

Nouvelles technologies pour renseigner du statut azoté des raisins – Capteur MULTIPLEX

Eric SERRANO¹, Flora DIAS¹, Thierry DUFOURCQ²

¹Institut Français de la Vigne et du Vin – Pôle Sud-Ouest - V'Innopôle - BP 22 - 81310 LISLE/TARN

²Institut Français de la Vigne et du Vin - Pôle Sud-Ouest - Château de Mons - 32100 CAUSSENS

Email: eric.serrano@vignevin.com

Résumé : Cet article réalise un rapide aperçu des différentes méthodes, issues de mesures classiques ou par l'intermédiaire de capteurs, développées pour permettre de renseigner ou d'anticiper sur le statut azoté de la vigne et des raisins. Il présente ensuite les travaux réalisés pour prédire l'azote assimilable des moûts grâce à l'utilisation d'une technologie nouvellement développée sur le marché viti-vinicole : la fluorimétrie (capteur Multiplex).

Introduction

L'évaluation de la qualité d'une récolte de raisins est depuis toujours le souci permanent du vigneron et du vinificateur. Les critères d'identification de la qualité sont multiples, complémentaires et surtout dépendants du profil de produit souhaité au final. Certains d'entre eux résultent d'une caractérisation du mode de culture (rendement, rapport feuille/fruit, taille,...), d'autres sont issues de mesures directes ou indirectes sur la récolte pour en évaluer l'état sanitaire, le niveau de maturité ou le potentiel aromatique. Les méthodologies précises, au vignoble ou au laboratoire, existent pour caractériser ces différents éléments de la qualité. Elles sont souvent destructives et parfois lourdes ou onéreuses. Elles peuvent de plus ne répondre que partiellement aux besoins d'anticipation du vigneron ou du vinificateur pour gérer et orienter de façon optimale la vendange. En ce sens, depuis une dizaine d'années de nouvelles technologies au potentiel intéressant sont exploitées dans la filière viti-vinicole pour définir immédiatement la matière première. L'émergence de nouveaux capteurs et leur exploitation en routine permet d'envisager une optimisation des règles de décision au vignoble et à la cave, notamment en permettant à l'utilisateur de disposer d'une information fiable précocement. A ce dernier, par la suite, de hiérarchiser les différents éléments de caractérisation du raisin. Parmi les critères d'évaluation d'une récolte, la teneur en azote des moûts a rarement été un élément déterminant à la sélection parcelle et à l'orientation de la vendange en cave. L'importance œnologique première des composés azotés du raisin réside dans la fermentescibilité des moûts et donc dans leur teneur en azote assimilable par les levures. Les risques d'arrêt de fermentation dû à une carence nutritionnelle étant aisément écartés lors de la vinification (Sablayrolles et al., 1996), la connaissance ou même l'anticipation de la teneur des baies en azote assimilable n'est pas, dans ce cas, essentielle. Cependant, depuis 2006, plusieurs travaux montrent l'importance de la présence d'azote dans les baies pour la synthèse d'arômes variétaux de type thiols (Choné et Al., 2006 ; Dufourcq et al., 2008). Dufourcq et Al. (2009) ont en ce sens précisé l'intérêt d'une fertilisation foliaire azotée appliquée à la mi-véraison. Le potentiel azoté d'une parcelle et plus particulièrement de son raisin apparaît aujourd'hui être un facteur clé dans les critères de qualification du raisin dès lors que l'on recherchera dans le produit fini certains niveaux de fruité des vins. Anticiper ce potentiel devient ainsi un enjeu majeur dans ce cadre de production, à la fois pour faciliter les orientations en cave et pour optimiser une correction éventuelle au vignoble dans le cadre d'une pulvérisation foliaire. Mais cette prévision n'est pas si aisée.

Evaluation du statut azoté des raisins

Une grande variabilité des teneurs en composés des moûts : Plusieurs auteurs ont montré qu'il existe une grande variabilité des teneurs en azote dans les moûts (Delas, 1993 ; Sponholz, 1991). De nombreux facteurs viticoles (cépage, sol, état sanitaire) et climatiques (pluie, sécheresse) influencent ces quantités au final.

