

**Mise au point d'une méthode  
d'identification de la contrainte  
hydrique par mesure de la  
température foliaire.**

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

IFV Décembre 2006

## **Introduction**

L'évolution du statut hydrique de la vigne au cours de son cycle est déterminante pour l'élaboration du rendement et de la qualité de la vendange. Or, les outils actuellement à disposition des professionnels et techniciens de la filière pour établir un diagnostic fiable de l'état hydrique du vignoble sont soit ceux habituellement utilisés en recherche mais dont la mise en œuvre est peu compatible avec le suivi de réseaux de parcelles importants (mesure du potentiel hydrique avec une chambre à pression, mesure de la conductance stomatique par porométrie *etc...*), soit des outils utilisables à plus grande échelle (bilan hydrique (Lebon *et al.*, 2003), température de couvert (Guilioni *et al.*, 2001 ; Jones *et al.*, 1999, 2002), bilan hydrique couplé avec un modèle décrivant le bilan de l'activité des sources et des puits (Pellegrino, 2003) mais dont la robustesse est encore insuffisante.

L'objectif de ce projet est de mettre au point un outil simple de diagnostic du stress hydrique de la vigne, fondé sur la mesure de la température du couvert végétal, utilisable en routine dans une gamme étendue de conditions climatiques. Il s'agit d'évaluer la faisabilité d'une méthode simple de diagnostic de la contrainte hydrique à partir de la mesure de la température du couvert végétal, en comparaison avec des indicateurs de référence que sont la mesure de la conductance stomatique (gs) et les mesures de différents potentiels hydriques : potentiel hydrique foliaire de base ( $\Psi_{Fb}$ ), potentiel foliaire ( $\Psi_F$ ) et potentiel de tige ( $\Psi_T$ ). Après une phase de paramétrage dans des conditions viticoles particulières, la robustesse de l'indicateur sera éprouvée pour différents cépages, heures de mesure ou niveaux de contrainte.

### **1 – Mise en œuvre**

L'écart de température entre la surface du couvert et l'air ambiant est un indicateur du fonctionnement stomatique de la feuille. En effet, la température d'une surface végétale est la résultante de son bilan d'énergie. L'énergie absorbée sous forme de rayonnement peut être dissipée sous deux formes principales : un flux de chaleur latente (évapotranspiration) et un flux de chaleur sensible (échange de chaleur avec l'air environnant). Lorsque l'ouverture stomatique est maximale (donc en l'absence de déficit hydrique), l'essentiel de l'énergie absorbée par le couvert est dissipé par transpiration et l'élévation de la température du couvert est alors limitée. En situation de déficit hydrique, la fermeture des stomates réduit le flux transpiratoire. L'énergie solaire absorbée par le couvert est alors principalement dissipée sous forme d'un flux de chaleur sensible ce qui conduit à une élévation de la température du couvert.

De ce fait, un certain nombre d'indicateurs de déficit hydrique basés sur la mesure de la température du couvert ont été proposés dans la littérature. Deux d'entre eux ont été testés au vignoble dans une précédente étude régionale (Guilioni *et al.*, 2001 et 2003). Le premier est le Crop Water Stress Index, CWSI, proposé par Idso et ses collègues au début des années 1980 (Idso *et al.*, 1981; Jackson *et al.*, 1981) et utilisé en pratique pour la gestion de l'irrigation d'autres cultures. Son calcul nécessite, pour chaque espèce étudiée, l'établissement des limites de variation de l'écart de température entre le feuillage et l'air ( $T_f - T_a$ ) en fonction du déficit de pression de vapeur de l'air. Comme cet écart dépend d'autres facteurs climatiques non pris en compte dans le calcul du CWSI (rayonnement, vitesse du vent), l'utilisation de cet indice est problématique dans nos régions où les conditions climatiques sont fluctuantes. Le second est un indice proposé par Jones qui permet de s'affranchir des conditions climatiques lors des mesures de température (Jones, 1999; Leinonen et Jones, 2004).

L'approche retenue dans cette étude est de comparer la température d'un couvert à deux températures limites que prendrait ce couvert dans le même environnement microclimatique si l'état hydrique du sol lui permettait d'être à la transpiration maximale (stomates entièrement ouverts) ou inversement à un niveau de transpiration minimal (stomates fermés). Ces températures limites sont obtenues directement ou bien après une étape de calcul à partir de la mesure de la température de surfaces de référence mimant le couvert.

## **2 - Matériels de méthodes**

Les expérimentations ont été conduites en deux étapes. La première étape a consisté à définir le mode opératoire et à valider la méthodologie en conditions « standard », c'est à dire en ne s'intéressant qu'à un seul cépage pour différents niveaux de contrainte hydrique. Nous appellerons la base de données ainsi constituée « BdD calibration ». La deuxième étape a visé à éprouver la méthodologie pour différents cépages, différentes conditions de sol et différents niveaux de contrainte hydrique. Nous appellerons la base de données ainsi constituée « BdD validation ».

