

# Suivi de maturation du raisin par voltamétrie linéaire de balayage – Partie 1: principe et utilisation pour déterminer les fenêtres aromatiques de la vendange

Christine Pascal, Emmanuel Brenon, Nelly Champeau, Emilie Charpentier, Jean Baptiste Diéval, Stéphane Vidal

Vinventions, équipe œnologie, France

## Résumé

La maturité optimale du raisin est définie en fonction du style de vin que le vinificateur souhaite produire. La qualification de la vendange revêt donc une importance capitale pour déterminer la date de récolte du raisin et se placer dans les meilleures conditions pour produire le profil de vin souhaité.

Au-delà des traditionnels suivis de concentration en sucre et acidité, la détermination de la date d'arrêt de chargement en sucre d'une parcelle permet de définir des fenêtres de récolte pour produire un style de vin d'aromatique et d'équilibre donnés.

Cet article présente comment la voltamétrie linéaire de balayage peut être utilisée pour déterminer la date d'arrêt de chargement en sucre d'une parcelle. L'évolution du signal obtenu sur les jus de foulage des baies, ceux-là même qui sont utilisés pour déterminer la concentration en sucre, est décrite et l'évolution du signal expliquée en se basant sur les phénomènes observés durant cette phase de la maturation. Il en ressort que cette technologie peut être mise en œuvre simplement pour déterminer finement le moment d'arrêt de chargement en sucre des parcelles de vigne et en conséquence repérer les fenêtres de dates pour obtenir un profil donné. L'utilisation de cet indicateur pour produire des vins de Sauvignon blanc de style défini est présenté dans la partie 2 de cet article.

XXXXXXXXXX



La maturité optimale du raisin est définie en fonction du style de vin que le vinificateur souhaite produire. La qualification de la vendange revêt donc une importance capitale pour déterminer la date de récolte du raisin et se placer dans les meilleures conditions pour produire le profil de vin souhaité.

Traditionnellement les contrôles maturité consistent à analyser la concentration de sucre, le pH et l'acidité totale d'une parcelle, et suivre la masse moyenne des baies. La date de récolte est choisie en fonction de ces paramètres, voire du rapport sucre / acide de la vendange (Ribereau-Gayon *et al.* 1998). Toutefois, ces paramètres analytiques ne permettent pas de déterminer quel sera le profil aromatique du vin récolté à une date donnée. En complément, des dégustations de baies peuvent être réalisées pour déterminer ce profil aromatique mais se révèlent fastidieuses si réalisées sur un nombre important de parcelles.

Deloire (2011) a par ailleurs décrit le concept de chargement en sucre de la vigne : la quantité de sucre par baie de raisin augmente (phase de chargement actif) à partir de la véraison jusqu'à atteindre un plateau, qui marque l'arrêt de chargement en sucre. A partir de l'arrêt, le profil aromatique des raisins évolue passant par différents types évoquant, par exemple, pour les cépages rouges, le fruit rouge (fraise / cerise) jusqu'au fruit noir (mure / prune). Suklje *et al* (2019) ont démontré sur des vins de Syrah que ces évolutions aromatiques étaient dues à des compositions en arômes différentes, notamment en esters fermentaires. Ce constat a également été effectué sur des vins de Cabernet Sauvignon et Syrah par Antalick *et al.* (2021), qui ont de plus montré que ces fenêtres permettant de produire des styles de vin définis apparaissaient de manière temporellement reproductible après l'arrêt de chargement en sucre pour un cépage donné, indépendamment du lieu d'implantation du vignoble, du mésoclimat subi par les raisins ou du millésime.

Par ailleurs, Hastoy *et al.* (2019) ont suivi la maturation du raisin durant la phase de chargement en sucre par voltamétrie linéaire de balayage effectuée sur les jus de foulage des baies lors des contrôles de maturité. Ces travaux ont montré que le signal voltamétrique diminue au cours de la phase de chargement en sucre jusqu'à obtenir un minimum de signal, qui semble concomitant avec l'arrêt de chargement en sucre.

L'objectif de cette étude est de comprendre l'origine de la baisse du signal voltamétrique jusqu'à l'obtention d'un minimum de signal, indiquant l'arrêt du chargement actif en sucre d'une parcelle de vigne. Dans un 1<sup>er</sup> temps, une origine moléculaire a été recherchée en évaluant le signal voltamétrique de molécules telles que le saccharose ou l'acide malique. Dans un 2<sup>e</sup> temps, les phénomènes ayant lieu pendant la phase de chargement en sucre (dilution, augmentation de la quantité de sucre par baie) puis après cette phase (concentration) ont été recréés sur une solution de composés phénoliques de thé vert permettant d'émettre l'hypothèse que la baisse de signal observée est liée de manière conjointe à l'impact de la concentration croissante en sucre sur les courbes intensité - potentiel des composés phénoliques de la pulpe et à la dilution de ces derniers du fait de l'augmentation de volume des baies.