Le Sueur et Al. (2006) constate, à titre d'exemple, une fluctuation de plus ou moins 20% de la teneur en azote total des moûts sur dix années de cuvées de Champagne, estimant comme précieuse une information précoce pouvant caractériser le profil « azoté » d'un millésime. Entre 2007 et 2010, nous avons évalué, pour un cépage unique (Négrette N.), la variabilité existante entre 30 parcelles pour un millésime donné (figure n°1) et pour une même parcelle sur 4 millésimes (figure n°2).

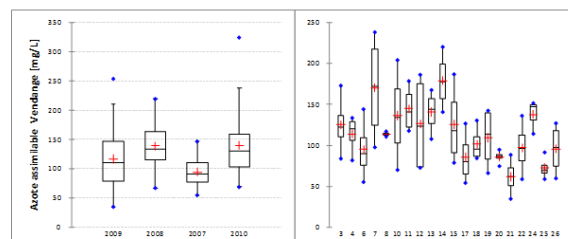


Figure n°1 et n°2 : Variabilité inter-parcellaire et intra-parcellaire (de 2007 à 2010) – Cépage Négrette.

La variation moyenne de l'azote assimilable à la vendange entre les parcelles sur un même millésime est de 35%. Celle pour une même parcelle sur 4 millésimes atteint 26%. D'une année à l'autre, une parcelle peut donc exprimer ou non une carence azotée en fonction des conditions climatiques, de sa charge, de son stress hydrique...

La prévision des teneurs en azote assimilable des moûts difficile à appréhender :

Plusieurs voies empiriques ou analytiques ont déjà été explorées pour tenter d'anticiper les niveaux d'azote dans les moûts à la vendange mais sans résultats flagrants. Dumot et Snackers (2007) constatent en Charente que les teneurs en azote assimilable des moûts sur un même millésime sont peu liées au mode d'entretien du sol, au rendement de la parcelle ou à sa vigueur, si ces éléments sont corrélés un à un à l'azote. L'indice Hydro N-tester ou la teneur en azote des feuilles n'apportent pas de résultats plus satisfaisants dans ce même cas. Parallèlement, nous avons réalisé un suivi pendant 3 ans (2007-2009) sur un réseau de 60 parcelles de cépages Colombard et Négrette. Trois cents baies ont été prélevées par parcelle sur 30 souches identifiées au stade début véraison et veille de vendange. Les teneurs en azote ammoniacal et alpha-aminé des raisins prélevés ont été mesurées. Nous considérons que la somme de ces deux composantes constitue l'azote assimilable par les levures du moût. L'analyse des 180 données, tous cépages confondus, aboutit à des corrélations de Pearson maximales de 0,65 (figure n°3).

Variables	Azote ammon. Véraison	Azote a.aminé Véraison	Azote assimil. Véraison	Azote ammon. Vendange	Azote a.aminé Vendange	Azote assimil. Vendange
Az. ammoniacal Véraison	1	-0,022	0,918	0,618	0,444	0,591
Az. alpha-aminé Véraison	-0,022	1	0,377	0,160	0,257	0,246
Az. assimilable Véraison	0,918	0,377	1	0,637	0,514	0,646
Az. Ammoniac. vendange	0,618	0,160	0,637	1	0,525	0,830
Az. a-aminé vendange	0,444	0,257	0,514	0,525	1	0,911
Az. assimilable vendange	0,591	0,246	0,646	0,830	0,911	1

Figure n°3 : Matrice de corrélation de Pearson –Réseau de 60 parcelles – 3 millésimes

Une analyse différenciée par cépage et par millésime ne révèle pas de meilleure relation entre les caractéristiques analytiques du raisin à la véraison et à la vendange. La figure n°4 montre la dispersion existante entre l'azote assimilable des baies à la véraison et à la récolte sur cépage Colombard. Ces résultats ne permettent pas d'envisager une prévision quantifiée de l'azote assimilable par de simples analyses chimiques réalisées précocement.

