Alain Deloire (assisted by AI)

Agrivoltaics in Viticulture

Principal results and practical implications

Evidence review of the attached publications and project documents | November 2026

In the context of climate change, vineyard strategies to protect vines from heat and excessive photosynthetically active radiation (PAR), and to limit vine transpiration, berry water loss and soil evaporation, include shade nets, kaolin sprays, evaporative cooling and soil mulches. This document provides a brief review of agrivoltaics and its reported results and practical implications for viticulture.

Scope and main conclusion

This review focuses on agrivoltaics in vineyards and on panel-based trials that inform agrivoltaic design. It does not treat general studies of grapevine shading, kaolin, geotextiles or shade nets as agrivoltaic evidence. The evidence supports a practical conclusion: photovoltaic structures can help manage heat and ripening, but their agricultural value depends on controlling where, when and how much shade reaches the canopy. The attached evidence does not justify assuming that panels automatically save water, preserve yield or improve wine quality.

The clearest field implication is to treat panel operation as a crop-management decision. Measure light within the vertical fruiting zone, assess vine water status and phenology, and tune panel settings to cultivar, site, crop load and season. Strong or prolonged shade can reduce carbon assimilation, affect carbohydrate reserves and lower berry sugar concentration (°Brix). Because °Brix and total sugar per berry are different measures, interpret sugar concentration alongside berry size.

What the evidence shows

Evidence source	Principal result	Practical meaning
Bonini et al. (2026), field study	In Cabernet Sauvignon, physiological responses did not scale directly with the amount of light blocked. Similar 42–44% reductions in incoming light produced stronger canopy carbon-exchange limitation with dynamic tracking than with fixed-horizontal panels. In reverse sun-tracking mode (panels oriented away from the sun), reductions in incoming light and net canopy carbon exchange were both about 18–19%. Canopy water-use efficiency generally did not improve; a 22% increase appeared only late in the fixed-horizontal measurement period.	Do not use panel shading percentage alone as a performance proxy. Compare canopy-level carbon exchange and transpiration, and assess performance over the full season.

Evidence source	Principal result	Practical meaning
Christophe et al. (2026), research synthesis	Shading effects depended on timing, intensity, water status and fruit load. Strong shade could delay veraison and reduce berry size and sugars; frequent light–dark cycles maintained photosynthetic activity better than prolonged continuous shade. Multi-year yield effects remain uncertain.	Use adaptive settings and monitor multi-year yield components, especially bud fruitfulness and cluster number, not just one season's harvest.
VITISOLAR (Goutouly, 2023), first-season update	In 2023, reported dates under panels were close to the control at budbreak (2 May vs 1 May), later at flowering (28 vs 25 May), veraison (30 July vs 22 July) and harvest/maturity (12 vs 30 August). The presentation calls this an early data set and says more analysis and subsequent-season observations were pending.	Treat the phenology shifts as preliminary, not as a proven panel effect. Continue paired control measurements over several seasons and include winter pruning weight, fruitfulness, maturity and wine analyses.
Gendre (2023), Gironde thesis	Interviews with 12 winegrowers and five institutions identified varied acceptance. The thesis describes profiles ranging from growers open to a suitable business model, to growers seeking project control, growers concerned about landscape effects, and growers opposed to panels in rural areas. Its stated counts for the profiles sum to 13, so the distribution should be read cautiously. Landscape change was the most recurrent concern.	Early co-design, credible agricultural safeguards, transparent ownership/revenue arrangements and landscape integration matter alongside agronomy.

Practical implications for vineyard projects

1. Design for useful shade, not maximum shade

The agronomic objective is selective protection from excessive radiation and heat while preserving enough light for carbon supply and fruit maturation. The research synthesis reports that shade timing and frequency can matter as much as total shade. It recommends testing panel width, spacing, orientation and dynamic movement against the local row layout and canopy geometry. Bonini et al. also caution that panel tracking does not guarantee that shade falls on the fruit zone: depending on latitude, time, row spacing and canopy position, panels can shade soil or upper leaves instead.

2. Monitor the whole canopy and the crop, not a single proxy

A horizontal sensor above the canopy closely estimated light availability for fixed-horizontal panels in Bonini et al. (underestimation of 1.7%), but underestimated light reduction under dynamic tracking and sun anti-tracking (about 15% and 11%). Vertical canopy scans, line sensors or validated 3D light models are more suitable for moving shade patterns. Pair these data with canopy gas exchange where feasible, berry temperature, vine water status, phenology, berry size, sugars/acids, yield and pruning weight.