### **2.1 Mesure de la température du couvert végétal**

Le dispositif de mesure de la température du couvert végétal est simple. Il s'agit d'un capteur infrarouge thermique (IRT) (Campbell IRTS-P) relié à une station d'acquisition autonome Campbell CR10X. La mesure de la température du couvert se fait perpendiculairement au rang, sur la face éclairée de la végétation, à mi-hauteur du plan de végétation. En parallèle à

l'enregistrement du profil thermique de la végétation sont enregistrées les températures des surfaces de référence.

Les surfaces de référence sont des feuilles du cépage considéré, prélevées puis positionnées de façon plane parallèlement au plan de végétation. L'utilisation de thermocouples reliés à la station d'acquisition de données permet de connaître la température de ces feuilles. La température « humide » est obtenue par pulvérisation d'eau afin de simuler une transpiration maximale des feuilles. La température « sèche » est obtenue par pulvérisation de vaseline, ce qui annule toute possibilité d'échange gazeux entre la feuille et l'atmosphère, et recrée les conditions d'absence de transpiration analogues à celles réalisées en cas de contrainte hydrique excessive. Deux types de surfaces de référence ont été testés : des feuilles réelles ou bien des références artificielles en papier-buvard.

En complément à l'enregistrement des ces températures de référence permettant le calcul des indices de contrainte hydrique ont été enregistrées les informations suivantes :

- température de l'air
- hygrométrie de l'air
- rayonnement global

## **2.2 Mesure de la conductance stomatique**

La mesure de la conductance stomatique a été réalisée avec un poromètre AP4. 20 mesures ont été réalisées par profil thermique en condition de rayonnement saturant.

## **2.3 Mesure des potentiels hydriques**

Les potentiels hydriques ont été mesurés avec une chambre à pression à raison de 3 à 5 mesures par placette (placettes de 5 à 20 cepés selon les modalités et la continuité du plan de palissage). Les potentiels de tige ont été mesurés au midi solaire après ensachage des feuilles 2h auparavant.

## **2.4 Indices calculés**

Différents indices ont été retenus pour tester la méthodologie, trois d'entre-eux (i2, i3, i4) sont des adaptations de ceux proposés par Jones (2002), les quatre autres représentent d'autres combinaisons possibles des données enregistrées (« iTV » pour indice Thermique du Vignoble).

$$i2 = (IRT - T_{wet}) / (T_{dry} - T_{wet})$$

$$i3 = (IRT - T_{wet}) / (T_{dry} - IRT)$$

$$i4 = (T_{dry} - IRT) / (IRT - T_{wet})$$

$$iTV1 = IRT - T_{wet}$$

$$iTV2 = T_{dry} - IRT$$

$$iTV3 = (T_{dry} - IRT) / (T_{dry} - T_{wet})$$

$$iTV4 = (IRT - T_{air}) / T_{air}$$

## 2.5 Bases de données (BdD)

Chaque placette faisant l'objet de mesure du profil thermique à donné lieu à :

- des mesures de potentiels hydriques :
  - o  $\Psi_{Fb}$  : 1 série de mesures avant le lever du soleil
  - o  $\Psi_F$  : 1 série de mesures pour chaque heure de mesure du profil thermique
  - o  $\Psi_T$  : 1 série de mesures au midi solaire
- des prises de photos numériques de la végétation pour chaque mesure du profil thermique (permet la traçabilité et le calcul *a posteriori* si nécessaire de conditions d'éclairement ou de porosité).
- des mesures du gabarit de végétation

|                               | <b>BdD « calibration »</b> | <b>BdD « validation »</b>  |
|-------------------------------|----------------------------|--|
| <b>Parcelles</b>              | Campus AgroM<br>Aspères    | Aspères<br>Piolenc<br>Rodilhan<br>Caissargues  |
| <b>Cépages</b>                | Syrah                      | Syrah<br>Grenache<br>Sauvignon<br>Carignan<br>Cinsault<br>Viognier<br>Roussane<br>Riesling<br>Chardonnay |
| <b>Orientation des rangs</b>  | 0°N et 340°N               | 0°N, 340°N et 320°N  |
| <b>Modes de conduite</b>      | Espalier                   | Espalier<br>Lyre<br>Lys reconversion non taille  |
| <b>Conductance stomatique</b> | Oui                        | Non  |
| <b>Potentiels hydriques</b>   | Oui                        | Oui  |
| <b>Photos végétation</b>      | Oui                        | Oui  |

### 3. Résultats et discussions.

La conception de l'étude repose sur une approche en deux temps :

- l'exploitation de la BdD calibration permet de définir la pertinence des indices envisagées au regard de leur représentativité avec les indicateurs de contrainte hydrique retenus. Il s'agit dans un premier temps de relier les indices thermiques avec les mesures de conductance stomatique, puis dans un second temps avec les potentiels hydriques.
- une fois validée la première approche, les indices retenus devront être éprouvés dans différentes conditions de conduite : BdD validation.

