



Biologie et pathologie végétales / Plant biology and pathology

Effet du déficit hydrique au niveau de la phase photochimique du PSII chez deux variétés d'olivier

Mohamed Faouzi Kasraoui^{a,*}, Mohamed Braham^b, Mounir Denden^a, Hechmi Mehri^a,
Marc Garcia^c, Thierry Lamaze^d, Faouzi Attia^c

^a Laboratoire d'arboriculture fruitière, École supérieure d'horticulture et d'élevage de Chott-Mariem, 4042 Sousse, Tunisie

^b Institut de l'olivier, station régionale de Sousse, BP 40, Ibn Khaldoun, Tunisie

^c École nationale supérieure agronomique de Toulouse, av. de l'Agrobiopole, 31320 Auzeville-Tolosane, France

^d Centre d'études spatiales de la biosphère de Toulouse (CESBIO), 18, av. Édouard-Belin, BPI 2801, 31401 Toulouse cedex 9, France

Reçu le 11 juin 2004 ; accepté après révision le 15 novembre 2005

Disponible sur Internet le 10 janvier 2006

Présenté par Michel Thellier

Résumé

L'effet du déficit hydrique, au niveau de la phase photochimique du photosystème II (PSII) chez deux variétés d'olivier à huile « *Chetoui* » et « *Chemlali* » a été étudié à travers les paramètres suivants : le potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_{Hb}), le rendement quantique du PSII (Φ_{PSII}), le rendement quantique maximal du PSII ($\Phi_{max PSII}$), le taux de transfert des électrons (J_T) et le *quenching* photochimique (qP). Les résultats obtenus montrent une diminution du potentiel hydrique foliaire et une baisse de l'efficacité quantique du photosystème II. Par ailleurs, le taux de transfert des électrons et le *quenching* photochimique ont montré une augmentation consécutive au déficit hydrique. Ces modifications présentent quelques différences entre les variétés. Ces constatations sont discutées en relation avec les stratégies développées par l'olivier pour végéter dans les milieux arides et son adaptation à la sécheresse. **Pour citer cet article : M.F. Kasraoui et al., C. R. Biologies 329 (2006).**

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Effect of water deficit on the PSII photochemical phases in two olive trees varieties. The effect of the water deficit, on two olive tree varieties '*Chetoui*' and '*Chemlali*' at the level of photosystem II photochemistry (PSII) was studied through the following parameters: leaf water potential (Ψ_{Hb}), quantum yield of PSII (Φ_{PSII}), maximum quantum yield of PSII ($\Phi_{max PSII}$), electron transfer rate (J_T) and photochemical quenching (qP). The results obtained show a reduction in the leaf water potential and a decrease in quantum efficiency of PSII. Besides, electron transfer rate and photochemical quenching showed an increase in response to water deficit. These modifications present some differences according to the variety. These observations are discussed in relation to the strategies developed to grow drought-resistant olive trees in arid areas. **To cite this article: M.F. Kasraoui et al., C. R. Biologies 329 (2006).**

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : mohamed_fatn@yahoo.fr (M.F. Kasraoui).

Mots-clés : Fluorescence chlorophyllienne ; Déficit hydrique ; Potentiel hydrique ; *Olea europaea* L.

Keywords: Chlorophyll fluorescence; Water deficit; Leaf water potential; *Olea europaea* L.

Abridged English version

In response to water deficit in the root area, plants react by lowering leaf water potential permitting water absorption. In general, the majority of studies using chlorophyll fluorescence are based on the Kautsky effect that occurs when the leaves are illuminated following darkness; many changes in fluorescence intensity occur in response to stress. Analysis of chlorophyll fluorescence and of photochemical as well as non-photochemical components under water deficit shows disruptions in photochemical reactions where electron transfer is blocked between Light Harvesting Complex II and PSII.

The experiment was carried out with a completely randomized plan in hydroponic culture under greenhouse controlled conditions with three treatments [control (CM0 & CT0), and two water stress levels -0.25 MPa (CM1 & CT1) and -0.50 MPa (CM2 & CT2)].

The *Chemlali* variety showed changes in leaf water potential (Ψ_{Hb}) between -1.32 MPa before installation of water deficit and -1.60 MPa after 25 days of the first level of water stress (CM1), while for the second level of water deficit (CM2) Ψ_{Hb} varied between -1.34 MPa before and -2.20 MPa after 25 days of treatment. During the experiment, we noted a leaf water potential decrease of 21% for CM1 and 65% for CM2.

For the *Chetoui* variety, Ψ_{Hb} was -1.70 MPa before water deficit, and it decreased by 30.35 and 46.15% during CT1 and CT2, respectively.

The control values of Φ_{PSII} of the *Chemlali* and *Chetoui* varieties were between 0.57 and 0.71 and 0.74 and 0.78, respectively.

