

Gestion de l'irrigation : conception d'un logiciel de diffusion du modèle de bilan hydrique

**Action conduite dans le cadre du contrat de Plan
Etat-Région Languedoc-Roussillon**

Décembre 2005

Introduction

Le recours à une contrainte hydrique modérée pour l'obtention d'un vin de qualité est une stratégie admise de tous en région méditerranéenne. Selon ses objectifs de production, il va alors falloir « piloter » la contrainte hydrique au regard d'un itinéraire hydrique de référence. L'irrigation est une méthode correctrice permettant de maintenir la parcelle dans le niveau de contrainte souhaité lors de situations déficitaires. Les méfaits d'apports d'eau trop importants n'étant plus à décrire (retard de maturité, dilution de baies, sur-production, problèmes sanitaires de la vendange...), il convient de disposer d'indicateurs viticoles sensibles. Par surcroît, la notion de contrainte hydrique modérée n'est pas facilement accessible. Il ne s'agit pas de « simplement » maintenir le vignoble autour d'une valeur de contrainte hydrique fixe, mais d'accompagner l'établissement progressif d'une contrainte tout au long du cycle végétatif. Les bornes de la zone cible évoluent ainsi avec le temps, on ne va pas rechercher le même niveau de contrainte hydrique à la floraison et à la véraison par exemple. C'est dans ce contexte que les indicateurs à développer pour gérer la contrainte hydrique se doivent d'être sensibles sur une large gamme de contrainte. Enfin, le critère de précocité du diagnostic est l'indispensable préalable à une bonne définition des interventions culturales correctrices en cours d'année.

C'est dans ce contexte que nous avons mis en place et développé avec les organisations professionnelles du pourtour méditerranéen un large réseau de parcelles d'observation incluant plusieurs cépages, conditions de productions, voire stratégies d'irrigation. Ce support technique nous a permis d'interagir avec la réalité des conditions de production, et de développer un modèle de bilan hydrique permettant de simuler l'évolution de la contrainte hydrique au pas de temps quotidien sur la base de données météorologiques et de relevés parcellaires. L'objectif de cette approche est dans un premier temps de rendre compte, de manière descriptive, de l'intensité de la contrainte en temps réel, puis de développer une stratégie d'interprétation de ces données permettant d'intégrer les conditions d'évolution de la contrainte hydrique de la parcelle pour proposer un diagnostic de la situation en temps réel. Cette méthode de modélisation de la contrainte hydrique, développée avec l'INRA de Montpellier, paraît être pour l'heure une démarche pertinente, associant un diagnostic agronomique de la situation viticole à des informations de base relativement faciles d'accès. Sous réserve de la qualité de simulation de la contrainte hydrique pour chaque parcelle analysée, le modèle permettra de gérer en temps réel des apports d'eau correctifs en intégrant les notions de contrainte hydrique progressive pour un objectif qualitatif donné.

Les résultats relatifs à cette étude ont été présentés dans la synthèse du présent CPER l'an dernier. L'objet de cette année d'étude complémentaire était de mettre en forme le logiciel de bilan hydrique et d'éprouver sa grille de diagnostic sur l'ensemble de la base de données mise à jour. Ce document permet ainsi de finaliser l'étude en proposant aux utilisateurs une documentation leur permettant d'acquérir l'autonomie suffisante à la maîtrise du logiciel.

1. Utilisation du modèle de bilan hydrique / mode d'emploi

Présentation

Cette partie va permettre d'appréhender concrètement la mise en œuvre du logiciel informatique proposé actuellement aux partenaires techniques de l'étude. Le logiciel est élaboré par ITV France sous le tableur Microsoft Excel et comprend plusieurs feuilles de

calcul et macro qui doivent être activées. Le principe repose sur l'optimisation du parcours hydrique d'une parcelle (feuille « Optimisé ») dont les résultats graphiques sont reportés dans la feuille « Synthèse ». Les feuilles de calcul « Parcelle 1 » à « Parcelle 5 » représentent différents parcours hydriques qu'il est possible de superposer au parcours optimisé (tests d'effet « profondeur de sol », d'effet « mode de conduite », d'effet « millésime »...). La feuille « Paramètres » condense les différents paramètres de calcul utilisés et la feuille « Calculs TTSW » reprend la méthode d'optimisation de la TTSW sur la base des PHFB renseignés. Enfin, la feuille « Info » sert à donner à l'utilisateur des informations sur la qualité du paramétrage réalisé.

Fonctionnement, mise en œuvre

Avant toute utilisation du logiciel, il est recommandé d'initialiser les différentes options de celui-ci en cliquant sur le bouton « RAZ ».

• Saisie des données

Afin de simplifier la saisie des données, un code colorimétrique a été mis en œuvre dans le logiciel proposé. Il informe sur le fait de ne renseigner que les cellules de calcul sur fond jaune. De cette façon, cinq catégories de données sont nécessaires au fonctionnement du modèle de bilan hydrique, identifiables par les numéros cerclés sur la figure 1 :

1 - Identification de la parcelle :

- Nom de la parcelle : saisie obligatoire.
- Année étudiée : saisie obligatoire, permet de gérer les années bissextiles dans la colonne « Jour », facilitant ainsi l'introduction des données météorologiques enregistrées automatiquement.
- Cépage : saisie facultative.
- Modalité : saisie facultative.

2 – Phénologie

- Date de débourrement : saisie obligatoire. Permet d'initialiser le calcul du parcours hydrique. En l'absence d'information, simule la date de débourrement à un cumul de temps thermique de 80°j en base 10 depuis l'introduction de données météorologiques.
- Dates de début/fin floraison : saisie facultative, estimées à plus et moins 7 j autour de la floraison. Utilisé pour la classification du parcours hydrique (cf. ci-après).
- Date de floraison : saisie obligatoire, estimée pour un cumul de temps thermique en base 10 de 380°j en l'absence d'information. Utilisé pour la classification du parcours hydrique (cf. ci-après).
- Date de véraison : saisie obligatoire, estimée pour un cumul de temps thermique en base 10 de 1100°j en l'absence d'information. Utilisé pour la classification du parcours hydrique (cf. ci-après).
- Date de récolte : saisie obligatoire, estimée pour un cumul de temps thermique en base 10 de 2200°j en l'absence d'information. Utilisé pour la classification du parcours hydrique (cf. ci-après).