3. Tune the strategy to water status and phenological stage

The attached panel-shading experiments found the largest ripening delays under well-watered conditions; moderate water deficit shortened the delay and partly preserved yield components and sugar load. Excessive shade can therefore undermine the intended cooling benefit by constraining sugar loading or fruit development. A site-specific control strategy should adjust shade to evaporative demand and soil water conditions, with particular attention from flowering through veraison and during hot afternoons.

4. Use multi-year, paired comparisons before making business claims

Vine responses can carry over into later seasons through effects on reserves, shoot growth and flower-bud fertility. A credible demonstration should include an adjacent open-field control, stable records of panel settings and crop-management operations, several vintages, and both agricultural and electricity outputs. Report yield and grape/wine quality separately from energy revenue. The attached evidence is not yet sufficient to guarantee yield gains, improved wine quality, lower irrigation needs or a specific financial return across sites.

5. Build local acceptance into project development

The Gironde interviews are qualitative and small in scale, so they should not be generalized to all wine regions. They nevertheless show why growers' agency, landscape concerns and project economics require early discussion. Practical project design should clarify who owns and operates the equipment, who bears agricultural risks, how the structure accommodates vineyard machinery and harvest, and how landscape and community concerns will be addressed.

Claims that need careful qualification

- The attached agrivoltaic brochure states that dynamic systems can reduce crop water use and irrigation by up to 20%. This is a vendor or project claim in a promotional document, not a result independently established by the attached field studies. Bonini et al. found no general improvement in physiological canopy water-use efficiency across configurations.
- The brochure presents the Nidolères installation as a 4.5 ha, 2.2 MWp project and describes target benefits such as lower water demand and improved wine balance. These are project descriptions and objectives, not comparative outcome data in the brochure.
- The VITISOLAR 2023 update reports first-season observations and explicitly notes that analysis was incomplete. It cannot establish durable yield, quality, water or biodiversity outcomes.
- Gendre's interview findings describe perceptions in a small Gironde sample; they are useful for engagement planning, not a representative estimate of national acceptance.

Installation costs

Agrivoltaic systems can generate renewable electricity alongside grape production; in a vineyard-specific German economic model, initial investment across four photovoltaic configurations averaged about €1.28 million per hectare (range: €1.20–1.36 million/ha), an indicative modelled benchmark rather than a universal market price [6]. For comparison, INRAE reports a broader indicative range of €500,000–€1 million per hectare, while Sun'Agri states that dynamic vineyard installations can reach €1 million per hectare [7, 8].

Source selection and limitations

Directly relevant sources used: Bonini et al. (2026); Christophe et al. (2026, JSVV proceedings chapter); Goutouly (2023, VITISOLAR presentation); Gendre (2023, Gironde master's thesis); and the attached agrivoltaics brochure, used only to identify claims that require qualification. Tiffon-Terrade et al. (2023) was used only where its panel-shading results are summarized in the JSVV agrivoltaics synthesis; it is not treated as a photovoltaic-system field trial.

References

[1] Bonini, P., Dias, C.W.S., Giordano, L., Magnanini, E. & Poni, S. (2026). "Exploring the interaction between radiation availability and grapevine canopy physiology across different agrivoltaics configurations." Environmental and Experimental Botany, 247, 106377.

[2] Christophe, A. et al. (2026). "Agrivoltaïsme en viticulture : mise en lumière des réponses de la vigne à l'ombre." Actes de la Journée Scientifique Vigne et Vin 2026, pp. 49–54.

[3] Goutouly, J.-P. (2023). "Agriphotovoltaïsme sur vignes : objectifs du projet VITISOLAR et premiers résultats." Rencontres régionales de la recherche, du développement et de la formation (3RDF), 17 pp.

[4] Gendre, A. (2023). "Agrivoltaics in Gironde vineyards: prospects and grower acceptance." Master's thesis, Université de Pau et des Pays de l'Adour (in French; deposited in HAL, 2024).

[5] "L'agrivoltaïsme : agriculture et photovoltaïque réconciliés." Attached brochure; undated promotional material.

[6] Strub, L., Wittke, M., Trommsdorff, M., Stoll, M., Kammann, C. & Loose, S. (2024). "Assessing the economic performance of agrivoltaic systems in vineyards: framework development, simulated scenarios and directions for future research." Frontiers in Horticulture, 3, 1473072. https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1473072

[7] Mollier, P. (2024, 2 February). "Des panneaux ? Oui mais pas trop !" INRAE. https://www.inrae.fr/dossiers/agriculture-forets-sources-denergie/panneaux-oui-pas-trop (accessed 12 November 2026).