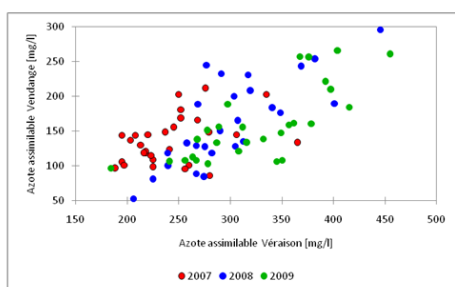


Figure n°4 : Nuage de points – Azote assimilable des baies à la véraison et à la vendange Cépage Colombard

Des capteurs pour des mesures du vignoble et à la parcelle :

Depuis plusieurs années, le développement de nouveaux capteurs sur la base de technologies performantes permet d'envisager l'élargissement du spectre des mesures réalisables directement sur le végétal ou son fruit et d'obtenir toujours plus d'informations. Très développé en agriculture, le N-tester permet par mesure optique de déterminer l'indice chlorophyllien de la plante. Différents travaux menés en grandes cultures ont montré que la valeur N-Tester est fortement affectée par le stade de croissance de la culture mais aussi la nature de la culture. Les conditions climatiques peuvent également avoir une influence sur l'indice mesuré. L'outil portable, simple d'utilisation, a été validé dans certaines conditions sur vigne par différents auteurs. Spring (1999) a notamment proposé une méthode d'utilisation des résultats issus du N-tester permettant d'identifier des risques de carence azotée dans les moûts sur les cépages Chasselas, Pinot N. et Gamay. La mesure constitue ainsi un indicateur d'alimentation azotée de la plante au même titre qu'un diagnostic foliaire et permet de suivre des évolutions au cours du cycle végétatif. Cependant, dans le cadre d'essais de pulvérisation foliaire, Spring (2006) indique aussi que cet indice chlorophyllien du feuillage ne traduit, que très imparfaitement les différences observées avec la teneur en azote dans les feuilles et dans les moûts.

D'autres capteurs utilisables au vignoble s'appuient sur le spectre de réflectance du végétal et ses facultés à réfléchir le vert et à absorber le rouge grâce à sa fonction chlorophyllienne. L'indice de végétation, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) basé sur ce principe de réflectance dans l'infrarouge est corrélé à l'azote assimilé par la plante et est utilisé pour identifier la vigueur générale du végétal. L'indice NDVI est disponible via des capteurs terrestres comme le GreenSeeker. Sur vigne, Debuisson et Al. (2009) et Goutouly (2006) ont montré que l'outil caractérise suffisamment correctement la vigueur ou la porosité du feuillage pour assurer le suivi spatial des parcelles et en identifier leurs différences et hétérogénéités. Le GreenSeeker a l'avantage de pouvoir être embarqués sur tracteur ou quad pour faciliter une mesure rapide. L'imagerie aérienne ou spatiale peut également s'avérer être pertinente pour approcher ou modéliser la vigueur de la vigne. L'information spectrale est alors essentiellement utilisée pour la réalisation de carte intra et inter-parcellaire (Tisseyre, 2007). Rousseau et Al. (2008) ont, par exemple, comparé les valeurs de NDVI obtenues par imagerie aérienne à la véraison avec des mesures sur vigne ou à la récolte sur 11 parcelles. Ils confirment une très bonne corrélation avec la surface foliaire potentielle et l'épaisseur du feuillage. Cette étude a donné lieu, par la suite, au développement du projet Oenoview par l'ICV, SupAgro et InfoTerra qui, par cartographie issue d'images satellitaires, segmente un vignoble selon son potentiel qualitatif décrit à partir des différents indices de végétation (Rousseau, 2010).

Malheureusement, à ce jour, les études n'ont pu montrer l'existence d'une corrélation étroite entre l'indice de végétation NDVI et les teneurs en azote des moûts.

D'un point de vue physiologique, cette difficulté à établir une relation entre la nutrition azotée de la vigne et l'azote des moûts peut s'expliquer par le fait que les formes d'azote retrouvées dans les baies sont le résultat de l'absorption durant la phase estivale tandis que le statut azoté mesuré sur feuilles est lié à l'absorption et à la croissance de la plante durant la première partie de son cycle.

