Biochar in Agriculture

Critical review of potential adverse effects | Evidence synthesis

Brtnicky et al. (2021) review 259 sources to assess risks that can accompany biochar use in soil. The central message is that biochar is not a uniform input: its effects depend on feedstock and production conditions, dose and particle size, soil type, climate, crop, and co-applied inputs. Benefits and harms can occur together, and long-term effects remain incompletely understood.

Main findings

- **Soil water and structure.** High application rates can reduce plant-available water in clay soils. Fine biochar left on the surface of susceptible sandy soils may increase erosion and particulate emissions; particle abrasion can also release fine char.
- **Chemistry and fertility.** Salts and alkaline biochar can raise soil salinity or pH. In already alkaline soils, excessive pH can precipitate nutrients and reduce their availability; biochar may also sorb nutrients. It can alter potentially toxic element mobility, including arsenic under some conditions.
- **Agrochemical performance.** Sorption to biochar may reduce the bioavailability and effectiveness of pesticides, herbicides, and other agrochemicals. This can lower pest control and change the timing or amount of inputs needed.
- **Biochar contaminants and soil life.** Poorly controlled production or contaminated feedstocks can leave PAHs, volatile organic compounds, dioxins, or potentially toxic elements in the char. These substances, along with pH, salinity, ash, and physical changes, may harm soil microbes and fauna. Earthworms are a particular concern; adverse effects on growth, reproduction, survival, and DNA integrity have been reported.

Implications for farm practice

The review supports targeted, precautionary use rather than blanket application. Before field-scale use, characterize the biochar (feedstock, production conditions, pH, salts, nutrients, and contaminants) and the receiving soil (texture, pH, salinity, fertility, water regime, and relevant contaminants). Match product and dose to the soil and crop, and consider cumulative applications because biochar can persist for decades or longer.

Where erosion or dust is a risk, incorporate biochar into soil, or consider pelletized or moistened forms. Where nutrient sorption is likely, coordinate biochar with fertilizer and monitor crop response. Check pesticide and herbicide plans for possible sorption interactions. Track soil chemistry, water availability, crop performance, and soil biota over multiple seasons; use small, monitored field trials before scaling up.

PRACTICAL TAKEAWAY Treat biochar as a soil-specific amendment. Product testing, dose matching, incorporation where appropriate, and follow-up monitoring help retain agronomic benefits while reducing risks.

Biochar in Viticulture

Applied findings from two vineyard studies

Together, the studies suggest that biochar can improve soil water relations and vine performance, especially in less fertile or structurally weak soils. They also show why vineyard responses should be assessed by site and across time: short-term yield gains vary among soils, while long-term changes in root dynamics may influence how vines invest in below-ground growth.

Soil, vine water status, and yield (Biancalani et al., 2026)

In three organically managed Sangiovese vineyards in Chianti Classico, researchers applied about 16 t/ha fresh biochar (approximately 10.4 t/ha dry) and assessed results in the following growing season. Bulk density fell by 5–16%; soil organic carbon rose by nearly 50% in medium-to-fine-textured soils and by more than 200% in the coarse-textured soil. Effects on saturated hydraulic conductivity differed with soil and moisture conditions. During summer berry ripening, treated plots retained more soil moisture and vines showed less severe water stress. Average yield was about 42% higher across sites, but this was driven by strong responses at two vineyards; the third had no measurable increase. The one-year observation period limits conclusions about persistent yield effects.

Long-term root response (Beatrice et al., 2024)

In a Tuscan vineyard, root traits were measured over two growing seasons, roughly a decade after biochar had been incorporated. Biochar-treated soil retained higher pH, nutrient availability, and water-holding capacity. Fine-root production, length, and biomass were lower, while root turnover was faster, especially in the upper 20 cm. The authors interpret this as a possible shift away from costly root exploration when water and nutrients are more available. Responses to one and two application doses were broadly similar over the long term, suggesting diminishing returns beyond the lower dose at this site. These root changes are not automatically harmful, but they merit monitoring under drought and changing soil conditions.

Practical implications for vineyards

- **Target the site.** Prioritize low-fertility, compacted, or drought-prone blocks where improved porosity and water retention may be most valuable. Base the choice and dose on texture, pH, salinity, nutrient status, and biochar specifications.
- **Start with monitored strips.** Compare treated and untreated areas and track soil moisture, vine water potential, yield, and relevant soil chemistry over several years. Expect variable responses between blocks and seasons; do not assume a uniform yield increase.
- **Manage for long-term effects.** Avoid repeated applications without reassessing soil and crop response. Include root health and nutrient availability in follow-up monitoring, particularly where pH is already high or micronutrient limitation is possible.
- **Use monitoring carefully.** Biochar changes soil spectral signatures, which can complicate spectroscopy-based soil estimates. Calibrate or adjust sensing methods after amendment; combine them with direct soil and vine measurements.

