

UTILISATION DU GRAPESCAN

POUR L'EVALUATION QUALITATIVE DE LA VENDANGE

-DONNEES DE FOND-

-ELEMENTS PRATIQUES-

Attention : les données produites dans cet article sont exclusivement relatives à l'instrument GrapeScan FT120 de la société Foss, et ne peuvent en aucun cas être automatiquement transposables à d'autres instruments IRTF éventuellement proposés sur le marché.

Le GrapeScan (construit et commercialisé par la société Foss) est dédié à l'analyse des paramètres de maturité et d'état sanitaire de la vendange. Il exploite une technologie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), utilisée dans d'autres secteurs de l'agroalimentaire (lait, jus de fruit...) et pour l'analyse du vin dans les laboratoires d'œnologie.

L'analyse IRTF est une analyse physique, qui ne consomme pas de réactifs, et qui permet de faire des mesures très rapides, de plusieurs paramètres simultanément ; son utilisation en milieu industriel est donc possible, dans la mesure où l'instrument est suffisamment robuste, et placé dans un contexte favorable.

Alors que les moûts en vinification et les vins sont entourés de suivis analytiques extrêmement précis et complets, il est paradoxal de voir que la matière première qui entre dans les chais ne fait l'objet que de très peu d'attention sur le plan analytique, tout au plus sont mesurés les degrés alcooliques potentiels, et l'acidité totale dans les meilleurs des cas. Ceci est d'autant plus paradoxal que la qualité des vins est directement corrélée à la qualité des raisins, pour peu que la vinification soit maîtrisée. Il y a donc un très grand intérêt à mieux connaître la matière première pour progresser dans la maîtrise de la qualité des produits élaborés, ceci permet en effet :

- la sélection des qualités des vendanges
- l'application de gestes de vinification adaptés à chaque qualité de vendange
- le paiement juste de la vendange, qui favorise les raisins de qualité

Le GrapeScan est commercialisé depuis les vendanges 2000, et revendique à ce jour une expérience de 6 campagnes de vendanges en hémisphère nord comme en hémisphère sud. L'introduction de cet outil dans les chais de vinification constitue une injection de technologie de pointe très moderne et nouvelle : d'une part en ce qui concerne l'instrument en lui-même, d'autre part en ce qui concerne la richesse de l'information apportée. La maîtrise de ces éléments nouveaux dans une cave ne s'improvise pas, et il est apparu même certaines difficultés d'appropriation du système chez certains utilisateurs. Ce document a été rédigé dans le souci d'apporter des éclairages sur l'utilisation pratique de l'instrument, sur l'exploitation des résultats générés, en essayant d'y apporter un éclairage œnologique le plus précis possible. Il se situe fondamentalement sur un plan purement technique, traitant à la fois de l'intérêt de l'instrument, et des contraintes à maîtriser. Il est issu de l'expérience et des témoignages des utilisateurs actuels du monde entier, de façon à créer un échange d'information entre eux, et de faire le point le plus objectivement possible sur « l'état de l'art », en portant cette information vers les personnes amenées à s'intéresser de près ou de loin à la méthode.

Ce document s'appuie sur les données les plus récentes acquises au printemps 2002. L'accès à la majorité des données générées par le GrapeScan constitue un fait très nouveau dans la filière viticole et œnologique, et à ce jour, l'information apportée suscite naturellement de nouvelles questions techniques de fond sur la signification de tel ou tel paramètre. Certaines réponses partielles commencent à être apportées, mais un vaste champ d'investigation reste à défricher. Ainsi, il est à prévoir, et on pourra s'en féliciter, qu'un certain nombre de données de ce document puissent être assez rapidement dépassées, le cas échéant, une mise à jours sera programmée.

1 Principes généraux de l'infrarouge à transformée de Fourier

2 Mise en œuvre de l'instrument FT120

3 Paramètres analysés

Représentativité de l'échantillon

Le fait est connu : il y a toujours un décalage du contrôle de maturité issu d'un prélèvement de baies à la parcelle, et l'analyse de la cuve ayant reçu les raisins de cette parcelle. Cette observation est couramment réalisée sur le degré potentiel, paramètre suivi de façon généralisée. Des protocoles rigoureux de prélèvement sont utilisés et permettent de minimiser cet effet.

Néanmoins, s'il est possible de limiter ce problème pour le paramètre degré potentiel représenté par les constituants majoritaires du moût, à savoir glucose et fructose, les problèmes d'écarts sur d'autres paramètres dont les teneurs sont plus faibles (acides, potassium, azote ...) sont exacerbés et sont très difficilement éliminables.

Mais en définitive, l'intérêt des contrôles de maturité ne réside pas dans la valeur absolue, mais davantage dans l'évolution dynamique des résultats, ou la comparaison de diverses parcelles. En se plaçant dans la seconde perspective, tous les paramètres de la maturité restent pertinents à partir du moment où un protocole de prélèvement est parfaitement défini, et appliqué partout de la même manière.

L'approche des indices sanitaires sur un prélèvement à la parcelle pose un problème encore plus grand de représentativité. Un prélèvement assuré par la main de l'homme baie par baie ne peut pas être représentatif de l'état sanitaire. Les indices sanitaires ne devront donc être pris en compte que sur un prélèvement sur benne. Un prélèvement pourrait être imaginé à la parcelle, mais ceci devrait nécessairement passer par la vendange complète de plusieurs souches réparties dans toute la parcelle.

Stabilité des moûts

La mesure effectuée par le GrapeScan s'applique exclusivement sur des moûts. A partir du moment où un départ franc en fermentation est observé, il n'est plus possible de faire de mesure en raison de l'effet matrice. Les mesures peuvent donc être réalisées dans les cas suivants : contrôle de maturité, analyse de vendange à réception au chai, analyse de moûts à réception au chai, analyse de moûts en débouillage, analyse de cuves avant départ en fermentation.

Il est extrêmement important de considérer la profonde instabilité physico-chimique et biologique des moûts. En effet, les moûts présentent généralement une sursaturation en acide tartrique qui à la faveur d'une modification des conditions physiques précipite en sels de tartrate de potassium. Bien évidemment, ceci a pour effet de modifier tous les paramètres liés à l'acidité, la teneur en acide tartrique peut atteindre 0 g/l, et de modifier fortement la teneur en potassium. Ainsi, tout stockage des échantillons à température basse aura un effet très marqué sur ces valeurs : il est à proscrire totalement la conservation d'échantillons au réfrigérateur.

D'autre part, des activités biologiques peuvent se développer dans l'échantillon de moût stocké trop longtemps, vont se développer notamment des activités fermentaires. Ces évolutions ont pour effet de modifier les mesures d'indice sanitaire.

Enfin, certains utilisateurs vont s'intéresser aux mesures de la couleur. Ici encore des évolutions rapides peuvent intervenir sur les anthocyanes instables très sensibles aux oxydations dans les moûts.

D'une façon générale, l'analyse d'échantillons frais et toujours préférable, voire incontournable dans certains cas (mesure des anthocyanes, indices sanitaires). Si les moûts ne peuvent pas être analysés de suite après leur élaboration, il convient de les conserver dans des conditions qui ne vont ralentir leur évolution, et pour cela, une conservation à température ambiante d'un jus filtré est préférable à une conservation au froid ; dans ces conditions, tous les paramètres ne devront alors pas être pris en compte.

Effets matrice

L'analyse infrarouge peut être sensible à une composition atypique du moût qui lui est présentée. Aujourd'hui, les bases de données utilisées dans le GrapeScan permettent d'utiliser des calibrations extrêmement robustes, dont les résultats ne sont pas influencés par le cépage, le terroir, ni même par les adjuvants œnologiques classiques éventuellement apportés sur la vendange (enzymes, SO₂, métabisulfite...).

Un seul cas de déviation de l'analyse est recensé cependant, il s'agit de moûts ayant été chaptalisés au saccharose. Ceci ne porte pas à conséquence dans la grande majorité des cas, où les chais réceptionnent des

vendanges, mais ce fait doit être considéré de près dans des chais qui réceptionnent des moûts susceptibles d'avoir été chaptalisés au saccharose.

3.1 Sucres fermentescibles (*Glucose et Fructose*)

3.1.1 Définition

Les sucres fermentescibles présents dans les moûts sont formés par le glucose et le fructose selon une répartition de 50%/50%. L'usage est de donner une concentration des sucres fermentescibles en réalisant la somme Glucose + Fructose.

Ces sucres sont transformés par les levures de fermentation notamment en éthanol. Le taux de conversion des sucres en éthanol est variable selon les souches de levure, le type et la température de vinification. Il peut varier de 16 g/l de sucres pour 1% vol d'éthanol, jusqu'à plus de 17.5 g/l de sucres pour 1% vol d'éthanol. Pour les échanges commerciaux, et les analyses officielles, un taux moyen a été adopté au niveau européen : ce taux est de 16.83 g/l pour 1% vol d'éthanol. La relation entre la concentration en sucres en le titre alcoométrique potentiel peut donc varier en fonction du coefficient que l'on considère.

3.1.2 Méthodes d'analyse de référence

Les méthodes employées pour leur dosage strict sont de deux types : la première est une méthode de chromatographie liquide de haute précision (HPLC), et la seconde est une méthode enzymatique.

L'analyse des sucres par réfractométrie est la méthode la plus couramment utilisée, de part sa facilité de mise en œuvre, de son faible coût et de sa rapidité de réponse. Les réfractomètres récents sont réglés au taux officiel de 16.83g/l pour 1% vol d'éthanol, mais il est important d'être vigilant au sujet de réfractomètres plus anciens qui peuvent présenter des taux différents.

Glucose et Fructose dans les moûts sont très majoritairement responsables de la génération d'un phénomène de réfraction, et dans la plupart des conditions, l'indice de réfraction permet une bonne approche de ces sucres fermentescibles. Cependant il peut arriver que le moût contienne des composés autres que les sucres et qui peuvent également porter des propriétés de réfraction. Si la teneur de ces composés est suffisamment élevée, ils interféreront sur l'indice de réfraction du moût et augmenteront la valeur de base produite par les sucres. L'estimation des sucres sera alors surévaluée : deux situations de ce type au moins ont été recensées :

-Cas d'une vendange très pourrie, les composés produits par les champignons qui se sont développés sur le raisin, et notamment les composés du type acide gluconique, génèrent des propriétés de réfraction importante. Le niveau de sucres peut être dans ces cas très fortement surévalué : des cas de vendanges estimées à 17% d'alcool potentiel ne faisaient réellement pas plus de 12% d'alcool potentiel (ce qui correspond une erreur d'estimation de plus de 80g/l !).

-Cas de raisins très peu mûrs (degré potentiel inférieur à 9% vol, acidité totale supérieure à 7 g/l eq H₂SO₄), il est observé une surestimation du degré potentiel d'environ 1% vol. Il est très possible que le taux élevé d'acides organiques dans les raisins peu mûrs produise cet effet d'augmentation du degré potentiel estimé.

La mesure infrarouge n'est pas sujette à ces effets.