Mais une autre technologie a fait son apparition depuis 2000 pour évaluer le statut azoté des cultures : la fluorescence (ou lumière réémise). Basée sur les propriétés d'absorption des molécules de l'épiderme (Bilger, 1997 ; Agati et Al., 2007), cette technologie a donné naissance à deux capteurs piétons développés par la société Force-A, Dualex et Multiplex. Leur principe est d'émettre un flash de lumière sur le végétal et de capter la lumière réémise pour l'analyser par longueur d'onde et donner la nature, la composition du végétal (Cerovic et Al., 2008). Le Multiplex utilise 2 diodes électroluminescentes qui émettent dans le visible et l'UV. La fluorescence est enregistrée par 3 détecteurs (jaune, rouge et proche infra rouge). Sur la base des informations recueillies par chacun des capteurs, plusieurs indices et ratios ont été développés pour décrire les teneurs en chlorophylle, en flavonol et le statut azoté ou NBI (Nitrogen Balance Index) de la plante. Depuis 2005, plusieurs travaux ont été menés avec ces outils en Viticulture. Debuisson et Al. (2010) ont montré notamment que les différents indices issus du Multiplex pouvaient être intéressants pour identifier des variations entre deux parcelles et en particulier des variations de teneurs en azote total du moût. Cerovic et Al. (2009) ont, eux, développé l'utilisation embarquée du Multiplex et montré son intérêt, là aussi pour décrire la vigueur parcellaire et la cartographeur.

Pour approfondir l'intérêt de la fluorimétrie dans le cadre d'une prévision de l'azote assimilable des moûts, une expérimentation à grande échelle a été mise en place en 2010 sur les vignobles du Sud-ouest.

Prévision de l'azote des moûts par le capteur MULTIPLEX

Matériel et méthode : Le capteur au champ utilisé est le Multiplex3. Trois réseaux de parcelles ont été suivis en 2010 : 50 de Négrette N., 26 de Sauvignon B. et 24 de Fer Servadou. Sur chacune de ces parcelles, ont été réalisés des flashes de Multiplex3 au stade fermeture de la grappe. Soixante feuilles, situées en position centrale du plan de végétation, côté ombré lors de la mesure, de 40 pieds sélectionnés ont été flashées sans destruction. A maturité, un prélèvement de 200 baies a été réalisé sur les 40 pieds marqués. Après foulage, ont été déterminés par méthode enzymatique les teneurs en azote ammoniacal et en azote alpha-aminés. L'azote assimilable est estimé comme étant la somme de ces deux formes d'azote.

Relation entre les différents indices Multiplex et les valeurs analytiques d'azote :

Le plan principal de l'ACP expliquant 78% de la variabilité met en évidence (figure n°5) une corrélation étroite entre l'azote assimilable, l'azote alpha-aminé et deux indices Multiplex : SFR_G (traduisant les teneurs en chlorophylle) et dans une moindre mesure l'indice NBI_G, à relier au statut azoté de la plante. Ces résultats confirment de précédentes mesures réalisées en 2009. Les corrélations entre les indices principaux Multiplex et les valeurs mesurées sur moût sont présentées dans la figure n° 6. L'analyse montre une bonne corrélation (R2) entre SFR_G et l'azote assimilable. Les autres indices Multiplex présentent de plus faibles corrélations linéaires avec les différentes formes d'azote à la récolte. Il est à noter en parallèle que l'analyse confirme l'absence de corrélation entre l'azote alpha-aminé et l'azote ammoniacal. L'analyse précédente porte sur les trois cépages (2 noirs et 1 blanc) du réseau 2010. Si l'on s'intéresse à la relation entre SFR_G et l'azote assimilable des moûts cépage par cépage (figure n°7), on peut noter des variations de corrélation. Le Fer Servadou et le Sauvignon Blanc, cépages les plus pourvus en azote assimilable à la vendange, sont mieux corrélés que la Négrette et aboutissent à des résultats intéressants (R2>0,70). Si un effet cépage (ou teneur moyenne en azote) se dessine dans la qualité de la relation, la couleur, en revanche, ne semble pas influencer sur les résultats.