With the *Chemlali* variety, we noted a high reduction of Φ_{PSII} . At the first stress level CM1, Φ_{PSII} decreased by 58%. For the CM2 treatment, Φ_{PSII} was reduced by 80%. With the *Chetoui* variety, Φ_{PSII} for the CT1 treatment varied from 0.74 to 0.63, and the second stress level CT2 by 21%. Thus, in both varieties the water stress caused a huge reduction in Φ_{PSII} . Nevertheless, this reduction was bigger for the *Chemlali* variety.

The control values of Φ_{max} PSII in the *Chemlali* variety were between 0.63 and 0.85. On the other hand, for the *Chetoui* variety, Φ_{max} PSII was about 0.84. For both varieties, we note that water deficit generated an in-

crease in Φ_{max} PSII. For the *Chetoui* variety, Φ_{max} PSII showed a low increase of 2.20% and 1.25% during CT1 and CT2, respectively, while for the *Chemlali* variety, the increase was 10.66 and 27.69% in the first and the second stress levels, respectively.

In the control plants, J_T was between 30 and 35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for the *Chemlali* variety and 42 and 49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for the *Chetoui* variety. Under the effect of water deficit, we noticed an increase of J_T . In the first level of water stress, J_T increased by 65 and 55% for the *Chemlali* and the *Chetoui* varieties, respectively. In the second level of water stress, the increase reached 57 and 71% for *Chemlali* and *Chetoui*, respectively.

The qP controls varied from 0.65 to 0.69 and from 0.66 to 0.68, respectively, for the *Chemlali* and *Chetoui* varieties. During the experiment, we noted that water stress provoked an increase in photochemical quenching. In the first level of water stress, qP is increased by 16 and 11% for *Chemlali* and *Chetoui*, respectively, while in the second level of water stress, the increase reached 26 and 16% for *Chemlali* and *Chetoui*, respectively.

1. Introduction

D'une manière pratique, la majorité des études utilisant la fluorescence chlorophyllienne se basent sur l'« effet Kautsky », qui survient lorsque des feuilles actives vis-à-vis de la photosynthèse sont placées à l'obscurité, puis illuminées. Des changements dans l'intensité de la fluorescence interviennent dans le temps.

L'analyse de la fluorescence chlorophyllienne et ces composantes photochimiques et non photochimiques (rendement quantique photochimique du PSII : Φ_{PSII} , efficacité photochimique maximale du PSII : Φ_{max} PSII, taux du transport des électrons du PSII : J_T , quenching photochimique : qP et quenching non photochimique : qNP), sous contrainte hydrique, montre une perturbation au niveau des réactions photochimiques de la photosynthèse, avec un blocage du transfert d'électrons entre LHC II et PSII [1]. Angelopoulos et al. [2] ont démontré que la fluorescence chlorophyllienne chez l'olivier augmente à midi, spécialement pour les plantes sous contrainte hydrique.

La diminution du taux d'assimilation du CO_2 dans les feuilles est associée à une inhibition de la photo-

synthèse, ce qui provoque une augmentation de la dissipation de l'énergie d'excitation du PSII, entraînant des photo-endommagements des centres réactionnels du PSII [3–7]. Un manque d'eau sévère provoque une légère baisse du qP et une diminution inférieure à 20% du Φ PSII [8].

Pour estimer l'efficacité photochimique maximale du PSII, Jagtap et al. [9] ont montré que le déficit hydrique engendre une diminution importante du Φ_{\max} PSII chez cinq variétés de *Sorghum bicolor* L. Moench. En revanche, Lu et Zhang [10] n'ont observé aucun changement au niveau du Φ_{\max} PSII mesuré après une adaptation des feuilles de blé à l'obscurité sous des déficits hydriques modérés et sévères. Par ailleurs, après une adaptation à la lumière, la privation hydrique a engendré une diminution du J_T et de l'efficacité de capture des excitations photoniques au niveau des centres réactionnels ouverts du PSII, et une augmentation au niveau du Φ_{\max} PSII, du qP et du qNP.

Chez les plantes C_3 , quand les stomates sont fermés sous l'effet d'une contrainte hydrique et l'assimilation du CO_2 réduite, la réduction photosynthétique de l'oxygène par la photorespiration augmente et sert comme consommateur de l'excès d'excitation énergétique de l'appareil photosynthétique [11]. En revanche, la réduction photosynthétique du dioxygène s'est avérée insuffisante pour la dissipation de l'excès de l'excitation lumineuse interceptée par les antennes collectrices du PSII. Sous un stress hydrique sévère, le transport des électrons du dioxygène et la diminution du *quenching* photochimique sont incapables de dissiper l'excès de l'énergie d'excitation, causant ainsi des photo-détériorations au niveau du PSII [12].