## Matériel et méthode

Les analyses par voltamétrie linéaire de balayage (potentiostat Polyscan, WQS, Vinventions) ont été réalisées en triplicat sur des électrodes imprimées (WQS Vinventions, électrode de travail en carbone, référence Ag/AgCl) en appliquant une rampe de potentiel de 0 à 1200 mV à une vitesse de balayage de 10mV/s. Chaque voltamogramme a été caractérisé par le calcul de l'indice Maturox, combinaison linéaire d'aires sous courbe entre 400 et 1000mV.



Les suivis de maturation de parcelle ont été réalisés sur des prélèvements hebdomadaires de 200 baies réalisés sur les 2 faces du rang à partir de mi véraison jusqu'à récolte. Les échantillons de 200 baies ont été pressés manuellement dans un sac plastique. Le jus ainsi obtenu, contenant essentiellement des composés de la pulpe des baies a été analysé par voltamétrie linéaire de balayage comme décrit ci-dessus.

Des solutions d'acide malique à 20g/L, de saccharose à 200g/L, de glucose + fructose (équimolaire) à 200 g/L et de diammonium phosphate (200 mg/L) dans une solution de KCl 0.05M à pH ajusté à 3.20 par HCl 1N ont été analysées par voltamétrie dans les conditions décrites ci-dessus.

Enfin, pour reproduire l'effet de la maturation (augmentation du volume des baies, augmentation de la concentration en sucre comme détaillé plus loin), un sachet de thé vert (Betjeman et Barton®) a été infusé pendant 5 min dans 250 mL d'eau préalablement chauffée à 100°C pour obtenir une solution de composés phénoliques, majoritairement un flavan-3-ol monomère, l'epigallocatechine gallate. Après refroidissement à température ambiante, plusieurs solutions ont été préparées à partir du thé vert : des dilutions à 20 et 50% avec de l'eau distillée, des solutions avec ajout d'un mélange équimolaire de glucose / fructose à 100, 170 et 210 g/L sur le thé non dilué et à 100 et 210g/l sur la solution diluée à 20% par de l'eau et à 170 g/L sur la solution diluée à 50%.

## Résultats et discussion

Depuis 2015, des suivis hebdomadaires de maturation par voltamétrie linéaire de balayage ont été effectués sur des parcelles de cépages rouges et blancs, de fin véraison à récolte. Ces suivis présentent une diminution globale des courbes intensité - potentiel jusqu'à une certaine date, proche de l'arrêt de chargement en sucre d'après Hastoy *et al.* (2019), à partir de laquelle le signal se stabilise ou réaugmente. La figure 1 présente un exemple de suivi d'une parcelle de Mourvèdre: les courbes intensité - potentiel des prélèvements effectués deux semaines avant l'arrêt de chargement en sucre (déterminé selon la méthode décrite par Deloire 2011), au moment de l'arrêt et une semaine après l'arrêt sont représentées. Les formes des courbes intensité - potentiel restent similaires au cours du temps (figure 1). L'indice Maturox, calculé comme une combinaison linéaire d'aires sous la courbe est un indicateur chiffré de l'intensité globale du signal. Concrètement, il diminue jusqu'à un minimum puis stagne ou réaugmente, permettant de repérer temporellement l'arrêt de chargement en sucre d'une parcelle et donc de prédire les dates de récolte adaptées pour produire un style de vin donné.

Pendant la phase de chargement actif des sucres, plusieurs phénomènes ont lieu dans les baies de raisin :

- Augmentation de volume de la baie induisant des dilutions des composés dont la quantité par baie est stable pendant cette phase : acide tartrique, composé phénoliques tels que les acides hydroxycinnamiques ou les tannins par exemple (Teixera *et al.* 2013)
- Augmentation de la quantité de sucre par baie (glucose + fructose issu du saccharose) ainsi que de la concentration de sucre
- Augmentation du pH
- Baisse de l'acidité totale, en particulier du fait de la dégradation de l'acide malique
- Baisse de la quantité d'ions ammonium par baie



- Augmentation de la quantité par baie d'anthocyanes (Teixera *et al.* 2013).

Au-delà de l'arrêt de chargement en sucre, les augmentations de concentration en sucre sont liées à des phénomènes de transpiration et flétrissement des baies, engendrant des pertes de volume des baies (Deloire *et al.* 2021).