[8] Sun'Agri. (2025, 21 October). "Agrivoltaïsme : freins et solutions pour son développement." https://sunagri.fr/le-mag-sunagri/agrivoltaisme-freins-et-solutions (accessed 12 November 2026).

Agrivoltaics in Viticulture
Working document prepared on 12 November 2026
Alain Deloire (assisted by AI)

Agrivoltaïsme en viticulture

Résultats principaux et implications pratiques

Synthèse des publications et documents joints | Novembre 2026

Dans le contexte du changement climatique, les méthodes de protection des vignobles contre la chaleur et l'excès de rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), ainsi que celles visant à limiter la transpiration de la vigne, la perte d'eau des baies et l'évaporation du sol, sont nombreuses : filets d'ombrage, pulvérisations de kaolin, refroidissement par évaporation et paillages du sol. Ce document propose une brève synthèse de l'agrivoltaïsme, de ses résultats rapportés et de ses implications pratiques pour la viticulture.

Portée et conclusion principale

Cette synthèse porte sur l'agrivoltaïsme en viticulture ainsi que sur les essais sous panneaux explicitement mobilisés pour éclairer la conception de systèmes agrivoltaïques. Les études générales sur l'ombrage de la vigne, le kaolin, les géotextiles et les filets d'ombrage ne sont pas considérées ici comme des études agrivoltaïques. Les résultats conduisent à une conclusion pratique : les structures photovoltaïques peuvent contribuer à gérer la chaleur et la maturation, mais leur intérêt agricole dépend du contrôle de la localisation, du calendrier et de l'intensité de l'ombre portée sur le couvert végétal. Les documents joints ne permettent pas d'affirmer que les panneaux réduisent systématiquement les besoins en eau, préservent les rendements ou améliorent la qualité du vin.

La principale implication opérationnelle est de traiter le pilotage des panneaux comme une décision de conduite de la culture. Il faut mesurer la lumière dans la zone fructifère verticale, suivre le statut hydrique de la vigne et sa phénologie, puis adapter les réglages des panneaux au cépage, au site, à la charge en fruits et à la saison. Un ombrage fort ou prolongé peut réduire l'assimilation du carbone, affecter les réserves glucidiques et diminuer la concentration en sucres des baies (°Brix). Le °Brix et la quantité totale de sucres par baie étant deux mesures différentes, la concentration en sucres doit être interprétée en tenant compte de la taille des baies.

Principaux résultats

Source des données	Résultat principal	Conséquence pratique
Bonini et al. (2026), étude de terrain	Chez le Cabernet Sauvignon, les réponses physiologiques n'étaient pas directement proportionnelles à la quantité de lumière bloquée. Des réductions similaires de 42 à 44 % de la lumière incidente ont limité davantage les échanges nets de carbone du couvert sous pilotage dynamique que sous panneaux horizontaux fixes. En en mode de suivi inversé du soleil (panneaux orientés à l'opposé du soleil), les réductions de la lumière incidente et des échanges nets de carbone du couvert étaient toutes deux d'environ 18 à 19 %. L'efficience physiologique d'utilisation de l'eau du couvert ne s'est généralement pas améliorée ; une hausse de 22 % n'a été observée que tardivement pendant la période de mesure sous panneaux horizontaux fixes.	Ne pas utiliser le seul pourcentage d'ombrage comme indicateur de performance. Comparer les échanges de carbone et la transpiration à l'échelle du couvert, et évaluer les résultats sur l'ensemble de la saison.
Christophe et al. (2026), synthèse de recherche	Les effets de l'ombrage dépendaient de sa période, de son intensité, du statut hydrique et de la charge en fruits. Un ombrage fort pouvait retarder la véraison et réduire la taille des baies et leur teneur en sucres. Des cycles fréquents de lumière et d'obscurité maintenaient mieux l'activité photosynthétique qu'un ombrage continu prolongé. Les effets sur le rendement à long terme restent incertains.	Utiliser un pilotage adaptatif et suivre les composantes du rendement sur plusieurs années, notamment la fertilité des bourgeons et le nombre de grappes, plutôt que de se limiter à une seule récolte.
VITISOLAR (Goutouly, 2023), premières observations de la première saison	En 2023, les stades phénologiques sous panneaux étaient proches du témoin au débourrement (2 mai contre 1er mai), puis plus tardifs à la floraison (28 contre 25 mai), à la véraison (30 juillet contre 22 juillet) et à la maturité ou vendange (12 septembre contre 30 août). La présentation qualifie ces données de préliminaires et précise que leur analyse ainsi que les observations des saisons suivantes restaient à mener.	Considérer ces décalages phénologiques comme préliminaires, et non comme un effet démontré des panneaux. Poursuivre les mesures comparatives avec témoin sur plusieurs saisons et inclure le poids de bois de taille, la fertilité, la maturité et les analyses des vins.

