

La Viticulture des lumières

The Viticulture of enlightenment

(translation in English following in italics)

Laurent Torregrosa* & Alain Carbonneau**

(laurent.torregrosa@supagro.fr)* & (ma2.carbonneau3@orange.fr)**

Suite à la chronique 'Peut-on vraiment offrir du Bio ?', cette nouvelle note examine les possibilités offertes dans la lutte contre les parasites fongiques par des **traitements qui sont exempts de trace ou de résidu de produit chimique**, et qui sont de ce fait susceptibles d'accomplir véritablement un cahier des charges 'Bio'. Actuellement on peut mentionner les effets de certaines lumières – les **ultraviolets** – utilisés directement ou indirectement pour la production d'**ozone**. Ceci peut-il permettre la naissance d'une nouvelle Viticulture qui pourrait être alors qualifiée de 'Viticulture des lumières' ? Dans la mesure où le spectre lumineux considéré est celui des ultra-violets, on pourrait également écrire : 'L'Ultra-Violet pour une Ultra-Viticulture ?'.

*Following the previous chronicle 'Can we really offer organic?', this note examines the opportunities offered to control fungal parasites by **treatments which are free of trace or residue of chemical product**, and which are therefore likely to achieve 'organic' specifications. Currently, we can mention the effects of certain light radiations - **ultraviolet rays** - used directly or indirectly for the production of **ozone**. Can this allow the birth of a new viticulture which could then be qualified as "Viticulture of enlightenment"? Insofar as the light spectrum considered is that of ultra-violets, one could also write: "Ultra-Violet for Ultra-Viticulture?".*

Bilan des connaissances / Knowledge review

Rappelons d'emblée les informations de base sur les **ultraviolets**.

*Let's start with the basic information about **UV rays**.*

Les trois classes de rayonnement ultraviolet et leurs effets biologiques généraux

-UV-A (400-315 nm) : Ce sont les moins énergétiques ; ils représentent près de 95 % du rayonnement UV qui atteint la surface de la Terre. Ils peuvent pénétrer dans les couches profondes de la peau et sont responsables de l'effet de bronzage immédiat, également du vieillissement de la peau en perturbant l'équilibre des synthèses de protéines ; dans les cellules ils sont à l'origine de la production de radicaux libres, très dommageables pour celles-ci ; ils favorisent l'émergence de cancers de la peau, mais avec un effet bien moindre que les UV-B.

-UV-B (315-280 nm) : De longueur d'onde moyenne, ils sont en partie filtrés par l'atmosphère ; ils ont une activité biologique importante et peuvent être des agents mutagènes ; mais chez

l'homme, ils ne pénètrent pas au-delà des couches superficielles de la peau où ils sont relativement absorbés par la mélanine ; ils sont responsables du bronzage et des brûlures à retardement ; ils sont capables de produire de grandes quantités de radicaux libres oxygénés dans les cellules de la peau, responsables à court terme des coups de soleil et de l'inflammation ; outre ces effets à court terme, ils favorisent le vieillissement de la peau en abîmant les fibres de collagène, et l'apparition de cancers cutanés car même si les UV-B représentent une minorité de la lumière qui atteint la surface de la Terre ; en revanche, ils peuvent être bénéfiques pour certains types de pathologies de la peau tels que le psoriasis, et sont également importants pour la synthèse de vitamine D.

-UV-C (280-100nm) : Les UV-C, de courte longueur d'onde, sont les UV les plus énergétiques ainsi que les plus nocifs, mais ils sont complètement filtrés par la couche d'ozone de l'atmosphère et n'atteignent donc théoriquement pas la surface de la Terre ; ils sont utilisés en laboratoire (lampes LED UV-C) pour leurs effets germicides afin de stériliser des pièces ou des appareils, ou pour potabiliser de l'eau ; leur utilisation requiert des protections afin d'éviter des lésions oculaires ou dermatologiques. Le spectre des UV-C est constituée de trois sous-bandes : UV-C de 280 à 230 nm ; V-UV de 200 à 140 nm (UV se propageant uniquement dans le vide) ; X-UV de 140 à 100 nm (proches de celles des rayons X et les plus agressives).

Sur Vigne. Les vignobles d'altitude à plus de 2000 m sont soumis à des flux d'UV significativement plus importants, notamment en UVB que la plupart des vignobles. Certaines particularités y sont associées (figure 1).



Figure 1. Riesling taillé en 'cor de chasse' ou en 'courcée'. Valle del sol dans le Boyaca (Colombie). La haute altitude (2500-3000m) sous latitude tropicale induit un flux important de radiations ultra-violettes. Les feuilles de vigne présentent souvent un aspect gaufré 'peau de crapaud' nettement prononcé (Alain Carbonneau, observation personnelle).