3.1.3 Analyse par IRTF

L'analyse des sucres dans les moûts était déjà pratiquée avec les techniques en proche infrarouge depuis de nombreuses années. Avec l'IRTF cette analyse s'est révélée très tôt possible, avec une très nette amélioration de la qualité intrinsèque de l'analyse par rapport au proche infrarouge.

Les calibrations des sucres dans les moûts sont de fait des calibrations faciles à obtenir, avec un très bon niveau de résolution.

Les sucres déterminés en g/l ou en g/100ml peuvent être convertis en un certain nombre de paramètres en fonction des habitudes des utilisateurs.

- Degré alcoolique potentiel par conversion avec le facteur de 16.83g/l de sucres pour 1% vol d'éthanol
- Degré œschlé

Pour ailleurs d'autres paramètres en relation avec la teneur en sucre des moûts sont disponibles, produits par des calibrations directes :

- Masse volumique
- Degré brix

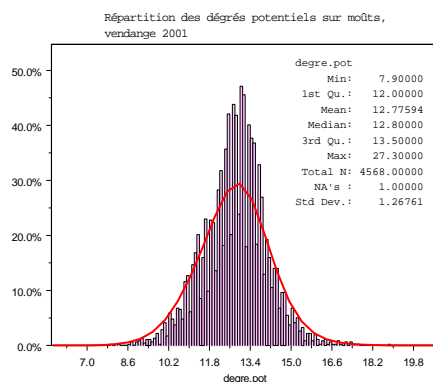
3.1.4 Résultats des analyses

L'information apportée par les sucres dans les moûts est une information très classique, très répandue grâce à l'emploi des méthodes réfractométriques.

Cette valeur reste un élément important, mais non suffisant, de l'appréciation de la maturité des raisins, la teneur des sucres augmente avec l'avancement de la maturité des raisins.

Pour exemple, le graphique ci-contre donne la distribution des différentes valeurs des degrés potentiels dans 4568 moûts issus du vignoble du Languedoc-Roussillon, pendant les vendanges 2001, le coefficient de conversion utilisé est de 16.83.

Nous observons un degré moyen potentiel de 12.77, ce qui constitue une valeur extrêmement élevée et reflète nettement la richesse de ce millésime dans cette région. 25% des échantillons analysés ont présenté un degré supérieur à 13.5% vol.



Graph. : Répartition des résultats des degrés alcooliques potentiels, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

3.2 Acidité du moût

3.2.1 Définition

L'acidité d'un vin ou d'un moût est d'un premier abord définie par l'acidité totale qui « est la somme des acidités titrables lorsqu'on ramène le pH à 7 par addition d'une solution alcaline titrée.

Le dioxyde de carbone n'est pas compris dans l'acidité totale ».

Cette acidité est portée par un certain nombre d'acides organiques naturellement présents dans les moûts, voire produits par certains parasites du raisin. Très majoritairement, l'acidité des moûts tient à deux acides : l'acide tartrique et l'acide malique.

Pendant la maturation des raisins, la diminution de l'acidité totale est d'abord reliée à la baisse de l'acide malique, et dans une moindre mesure à la baisse de l'acide tartrique qui est plus sensible en conditions de températures élevées.

3.2.2 Méthodes d'analyse de référence

3.2.2.1 Acidité totale

La méthode de référence est un *titrage potentiométrique, ou titrage en présence de bleu de bromothymol comme indicateur de fin de réaction par comparaison à un étalon de coloration.*

Cette méthode peut être assez simplement mise en œuvre dans les caves avec un matériel de laboratoire rudimentaire. Les laboratoires d'analyse œnologique utilisent généralement des titrateur automatisé qui répliquent le titrage potentiométrique manuel.

3.2.2.2 Acide tartrique

Bien qu'étant l'acide majoritaire du vin et du raisin, l'acide tartrique n'a paradoxalement pas de méthode d'analyse œnologique précise et facile à mettre en œuvre.

La méthode de référence employée pour la construction des calibrations est une méthode colorimétrique automatisée, d'une sensibilité moyenne. Il s'en suit une calibration d'une qualité perfectible, les valeurs données restent cependant très pertinentes. De nouvelles méthodes de référence précises sont développées ce qui va permettre d'améliorer la qualité de ce paramètre.

3.2.2.3 Acide malique

La méthode de référence de l'acide malique employée dans les calibrations est la méthode enzymatique, automatisée, analysant spécifiquement l'acide L-malique. C'est une méthode de routine largement employée dans de nombreux laboratoires.

3.2.3 Analyse par IRTF

Les calibrations ont été construites et validées sur une très grande variété de moûts, provenant de différents cépages, de différents vignobles, et à des degrés de maturité et d'état sanitaire variables.

	Acidité totale	Acide tartrique	Acide malique
Répétabilité	0.02 g/l eq. H ₂ SO ₄	0.07 g/l	0.06 g/l

Dans certaines situations, les niveaux d'acide malique peuvent approcher la valeur de 0. Il est alors essentiel de considérer l'existence d'un **seuil de détection** au-dessous duquel la mesure perd sa précision et sa répétabilité. Ce seuil est évalué à **0.3 g/l**.

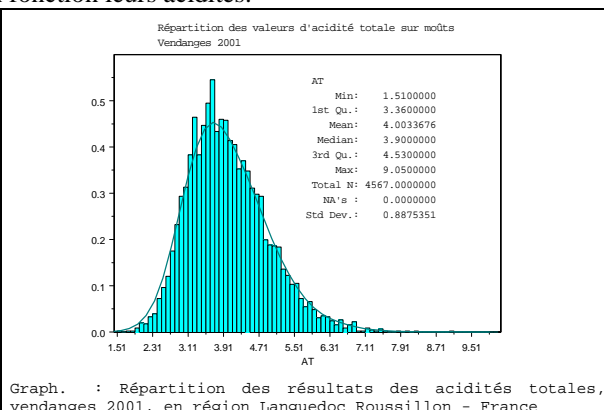
3.2.4 Résultats des analyses

3.2.4.1 Acidité totale

L'acidité totale est donnée en g/l eq. H₂SO₄, en g/l eq. acide tartrique, en g/100 ml eq H₂SO₄, ou en g/100 ml eq. acide tartrique.

L'acidité totale est un paramètre fondamental de la maturité. En sélection des apports il peut être très intéressant dans certains contextes de sélectionner des vendanges en fonction leurs acidités.

Pour exemple, le graphique suivant donne la distribution des différentes valeurs des acidités totales dans 4567 moûts issus du vignoble du Languedoc-Roussillon, pendant les vendanges 2001

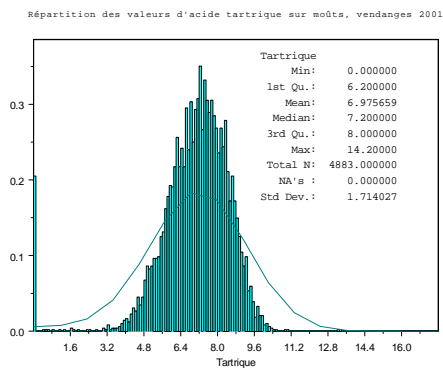


3.2.4.2 Acide tartrique

L'acide tartrique est exprimé en g/l. La valeur de la mesure est représentative que sur moût frais (voir « stabilité des échantillons »).

Les valeurs obtenues sur des échantillons du Languedoc-Roussillon sont les suivantes :

La répartition des valeurs est relativement serrés autour de la moyenne, avec un écart type assez faible. Nous notons quelques valeurs très basses, et des valeurs à 0, correspondant clairement à des échantillons ayant subi des précipitations (voir « stabilité des échantillons »).

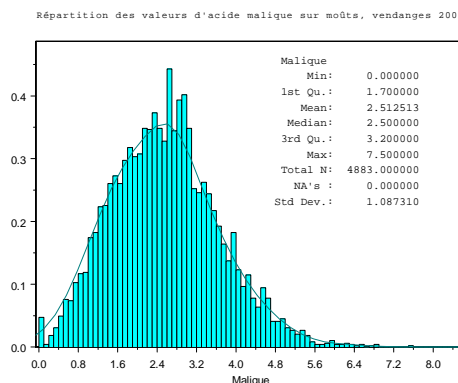


Graph. : Répartition des résultats de l'acide tartrique, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

3.2.4.3 Acide malique

L'acide malique est exprimé en g/l, ou en g/100ml.

La répartition des valeurs obtenues sur des échantillons du Languedoc-Roussillon est la suivante.



Graph. : Répartition des résultats de l'acide malique, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

3.3 *pH*

3.3.1 Définition

$$PH = -\log_{10}[H_3O^+]$$

Cette définition purement mathématique peut sembler assez abstraite, mais correspond assez nettement à la sensation acide dans les vins. Les moûts ont des pouvoirs tampons assez forts, et la valeur de pH évolue lentement au cours des acidifications ou désacidification.

D'un point de vue technologique, la valeur du pH a une importance à plusieurs niveaux :

-les pH élevés favorisent les développements des bactéries. A un pH proche de 4 les risques de déclenchement de fermentation malolactique en cours de fermentation alcoolique augmentent considérablement.

-L'efficacité antiseptique du SO₂ est une fonction du pH. A des pH élevés, le SO₂ perd une grande partie de son efficacité, ajoutant ainsi aux risques d'instabilité microbologique des produits en cours d'élaboration.

3.3.2 Méthodes d'analyse de référence

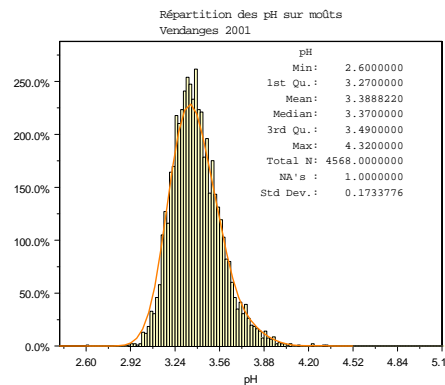
La mesure du pH est réalisée par un pH-mètre.

3.3.3 Analyse par IRTF

Avant que l'analyse du pH par IRTF existe, la seule mesure du pH était la pH-métrie. D'un point de vue intellectuel, il est difficile de comprendre comment une entité abstraite comme le pH puisse être mesuré dans le spectre infrarouge. Mais, de fait, la mesure fonctionne de façon très satisfaisante. La répétabilité de la méthode IRTF est de **0.006**

3.3.4 Résultats des analyses

Les valeurs trouvées sur des échantillons de moûts en Languedoc-Roussillon présentent la répartition suivante.



Graph. : Répartition des résultats des pH, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

3.4 Potassium

3.4.1 Définition

Le potassium constitue la substance minérale majoritaire des raisins. Il se situe surtout dans les parties solides de la baie et dans la rafle.

3.4.2 Méthodes d'analyse de référence

Le potassium est analysé classiquement dans les laboratoires d'œnologie par spectrométrie d'absorption atomique de flamme, c'est cette méthode qui a servi au développement des calibrations en infrarouge. Une nouvelle méthode très intéressante existe également : l'électrophorèse capillaire.

3.4.3 Analyse par IRTF

Bien qu'étant un composé minéral, le potassium est très bien résolu par l'analyse IRTF. Ceci est intellectuellement encore plus déroutant que l'accès à l'analyse du pH. Il est clair que l'implication forte du

potassium avec l'acide tartrique est un élément essentiel qui peut tenter d'expliquer en partie la faisabilité d'un modèle de prédiction indirect.

