# Carbon reserves in grapevine canes and perennial organs

**Alain Deloire**
Professeur physiologie vigne-raisin, Université de Montpellier, Institut Agro Montpellier (retraité depuis 2023)

*What cane analysis can tell us and how to use it in viticulture*

Practical question : Do reserve measurements in canes tell us about reserves in the trunk and roots, and how can they inform vineyard management?

## In brief

Cane analysis can serve as an indicator of the carbon status of annual growth and, when repeated using a consistent protocol, help compare vineyard blocks, management practices, or years. On its own, however, it is neither a direct measurement nor a validated proxy for reserves in the trunk, and especially not in the roots. All three compartments respond to the shared balance between photosynthesis and growth demands, but they differ in mass, composition, and the timing of storage and mobilization. In practice, cane results are therefore useful as a monitoring signal and diagnostic aid, to be interpreted alongside vine vigor, crop load, water status, and canopy function and, when warranted, measurements of perennial wood or roots.

## 1. Three compartments, three distinct kinds of information

Grapevines store most of their non-structural carbohydrates as starch in the parenchyma of woody tissues. Soluble sugars (sucrose, glucose, and fructose) are also present and contribute to transport and osmotic adjustment. One-year-old canes, older wood, and roots all contribute to these reserves, but their concentrations do not, by themselves, describe the total amount stored in a vine (Zapata et al., 2004; Zufferey et al., 2012).

A result reported as milligrams of carbohydrate per gram of dry matter describes the concentration in the sample. The reserve pool in an organ also depends on that organ's mass; the total pool in a vine further depends on the vine's size and structure. This distinction matters: a vine may have a high concentration in a small mass of canes but a limited total pool, while a larger vine may store more in its roots and older wood. Vineyard studies show that vine size, particularly the amount of older wood and the size of the root system, strongly affects the total carbohydrate pool (Pellegrino et al., 2014).

| Compartment | What it represents | Interpretive limitation |
|---|---|---|
| One-year-old canes | Reserves and carbon status of the current year's growth; readily sampled at pruning. | An annual aboveground sample; does not quantify root mass or the vine's total reserve pool. |
| Trunk and cordons | Reserves in perennial wood, accumulated over several seasons and available for mobilization. | Concentration varies with tissue, age, season, temperature, and sampling position. |
| Roots | A major storage compartment and an important carbon source for spring regrowth. | Biomass is difficult to measure; fine and structural roots have different functions. |

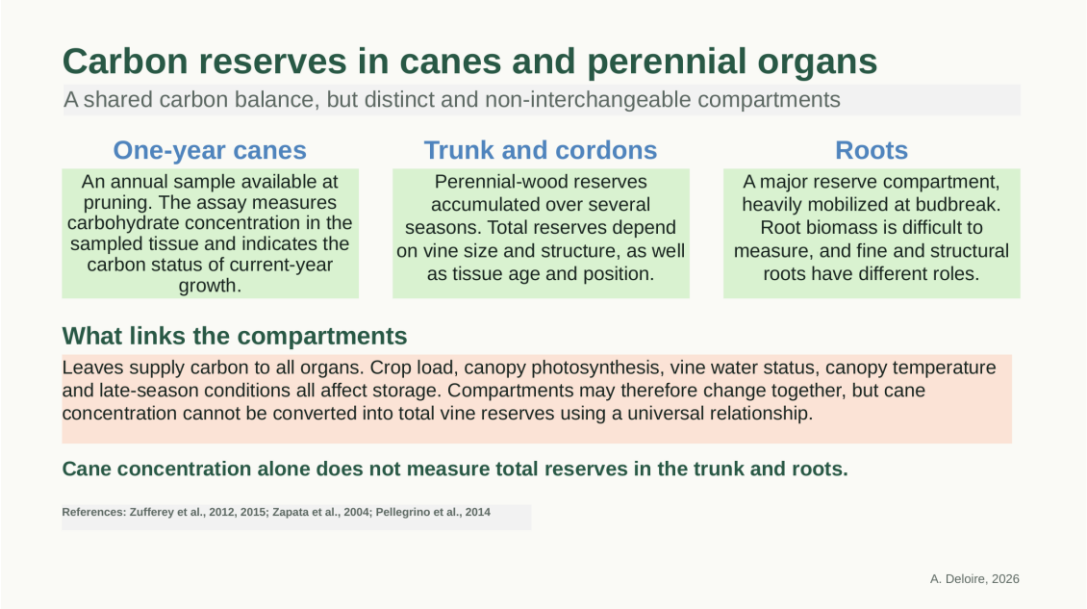



*Figure 1. Overview of the three reserve compartments and their shared carbon balance; cane concentration alone does not quantify trunk or root reserves.*