Figure 1. Riesling pruned to 'hunting horn' or 'courcée'. Valle del sol in Boyaca (Colombia). The high altitude (2500-3000m) under tropical latitude induces an important flux of ultra-

violet radiations. Grapevine leaves often display a distinctly pronounced 'toad skin' embossed appearance (Alain Carbonneau, personal observation).

En Colombie dans le département de Boyaca et la 'valle del sol', Marco Quijano scientifique biochimiste de renom et pionnier de la Viticulture dans sa région (domaine Marqués de Puntalarga), constate que l'effet terroir a ici un facteur additionnel : la luminosité avec six fois plus d'intensité de radiation UV qu'à Bordeaux, par exemple. Cela est dû à la combinaison de deux paramètres : l'altitude élevée et la faible latitude due à la proximité avec l'équateur. Dans les vins de Riesling, Sylvaner ou Pinot noir, les taux de resvératrol, antioxydant puissant, sont parmi les plus importants au monde. Certains arômes semblent aussi plus abondants comme ceux de la famille terpénique ou certains qui rappellent le caractère boisé. En outre, un certain nombre de travaux ont été réalisés pour objectiver les effets des UV sur le développement de la vigne et la composition des raisins (Martinez-Luscher, 2014).

L'utilisation directe des UV ou indirecte via l'ozone repose sur leurs effets biologiques nocifs contre les parasites, les ravageurs ou certains microbes indésirables. Mais avant d'aborder ces aspects qui sont au cœur de la Viticulture biologique, il est intéressant de rappeler que les effets des UV sur les vins ont été particulièrement étudiés de façon approfondie au niveau de l'apparition des '**goûts de lumière**' dans certains Champagnes. Ce phénomène est maintenant bien connu et peut être ainsi résumé.

The direct use of UV or indirect through ozone is based on their harmful biological effects against parasites, pests or certain unwanted microbes. But before addressing these aspects which are at the heart of organic viticulture, it is interesting to remember that the effects of UV on wines have been particularly studied in depth through the presence of 'light tastes' in some Champagnes. This phenomenon is now well known and can thus be summarized.

Alain Maujean avec son équipe de l'Université de Reims a élucidé le phénomène en coopération avec le CIVC. L'exposition à la lumière d'un vin peut induire des goûts de chou-fleur cuit ou de laine mouillée. Les responsables sont des composés soufrés. Il est facile de confondre cette odeur (et non ce goût) avec celui de la réduction. Ce défaut est progressif : comme avec les 'goûts' de bouchon, on observe d'abord un masque aromatique, puis une perte de arômes fruités. Enfin, à plus haute concentration, on va ressentir les mauvaises odeurs. Les 'goûts de lumière' s'accompagnent souvent d'une décoloration du vin. Ils touchent essentiellement les vins effervescents et blancs, mais concernent aussi les rosés et, dans une moindre mesure, les vins rouges, mieux protégés par leurs tanins. Leur formation résulte d'une action de la lumière sur la riboflavine ou vitamine B2 qui est présente dans le vin. Elle est sensible à deux longueurs d'onde : 375 nm dans les UV-A et 446 nm dans le visible (lumière bleue). Ces longueurs d'onde sont émises par la lumière solaire et la plupart des tubes fluorescents. Quand elle est éclairée, la riboflavine (vitamine B2) devient instable. Pour retrouver son état initial, elle transfère son énergie à d'autres molécules, notamment à des acides aminés : la méthionine va évoluer en composés donnant des arômes de chou, et le tryptophane et le lysozyme vont donner des composés à odeur de naphthaline ou de laine mouillée. L'irradiation de la riboflavine porte également atteinte aux esters aromatiques responsables d'arômes fruités, et entraîne une baisse de la couleur et de l'astringence par

polymérisation des polyphénols. A priori il convient *donc d'éviter toute exposition à certaines longueurs d'onde, des UV-A en particulier.*

Nous analyserons les possibilités offertes par des traitements directs avec certains types d'**ultraviolets**, puis ceux de l'**ozone**. Mais au préalable, quel lien entre l'ultraviolet et ce gaz ? Tout simplement sa genèse : voir le rappel ci-après.

We will analyze the possibilities offered by direct treatments with some types of ultraviolet, then with ozone. But first, what is the link between ultraviolet and this gas? Quite simply its genesis: see the reminder below.

Formation de l'ozone. Le rayonnement UV (avec une énergie du photon supérieure à 5 électronvolts) peut dissocier les molécules d'oxygène O_2 de l'atmosphère en deux atomes libres O : $[O_2 + (UV) \rightarrow O + O]$; ceux-ci réagissent sur la molécule O_2 en présence d'une autre molécule M pour former l'ozone ou trioxygène O_3 : $[O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M]$. Il s'agit ici du processus naturel, mais les procédés industriels s'en inspirent.

