

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	p 1
I La synthèse bibliographique	p 3
1.1 Les généralités	
<u>1.1.1 Les origines du manguier et sa répartition dans le monde</u>	
<u>1.1.2 La production au niveau mondial</u>	
<u>1.1.3 Les projections jusqu' à 2005 de la demande en fruits tropicaux</u>	
<u>1.1.4 La mangue à la Réunion</u>	
1.1.4.1 Le marché des fruits tropicaux à la Réunion	
1.1.4.2 Un marché local de la mangue	p 4
1.1.4.3 L'import-export	
1.1.4.4 Les critères de qualité	
1.2 La biologie et la physiologie du manguier	p 5
<u>1.2.1 La classification du manguier</u>	
<u>1.2.2 Les réserves carbonées du manguier</u>	
1.2.2.1 Le carbone dans l'arbre	
1.2.2.2 Les principales formes présentes dans la plante	
1.2.2.3 Le rôle et la localisation des réserves carbonées	p 6
1.3 Les éléments de production du manguier et le <i>girdling</i>	
<u>1.3.1 Les éléments de production du Manguier</u>	
1.3.1.1 L'induction florale artificielle de la mangue	
1.3.1.2 L'élaboration du rendement	
1.3.1.3 La récolte	p 7
1.3.1.4 Les coûts de production	
<u>1.3.2 Le <i>girdling</i></u>	
1.3.2.1 Les effets sur la production	
1.3.2.2 Les effets sur les paramètres physiologiques	p 8
1.4 La fluorescence et le modèle biochimique de la photosynthèse	p 9
<u>1.4.1 La fluorescence</u>	
1.4.1.1 Le mécanisme physiologique de la fluorescence	
1.4.1.2. L'intérêt et la cinétique de la fluorescence	
1.4.1.2.1 La phase rapide	
1.4.1.2.2 La phase lente	p 10
1.4.1.2.3 Les paramètres photochimiques calculés	
<u>1.4.2 Le modèle biochimique de la photosynthèse</u>	p 11
II Le matériel et méthodes	p 14
2.1 Le contexte climatique de la Réunion	
2.2 Le dispositif expérimental et conduite culturale	
<u>2.2.1 La localisation de la parcelle d'étude et dispositif de plantation</u>	
<u>2.2.2 L'organisation de la parcelle et répartition des divers traitements</u>	p 15
<u>2.2.3 La conduite de la parcelle</u>	
2.2.3.1 L'entretien de la parcelle	
2.2.3.2 La protection phytosanitaire	
2.2.3.3 L'irrigation	
2.3 Le matériel végétal et protocole d'échantillonnage	