## 2. Why cane reserves may be related to reserves in the trunk and roots

All vine organs draw on the same photosynthetic assimilates produced by the leaves. Toward the end of the season, as shoot growth and berry demand slow, some carbon can be stored in both current-year and perennial tissues. Adequate functional leaf area, a crop load suited to that area, and conditions that support photosynthesis generally favor reserve replenishment. Conversely, a heavy crop, early leaf loss, drought, or late ripening may reduce or delay replenishment.

Because the organs draw on a common carbon supply, cane and perennial-organ reserves may covary, especially when the vines being compared are similar in age, cultivar, rootstock, training system, and sampling date. Zufferey et al. (2012) measured carbohydrates simultaneously in one- and two-year-old canes, trunks, and roots of Chasselas vines. Reserves fluctuated over the season, declining in spring and then accumulating again. At harvest, the leaf-to-fruit balance was also associated with reserve levels in the trunk and roots. Their 2015 study likewise found that concentrations in these organs varied with season and crop load.

These findings support a shared physiological relationship; they do not validate an equation for converting cane concentrations into root reserves or the vine's total reserve pool. Carbon allocation among organs varies, and concentrations do not necessarily follow parallel trajectories at every sampling date. Several studies identify roots as a major source of reserves for spring regrowth. Root reserves can be mobilized substantially even though the canes have already been removed during pruning (Zapata et al., 2004).

## 3. What reserve-mobilization studies show

From budbreak through flowering, stored starch is mobilized to support shoot growth and reproductive development. In the experiment by Zapata et al. (2004), roots supplied most of the stored carbon and nitrogen used during the initial growth flush, more than the trunk and woody canes. Reserve accumulation resumes from flowering onward in perennial organs and then in current-year tissues; the timing and extent depend on cultivar and growing conditions.

Tracer experiments show that carbon stored in woody tissues can be redirected to clusters when leaf area is severely reduced (Candolfi-Vasconcelos et al., 1994). Other experiments on potted Syrah vines found that defoliation after veraison slowed sugar accumulation in the berries and coincided with a decline in root starch (Rossouw et al., 2017). These studies illustrate the buffering role of reserves, but they examined specific stress conditions or experimental setups and do not provide an assay threshold that can be applied directly to commercial vineyards.

An assay of a dormant cane therefore does not measure the carbon that will actually be available in the roots and trunk the following spring. It describes one part of the vine's response to the previous season's carbon balance. Subsequent mobilization also depends on the condition of perennial organs, temperature, soil conditions, water availability, the resumption of photosynthesis, and growth demand.

## 4. What is the practical value?

| Potential use | How to interpret it | Caution |
|---|---|---|
| Compare blocks or years | Identify a signal of low or high cane reserves, especially within the same management unit. | Use the same sampling date and protocol; interpret results in light of weather, yield, and vine vigor. |
| Assess a management practice | Track the possible effect of a heavy crop, defoliation, pruning, or water stress on the end-of-season carbon balance. | The assay alone cannot identify the cause or distinguish concentration from biomass. |
| Guide diagnosis | Prompt checks of post-harvest canopy function, water status, crop load, or growth, and, if needed, trunk or root sampling. | Do not automatically prescribe irrigation, fertilization, crop thinning, or a change in pruning. |
| Develop a local indicator | Assess over several seasons whether cane measurements predict a relevant outcome in a given block. | Establish and verify the local relationship; it may differ by cultivar, rootstock, vine age, and soil. |

The measurement is most useful for comparative monitoring. A single result cannot predict future yield, bud fruitfulness, or the vine's capacity to resume growth. Studies report cases where reserves in woody organs changed without a proportional change in berry sugar or yield, showing that vines can compensate and that responses depend on context (Pellegrino et al., 2014).