Les valeurs sont données en mg/l.

La répétabilité de la méthode IRTF est de **36 mg/l**

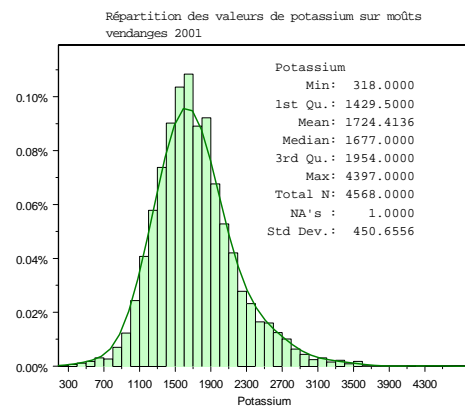
3.4.4 Résultats des analyses

Les valeurs trouvées sur des échantillons de moûts en Languedoc-Roussillon présentent la répartition suivante.

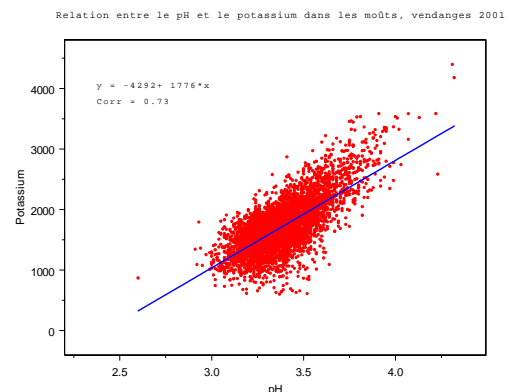
A l'image de la répartition des valeurs d'acide tartrique, les valeurs très faibles de potassium correspondent également à des échantillons ayant précipité. Les valeurs obtenues alors ne tendent pas vers 0 comme pour l'acide tartrique, mais se situe à des niveaux inférieurs à 600 mg/l.

A l'opposé, certains moûts présentent des teneurs en potassium très élevées, à l'excès. Il semble assez clair que des valeurs supérieures à 2000 mg/l de potassium révèlent des problèmes d'équilibres minéraux de la plante, et produisent dans tous les cas de problèmes d'ordres technologiques par une instabilité plus marquée de l'acidité des moûts, et des pH élevés. Sur cette large base de données, il a en effet été possible de corréliser le pH et le potassium.

La relation entre ces deux paramètres se traduit par une corrélation très intéressante. Les problèmes de pH élevés trouvent donc leur origine en bonne partie dans le potassium présent dans les moûts, et par conséquent sur l'équilibre minéral de la plante, et la fertilisation.



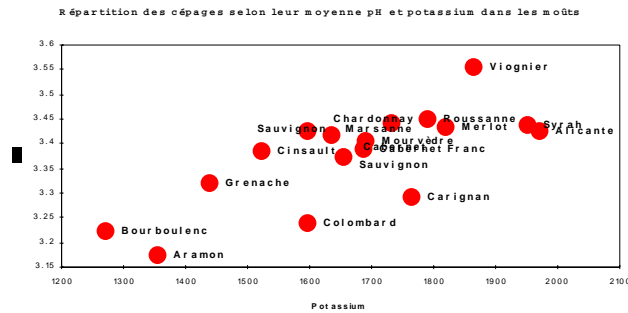
Graph. : Répartition des résultats de potassium, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France



Graph. : Relation entre le pH et le potassium, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

Il est ainsi possible d'accéder à l'analyse du potassium sur tous les apports de raisin. En association avec un système de traçabilité, les valeurs de potassium des moûts sont alors directement liées à la parcelle dont ils sont issus. Le paramètre présente alors un nouvel intérêt qui n'est plus seulement un intérêt œnologique mais également un intérêt viticole. A ce jour, rien ne permet de dire que la teneur en potassium des moûts et les analyses foliaires ou pétiolaires ont la même signification dans le cadre d'un raisonnement de la fertilisation, ceci doit évidemment être étudié de près. Néanmoins, sur un grand nombre de parcelles, les différences pouvant être observées ont certainement des significations agronomiques, et leur exploitation par les techniciens viticoles peuvent se révéler très pertinentes.

Pour illustration, le graphique suivant donne les moyennes de chaque cépage en région Languedoc-Roussillon pour les pH et les teneurs en potassium des moûts.



Graph. : Répartition pH/Potassium des différents cépages, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

Grâce à l'accessibilité de la mesure du potassium rendue par le GrapeScan, il s'ouvre un immense champ d'investigation : il sera extrêmement intéressant d'étudier sur un plan statistique l'effet de tel ou tel mode cultural sur les teneurs en potassium des moûts, ou encore l'effet de différents terroirs sur ce paramètre, etc...

3.5 Azote assimilable

3.5.1 Définition

L'azote assimilable est la part de l'azote total présent dans les moûts, exploitable par les levures au cours de la fermentation alcoolique.

L'azote assimilable est constitué des deux éléments :

- Un élément minéral, qui est l'ammoniaque NH_3
- Un élément organique, constitué des acides α -aminés, ce qui correspond dans les moûts à l'ensemble des acides aminés excepté la proline.

Les doses trouvées dans les moûts seront très variables d'un cépage, à l'autre, d'une région à l'autre, et d'un mode de culture à l'autre. Ces valeurs d'azote assimilable ont une importance technologique de premier ordre, notamment pour la bonne conduite des fermentations alcooliques.

La levure assimile en premier et de façon très rapide l'azote ammoniacal, puis dans un deuxième temps, l'azote α -aminé.

3.5.2 Méthodes d'analyse de référence

L'azote assimilable est analysé sous ses deux composantes. L'azote ammoniacal est analysé par méthode enzymatique. L'azote α -aminé est analysé par méthode colorimétrique avec l'ortho-Phtaldialdéhyde. Ces deux méthodes sont extrêmement spécifiques et présentent de très bonnes qualités de précision, de plus, elles sont parfaitement automatisables sur des analyseurs séquentiels. Ce sont elles qui ont été employées pour la construction des calibrations IRTF. Ces méthodes très récentes en œnologie ne sont cependant maîtrisées que par peu de laboratoires.

La méthode la plus répandue pour l'analyse de l'azote assimilable est une méthode globale de titration au formaldéhyde. Cette méthode est entièrement manuelle, et présente une pénibilité certaine pour l'opérateur. De plus, la titration est une titration globale, dont la spécificité n'est pas toujours évidente. Globalement, les résultats restent néanmoins cohérents.

3.5.3 Analyse par IRTF

La faisabilité de l'azote assimilable est exceptionnelle. Ce fait est très marquant en IRTF car les teneurs en azote assimilable se situent à des niveaux de l'ordre de la dizaine de mg/l. C'est le premier exemple dans lequel

l'analyse a de si faibles concentrations est possible en IRTF. Un élément d'explication réside dans le fait que les zones spectrales correspondant aux composés azotés se situent dans des zones du spectre assez isolées.

	Azote NH3	Azote α-aminé
Répétabilité	4.59 mg/l	4.25 mg/l _{eq N}

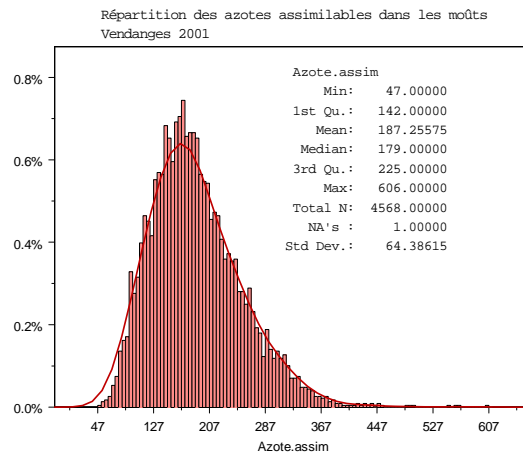
3.5.4 Résultats des analyses

Les valeurs trouvées sur des échantillons de moûts en Languedoc-Roussillon présentent la répartition suivante.

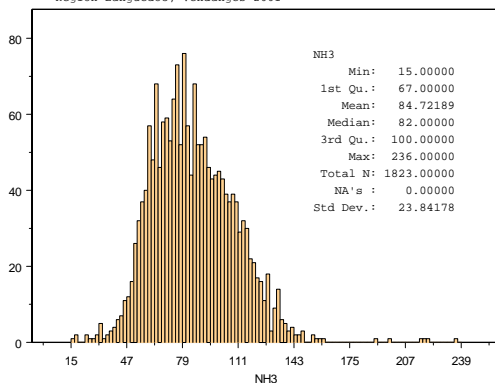
Bien qu'en zone chaude, sur un millésime à forte maturité, la répartition de l'azote assimilable présente un nombre important d'échantillons non carencés en azote, voire avec des teneurs élevées.

En moyenne, les moûts contiennent donc d'avantage d'azote α -aminé, que d'azote ammoniacal

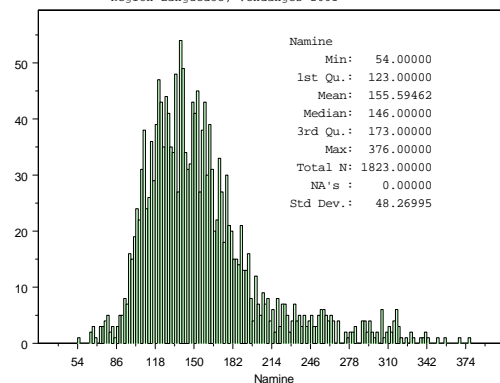
Graph.5 : Répartition de l'azote assimilable vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France : Azote assimilable total →, azote NH3 ↓, azote α -aminé ↘



Répartition des valeurs d'azote ammoniacal dans les moûts, Région Languedoc, Vendanges 2001

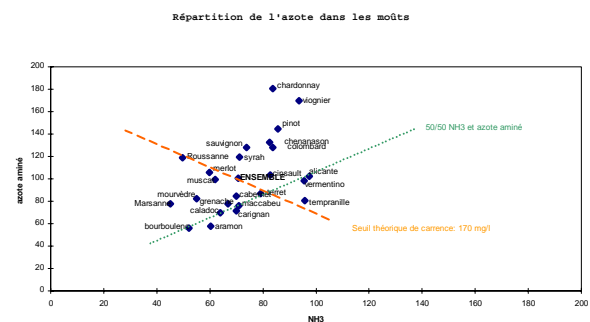


Répartition des teneurs en azote alpha-aminé, Région Languedoc, Vendanges 2001



Les données statistiques sur la répartition entre l'azote ammoniacal et l'azote α -aminé sont encore récentes, des observations ont cependant été réalisées, par exemple, les répartitions dans chaque cépage de teneurs en azote ammoniacal et azote α -aminé.