En étudiant le comportement de trois espèces différentes (*Olea europaea* L., *Rosmarinus officinalis* L. et *Lavandula stoechas* L.), Nogués et Baker [12] ont noté qu'au cours d'un stress hydrique les Φ_{\max} PSII, J_T et qP des différentes espèces ont marqué d'importantes diminutions. De même, un stress hydrique appliqué sur des plantes CAM (*Clusia minor* L.) provoque une diminution de 34% du Φ PSII et une augmentation de 42% du qNP [13].

Dans ce contexte, le présent travail se focalise sur l'étude du comportement du photosystème II chez deux variétés d'olivier à huile *Chetoui* et *Chemlali* soumises à une contrainte hydrique. En effet, la connaissance parfaite de l'attitude physiologique de la plante sous des conditions hydriques déficitaires est primordiale pour tester son adaptabilité, gérer sa culture et entreprendre son amélioration génétique.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel végétal et milieu de culture

L'expérimentation a été menée sous serre vitrée installée au complexe de l'Institut national polytechnique de Toulouse, à l'École nationale supérieure agronomique (France). La serre est équipée d'un système électronique informatisé contrôlant les conditions microclimatiques. La température est réglée à 25 °C, l'humidité relative de l'air est de l'ordre de 50%, l'éclairement dans la serre est fixé à un PAR = 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La photopériode est programmée à 14/10 h.

L'essai a été réalisé en culture hydroponique sur deux variétés d'olivier à huile (*Olea europaea* L. var. *Chetoui* et *Chemlali*). Les plants d'oliviers sont issus de boutures herbacées et âgées de 18 mois. Les boutures ont été enracinées sous nébulisation (à la station de Bejaoua, Tunisie). Placées sous serre, elles continuaient à croître sans problèmes particuliers moyennant des soins courants ; toutefois, trois semaines avant l'expérimentation, le substratum initial est éliminé et les plantes sont placées en culture hydroponique. Après habillage des racines, les oliviers sont placés dans des pots en plastique d'une contenance de 5 l. Chacune des deux variétés a reçu une solution nutritive standardisée et équilibrée dont la composition était la suivante : en macro-éléments (en méquiv l^{-1}) (NO_3^- : 23,96 ; SO_4^{2-} : 11,09 ; $H_2PO_4^-$: 4,93 ; K^+ : 18,62 ; Ca^{2+} : 10,27 et Mg^{2+} : 11,09) et en micro-éléments (en $mg l^{-1}$) : (Fe : 5,7 ; Mn : 0,5 ; Zn : 0,06 ; Cu : 0,03 ; B : 0,54 et Mo : 0,186). Pour une bonne aération de la solution nutritive, chaque pot était muni de deux tubes de bullage, permettant une aération à une fréquence de 7/13 min.

On a appliqué le dispositif expérimental aléatoire complètement randomisé avec quatre répétitions. Au cours de cette expérimentation, on a entrepris trois traitements : le témoin, le niveau 1 de stress à $-0,25$ MPa et le niveau 2 de stress à $-0,50$ MPa. L'induction du déficit hydrique est réalisée par adjonction d'une quantité de polyéthylène glycol (PEG 10000) à la solution nutritive. Cette quantité est calculée à partir de la courbe tracée par Bogaert [14].

2.2. Méthodologie de travail

2.2.1. Potentiel hydrique foliaire de base

L'indicateur actuellement employé pour le diagnostic du stress hydrique est le potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_{Hb}). Cette mesure représente la force avec laquelle l'eau est retenue dans la plante. Le potentiel

hydrique foliaire de base est mesuré tous les cinq jours avant le lever du soleil selon la méthode de Scholander [15]. Les mesures sont effectuées avec quatre répétitions pour chaque traitement.

2.2.2. Fluorescence chlorophyllienne

Lorsqu'une feuille est mise à l'obscurité, le système photosynthétique se met au repos après quelques minutes. Si cette feuille est exposée à un flash lumineux, le système photosynthétique répond par un signal de fluorescence comportant deux phases : une phase d'augmentation très rapide de l'intensité de fluorescence d'une valeur initiale F_0 à une valeur maximale F_m . Une deuxième phase lente et descendante de l'intensité vers un état stationnaire F_s .

Dans les conditions ambiantes et en présence de la lumière, les centres réactionnels des photosystèmes sont fermés. Pour déterminer les niveaux d'excitation de ces photosystèmes, on mesure la fluorescence chlorophyllienne sous une lumière actinique. Cette étape nous permet d'obtenir les niveaux d'excitation minimale et maximale, dont les valeurs correspondant sont F_s (fluorescence stationnaire) et F'_m (fluorescence maximale en présence de la lumière).