### 5. Minimum conditions for interpretable cane analysis

- Set a consistent sampling date and stage, for example during dormancy before pruning. Do not combine samples collected at different temperatures or phenological stages.
- Collect representative samples from several vines per block. Select canes that are comparable in age, position, diameter, and maturity; exclude atypical tissues and record pruning-wood weight.
- Ask the laboratory to specify which fraction is measured: starch alone, soluble sugars, or total non-structural carbohydrates. Report results on a dry-matter basis and use the same analytical method over time.
- Interpret concentration together with biomass. When the aim is to track a relative reserve pool, pair the concentration with average cane weight or pruning weight per vine or per meter of row.
- Build a reference series for each block over several years. Initially, include paired samples of perennial wood and/or roots to test whether cane measurements actually track the compartment of interest.

Lugol staining can show whether starch is present in a tissue, but it does not replace quantitative analysis. Rapid spectroscopic methods for cane wood show promise after grinding and calibration; predictions from intact canes were less robust in the study by Jones et al. (2020).

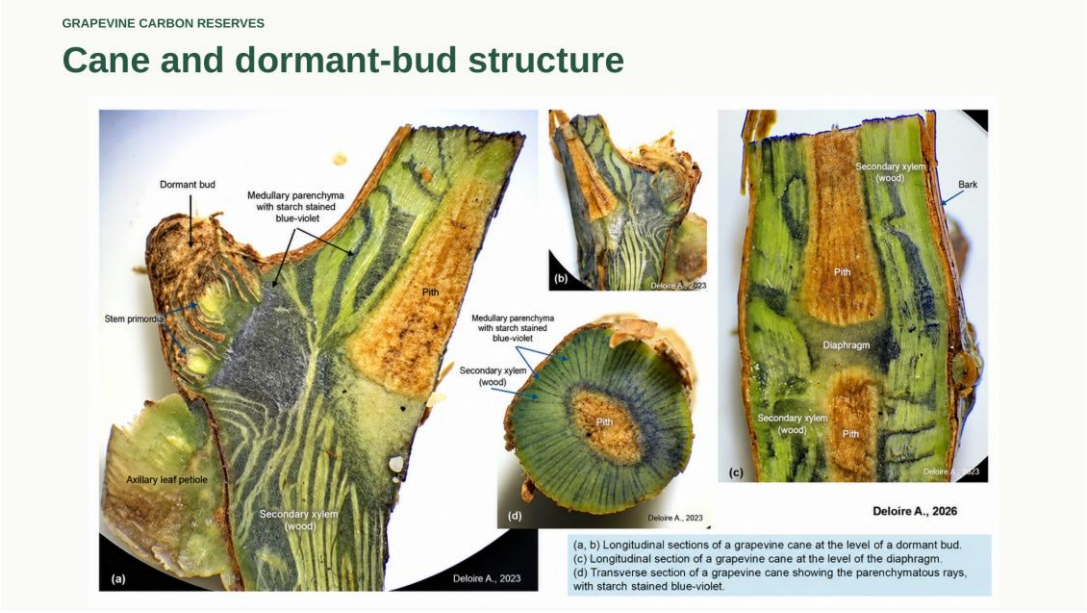



*Figure 2. Longitudinal and transverse sections of a grapevine cane at a dormant bud and diaphragm; Lugol-positive starch is visible in the ray parenchyma.*