PRACTICAL TAKEAWAY For vineyards, the most defensible use case is site-specific improvement of water resilience. Pilot applications and multi-year monitoring are needed to establish the right product, rate, and persistence of benefits.

Additional Agricultural Evidence

Global evidence synthesis and microbial inoculants

These publications broaden the evidence beyond the earlier risk review and vineyard trials. One synthesizes global meta-analyses of biochar in farming; the other examines biochar as a delivery material for beneficial microorganisms.

Agricultural performance across 26 meta-analyses (Schmidt et al., 2021)

The review covers 26 meta-analyses drawing on more than 1,500 studies. Across the agronomic and environmental indicators examined - including yield, root growth, water-use efficiency, soil organic carbon, microbial activity, and greenhouse-gas emissions - pooled mean effects were positive, with no consistently demonstrated negative overall effect. The authors caution that this does not guarantee a benefit on every farm or establish economic viability. Benefits depend on climate, soil, crop, biochar quality, and application method; systematic yield gains have been harder to achieve in cooler regions. They also note publication bias and incomplete characterization of biochars as sources of uncertainty.

- **Field consequence.** Use the global evidence to identify promising functions, then test them locally. Match biochar properties and placement to the limiting soil or crop need. Lower-dose, root-zone biochar-fertilizer approaches (about 0.5-2 t/ha dry matter in the reviewed emerging practice) may be more affordable, but evidence for these newer methods is still limited.

Biochar as a carrier for beneficial microbes (Bolan et al., 2023)

This review finds that biochar porosity, surface area, moisture retention, and carbon and nutrient content can support microbial attachment, survival, and colonization of soil and roots. Biochar-immobilized inoculants may improve plant growth and nutrient cycling, including under stressful conditions, and can support microbial degradation of organic contaminants. Biochar is also proposed as a renewable alternative to peat-based inoculant carriers. Most evidence is still developing; long-term field performance, strain-carrier compatibility, storage, transport, and scale-up remain open questions.

- **Field consequence.** Treat microbe-enriched biochar as a targeted inoculant product, not simply as bulk amendment. Verify biochar quality and the selected strain, maintain viable microbes through storage and application, and validate crop response in field strips. Screen for contaminants and possible carrier toxicity, especially in remediation settings.

PRACTICAL TAKEAWAY Broad evidence supports potential agronomic and environmental co-benefits, while product characterization and site-specific field validation remain essential for reliable results.

Field Evidence and Viticulture

Compost-biochar field trials and vineyard applications

The following studies move from temperate field trials to a synthesis focused on grape and wine production. Both point to context-dependent outcomes and the value of choosing amendments and application methods for the field's specific constraints.

Compost-biochar mixtures in French cropping systems (Nobilé et al., 2022)

A two-year field study in three French maize-wheat systems compared green-waste compost alone (8 t/ha) and compost mixed with three biochars (8 t/ha compost + 4 t/ha biochar) against mineral phosphorus and potassium fertilization. Yields and crop nutrient uptake were strongly site-specific, but within sites, the organic treatments generally performed similarly to mineral P and K fertilization. Adding biochar did not improve compost's yield effect. Soil organic-carbon response also varied by site, ranging from no detectable change to an increase of up to 53%.

- **Field consequence.** Where soils and nutrient budgets are suitable, compost-biochar mixtures may substitute for mineral P and K while adding stable carbon. The study does not support assuming additional yield gains from biochar over compost alone, nor does it establish replacement of nitrogen fertilizer. Check nutrient supply, crop response, local economics, and soil-carbon change before adopting at scale.

Biochar applications in viticulture (Poly & Bois, 2025)

This technical review synthesizes 17 peer-reviewed studies published from 2014 to 2024. Reported benefits are most consistent when biochar is placed near the root zone (often around 30 cm) and in acidic, low-organic-carbon soils vulnerable to leaching or erosion. Studies describe higher water retention and nutrient content, lower bulk density and nutrient leaching, greater microbial activity, improved vine water status and photosynthetic activity, and sometimes higher yields. No notable changes in conventional grape-composition or wine sensory measures were reported in the reviewed studies. Low surface-applied doses, especially on alkaline soils, more often produced weak or uneconomic effects. Short-term results can conflict; long-term vineyard evidence remains limited, though some decade-long observations indicate persistent soil benefits.

- **Field consequence.** Prioritize blocks where water retention, acidity, low carbon, or erosion is a documented constraint. Characterize each biochar and soil before choosing a rate or placement; pyrolysis temperature strongly affects char properties. Vineyard pruning and vine removals can supply local feedstock, but production and application costs and contaminant quality still need assessment.

PRACTICAL TAKEAWAY In field crops and vineyards alike, biochar performs best as part of a site-specific nutrient and soil-management plan, with comparison strips and multi-season monitoring.