Source des données	Résultat principal	Conséquence pratique
Gendre (2023), mémoire sur la Gironde	Les entretiens menés auprès de 12 viticulteurs et de cinq institutions révèlent des perceptions contrastées. Le mémoire décrit des profils allant de viticulteurs ouverts sous réserve d'un modèle économique adapté, à ceux qui souhaitent garder la maîtrise du projet, à ceux qui s'inquiètent de l'impact paysager, jusqu'à ceux qui s'opposent aux panneaux en milieu rural. Les effectifs indiqués pour les profils totalisent 13 personnes alors que 12 viticulteurs ont été interrogés ; cette répartition doit donc être interprétée avec prudence. La transformation du paysage est la préoccupation la plus récurrente.	Associer les viticulteurs dès la conception, garantir des engagements agricoles crédibles, clarifier la propriété et le partage des revenus, et intégrer les enjeux paysagers dès le début du projet.

Implications pratiques pour les projets viticoles

1. Concevoir un ombrage utile, sans chercher à maximiser l'ombre

L'objectif agronomique est de protéger sélectivement la vigne contre les excès de rayonnement et de chaleur tout en préservant une lumière suffisante pour l'approvisionnement en carbone et la maturation des fruits. La synthèse de recherche indique que la période et la fréquence de l'ombrage peuvent compter autant que son intensité totale. Elle recommande de tester la largeur et l'espacement des panneaux, leur orientation et leur mobilité en fonction de la configuration locale des rangs et de la géométrie du couvert. Bonini et al. soulignent également que le suivi solaire ne garantit pas que l'ombre tombe sur la zone des grappes : selon la latitude, l'heure, l'écartement des rangs et la position du couvert, les panneaux peuvent ombrager le sol ou les feuilles supérieures à la place.

2. Suivre l'ensemble du couvert et de la récolte, pas un indicateur isolé

Chez Bonini et al., un capteur horizontal placé au-dessus du couvert estimait correctement la lumière disponible sous des panneaux horizontaux fixes (sous-estimation de 1,7 %), mais sous-estimait la réduction de lumière sous pilotage dynamique et en anti-suivi solaire (d'environ 15 % et 11 %). Pour caractériser des ombres mobiles, des mesures verticales dans le couvert, des capteurs linéaires ou des modèles 3D validés sont plus adaptés. Dans la mesure du possible, associer ces données aux échanges gazeux du couvert, à la température des baies, au statut hydrique de la vigne, à la phénologie, à la taille des baies, aux sucres et à l'acidité, au rendement et au poids de bois de taille.

3. Adapter la stratégie au statut hydrique et au stade phénologique

Les essais sous panneaux résumés dans la synthèse ont observé les retards de maturation les plus importants lorsque les vignes étaient bien alimentées en eau. Un déficit hydrique modéré réduisait ce retard et préservait en partie les composantes du rendement et la charge en sucres. Un ombrage excessif peut donc compromettre l'effet de refroidissement recherché en limitant la charge en sucres ou le développement des fruits. Une stratégie de pilotage adaptée au site devrait tenir compte de la

demande évaporative et de l’humidité du sol, en accordant une attention particulière à la période allant de la floraison à la véraison et aux après-midis les plus chauds.

4. Comparer les résultats sur plusieurs années avant d’avancer des bénéfices économiques

Les réponses de la vigne peuvent se prolonger sur les saisons suivantes par leurs effets sur les réserves, la croissance des rameaux et la fertilité des bourgeons. Un démonstrateur rigoureux devrait comporter une parcelle témoin adjacente en plein champ, un suivi régulier des réglages des panneaux et des opérations culturales, plusieurs millésimes ainsi que des données sur la production agricole et électrique. Présenter séparément le rendement, la qualité des raisins et des vins, et les recettes énergétiques. Les documents joints ne suffisent pas encore à garantir, selon les sites, une hausse du rendement, une amélioration de la qualité du vin, une baisse des besoins d’irrigation ou un niveau donné de rentabilité.

5. Intégrer l’acceptabilité locale au développement du projet

Les entretiens menés en Gironde sont qualitatifs et portent sur un petit échantillon ; leurs résultats ne doivent pas être généralisés à toutes les régions viticoles. Ils montrent néanmoins l’importance de discuter tôt de la capacité d’action des viticulteurs, du paysage et de l’économie du projet. La conception pratique doit préciser qui possède et exploite les équipements, qui assume les risques agricoles, comment la structure permet le passage des machines et la récolte, et comment seront prises en compte les préoccupations paysagères et locales.