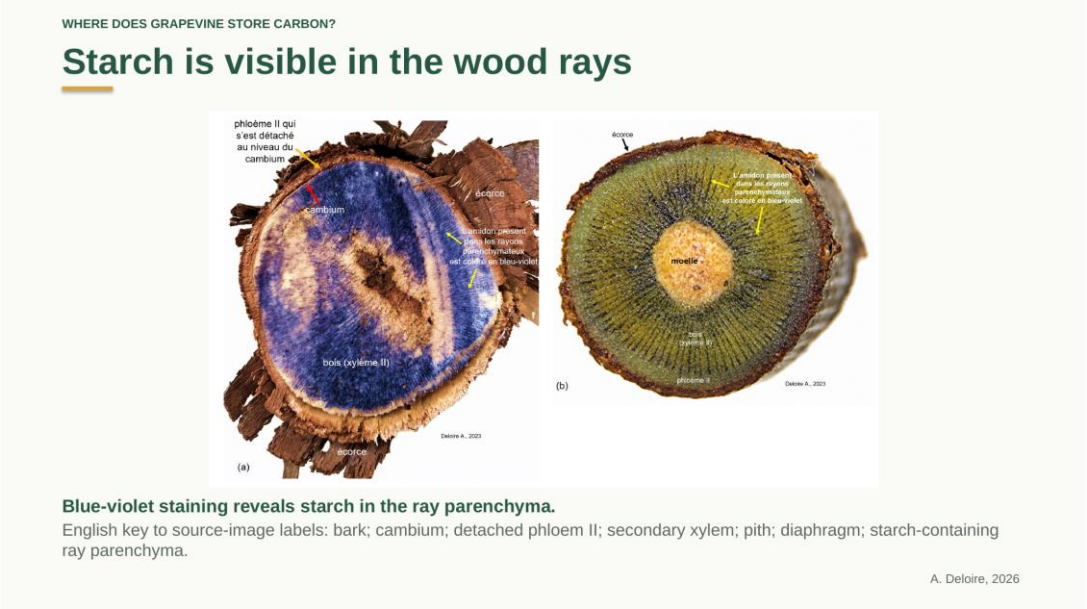



*Figure 3. Blue-violet Lugol staining reveals starch in the ray parenchyma of grapevine wood sections.*

### Practical conclusion

Carbon reserves in canes are linked to reserves in the trunk and roots through the vine's shared balance of photosynthesis, growth, and crop load. The literature shows that these compartments change over the season and can respond to the same factors, but it does not justify treating cane analysis as a direct measure of root reserves or of the vine's total reserve pool. For vineyard management, cane analysis is a monitoring indicator: it can help identify and compare situations, generate hypotheses about the carbon cost of management practices, and show when further diagnosis is warranted. It becomes genuinely predictive only after local validation against trunk and root measurements and agronomic outcomes tracked over time.

## References

Candolfi-Vasconcelos, M. C., Candolfi, M. P. & Koblet, W. (1994). Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in Vitis vinifera L. Planta, 192, 567–573. https://doi.org/10.1007/BF00203595

Pellegrino, A., Clingeleffer, P., Cooley, N. & Walker, R. (2014). Management practices impact vine carbohydrate status to a greater extent than vine productivity. Frontiers in Plant Science, 5, 283. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00283

Rossouw, G. C., Orchard, B. A., Šuklje, K., Smith, J. P., Barril, C., Deloire, A. & Holzapfel, B. P. (2017). Vitis vinifera root and leaf metabolic composition during fruit maturation: implications of defoliation. Physiologia Plantarum. https://doi.org/10.1111/ppl.12604

Jones, J., Eyles, A., Claye, C., Rodemann, T., Dambergs, B. & Close, D. (2020). Prediction of starch reserves in intact and ground grapevine cane wood tissues using near-infrared reflectance spectroscopy. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(6), 2418–2424. https://doi.org/10.1002/jsfa.10253

Zapata, C., Deleéns, E., Chaillou, S. & Magné, C. (2004). Partitioning and mobilization of starch and nitrogen reserves in grapevine (Vitis vinifera L.). Journal of Plant Physiology, 161, 1031–1040. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2003.11.009

Zufferey, V., Murisier, F., Vivin, P., Belcher, S., Lorenzini, F., Spring, J.-L. & Viret, O. (2012). Carbohydrate reserves in grapevine (Vitis vinifera L. "Chasselas"): the influence of the leaf to fruit ratio. Vitis, 51(3), 103–110.

Zufferey, V., Murisier, F., Belcher, S., Lorenzini, F., Vivin, P., Spring, J.-L. & Viret, O. (2015). Nitrogen and carbohydrate reserves in the grapevine (Vitis vinifera L. "Chasselas"): the influence of the leaf to fruit ratio. Vitis, 54, 183–188. https://doi.org/10.5073/vitis.2015.54.183-188

# Réserves carbonées de la vigne dans les sarments et les organes pérennes

**Alain Deloire**
Professeur physiologie vigne-raisin, Université de Montpellier, Institut Agro Montpellier (retraité depuis 2023)

*Ce que l'analyse des sarments peut nous apprendre et comment l'utiliser en viticulture*

Question pratique : Les mesures des réserves dans les sarments renseignent-elles sur celles du tronc et des racines, et comment peuvent-elles guider la conduite du vignoble ?