Graph.6 : Répartition de la moyenne des différents cépages pour l'azote ammoniacal et l'azote α -aminé, vendanges 2000, en région Languedoc Roussillon - France



Graph. : Répartition de l'azote assimilable total, vendanges 2001, en région Languedoc Roussillon - France

Ces résultats sont ceux obtenus en 2000 sur une base de données de plus de 3000 valeurs. Les études statistiques d'analyse de variance ont montré que les différences entre les cépages sont complètement significatives. De fait,

la même étude réalisée en 2001 présente une répartition identique de la moyenne des cépages selon les valeurs d'azote ammoniacal et α -aminé. Par ailleurs, cette étude a montré que l'effet cépage a beaucoup plus d'influence sur la teneur en azote α -aminé, que sur la teneur en azote ammoniacal.

Une étude menée de façon identique a été menée sur différents terroirs a montré également des différences significatives qu'il convient maintenant de tenter d'interpréter.

De même que pour le potassium, s'ouvre ici également un très vaste champ d'investigation, sur l'effet de tel ou tel geste viticole sur la teneur en azote des moûts (enherbement...), sur la relation avec niveau de vigueur de la parcelle, ou encore sur les effets du terroir.

3.6 Acide acétique

3.6.1 Définition

L'acide acétique est l'élément très largement majoritaire de l'acidité volatile (dans de nombreux cas >99%). Il n'est pas présent dans les moûts sains et sa présence témoigne de d'une dégradation sanitaire, en raison notamment de la pourriture acide.

3.6.2 Méthodes d'analyse de référence

L'acide acétique est dosé spécifiquement en méthode de référence par une méthode enzymatique automatisée, largement répandue dans de nombreux laboratoires.

3.6.3 Analyse par IRTF

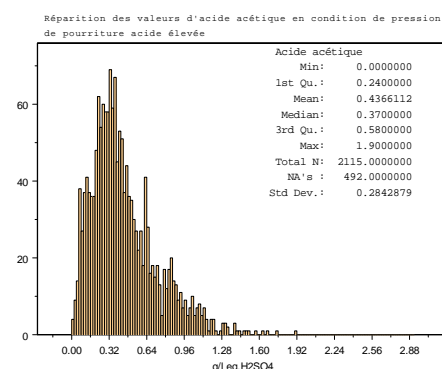
Plusieurs unités sont disponibles pour l'expression de l'acide acétique (g/l eq H₂SO₄, eq acide acétique, eq acide acétique pour 100ml)

La répétabilité de la méthode IRTF est de **0.005 g/l** eq.H₂SO₄

La mesure de l'acide acétique est sujette à un seuil de détection, qui doit être pris en considération dans la mesure où la majorité des échantillons analysés, étant sains, ne présentent pas de teneur significative en acide acétique. Ce seuil de détection est difficile à précisément définir, mais il se situe **entre 0.10 et 0.15 g/l** eq.H₂SO₄. Ceci signifie qu'en dessous de ce seuil, la mesure d'acide acétique perd sa précision, et sa répétabilité : en pratique seules les valeurs d'acide acétique supérieures à 0.15 g/l eq.H₂SO₄, c'est à dire les valeurs de raisins présentant des dégradations sanitaires sont précises, ce sont de toute façon les seules valeurs qui présentent un intérêt en pratique.

3.6.4 Résultats des analyses

Pour illustration, le graphique suivant montre la distribution de l'acide acétique dans une campagne de vendange marquée par une pression de pourriture acide forte.



3.7 Polyphénols et anthocyanes

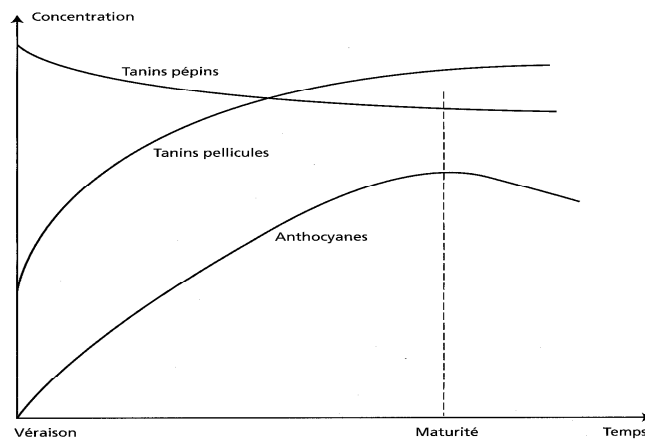
3.7.1 Définition

La baie de raisin présente une accumulation de polyphénols et d'anthocyanes (pour les raisins rouges) au niveau des cellules de la pellicule. On peut trouver d'autres composés phénoliques dans les pépins ou la rafle.

Ces composés ont une importance de premier ordre sur la qualité finale du vin, les anthocyanes apportant bien entendu la couleur au vin rouge, les tanins la sensation tannique du vin, dont la qualité est souvent recherchée en priorité par les dégustateurs et les acheteurs.

Ces composés phénoliques vont présenter des évolutions de deux ordres au cours de la maturation :

- une évolution quantitative, avec une augmentation de la teneur en anthocyanes et en polyphénols,
- une évolution qualitative, qui peut se traduire d'un point de vue organoleptique par un adoucissement de la sensation d'astringence, des tanins plus doux, moins végétaux. Cette évolution va de pair avec la facilité de diffusion dans le vin des composés phénoliques au cours de la vinification, que l'on appelle « extractibilité ».



Graph. : Evolution des tanins et des anthocyanes au cours de la maturation des raisins (Glories, 1986)

Ce n'est qu'au terme de ces évolutions que les raisins atteindront leurs potentialités qualitatives maximales, mais ce point, appelé « maturité phénologique », n'est atteint et ne coïncide avec la maturité physiologique que sous un certain nombre de conditions de culture :

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| -adéquation cépage/terroir | -météorologie |
| -surface foliaire | -équilibre de vigueur |
| -date de récolte | -etc... |

L'analyse de la qualité des tanins est un sujet qui focalise de nombreux chercheurs en œnologie et œnologues dans le monde entier. Il présente en effet un intérêt majeur pour l'évaluation de la matière première. Il est certain que l'IRTF peut apporter un progrès considérable en y transférant des méthodes souvent longues et manuelles qui pourraient devenir ainsi rapides et faciles à mettre en œuvre : ces travaux n'ont à ce jour pas abouti à une application de terrain.

L'analyse quantitative des composés phénoliques, et des anthocyanes par exemple, est en théorie insuffisante pour une approche qualitative. Cependant, pour un cépage donné, et dans un terroir donné, l'évolution quantitative des anthocyanes se fait de façon parallèle à l'évolution qualitative des tanins. Ainsi, le suivi de la concentration en anthocyanes au cours de la maturation constitue un indice de qualité pertinent, le passage à un maximum de concentration indiquant le moment de la maturité optimale.

3.7.2 Méthodes d'analyse de référence

Il existe aujourd'hui plusieurs méthodes de suivi des anthocyanes au cours de la maturation :

Méthode Glories : c'est la référence la plus connue. Le principe est de faire macérer 4 heures un broyat de raisins dans des conditions de pH différentes (pH1 et pH 3.2) de façon à extraire les anthocyanes selon des modalités différentes qui permettent d'évaluer l'extractibilité. Les anthocyanes sont dosés selon la méthode de décoloration au SO₂. Cette méthode s'emploie également à la détermination d'autres paramètres, notamment l'extractibilité.

Méthode ITV : cette méthode s'applique sur un broyat de raisin qui est mis à macérer dans une solution acido-alcooleuse pendant 1 heure. Les anthocyanes ainsi relargués sont dosés par la méthode de Puissant-Léon.

Méthode CASV : cette méthode définie par la chambre d'agriculture de la Gironde s'applique à broyer les raisins de façon mécanique, les anthocyanes ainsi relargués sont directement analysés par la méthode de Puissant-Léon sans passer par une macération. Le fait de ne pas faire de macération rend cette méthode beaucoup plus rapide, et manifestement sa pertinence par rapport aux autres méthodes reste tout à fait satisfaisante (voir plus bas).

La mesure des anthocyanes peut donc être réalisée par plusieurs méthodes, qui diffèrent essentiellement dans le mode de préparation de l'échantillon (macération..). L'analyse en elle-même est réalisée selon deux méthodes manuelles : décoloration au SO₂ et Puissant-Léon, qui donnent des résultats équivalents.

L'IRTF apporte un moyen de substitution à la méthode manuelle d'analyse en anthocyanes. La valeur donnée par l'analyseur est entièrement fonction du type de préparation de l'échantillon qui doit permettre d'une façon ou d'une autre de créer une extraction des composés pelliculaires. Néanmoins, l'IRTF ne sera capable d'analyser que des moûts naturels, ce qui exclue toute méthode de préparation d'échantillon par macération en milieu acide ou alcoolique : il ne reste donc que la méthode d'extraction mécanique qui soit applicable à l'IRTF.

Plusieurs paramètres relatifs à l'analyse des composés phénoliques sont disponibles dans le GrapeScan, mais le paramètre anthocyanes constitue certainement le paramètre le plus intéressant dans de nombreux contextes, car la mesure est reliée à un ensemble technique décrits précisément et exploité.

Paramètre	Mesure de référence	Répétabilité
Anthocyanes	Puissant-Léon	11.4
Intensité colorante	DO420+DO520+DO620	0.54
DO520	DO520	0.33
DO280	DO280	0.49
Indice de Folin	Indice de Folin Ciocalteu	Nd

3.7.3 Préparation de l'échantillon

Il est essentiel d'insister sur le fait que ces paramètres ne sont valables qu'à la condition d'une préparation des raisins assurant une extraction des anthocyanes. Si les raisins ne sont que pressés, non seulement la faible teneur en anthocyanes n'est pas représentative de la teneur se trouvant dans les raisins, mais en plus elle se situe en dessous du seuil de détection de l'analyseur.

La prise d'échantillon dans la benne doit se faire de façon à prélever des baies avec leurs pellicules. Dans le cas de vendanges mécaniques, le système d'aspirateur a montré son efficacité, l'important étant de bien respecter une proportion entre le jus et les pellicules prélevées.

Pour les vendanges manuelles, la solution semble beaucoup plus complexe à mettre en œuvre : un système semble avoir présenté une certaine efficacité en Espagne. Il s'agit de prélever des grappes au moyen d'une vis sans fin dimensionnée à cet effet. Les raisins sont conservés dans le canon du préleveur avant de redescendre vers un petit égrappoir, de façon à ne garder que les baies.

L'échantillon obtenu alors, quelle que soit la méthode, va passer par une phase d'extraction mécanique. L'instrument le plus utilisé à l'heure actuelle est une centrifugeuse industrielle à jus de fruit de la société robot-coupe (référence « bistrot »). Cet instrument est intéressant car il permet l'obtention d'un jus coloré de façon pratiquement instantanée, en éliminant les parties solides vers une poubelle. D'autres instruments existent sur le marché.

3.7.4 Résultats des analyses

A ce jour, encore peu d'utilisateurs exploitent pleinement le paramètre anthocyanes. Il s'agit en effet d'une donnée utilisée de façon très récente à l'échelle industrielle.

Parmi les utilisateurs de ce paramètre, la cave de Rauzan (France-33) montre une très belle maîtrise de l'approche. Les résultats présentés ici sont issus de leurs travaux.

3.7.4.1 Comparaison des différentes méthodes « anthocyanes lors du suivi de maturité »

La cave de Rauzan a défini un certain nombre de parcelles témoin sur lesquelles sont suivies les évolutions des maturités.