3 – Mode de conduite

- k_{max} : saisie obligatoire. Valeur obtenue à partir d'un modèle informatique proposé par Riou *et al.* (1989) (cf. figure 2), dont les données d'entrée correspondent aux cellules suivantes :
 - Date de mesure : correspond à la date de mesure du gabarit de végétation à l'état d'équilibre.
 - Largeur inter-rang : cf. densité de plantation.
 - Largeur inter-cep : cf. densité de plantation.
 - Hauteur de végétation : cf. mesure du gabarit de végétation.
 - Largeurs de végétation haut et bas : cf. mesure du gabarit de végétation.
 - Porosité en % : cf. mesure du gabarit de végétation.
 - Orientation des rangs.
 - Latitude.
 - Longitude.
- Enherbement : saisie facultative. Le modèle n'est pas adapté au calcul de parcours hydrique en situation enherbée.

4 – Données météorologiques

Saisie obligatoire, à renseigner à partir du 1^{er} janvier.

- Colonne Tmoy (°C) : température moyenne au pas de temps journalier en °C
- Colonne P (mm) : hauteur des précipitations au pas de temps journalier en mm
- Colonne ETP (mm) : quantité d'évapotranspiration au pas de temps journalier en mm
- Colonne Irrigation (mm) : le modèle n'est pas encore adapté à l'optimisation de la TTSW et à la simulation du parcours hydrique en situation irriguée.

5 – Indicateur de contrainte hydrique

Saisie obligatoire des potentiels hydriques foliaires de base dans la colonne « Potentiel hydrique foliaire de base (MPa) » en méga-Pascal ; cahier des charges minimal : au moins 3 potentiels hydriques foliaires de base pendant la saison, présentant une amplitude de 0,35MPa avec des mesures comprises entre -0,2MPa et -1,0MPa. Toute valeur de potentiel hydrique foliaire de base ne respectant pas ces « filtres » n'est pas prise en compte dans l'optimisation de la TTSW. Les conditions de réalisation des potentiels hydriques foliaires de base sont accessibles en cliquant sur le bouton « informations sur les filtres ».

• Optimisation de la TTSW et simulation du parcours hydrique

Une fois les données saisies, l'optimisation de la TTSW et la simulation du parcours hydrique font appel à plusieurs macro accessibles via des boutons de fonctionnement sur la feuille de calcul :

- bouton « Définir la TTSW » : si toutes les données sont correctement saisies et que le jeu de données des potentiels hydriques foliaires de base correspond aux conditions pré-requises (cf. « filtres »), la TTSW optimisées s'affiche en haut à droite avec un seuil de précision de plus ou moins 10mm. Pendant la phase de calcul, le seuil de précision décroît régulièrement. En complément, dans les colonnes « FTSW (j) » et « PHFB (j) », apparaissent les valeurs journalière de FTSW et PHFB qui expliquent le mieux les potentiels hydriques foliaires de base mesurés au regard des caractéristiques climatiques et viticoles renseignées.
- Si le message « Problème de filtres ! » apparaît en lieu et place de la TTSW optimisée, il s'agit probablement d'une incompatibilité entre le jeu de potentiels hydriques foliaires de base entré et les conditions minimales requises. Pour s'en assurer, cliquer sur le bouton « Informations sur les filtres ». Sur la première ligne apparaissent les

données requises, sur la seconde les données correspondant au jeu de données en cours. En rouge sont affichés les conditions ne respectant pas les postulats.

- Il est possible de forcer l'optimisation du modèle si le jeu de données de potentiels hydriques foliaires de base ne satisfait pas au minimum requis en cliquant sur le bouton « Oter les filtres et définir TTSW ». A ce moment-là, un message de mise en garde apparaît dans les feuilles « Optimisé » et « Synthèse » avertissant l'utilisateur du non-respect des postulats de paramétrage.. Pour rétablir les filtres, il suffit de cliquer sur le bouton « Rétablir filtres et définir TTSW ».

- **Représentation graphique**

Cliquer sur le bouton « Accéder à la synthèse » permet de basculer vers la représentation graphique du parcours hydrique sur la feuille de calcul « Synthèse ».

Sur cette page apparaît le graphique montrant l'évolution du parcours hydrique au cours du temps. Une option en haut à droite permet de choisir un affichage en « PHFB » ou en « FTSW ».

Le trait rouge représente l'évolution moyenne du parcours hydrique, la zone rouge représente la qualité de la simulation au regard des PHFB mesurés, c'est à dire que plus la zone est large, moins la simulation est pertinente et vice-versa. Cette zone est calculée sur la base des écarts moyens positif et négatif observés entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées.

Les cercles représentent les différents PHFB mesurés au vignoble. En rouge apparaissent les mesures qui ont servi à l'optimisation. En blanc apparaissent les mesures qui n'ont pas été considérées pour l'optimisation pour cause de précipitations trop récentes et de risque de non représentativité. Il est possible de forcer manuellement la prise en compte des points rejetés, qui apparaissent alors en noir sur la figure (cf. colonne « Annulation(A)/Forçage(F) du PHFB ? » de la feuille de calcul « Optimisé »). En vert apparaissent les PHFB qui ne respectent pas les conditions de filtres imposées. Seuls les points rouges et noirs participent à l'optimisation de la TTSW sur la base des PHFB.

Les diagrammes en bâtonnets représentent les précipitations. En bleu clair figurent les quantités d'eau prises en compte (précipitations « efficaces »), en bleu foncé figurent les hauteurs d'eau renseignées. L'efficacité des précipitations est difficile à apprécier. Au regard des résultats des simulations préalablement réalisées et après discussions techniques dans le cadre du groupe de travail régional, il a été décidé d'appliquer comme règle de base (modifiable à souhait) une régulation des précipitations lorsque le sol s'asséchait (moins de 50% de FTSW) en ne considérant pas les pluies inférieures à 5mm et en ne considérant que 50% de leur efficacité dans les autres cas. Il sera nécessaire par la suite de définir des formalismes plus pertinents pour la gestion des précipitations, un des points faibles à l'obtention de résultats probants pouvant venir de la donnée « intensité des précipitations » rarement enregistrée actuellement.

Une case à cocher (en bas à droite) permet de faire afficher les stades phénologiques sur la figure (débourrement ; début-fin floraison ; véraison ; récolte).

