau, au détriment de la faune et de la flore du milieu naturel. Par ailleurs, les matières en suspension des rejets limitent le passage de la lumière solaire indispensable à la photosynthèse, source d'oxygénation du milieu (Fig. 29). Ces impacts environnementaux peuvent conduire à la mobilisation locale des associations de pêcheurs ou de protection de la nature ainsi que celle des collectivités territoriales, en particulier lorsque les rejets peuvent déstabiliser le fonctionnement des stations d'épuration domestiques pendant la période de vendanges et de vinification. En effet, le plus souvent, les effluents vinicoles sont rejetés dans une station d'épuration qui n'a pas été dimensionnée afin de pouvoir traiter le surcroît de pollution due aux vendanges (augmentation de la population des villages, effluents des vendangeoirs).

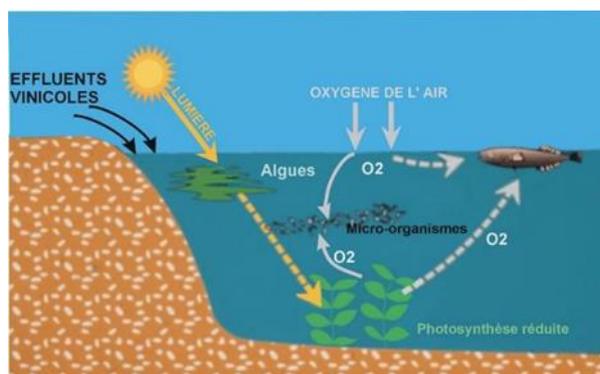


Figure 29. Impact des effluents de cave sur un milieu aquatique d'après J. Rochard.

+ Traitements classiques

La lutte contre la pollution dans le domaine vinicole repose sur deux démarches complémentaires. En amont, une adaptation du processus d'élaboration doit être mise en œuvre pour réduire la charge polluante et assurer une gestion optimale de l'eau. En aval, le traitement des effluents de cave, réalisé individuellement ou collectivement, peut être envisagé avec plusieurs

techniques : évaporation, épandage, dispositifs biologiques (Fig. 30). Dans le cas de traitements biologiques classiques, la transformation de la matière organique s'appuie sur le développement de micro-organismes. Les mécanismes se déroulent avec apport d'oxygène (système aérobie) ou en milieu anaérobie (méthanisation) [7].

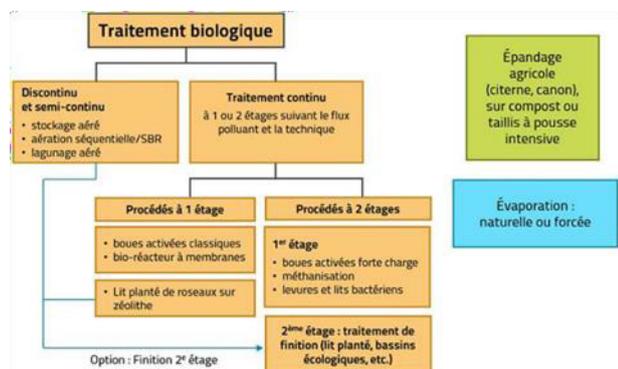


Figure 30. Principales filières d'épuration des effluents de caves d'après J. Rochard, schéma www.groupe-esa.com.

+ Nouvelles approches écologiques du traitement

- Contexte

Jusqu'à présent, les procédés de traitement les plus utilisés, au-delà de l'épandage et de l'évaporation, étaient basés sur des développements technologiques de procédés aérobie et dans une moindre mesure anaérobie. Les recherches actuelles ont pour objectif d'intégrer les orientations de développement durable dans le fonctionnement du dispositif de traitement. Ainsi le traitement des effluents doit intégrer différentes orientations : faible consommation d'énergie et limitation des déchets (boues) de plus en plus difficile à gérer par voie agronomique. En complément, en liaison avec le concept d'éco-œnotourisme, une intégration harmonieuse de dispositif peut être envisagée, qui associe à la fois une limitation des nuisances olfactives et sonores, une valorisation paysagère et éventuellement de la biodiversité dans l'environnement de la cave [8].