Dans le but de déterminer le *quenching* photochimique, la détermination du niveau d'excitation du système photosynthétique après une minute d'obscurité est nécessaire. Pour cela, on place le clip sur la surface de la feuille, pour permettre à celle-ci de s'adapter à l'obscurité. Après une minute, on excite la feuille par des photons et on mesure la fluorescence. La valeur de cette fluorescence est notée F'_0 . Après avoir mesuré tous les niveaux d'excitation (F_0 , F_m , F_s , F'_m et F'_0), nous avons déterminé les paramètres suivants :

- rendement photosynthétique du PSII : $\Phi_{PSII} = (F'_m - F_s) / F'_m$
- rendement photosynthétique maximal du PSII : $\Phi_{max\ PSII} = (F_m - F_0) / F_m$
- taux de transfert des électrons : $J_T = \Phi_{PSII} \times PAR \times 0,5 \times 0,84$
- *quenching* photochimique : $qP = (F'_m - F_s) / (F'_m - F_0)$

Les mesures de la fluorescence chlorophyllienne ont été réalisées à une fréquence de 7 j. Pour chaque traitement, nous avons effectué quatre répétitions. Tout le long de l'essai, les mesures de la fluorescence ont été faites sur les mêmes feuilles, moyennant un fluorimètre du type *Hansatech FMS2*.

2.3. Analyses statistiques

Les données ont été traitées par le logiciel Sigma Statistical Software (Stat32.exe) Version 2.0, par l'analyse de la variance et l'analyse de la comparaison des moyennes par la méthode SNK (Student–Newman–Keuls).

3. Résultats et discussion

3.1. Évolution du potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_{Hb})

La variété *Chemlali* a enregistré des potentiels hydriques foliaires variant entre $-1,32$ MPa avant l'installation du déficit hydrique et $-1,60$ MPa après 25 j au premier niveau du stress hydrique CM1 (Fig. 1), alors que, pour le déficit du second degré CM2, le Ψ_{Hb} a varié entre $-1,34$ MPa avant le déficit hydrique et $-2,20$ MPa après 25 j de traitement. Au cours de l'essai, nous avons remarqué une baisse du Ψ_{Hb} de 21% pour le stress du premier niveau CM1 et de 65% pour le stress du deuxième niveau CM2. Les différences observées entre les traitements sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$.

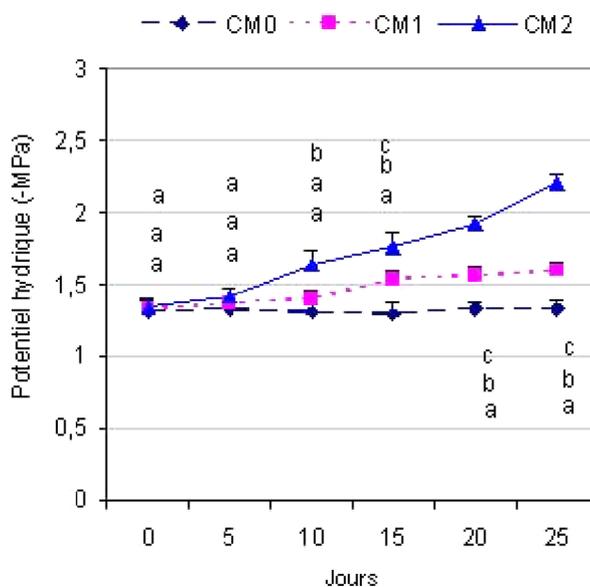


Fig. 1. Évolution du potentiel hydrique chez la variété *Chemlali*. PEG0 : avant traitement par le polyéthylène glycol ; PEG5 : 5 j après le traitement ; PEG10 : 10 j après le traitement ; PEG15 : 15 j après le traitement ; PEG20 : 20 j après le traitement ; PEG25 : 25 j après le traitement. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes ($\alpha = 5\%$).

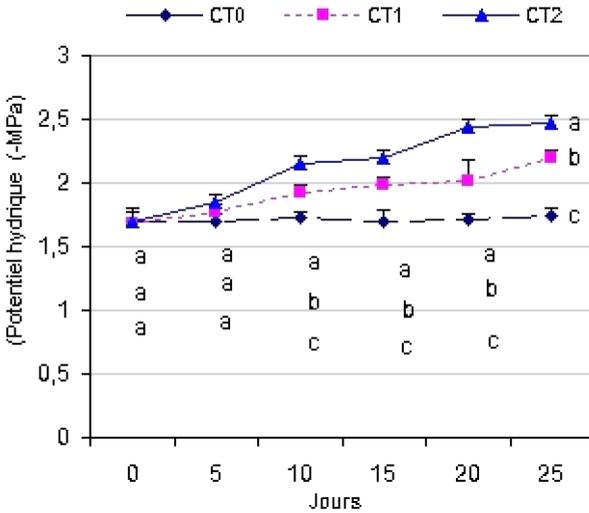


Fig. 2. Évolution du potentiel hydrique chez la variété *Chetoui*. Légende : voir Fig. 1.