Adjonction d'une grille de diagnostic (modulable)

L'interprétation du parcours hydrique ainsi obtenu ne peut se faire qu'au travers d'une grille d'interprétation, ou grille de diagnostic. Pour faire apparaître la grille de diagnostic proposée par ITV sur la base du travail effectué en partenariat avec les différents organismes du groupe de travail, il suffit de décocher la case « Ne pas utiliser la grille ITV-INRA » dans l'encart « grille de diagnostic » à droite de la figure. Il apparaît alors en trame de fond le positionnement du parcours hydrique sur la grille de diagnostic proposée. Chaque couleur représente une classe de contrainte hydrique, de la classe A vers la classe E. Cette grille n'est pas immuable, il convient de l'adapter aux différentes conditions de production locales. Le logiciel permet d'imposer d'autres grilles de diagnostic dont la définition et l'utilisation sont sous la responsabilité des utilisateurs.

Sous la figure apparaissent alors deux types d'informations :

1 – la codification du parcours hydrique relativement à la grille de diagnostic utilisée. Le parcours hydrique apparaît sous trois formes différentes :

- 1 note : D>R en classe C signifie que l'appartenance moyenne du parcours hydrique à une classe est du type C du débourrement à la récolte.
- 4 notes : D F V R en classes CCBC signifie que le parcours hydrique est majoritairement représenté par la classe C du débourrement à la floraison, puis C pendant la floraison, puis B pendant la période floraison-véraison, puis C pendant la période véraison-récolte.
- 9 notes : CCCBBBCAA subdivisent encore le parcours hydrique précédent en scindant la période débourrement-floraison en deux et les périodes floraison-véraison et véraison-récolte en trois.

2 – la représentativité du parcours hydrique noté sur 4 notes sur la base de données obtenue en région méditerranéenne : ensemble de huit figures :

- 1^{ère} : représente la fréquence observée de ce parcours hydrique sur les bases de données respectives de grenache et syrah. Dans le cas présent, le parcours hydrique CCBC a été observé dans moins de 5% des cas.
- 2^{ème} : représente la valeur moyenne du rendement par cep et son écart-type observés pour ce parcours hydrique dans la base de données pour le grenache et la syrah (en couleur), relativement à la moyenne observée pour l'ensemble des parcours (en blanc). Cette représentation permet de situer le comportement de la parcelle au regard de la diversité des comportements obtenus. Dans le cas présent, le parcours hydrique CCBC a donné des niveaux de rendement par cep proches de la moyenne générale, avec une dispersion plus importante pour le grenache que pour la syrah.
- 3^{ème} à 8^{ème} : même logique avec respectivement le poids de 200 baies à la récolte, la concentration en sucres, l'acidité de titration, la teneur en anthocyanes puis les quantités de sucres par baie et l'acidité par baie.

Comparaison de parcours hydriques entre eux

Les feuilles « Parcelle 1 » à « Parcelle 5 » permettent d'ajouter à la figure du parcours hydrique optimisé des parcours supplémentaires. Il est possible, au choix, de modifier un ou plusieurs des paramètres suivants :

- TTSW
- kv
- températures moyennes journalières
- précipitations journalières

- évapotranspiration journalière
- irrigation journalière
- remplissage initial de la réserve hydrique

La modification de ces paramètres permet différents types de simulations :

- effet du remplissage ou non de la réserve hydrique au sortir de l'hiver sur l'évolution de la contrainte hydrique
- effet de la réserve hydrique du sol sur l'évolution de la contrainte hydrique
- comparaison du millésime optimisé à d'autres millésimes
- effet de l'irrigation sur le parcours hydrique. L'irrigation est ici gérée de façon simpliste. Il convient de renseigner le type de matériel utilisé qui agit sur un « coefficient d'efficacité » de l'irrigation au regard des pluies (0,5 pour l'aspersion et 0,7 pour le goutte-à-goutte, estimations empiriques).

Les différents parcours hydriques simulés s'affichent alors sur la figure de la feuille « Synthèse », ainsi que leur codification dans le tableau « parcours hydriques ».

2. Relations entre parcours hydrique et caractéristiques de la vendange

Le tableau 1 illustre les coefficients de corrélation observés entre la note moyenne de contrainte hydrique entre débourrement et récolte et les principales caractéristiques de la vendange. Ces résultats ont été obtenus après simulation de 66 parcours hydriques de grenache et 57 de syrah. Il apparaît clairement que les critères de rendement sont les plus reliés au niveau de contrainte hydrique sur l'ensemble de la saison, ainsi que les marqueurs de l'activité photosynthétique des plantes que sont la quantité de sucres accumulée par baie et l'acidité de titration par baie, avec des niveaux de significativité particulièrement élevés.

Tableau 1 Coefficients de corrélation entre le niveau moyen de contrainte hydrique sur l'ensemble du cycle végétatif et les caractéristiques de la récolte. Niveaux de signification statistique associés : *=5% **=1% ***=1‰

r	grenache	syrah
Poids/cep	34% **	67% ***
Poids 200b	66% ***	72% ***
sucres (g/L)	13%	-6%
AT (g/L)	38% **	7%
anthocyanes (mg/kg)	-15%	-22%
sucres/b (mb/b)	61% ***	54% ***
AT/b (mg/b)	73% ***	41% **

En complément de ces informations, il était intéressant de vérifier s'il existait des périodes du cycle végétatif pour lesquelles les relations entre contrainte hydrique et caractéristiques de la vendange étaient mieux marquées. Les résultats de cette approche sont illustrés avec les figures 5 et 6. Les résultats des ANOVA nous indiquent que la sensibilité des paramètres qualitatifs à la contrainte hydrique peut être perçue dès la période floraison-véraison, permettant ainsi un diagnostic précoce de la situation viticole.

Enfin, les figures 7 et 8 nous enseignent que la relation entre caractéristiques de la récolte et la contrainte hydrique est maximale et stable entre floraison et véraison. Conformément aux observations précédentes, et dans la limite de la variabilité des situations observées dans le jeu

de données, le diagnostic précoce des paramètres qualitatifs et quantitatifs sensibles de la vendange est possible à hauteur des coefficients de confiance précédent ; assez tôt en saison pour permettre une correction de la situation observée au regard des objectifs de production escomptés. L'ajout d'un module pertinent de prise en compte de l'irrigation permettrait de répondre correctement à la demande des professionnels.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de faire du bilan hydrique un outil de diagnostic accessible au producteur. Le transfert des connaissances de la recherche agronomique au travers de cette interface informatique permet aujourd'hui de caractériser l'évolution de la contrainte hydrique et d'en interpréter les conséquences sur la qualité de la vendange, dans les limites de validation du modèle.