Additional Evidence on Biochar Production, Soil Processes, and Viticulture

Engineered biochars, nutrient losses, dissolved organic matter, and regenerative vineyards

These five publications extend the earlier evidence on biochar risks and field use. They examine how production shapes biochar properties, how biochar-derived dissolved compounds affect soil microbes, how products influence nutrient leaching, and what current evidence supports in vineyards. Across them, benefits remain dependent on product and site, and several conclusions still require field validation.

Biochar pyrolysis and modification strategies (Wang et al., 2020)

This review examines emerging production methods, including microwave-assisted, co-pyrolysis, and wet pyrolysis, alongside mineral, photocatalytic, and electrochemical modifications. Feedstock and pyrolysis conditions shape properties such as surface area, pore structure, and functional groups, which in turn affect nutrient retention and contaminant adsorption or degradation. The authors note that results from water-treatment studies do not automatically transfer to soils, and that some modification methods introduce chemical hazards, costs, or environmental burdens.

- **Field consequence.** Choose feedstock and production conditions for a defined soil or crop objective, then verify the resulting biochar properties and performance in the target soil. Prefer production and modification pathways with lower environmental burdens, and account for safety, cost, and contaminant risks.

Biochar-derived dissolved organic matter and soil microbes (Azeem et al., 2023)

This review finds that feedstock and pyrolysis temperature determine both the amount and composition of biochar-derived dissolved organic matter (BDOM). Sawdust- and manure-based biochars tend to release more BDOM than straw-, bone-, or sludge-based materials; plant biochars produced at lower temperatures tend to release more aliphatic compounds, while higher-temperature chars yield more aromatic BDOM. These compounds can supply nutrients and carbon and stimulate some microbial and enzyme activities, but can also suppress particular microbial groups or increase greenhouse-gas emissions and contaminant mobility. Long-term field evidence on BDOM's fate and effects remains limited.

- **Field consequence.** Include dissolved organic carbon and biochar-derived organic matter in product screening where microbial or water-quality effects matter. Match feedstock and pyrolysis conditions to the intended use, and monitor soil microbial response, carbon losses, and contaminant mobility over time.

Biochar products and nutrient leaching in coarse-textured soil (Gutierrez Benites et al., 2026)

In a column study using one loamy sand, the authors compared eleven biochar products at 5% and 10% by volume. Most products reduced cumulative nitrogen leaching, with the largest reductions reaching 36.7%. Effects on phosphorus and dissolved organic carbon were product-specific: some materials increased phosphorus leaching by up to 174.4% and dissolved organic carbon leaching by up to 146.6%. No single product minimized all three losses, showing that improved nitrogen retention can coincide with greater phosphorus or carbon mobility. The column results are preliminary and need field confirmation.

- **Field consequence.** Select a biochar against the main nutrient-management objective, while checking possible trade-offs for phosphorus and dissolved organic carbon. Screen labile phosphorus and other product properties, and use field strips with leachate or soil monitoring before broad application, especially on coarse-textured soils.

Biochar and stable isotopes for regenerative viticulture (Kingston et al., 2025)

This review frames biochar as one possible tool within regenerative viticulture, where soil carbon, nitrogen, water, and microbial processes are managed together to strengthen vineyard resilience under climate change. It also proposes stable carbon, nitrogen, and oxygen isotope measurements, alongside water-extractable carbon and nitrogen, to trace interactions among soil, vines, and microbes and to

evaluate industry-waste feedstocks. These methods offer a monitoring framework; the review presents potential applications rather than evidence that biochar alone delivers consistent vineyard outcomes.

- **Field consequence.** Treat biochar as part of a wider soil-management plan and evaluate it alongside other practices. Where feasible, combine repeated measurements of soil carbon, nitrogen, water status, and microbial indicators; isotope methods can help distinguish process pathways in research or well-designed field trials.

Biochar, vineyard productivity, and carbon storage (Nunes, 2026)

This integrative review finds that vineyard yield gains are concentrated in a narrow set of conditions: three Tuscan vineyards on acidic to neutral, carbon-poor, non-irrigated soils amended with the same 500 °C pruning-derived biochar showed increases of 16–67% per harvest, with responses reported up to ten years. Most other site comparisons showed no significant yield change, although soil water and topsoil carbon gains were more consistent. The strongest climate evidence concerns persistence of biochar carbon; field-scale greenhouse-gas reductions remain unconfirmed, and the review identifies substantial cost and feedstock constraints. Independent replication is needed before generalizing the yield results.

- **Field consequence.** Prioritize pilot use on dry, low-carbon vineyard soils where water limitation is documented, and set expectations around site-specific responses. Assess carbon persistence separately from yield and greenhouse-gas benefits, and compare application costs, available pruning residues, and potential carbon revenue before scaling up.