Pour la variété *Chetoui*, le Ψ_{Hb} avant l'installation de la contrainte hydrique était de l'ordre de $-1,70$ MPa. Après, il a marqué une diminution significative ($\alpha = 0,05$). Concernant le stress du premier niveau CT1, le Ψ_{Hb} était avant et après 25 j de stress respectivement de $-1,68$ MPa et $-2,19$ MPa. Pour CT2, le Ψ_{Hb} était de $-1,69$ MPa avant la phase de déficit hydrique et a atteint une valeur de $-2,47$ MPa après 25 j de stress. À partir du dixième jour de déficit hydrique, les différences entre les traitements sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$ (Fig. 2).

Pour répondre à un manque d'eau dans la zone racinaire, les plantes réagissent par un abaissement du potentiel hydrique des feuilles permettant l'absorption de l'eau ; c'est le phénomène d'ajustement osmotique. Le mécanisme diffère selon les espèces et les variétés au cours des périodes de stress hydrique ou salin [16,17]. Braham [18] rapporte que l'olivier abaisse son potentiel hydrique afin de surmonter une période de stress hydrique. Chartzoulakis et al. [19] ont trouvé chez des oliviers stressés une diminution du potentiel hydrique jusqu'à -5 MPa.

3.2. Évolution du rendement quantique du PSII (Φ_{PSII})

Le Φ_{PSII} du témoin de la variété *Chemlali* est compris dans l'intervalle [0,57–0,71] (Fig. 3), alors que celui de la variété *Chetoui* est compris dans l'intervalle [0,74–0,78] (Fig. 4).

Chez la variété *Chemlali*, nous avons constaté une importante réduction du Φ_{PSII} . Au niveau du stress du premier degré CM1, le Φ_{PSII} a chuté de 58%. Avant

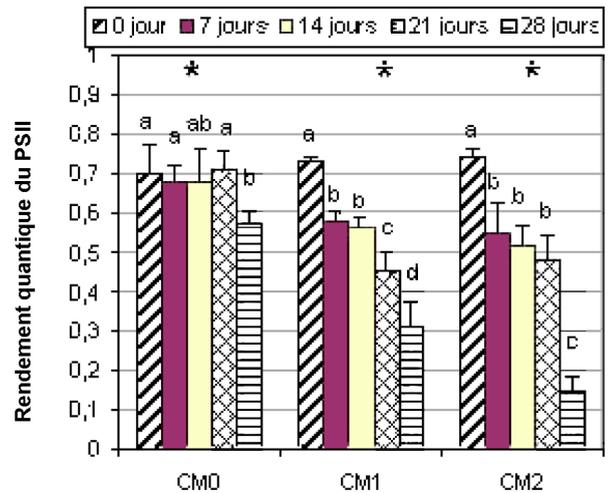


Fig. 3. Évolution du Φ_{PSII} chez la variété *Chemlali*. PEG0 : avant traitement par le polyéthylène glycol ; PEG7 : 7 j après le traitement ; PEG14 : 14 j après le traitement ; PEG21 : 21 j après le traitement ; PEG28 : 28 j après le traitement. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes ($\alpha = 5\%$). * : Différences significatives ($\alpha = 5\%$), NS : différences non significatives ($\alpha = 5\%$).

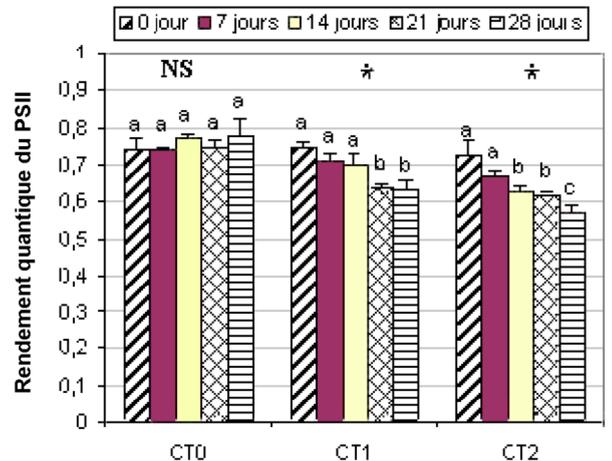


Fig. 4. Évolution du Φ_{PSII} chez la variété *Chetoui*. Légende : voir Fig. 3.

l'installation de la contrainte hydrique, le Φ_{PSII} était de l'ordre de 0,73 et il a chuté après 28 jours à 0,31. Pour le traitement CM2, le Φ_{PSII} a été réduit de 80%. Le rendement était de 0,74 avant le stress et a atteint après 28 j de contrainte une valeur de 0,15. Cette variation de Φ_{PSII} est significative au seuil $\alpha = 0,05$ (Fig. 3).

Chez la variété *Chetoui*, le Φ_{PSII} pour le traitement CT1 a varié de 0,74 avant le stress à 0,63 à la fin de l'essai. Pour CT2, le Φ_{PSII} a diminué de 21%. La diminution du Φ_{PSII} au cours du deuxième traitement est significative au seuil $\alpha = 0,05$ (Fig. 4).