<u>2.3.1 Le matériel végétal</u>	
<u>2.3.2 Le protocole d'échantillonnage</u>	p 16
2.4 Le matériel expérimental	
<u>2.4.1 La Li-cor 6400-40</u>	
<u>2.4.2 Le planimètre</u>	
<u>2.4.3 Le SPAD</u>	
2.5 Les méthodes de mesure des différents paramètres	p 17
<u>2.5.1 Les mesures d'échanges gazeux</u>	
2.5.1.1 La respiration	
2.5.1.2 La photosynthèse nette et la conductance stomatique	
<u>2.5.2 Les mesures de fluorescence de la chlorophylle</u>	
2.5.2.1 Les F_v/F_m	
2.5.2.2 L'efficacité quantique maximale et le flux d'électrons maximal en lumière saturante	p 18
2.5.2.3 Les mesures de Q_p et de NPQ	p 19
<u>2.5.3 Les mesures d'absorbance</u>	
<u>2.5.4 Les mesures de variation de diamètre de tiges</u>	
<u>2.5.5 Les mesures de gap fractions</u>	
<u>2.5.6 Les prélèvements des feuilles</u>	p 20
<u>2.5.7 Les traitements statistiques des résultats et la présentation des graphiques</u>	
III Les résultats et la discussion	p 21
3.1 Les résultats	
<u>3.1.1 La photosynthèse nette (A_{net}) et brute (A_{brut})</u>	
<u>3.1.2 La respiration de nuit (R_n)</u>	
<u>3.1.3 L'efficacité photochimique des photosystèmes II (Φ_{PSII}) et flux d'électrons maximal en lumière saturante (J_{max})</u>	
<u>3.1.4 L'efficacité quantique maximale (α) et de l'efficacité photochimique potentielle des photosystèmes II (F_v/F_m)</u>	p 22
<u>3.1.5 La teneur en chlorophylles et l'absorbance (θ)</u>	
<u>3.1.6 Le quenching photochimique (Q_p) et le quenching non-photochimique (NPQ)</u>	
3.1.6.1 Les valeurs de Q_p	
3.1.6.2 Les valeurs NPQ	
<u>3.1.7 La conductance stomatique (g_s)</u>	p 23
<u>3.1.8 La pression partielle en CO_2 dans les espaces intercellulaires (C_i)</u>	
<u>3.1.9 La matière spécifique (M_a)</u>	
<u>3.1.10 L'effet de la privation d'eau du traitement G</u>	
3.2. La discussion	p 24
<u>3.2.1 L'interprétation des variations temporelles</u>	
<u>3.2.2 La comparaison des traitements NG et G</u>	p 25
<u>3.2.3 L'interprétation des différences d'α</u>	
<u>3.2.4 Les courbes de g_s/A_{net}</u>	p 26
<u>3.2.5 Les effets des traitements sur la floraison</u>	p 27
Conclusion	p 28
Bibliographie	
Annexes	

ABRÉVIATIONS

- A_{net} : taux d'assimilation nette du CO_2
 A_{brut} : taux d'assimilation brut du CO_2
 α : l'efficacité quantique maximale (quantité de lumière absorbée par la feuille), et constante empirique du modèle de Leuning
ARMEFLHOR : Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et Horticole
 C_a : est la pression partielle en CO_2
 C_i : pression partielle en CO_2 dans les espaces intercellulaires
CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomiques pour le Développement
EPLEFPA : Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole de Saint-Paul
ETR : flux de transport d'électrons
 f : rapport entre l'énergie absorbée par le PSII et l'énergie absorbée par le PSI
 F : voie de dissipation de l'énergie électromagnétique provenant d'un photon par la fluorescence
 F_0 : fluorescence minimale sous lumière actinique
 F_m : fluorescence maximale suite à un flash de lumière saturante
 F_v : fluorescence maximale variable
 F_v/F_m : efficacité photochimique potentielle des photosystèmes II, fraction de photons absorbée pour la voie photochimique
 F_v'/F_m' : efficacité photochimique potentielle des photosystèmes II sous lumière actinique
FAO : Food and Agriculture Organization
 G : traitement *girdlé*
 G_{sec} : traitement *girdlé* avec stress hydrique
GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique
 g_0 : conductance stomatique à l'origine
 g_b : conductance à la surface de la feuille
 g_s : conductance stomatique
 H : voie de dissipation de l'énergie électromagnétique provenant d'un photon par la chaleur
 I : intensité lumineuse incidente
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
 J : le flux d'électrons
 J_{max} : le flux d'électrons en conditions de lumière saturante
 K_c : constante de Michaelis de la Rubisco carboxylase
 K_o : constante de Michaelis de la Rubisco oxygénase
 m : un coefficient empirique du modèle de BWB
NG : traitement non-*girdlés*
NPQ : quenching non-photochimique
 O : pression partielle ou concentration en O_2 au niveau des espaces intracellulaires
 P : voie de dissipation de l'énergie électromagnétique provenant d'un photon par la photosynthèse