## En bref

L'analyse des sarments peut servir d'indicateur de l'état carboné de la croissance annuelle et, répétée selon un protocole constant, aider à comparer des parcelles, des pratiques viticoles ou différentes années. À elle seule, elle ne constitue toutefois ni une mesure directe ni un indicateur indirect validé des réserves du tronc, et encore moins de celles des racines. Les trois compartiments répondent au bilan commun entre photosynthèse et besoins de croissance, mais diffèrent par leur masse, leur composition ainsi que le calendrier de stockage et de mobilisation. En pratique, les résultats obtenus sur les sarments sont donc utiles comme signal de suivi et outil de diagnostic, à interpréter avec la vigueur de la vigne, la charge en fruits, l'état hydrique et le fonctionnement du feuillage et, si nécessaire, avec des mesures réalisées dans le bois pérenne ou les racines.

## 1. Trois compartiments, trois types d'information distincts

La vigne stocke l'essentiel de ses glucides non structuraux sous forme d'amidon dans le parenchyme des tissus ligneux. Des sucres solubles (saccharose, glucose et fructose) sont également présents et participent au transport et à l'ajustement osmotique. Les sarments d'un an, le bois plus âgé et les racines contribuent tous à ces réserves, mais leurs concentrations ne renseignent pas, à elles seules, sur la quantité totale stockée dans un cep (Zapata et al., 2004 ; Zufferey et al., 2012).

Un résultat exprimé en milligrammes de glucides par gramme de matière sèche décrit la concentration dans l'échantillon. Le stock d'un organe dépend aussi de sa masse ; le stock total du cep dépend en outre de sa taille et de sa structure. Cette distinction est importante : un cep peut présenter une forte concentration dans une faible masse de sarments, tout en ayant un stock total limité, tandis qu'un cep plus volumineux peut stocker davantage dans ses racines et son vieux bois. Les études en viticulture montrent que la taille du cep, notamment la quantité de bois âgé et l'importance du système racinaire, influence fortement le stock total de glucides (Pellegrino et al., 2014).

| Compartiment | Ce que cela représente | Limite d'interprétation |
|---|---|---|
| Sarments d'un an | Réserves et état carboné de la croissance de l'année ; prélèvement facile à la taille. | Échantillon annuel aérien ; ne quantifie ni la masse des racines ni le stock total du cep. |
| Tronc et cordons | Réserves du bois pérenne, accumulées sur plusieurs saisons et mobilisables. | La concentration varie selon le tissu, l'âge, la saison, la température et le point de prélèvement. |
| Racines | Compartiment majeur de stockage et source importante de carbone pour la reprise de croissance au printemps. | La biomasse est difficile à mesurer ; les racines fines et structurales ont des fonctions différentes. |