PRACTICAL TAKEAWAY The publications reinforce that biochar properties and effects depend on feedstock, production, and site. Screen for intended benefits and trade-offs, then validate vineyard and soil outcomes through monitored field trials.

Version en Français

Le biochar en agriculture

Analyse critique des effets indésirables potentiels | Synthèse des données

Brtnicky et al. (2021) passent en revue 259 sources afin d'évaluer les risques associés à l'utilisation du biochar dans les sols. Leur principal constat est que le biochar n'est pas un intrant uniforme : ses effets dépendent de la matière première et des conditions de production, de la dose et de la granulométrie, du type de sol, du climat, de la culture et des autres intrants apportés. Des bénéfices et des effets nuisibles peuvent coexister, et les effets à long terme restent encore mal connus.

Principaux constats

- **Eau et structure du sol**. Des doses élevées peuvent réduire la quantité d'eau disponible pour les plantes dans les sols argileux. La présence de biochar fin laissé en surface de sols sableux sensibles peut accentuer l'érosion et les émissions de particules ; l'abrasion des particules peut également libérer des particules fines de biochar.
- **Chimie et fertilité**. Les sels et un biochar à caractère alcalin peuvent accroître la salinité ou le pH du sol. Dans les sols déjà alcalins, un pH trop élevé peut entraîner la précipitation des nutriments et réduire leur disponibilité ; le biochar peut aussi adsorber des nutriments. Il peut modifier la mobilité d'éléments potentiellement toxiques, notamment celle de l'arsenic dans certaines conditions.
- **Efficacité des produits agrochimiques**. L'adsorption sur le biochar peut réduire la biodisponibilité et l'efficacité des pesticides, des herbicides et d'autres produits agrochimiques. La lutte contre les ravageurs peut alors être moins efficace, et le calendrier ou les quantités d'intrants nécessaires peuvent changer.
- **Contaminants du biochar et organismes du sol**. Une production mal maîtrisée ou des matières premières contaminées peuvent laisser dans le biochar des HAP, des composés organiques volatils, des dioxines ou des éléments potentiellement toxiques. Ces substances, ainsi que les effets liés au

pH, à la salinité, aux cendres et aux changements physiques, peuvent nuire aux microorganismes et à la faune du sol. Les vers de terre suscitent une préoccupation particulière : des effets négatifs sur leur croissance, leur reproduction, leur survie et l'intégrité de leur ADN ont été rapportés.

Conséquences pour les pratiques agricoles

Cette revue plaide pour un usage ciblé et prudent plutôt que pour une application généralisée. Avant tout déploiement à l'échelle de la parcelle, caractériser le biochar (matière première, conditions de production, pH, sels, nutriments et contaminants) ainsi que le sol récepteur (texture, pH, salinité, fertilité, régime hydrique et contaminants pertinents). Adapter le produit et la dose au sol et à la culture, et tenir compte des apports cumulés, car le biochar peut persister pendant des décennies, voire davantage.

En cas de risque d'érosion ou de poussières, incorporer le biochar au sol ou envisager une forme granulée ou humidifiée. Si l'adsorption des nutriments est probable, coordonner l'apport de biochar avec la fertilisation et suivre la réponse des cultures. Vérifier si les programmes de traitement par pesticides et herbicides pourraient être affectés par des interactions d'adsorption. Suivre la chimie du sol, la disponibilité de l'eau, les performances des cultures et le biote du sol sur plusieurs saisons ; réaliser de petits essais au champ suivis avant tout changement d'échelle.

À RETENIR Le biochar doit être adapté aux caractéristiques du sol. L'analyse du produit, l'ajustement de la dose, l'incorporation lorsque cela convient et un suivi ultérieur contribuent à préserver les bénéfices agronomiques tout en réduisant les risques.

Le biochar en viticulture

Résultats appliqués de deux études en vignoble

Ensemble, ces études suggèrent que le biochar peut améliorer le régime hydrique du sol et les performances de la vigne, en particulier dans les sols peu fertiles ou à structure dégradée. Elles montrent aussi pourquoi les réponses doivent être évaluées selon le site et dans la durée : les gains de rendement à court terme varient selon les sols, tandis que les changements à long terme de la dynamique racinaire peuvent influer sur l'investissement de la vigne dans sa croissance souterraine.

Sol, état hydrique de la vigne et rendement (Biancalani et al., 2026)

Dans trois vignobles de Sangiovese conduits en agriculture biologique dans le Chianti Classico, les chercheurs ont appliqué environ 16 t/ha de biochar frais (soit quelque 10,4 t/ha de matière sèche) et évalué les résultats pendant la campagne suivante. La densité apparente a diminué de 5 à 16 % ; le carbone organique du sol a augmenté de près de 50 % dans les sols de texture moyenne à fine et de plus de 200 % dans le sol à texture grossière. Les effets sur la conductivité hydraulique à saturation variaient selon le sol et les conditions d'humidité. Pendant la maturation estivale des baies, les parcelles traitées ont conservé davantage d'humidité et les vignes ont subi un stress hydrique moins marqué. Le rendement moyen était supérieur d'environ 42 % sur l'ensemble des sites, mais cette hausse résultait de fortes réponses dans deux vignobles ; aucune augmentation mesurable n'a été observée dans le troisième. La période d'observation d'un an ne permet pas de conclure sur la persistance des effets sur le rendement.