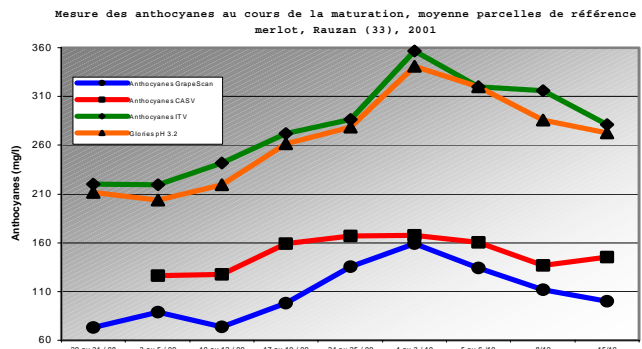
Des prélèvements à intervalles réguliers ont été réalisés sur ces parcelles en respectant des protocoles extrêmement rigoureux. Les échantillons ainsi prélevés ont été analysés selon 4 modalités différentes :

- Méthode Glories, mesures des anthocyanes par décoloration au SO₂ après macération à pH3.2 et pH1
- Méthode ITV : mesure des anthocyanes par Puissant-Léon après macération en milieu acido-alcooleux
- Méthode CASV : mesure des anthocyanes par Puissant-Léon après extraction physique par centrifugeuse
- Méthode « GrapeScan » : mesure des anthocyanes par IRTF après extraction physique par centrifugeuse

Les résultats rendus ici sont les évolutions des moyennes des 24 parcelles témoin de cépage merlot.

Toutes les courbes présentent le même profil avec un très bon parallélisme. L'information à caractère indiciaire sur les anthocyanes est donc la même, quelle que soit la méthode. La rapidité et l'automatisation du GrapeScan constitue un avantage comparatif évident, dans la mesure où on ne s'intéresse strictement qu'à la mesure des anthocyanes.

A noter le pic d'anthocyanes, situé dans la période 1 au 4 octobre



Graph.8 : Evolution des teneurs en anthocyanes des parcelles témoin merlot au cours de la maturation selon différentes méthodes, Rauzan 2001 - France

3.7.4.2 Analyse des apports

Ces méthodes manuelles ont toutes été définies pour répondre à des problématiques de suivis de maturité : l'analyse des anthocyanes apporte des dimensions extrêmement intéressantes, qui ne tournent plus seulement qu'autour des les deux paramètres de sucre et d'acidité.

Il n'était cependant pas possible de concevoir la mise en place de ces méthodes manuelles à la réception au chai, le temps de macération et/ou d'analyse n'étant pas compatible avec les échelles de temps d'un chai en période de vendange.

L'IRTF, permettant de produire des analyses rapidement, a permis de considérer la perspective d'une analyse des anthocyanes à la réception de façon à comparer différentes vendanges, rendant possible la sélection des apports sur ce paramètre. Bien entendu, il n'est possible de faire des comparaisons qu'à l'intérieur d'un même cépage, dans une zone géographique donnée.

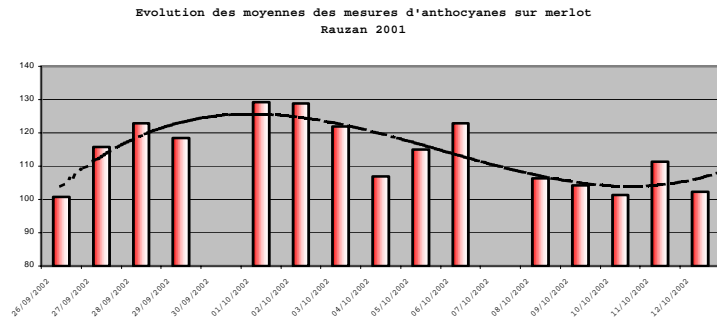
De très nombreux éléments entrent en ligne de compte qui déterminent le niveau d'anthocyanes des raisins, et il n'est pas évident de corrélérer directement le niveau d'anthocyanes avec tel ou tel élément mais il est simple de concevoir que plusieurs d'entre eux vont favoriser l'augmentation du niveau d'anthocyanes :

- Rendement faible
- Surface foliaire élevée
- Bon équilibre général de la plante
- Clone qualitatif à petites baies
- ...

Intuitivement, on peut comprendre qu'en comparant deux apports d'un même cépage, issu d'un même terroir, le plus riche en anthocyanes présente un potentiel qualitatif plus élevé. Ceci est illustré par l'expérience acquise dans la cave de Rauzan (33).

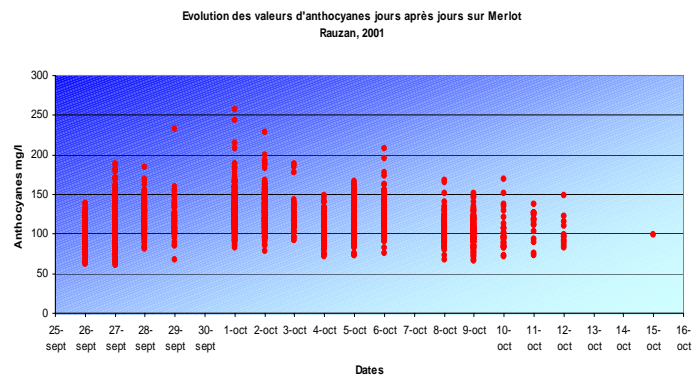
Les résultats de l'analyse des merlots dans la cave de Rauzan (33-France) a donné les résultats suivants en 2001.

La moyenne des apports évolue chaque jour. Le maximum de la moyenne se situe le 2 octobre, ce qui recoupe très exactement les informations apportées par les suivis d'anthocyanes sur les parcelles de référence. Nous notons également une valeur faible le 4 octobre correspondant clairement à un épisode pluvieux.



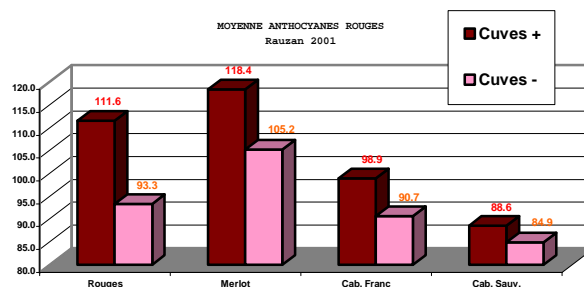
Graph.9 : Evolution des teneurs en anthocyanes des apports merlot, Rauzan 2001 - France

Autour de ces moyennes journalières, on observe des gammes de valeurs assez étendues. La sélection des apports est rendue ainsi parfaitement envisageable. Néanmoins, il est important de prévoir que les seuils de sélection doivent sensiblement varier dans la mesure où la moyenne des valeurs est fluctuante. Si cela n'est pas réalisé, les apports réalisés les journées avec les plus fortes moyennes seront favorisés, ce qui peut qualitativement se justifier dans l'absolu ; le problème c'est que généralement, tous les apports ne peuvent pas de faire le même jour.



Graph. : Evolution des teneurs en anthocyanes des apports merlot, Rauzan 2001 - France

La pertinence de la sélection des apports sur la paramètre anthocyanes a été confirmé après dégustation des cuves à l'aveugle. Il est nettement apparu que les meilleures cuves ont été alimentées avec des apports ayant des teneurs élevées en anthocyanes.



Graph.10 : Relation entre le niveau qualitatif des vins, et les valeurs des anthocyanes des apports merlot, Rauzan 2001 - France

3.7.4.3 Effets influents sur la valeur d'anthocyanes mesuré

En pratique, il est apparu une influence des conditions externes sur la valeur d'anthocyanes mesurée, en raison des conditions d'extraction. Cette influence semble être différente en fonction des cépages : par exemple, il a été identifié une variation de la mesure des anthocyanes en fonction de la température sur le Merlot, mais pas sur le Cabernet Sauvignon.

Des études ont par ailleurs été menées pour observer l'effet du temps de macération en benne des raisins, sur le résultat après extraction mécanique par exemple, et, dans les conditions des expérimentations menées, cette effet n'a pas pu être mis en évidence.

Il appartient donc à chaque utilisateur de mener des investigations pour savoir si la valeur d'anthocyanes peut être influencée par les conditions spécifiques à leur contexte, et le cas échéant il sera nécessaire de construire un système correctif.

3.8 Indices sanitaires

Les données apportées par les paramètres de maturité et de composition du moût apportent une information extrêmement riche, qui permet sur des raisins sains de pouvoir construire des sélections qualitatives, et apportent une connaissance approfondie de la matière première.

Cependant, dans des conditions de pression sanitaire, un premier crible de sélection incontournable reste la sélection sur l'état sanitaire.

Le spectre infrarouge contient une information importante sur la composition du moût, qui révèle ainsi son état « biologique », c'est à dire son état sanitaire.

3.8.1 Indice de pourriture grise

3.8.1.1 Définition

On parlera d'indice de pourriture grise et non pas d'indice Botrytis, dans la mesure où ce qui est identifié comme pourriture grise est bien souvent plus que simplement le botrytis.

La pourriture grise est un agent majeur de la dégradation qualitative des vendanges, son action est multiple :

- Oxydation des composés phénoliques par une enzyme d'oxydation, la laccase. Plus les raisins seront riches en polyphénols, plus le botrytis synthétisera de laccase. Il est à noter que les produits des réactions catalysées par la laccase inhibent la laccase, ce phénomène biochimique est assez classique en enzymologie. Il en résulte que des vendanges très botrytisées peuvent ne pas présenter d'activité laccase.

- Détérioration des arômes primaires des raisins

- Production de mauvais goûts, depuis des goûts terreux jusqu'au goût de phéniqué

3.8.1.2 Méthode de référence

Il n'existe pas de méthode de référence pour la mesure de la pourriture grise.

L'examen visuel reste la méthode la plus simple, et la plus répandue. Mais bien qu'elle apporte une information intéressante, il est très important de garder à l'esprit les limites de cette méthode : en effet, les dégâts technologiques provoqués par la pourriture grise ne sont pas nécessairement corrélés avec l'aspect visuel, et ceci pour au moins plusieurs raisons :

- d'autres champignons que Botrytis cinerea sont capables de se développer sur raisin, et forment des fructifications. Ces champignons ne sont cependant pas pourvus de laccase et ne produisent pas d'altération qualitative des raisins, bien que leur aspect soit dégradé. Il s'agit par exemple d'*Aspergillus carbonarius*, récemment isolé sur raisin, et qui produit un filament noir.

- lors d'un changement météorologique soudainement favorable à Botrytis, son développement peut être fulgurant, et en 12 heures l'aspect sanitaire des raisins changer du tout au tout. Ce Botrytis très jeune n'a néanmoins pas eu le temps de causer beaucoup de dégâts et la qualité des vins obtenus est souvent satisfaisante, alors que l'état visuel des raisins est parfaitement médiocre.

- A l'inverse, il arrive que le développement du Botrytis ne se fasse pas de façon externe, mais de façon interne. Dans ce cas, l'aspect des raisins est celui de raisins parfaitement sains, tout au plus on peut observer une légère évolution de la teinte qui peut tendre vers le brun. Les dégâts qualitatifs sont très marqués sur le vin. Ce phénomène est souvent ignoré, mais il apparaît qu'il est très répandu en toute zone.