L'utilisation du logiciel réside surtout dans son intérêt pour comparer l'évolution du millésime en cours aux caractéristiques de millésimes précédents. Il permet aussi de simuler facilement l'évolution de la contrainte pour différentes profondeurs de sol exploitables par les racines. L'ambition des agents de conseil et de développement est aujourd'hui d'exploiter cet outil sur des parcelles de référence, afin d'optimiser la connaissance du vignoble. Il permet de compléter par des informations objectives les relevés de PHFB réalisés sur le terrain. La modélisation du comportement des cultures revêt ainsi un intérêt flagrant dans l'aide au conseil. Il convient à l'avenir d'accroître la robustesse des modèles en travaillant sur leurs impasses, qui peuvent être dans le cadre du présent bilan hydrique :

- prise en compte des irrigations pour faire du modèle un outil de conseil quant à cette pratique correctrice
- prise en compte de l'efficacité des précipitations
- prise en compte de l'enherbement

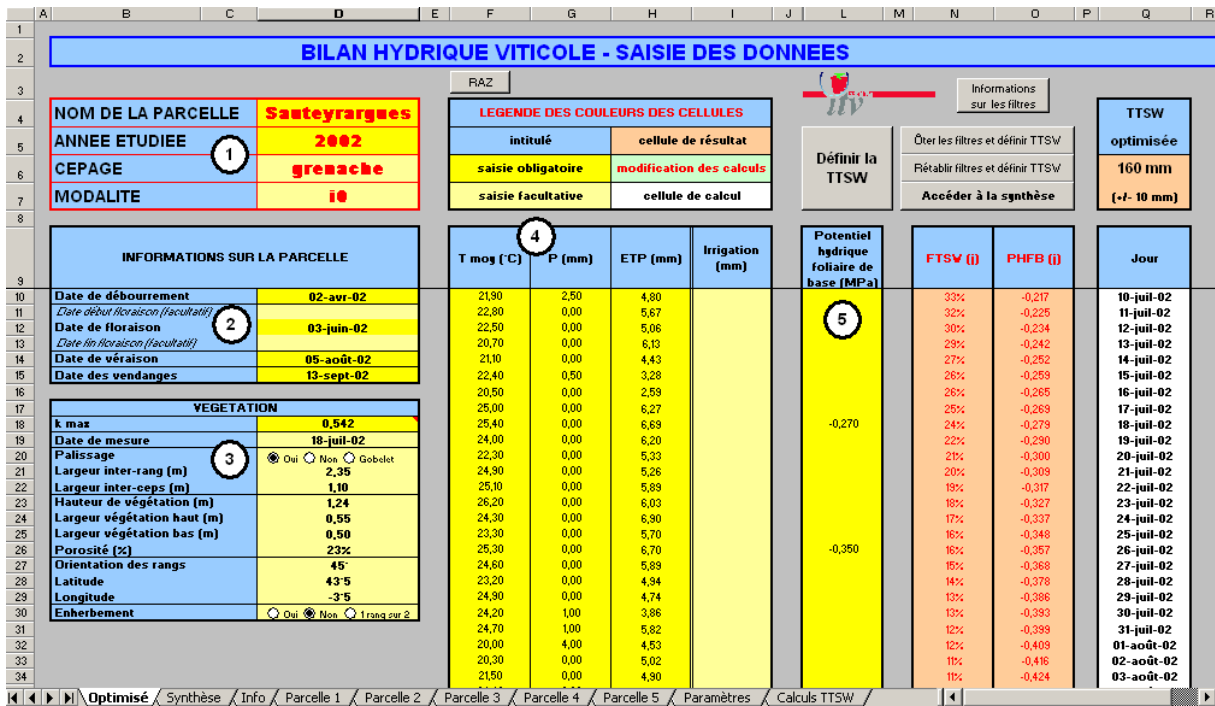


Figure 1 Copie d'écran de la feuille de saisie des données du modèle de bilan hydrique.