Φ_P : efficacité photochimique potentielle des PSII
 Φ_{PSII} : efficacité photochimique des photosystèmes II, proportion de photons absorbés utilisée pour la voie photochimique dans le cas d'une feuille adaptée à la lumière
PSII : photosystème II
Q : la densité de flux de rayonnement utile à la photosynthèse
 Q_N : quenching non-photochimique
 Q_P : quenching photochimique
R : constante des gaz parfait
Rh : humidité relative
 R_d : respiration mitochondriale
 θ : absorbance
 V_c : taux de carboxylation
 V_{cmax} : taux maximal de carboxylation de la Rubisco
 V_o : taux d'oxygénation
 W_c : taux de carboxylation limité par la quantité, l'état d'activation, ou les propriétés cinétiques de la Rubisco
 W_j : taux de carboxylation limité par le taux de régénération de la ribulose-1,5-biphosphate
TPU : taux de libération de phosphate par l'utilisation des trioses phosphate
 T_{ref} : température de référence
 T_l : température de feuille
 τ : facteur de spécificité de la ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygénase (Rubisco)
 ΔH_a : l'énergie d'activation
 ΔH_d : énergie de désactivation des différents paramètres
 ΔS : terme entropique

INTRODUCTION

Le manguier (*Mangifera indica* L.) est d'une grande importance pour les populations des régions tropicales, aussi bien sur le plan culturel (souvent associé aux cérémonies religieuses, et en médecine), que sur le plan alimentaire. De plus, il est le fruit tropical le plus produit au monde, avec 24 639 milliers de tonnes en 2002, d'après les dernières estimations de la Food and Agriculture Organization (FAO). Paves
Agri
27

Pour l'île de la Réunion, la majeure partie de la production (potentiellement 3 500 tonnes/an) est consommée par la population (5 kg de fruit par habitant/an) car aucune importation n'est autorisée pour des raisons sanitaires et environ 100 tonnes/an sont destinées à l'exportation.

La Réunion est une île isolée, dépendant fortement de subventions de l'Etat dans le secteur agricole, essentiellement pour la canne à sucre qui représente environ 53% de la SAU. Il est impératif qu'elle trouve de nouvelles voies pour accroître ses exportations, sachant que la suppression des subventions à la canne à sucre paraît inévitable. Le développement de cultures fruitières à fort potentiel à l'export et à haute valeur ajoutée, comme la mangue, l'ananas et le litchi, représente un enjeu important, à la fois pour l'avenir de la filière agricole à la Réunion, et, d'une manière plus générale, pour répondre aux préoccupations des pouvoirs publics vis-à-vis du contexte socio-économique de l'île. Pour pouvoir exporter davantage, il est impératif d'accroître la maîtrise de la production (calendrier de production, réduction de l'alternance, volumes, qualité).

C'est pourquoi le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Hortitrop vient de voir officiellement le jour. Au côté du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomiques pour le Développement (CIRAD) se trouvent l'Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et Horticole (ARMEFLHOR), la Chambre d'agriculture de la Réunion, l'Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole de Saint-Paul (EPLEFPA), l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et l'Université de la Réunion. A partir d'études biologiques et physiologiques, ce GIS a pour mission élaborer des itinéraires techniques plus respectueux de l'environnement, visant à améliorer la qualité des productions horticoles à l'île de la Réunion (CIRAD info, 2003).

Dans ce but, le CIRAD-FLHOR (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-Département des Fruits, Légumes et productions Horticoles) a mis en place des programmes de recherche sur le manguier et a développé le cultivar 'Cogshall' à la Réunion dans un objectif d'exportation et de diversification.

L'un des objectifs du travail engagé par l'équipe mixte INRA/CIRAD à la Réunion est de développer un modèle de gestion des ressources carbonées chez le manguier, fonctionnant dans un premier temps à l'échelle du rameau, et inspiré des travaux sur la pêche de l'équipe de l'INRA-ECHO d'Avignon (Lescourret et *al.*, 1998 ; Génard et *al.*, 1998).