Les besoins de traitement préalables des données enregistrées, non automatisées pour l'instant, et la nécessité de traiter un grand nombre de données ne nous ont permis de nous intéresser qu'à la seule première étape de ce programme, à savoir la validation des indices thermiques pressentis comme étant les plus sensibles au regard de la conductance stomatique et du  $\Psi_{Fb}$ . Le travail complémentaire sur les autres indices thermiques et leur validation à toutes conditions de vignoble est en cours.

#### 3.1 Relation entre conductance stomatique et température foliaire

La figure 1 présente la relation entre conductance stomatique et les indices  $i_2$  et  $i_4$  obtenus à partir des surface de référence « feuille » ( $i_{2F}$  et  $i_{4F}$ ). La dispersion des points sur la gamme de mesure de la conductance stomatique est plus importante pour l'indice  $i_4$  ( $r^2=0,25$ ) que pour l'indice  $i_2$  ( $r^2=0,61$ ). Il n'y a par contre *a priori* pas d'effet marqué de la date de mesure dans la dispersion. **L'indice  $i_2$  semble être le plus sensible aux variations de conditions de transpiration.**

La figure 2 présente la relation entre l'indice  $i_2$  et la conductance stomatique en fonction de l'heure de la journée. La relation établie sur le nuage de points est meilleure l'après-midi ( $r^2=0,58$ ) que le matin ( $r^2=0,34$ ). Il est cependant nécessaire de nuancer ces propos en précisant que le nuage de points de l'après-midi permet de mieux « étirer » la relation vers la zone de la courbe de régression la plus sensible aux variations de la conductance stomatique. Il n'en demeure pas moins que **la réalisation des profil thermique l'après-midi semble donner de meilleurs résultats au regard de la conductance stomatique et des potentiels hydriques foliaires de base que le matin.**

### **3.2 Relation entre température foliaire et potentiels hydriques**

La tendance précédente est confirmée par la figure 3 qui présente la relation entre l'indice  $i_2$  et les potentiels hydriques foliaires de base pour le matin et l'après-midi. Si **la relation entre le potentiel hydrique foliaire de base et l'indice  $i_2$  est meilleure l'après-midi**, il faut préciser qu'aucun pré-traitement important des profils thermiques n'a été appliqué aux données brutes. Un travail en cours de vérification de la validation des données initiales pourrait permettre d'améliorer sensiblement la qualité de la régression observée. La relation entre indice  $i_2$  et  $\Psi_T$  ne paraît pas pertinente.

### **3.3 Variabilité de la mesure**

La figure 4 présente la distribution de la variabilité de l'indice  $i_2$  en fonction de la conductance stomatique. La dispersion des points ne permet pas de préciser une gamme de contrainte hydrique particulièrement pertinente pour la réalisation des profils thermiques.

### **3.4 Validation de la méthodologie**

La faisabilité de la méthode semble être acquise avec l'indice  $i_2$  en utilisant les feuilles comme surfaces de référence. Il convient cependant de compléter le travail précédent sur la BDD calibration en :

- testant la méthodologie en utilisant les buvards comme surface de référence (permettrait de faciliter la mise en œuvre de l'outil)
- testant les autres indices précédemment décrits
- observant les relations obtenues entre les indices et le  $\Psi_F$

Par ailleurs, il conviendra d'éprouver les résultats pour d'autres conditions de culture ayant fait l'objet de la constitution de la Bdd validation. La figure 5 présente la variabilité des conditions observées sur lesquelles les analyses devront être portées. Un travail préalable a été fait en ce sens mais n'a pas porté satisfaction. L'enseignement issu du traitement de la Bdd calibration nous a permis de constater combien le traitement initial des données brutes était important dans l'élaboration des relations entre profil thermique et indicateur de contrainte hydrique (annulation des données aberrantes...).

### **Conclusion**

L'indice de contrainte hydrique le plus pertinent basé sur la mesure de la température du couvert semble être l'indice  $i_2$ . Il est correctement relié à la conductance stomatique. L'étude de la base de données « calibration » montre qu'il existe cependant un effet de l'heure de mesure sur la qualité de la corrélation entre conductance stomatique et  $i_2$  d'une part et entre

conductance stomatique et potentiels hydriques foliaires de base d'autre part, tendant à préciser l'après-midi plutôt que le matin comme heure de mesure optimale. La relation directe entre profil thermique et potentiel hydrique foliaire de base ne peut être exploitée correctement que sur les mesures des profils thermiques l'après-midi, avec un coefficient de corrélation de 0,72.