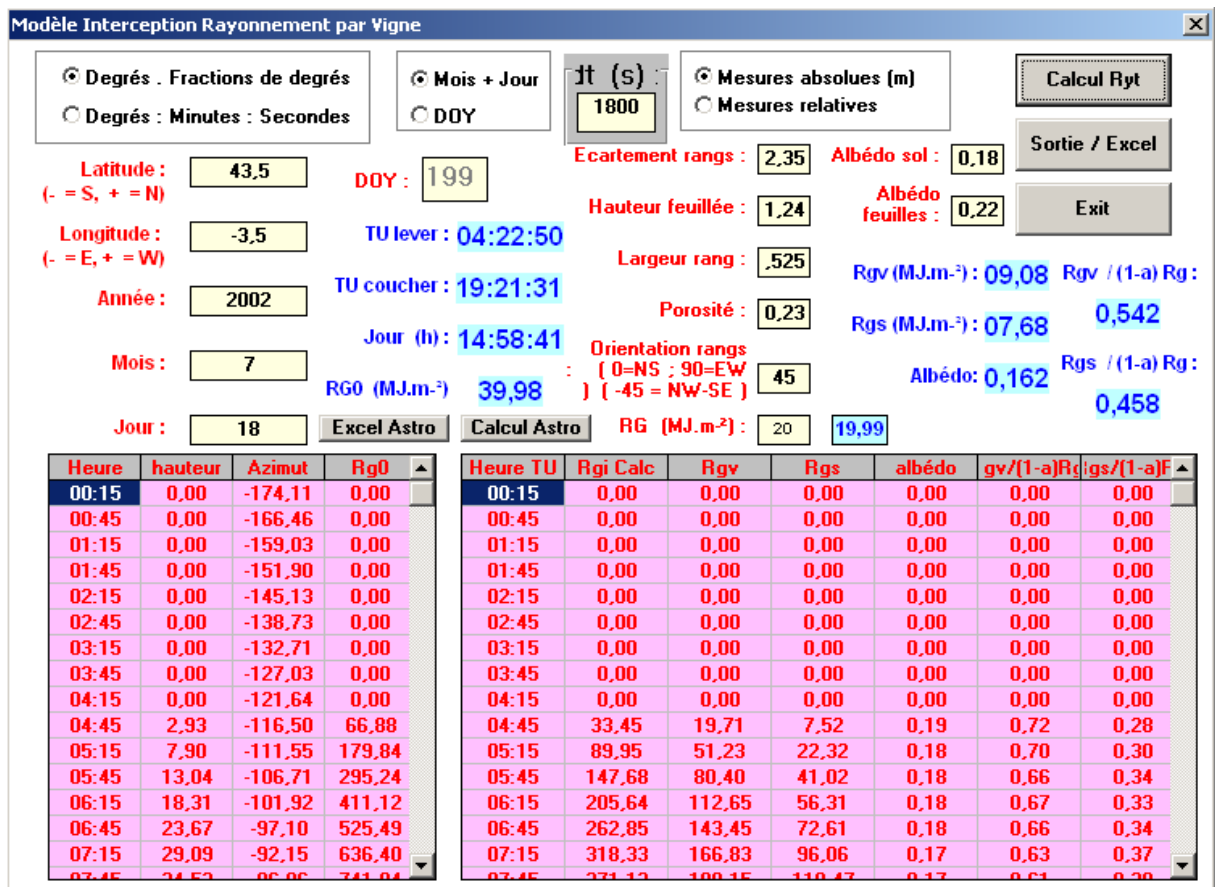


Figure 2 Copie d'écran du logiciel de calcul de k_{max} ($R_{gv}/(1-a)R_g$)

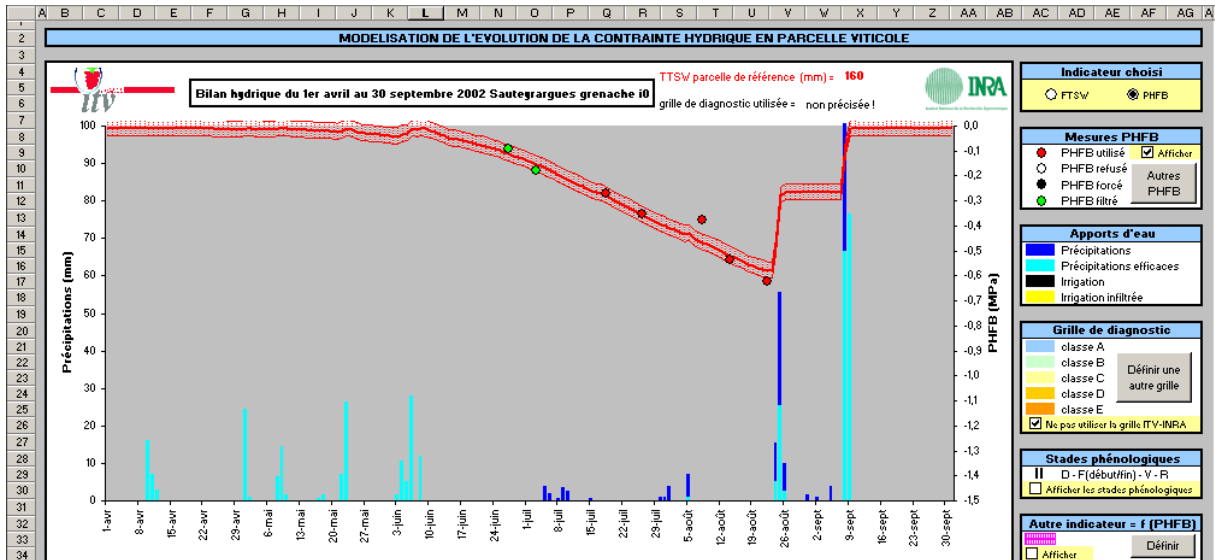


Figure 3 Copie d'écran de la feuille de représentation graphique du parcours hydrique.

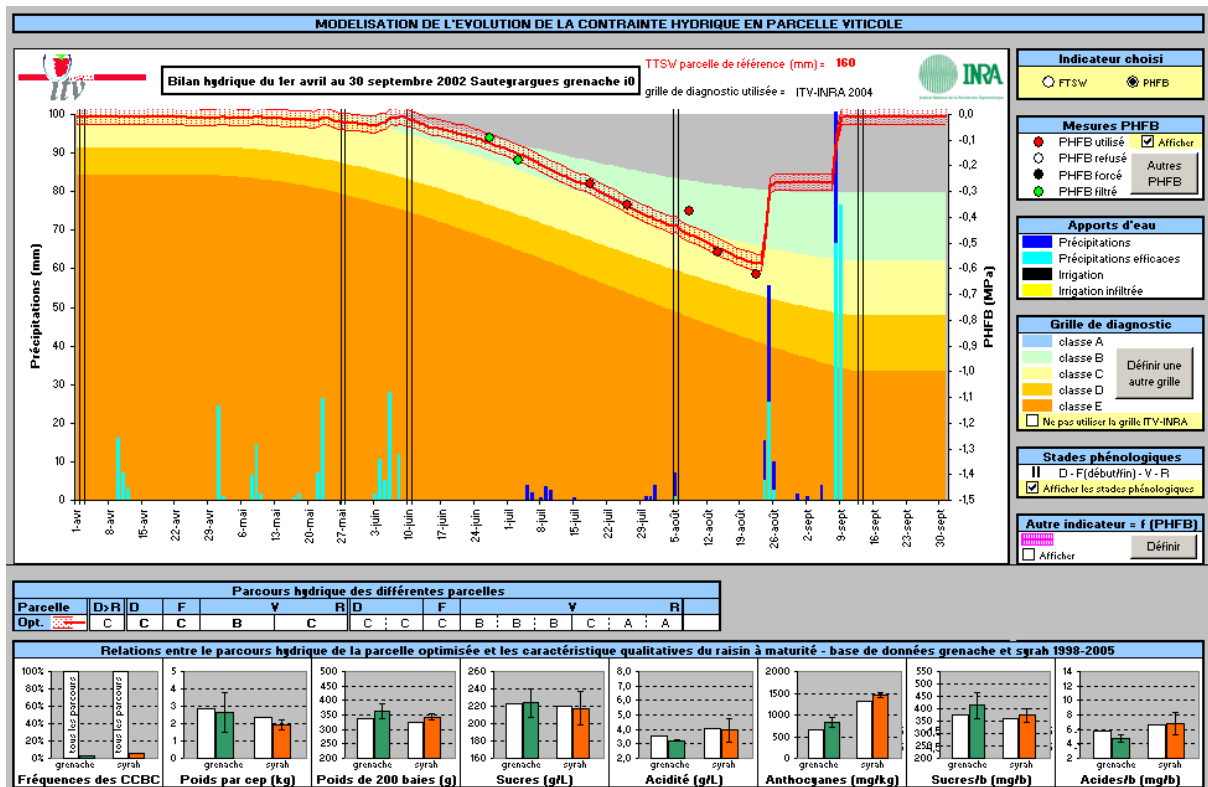


Figure 4 Copie d'écran de la feuille d'interprétation du parcours hydrique.