Les systèmes écologiques, qui s'inspirent des écosystèmes de milieux humides, s'intègrent dans la diversité des dispositifs de traitement des effluents de cave. Leur conception rustique, la simplicité de gestion, la faible consommation énergétique, la valorisation paysagère sont autant d'arguments qui intéressent les professionnels désireux de développer des démarches durables vis-à-vis des effluents de cave. Au-delà de la dimension esthétique, il est possible d'envisager de recréer des zones humides artificielles qui valorisent la biodiversité locale [9]. Par ailleurs, une perspective de raréfaction de la ressource en eau semble se dessiner dans de nombreuses régions, en liaison avec les changements climatiques. Cette contrainte pourrait conduire dans l'avenir à un renforcement de la réglementation

concernant la réutilisation de l'eau issue des traitements notamment pour alimenter des dispositifs de refroidissement ou d'irrigation.

Le traitement de finition avec des lits plantés de roseaux sur sable est maintenant développé pour la plupart des nouvelles installations. Des développements plus novateurs par traitement direct sur zéolite, qui limitent considérablement le volume du bassins en amont, offrent des perspectives intéressantes pour l'avenir, en particulier avec un probable renforcement des conditions de rejets vers le milieu naturel et dans la perspective d'un développement du recyclage de l'eau.

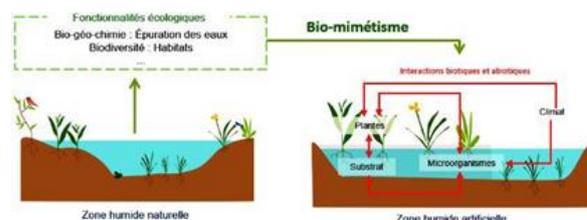


Figure 31. Comparaison d'une zone humide naturelle par rapport un dispositif artificiel. Source www.blue-set.com.

- Principe de la phytoremédiation

L'épuration par le sol est un mécanisme utilisé depuis longtemps, notamment par la technique d'épandage des effluents. Une autre approche consiste à utiliser le principe d'épuration naturelle des zones humides lié à des plantes dotées d'un fort potentiel racinaire et adaptées à des alternances de conditions sèches et humides (Fig. 31). Certaines de ces plantes, en particulier les roseaux (*Phragmita Australis*), assurent parallèlement un transfert d'oxygène dans le sol par l'intermédiaire de la tige. Le dispositif de traitement reproduit le processus naturel d'épuration de l'eau dans les marais, dans lesquels les eaux usées sont naturellement préfiltrées et débarrassées des particules solides, puis subissent des mécanismes naturels physiques, chimiques et surtout biologiques. Le processus global a pour effet de dégrader les matières organiques, de transférer vers les feuilles les composés métalliques, de filtrer et de réduire sensiblement les germes pathogènes des eaux usées (Fig. 32).

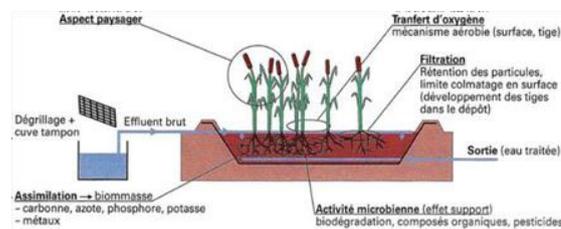


Figure 32. Principe de fonctionnement d'un dispositif de traitement écologique des effluents par lit planté de roseaux, d'après J. Rochard.

Parallèlement à sa fonction épuratoire, l'implantation d'un système écologique peut s'intégrer dans une démarche paysagère et de biodiversité dans l'environnement de la cave et servir de support à une démarche d'éco-œnotourisme (Fig. 33).



Figure 33. Un exemple de valorisation écologique (biodiversité, paysages) du traitement des effluents de cave par lit plante de roseaux (dispositif Blueset en cours d'installation à la coopérative de Buzet dans le sud-ouest de la France).

L'approche classique du traitement par lit planté sable en finition suppose de conserver un bassin d'aération en amont, d'un volume de stockage et traitement assez important, consommateur d'énergie, et l'origine de sources potentielles de nuisances olfactives et visuelles. Cette contrainte à orienter la recherche vers des dispositifs de « traitement direct » des effluents, sans ou avec un petit stockage tampon préalable), qui suppose, bien évidemment, une rigueur dans la cave, pour limiter les volumes, la charge et la concentration polluante.