Il apparaît que les relations hydriques, la photosynthèse et la gestion des ressources carbonées jouent vraisemblablement un rôle crucial dans la croissance végétative, dans le développement reproducteur et dans l'élaboration de la qualité, et donc dans la performance agronomique du manguier.

Afin de compléter le modèle qui est actuellement développé, et dans une perspective

d'amélioration du contrôle de la floraison, en partant de l'hypothèse que l'induction florale chez le manguier (*Mangifera indica* L.) était fortement conditionnée par le taux de carbone (sucres) présent dans les rameaux ainsi que par une somme de stress, un essai sur le *girdling* a été mis en place.

Cet essai avait pour but d'analyser les effets d'une pratique culturale, le *girdling* (suppression des connexions phloémiennes), et d'observer son influence sur l'induction de la floraison ainsi que son impact sur la photosynthèse. La photosynthèse est au cœur du modèle, car elle est la source d'assimilation du carbone de l'arbre.

Nous avons, sur la période d'avril à août 2004, réalisé des mesures des paramètres photosynthétiques (A_{net} , Φ_{PSII} , fluorescence et C_i), de la conductance stomatique (g_s), de la respiration mitochondriale (R_d) et de l'absorbance (θ).

Chez les végétaux supérieurs, l'assimilation du carbone détermine la productivité. La photosynthèse est le processus par lequel les végétaux autotrophes transforment l'énergie lumineuse en une énergie chimique nécessaire à l'assimilation du CO_2 de l'atmosphère. L'activité des organes photosynthétiques dépend des paramètres du milieu (lumière, hygrométrie, température, taux de CO_2) ainsi que par des paramètres physiologiques (dont la conductance stomatique). La photosynthèse dépend de la capacité photosynthétique. Celle-ci est définie par les paramètres suivants : le taux de carboxylation maximal (V_{cmax}), le flux d'électrons maximal en lumière saturante (J_{max}), le taux de libération de phosphate par l'utilisation des trioses phosphate (*TPU*) (production de sucrose et d'amidon) et la respiration mitochondriale (R_d).

I LA SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure 1 : Répartition de la culture de la mangue dans le monde (Mabberley, 1997)

Tableau I : Production de mangue F.A.O. 2002

	Moyenne 1996-98	1999	2000	2001	2002*
en milliers de tonnes					
Fruits majeurs	43 626	47 343	49 138	51 2	59 570
Mangues	21 946	22 997	23 979	24 787	24 439
Inde**	10 316	9 782	10 500	10 140	10 640
Chine	2 093	2 920	3 000	3 140	3 140
Mexique	1 388	1 509	1 559	1 613	1 613
Fruits mineurs	14 194	14 781	14 887	15 000	15 500
Total	57 820	62 124	64 024	65 970	75 070

* provisoire ** sources officielles des pays
Source www.fao.org

Tableau II : Exportations de mangue F.A.O. Juillet 2002 (sauf échanges intracommunautaires)

	Moyenne 1996-98	1999	2000	2001	2002
En milliers de tonnes					
Fruits majeurs	1 425	1 707	1 767	1 980	1 980
Mangues	416	521	520	589	589
Mexique	152	204	206	192	192
Brazil*	20	24	67	94	94
Inde**	40	50	37	46	46
Fruits mineurs	133	180	182	190	190
Total	1 528	1 818	1 872	2 170	2 170