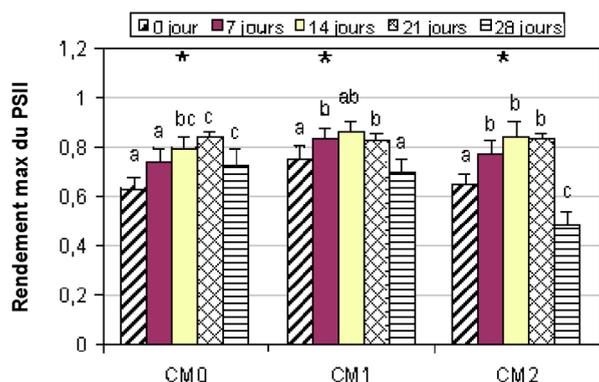


Fig. 5. Évolution du Φ_{\max} PSII chez la variété *Chemlali*. Légende : voir Fig. 3.

Pour les deux variétés, le stress hydrique a causé une diminution importante au niveau du rendement quantique du PSII. Toute fois, cette réduction est plus importante chez la *Chemlali*. Ce même phénomène a été observé dans les travaux menés chez la vigne par Iacono et Sommer [20].

3.3. Évolution du rendement quantique maximal du PSII (Φ_{\max} PSII)

Au niveau des témoins de la variété *Chemlali*, les Φ_{\max} PSII sont compris dans l'intervalle [0,63–0,85] (Fig. 5). En revanche, pour la variété *Chetoui*, le Φ_{\max} PSII est d'environ 0,84 (Fig. 6). Pour les deux variétés, nous constatons que le déficit hydrique a engendré une augmentation significative ($\alpha = 5\%$) du Φ_{\max} PSII. Chez les plantes de la variété *Chemlali* conduits sous stress hydrique, Φ_{\max} PSII a augmenté de 10,66% et de 27,69% pour respectivement CM1 et CM2, alors que, pour la variété *Chetoui*, le Φ_{\max} PSII a enregistré une faible augmentation de 2,20% et de 1,25% pour respectivement CT1 et CT2. Après 28 j de stress, nous avons constaté une diminution du Φ_{\max} PSII de 8% et 26% pour respectivement CM1 et CM2 (Fig. 5).

3.4. Évolution du taux de transfert des électrons (J_T)

Au niveau des témoins, le J_T se situe dans l'intervalle 30–35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour la variété *Chemlali* et dans l'intervalle 42–49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Sous l'effet du stress hydrique, nous avons remarqué une augmentation de J_T suite à la contrainte hydrique. Au niveau du stress CM1, le J_T a passé de 30,40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ avant l'installation de la contrainte hydrique à 50,09 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ après 28 j. Et concernant le stress CM2, le J_T a augmenté significativement ($\alpha = 0,05$) de 57%. Au début

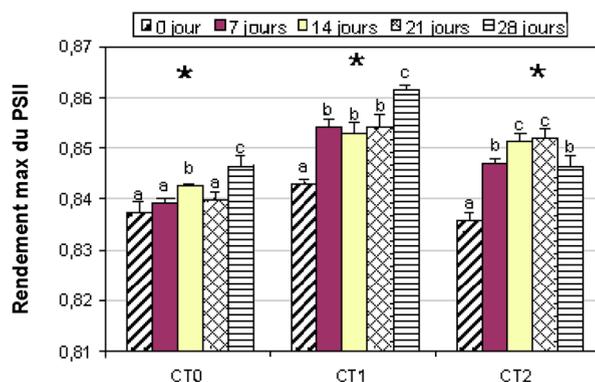


Fig. 6. Évolution du Φ_{\max} PSII chez la variété *Chetoui*. Légende : voir Fig. 3.

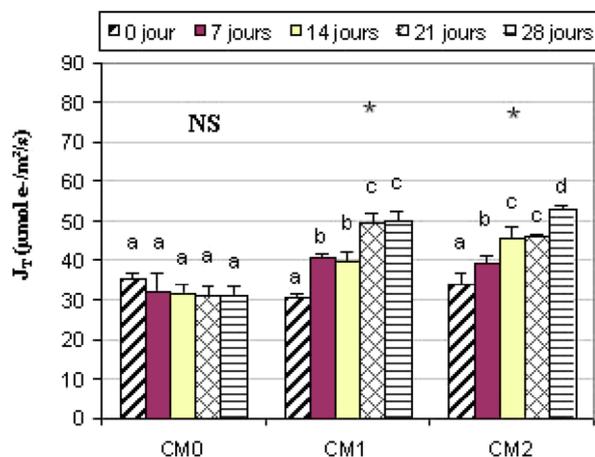


Fig. 7. Évolution du J_T chez la variété *Chemlali*. Légende : voir Fig. 3.

de l'essai, le J_T était de l'ordre de 33,86 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et a atteint une valeur de 53,12 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ après 28 j de la contrainte hydrique (Fig. 7).