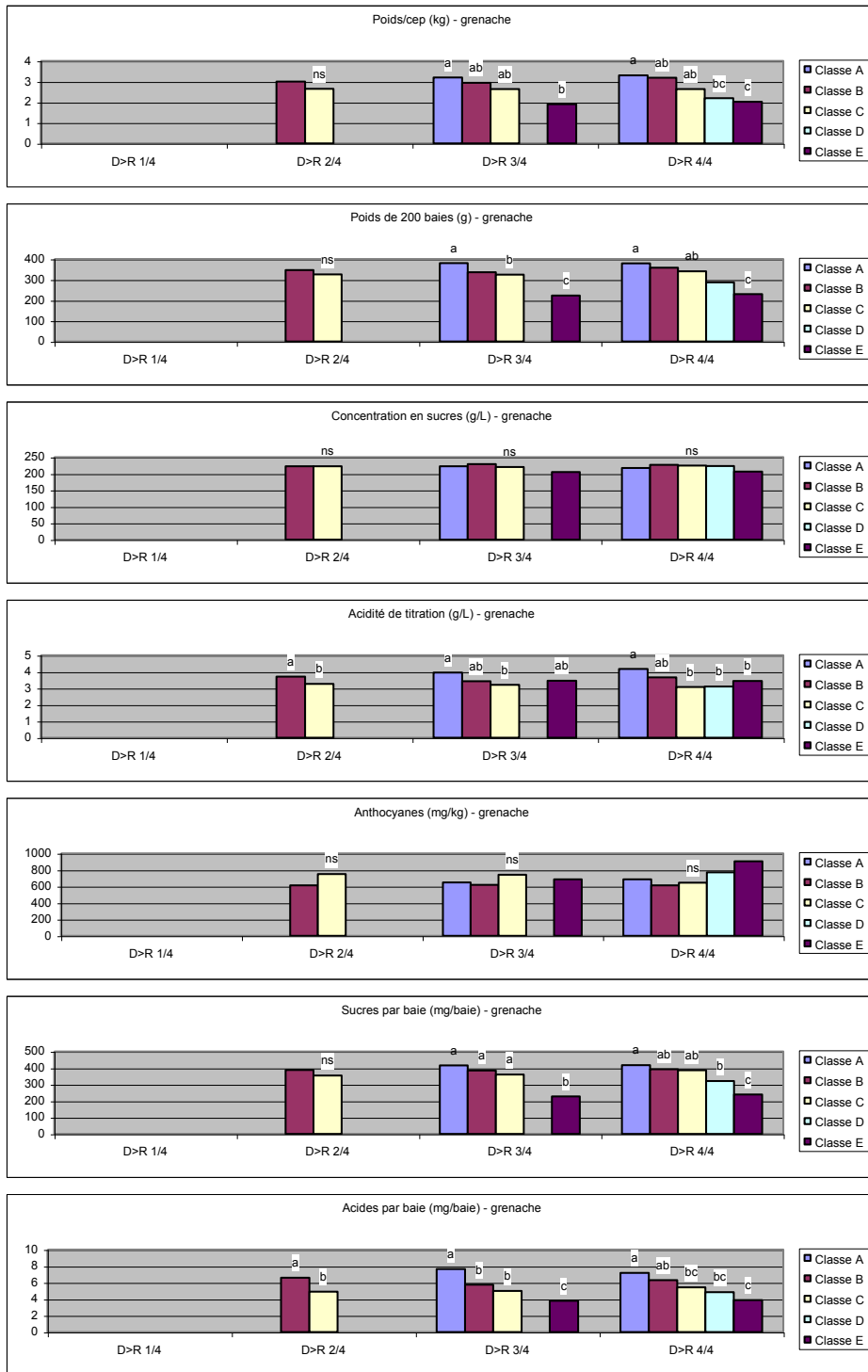


Figure 5 Illustration graphique des résultats issus des analyses de variance entre les caractéristiques de la récolte et l'appartenance des parcours hydriques à différentes classes de la grille de diagnostic pour 4 périodes du cycle végétatif et pour le jeu de données « grenache » (66 individus). D>R 1/4 = débourrement-floraison ; D>R 2/4 = floraison ± 7 jours ; D>R 3/4 = floraison-véraison ; D>R 4/4 = véraison-récolte. Les lettres représentent les groupes homogènes significatifs au seuil de 5%.