Source www.fao.org

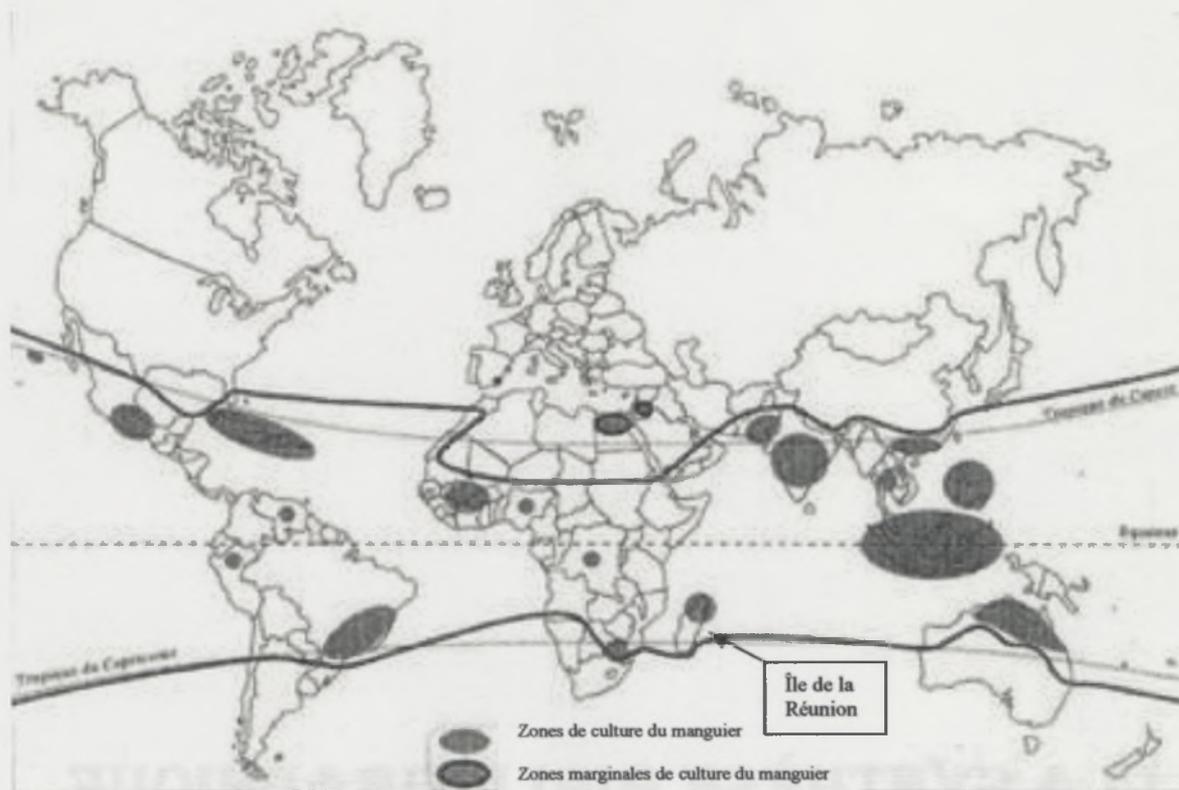


Figure 1 : Répartition de la culture de la mangue dans le monde (Mukherjee, 1997)

Tableau I : Production de mangue F.A.O. 2002 :

	Moyenne 1996-98	1999	2000	2001	2002*
	en milliers de tonnes				
Fruits majeurs	43 656	47 343	49 138	50 312	50 570
Mangues	21 946	22 997	23 979	24 457	24 639
Inde**	10 316	9 782	10 500	10 240	10 640
Chine	2 093	2 920	3 000	3 060	3 140
Mexique	1 388	1 509	1 559	1 577	1 413
Fruits mineurs	14 194	14 781	14 887	15 219	15 500
Total	57 850	62 124	64 024	65 531	66 070

* provisoire, ** sources officielles des pays

Source www.fao.org

Tableau II : Exportations de mangue F.A.O. Juillet 2003 (sauf échanges intra CE) :

	Moyenne 1996-98	1999	2000	2001
	En milliers de tonnes			
Fruits majeurs	1 425	1 707	1 767	1 980
Mangues	416	521	520	589
Mexique	155	204	206	195
Brésil*	29	54	67	94
Inde**	40	50	37	46
Fruits mineurs	133	180	185	190
Total	1 558	1 818	1 872	2 170

Source www.fao.org

1.1 Les généralités

1.1.1 Les origines du manguiers et sa répartition dans le monde

La mangue est originaire de la partie nord-ouest de la région indo-birmane. Le manguiers est cultivé depuis plus de 4 000 ans, il a été disséminé au cours des différentes vagues de colonisation par les navigateurs et grâce aux échanges internationaux. Aujourd'hui le manguiers est principalement présent dans la ceinture intertropicale (figure 1) sur les cinq continents.