Une piste d'optimisation du procédé consiste à utiliser la zéolite, matériau très adsorbant, comparativement au sable ou gravier des filtres traditionnels. Une centaine de dispositifs Zeofito®, développés par www.amethyst.it (Photo 12) sont maintenant installés, majoritairement en Italie, avec des objectifs diversifiés : traitement complet des effluents caves, éventuellement associé à des effluents urbains de la zone oenotouristique, avant rejet vers le milieu naturel, ou partiel vers une station d'épuration domestique, épuration de finition pour des stations existantes, dont le fonctionnement n'est pas optimal, ou qui s'orientent vers une réutilisation de l'eau, notamment pour des bassin d'agrément, des dispositifs de refroidissement ou de l'irrigation).

LA ZEOLITHE UTILISEE PAR LES MAYAS POUR PURIFIER L'EAU

La zéolite est reconnue depuis longtemps comme un minéral possédant d'excellentes propriétés d'adsorption. Il y a environ 2700 ans, les ingénieurs grecs et romains utilisaient des zéolites comme pouzzolane dans le ciment dans la construction de structures hydrauliques à grande échelle, telles que des aqueducs, des ponts, des barrages et des ports. Des recherches récentes ont souligné que ce matériau était également utilisé par la civilisation Maya antique au Guatemala, il y a probablement 1000 ans avant J.-C.,

pour purifier l'eau stockée dans des réservoirs. Ce matériau est utilisé comme substrat de lits plantés de roseaux, avec une possibilité de traitement direct des effluents de cave (procédé Zeofito®) [10] (Fig. 34 et Photo 12).



Photo 12. Une zéolite est une roche formée d'un squelette microporeux d'aluminosilicate, dont les espaces vides permettent d'optimiser l'adsorption et les processus de biodégradation du système racinaire des roseaux. Source www.amethyst.it.

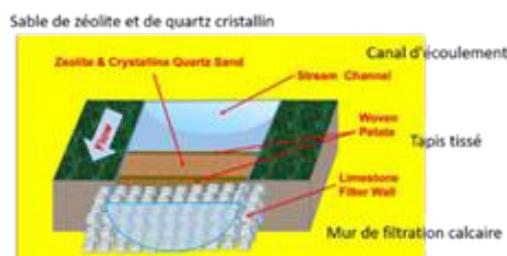


Figure 34. Ancien système de purification de l'eau à Tikal au Guatemala. Le système de filtration, sur sable à cristaux de quartz et zéolite, est positionné juste en amont ou dans l'entrée du réservoir. K. Barnett Tankersley et col.



Photo 13. Traitement des effluents par lit planté de roseaux sur support de zéolithes avec le dispositif Zeofito ® (cave Baroli dans le Piémont italien). Le dispositif de traitement, sans nuisances, est implanté directement dans le circuit de visite, à proximité de la cave.

Parallèlement aux aspects techniques, il est également important d'intégrer la réticence potentielle de certains professionnels et consommateurs, vis-à-vis de la réutilisation des eaux usées pour la production agricole et viticole. Ainsi, les systèmes de phytoremédiation, qui complètent avantageusement les dispositifs de traitement classiques, peuvent conforter la fiabilité objective et subjective des techniques mises en œuvre.

5 Environnement de la cave

Au-delà du bâtiment lui-même il est important d'intégrer dans la démarche, écologique, l'environnement de la cave aussi bien vis-à-vis du voisinage que des œnotouristes. Paysages, biodiversité, accessibilité pour les personnes à mobilité réduite, activités et zones pour les enfants et différent aspect liée au développement durable doivent notamment s'intégrer dans le projet.