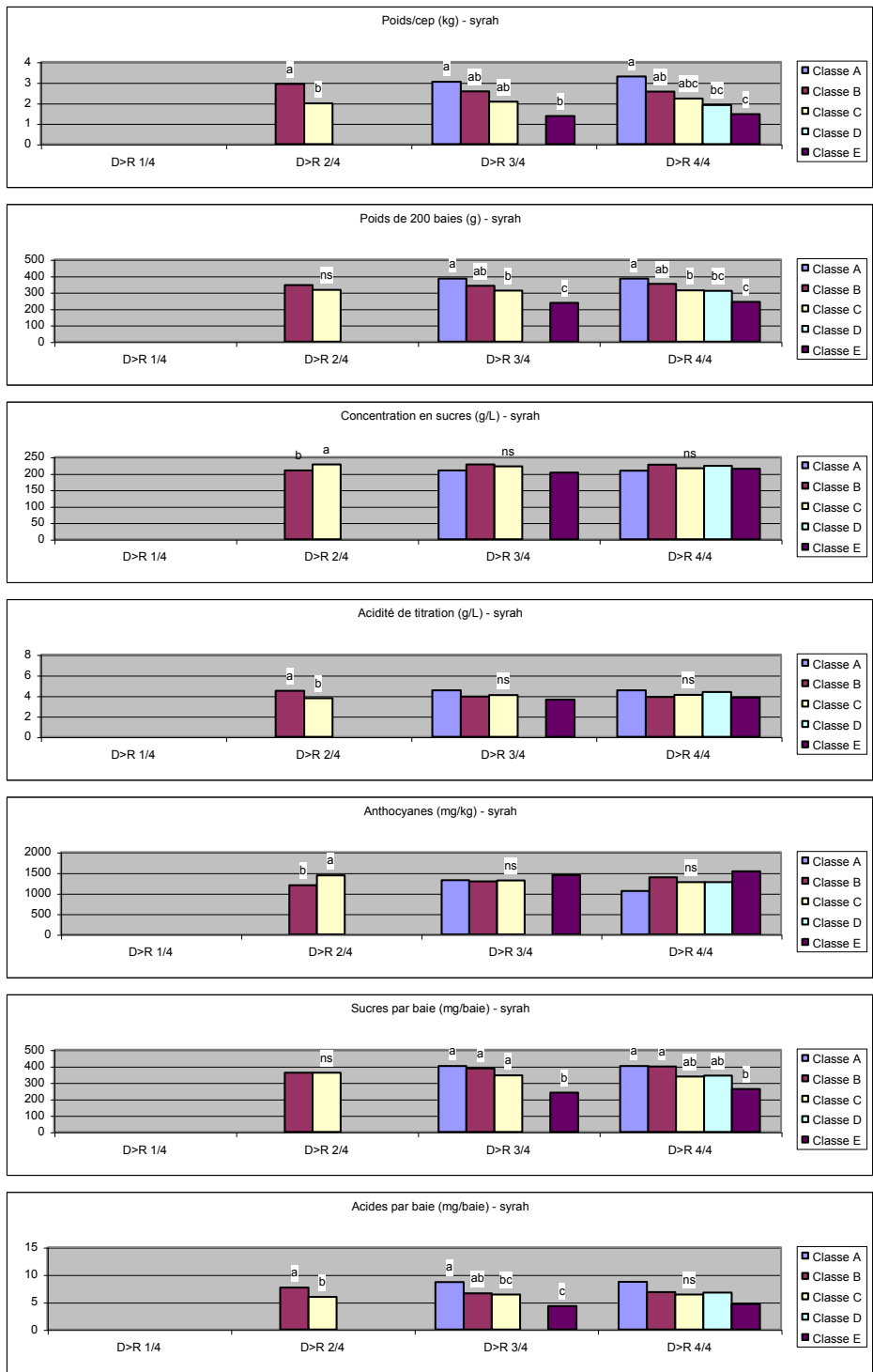


Figure 6 Illustration graphique des résultats issus des analyses de variance entre les caractéristiques de la récolte et l'appartenance des parcours hydriques à différentes classes de la grille de diagnostic pour 4 périodes du cycle végétatif et pour le jeu de données « syrah » (57 individus). D>R 1/4 = débourrement-floraison ; D>R 2/4 = floraison ± 7 jours ; D>R 3/4 = floraison-véraison ; D>R 4/4 = véraison-récolte. Les lettres représentent les groupes homogènes significatifs au seuil de 5%.

grenache

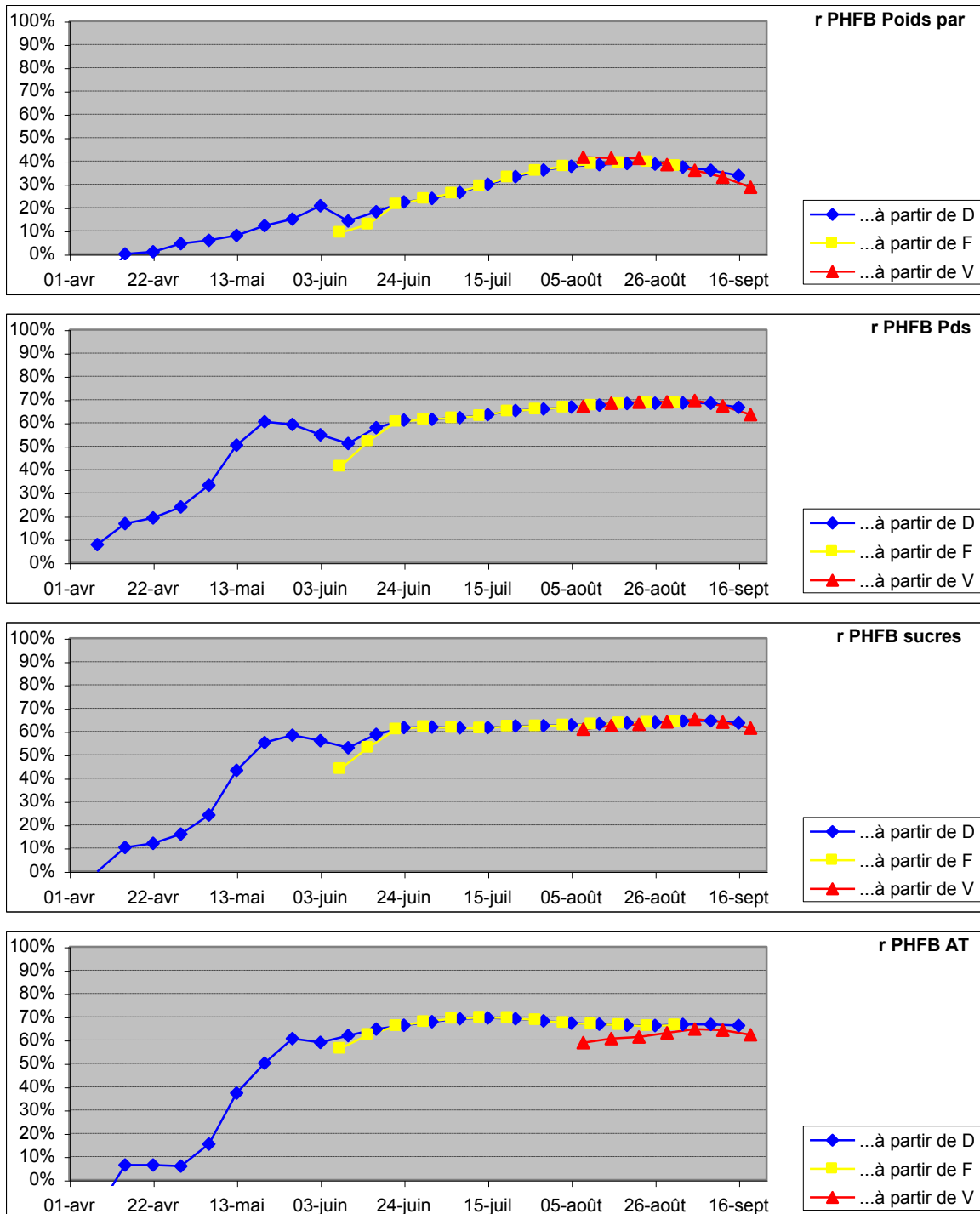


Figure 7 Evolution de la corrélation avec le temps des principales caractéristiques de la vendange sensibles à la méthode de caractérisation du parcours hydrique pour le jeu de données « grenache » (66 individus).