Effets généraux. L'ozone présente de nombreuses applications dans le milieu professionnel. Il sert à la désinfection des eaux d'égout et de piscine, au blanchiment des fibres textiles ou de pâte à papier, à la conservation de denrées alimentaires et à la stérilisation du matériel ; sont exposés à des risques d'irritation des yeux ou de diminution des fonctions respiratoires, ceux qui travaillent dans les imprimeries lasers, qui effectuent des soudures à l'arc ou qui utilisent des ultra-violets pour sécher des vernis.

Sur plante. L'impact de l'ozone sur les processus photosynthétiques et photorespiratoires au cours du développement foliaire a été montré ; les interconnexions entre le métabolisme carboné primaire et ceux de l'azote sont aussi affectées ; la sensibilité des tissus photosynthétiques à l'ozone évolue avec le développement ; une étude approfondie de ces effets a été réalisée sur le peuplier par Matthieu Bagard à l'université de Nancy.

Sur Vigne. L'ozone peut provoquer certaines nécroses chez des plantes (figure 2). Dans le cas de la vigne les feuilles présentent des symptômes de petites taches noires nécrotiques sur le limbe (Carbonneau, observation en 1974 sur Concord et hybrides dans la région des grands lacs à proximité de sites industriels polluants de Buffalo).



Figure 2. Symptômes de dégâts d’ozone sur feuilles de soja, jaunissement et ponctuations nécrotiques noirâtres) similaires à ceux que l’on peut observer sur vigne (In : A. Carbonneau et MA. Carbonneau ‘Risques de dégâts sur la vigne liés à des pollutions atmosphériques’, dossier AREVA Malvesi Narbonne).

Figure 2. Symptoms of ozone damages on soybean leaves, yellowing and blackish necrotic pits) similar to those that can be observed on vines (In: A. Carbonneau and MA. Carbonneau 'Risks of damages to vines linked to atmospheric pollution ', AREVA Malvesi Narbonne file).

Recherches en cours / Current research

Sur les bases précédentes, il est intéressant de tenter une synthèse résumée des recherches sur les effets des ultraviolets et de l’ozone sur les vignes et les vins, puis de dégager des pistes d’applications technologiques dans le cadre de la Viticulture Biologique, en faisant le bilan de leurs avantages et de leurs risques.

On the above bases, it is interesting to attempt a summary synthesis of researches on the effects of ultraviolet rays and ozone on vines and wines, then to identify avenues for technological applications in the context of organic viticulture, taking in account their benefits and risks.

Recherches sur les ultraviolets, la vigne et le vin / Research on ultraviolet light, grapevine and wine.

Au vignoble un programme est particulièrement avancé : celui de la lutte contre les parasites majeurs, l’oïdium notamment, par traitement des vignes au rayonnement UV. Grâce à notre collègue du GiESCO qui va organiser notre 22^{ème} congrès international à l’université Cornell d’Ithaca New York en juillet 2023, le Dr. Justine Vanden Heuvel, nous avons eu accès à un intéressant article de Sarah Thompson qui présente le travail de David Gadoury, directeur de Cornell AgriTech. Nous le rapportons intégralement ci-après. Le principe de base est que de petites doses d’UVB ou d’UVC suffisent à détruire l’ADN des parasites se développant à

l'extérieur des organes, sans impacter celui de la vigne ; également une stimulation des défenses naturelles de la vigne peut être attendue.

In the vineyard, a program is particularly advanced: that of the fight against major parasites, in particular powdery mildew, by treating the vines with UV radiation. Thanks to our colleague from GiESCO who will organize our 22nd international congress at Cornell University in Ithaca New York in July 2023, Dr. Justine Vanden Heuvel, we had access to an interesting article by Sarah Thompson which presents the work of David Gadoury, director of Cornell AgriTech. We report it in full below. The basic principle is that small doses of UVB or UVC are sufficient to destroy the DNA of parasites developing outside organs, without impacting that of the vine ; a stimulation of the natural defenses of the vine can also be expected.

Cornell chronicle:

By Sarah Thompson | May 2, 2019

UV light may be ripe to replace chemicals in fungus fight



Figure 3 (Provided). The Light and Plant Health project team, led by Cornell AgriTech's David Gadoury, has developed inexpensive, efficient lighting and delivery systems, such as low-tech tractor attachments, to treat plants with UV light.

Figure 3. L'équipe du projet Light and Plant Health, dirigée par David Gadoury de Cornell AgriTech, a développé des systèmes d'éclairage et de distribution peu coûteux et efficaces, tels que des accessoires de tracteur à faible technologie, pour traiter les plantes avec des rayons UV.