La méthode qui consiste en la mesure de l'activité laccase apporte une information intéressante sur l'activité de cette enzyme au moment précis où est réalisée la mesure. Mais cette activité n'est pas forcément en relation avec les dégâts causés sur la vendange, d'autant plus que la laccase est inhibée par les quinones produites par la dégradation des polyphénols. Par ailleurs, le SO₂ apporté sur la vendange interfère avec la mesure. La mesure laccase, correspond à l'intensité de l'attaque à un moment donné, mais ne rend pas compte de l'étendue des dégâts, or c'est bien l'étendue des dégâts sanitaires qui rend compte de la qualité de la vendange.

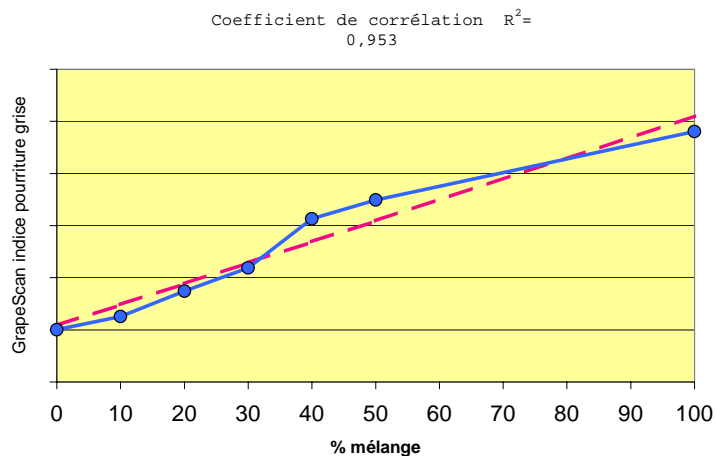
Plus récemment est arrivé une méthode immunocolorimétrique de type ELISA qui doit permettre de détecter la présence de *Botrytis cinerea* et de la quantifier. Nous ne disposons pas de données à ce jour sur les résultats donnés par cette méthode.

3.8.1.3 Analyse par IRTF

Le modèle développé pour la prédiction de la pourriture grise est un modèle biologique. Le principe fondamental se base sur le fait que les agents pathogènes du raisin, le botrytis par exemple, synthétise un certain nombre de métabolites qui vont ensuite se retrouver dans la vendange. Grâce à l'analyse IRTF, il est possible d'analyser ou d'approcher ces métabolites, qui témoignent de l'activité biologique ayant lieu sur le raisin. La liaison entre cette information biologique complexe portée par les métabolites et par le spectre, à des valeurs facilement interprétables est assurée par des réseaux de neurones.

La répétabilité de l'indice de la pourriture grise est $r = 1.5$

De nombreux tests de linéarité ont été réalisés dans différents contextes, par différentes personnes. Tous s'accordent à dire que la progression de l'indice pourriture grise croît proportionnellement au taux de jus pourri mélangé dans un jus sain. Les coefficients de corrélation varient généralement entre 0.95 et 0.98.

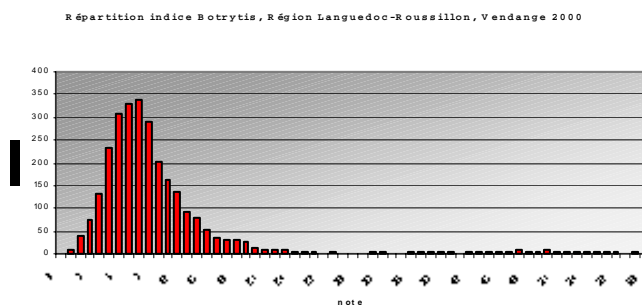


Graph. : Test de linéarité - Vendange 2000, région sud-ouest - France

3.8.1.4 Résultats des analyses

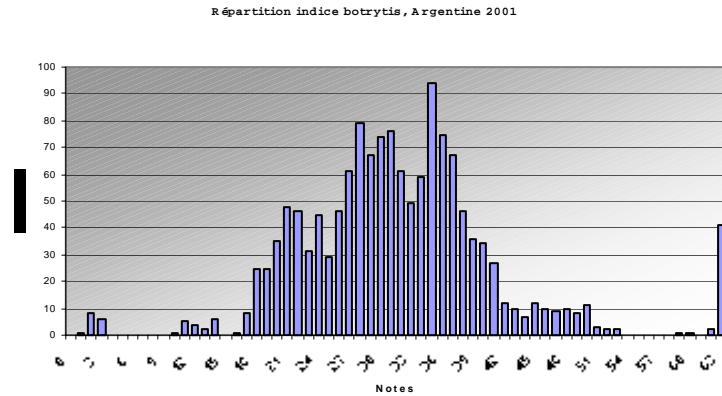
L'échelle théorique du modèle utilisé jusqu'en 2001 va de 0 à 63, en pratique, toutes les valeurs de l'échelle ne sont pas exploitées dans tous les contextes.

En situation de condition sanitaire saine, les valeurs données restent basses. A noter néanmoins quelques vendanges isolées, présentant des valeurs élevées.



Graph. : Répartition des valeurs des indices botrytis en conditions saines - région Languedoc-Roussillon, vendange 2000 - France

En situation de pression sanitaire forte, le type de résultat obtenu a été le suivant. La moyennes est plus élevée. A noter sur cette distribution 3 pics correspondant à 3 épisodes sanitaires au cours de la campagne de vendange : ce sont effet succédés une période de début de vendange avec un niveau de qualité très moyen, puis à la suite d'une pluie, la qualité s'est dégradée une première fois (second pic), à la suite d'autre événement météorologiques, la qualité s'est encore dégradée (3eme pic)



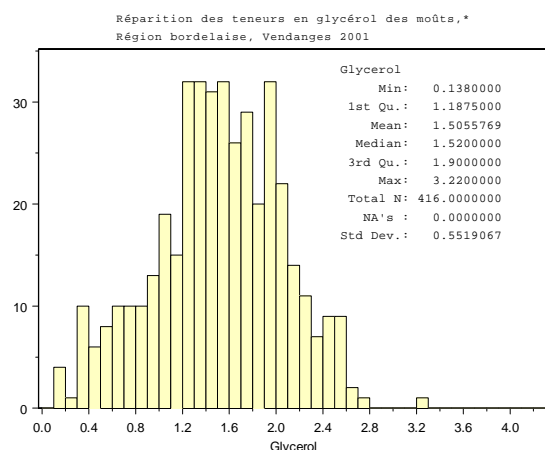
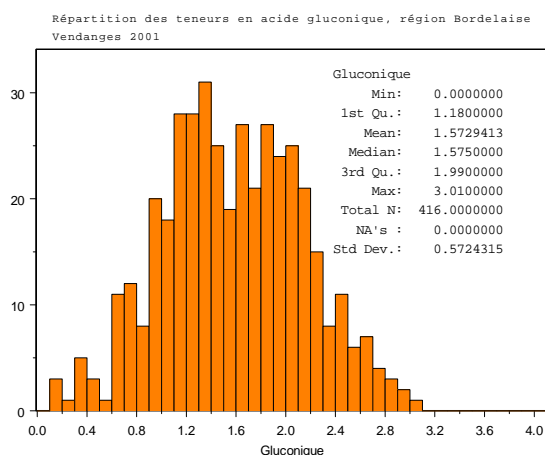
Graph.11 : Exemple de répartition des indices pourriture grise en condition de pression sanitaire

3.8.1.5 Evolution du modèle

Au cours du millésime 2001 en europe, et de la campagne 2002 en hémisphère sud, de nombreuses données ont été acquises, de façon à renforcer les modèles sanitaires Par le renforcement des données de référence, il est attendu du nouveau modèle une plus grande capacité d'adaptation, ainsi qu'une meilleures sensibilité, notamment sur les faibles indices.

L'indice sanitaire du GrapeScan a pour vocation d'apporter une évaluation du degré de dégradation sanitaire du raisin. La forme de cet indice a voulu être la plus simple possible de façon à rendre son utilisation facile et rapide. Une évolution va cependant être apportée dans l'objectif de renforcer la confiance dans le résultat. A partir de la campagne de vendange 2002, seront accessibles les principaux métabolites produits entre autre par Botrytis, à savoir au moins l'acide gluconique et le glycérol. Leur interprétation directe reste très délicate dans de nombreux cas, mais il peuvent apporter une confirmation de l'indice sanitaire, notamment dans certains cas qui peuvent sembler litigieux, par exemple dans le cas de Botrytis interne : le raisin semble sain, alors que l'indice sanitaire est élevé. Or un raisin réellement sain ne doit pas présenter d'acide gluconique, et le seul fait de sa présence confirme bien l'existence d'une activité biologique.

Pour information, les valeurs d'acide gluconique et de glycérol pouvant être rencontrées dans les moûts peuvent suivre les distributions suivantes :



Ces répartitions peuvent être assez variables d'une région à l'autre, illustrant la variabilité du comportement de Botrytis en fonction des conditions du milieu. Par exemple, les teneurs en acide gluconique en climat de type méditerranéen peuvent monter jusqu'à 8 g/l !! Dans certains cas, il est également possible de rencontrer également des teneurs en glycérol extrêmement élevées (voir Activités fermentaires).

Les mesures d'acide gluconique et de glycérol sont également sujettes à un seuil de détection, la gamme de mesure commençant à 0. Ces seuils de détection sont estimés :

Acide gluconique : **0.5 g/l**

Glycérol : **0.7 g/l**

En dessous de ces seuils, les mesures perdent leur précision et leur répétabilité.

3.8.1.6 Résultats d'intérêt

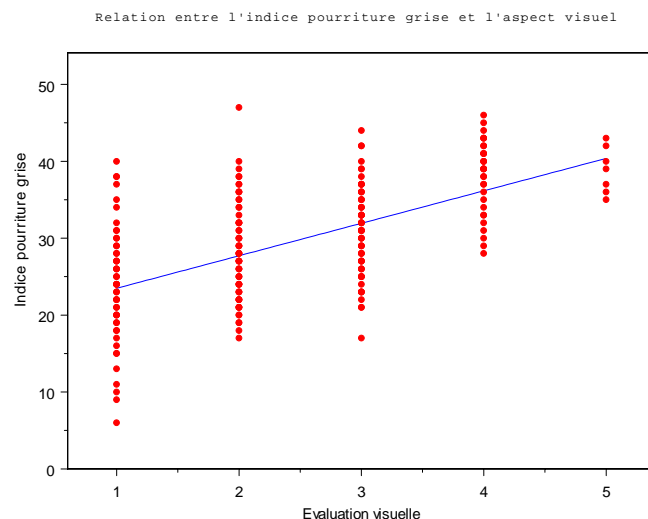
La confrontation de l'inspection visuelle avec les résultats du GrapeScan ne se traduit bien entendu pas toujours par une adéquation parfaite, notamment en raison de l'imperfection de l'estimation visuelle.