Pour transposer ces résultats au vignoble, il est nécessaire d'éprouver cette relation pour différentes conditions de cépages, modes de conduite et niveaux de contrainte hydrique. Il sera de plus indispensable de prendre en compte l'état du feuillage, notamment de sa « perméabilité » due à la porosité dans le traitement du signal. En effet, une partie de l'imprécision du profil thermique ou du « bruit de fond » des nuages de corrélation pourrait simplement s'expliquer par la non prise en compte actuelle du niveau de LAi et de la densité de végétation. Cette approche sera réalisée avec l'exploitation de la base de données « validation » constituée, voire des mesures complémentaires (mesure et validation du coefficient cultural par placette).

### **Références bibliographiques**

**Guilioni L., Lacroute J., Lebon E., Quéral C., Payan J.C. et Riou C. non publié (2003)** Utilisation de la température des feuilles comme indicateur de déficit hydrique chez la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Proposition de communication pour le compte-rendu de synthèse des travaux réalisés dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région Languedoc-Roussillon 2002-2003*, 8p.

**Guilioni L., Lacroute J., Quéral C. et Riou C. (2001).** Utilisation de la température des feuilles comme indicateur de déficit hydrique chez la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Compte-rendu des 12èmes Journées du GESCO*, éd. Agro Montpellier, France : 57-62.

**Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J. et Hatfield J.L. (1981)** Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* **24**,45-55.

**Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J.J., (1981).** Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4), 1133-1138.

**Jones H.G. (1999)** Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology* **95**, 139-149.

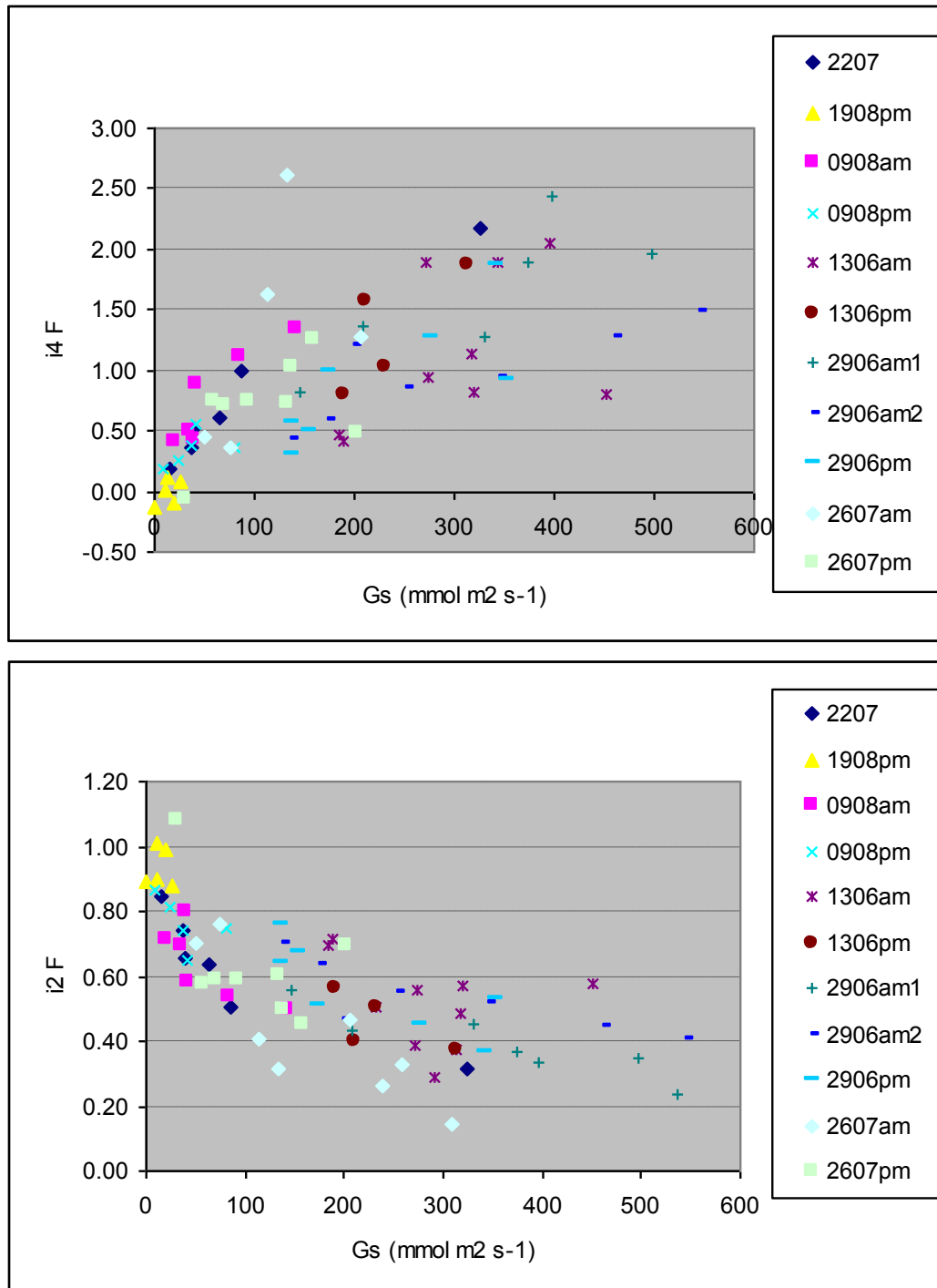
**Jones HG., Stoll M., Santos T., de Sousa C., Chaves M., Grant O.M. (2002)** Use of infra-red thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grape vine. *Journal of Experimental Botany* **53**, 2249-2260.