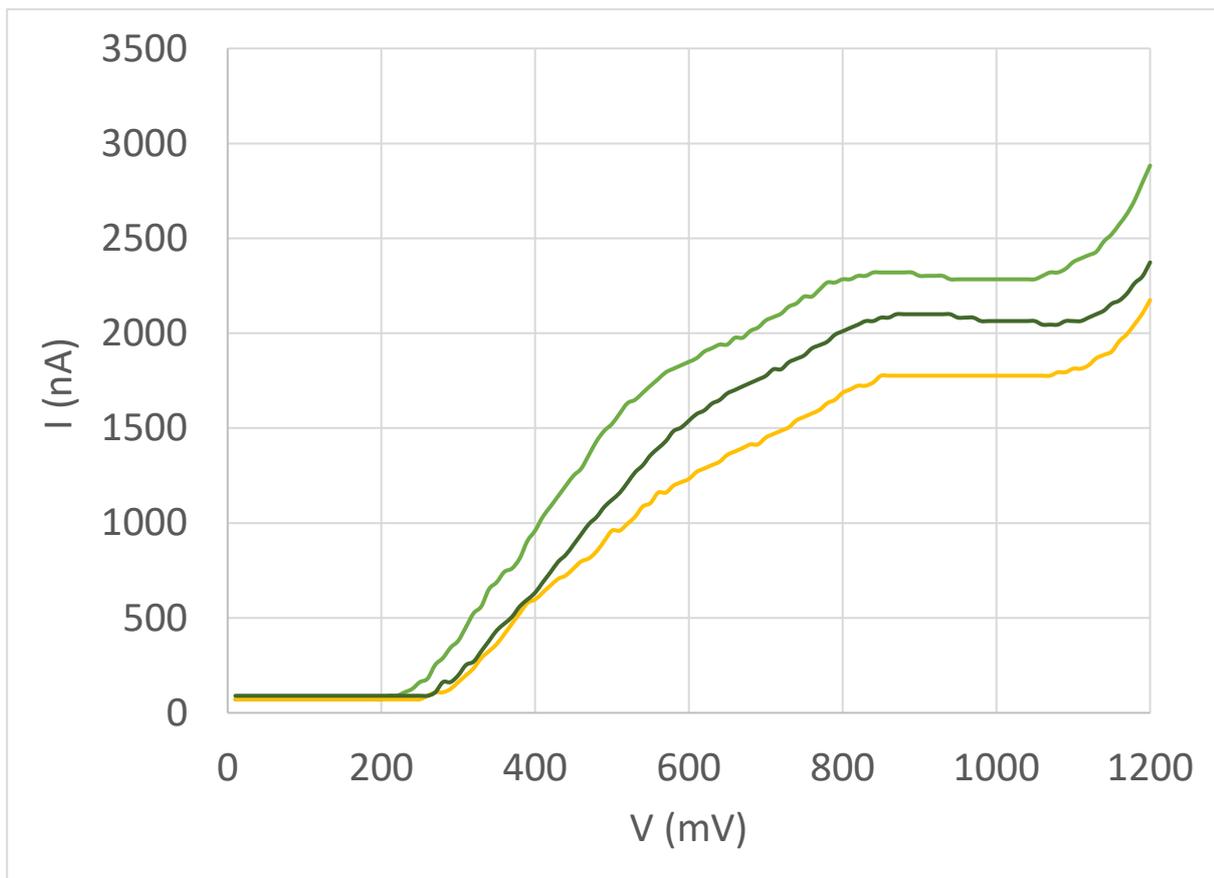


Figure 1 : courbes intensité - potentiel enregistrées sur le jus de foulage de 200 baies prélevées de manière hebdomadaire au cours de la maturation d'une parcelle de Mourvèdre. Vert clair : courbe du 12 août, 2 semaines avant l'arrêt de chargement en sucre de la parcelle. Bleu : courbe du 26 août, date de l'arrêt de chargement en sucre. Vert foncé : courbe du 2 septembre, une semaine après l'arrêt de chargement en sucre de la parcelle. Arrêt de chargement en sucre déterminé selon la méthode décrite par Deloire (2011).

Dans un premier temps, le signal en voltamétrie linéaire de balayage de différentes molécules a été enregistré au maximum de concentration qu'elles présentent en cours de maturation : saccharose (200g/L), glucose + fructose en mélange équimolaire (200 g/L – non montré ici), ammonium diphosphate (200 mg/L), acide-L-malique (20 g/L). Aucune de ces molécules ne présente un signal important (figure 2), a fortiori entre 400 et 1000 mV, zone de potentiel considérée pour le calcul de l'indice MaturOx permettant de suivre la maturation tel que décrit précédemment. L'évolution de leur concentration en cours de maturation ne peut donc pas expliquer de manière isolée les évolutions observées des courbes intensité - potentiel telles que ci-



dessus. Il en est de même pour le pH (non montré ici) dont l'augmentation engendre de légers déplacements des voltamogrammes sur l'échelle de potentiel sans commune mesure avec les baisses de signal décrite ci-dessus.