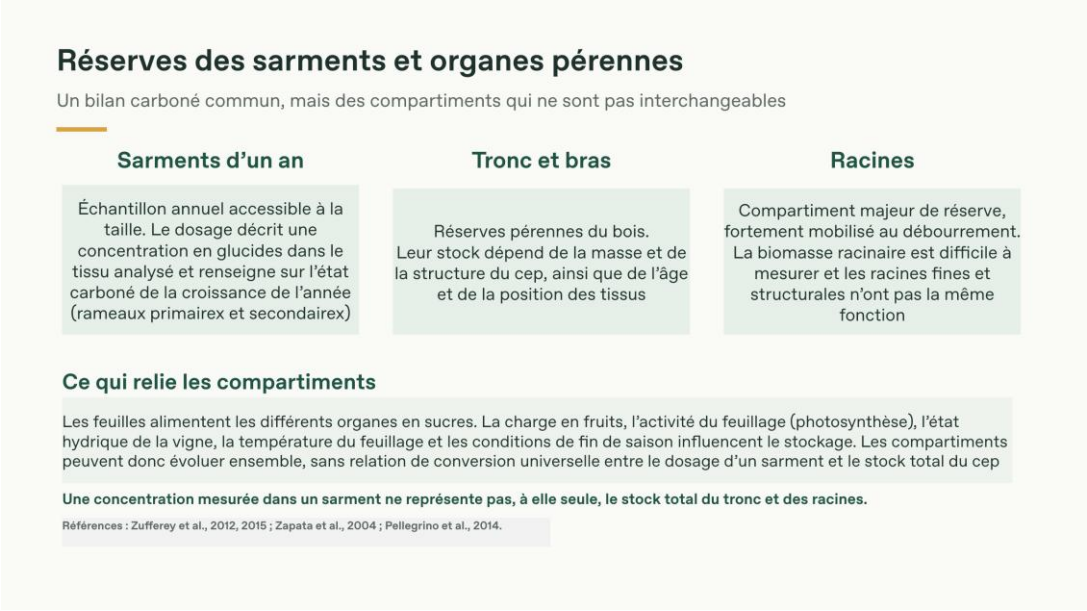



*Figure 1. Vue d'ensemble des trois compartiments de réserves et de leur bilan carboné commun ; la concentration mesurée dans les sarments ne quantifie pas, à elle seule, les réserves du tronc ou des racines.*

## 2. Pourquoi les réserves des sarments peuvent être liées à celles du tronc et des racines

Tous les organes de la vigne utilisent les mêmes assimilats produits par les feuilles grâce à la photosynthèse. En fin de saison, lorsque la croissance des rameaux et la demande des baies ralentissent, une partie du carbone peut être stockée dans les tissus de l'année comme dans les tissus pérennes. Une surface foliaire fonctionnelle suffisante, une charge en fruits adaptée à cette surface et des conditions favorables à la photosynthèse favorisent généralement la reconstitution des réserves. À l'inverse, une forte charge, une chute précoce des feuilles, la sécheresse ou une maturation tardive peuvent réduire ou retarder cette reconstitution.

Comme les organes puisent dans une source commune de carbone, les réserves des sarments et des organes pérennes peuvent varier de concert, surtout lorsque les vignes comparées sont similaires par l'âge, le cépage, le porte-greffe, le mode de conduite et la date de prélèvement. Zufferey et al. (2012) ont mesuré simultanément les glucides dans des sarments d'un et de deux ans, les troncs et les racines de vignes de Chasselas. Les réserves ont fluctué au cours de la saison : elles ont diminué au printemps, puis se sont reconstituées. À la vendange, l'équilibre entre la surface foliaire et la récolte était également associé au niveau des réserves dans le tronc et les racines. Leur étude de 2015 a elle aussi montré que les concentrations dans ces organes variaient selon la saison et la charge en fruits.

Ces résultats étayent l'existence d'un lien physiologique commun ; ils ne valident pas d'équation permettant de convertir les concentrations mesurées dans les sarments en réserves racinaires ou en stock total du cep. La répartition du carbone entre les organes varie, et leurs concentrations ne suivent pas nécessairement des évolutions parallèles à chaque date de prélèvement. Plusieurs études désignent les racines comme une source majeure de réserves pour la reprise de croissance au printemps. Les réserves racinaires peuvent être fortement mobilisées alors même que les sarments ont déjà été retirés lors de la taille (Zapata et al., 2004).

### 3. Ce que montrent les études sur la mobilisation des réserves

Du débourrement à la floraison, l'amidon stocké est mobilisé pour soutenir la croissance des rameaux et le développement reproducteur. Dans l'expérience de Zapata et al. (2004), les racines ont fourni la majeure partie du carbone et de l'azote stockés utilisés lors de la première poussée de croissance, davantage que le tronc et les sarments ligneux. L'accumulation des réserves reprend à partir de la floraison dans les organes pérennes, puis dans les tissus de l'année ; son calendrier et son ampleur dépendent du cépage et des conditions de culture.

Des expériences de traçage montrent que le carbone stocké dans les tissus ligneux peut être redirigé vers les grappes lorsque la surface foliaire est fortement réduite (Candolfi-Vasconcelos et al., 1994). D'autres expériences menées sur des vignes de Syrah en pot ont montré qu'une défoliation après la véraison ralentissait l'accumulation des sucres dans les baies et coïncidait avec une baisse de l'amidon racinaire (Rossouw et al., 2017). Ces études illustrent le rôle tampon des réserves, mais portent sur des conditions de stress ou des dispositifs expérimentaux particuliers ; elles ne fournissent pas de seuil d'analyse directement applicable en vignoble commercial.

L'analyse d'un sarment en dormance ne mesure donc pas le carbone qui sera effectivement disponible dans les racines et le tronc au printemps suivant. Elle décrit une partie de la réponse de la vigne au bilan carboné de la saison précédente. La mobilisation ultérieure dépend aussi de l'état des organes pérennes, de la température, des conditions du sol, de la disponibilité en eau, de la reprise de la photosynthèse et des besoins de croissance.