**Lebon E., Dumas V., Pieri P., Schultz HR. (2003).** Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology* **30**, 699-710.

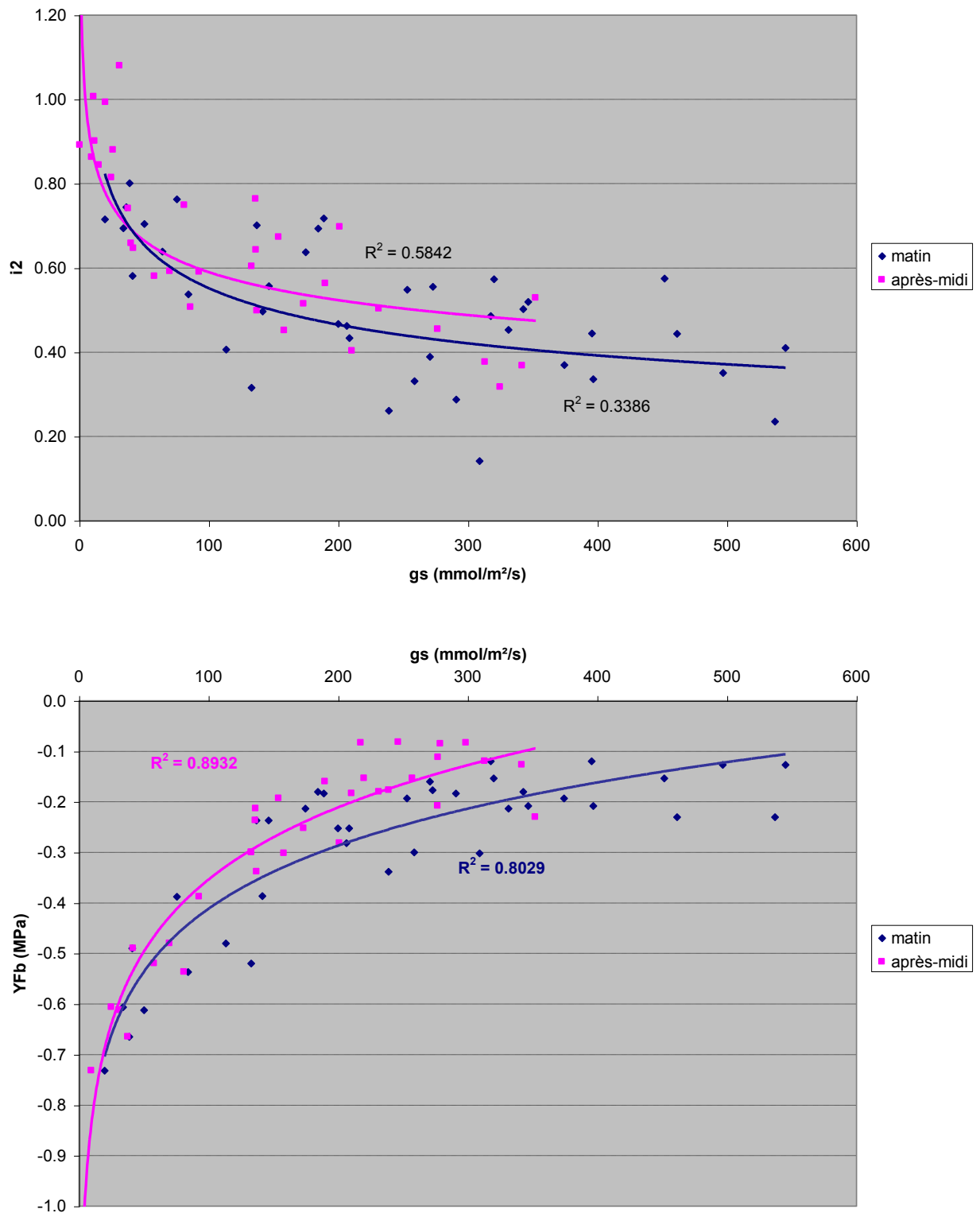


**Leinonen I., Jones HG. (2004).** Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany* **55**, 1423-1431

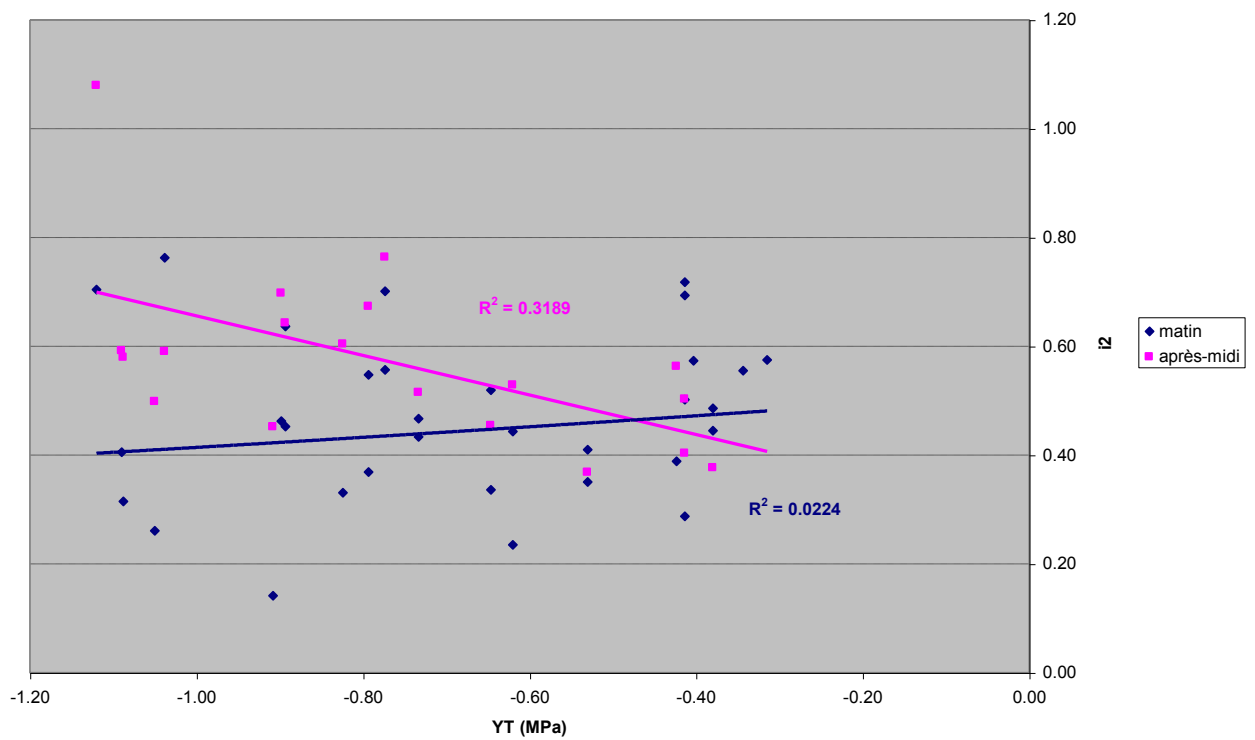