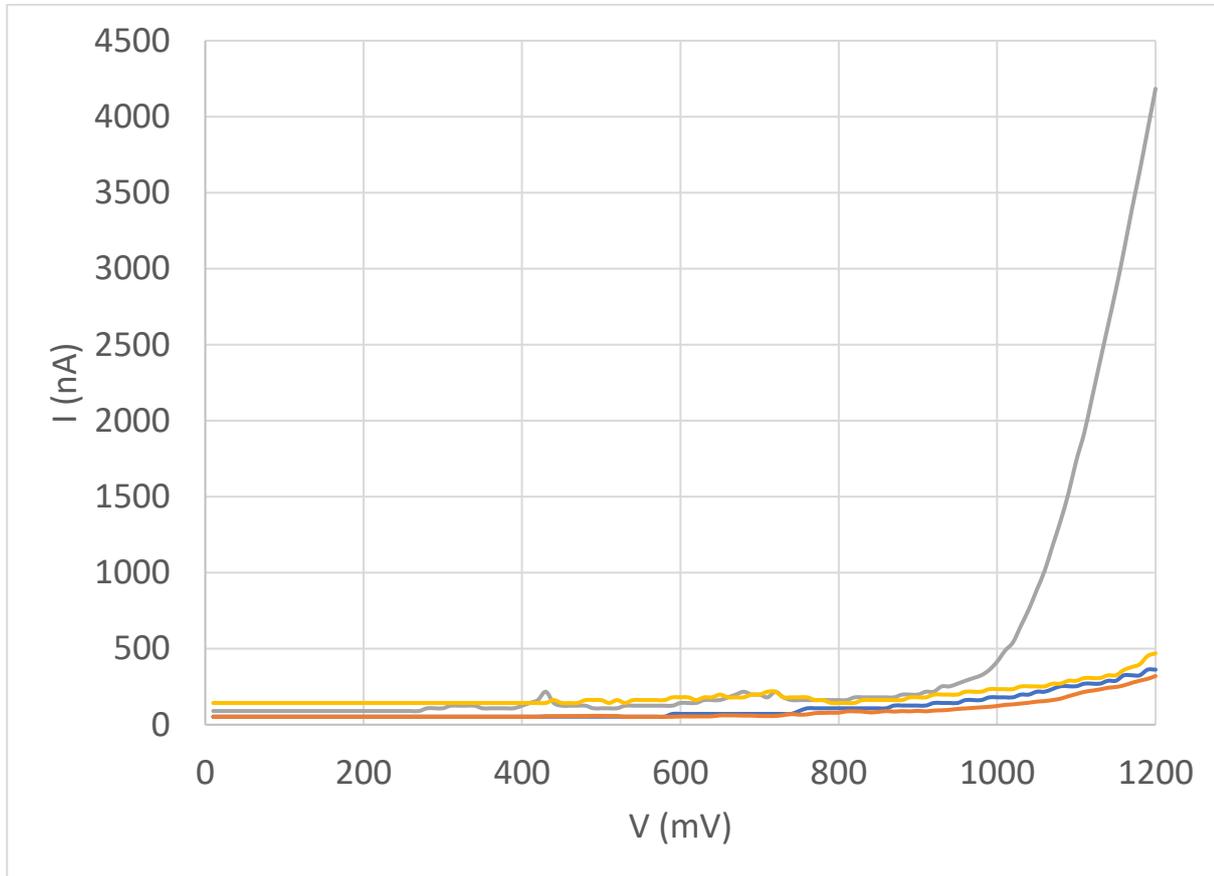


Figure 2 : courbes intensité - potentiel de solutions de saccharose à 200g/L (bleu foncé) , acide L-malique à 20g/L (orange), et diammonium phosphate (200 mg/L - vert) dans une solution de KCl 0.05M à pH 3.20 (bleu clair)

Il a été décrit par ailleurs que le signal obtenu sur des électrodes de carbone telles que celles utilisées dans ces essais était dû à l'oxydation de composés phénoliques sur ces dernières (Ugliano *et al.* 2019, Kilmartin *et al.* 2001 et 2002). Les jus de foulage des baies analysés ici présentent majoritairement des composés issus de la pulpe, donc des acides hydroxycinnamiques et des flavanols monomères.