Réponse racinaire à long terme (Beatrice et al., 2024)

Dans un vignoble toscan, les caractéristiques des racines ont été mesurées pendant deux campagnes, environ dix ans après l'incorporation du biochar. Le sol amendé conservait un pH plus élevé, une plus grande disponibilité des nutriments et une meilleure capacité de rétention d'eau. La production, la longueur et la biomasse des racines fines étaient plus faibles, tandis que leur renouvellement était plus rapide, surtout dans les 20 premiers centimètres du sol. Les auteurs y voient un possible recul de l'exploration racinaire, coûteuse en ressources, lorsque l'eau et les nutriments sont davantage disponibles. À long terme, les réponses à une ou deux doses d'application étaient globalement similaires, ce qui laisse penser que, sur ce site, les bénéfices supplémentaires diminuent au-delà de la dose la plus faible. Ces changements racinaires ne sont pas nécessairement nuisibles, mais ils justifient un suivi en période de sécheresse et lorsque les conditions du sol évoluent.

Conséquences pratiques pour les vignobles

- **Cibler les parcelles**. Donner la priorité aux blocs peu fertiles, compactés ou exposés à la sécheresse, où une porosité et une rétention d'eau améliorées pourraient être particulièrement utiles. Choisir le produit et la dose en fonction de la texture, du pH, de la salinité, de l'état nutritionnel et des caractéristiques du biochar.
- **Commencer par des bandes d'essai suivies dans le temps**. Comparer les zones traitées et non traitées, puis suivre pendant plusieurs années l'humidité du sol, le potentiel hydrique de la vigne, le rendement et les paramètres pertinents de la composition chimique du sol. S'attendre à des réponses variables selon les blocs et les saisons ; ne pas présumer d'une hausse uniforme du rendement.
- **Prendre en compte les effets à long terme**. Éviter les apports répétés sans réévaluer la réponse du sol et de la culture. Inclure la santé racinaire et la disponibilité des nutriments dans le suivi, en particulier lorsque le pH est déjà élevé ou qu'une carence en micronutriments est possible.
- **Interpréter le suivi avec prudence**. Le biochar modifie la signature spectrale du sol, ce qui peut compliquer les estimations fondées sur la spectroscopie. Après amendement, étalonner ou ajuster les méthodes de détection et les associer à des mesures directes du sol et de la vigne.

À RETENIR En viticulture, l'usage le mieux étayé consiste à améliorer la résilience hydrique selon les caractéristiques du site. Des applications pilotes et un suivi pluriannuel sont

nécessaires pour déterminer le produit et la dose appropriés, ainsi que la durabilité des bénéfices.

Autres données sur l'agriculture

Synthèse des données mondiales et inoculants microbiens

Ces publications élargissent les données au-delà de la revue des risques et des essais en vignoble présentés précédemment. L'une synthétise des méta-analyses mondiales sur l'utilisation du biochar en agriculture ; l'autre examine son emploi comme support pour apporter des microorganismes bénéfiques.

Performances agricoles dans 26 méta-analyses (Schmidt et al., 2021)

Cette revue couvre 26 méta-analyses s'appuyant sur plus de 1 500 études. Pour les indicateurs agronomiques et environnementaux examinés — notamment le rendement, la croissance racinaire, l'efficience d'utilisation de l'eau, le carbone organique du sol, l'activité microbienne et les émissions de gaz à effet de serre — les effets moyens combinés étaient positifs, sans effet global négatif démontré de manière constante. Les auteurs soulignent que cela ne garantit pas un bénéfice dans chaque exploitation et ne prouve pas la viabilité économique. Les bénéfices dépendent du climat, du sol, de la culture, de la qualité du biochar et de la méthode d'application ; obtenir systématiquement des gains de rendement s'est révélé plus difficile dans les régions fraîches. Les auteurs relèvent également le biais de publication et la caractérisation incomplète des biochars parmi les sources d'incertitude.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** S'appuyer sur les données mondiales pour repérer les fonctions prometteuses, puis les tester localement. Adapter les propriétés et le mode de placement du biochar au facteur limitant du sol ou de la culture. Les approches émergentes associant biochar et engrais à faible dose dans la zone racinaire (environ 0,5 à 2 t/ha de matière sèche dans les pratiques examinées) pourraient être plus abordables, mais les données sur ces nouvelles méthodes restent limitées.