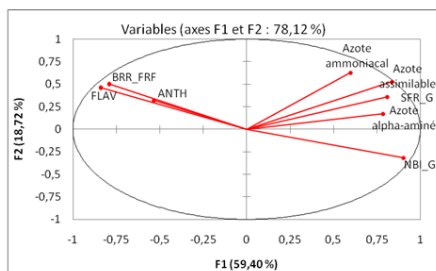


Figure n°5 : Répartition des descripteurs issus du Multiplex3 et des teneurs en azote des moûts

Variables	Azote alpha-aminé	Azote ammoniacal	Azote assimilable	SFR_G	BRR_FRF	FLAV	ANTH	NBI_G
Azote alpha-aminé	1	0,098	0,568	0,527	0,190	0,282	0,091	0,432
Azote ammoniacal	0,098	1	0,740	0,344	0,070	0,073	0,017	0,110
Azote assimilable	0,568	0,740	1	0,633	0,174	0,224	0,063	0,340

Figure n°6 : Coefficients de détermination (R^2) entre les paramètres du moût à la vendange et les indices Multiplex – Réseau 100 parcelles 2010

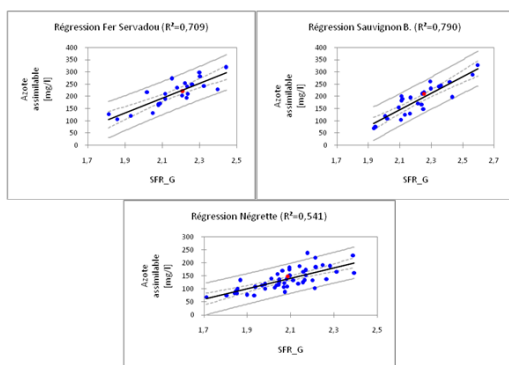


Figure n°7 : Régression de l'azote assimilable par SFR_G (int.de conf. Obs 95%)

Cépage	Valeur moyenne [mg/L]	Erreur en étalonnage [mg/L]	Erreur moyenne en étalonnage [%]	Erreur en validation croisée [mg/L]
Négrette	136	21,8	16%	29,0
Sauvignon B.	185	25,3	14%	32,0
Fer Servadou	210	26,1	12%	33,3

Figure n°8 : Erreur moyenne en étalonnage et validation croisée du réseau 2010

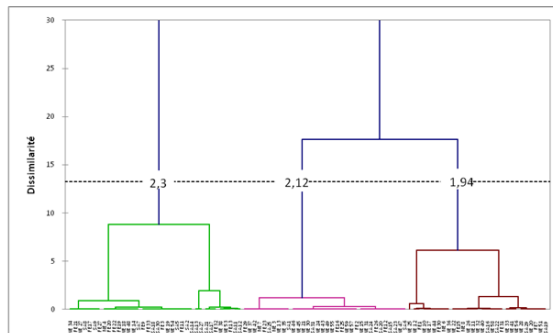


Figure n°9 : Dendrogramme des classes optimisées et valeurs des barycentres (indice SFR_G) – Réseau 100 parcelles 2010

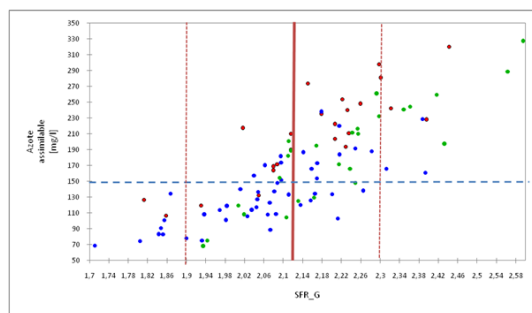


Figure n°10 : Répartition des parcelles en fonction de leur classe SFR_G et de leur niveau d'azote assimilable à la vendange

Azote assimilable dans le moût	Valeur SFR_G		Erreur
	< 2,12	> 2,12	
Inférieure à 150 mg/L	37	9	20%
Supérieure à 150 mg/L	14	40	26%
Erreur	27%	18%	23%