Toutefois, les acides hydroxycinnamiques et les monomères de flavan-3-ols (Teixeira *et al.* 2013) étant synthétisés avant véraison, leur quantité par baie demeure stable au cours du chargement en sucre mais leur concentration diminue donc du fait de l'augmentation de volume des baies.

Afin de reproduire l'impact de la dilution et de l'augmentation de la concentration de sucre dans les jus de foulage des baies en cours de maturation, une solution de thé vert a été choisie comme solution modèle car



riche en composés phénoliques monomères (épigallocatechine gallate, EGCG), ne comportant pas de glucose / fructose ou saccharose contrairement à du jus de raisin, ni d'alcool contrairement à du vin. L'hypothèse est faite ici que les composés phénoliques du thé vert ont un comportement similaire en voltamétrie linéaire de balayage à ceux contenus dans la pulpe de raisin.

Le thé vert simule le jus de foulage obtenu fin véraison, lorsque la teneur en sucre par baie est encore faible. Pour représenter une baie en cours de chargement (augmentation de volume de 20%, passant par exemple de 1 mL à 1.2 mL), le thé vert a été dilué à 20% et additionné de 100 g/L de sucre (glucose + fructose équimolaire). Pour simuler le jus de foulage à l'arrêt de chargement en sucre en considérant une augmentation de volume moyenne des baies de 50% depuis fin véraison (passant par exemple de 1 à 1.5mL), le thé vert a été dilué à 50% et additionné de 170g/L de sucre (Shahood *et al.* 2020, Antalick *et al.* 2021, Deloire *et al.* 2021). Enfin, pour simuler l'effet d'un flétrissement d'environ 20% post arrêt de chargement en sucre (baie passant par exemple de 1.5 mL à 1.2 mL), le thé vert initial a été dilué à 20% (équivalent à un phénomène de concentration de 20% sur la solution diluée à 50%) et additionné de 210 g/L de sucre (concentration moyenne de la vendange à date de récolte).

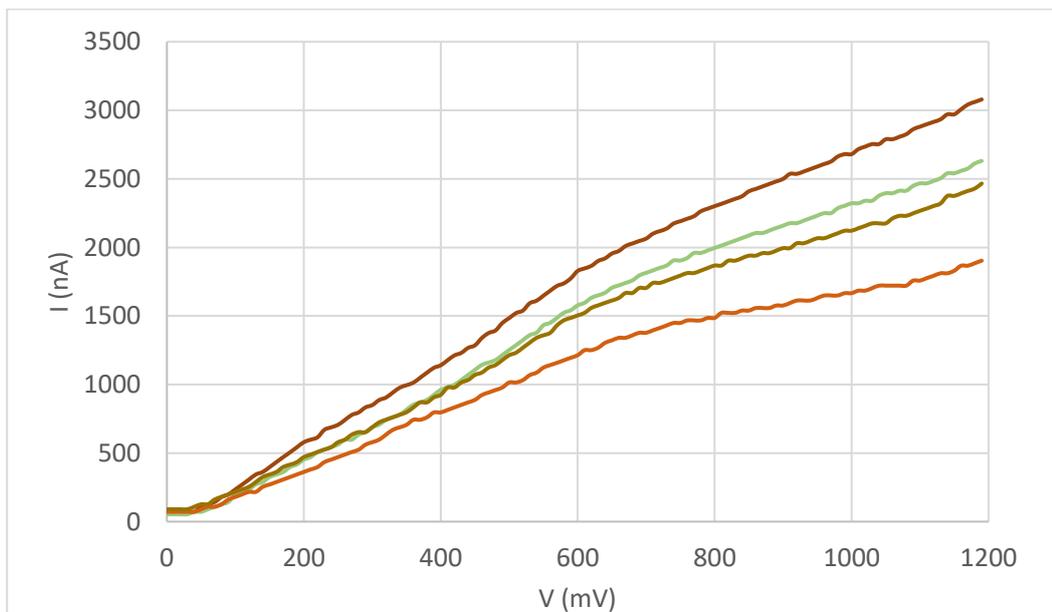


Figure 3 : courbes intensité / potentiel de solutions de thé vert non diluées (marron) représentant le jus de foulage des baies en fin de véraison, de thé vert diluée à 20% et additionnée de 100 g/L de glucose + fructose équimolaire (vert) représentant le jus de foulage des baies en cours de chargement en sucre, de thé vert diluée à 50% et additionnée de 170 g/L de glucose + fructose équimolaire (orange) représentant le jus de foulage des baies à l'arrêt de chargement en sucre, de thé vert diluée à 20% additionnée de 210 g/L de glucose + fructose équimolaire (bleu) représentant le jus de foulage des baies à date de récolte.