+ Parking

Un stationnement végétalisé, associé à des systèmes qui assurent une bonne portance (caillebotis, pavés, etc.), permet à l'eau de s'infiltrer, puis d'être filtrée et purifiée naturellement par le sol. Ces dispositifs présentent plusieurs avantages :

- Lors de **fortes précipitations**, l'eau de pluie s'infiltrer dans le sol et ne surcharge pas le réseau pluvial, ce qui limite le risque d'inondations, amplifié par l'augmentation des surfaces imperméabilisées.
- Les stationnements végétalisés luttent **contre la baisse du niveau d'eau** des nappes phréatiques locales en absorbant l'eau.
- Les précipitations ne ruissellent pas sur des sols **imperméables « sales »**, qui se **chargent de particules polluantes** (hydrocarbures, solvants, huiles de moteurs, carburants...) avant d'arriver dans les réseaux collecteurs ou les cours d'eau.
- Les surfaces perméables **sont plus humides** et participent à l'évapotranspiration du sol, **réduisant l'augmentation thermique** (effet d'îlot thermique) et apportent ainsi un plus grand confort pour le personnel et les visiteurs.
- Les parkings enherbés contribuent à la qualité des aménagements des espaces extérieurs en augmentant la présence du végétal en milieu construit ; ils ont donc un **rôle esthétique et de biodiversité**.

Le stationnement de la voiture, en conditions très chaudes, contribue à un effet de serre à l'intérieur du véhicule, désagréable pour les occupants et qui accentue les besoins de climatisation. Il est possible de mettre en œuvre un système d'ombrage, notamment avec une pergola (Photo 13) ou des abris qui peut éventuellement être recouvert de panneaux solaires.



Photo 14. Ombrage d'un parking avec une pergola de vignes (Bodega Casa Madero au Mexique). Photos J. Rochard.

+ Bassin d'agrément

Autrefois présents majoritairement dans les parcs des châteaux, ces bassins s'intègrent de plus en plus dans une vision écologique et contemplative de l'architecture. Avec les doux clapotis d'un jet d'eau, d'une fontaine, d'une cascade ou de vasques, la fraîcheur environnante, le bassin est un lieu particulièrement apprécié, aussi bien par les adultes que les enfants. Bien évidemment, ce bassin doit être alimenté si possible par la récupération des eaux de pluie ou la réutilisation des effluents de cave, en particulier avec l'utilisation d'un système de traitement écologique (Photo 14), En complément, il est possible d'intégrer une zone humide artificielle, support d'un écosystème, avec une très grande richesse floristique et faunistique. Bien évidemment, les contraintes (risques de noyade notamment pour les enfants, présence de moustiques, risque de mauvaises odeurs, si l'eau n'est pas suffisamment purifiée) doivent être intégrées aussi bien pour la conception que pour le fonctionnement.

6 Conclusion

La construction d'une cave et le choix des équipements associés à la conception de l'ouvrage, supposent une réflexion approfondie concernant notamment les aspects économiques, fonctionnels, qualitatifs et liés à la sécurité des utilisateurs. En complément, les aspects paysagers et liés à la biodiversité, valorisent l'image environnementale de la cave et des vins [9].



Photo 15. Bassin d'agrément et zone humide créée en lien avec le traitement des effluents de cave au Château Smith Haut Lafitte dans le bordelais, photo J. Rochard.

Par ailleurs, la réglementation et les normes évoluent rapidement, ce qui justifie d'anticiper les exigences liées à la durabilité, afin d'éviter au cours des prochaines années des modifications de mise aux normes coûteuses. Jusqu'à présent, les aspects énergétiques n'étaient pas une préoccupation majeure de la filière viticole. Force est de constater que nous entrons maintenant dans une période conflictuelle d'épuisement des énergies fossiles, avec parallèlement une pression de plus en plus forte pour réduire l'impact effet de serre. Pour toutes les caves, il convient dans un premier temps de cerner quantitativement les consommations par type d'activité et d'estimer les besoins globaux de la filière (directs et indirects) et si possible de déterminer l'impact environnemental de cette gestion thermique. La conception optimale des bâtiments, avec une bonne isolation, éventuellement complétée de dispositifs écologiques (toits ou murs végétalisés etc.) et des énergies alternatives (solaire, géothermie, puits canadien, biomasse etc.) s'intègre dans cette dynamique de conception écologique des caves. Parallèlement, la filière viticole constitue un gisement important de sous-produits et de déchets organiques. Une valorisation optimisée sous l'angle énergétique peut être envisagée.