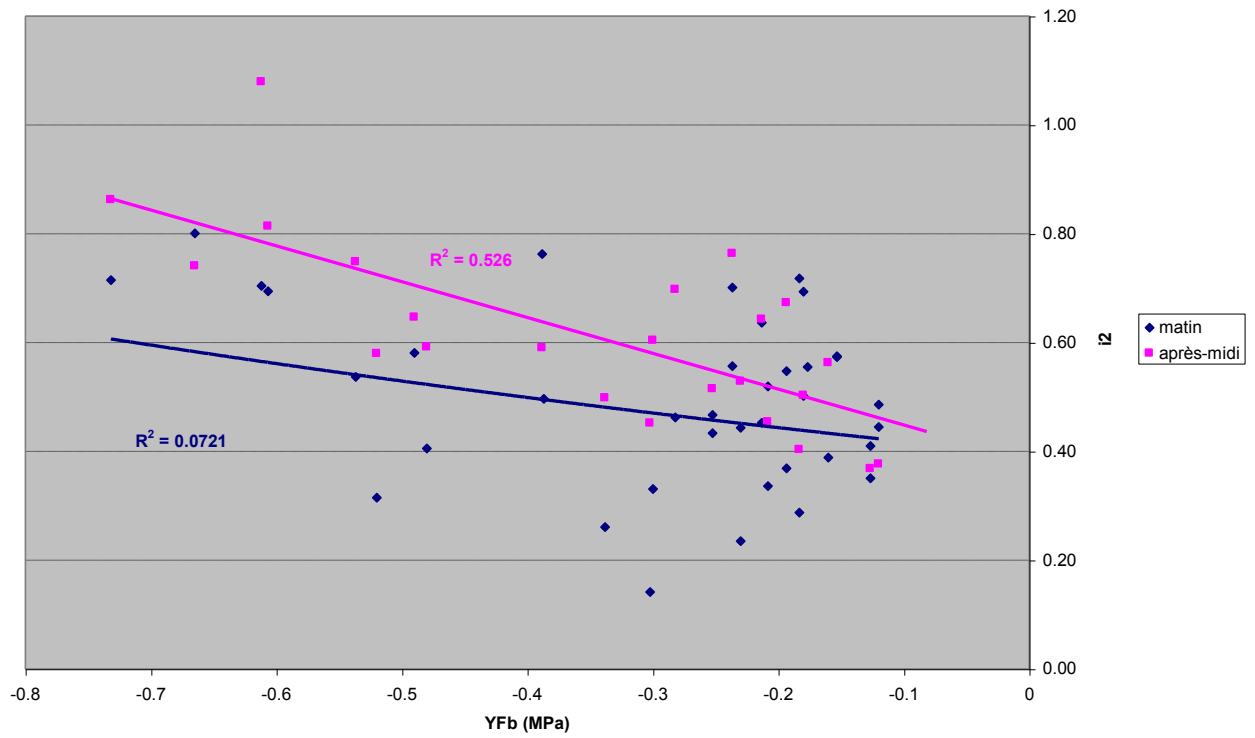
**Pellegrino A., (2003).** Elaboration d'un outil de diagnostic du stress hydrique utilisable sur la vigne en parcelle agricole par couplage d'un modèle de bilan hydrique et d'indicateurs de fonctionnement de la plante. Thèse de doctorat, ENSA Montpellier, 138 p.