*Thanks to the work of an international, multidisciplinary team of researchers led by Cornell AgriTech's **David Gadoury**, farmers may no longer have to rely exclusively on fungicides to suppress destructive plant pathogens like powdery mildew.*



Figure 4 (Provided). David Gadoury, senior research associate at Cornell AgriTech, says that in three years of trials, UV light applications worked as well as or better than fungicides in killing powdery mildew fungus on field strawberries.

Figure 4. David Gadoury, chercheur associé principal chez Cornell AgriTech, affirme qu'en trois ans d'essais, les applications de lumière UV ont fonctionné aussi bien ou mieux que les fongicides pour tuer le champignon de l'oidium sur les fraises des champs.

Over the last five years, the Light and Plant Health project team has refined the science and applied technology behind using ultraviolet (UV) light to kill the fungi that causes powdery mildew (PM), opening the door for the technology's use to control other plant pathogens.

*"In more than three years of trials, UV light applications worked as well as or better than available fungicides, killing 95 percent of PM in field strawberries. We've seen similar results in field and greenhouse trials of basil, roses, grapes, strawberries, rosemary and cucumbers," said Gadoury, senior research associate in the Section of Plant Pathology and Plant Microbe-Biology, in the **School of Integrative Plant Science**.*



CORNELL
IMPACTS
NEW YORK STATE

Recent research from Gadoury's lab – in collaboration with the U.S. Department of Agriculture's Vitis Gen2 grape research project – indicates that UV light may also control downy mildew, one of the most destructive plant pathogens for a variety of plants.

*In research trials at **Cornell AgriTech** over the past few months, pretreatment of grapevines with UV light activated their natural resistance to infection, something that the downy mildew pathogen can usually evade. The research suggests that UV light pretreatments may boost overall plant defenses against pathogens.*

Controlling crop diseases is a complicated process of managing resistance to available treatments while fighting multiple pests on multiple fronts. Gadoury said that if farmers can knock out pathogens that are difficult to suppress with fungicides, they can more efficiently manage the remaining diseases and insect pests. Using UV light to do this allows growers to use fewer fungicides, preserve their effectiveness and see significant savings.

This option is especially critical for organic growers, who often have a more limited arsenal of control measures. And for high-value specialty crops like strawberries, grapes and greenhouse cucumbers – some of the most heavily treated with fungicides – using UV light could expand organic production.

The team's work is supported by a \$1.7 million Organic Agriculture Research and Extension Initiative grant from the USDA, as well as by major grants from the USDA Specialty Crop Research Initiative, the USDA Crop Protection and Pest Management program, and the National Research Council of Norway. The relationship between science and UV light technology is strikingly simple. Fungi have evolved light-sensing systems, which they use to control their development. They also have a system that rapidly repairs DNA damaged by constant exposure to UV light.

Eight years ago, project partners Arupillai Suthaparan and Arne Stensvand, at the Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), discovered that powdery mildew fungi shut down this repair mechanism at night. The researchers were then able to exploit this weakness, exposing fungi to a small amount of UV light at night – killing the pathogen without harming the plants.

Cornell AgriTech.

The Light and Plant Health project team, led by Cornell AgriTech's David Gadoury, has refined the science and applied technology behind using ultraviolet light to kill the fungi that causes powdery mildew, a fungus that affects nearly all crops.

To move this critical discovery out of the lab required the combined talents of a diverse project team from Cornell, the University of Florida Gulf Coast Research and Education Center, Rensselaer Polytechnic Institute, the USDA Agricultural Research Service Grape Genetics Research unit, the Norwegian University of Life Sciences and the National Institute of Bioeconomy Research in Norway.

The team has now defined UV light wavelengths and doses for a variety of crops and conditions while also developing inexpensive, efficient lighting and delivery systems, such as low-tech tractor attachments.

This year, farmers will have more chances to see the effects of UV light on crops. Working with leading growers and extension divisions across the U.S., the team will conduct nearly 20 trials with strawberries, squash, pumpkins, cucumbers, grapes, hops, basil and industrial hemp. In New York, the first commercial grapevine field trial will run in Hammondsport, New York, at Bully Hill Vineyards, which also is a sponsor and partner in related research at Cornell AgriTech.

“Sustainable viticulture is a foundation on which Bully Hill has built its success, and UV technology is a game changer for our spray program. We’re at the mercy of Mother Nature when applying fungicides, and powdery mildew is constantly evolving to combat the effectiveness of current formulations,” said Greg Taylor, director of sales and son of winery founder Walter Taylor. “We are also enthusiastic about the prospect of using UV technology against downy mildew. If commercially viable, this will only increase the technology’s value.”

NB. In addition (internet source: Entraid):

The use of UV rays to fight against fungal diseases in crops is being explored by several companies and research institutes. At the American University of Cornell AgriTech, the path followed is to perform the treatment at night. The fungi’s natural defense mechanism against UV is then inactive, because it takes sunlight to trigger it. Under these conditions, a low dose is sufficient, and the culture is not damaged.