Les courbes intensité - potentiel des solutions (figure 3) montrent que plus la dilution augmente plus la baisse de signal est importante, de manière similaire aux observations faites en cours de maturation. La courbe minimale est obtenue pour la solution simulant le jus de foulage des baies à l'arrêt de chargement en sucre (dilution 50% du thé vert + 170 g/L de glucose fructose équimolaire). Toutefois, la solution de thé vert diluée

à 20% et comportant 210 g/L de sucre a un signal plus faible que celle diluée à 20% et comportant 100 g/L de sucre, semblant indiquer un impact cumulé des deux facteurs sur la baisse de signal. L'analyse et le calcul du MaturOx (indice évaluant l'aire sous courbe des enregistrements intensité / potentiel) de solutions de thé diluées à 20 et 50% respectivement sans addition de sucre et de thé vert non diluées mais additionnées de 100, 170 et 200 g/L confirment que les effets de dilution et d'ajout de sucre s'additionnent (tableau 1) Des résultats similaires ont également été obtenus (non montrés ici) en utilisant du saccharose (sucre chargé dans la baie de raisin avant hydrolyse en glucose / fructose par voie enzymatique) au lieu du mélange glucose / fructose. L'impact de saccharides sur le pouvoir antioxydant de composés phénoliques monomères mesuré par des tests ABTS<sup>+</sup>, DPPH<sup>•</sup> ou FRAP a déjà été reporté (Kopjar *et al.* 2016, Peinado *et al.* 2010, Katz *et al.* 2020), tout comme des interactions entre composés phénoliques et polysaccharides par liaisons non covalentes (Zhang *et al.* 2013). Ces interactions pourraient être à l'origine de la formation de complexes supramoléculaires entre composés phénoliques et saccharides présentant une réponse plus faible en voltamétrie linéaire de balayage en comparaison au signal des composés phénoliques seuls.

Solution	Commentaire	MaturOx (unité arbitraire)	Perte signal par rapport au thé (delta MaturOx - unité arbitraire)	Cumul théorique attendu (cumul effet dilution et ajout de sucre)
Thé non dilué	Début chargement en sucre	828	-	
Thé dilué 20% + 100g/L glucose+fructose	En cours de chargement en sucre	680	-148	-174
Thé dilué 50% + 170g/L glucose+fructose	Fin de chargement en sucre	492	-336	-306
Thé dilué 20% + 210g/L glucose+fructose	Flétrissement après fin de chargement en sucre (équivalent récolte)	604	-224	-259
Thé dilué 50%	Effet dilution seule	620	-208	
Thé dilué 20%	Effet dilution seule	700	-128	
Thé - 100g/L glucose+fructose	Effet glucose + fructose seul	781	-47	
Thé - 170g/L glucose+fructose	Effet glucose + fructose seul	730	-98	
Thé - 210g/L glucose+fructose	Effet glucose + fructose seul	697	-131	

L'évolution de l'indice MaturOx obtenu sur les solutions de thé est similaire à ce qui est obtenu classiquement en cours de maturation des baies. Pour exemple, elle a été mise en perspective du suivi d'une parcelle de Mourvèdre en termes de MaturOx et de quantité de sucre par baie qui présente un minimum sur le 3<sup>e</sup> point de suivi, concomitant avec la stabilisation de la quantité de sucre par baie (figure 4).