La gestion de l'eau doit également être associée à une conception écologique de la cave. Le vieil adage : « *Il faut utiliser beaucoup d'eau pour faire du bon vin* », témoigne de l'importance de l'eau pour toutes les opérations liées à l'hygiène des chais. Mais dans beaucoup de régions, la disponibilité en eau a tendance à diminuer et ce phénomène pourrait s'accroître avec les changements climatiques et l'augmentation de la demande mondiale (domestique, agricole et industrielle), ce qui justifie de développer une stratégie de réduction de la consommation, également motivée par une mise en œuvre plus aisée du dispositif de traitement des effluents. La conception des sols, les performances des dispositifs de nettoyage et de refroidissement ainsi que la formation et la sensibilisation du personnel, sont autant d'aspects à intégrer dans la gestion des caves, avec un processus de management environnemental basé sur une recherche d'amélioration continue. Concernant les effluents de cave, les techniques de phytoremédiation se développent progressivement, et en particulier les lits plantés de roseaux sur support de sable, en complément de traitements classiques, ou sur zéolithe, avec pour cette dernière technique, la possibilité d'éviter les bassins aérés en amont. La conception rustique, la simplicité de gestion, la faible consommation énergétique, la valorisation du paysage et la biodiversité locales, sont autant d'arguments qui intéressent les professionnels désireux de développer des démarches durables vis-à-vis des effluents de cave. Par ailleurs, l'utilisation de ces systèmes écologiques, avec un fort potentiel d'élimination des micropolluants et des germes pathogènes, permettra progressivement d'envisager la

réutilisation des effluents, après traitement, notamment pour l'irrigation. Néanmoins, comme tout système écologique, la vision doit être globale. Ainsi, le choix de ce type de traitement impose en amont une gestion optimale de l'eau et des sous-produits (bourbes, lies, solution d'arrachage, terres de filtration, etc.).

Références

1. J. Rochard, Conception d'un chai de vinification, Revue des œnologues n° spécial 113 (2004)
2. J. Rochard, Traité de viticulture et d'œnologie durables, éditions Avenir œnologie (2005)
3. J. Rochard, Gestions optimales de la qualité de la quantité d'eau dans les caves, Revue des œnologues n° 182 Janvier (2022)
4. B. Peuportier, Eco-conception des bâtiments et des quartiers Editions Eyrolles, Collection Sciences de la terre et de l'environnement (2008)
5. D. Marengo, J. Rochard, E. Carosso, Besoins thermiques d'une cave, Revue des œnologues, numéro spécial 145, novembre (2012)
6. J. Rochard, Optimisation thermique de bâtiments vinicoles, Revue française d'œnologie numéro 295 sept- oct (2019)
7. F. Jourjon, Y. Racault, J. Rochard, Effluents vinicoles, gestion et traitements, Editions Féret (2001)
8. J. Rochard, Innovation environnementale dans la gestion des effluents de cave : application des lits plantés de roseaux, 32^e OIV Congress, Bulgaria, Zagreb, Croatie (2017)
9. J. Rochard, R. Wang, A. Alary, A. Y. Lecuona, Y. P. Philippe., Ingénierie écologique appliquée aux effluents vinicoles : exemple du dispositif de BlueSET phytostation® dans la cave « Les Vignerons de Buzet ». 41^{ème} Congrès Mondial de la Vigne et du Vin (2018) https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/full_html/2019/01/bioconf-oiv2018_02002/bioconf-oiv2018_02002.html
10. J. Rochard, A. Oldano, D. Marengo, Ecoconception des caves : réduction de la consommation d'énergie et intégration paysagère du traitement des effluents de cave avec le dispositif de lit plante de roseaux sur support de zéolithe Zeofito® (2009). https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2019/04/bioconf-oiv2019_02002.pdf
11. J. Rochard, Perspectives de réutilisation des effluents de cave, Revue des œnologues numéro spécial 181, novembre (2021)
12. J. Rochard, Principe et application de l'éco-œnotourisme, 43^e congrès de l'OIV Mexico, 2022, www.bio-conferences.org (à paraître)
13. J. Rochard, traité de viticulture et d'œnologie durable, Editions avenir œnologie (2005)