Figure n°11 : Matrice de confusion des classes SFR_G

Réalisation de classes de prévision : Si la modélisation des teneurs en azote des moûts est encore à approfondir pour en permettre une prédiction quantitative, une utilisation plus rapide des informations issues du Multiplex3 consiste à valoriser ses dispositions à classer des parcelles suivant leur « potentiel » en carence des moûts. Sur la base du réseau des 100 parcelles, la réalisation d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) permet de mettre en évidence trois classes de niveaux issues de l'indice SFR_G (figure n°9). Chacun des cépages est réparti dans ces classes, ne révélant ainsi aucun effet cépage sur le réseau étudié. L'utilisation des valeurs des barycentres pour segmenter le potentiel des parcelles montre une différenciation intéressante des classes d'azote assimilable (figure n°10). La matrice de confusion (figure n°11), basée sur un seuil théorique de carence lorsque le moût possède moins de 150 mg/L, montre une erreur de prévision moyenne de segmentation par l'indice SFR_G de 23%. Une série de flash sur feuilles réalisée à la fermeture de la grappe permettrait donc de classer correctement trois fois sur quatre la parcelle, sur la base d'un seuil SFR_G proche de 2,1. Il est à noter que lorsque cette valeur est inférieure à 1,9, la prédiction de carence est assurée dans 100% des cas. Parallèlement, l'erreur de prévision d'un moût non carencé (>150 mg/L) est nulle lorsque la valeur moyenne SFR_G de la parcelle est supérieure à 2,3. L'utilisation précoce (fermeture de la grappe) d'un seuil de l'indice SFR_G (établi autour de 2,1 dans notre cas) doit permettre à l'utilisateur de différencier sur un large réseau, les parcelles à risque de carence en azote à la vendange et ainsi de réaliser les corrections ou les sélections nécessaires à l'élaboration de vins aromatiques.

Conclusion

La connaissance du statut azoté de la vigne et des baies de raisin revêt un intérêt important dans la gestion agronomique et œnologique

de la production. La variabilité régulière des teneurs en azote des moûts implique une prise d'information renouvelée tous les ans. De nouvelles technologies ont depuis quelques années permis de réaliser des mesures directes au vignoble et de renseigner sur un niveau d'alimentation azotée ou de vigueur via des capteurs piétons, ou embarqués en aériens et sur satellite. Il n'en demeure pas moins encore très difficile de pouvoir prédire précisément des teneurs en azote des moûts à la vendange ou même de quantifier ces valeurs par des mesures non destructives au vignoble. Cependant, la filière viticole voit se développer de plus en plus de capteurs piétons destinés à des mesures directes sur grappes au vignoble. Basés sur les technologies de l'infrarouge (Spectron, Luminar 5030), de la vision numérique (Qualiris grappe) ou de la fluorimétrie (Multiplex), ces outils permettent aujourd'hui l'évaluation de la maturité technologique ou anthocyanique du raisin mais sans aborder les teneurs en azote des baies. Si ces capteurs permettent d'acquérir de l'information, il est cependant absolument nécessaire de la traiter, par la statistique ou en système expert, afin de la rendre pertinente pour l'utilisateur. Dans ce sens, les essais réalisés en 2010 sur les potentialités du Multiplex3 à anticiper des carences azotées montrent de premiers résultats encourageants. Des corrélations satisfaisantes sont observées entre l'indice SFR_G issu de flashes réalisés sur feuilles à la fermeture de la grappe et les teneurs en azote assimilable des moûts à la vendange. La robustesse des premiers modèles doit bien évidemment être éprouvée mais l'indice utilisé peut faciliter les regroupements parcelles par anticipation des niveaux de statut azoté à la vendange. Les erreurs obtenues en 2010 n'excèdent pas 23%.

L'intérêt de la technologie réside également dans ses possibilités à être embarquée sur quad, tracteur ou chenillard. Des premiers essais ont été réalisés en ce sens en Champagne par le CIVC et dans le Sud-ouest par l'IFV. Ils ouvrent la possibilité de mesures rapides et précises sur un large territoire.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier J. Hemmi, J.A Perez, V. Alibert et X. Rieunier, responsables viticoles du groupe Vinovalie pour leur contribution à cette étude. Recherche soutenue par les pôles de compétitivité Agrimip Innovation et Qualiméditerranée dans le cadre du projet VINNEO, financé par la République Française, les régions Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon, le Conseil Général du Tarn, OSEO et l'Europe