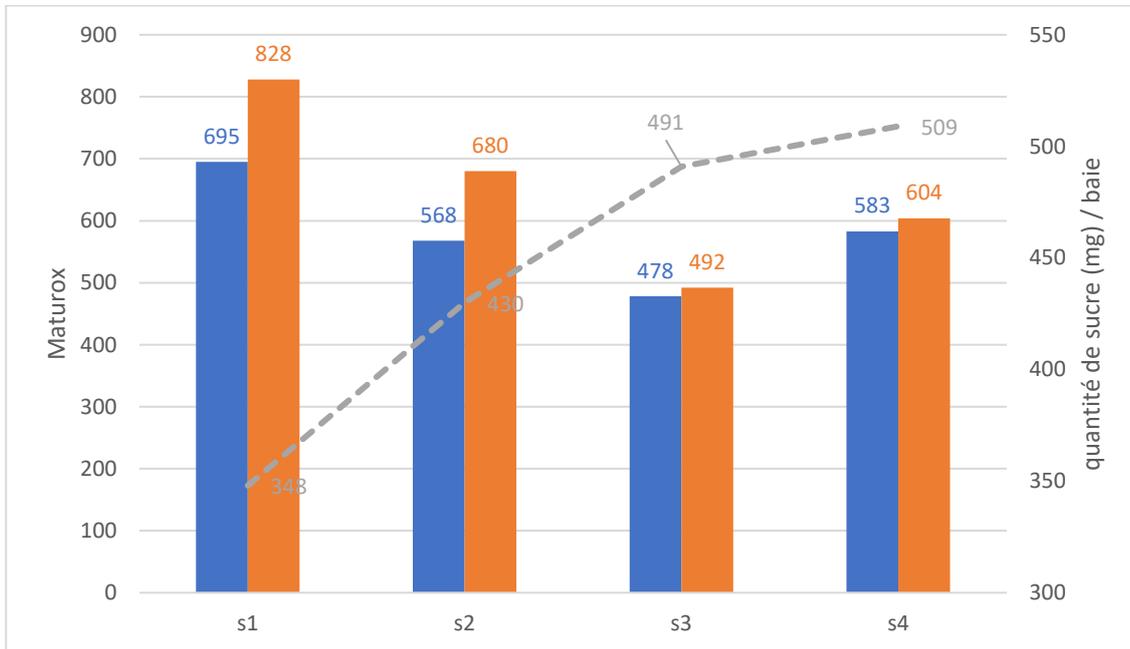


Figure 4 : Evolution de l'indice Maturox de prélèvements hebdomadaires d'une parcelle de Mourvèdre en cours de maturation (bleu) et de la quantité de sucre par baie (vert) de ces prélèvements. Maturox (orange) des solutions de thé vert mimant les phénomènes observés en cours de maturation (figure 3 et tableau 1).

En considérant les résultats de ces essais, la baisse des courbes intensité - potentiel au cours de la phase de chargement en sucre jusqu'à atteindre un minimum au moment de l'arrêt de chargement semble logique. Le phénomène repose sur l'évolution des courbes intensité - potentiel des composés phénoliques présents dans la pulpe des baies au cours de la maturation.

Pendant la phase de chargement actif, la concentration en sucre augmente dans les baies. Or les interactions entre sucre et composés phénoliques conduisent à une baisse des courbes intensité - potentiel des composés phénoliques : plus la concentration en sucre est élevée, plus le signal baisse à une concentration de composés phénoliques donnée. De plus, l'augmentation du volume des baies conduit à une dilution des composés phénoliques dans la pulpe (biosynthétisés avant véraison), donc à une baisse de leur signal en voltamétrie. Pendant cette phase, les deux phénomènes sont en général concomitants, entraînant tous deux des baisses de courbes intensité - potentiel. Un chargement actif en sucre se poursuivant alors que le volume des baies n'augmente pas conduit également à une baisse du signal. En revanche, un cas dans lequel la concentration en composés phénoliques continuerait de décroître par augmentation du volume des baies sans chargement actif de sucre est hautement improbable (McCarthy et Coombes 2008) : il ne semble donc pas envisageable que le signal diminue sans que le chargement en sucre soit actif.

A partir de l'arrêt de chargement en sucre, la courbe intensité - potentiel peut :

- évoluer peu (Maturox stable), si le volume des baies ne décroît pas (pas de flétrissement) et la concentration en sucre évolue peu (pas de chargement actif, pas de concentration par flétrissement).



- augmenter (Maturox croissant), si le volume des baies décroît (back flow / flétrissement – Deloire 2021) entraînant une augmentation de la concentration en composés phénoliques et en sucre. Dans ce cas, la baisse de signal liée à l'augmentation de la concentration en sucre est contrebalancée par l'effet de l'augmentation de la concentration en composés phénoliques. D'après les résultats des mesures sur thé (tableau 3), il apparaît que lors du flétrissement (20% dans l'exemple, de 170 à 210 g/L de sucre), l'augmentation de la concentration des composés phénoliques a un impact plus fort (hausse de 80 unités de Maturox) que l'impact de la concentration en sucre (baisse de 30 unités de Maturox). Même si les effets des deux phénomènes sont opposés, le signal résultant est a priori plus élevé.

En conséquence, le minimum de signal est forcément obtenu au moment de l'arrêt de chargement actif en sucre et le signal peut ensuite rester stable ou augmenter. La voltamétrie linéaire de balayage permet donc de déterminer finement le moment d'arrêt de chargement en sucre des parcelles de vigne et en conséquence de repérer les fenêtres de dates pour obtenir un profil donné.