## 4. Quel est l'intérêt pratique ?

| Usage possible | Interprétation | Précaution |
|---|---|---|
| Comparer des parcelles ou des années | Repérer un signal de faibles ou de fortes réserves dans les sarments, en particulier au sein d'une même unité de conduite. | Conserver la même date et le même protocole de prélèvement ; interpréter les résultats au regard de la météo, du rendement et de la vigueur. |
| Évaluer une pratique viticole | Suivre l'effet possible d'une forte charge, d'une défoliation, de la taille ou d'un stress hydrique sur le bilan carboné de fin de saison. | L'analyse seule ne permet ni d'identifier la cause ni de distinguer la concentration de la biomasse. |
| Orienter le diagnostic | Inviter à vérifier le fonctionnement du feuillage après récolte, l'état hydrique, la charge en fruits ou la croissance et, si nécessaire, à prélever du bois de tronc ou des racines. | Ne pas en déduire automatiquement une irrigation, une fertilisation, un éclaircissage ou un changement de taille. |
| Élaborer un indicateur local | Évaluer sur plusieurs saisons si les mesures des sarments prédisent un résultat pertinent dans une parcelle donnée. | Établir puis vérifier la relation locale ; elle peut varier selon le cépage, le porte-greffe, l'âge des vignes et le sol. |

Cette mesure est surtout utile pour un suivi comparatif. Un résultat isolé ne permet pas de prédire le rendement futur, la fertilité des bourgeons ni la capacité de la vigne à reprendre sa croissance. Des études rapportent des situations où les réserves des organes ligneux ont varié sans changement proportionnel de la teneur en sucre des baies ou du rendement, ce qui montre que la vigne peut compenser et que les réponses dépendent du contexte (Pellegrino et al., 2014).

## 5. Conditions minimales pour interpréter l'analyse des sarments

- Fixer une date et un stade de prélèvement constants, par exemple pendant la dormance, avant la taille. Ne pas mélanger des échantillons prélevés à des températures ou à des stades phénologiques différents.
- Prélever des échantillons représentatifs sur plusieurs ceps par parcelle. Choisir des sarments comparables par leur âge, leur position, leur diamètre et leur maturité ; écarter les tissus atypiques et consigner le poids des bois de taille.
- Demander au laboratoire de préciser la fraction mesurée : amidon seul, sucres solubles ou glucides non structuraux totaux. Exprimer les résultats par rapport à la matière sèche et conserver la même méthode analytique au fil du temps.
- Interpréter la concentration en tenant compte de la biomasse. Pour suivre l'évolution relative d'un stock de réserves, associer la concentration au poids moyen des sarments ou au poids de taille par cep ou par mètre de rang.
- Constituer une série de référence pour chaque parcelle sur plusieurs années. Au départ, ajouter des prélèvements appariés de bois pérenne et/ou de racines afin de vérifier si les mesures sur sarments suivent effectivement le compartiment étudié.

La coloration au Lugol permet de visualiser la présence d'amidon dans un tissu, mais ne remplace pas une analyse quantitative. Les méthodes spectroscopiques rapides appliquées au bois des sarments sont prometteuses après broyage et étalonnage ; dans l'étude de Jones et al. (2020), les prédictions à partir de sarments entiers étaient moins robustes.