Une discordance très nette apparaît notamment dans certains cas de raisins apparemment parfaitement sains sur lesquels un indice sanitaire élevé est donné par l'instrument. Lors d'essais en Argentine, des études, en collaboration avec la chaire de phytopathologie de l'université de Mendoza, ont été menées sur des cas bien identifiés de raisins parfaitement sains en apparence sur lesquels l'indice de pourriture grise était élevé. Dans des baies issues de tels raisins, a été identifié une présence évidente de mycélium de *Botrytis cinerea* situé à l'intérieur même de la baie. Ainsi, il a été mis en évidence la présence d'une forme « intrabaie » de *Botrytis cinerea*. On retrouve la description de ce phénomène dans la littérature œnologique, mais il n'est souvent pas connu des techniciens, et son étendue n'a jamais pu être étudiée.

Cette forme de *Botrytis* est ainsi non détectable à l'œil nu, même en ouvrant une baie. Cependant les conséquences technologiques semblent aussi néfastes que les formes « externes » de *Botrytis*, en effet, les études du comportement en vinification des raisins ont révélé des jus difficiles à débourber en blanc, voire même dans certains cas des casses oxydasiques ; les rouges ont donné également des jus pas francs avec des couleurs brunes et des nez pas nets.

Ce phénomène est manifestement très répandu dans tous les vignobles du monde, il est souvent ressenti par les vinificateurs qui se questionnent sur certaines cuves de qualité très décevante par rapport à la bonne qualité visuelle de la matière première.

Sur le terrain, la confrontation de l'évaluation visuelle des vendanges avec les indices peu permettre de mesurer l'étendue de ce phénomène de *Botrytis* interne.



Graph. : Relation entre l'indice pourriture grise et l'estimation visuelle de la vendange sur une échelle de 1 à 5, en région bordelaise, vendange 2001 - France

Sur des vendanges visuellement mal notées, l'indice de pourriture grise reste toujours élevé, avec un écart entre les valeurs assez resserré. En allant vers des niveaux jugés plus sains, les valeurs minimales des indices décroissent régulièrement, alors que les valeurs maximales restent toujours soutenues. Ainsi, pour les vendanges notées 1, c'est à dire sain, nous notons un certain nombre de point portant des indices pourriture grise élevés. Le graphique ne montre pas la densité des points, mais il a été dénombré qu'environ 30% des vendanges estimées saines ont eu des indices supérieurs à 27, c'est à dire significativement atteints. Ces lots de vendange correspondent donc à des lots visuellement sains, mais effectivement infestés. Ces cas présentent néanmoins

systématiquement des teneurs très significatives en certains métabolites et notamment en acide gluconique qui témoignent clairement que ces raisins ne sont pas indemnes d'activités biologiques parasites.

Ce graphique montre par ailleurs, que la répartition générale entre l'aspect visuel et l'indice de pourriture grise sont globalement liés, mais que certains comportements sont différents. Bien que basé sur un référentiel visuel, l'indice pourriture grise n'a pas le même comportement que ce dernier en raison notamment du travail statistique du traitement de données.

Le volume important de données générées par le GrapeScan sur la pourriture grise a ainsi permis de mettre en évidence de façon statistique ce phénomène de botrytis interne, décrit sur des cas isolés, et dont on ignorait l'étendue.

Peu ou pas connu au niveau de la production, ce phénomène est une donnée essentielle qui doit être prise en compte dans les démarches de sélection sanitaire. Il est vrai que les discordances fortes entre les appréciations visuelles et l'indice de pourriture grise générés par ce phénomène peuvent jeter le trouble sur la confiance portée sur l'instrument. Le fait de trouver par exemple de l'acide gluconique dans ces vendanges viendra alors clairement confirmer que les raisins ne sont pas sains.

3.8.1.7 Utilisation de la méthode, expériences

1_ Daniel Péraldi, Œnologue conseil au Canet de Meyreuil (13)

Evolution de la couleur des vins rosés.

Etude réalisée sur les moûts et vins rosés de Provence lors de la vinification 2000 et 2001 (Ramassage quotidien des jus en propriété, avec diagnostic sanitaire effectué par l'intermédiaire du module GrapeScan – appareillage Foss).

Préliminaire :

Le consommateur rejetant actuellement de façon marquée, en Provence, les vins rosés de couleur trop soutenue, et aux nuances dites « plombées », le but de notre étude, effectuée sur ces millésimes, était de trouver des facteurs influant sur la stabilité de la couleur, et d'y associer un éventuel traitement préventif, n'induisant pas de modification organoleptique ; pour ce faire, la mise en œuvre de diagnostics nouveaux a été réalisée grâce au module GrapeScan

Observations :

Un certain nombre de moûts foncent ou s'éclaircissent en fermentation, de même, certains vins faits, foncent au cours de l'élevage (malgré des conditions de conservation optimum) ce, de façon non prévisible a priori, sauf présence de presses.

Le plus souvent les qualités organoleptiques sont affectées (perte d'intensité, caractère grossier).

Expérimentation :

Grâce à la traçabilité mise en place, les moûts sont répertoriés et passés au GrapeScan puis, les vins rosés élaborés sont observés et dégustés au cours de leur élevage jusqu'au mois d'avril suivant la récolte, et, une mesure est effectuée pour suivre les valeurs des différentes DO 420/520 dans le temps (toutes les deux semaines), enfin, les fiches sanitaires des moûts ont été rapprochées des résultats obtenus sur vin.

Résultats quantifiés de l'expérimentation :

Les intensités colorantes des vins examinés couvraient une gamme allant de 0.11 à 0.98.

Une proportion de 33% des vins sur l'ensemble des deux millésimes a subi une augmentation forte de l'intensité colorante au terme du printemps, avec élévation marquée de la nuance jaune (par oxydation), 25 % se sont éclaircis par perte de la teinte rouge, 42% ont été classés stables.

Les deux dernières catégories énoncées n'ont pas, a priori, subi de dépréciation organoleptique. La première classe est elle, classée généralement comme ayant perdu en intensité aromatique.

Le rapprochement des fiches techniques GrapeScan met en évidence que les vins issus de la première catégorie présentent une moyenne classée indice 25 en pourriture grise. Les deux autres catégories sont, elles, pour ces deux millésimes à indice inférieur à 15.

Conclusion :

Lors de la première campagne de mise en œuvre du module GrapeScan (2000) en suivi d'état sanitaire à la propriété, une inadéquation entre les indices des pourritures grises obtenus par la méthode, et l'observation visuelle des raisins nous était apparue.

Sans la mise en œuvre répétée lors du millésime 2001 sur les mêmes parcelles et propriétés, le phénomène serait apparu plus criard encore, compte tenu de la qualité apparente des vendanges 2001.

Or, nous avons clairement corrélé l'évolution néfaste de la couleur et des qualités organoleptiques à la présence d'un indice sanitaire élevé (niveau 25) ; il faut noter que les plus fortes variations couleur mesurées lors de l'élevage (intensité colorante en augmentation + couleur jaune), sont celles des vins issus de moûts présentant les indices sanitaires les plus élevés (indice 30 et au delà).

Nous entendons poursuivre cette expérimentation dont l'apport, à ce jour met en exergue la pertinence des résultats obtenus par GrapeScan, et induisent une modification des comportements en vinification sous cet éclairage nouveau.

Par ailleurs, notre étude devra s'affiner au niveau de la prise en compte du cépage, en effet, nous avons observé que la Syrah et le Cinsault par exemple apparaissent très nettement moins oxydables que le grenache à indice égal, ce qui devrait nécessiter une correction d'indice par le vinificateur afin que les choses soient égales par ailleurs au niveau de l'application.

Si l'état sanitaire de la vendange est capital, ce que chacun sait, il apparaît que pour l'élaboration des vins rosés que la voie de diagnostic GrapeScan, en préliminaire aux méthodes d'élaboration, revêt une importance insoupçonnée encore ; nous entendons affiner l'incidence de ce diagnostic sur les techniques préfermentaires et la sélection lors des prochaines vinifications.

2_ Denis Sintès, Œnologue responsable du contrôle qualité, Domaines Listel

Les Domaines LISTEL font parti du GROUPE VAL D'ORBIEU. Ils possèdent et exploitent leurs propres Domaines qui représentent 2000 ha de vigne dont 1400 sur sable à Aigues-Mortes ou nous pratiquerons aussi l'achat de vendange et de moût pour un équivalent de 1200 ha. D'où l'importance de pouvoir valoriser un raisin qui donne des produits vendus sous la marque LISTEL – LOUIS CHATEL – FONTANILLES & BILLETES. Ainsi, LISTEL cherche depuis toujours un moyen efficace et objectif d'appréciation de la vendange afin d'en exploiter tout le potentiel. Or les moyens utilisés jusque là s'avèrent très limités et assez variables dans l'efficacité.

Dès 1999, Listel a collaboré aux premiers essais du GrapeScan, avec la mise en place d'un appareil IRTF sur le pont bascule du Domaine de Jarras à Aigues-Mortes qui gère l'ensemble des apports de vendange. Environ 2500 échantillons seront analysés et confrontés à nos propres systèmes d'appréciations. (Ces valeurs seront une partie de la base de données du GrapeScan). Or 1999 fut dans notre région une année très variable qualitativement, notamment en raison d'une forte pression sanitaire.

Les analyses IRTF ont conforté nos observations, et la rapidité d'exécution a permis d'effectuer des orientations de la vendange en temps réel, en particulier sur des critères de qualité sanitaire.

Ces orientations se sont avérées judicieuses et de constat évident sur les vins obtenus.

Ceci nous a amené à nous équiper d'un appareil pour les vendanges suivantes.

L'appareil est utilisé sur le poste avancé à côté du pont bascule pour gérer les apports pendant les vendanges, le reste de l'année, il est utilisé dans le laboratoire d'analyse en tant que WineScan, il s'agit donc d'un système hybride WineScan/GrapeScan.

Le système a été organisé de la façon suivante : lors de la pesée, il y a un carottage qui permet une analyse réfractométrique et une mesure IRTF. L'appareil est connecté à notre propre informatique, ce qui permet d'éditer le ticket d'apport dès que l'analyse est terminée, et d'indiquer la destination qualitative entre plusieurs quais de déchargement. Les résultats sont également exploités pour la rémunération. Enfin, l'ensemble des données est stocké dans un même fichier LISTEL.

Pour un bon fonctionnement de l'appareil, il faut souligner l'importance de la formation des opérateurs, des opérations d'ajustement des calibrations, des procédures d'entretien rigoureuses, et enfin le respect d'un environnement judicieux.

Les résultats nous permettent de dire que le programme GrapeScan de mesure IRTF des apports de vendange est un moyen objectif rapide et efficace de triage et de sélection en vue d'une meilleure valorisation. On peut affirmer,

que dans le contexte des Domaines LISTEL cet appareil, par les informations sur la vendange qu'il nous fournit fait partie des apports technologiques très importants de ces dernières années.

3.8.2 Indice d'activité fermentaire

3.8.2.1 Définition

La fermentation alcoolique du moût est effectuée par voie microbiologique grâce à l'activité de levures de type *Saccharomyces cerevisiae*. Ces levures sont naturellement présentes dans la pruine du raisin, un ensemencement des moûts se fait donc de façon parfaitement naturelle.