To ensure this night treatment, which is unattractive for farmers or employees, the Norwegian manufacturer Saga Robotics has adapted its Thorvald agricultural robot to this function. UV rays are effective on strawberries, greenhouse vegetables and vines, against powdery mildew and downy mildew. They also destroy the eggs of pest insects. However, the treatment should be repeated every week.

The commercial launch of the special vine Thorvald is scheduled for the end of 2020. Secondly, the Cornell AgriTech researchers hope to visually detect the onset of diseases, to only treat the affected parts with UV.



Figure 5 (Entraid). Here at work on strawberries, the Thorvald robot should soon arrive in a vine configuration. It applies UV at night to fight against powdery mildew and downy mildew. You have to use it quite often, hence the idea of a robot.

Figure 5. Ici au travail sur les fraises, le robot Thorvald devrait bientôt arriver en configuration vigne. Il applique des UV la nuit pour lutter contre l'oïdium et le mildiou. Il faut l'utiliser assez souvent, d'où l'idée d'un robot.

Il s'agit donc de résultats extrêmement intéressants pour limiter le développement de l'oïdium chez la vigne. Outre les recherches de Dave Gadoury (Gadoury *et al.*, 2012 ; Suthaparan *et al.*, 2013), signalons que d'autres équipes adoptent des approches similaires, comme par exemple en France le programme 'UV boosting' et son robot Hélios 2R. Cependant, il faut noter que tous les pathogènes ne sont pas des ectoparasites. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour apprécier le spectre d'action de l'exposition aux UV et aussi pour apprécier la faisabilité des applications et leur efficacité dans les conditions de champ.

These are therefore extremely interesting results for limiting the development of powdery mildew in vines. In addition to the research of Dave Gadoury (Gadoury et al., 2012 ; Suthaparan et al., 2013), it should be noted that other teams are adopting similar approaches, for example in France the "UV boosting" program and its robot Hélios 2R. However, it should be noted that not all pathogens are ectoparasites. Further work is needed to assess the action spectrum of UV exposure and also to assess the feasibility of applications and their effectiveness under field conditions.

De plus, il est intéressant de citer d'autres méthodes de lutte physique (en rappelant au passage l'élimination mécanique des mauvaises herbes) ; en particulier dans la lutte contre les **insectes**, grâce au recours à plusieurs technologies dont certaines mettent en œuvre des méthodes actives : les chocs thermiques, les radiations électromagnétiques (micro-ondes, radio-fréquences, infrarouge), les chocs mécaniques et la lutte pneumatique (soufflage/aspiration). Au vignoble, le seul type de méthode physique qui paraît exempt d'effets néfastes est l'*aspiration des insectes*. Enfin, au champ, l'utilisation de barrières physiques est la seule méthode passive disponible contre des animaux de grande taille.

*In addition, it is interesting to mention other methods also based on physical factors (remembering at the occasion the mechanical elimination of weeds); in particular for the control of **insects**, thanks to the use of several technologies, some of which using active approaches: thermal shocks, electromagnetic radiations (microwaves, radio-frequencies, infrared), mechanical shocks and pneumatic control (blowing / suction). In vineyard conditions, the only type of physical method that appears to be free of harmful effects is the aspiration of insects. Finally, in field conditions, the use of physical barriers is the only passive method available against large animals.*

Au niveau des **vins**, on peut attendre des effets de *stérilisation* par traitement UV, ce qui ouvre la voie à de véritables 'vins nature' sans SO₂. Des essais sont en cours avec le double objectif de vérifier l'efficacité de la méthode et d'examiner les effets sur la composition biochimique et organoleptique des vins.

For **wine processing**, we can expect sterilization effects by UV treatment, which opens the way to real "natural wines" without SO₂. Tests are underway with the dual objective of verifying the effectiveness of the method and examining the effects on the biochemical and organoleptic composition of the wines.

Recherches sur l'ozone, la vigne et le vin / *Research on ozone, grapevine and wine.*

Des recherches sur les effets de *pulvérisation d'eau ozonée* sur la vigne sont finalement relativement nombreux, en particulier aux USA, en Italie, en Espagne et en France (figure 6). Voici un résumé de l'état de l'art.

Research on the effects of spraying ozonated water on vines is finally relatively numerous, in particular in the USA, Italy, Spain and France (figure 6). Here is a summary of the state of the art.



Figure 6. Générateur d'ozone et pulvérisateur d'eau ozonée utilisable au vignoble, en exposition à la foire de Saragosse.

Figure 6. Ozone generator and ozonated water sprayer for use in the vineyard, on display at the Zaragoza Fair.