Le biochar comme support de microorganismes bénéfiques (Bolan et al., 2023)

Cette revue indique que la porosité, la surface spécifique, la rétention d'humidité ainsi que la teneur en carbone et en nutriments du biochar peuvent favoriser l'adhésion et la survie des microorganismes, ainsi que la colonisation du sol et des racines. Les inoculants immobilisés sur du biochar pourraient améliorer la croissance des plantes et le cycle des nutriments, y compris en conditions de stress, et favoriser la dégradation microbienne de contaminants organiques. Le biochar est également proposé comme solution renouvelable de remplacement des supports d'inoculants à base de tourbe. La plupart des données sont encore en cours d'acquisition ; les performances au champ à long terme, la compatibilité entre souches et supports, le stockage, le transport et le changement d'échelle restent à étudier.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Considérer le biochar enrichi en microorganismes comme un inoculant ciblé, et non comme un simple amendement en vrac. Vérifier la qualité du biochar et la souche choisie, préserver la viabilité des microorganismes pendant le stockage et l'application, et valider la réponse des cultures sur des bandes d'essai. Rechercher d'éventuels contaminants et une toxicité du support, en particulier dans les opérations de dépollution.

À RETENIR L'ensemble des données étaye de possibles bénéfices agronomiques et environnementaux, mais la caractérisation du produit et sa validation au champ selon le site restent indispensables pour obtenir des résultats fiables.

Données au champ et viticulture

Essais au champ de mélanges compost-biochar et applications en vignoble

Les études suivantes vont d'essais au champ en climat tempéré à une synthèse consacrée à la production de raisin et de vin. Elles montrent toutes deux que les résultats dépendent du contexte et qu'il importe de choisir les amendements et les méthodes d'application en fonction des contraintes propres à chaque parcelle.

Mélanges compost-biochar dans des systèmes de culture français (Nobilé et al., 2022)

Une étude de terrain de deux ans menée dans trois systèmes français maïs-blé a comparé le compost de déchets verts seul (8 t/ha) et le compost mélangé à trois biochars (8 t/ha de compost + 4 t/ha de biochar) à une fertilisation minérale au phosphore et au potassium. Les rendements et l'absorption des nutriments par les cultures dépendaient fortement du site, mais, au sein de chaque site, les traitements organiques ont généralement donné des résultats similaires à la fertilisation minérale en P et K. L'ajout de biochar n'a pas renforcé l'effet du compost sur le rendement. La réponse du carbone organique du sol variait aussi selon le site, allant de l'absence de changement détectable à une hausse pouvant atteindre 53 %.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Lorsque les sols et les bilans nutritifs s'y prêtent, les mélanges compost-biochar peuvent remplacer les apports minéraux de P et K tout en ajoutant du carbone stable. Cette étude ne permet pas de présumer que le biochar augmente le rendement au-delà du compost seul, ni de conclure qu'il peut remplacer les engrais azotés. Avant un déploiement à grande échelle, vérifier les apports en nutriments, la réponse des cultures, la rentabilité locale et l'évolution du carbone du sol.

Applications du biochar en viticulture (Poly et Bois, 2025)

Cette revue technique synthétise 17 études évaluées par les pairs et publiées entre 2014 et 2024. Les bénéfices rapportés sont les plus constants lorsque le biochar est placé près de la zone racinaire (souvent à environ 30 cm) et dans des sols acides, pauvres en carbone organique et vulnérables au lessivage ou à l'érosion. Les études font état d'une meilleure rétention d'eau et d'une teneur accrue en nutriments, d'une diminution de la densité apparente et du lessivage des nutriments, d'une activité microbienne accrue, d'une amélioration de l'état hydrique et de l'activité photosynthétique de la vigne, et parfois de rendements plus élevés. Les études examinées ne signalent pas de changements notables dans la paramètres classiques de composition des raisins ni dans les caractéristiques sensorielles des vins. Les faibles doses appliquées en surface, en particulier sur les sols alcalins, ont plus souvent produit des effets limités ou non rentables. Les résultats à court terme peuvent diverger ; les données à long terme en vignoble restent limitées, même si certaines observations sur dix ans indiquent que les bénéfices pour le sol persistent.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Donner la priorité aux blocs où la rétention d'eau, l'acidité, la faible teneur en carbone ou l'érosion constituent une contrainte documentée. Caractériser chaque biochar et chaque sol avant de choisir la dose ou le mode d'application ; la température de pyrolyse influe fortement sur les propriétés du biochar. Les sarments de taille et les ceps arrachés lors du renouvellement des vignes peuvent fournir une matière première locale, mais les coûts de production et d'application ainsi que la teneur en contaminants doivent encore être évalués.