## Conclusion

Pour maîtriser la vinification de profil de vins définis, les raisins doivent être récoltés à une date déterminée avec précision par rapport à l'arrêt de chargement en sucre, tel que suggéré par Deloire *et al.* (2011). Le suivi de maturation par voltamétrie linéaire de balayage a été mis en avant pour permettre la détermination de cette date (Hastoy *et al.* 2019) lorsqu'un minimum de signal est obtenu. L'étude présente a permis de mettre en avant les phénomènes sous tendant la baisse des courbes intensité - potentiel au cours de la maturation du raisin. Cette baisse semble liée à la baisse de concentration des composés phénoliques de la pulpe du fait de l'augmentation de volume des baies, couplée à l'impact de l'augmentation de concentration de sucre sur le signal de ces mêmes composés. L'utilisation de cet indicateur pour produire des vins de Sauvignon blanc de style défini est présenté dans la partie 2 de cet article (Brenon *et al.* 2025). Cette méthode peu consommatrice de jus pourrait être utilisée dans le cadre d'études physiologiques réalisées baie à baie, comme préconisé par Shahood *et al.* (2020).

## Références

Antalick G., Šuklje K., Blackman J.W., Schmidtke L.M., Deloire A. Performing sequential harvests based on berry sugar accumulation (mg/berry) to obtain specific wine sensory profiles OENO One, 2021, 55 (2).

Brenon E., Morin S., Pascal C. Suivi de maturation du raisin par voltamétrie linéaire de balayage – Partie 2 : Obtenir des vins de Sauvignon blanc de styles prédéfinis. Infowine, 2025.

Deloire A., The concept of berry sugar loading. January 2011, Wyneland.

Deloire, A. The concept of berry sugar loading, Wineland Magazine, 2011.

Deloire A., Rogiers S., Šuklje K., Antalick G., Zeyu X., Pellegrino A. Grapevine berry shrivelling, water loss and cell death: an increasing challenge for growers in the context of climate change. IVES 2021.



Hastoy X., Marquier S., Blanc G., Lagarde Pascal C., Utilisation de la voltamétrie linéaire de balayage pour déterminer la date de récolte de parcelles de Sauvignon blanc. *Revue des œnologues*, 2019, 44-46.

Katz I.H., Nagar E.E., Okun Z., Shpigelman A. The Link between Polyphenol Structure, Antioxidant Capacity and Shelf-Life Stability in the Presence of Fructose and Ascorbic Acid. *Molecules*, 2020, 25(1): 225.

Kilmartin, P.A.; Zou, H.; Waterhouse, A.L. A Cyclic Voltammetry Method Suitable for Characterizing Antioxidant Properties of Wine and Wine Phenolics. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49, 1957–1965.

Kilmartin P.A., Zou H, Waterhouse A.L. Correlation of wine phenolic composition versus cyclic voltammetry response, *Am. J. Enol. Vitic.*, 2002, 53, 294-302.

Kopjar M., Lončarić A., Mikulinjak M., Šrajbek Z., Šrajbek M., Pichler A. Evaluation of Antioxidant Interactions of Combined Model Systems of Phenolics in the Presence of Sugars. *Natural Products Communication*, 2016.

McCarthy M.G., Coombe B.G. Is weight loss in ripening grape berries cv. Shiraz caused by impeded phloem transport? *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1999, 5, 17–21

Peinado J., Lopez de Lerma N., Peinado R. A. Synergistic antioxidant interaction between sugars and phenolics from a sweet wine. *Eur Food Res Technol.*, 2010, 231, 363–370.

Ribereau Gayon P., Dubourdieu D., Doneche B., Lonvaud A. *Traité D'œnologie – 1. Microbiologie du vin. Vinifications. Chapitre 10- le raisin et sa maturation.* Ed. Dunod, 1998.

Shahood R., Torregrosa L., Savoï S., Romieu C. First quantitative assessment of growth, sugar accumulation and malate breakdown in a single ripening berry. *Oeno one*, 2020.

Šuklje, K., Carlin, S., Stanstrup, J., Antalick, G., Blackman, J.W., Meeks, C., Deloire, A., Schmidtke, L.M & Vrhovsek, U. Unravelling wine volatile evolution during Shiraz grape ripening by untargeted HS-SPME-GC × GC-TOFMS. *Food Chemistry*, 2019, 277, 753-765.

Teixeira A., Eiras-Dias J., Castellarin S.D., Gerós H. Berry Phenolics of Grapevine under Challenging Environments *Int J Mol Sci* 2013 ,14(9),18711–18739.

Ugliano M, Pascal C, Diéval J-B., Vidal S., Wirt J., Bégrand, S. Une nouvelle approche voltamétrique pour l'analyse des polyphénols des raisins blancs et le suivi des opérations pré-fermentaires ; *Infowine*, 2019.

Zhang H., Yu D., Sun J., Liu X., Jiang L., Guo H., Ren F. Interaction of plant phenols with food macronutrients: characterization and nutritional–physiological consequences. *Nutrition Research Review*, 2013, 21, 1-15.