Aux USA on note des résultats intéressants de pulvérisation d'eau ozonée dans la protection intégrée du vignoble (*Integrated Pest Management*) contre les parasites majeurs, en particulier dans les publications de Rumela Bhadra de l'université du Kansas. Un échange d'idées est également rapporté avec Wayne Wilcox, directeur du programme de Viticulture de l'université Cornell, dans lequel ce dernier souligne que les traitements à l'ozone peuvent assurer un contrôle effectif de l'oïdium, car ils agissent à la surface des tissus ; en revanche, ils ne sont pas potentiellement efficaces contre les parasites qui se développent à l'intérieur des tissus comme le mildiou, le black rot ou le bitter rot.

In the US there are interesting results of spraying ozonated water (Integrated Pest Management) against major pests, in particular in the publications of Rumela Bhadra of the University of Kansas. An exchange of ideas is also reported with Wayne Wilcox, director of the Viticulture program at Cornell University, in which the latter emphasizes that ozone treatments can provide effective control of powdery mildew, as they work to tissue surface; however, they are not potentially effective against parasites that develop inside tissues such as downy mildew, black rot or bitter rot.

NB. Il faut noter qu'en parallèle, l'eau électrolysée est également testée comme moyen de lutte contre les parasites. Au niveau de l'anode, le gaz chlore Cl_2 est généré à partir de l'ion chlore Cl^- ; l'acide hypochloreux HClO est généré lorsque Cl_2 réagit avec l'eau H_2O ; H_2O se décompose en oxygène O_2 et en ion hydrogène H^+ ; l'eau de l'anode est acide à pH3 maximum et le chlore disponible est de 20 à 60 mg/l. Au niveau de la cathode, H_2O se décompose en hydrogène H_2 et en ion hydroxyle OH^- ; l'hydroxyle de sodium NaOH est composé d'ion sodium Na^+ et d'ion hydroxyle OH^- ; l'eau de la cathode est alcaline.

Grâce à ses principes actifs, l'eau électrolysée agit comme désinfectant, essentiellement antibactérien. Ceci a des applications industrielles, domestiques et alimentaires ; mais dans le cas de la vigne son efficacité dans la protection contre les parasites cryptogamiques est moindre que celle de l'eau ozonée, ce qu'ont confirmé sur le terrain diverses équipes italiennes (voir ci-après).

Thanks to its active ingredients, electrolyzed water acts as a disinfectant, essentially antibacterial. This has industrial, domestic and food applications; but in the case of vines, its effectiveness in protecting against fungal pests is less than that of ozonated water, which has been confirmed in the field by various Italian teams (see below).

En Italie, les essais avec l'eau ozonée ont donné des résultats convergents. Le projet 'Zéro résidu' est conduit en Italie du nord, notamment dans le vignoble du Prosecco et la région de Valdobbiadene, par un groupe de chercheurs et d'expérimentateurs avec l'implication du Conseil National de Recherches - Institut de Protection des Plantes (CNRIPP). Il a montré que l'utilisation d'eau ozonée ou électrolysée, expérimentée dès 2014, a entraîné une réduction des populations de parasites cryptogamiques et de bactéries qui est globalement comparable à celles observées avec l'utilisation de traitements chimiques conventionnels. Dans ce contexte, il faut souligner que l'eau ozonée a montré la meilleure efficacité dans la lutte contre le mildiou ou le *Botrytis*. Les conclusions de l'équipe de l'IPP - CNR de Milan de Raio *et al.* (2016), vont dans le même sens, en soulignant encore plus nettement l'avantage de l'eau ozonée sur l'eau électrolysée. Toutefois, des équipes universitaires de Pise et de Viterbo (Modesti *et al.*, 2019) affichent des résultats de protection seulement partielle de vignobles de Vermentino vis-à-vis des parasites cryptogamiques, et analysent les multiples effets du puissant oxydant qu'est l'ozone sur le développement et la composition du raisin, en notant un retard de maturation et une accumulation accrue de monoterpènes.

*In Italy, tests with ozonated water have given converging results. The 'Zero residue' project is being carried out in northern Italy, in particular in the Prosecco vineyards and the Valdobbiadene region, by a group of researchers and experimenters with the involvement of the National Research Council - Institute for Plant Protection (CNRIPP). He showed that the use of ozonated or electrolyzed water, tested in 2014, resulted in a reduction in the populations of fungal parasites and bacteria which is globally comparable to those observed with the use of conventional chemical treatments. In this context, it should be noted that ozonated water has shown the best effectiveness in the fight against mildew or Botrytis. The findings of the Milan IPP - CNR team of Raio *et al.* (2016), go in the same direction, emphasizing even more clearly the advantage of ozonated water over electrolyzed water. However, university teams from Pisa and Viterbo (Modesti *et al.*, 2019) show results of only partial protection of Vermentino*

vineyards against cryptogamic parasites, and analyze the multiple effects of the powerful oxidant that is ozone on the development and composition of grapes, noting a delay in ripening and an increased accumulation of monoterpenes.