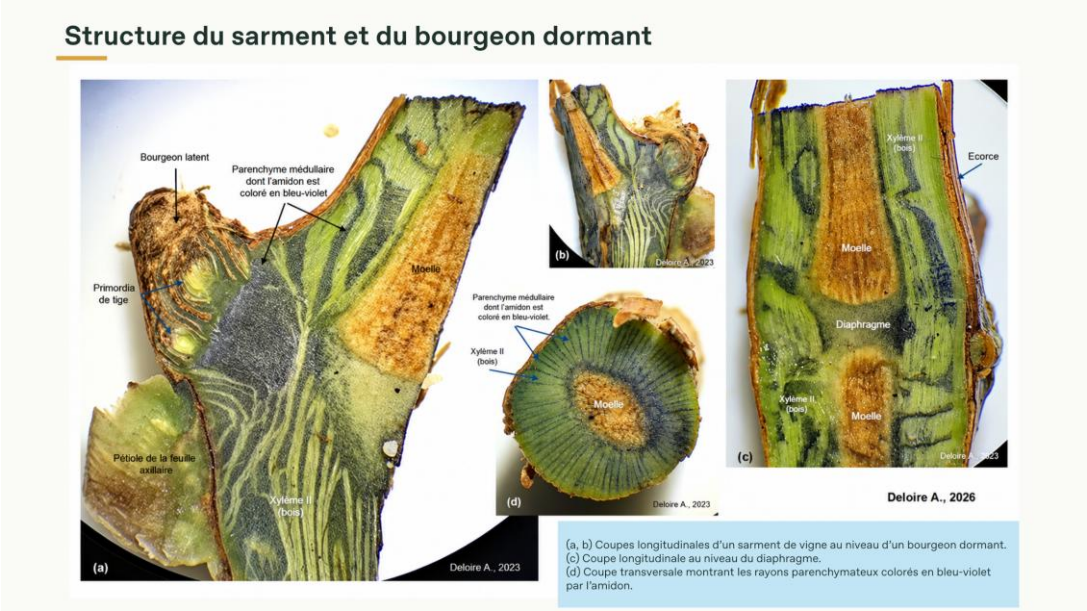



*Figure 2. Coupes longitudinale et transversale d'un sarment au niveau d'un bourgeon dormant et d'un diaphragme ; l'amidon coloré au Lugol est visible dans le parenchyme des rayons.*




*Figure 3. La coloration bleu-violet au Lugol met en évidence l'amidon dans le parenchyme des rayons du bois de vigne.*

### Conclusion pratique

Les réserves des sarments sont liées à celles du tronc et des racines par le bilan commun de la vigne entre photosynthèse, croissance et charge en fruits. La littérature montre que ces compartiments évoluent au fil de la saison et peuvent réagir aux mêmes facteurs ; elle ne permet toutefois pas de considérer l'analyse des sarments comme une mesure directe des réserves racinaires ou du stock total du cep. Pour la conduite du vignoble, cette analyse est un indicateur de suivi : elle peut aider à repérer et à comparer des situations, à formuler des hypothèses sur le coût carboné des pratiques et à déterminer quand un diagnostic complémentaire est nécessaire. Elle ne devient réellement prédictive qu'après validation locale, à partir de mesures dans le tronc et les racines et d'indicateurs agronomiques suivis dans le temps.

## Références

Candolfi-Vasconcelos, M. C., Candolfi, M. P. & Koblet, W. (1994). Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in Vitis vinifera L. Planta, 192, 567–573. https://doi.org/10.1007/BF00203595

Pellegrino, A., Clingeleffer, P., Cooley, N. & Walker, R. (2014). Management practices impact vine carbohydrate status to a greater extent than vine productivity. Frontiers in Plant Science, 5, 283. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00283

Rossouw, G. C., Orchard, B. A., Šuklje, K., Smith, J. P., Barril, C., Deloire, A. & Holzapfel, B. P. (2017). Vitis vinifera root and leaf metabolic composition during fruit maturation: implications of defoliation. Physiologia Plantarum. https://doi.org/10.1111/ppl.12604

Jones, J., Eyles, A., Claye, C., Rodemann, T., Dambergs, B. & Close, D. (2020). Prediction of starch reserves in intact and ground grapevine cane wood tissues using near-infrared reflectance spectroscopy. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(6), 2418–2424. https://doi.org/10.1002/jsfa.10253

Zapata, C., Deleéns, E., Chaillou, S. & Magné, C. (2004). Partitioning and mobilization of starch and nitrogen reserves in grapevine (Vitis vinifera L.). Journal of Plant Physiology, 161, 1031–1040. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2003.11.009

Zufferey, V., Murisier, F., Vivin, P., Belcher, S., Lorenzini, F., Spring, J.-L. & Viret, O. (2012). Carbohydrate reserves in grapevine (Vitis vinifera L. "Chasselas"): the influence of the leaf to fruit ratio. Vitis, 51(3), 103–110.

Zufferey, V., Murisier, F., Belcher, S., Lorenzini, F., Vivin, P., Spring, J.-L. & Viret, O. (2015). Nitrogen and carbohydrate reserves in the grapevine (Vitis vinifera L. "Chasselas"): the influence of the leaf to fruit ratio. Vitis, 54, 183–188. https://doi.org/10.5073/vitis.2015.54.183-188