Cependant, la pruine du raisin ne contient pas exclusivement que des saccharomyces, mais contient aussi un certain nombre d'autres levures (*Klokeria*, *Brettanomyces*...) capables de se développer et d'engendrer des activités fermentaires non désirables (phénomènes oxydatifs, déviations organoleptiques, concurrence avec les souches sélectionnées). L'activité de ces levures se développe surtout dans des conditions non maîtrisées, et notamment dans des bennes de vendanges qui auront séjourné longtemps dans des conditions de températures élevées, tout ceci étant également favorisé par l'état de liquéfaction de la vendange.

3.8.2.2 Méthode de référence

La constitution d'une banque de données de référence a été réalisée en mesurant sur des bennes de vendange leur état de liquéfaction, la température du jus, et le temps de séjour des raisins dans la benne. Ces données ont donné un premier indice de fermentation qui a été croisé avec les données métaboliques de façon à nettoyer la base de données.

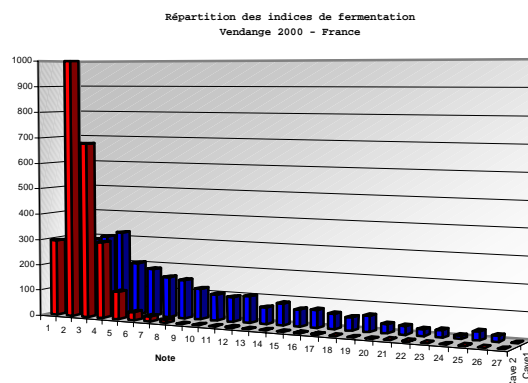
Sur cette base de donnée, un modèle à réseaux de neurones a été bâti de façon à relier l'information métabolique aux données d'indice de fermentation.

3.8.2.3 Résultats des analyses

La répartition des valeurs des indices évolue entre 1 et 27.

La répétabilité de l'indice de la pourriture grise est $r = 0.8$

Ce graphique présente d'une part un contexte indemne de phénomènes d'activité fermentaire, et en second plan, un contexte différent, où les bennes parcourent de longs trajets, avec une vendange souvent liquéfié, à température élevée.



Graph.12 : Distribution de l'indice fermentaire dans deux contextes différents

Ces activités fermentaires ne semblent pas produire de quantité significative d'éthanol, sans doute en raison de la nature des levures impliquées dans ces phénomènes.

Il est rencontré également des indices fermentaires élevés dans certains cas de pourriture grise. Sans pouvoir précisément expliquer la raison de cela, on peut imaginer facilement que dans des raisins pourris, les activités des levures indigènes peuvent se développer, tout en participant à la dégradation générale des baies de raisin.

Enfin, dans certains contextes, l'indice fermentaire peut décoller quand bien même l'intégrité des raisins est parfaite. Ce phénomène assez répandu fait l'objet du paragraphe suivant.

3.8.2.4 Activités fermentaires et métabolisme anaérobie

Dans de nombreux cas, il a été observé que sur une vendange parfaitement intègre, ayant peu séjourné en benne, voire vendangé manuellement, des indices fermentaires pouvaient être élevés.

Ces observations ont été complétées par des observations réalisées sur des caisses parfaitement homogènes de vendange manuelle : ces caisses de 30 kg de vendange environ ont été laissées au soleil pendant 3 heures environ, au terme de quoi une analyse a été réalisée sur un prélèvement de raisins se trouvant en haut de la caisse, et sur un prélèvement de raisins situés en bas de la caisse. Des valeurs extrêmement différentes ont été trouvées :

	Bas de caisse	Haut de caisse
Indice fermentaire	6	24
Acidité totale	4.17	3.92
pH	3.39	3.56
Acide malique	2.06	0.35
Acide lactique	0.5	0.3
Glycérol	1.4	4.1
Ethanol	0	0

Les raisins du haut de la caisse ont présenté des valeurs extrêmement différentes du bas de la caisse, avec notamment une augmentation forte de l'indice fermentaire, qui accompagne une baisse de la valeur d'acidité totale, une hausse du pH, une disparition pratiquement complète de l'acide malique, sans contrepartie d'acide lactique. Une teneur importante de glycérol est formée, il n'y a pas d'évolution analysable de la teneur en éthanol.

Ce phénomène n'est pas imputable à des microorganismes, tant les raisins sont parfaitement intègres. La seule hypothèse valable et vérifiée est le développement d'un phénomène métabolique interne au raisin. La consommation de l'acide malique et la production de glycérol témoignent effectivement d'une fermentation anaérobie, menée par le métabolisme propre du raisin. En raison d'une remétabolisation immédiate de l'éthanol, il n'y a pas d'accumulation d'éthanol au cours de ce phénomène.

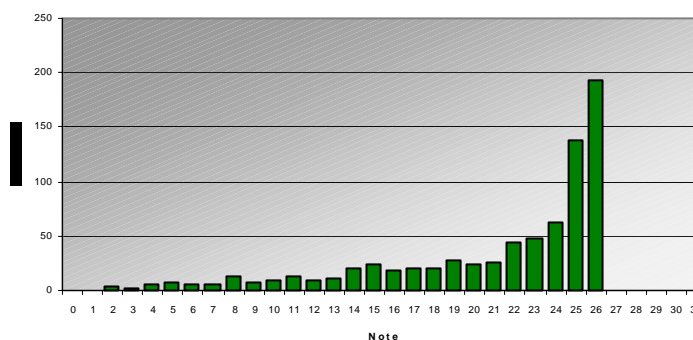
Il semble bien que l'induction de ce métabolisme intervienne lorsque le raisin se trouve en situation de stress. Dans ces conditions, et probablement en raison de la fermeture des stomates de la pellicule qui bloquent les échanges gazeux, la respiration n'est plus possible, et avec l'augmentation de la teneur en CO₂ dans la baie, le métabolisme fermentaire anaérobie est induit.

Ce phénomène a ainsi été identifié de façon isolée, sur des vendanges manuelles ayant séjourné au soleil, et subi des températures élevées. Mais au-delà, ce phénomène a été clairement identifié non pas sur les raisins vendangés mais sur pied. Dans certains cas, ce phénomène peut se généraliser à l'ensemble d'un vignoble.

Les résultats obtenus en Afrique du Sud montrent à quel point ce phénomène peut être largement développé à l'échelle de tout un vignoble.

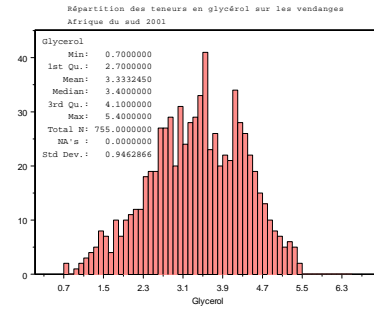
Le millésime 2001 y a été en effet marqué par une forte sécheresse et une température élevée, et les raisins ont très majoritairement développé un métabolisme fermentaire anaérobie, et ceci sur pied. La présence importante de glycérol de façon quasi systématique dans ces vendanges confirme clairement la présence de ce phénomène.

Indice de fermentation, Afrique du Sud 2001



Graph.13 : Distribution de l'indice fermentaire en Afrique du Sud, région de Stellenbosch Campagne 2001

A part la baisse d'acidité importante qu'il génère, ce phénomène ne pose pas de problèmes qualitatifs majeurs, et notamment n'est pas à l'origine de déviations aromatiques comme peuvent l'être les activités levuriennes décrites plus haut. L'indice d'activité fermentaire réagit de la même manière aux deux phénomènes mais le métabolisme anaérobie produit des quantités importantes de glycérol : un indice fermentaire élevé, avec une valeur élevée de glycérol, en l'absence de botrytis, signifie la présence du phénomène fermentaire anaérobie.



Graph. : Distribution des teneurs en glycérol dans des conditions de généralisation de métabolisme anaérobie des vendanges

Encore une fois, l'analyse des phénomènes biologiques fermentaires sur un très grand nombre de données, permise par le GrapeScan, met en évidence des phénomènes biologiques extrêmement répandus, complètement ignorés par la production, mais dont l'incidence technologique n'est pas neutre. Ce phénomène explique des résultats pouvant paraître suspects. Il se confirme simplement en vérifiant les valeurs relativement basses d'acide malique, et les valeurs élevées de glycérol.

3.8.3 Indice de pourriture acide

3.8.3.1 Définition

La pourriture acide ou aigre, est une dégradation des raisins que l'on attribue en priorité à l'activité de bactéries acétiques de type gluconobacter, mais aussi à des levures oxydatives. Il s'agit donc d'un phénomène biologique complexe lié à plusieurs types de microorganismes.

Les dégâts causés sur les raisins sont multiples, le plus marquant est l'odeur d'aigre que l'on remarque, lié à la présence d'acétate d'éthyle. Les bactéries acétiques produisent également de l'acide acétique ainsi qu'une série d'autres métabolites tels que l'acide gluconique.

3.8.3.2 Méthode de référence

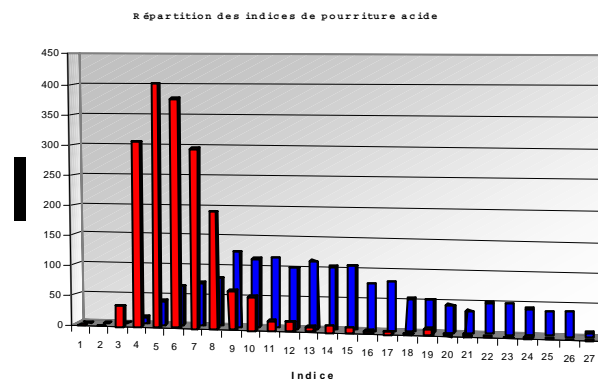
La base de données ayant servi à construire le modèle de prédiction utilisé comme référence l'appréciation visuelle de la pourriture acide présente dans un prélèvement. Ces données visuelles ont été recoupées avec des données métaboliques pour nettoyer la base de données d'éventuelles erreurs avant de construire le modèle.

3.8.3.3 Résultats des analyses

La répartition des valeurs des indices évolue entre 1 et 26.
La répétabilité de l'indice de la pourriture grise est $r = 1.1$

L'échelle théorique des valeurs va de 0 à 26.

Sont présentés ici deux contextes : au premier plan un millésime sans problèmes significatifs de pourriture acide, bien qu'il y ait quelques individus avec un indice élevé. En arrière plan, la répartition témoigne d'un millésime avec une forte pression de pourriture acide.



3.8.4 Indice d'activité lactique

3.8.4.1 Définition

Les activités lactiques sont liées à l'activité de bactéries lactiques qui vont produire une fermentation malolactique sur les raisins, voire une piqûre lactique. Ceci se traduit par une consommation de l'acide malique, et une production d'acide lactique.

Ce phénomène reste extrêmement rare, et se produit généralement lorsque le raisin a déjà subi des dégradations sévères de la part d'autres microorganismes (botrytis, levures...). Il revêt donc une importance de second ordre.

3.8.4.2 Analyse par IRTF

Cet indice est basé sur le simple acide lactique converti en indice de façon à faciliter son interprétation.

0 : pas d'activité lactique

1 : légère activité

2 : forte activité