syrah

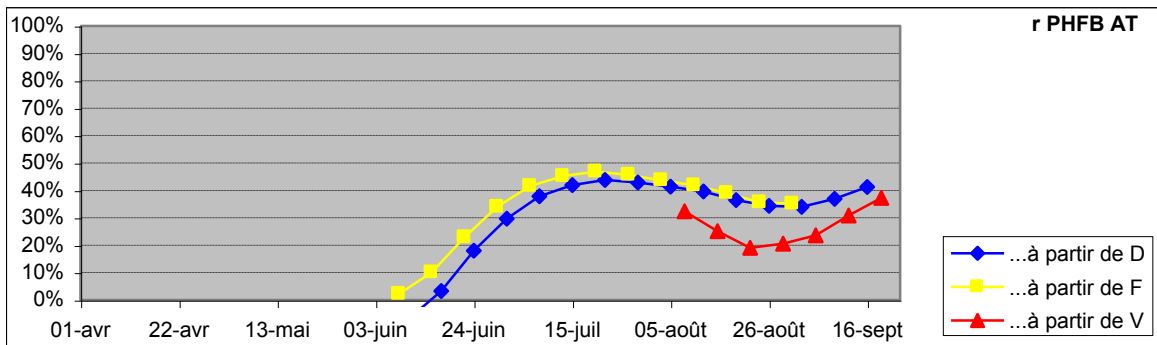
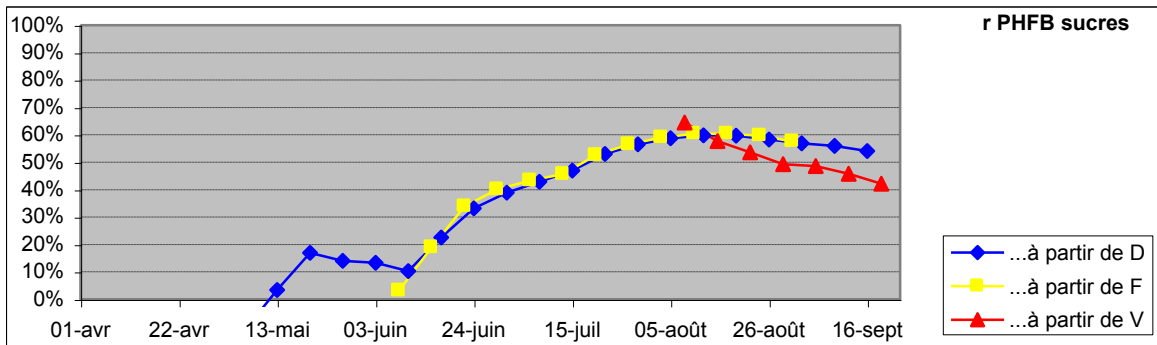
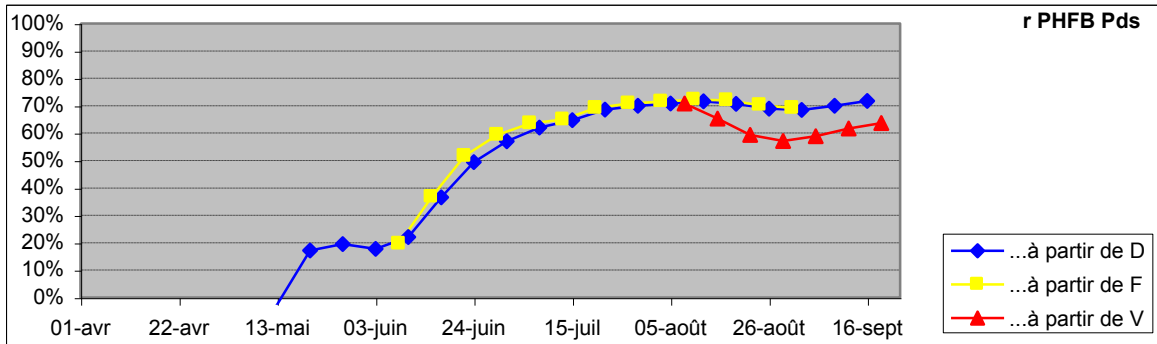
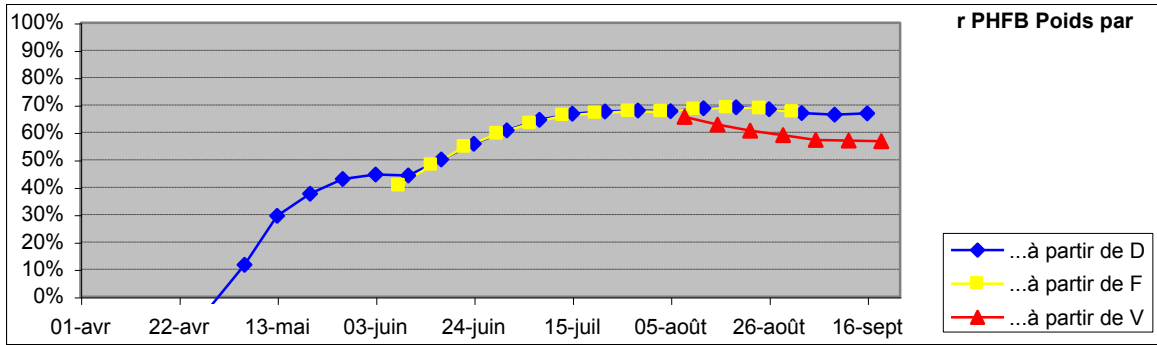


Figure 7 Evolution de la corrélation avec le temps des principales caractéristiques de la vendange sensibles à la méthode de caractérisation du parcours hydrique pour le jeu de données « syrah » (57 individus).