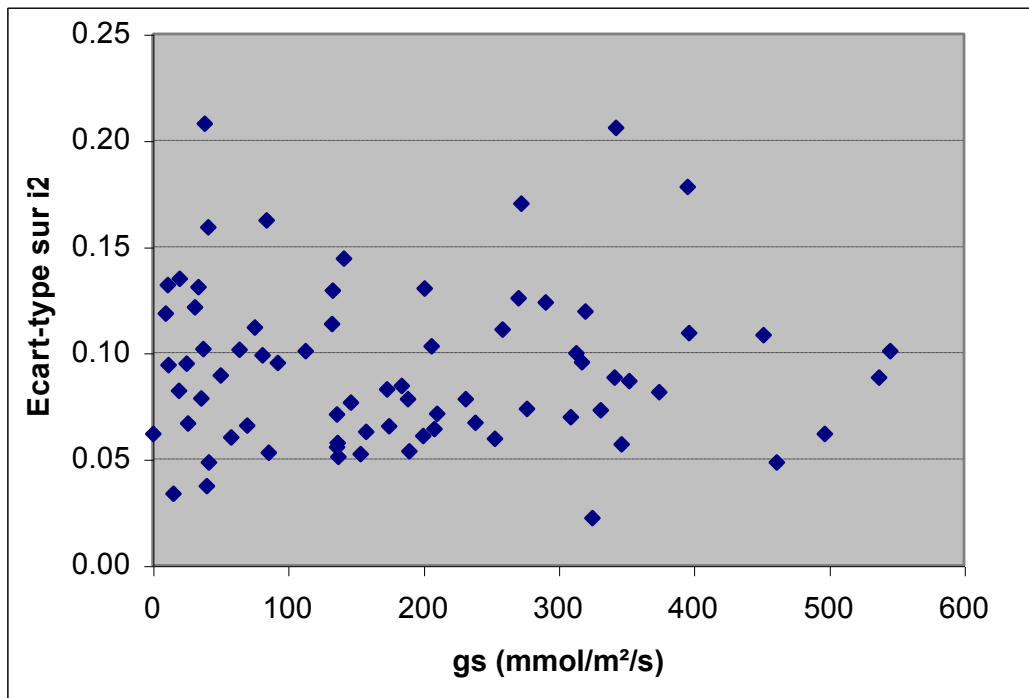
**Figure 1** Relation entre la conductance stomatique et l'indice i2 (en haut) et l'indice i4 (en bas) sur l'ensemble des mesures de la base de données « calibration ».