À RETENIR Dans les grandes cultures comme dans les vignobles, le biochar donne les meilleurs résultats lorsqu'il s'inscrit dans un plan de gestion des sols et des nutriments adapté au site, avec des bandes témoins et un suivi sur plusieurs saisons.

Données complémentaires sur le biochar

Biochars modifiés, pertes de nutriments, matière organique dissoute et vignobles régénératifs

Ces cinq publications complètent les données présentées précédemment sur les risques liés au biochar et ses usages au champ. Elles examinent l'influence des procédés de production sur les propriétés du biochar, les effets de la matière organique dissoute issue du biochar sur les microorganismes du sol, les pertes de nutriments et les connaissances actuelles sur l'usage du biochar en viticulture. Dans l'ensemble, les effets dépendent du produit et du site, et plusieurs conclusions doivent encore être validées au champ.

Pyrolyse et stratégies de modification du biochar (Wang et al., 2020)

Cette revue examine de nouvelles méthodes de production, notamment la pyrolyse assistée par micro-ondes, la co-pyrolyse et la pyrolyse en milieu humide, ainsi que des modifications minérales, photocatalytiques et électrochimiques. La matière première et les conditions de pyrolyse déterminent des propriétés telles que la surface spécifique, la structure poreuse et les groupes fonctionnels, qui influencent à leur tour la rétention des nutriments et l'adsorption ou la dégradation des contaminants. Les auteurs soulignent que les résultats obtenus en traitement de l'eau ne se transposent pas automatiquement aux sols, et que certaines méthodes de modification peuvent entraîner des risques chimiques, des coûts ou des impacts environnementaux.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Choisir la matière première et les conditions de production en fonction d'un objectif précis pour le sol ou la culture, puis vérifier les propriétés du biochar obtenu et son comportement dans le sol visé. Privilégier des procédés de production et de modification à moindre impact, en tenant compte de la sécurité, des coûts et des risques de contamination.

Matière organique dissoute issue du biochar et microorganismes du sol (Azeem et al., 2023)

Cette revue montre que la matière première et la température de pyrolyse déterminent la quantité et la composition de la matière organique dissoute issue du biochar (BDOM). Les biochars de sciure et de fumier tendent à en libérer davantage que ceux issus de paille, d'os ou de boues ; les biochars végétaux produits à basse température libèrent davantage de composés aliphatiques, tandis que ceux produits à température plus élevée donnent une BDOM plus aromatique. Ces composés peuvent fournir du carbone et des nutriments et stimuler certaines activités microbiennes et enzymatiques, mais aussi inhiber certains groupes microbiens ou accroître les émissions de gaz à effet de serre et la mobilité des contaminants. Les données à long terme au champ sur le devenir et les effets de la BDOM restent limitées.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Inclure le carbone organique dissous et la matière organique issue du biochar dans l'évaluation des produits lorsque les effets microbiens ou la qualité de l'eau sont en jeu. Adapter la matière première et les conditions de pyrolyse à l'usage visé, puis suivre dans le temps la réponse microbienne du sol, les pertes de carbone et la mobilité des contaminants.

Produits de biochar et lessivage des nutriments dans un sol à texture grossière (Gutierrez Benites et al., 2026)

Dans un essai en colonnes réalisé sur un seul sol limono-sableux, les auteurs ont comparé onze produits de biochar appliqués à 5 % et 10 % en volume. La plupart ont réduit le lessivage cumulé de l'azote, avec une baisse maximale de 36,7 %. Les effets sur le phosphore et le carbone organique dissous variaient selon le produit : certains biochars ont accru le lessivage du phosphore jusqu'à 174,4 % et celui du carbone organique dissous jusqu'à 146,6 %. Aucun produit n'a réduit simultanément les trois pertes ; une meilleure rétention de l'azote peut donc s'accompagner d'une mobilité accrue du phosphore ou du carbone. Ces résultats obtenus au laboratoire sont préliminaires et doivent être confirmés au champ.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Choisir le biochar en fonction de l'objectif principal de gestion des nutriments, tout en vérifiant les compromis possibles concernant le phosphore et le carbone organique dissous. Examiner notamment le phosphore labile et les autres propriétés du

produit, puis réaliser des bandes d'essai avec suivi du sol ou des eaux de drainage avant tout déploiement, surtout dans les sols à texture grossière.

Biochar et isotopes stables pour une viticulture régénératrice (Kingston et al., 2025)

Cette revue présente le biochar comme un outil possible de la viticulture régénératrice, qui vise à gérer conjointement le carbone, l'azote, l'eau et les processus microbiens du sol afin de renforcer la résilience des vignobles face au changement climatique. Elle propose également d'utiliser les isotopes stables du carbone, de l'azote et de l'oxygène, associés aux fractions de carbone et d'azote extractibles à l'eau, pour suivre les interactions entre le sol, la vigne et les microorganismes et évaluer des matières premières issues de déchets viticoles. Ces méthodes offrent un cadre de suivi ; la revue présente des applications possibles plutôt qu'une preuve que le biochar, à lui seul, produit des résultats viticoles réguliers.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Intégrer le biochar à un plan plus large de gestion des sols et l'évaluer avec les autres pratiques. Lorsque cela est possible, combiner des mesures répétées du carbone, de l'azote, de l'état hydrique et d'indicateurs microbiens ; les méthodes isotopiques peuvent aider à distinguer les processus dans des recherches ou des essais au champ bien conçus.