Affirmations à nuancer

La brochure agrivoltaïque jointe affirme que les systèmes dynamiques peuvent réduire jusqu’à 20 % la consommation d’eau des cultures et l’irrigation. Il s’agit d’une affirmation d’un fournisseur ou d’un projet présentée dans un document promotionnel, et non d’un résultat confirmé indépendamment par les études de terrain jointes. Bonini et al. n’ont pas observé d’amélioration générale de l’efficience physiologique d’utilisation de l’eau à l’échelle du couvert selon les configurations.

La brochure présente l’installation de Nidolères comme un projet de 4,5 ha et 2,2 MWc et décrit des bénéfices recherchés, tels qu’une baisse des besoins en eau et un meilleur équilibre des vins. Il s’agit de caractéristiques et d’objectifs du projet, et non de résultats comparatifs documentés dans la brochure.

Le bilan VITISOLAR de 2023 rapporte des observations de la première saison et indique explicitement que l’analyse était incomplète. Il ne permet pas d’établir des effets durables sur le rendement, la qualité, l’eau ou la biodiversité.

Les entretiens de Gendre décrivent les perceptions d’un petit échantillon girondin. Ils sont utiles pour préparer la concertation, mais ne constituent pas une mesure représentative de l’acceptabilité à l’échelle nationale.

Coûts d’installation

Les systèmes agrivoltaïques peuvent produire de l’électricité renouvelable en parallèle de la production viticole. Dans un modèle économique allemand consacré aux vignobles, l’investissement

initial moyen des quatre configurations photovoltaïques étudiées était estimé à environ 1,28 million d'euros par hectare (fourchette : 1,20 à 1,36 million €/ha). Il s'agit d'un repère modélisé et non d'un prix de marché universel [6]. À titre de comparaison, l'INRAE indique une fourchette indicative plus large de 500 000 à 1 million €/ha, tandis que Sun'Agri indique que les installations dynamiques en vignoble peuvent atteindre 1 million €/ha [7, 8].

Sélection des sources et limites

Les sources directement pertinentes utilisées sont Bonini et al. (2026) ; Christophe et al. (2026, contribution aux actes de la JSVV) ; Goutouly (2023, présentation du projet VITISOLAR) ; Gendre (2023, mémoire sur la Gironde) ; ainsi que la brochure agrivoltaïque jointe, utilisée uniquement pour repérer les affirmations à nuancer. Tiffon-Terrade et al. (2023) est cité uniquement lorsque ses résultats sur l'ombrage par panneaux sont résumés dans la synthèse agrivoltaïque de la JSVV ; cette étude n'est pas présentée comme un essai de terrain sous panneaux photovoltaïques.

Références

[1] Bonini, P., Dias, C.W.S., Giordano, L., Magnanini, E. & Poni, S. (2026). "Exploring the interaction between radiation availability and grapevine canopy physiology across different agrivoltaics configurations." Environmental and Experimental Botany, 247, 106377.

[2] Christophe, A. et al. (2026). "Agrivoltaïsme en viticulture : mise en lumière des réponses de la vigne à l'ombre." Actes de la Journée Scientifique Vigne et Vin 2026, pp. 49–54.

[3] Goutouly, J.-P. (2023). "Agriphotovoltaïsme sur vignes : objectifs du projet VITISOLAR et premiers résultats." Rencontres régionales de la recherche, du développement et de la formation (3RDF), 17 pp.

[4] Gendre, A. (2023). "Le déploiement de l'agrivoltaïsme au sein des vignobles girondins : alternative de demain face aux enjeux viticoles actuels ?" Mémoire de master, Université de Pau et des Pays de l'Adour ; déposé dans HAL en 2024.

[5] "L'agrivoltaïsme : agriculture et photovoltaïque réconciliés." Brochure jointe ; document promotionnel non daté.

[6] Strub, L., Wittke, M., Trommsdorff, M., Stoll, M., Kammann, C. & Loose, S. (2024). "Assessing the economic performance of agrivoltaic systems in vineyards: framework development, simulated scenarios and directions for future research." Frontiers in Horticulture, 3, 1473072. https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1473072

[7] Mollier, P. (2 février 2024). "Des panneaux ? Oui mais pas trop !" INRAE. https://www.inrae.fr/dossiers/agriculture-forets-sources-denergie/panneaux-oui-pas-trop (consulté le 12 novembre 2026).

[8] Sun'Agri (21 octobre 2025). "Agrivoltaïsme : freins et solutions pour son développement." https://sunagri.fr/le-mag-sunagri/agrivoltaisme-freins-et-solutions (consulté le 12 novembre 2026).