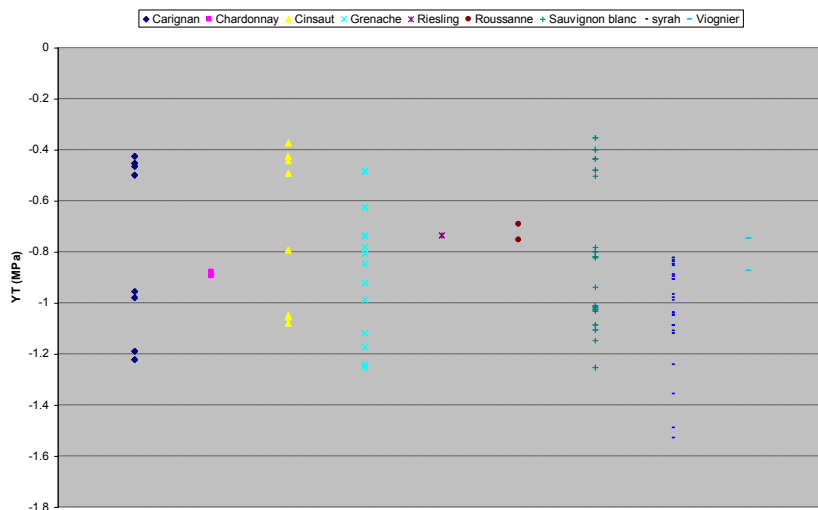
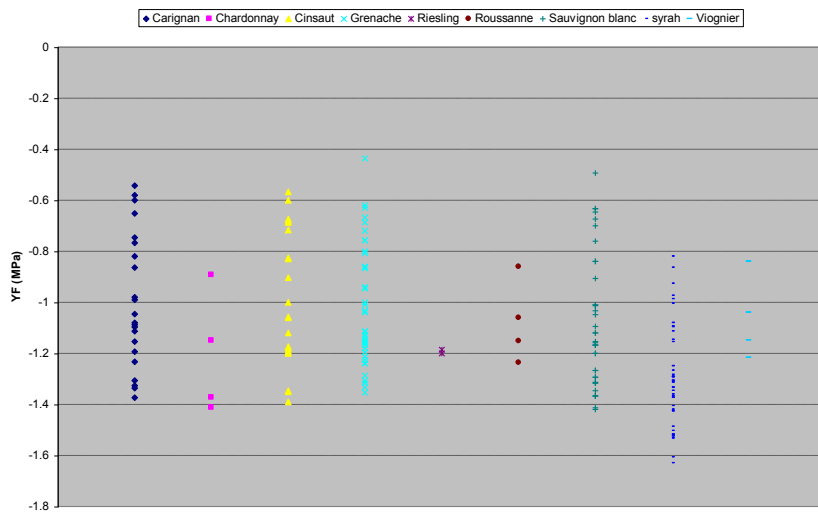
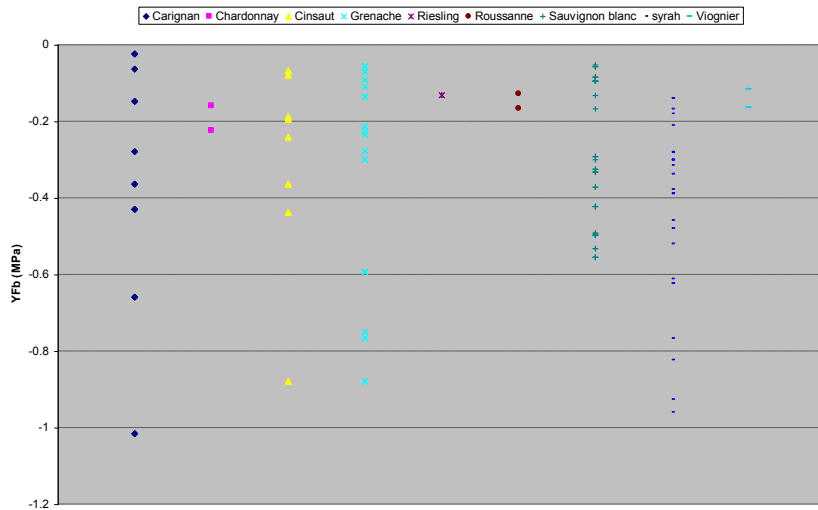
**Figure 2** Relation entre la conductance stomatique et l'indice i2 (en haut) et entre la conductance stomatique et le ΨFb (en bas) le matin et l'après-midi pour la base de données « calibration » .



**Figure 3** Relation entre l'indice  $i_2$  et le potentiel hydrique foliaire de base (en haut) et le potentiel tige (en bas) le matin et l'après-midi pour la base de données « calibration ».



**Figure 4** Variabilité de l'indice  $i_2$  en fonction de la gamme de conductance stomatique observée sur la base de données « calibration ».



**Figure 5** Variabilité des  $\Psi_{Fb}$  (en haut), des  $\Psi_F$  (au milieu) et des  $\Psi_T$  (en bas) mesurés dans la BdD validation pour différents cépages.