En outre, l'eau ozonée utilisée en traitement post-récolte par lavage de la vendange permet de réduire les substances polluantes (résidus de pesticides, métaux dont le cuivre) présentes à la surface des raisins, en réduisant aussi la durée de fermentation (autre résultat du projet 'Zéro résidu'). À l'université de Turin, l'eau ozonée utilisée en traitement post-récolte a donné une série de résultats intéressants sur Nebbiolo et Barbera : amélioration de l'extraction des anthocyanes et des tanins au cours de la vinification, et réduction des teneurs en SO₂; les chercheurs ont aussi constaté que le traitement à l'ozone gazeux augmente la force de rupture des pellicules ; avec des intervalles de temps et un taux de concentration adéquats, l'ozone agit de manière létale sur des espèces de levures indésirables (levures produisant de l'acidité volatile), alors qu'elle n'altère pas la microflore naturelle 'positive' du raisin, notamment les levures indigènes ; l'ozone peut également être utilisé comme support des installations d'épuration afin de baisser la charge polluante, particulièrement pendant les périodes de grosse production des effluents de cave.

In addition, the ozonated water used in post-harvest treatment by washing the harvest makes it possible to reduce polluting substances (pesticide residues, metals including copper) present on the surface of the grapes, also reducing the fermentation time (other result of the 'Zero residue' project). At the University of Turin, ozonated water used in post-harvest treatment gave a series of interesting results on Nebbiolo and Barbera: improvement of the extraction of anthocyanins and tannins during winemaking, and reduction of the contents of SO₂; researchers have also found that treatment with ozone gas increases the breaking strength of skins; with adequate time intervals and concentration level, ozone acts lethally on undesirable yeast species (yeasts producing volatile acidity), while it does not alter the natural 'positive' microflora of the grapes, especially indigenous yeasts; ozone can also be used as a support for purification installations in order to lower the pollutant load, particularly during periods of high production of cellar effluents.

En Espagne, une équipe de l'université de Castille-La Mancha (Campayo *et al.*, 2020) a étudié dans le cadre du projet INNTER ECOSANVID 2015, les répercussions de divers traitements à l'eau ozonée sur la vigne et le raisin de Bobal dans la région d'Albacete. L'état sanitaire des vignes s'est nettement amélioré y compris au niveau des maladies du bois. Globalement la qualité du raisin et du vin n'a pas été affectée, à l'exception d'une augmentation favorable des polyphénols et des arômes variétaux comme les terpènes libres ou glycosylés. Cependant, le nombre d'application d'eau ozonée a une incidence sur la composition du raisin : le passage d'un à trois traitements entre nouaison et maturité, s'avère réduire en particulier l'extractibilité des anthocyanes (contrairement aux résultats de Turin) et la teneur en précurseurs d'arômes glycosylés ou en polyphénols totaux.

In Spain, a team from the University of Castille-La Mancha (Campayo et al., 2020), as part of the INNTER ECOSANVID 2015 project, studied the repercussions of various ozonated water treatments on vines and grapes in Bobal in the Albacete region. The health of the vines has improved markedly, including in terms of wood diseases. Overall the quality of the grape and

the wine was not affected, except for a favorable increase in polyphenols and varietal aromas such as free or glycosylated terpenes. However, the number of applications of ozonated water has an impact on the composition of the grape: the passage from one to three treatments between fruit set and maturity, turns out to reduce in particular the extractability of anthocyanins (contrary to the results of Turin) and the content of glycosylated flavor precursors or total polyphenols.

En France, la recherche s'est surtout concentrée sur l'agent infectieux de l'esca *Phaeoacremonium aleophilum*, au sein d'une équipe de l'École d'Ingénieurs de Purpan de l'Institut Polytechnique de Toulouse (Pierron *et al.*, 2015). Les résultats montrent que l'eau ozonée supprime totalement la germination des spores du champignon *in vitro* et réduit considérablement le développement du champignon *in planta* sur bouture. Le traitement agit directement sur le parasite et n'active pas de gène de défense de la vigne. La première application est la lutte contre l'esca en pépinière. D'autres sont en évaluation dans la lutte au vignoble contre ces maladies de la souche, également contre *Botrytis cinerea*, mildiou et oïdium. Des travaux sont en cours dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Agro (L. Torregrosa, S. Savoie), l'INRAE de Montpellier (C. Romieu) et l'Université de Castille-La Mancha (A. Campayo, R. Salinas) pour étudier les changements transcriptomiques induits par les traitements à l'eau ozonée dans les feuilles et les raisins (publication à paraître).