Références bibliographiques

- Agati G., Meyer S., Matteini P., Cerovic Z.G., 2007. Assessment of anthocyanins in grape (*Vitis vinifera* L.) berries using a non-invasive chlorophyll fluorescence method. *J. Agric. Food Chem.* 55, 1053-1061.
- Bilger W., Veit M., Schreiber L., Schreiber U., 1997. Measurement of leaf epidermal transmittance of UV radiation by chlorophyll fluorescence, *Physiol. Plant* 101, 754-763.
- Cerovic, Z.G., Moise N., Agati G., Latouche G., Ben Ghazlen N., Meyer S., 2008. New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *J. Food Comp. Anal.* 21, 650-654.
- Choné X., Lavigne-Cruege V., Tominaga T., Van Leeuwen C., Castagnede C., Saucier C., Dubourdieu D., 2006. Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential : flavor precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. *J. Int. Sci. Vigne Vin* , 40, 1-6.
- Debuissou S., Grelier M., Panigai L., 2009. Mesure de la vegetation avec un capteur NDVI embarqué. *Le Vigneron Champenois*, décembre, 52-71.
- Debuissou S., Germain C., Garcia O., Panigai L., Moncomble D., Lemoigne M., Fadali E.M., Evain S., Cerovic Z.G., 2010. Using Multiplex and GreenSeeker to manage spatial variation of vine vigor in Champagne.
- Delas J., 1993. Nutrition azotée, composition des baies et des moûts. *PAV*, vol.110, n°6, 139-142.
- Dufourcq T., Bonneau F., Desprats A., Serrano E., 2008. Contribution des facteurs viticoles et œnologiques au potentiel aromatique des vins blancs de Colombard en Gascogne. 7th International Terroir Congress
- Dufourcq T., Charrier F., Poupault P., Schneider R., Gontier L., Serrano E., 2009. Foliar spraying of nitrogen and sulfur at veraison: a viticultural technique to improve aromatic composition of white and rosés wines. 16th International GiESCO Symposium, Davis (USA), 379-383.
- Dumot V., Snackers G., 2007. Raisonnement de l'enherbement et des corrections azotées à la vigne ou au chai dans le vignoble de Cognac. AFPP-20ème conférence du Columa.
- Goutouly J.P., Drissi R., Forget D., Gaudillère J.P., 2006. Characterization of vine vigor by ground based NDVI measurements. 6th International Terroir Congress, 237-242.
- Le Sueur D., Perraud A., Panigai L., 2006. Pilotage de la nutrition azotée des vignes enherbées. *Le Vigneron Champenois*, Mars.
- Rousseau J., Poilve H., Tisseyre B., Collas J., Granes D., 2010. Utilisation de la télédétection satellitaire pour la caractérisation des potentialités viticoles. 8th International Terroir Congress, 2-26 – 2-33.
- Rousseau J., Dupin S., Acevedo-Opazo C., Tisseyre B., Ojeda H., 2008. L'imagerie aérienne : application à la caractérisation des potentiels viticoles et œnologiques. *Bulletin de l'OIV* 2008, 932-934, 507-517.
- Sablayrolles J.M., Salmon J.M. et Barre P., 1996. Carences nutritionnelles des moûts : efficacité des ajouts combinés d'oxygène et d'azote ammoniacal. *Revue Française d'œnologie*, 159, 25-32.
- Sponholz, W. R. 1991. Nitrogen compounds in grapes must and wine. In: *Proceedings of the International Symposium on nitrogen in grapes and wine*. Seattle, WA. *AJEV* 67-77.
- Spring J.-L., Lorenzini F., 2006. Effet de la pulvérisation foliaire d'urée sur l'alimentation azotée et la qualité du Chasselas en vigne enherbée. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* Vol. 38 (2), 105-113.
- Spring J.-L., 2002. Nutrition azotée de la vigne : intérêt de la détermination de l'indice chlorophyllien pour les cépages Chasselas, Pinot noir et Gamay. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 34, 27-29.
- Spring J.-L., 1999. Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, 31, 141-145.
- Tisseyre B., Ojeda H., Taylor J., 2007. New technologies and methodologies for sites-specific viticulture. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 2007, vol.41, n°2, p.63-76.