Biochar, productivité des vignobles et stockage du carbone (Nunes, 2026)

Cette revue intégrative conclut que les hausses de rendement observées dans les vignobles concernent un contexte restreint : dans trois vignobles toscans aux sols acides à neutres, pauvres en carbone et non irrigués, le même biochar issu de sarments et produit à 500 °C a entraîné des hausses de 16 à 67 % par vendange, rapportées jusqu'à dix ans après l'application. Dans la plupart des autres comparaisons entre sites, aucune variation significative du rendement n'a été observée, tandis que les gains d'humidité du sol et de carbone dans l'horizon de surface étaient plus constants. Les données les plus solides concernent la persistance du carbone du biochar ; les réductions de gaz à effet de serre au champ ne sont pas confirmées, et la revue relève des contraintes importantes de coût et d'approvisionnement en matière première. Des réplications indépendantes sont nécessaires avant de généraliser les résultats sur le rendement.

- **Conséquence pour les pratiques au champ.** Privilégier des essais pilotes dans les sols viticoles secs et pauvres en carbone où la limitation hydrique est avérée, en tenant compte de la variabilité des réponses selon les sites. Évaluer séparément la persistance du carbone, les effets sur le rendement et les bénéfices liés aux gaz à effet de serre ; comparer les coûts d'application, la disponibilité des sarments et les revenus carbone éventuels avant tout déploiement à grande échelle.

À RETENIR Les cinq publications confirment que les propriétés et les effets du biochar dépendent de la matière première, du procédé de production et du site. Il faut vérifier les bénéfices attendus et les compromis possibles, puis valider les résultats au champ par un suivi adapté.

Bibliographie

- Azeem, M. et al. (2023). « Biochar-derived dissolved organic matter (BDOM) and its influence on soil microbial community composition, function, and activity: A review. » Critical Reviews in Environmental Science and Technology. doi:10.1080/10643389.2023.2190333.
- Beatrice, P. et al. (2024). « The long-term effect of biochar application to Vitis vinifera L. reduces fibrous and pioneer root production and increases their turnover rate in the upper soil layers. » Frontiers in Plant Science, 15, 1384065. doi:10.3389/fpls.2024.1384065.
- Biancalani, A. et al. (2026). « Biochar Enhances Vineyard Resilience: Soil Improvement and Physiological Benefits for Sangiovese Vineyards in Varied Soils of the Chianti Classico (Tuscany, Central Italy). » Land, 15(2), 245. doi:10.3390/land15020245.
- Bolan, S. et al. (2023). « The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and environmental applications. » Science of the Total Environment, 886, 163968. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.163968.
- Brtnicky, M. et al. (2021). « A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. » Science of the Total Environment, 796, 148756.
- Gutierrez Benites, E. D. et al. (2026). « Biochar products impact nitrogen, phosphorus, and carbon leaching on a coarse-textured soil. » Environmental Challenges, 24, 101582. doi:10.1016/j.envc.2026.101582.
- Kingston, K. et al. (2025). « The potential of integrating biochar and stable isotope technologies for regenerative viticulture under climate change. » Journal of Soils and Sediments. doi:10.1007/s11368-025-04123-6.
- Nobilé, C. et al. (2022). « Biochar and compost addition increases soil organic carbon content and substitutes P and K fertilizer in three French cropping systems. » Agronomy for Sustainable Development, 42, 119. doi:10.1007/s13593-022-00848-7.
- Nunes, L. J. R. (2026). « The use of biochar in agricultural soils: Impacts on vineyard productivity and the potential for carbon capture and sequestration. » Science of the Total Environment, 1055, 182381. doi:10.1016/j.scitotenv.2026.182381.
- Poly, N. & Bois, B. (2025). « Application of Biochar in viticulture: Biochar, a little-known tool for grape and wine producers. » IVES Technical Reviews. doi:10.20870/IVES-TR.2025.9286.
- Schmidt, H.-P. et al. (2021). « Biochar in agriculture - A systematic review of 26 global meta-analyses. » GCB Bioenergy, 13, 1708–1730. doi:10.1111/gcbb.12889.
- Wang, L. et al. (2020). « New trends in biochar pyrolysis and modification strategies: feedstock, pyrolysis conditions, sustainability concerns and implications for soil amendment. » Soil Use and Management, 36, 358–386. doi:10.1111/sum.12592.