In France, research has mainly focused on the infectious agent of esca Phaeoacremonium aleophilum, within a team of the Purpan School of Engineers of the Polytechnic Institute of Toulouse (Pierron et al., 2015). The results show that ozonated water completely suppresses the germination of fungus spores in vitro and considerably reduces the development of the fungus in planta on cuttings. The treatment acts directly on the parasite and does not activate the vine's defense gene. The first application is the fight against esca in the nursery. Others are being evaluated in the vineyard control against these diseases of the strain, also against Botrytis cinerea, downy mildew and powdery mildew. Studies are underway within the framework of a collaboration between the Agro Institute (L. Torregrosa, S. Savoie) and INRAE of Montpellier (C. Romieu) and the University of Castille-La Mancha (A. Campayo, R. Salinas) to study the transcriptomic changes induced in leaves and grapes by ozonated water (forthcoming publication).

Perspectives / Outlook

Il apparaît donc clairement que la Viticulture est en passe de pouvoir bénéficier prochainement d'alternatives technologiques à l'utilisation de molécules anti-fongiques. Certaines de ces technologies sont très prometteuses en matière de protection et plus respectueuses de l'environnement et de l'homme : les traitements aux ultraviolets ou à l'eau ozonée. Il reste naturellement à compléter leur évaluation en matière d'efficacité contre les multiples agents qui s'attaquent à la vigne et au vin, en matière d'applicabilité et de coût, en matière de maintien ou d'amélioration qualitative. Un bilan espérons-le relativement complet pourra être fait au 22^{ème} GiESCO d'Ithaca en juillet 2023 : pourra-t-on parler alors, en combinaison avec le développement de cépages résistants aux parasites, adaptés au changement climatique et qualitatifs, d'une Viticulture réellement Biologique : ce serait alors véritablement une '**Viticulture des lumières**'...

It is therefore clear that viticulture is on the way to soon benefit from technological alternatives to the use of anti-fungal molecules. Some of these technologies are very promising in terms of protection and more respectful of the environment and humans: i.e. exposition to ultraviolet or spraying of ozonated water. Of course, their evaluation remains to be completed in terms of effectiveness against the multiple agents that attack grapevine and wine, in terms of applicability and cost, in terms of maintaining or improving quality. A report hopefully relatively complete will be made at the 22nd GiESCO of Ithaca in July 2023 : can we speak then, in combination with the development of grape varieties resistant to parasites, adapted to climate change and qualitative, of a Viticulture really Organic: it would then be truly a 'Viticulture of enlightenment' ...

Bibliographie / References

UV :

Gadoury D M, Wakefield L M, Cadle-Davidson L, Dry I B, Seem R C, 2012. Effects of Prior Vegetative Growth, Inoculum Density, Light, and Mating on Conidiation of *Erysiphe necator*. *Phytopathology*, 102(1), 65-72.

Suthaparan A, Stensvand A, Solhaug K A, Torre S, Telfer K H, Ruud A K, Mortensen L M, Gadoury D M, Gislerød H R, 2013. Suppression of cucumber powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) by supplemental UV-B radiation in greenhouses can be augmented or reversed by background light quality. *Plant Disease*, (accepted May 2013).

Thompson S, 2019. UV light may be ripe to replace chemicals in fungus fight. *Cornell chronicle*, May 2.

O3 :

Campayo A, Serrano de la Hoz K, García-Martínez MM, Salinas MR, Alonso GL, 2020a. Novel endotherapy-based applications of ozonated water to Bobal grapevines: Effect on grape quality. *Agronomy*, 10 : 1218. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091218>.

Martinez Lüscher J, 2015. Effects of UV-B radiation on grapevine (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) leaf physiology and berry composition, framed within the climate change scenario (water deficit, elevated CO₂ and elevated temperature). Université de Bordeaux ; Universidad de Navarra, NNT : 2014BORD0195.

Modesti M, Baccelloni S, Brizzolara S, Aleandri MP, Bellincontro A, Mencarelli F, Tonutti P, 2019. Effects of treatments with ozonated water in the vineyard (cv Vermentino) on microbial population and fruit quality parameters. *BIO Web Conf*, 13:04011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191304011>.

Pierron R, Pages M, Couderc C, Compant S, Alban J, Violleau F, 2015. In vitro and in planta fungicide properties of ozonated water against the esca-associated fungus *Phaeoacremonium aleophilum*. *Scientia Horticulturae*, 189. 184-191. ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.038>.

Raio A, Feliciani A, Ferri V, Carboni C, 2016. Integrated vineyard management trials using ozonated and electrolized water. *Infowine Internet J Enol Vitic.*, 2/6:1–6.

Río Segade S, Vilanova M, Giacosa S *et al.*, 2017. Ozone Improves the Aromatic Fingerprint of White Grapes. *Sci Rep*, 7, 16301. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16529-5>.