Pour la variété *Chetoui*, le J_T a évolué de la même façon que celui chez la variété *Chemlali*. Pour le traitement CT1, le J_T a passé de 35,90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ avant l'installation de la contrainte hydrique à 55,49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ après 28 j de stress. Au cours du CT2, le J_T a augmenté de 71%. Les valeurs enregistrées sont 40,08 et 68,82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivement avant l'installation de la contrainte hydrique et 28 j après. L'évolution de J_T est significative au seuil $\alpha = 0,05$ (Fig. 8).

3.5. Évolution du quenching photochimique du PSII (qP)

Au niveau du témoin le qP a varié de 0,65 à 0,69 et de 0,66 à 0,68 respectivement pour les variétés *Chemlali* et *Chetoui*. Au niveau des deux niveaux de stress

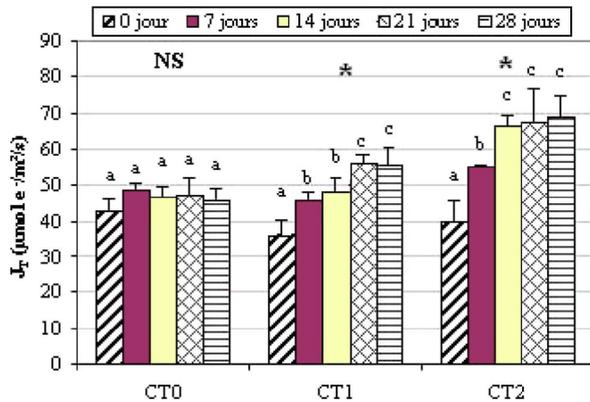


Fig. 8. Évolution du J_T chez la variété *Chetoui*. Légende : voir Fig. 3.

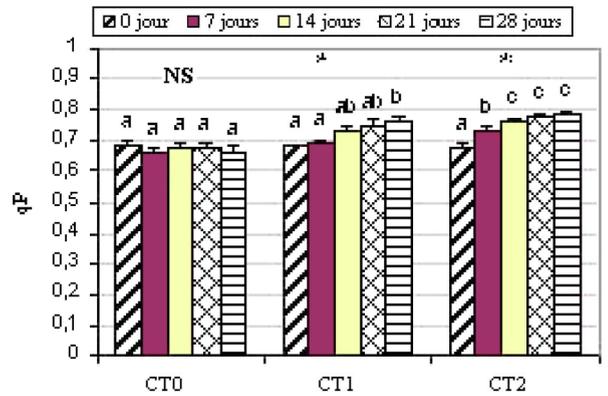


Fig. 10. Évolution de qP chez la variété *Chetoui*. Légende : voir Fig. 3.

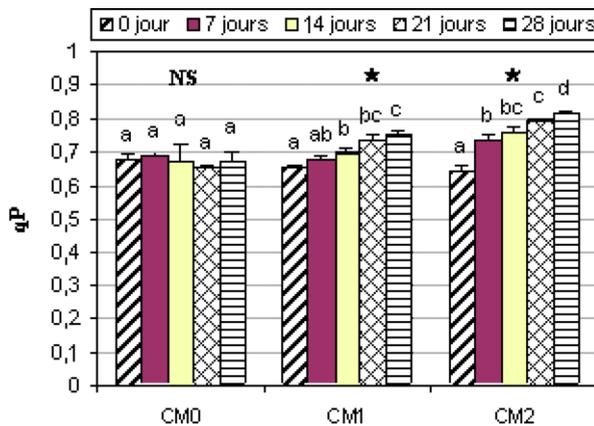


Fig. 9. Évolution de qP chez la variété *Chemlali*. Légende : voir Fig. 3.

(−0,25 MPa et −0,50 MPa), nous remarquons que la contrainte hydrique a provoqué une augmentation du *quenching* photochimique.

Chez la variété *Chemlali*, au niveau de CM1, le qP est compris entre 0,65 avant le stress et 0,75 après 28 j de contrainte hydrique. Au cours de ce traitement le qP a augmenté de 16%. Durant le second degré CM2, le qP a enregistré une augmentation de 26%. Avant l'installation de la contrainte, le qP était de 0,64. Après 28 j de stress, le qP a atteint 0,81. Les différences observées sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$ (Fig. 9).

Chez la variété *Chetoui*, au cours du premier niveau de stress CM1, le qP a augmenté de 11%. Alors qu'au cours du deuxième niveau, le qP a augmenté de 16%. Avant l'installation du stress, le qP était 0,68 et a atteint 0,76 et 0,78 pour respectivement le traitement CT1 et CT2. Les différences observées sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$ (Fig. 10).

4. Conclusion

Pour répondre à un manque d'eau dans la zone racinaire, les plantes réagissent par un abaissement du potentiel hydrique foliaire, permettant l'ajustement osmotique. Le mécanisme diffère selon les espèces et les variétés au cours de la contrainte hydrique [16,17]. En étudiant le statut hydrique de la plante, nous avons pu observer une différence du potentiel hydrique foliaire de base en fonction de la variété, de l'ordre de −1,30 MPa pour la variété *Chemlali* et −1,70 MPa pour la variété *Chetoui*. Pour les deux variétés, le stress hydrique a également causé une réduction de l'efficacité quantique du PSII. De plus, nous constatons une augmentation du taux de transfert des électrons (J_T). Ce phénomène s'est accompagné par une augmentation du *quenching* photochimique de 26% pour la variété *Chemlali* et de 16% pour la variété *Chetoui*.

Références

- [1] M. Braham, R. Lemeur, Comparaison de la capacité photosynthétique et de la fluorescence chlorophyllienne chez l'olivier *Olea europaea* L. soumis à un déficit hydrique, Revue de l'Institut des régions arides, 1994.
- [2] K. Angelopoulos, B. Dichio, C. Xiloyannis, Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering, J. Exp. Bot. 47 (301) (1996) 1093–1100.
- [3] A. Ortiz-Lopez, G.-Y. Nie, D.R. Ort, N.R. Baker, The involvement of the photoinhibition of photosystem II and impaired membrane energization in the reduced quantum yield of carbon assimilation in chilled maize, Planta 181 (1990) 78–84.
- [4] J.R. Andrews, M.J. Fryer, N.R. Baker, Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence, J. Exp. Bot. 46 (1995) 1195–1203.
- [5] M.J. Fryer, K. Oxborough, B. Martin, D.R. Ort, N.R. Baker, Factors associated with depression of photosynthetic quantum efficiency in maize at low growth temperature, Plant Physiol. 108 (1995) 761–767.

- [6] P. Haldimann, Y. Fracheboud, P. Stamp, Photosynthetic performance and resistance to photoinhibition of *Zea mays* L. leaves grown at sub-optimal temperature, *Plant Cell Environ.* 19 (1996) 85–92.
- [7] M.J. Fryer, J.R. Andrews, K. Oxborough, D.A. Blowers, N.R. Baker, Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport, and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature, *Plant Physiol.* 116 (1998) 571–580.
- [8] D. Panković, Z. Sadač, S. Kevrešan, M. Plesničar, Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism, *J. Exp. Bot.* 50 (330) (1999) 127–138.
- [9] V. Jagtap, S. Bhargava, P. Streb, J. Feierabend, Comparative effect of water, heat and light stresses on photosynthetic reactions in *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *J. Exp. Bot.* 49 (327) (1998) 1715–1721.
- [10] C. Lu, J. Zhang, Effect of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants, *J. Exp. Bot.* 50 (336) (1999) 1199–1206.
- [11] G. Cornic, J.-M. Briantais, Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C3 leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress, *Planta* 183 (1991) 178–184.
- [12] S. Nogués, N.R. Baker, Effect of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation, *J. Exp. Bot.* 51 (348) (2000) 1309–1317.
- [13] E.A. De Mattos, B. Herzog, U. Lüttge, Chlorophyll fluorescence during CAM-phases in *Clusia minor* L. under drought stress, *J. Exp. Bot.* 50 (331) (1999) 253–261.
- [14] G. Bogaert, Effects of ontogenesis and drought-stress on cytological, morphological, anatomical and ecophysiological CO₂ assimilation determining leaf characteristics of C₃ and C₄ plants, thèse, université de Gand, Belgique, 1990, 359 p.
- [15] P.F. Scholander, H.J. Hammel, A. Bradstreet, E.A. Hemmingsen, Sap pressure in vascular plants, *Science* 148 (1965) 339–346.
- [16] X.H. Huang, H.B. Huang, F.F. Gao, The growth potential generated in citrus fruit under waters stress and its relevant mechanisms, *Sci. Hortic.* 83 (2000) 227–240.
- [17] C.R. Jonsen, S.E. Jacobsen, M.N. Andersen, N. Nunez, S.D. Andersen, L. Rasmussen, V.O. Mogenson, Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying, *Eur. J. Agron.* 13 (2000) 11–25.
- [18] M. Braham, Activité écophysiological, état nutritif et croissance de l'olivier (*Olea europaea* L.) soumis à une contrainte hydrique, thèse d'État, faculté des sciences agronomiques de Gand, Belgique, 1997, 160 p.
- [19] K. Chartzoulakis, A. Patakas, A.M. Bosabalidis, Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars, *Environ. Exp. Bot.* 42 (1999) 113–120.
- [20] F. Iacono, K.J. Sommer, Response of electron transport rate of water stress-affected grapevines: influence of leaf age, *Vitis* 39 (4) (2000) 137–144.