Selon Le Bellec et Renard (1999), le manguiers a été introduit depuis l'Inde sur l'île de la Réunion par M. Deguigne de la Bergerie vers 1770.

ou via l'île de France
(île Maurice)

1.1.2 La production au niveau mondial (www.fao.org)

Selon les estimations, la production mondiale de fruits tropicaux a augmenté de près de 20 millions de tonnes au cours des dix dernières années (www.FAO - COMITÉ DES PRODUITS.htm), les pays en développement assurant environ 98 pour cent de ce volume (tableaux I, II et III). Le fruit tropical le plus produit dans le monde est la mangue, suivis de l'ananas, de la papaye et de l'avocat. Ces fruits sont appelés fruits tropicaux principaux en comparaison aux fruits pour lesquels le volume des échanges commerciaux est plus limité, tels que le litchi, le durian, le ramboutan, la goyave et le fruit de la passion, qui sont appelés fruits tropicaux secondaires.

non

L'Inde, la Chine et le Mexique restent les principaux producteurs mondiaux de mangues (tableau I).

La production de mangues a représenté environ 38 % de la production totale de fruits tropicaux en 2002

Les rapports de la FAO indiquent une hausse constante des échanges des principaux fruits tropicaux (tableau II et III). Les expéditions de mangues ont également augmenté, les exportations mondiales ayant atteint 589 000 tonnes en 2001. Les principaux marchés importateurs sont les Etats-Unis et l'Union européenne (tableau III).

1.1.3 Les projections jusqu' à 2005 de la demande en fruits tropicaux

Les perspectives de la demande de fruits tropicaux devraient être bonnes pendant la prochaine décennie. À moyen terme, la croissance mondiale annuelle moyenne prévue se situerait entre 3 et 4,5 % (www.fao.org).

Les importations mondiales de mangues fraîches devraient augmenter d'ici à 2005, la demande étant appelée à progresser au fur et à mesure que les consommateurs découvriront la saveur des mangues et les possibilités culinaires qu'elles offrent. La part des pays développés et des pays en développement dans les importations mondiales resterait à peu près stable. La principale région importatrice demeurerait l'Amérique du Nord (42 % des importations mondiales), suivie de l'Europe (24 %), de l'Extrême-Orient (17 %) et du Proche-Orient (14 %). Le Japon n'importe pas de grandes quantités de mangues, et devrait conserver une part de 3 % du marché.

1.1.4 La mangue à la Réunion

1.1.4.1 Le marché des fruits tropicaux à la Réunion

La filière des fruits tropicaux à la Réunion regroupe environ 1 500 agriculteurs sur une surface de 6 000 hectares exploités. Le manguiers représentent 16 % de la surface des vergers

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



Tableau III : Importations de mangue F.A.O. Juillet 2003 (sauf échanges intra CE) :

	Moyenne 1996-98	1999	2000	2001
	en milliers de tonnes			
Fruits majeurs	1 442	1 705	1802	1 878
Mangues	413	494	514	536
Etats-Unis	185	219	235	238
Communauté Européenne	95	116	119	135
Chine, Hong Kong SAR	40	33	32	34
Fruits mineurs	156	145	176	176
Total	1 598	1 850	1 978	2 055

Source www.fao.org

Répartition des surfaces cultivées en manguiers à la Réunion

(Surfaces selon Agreste 2000 ; répartition géographique d'après la Chambre d'Agriculture de la Réunion, 1999)

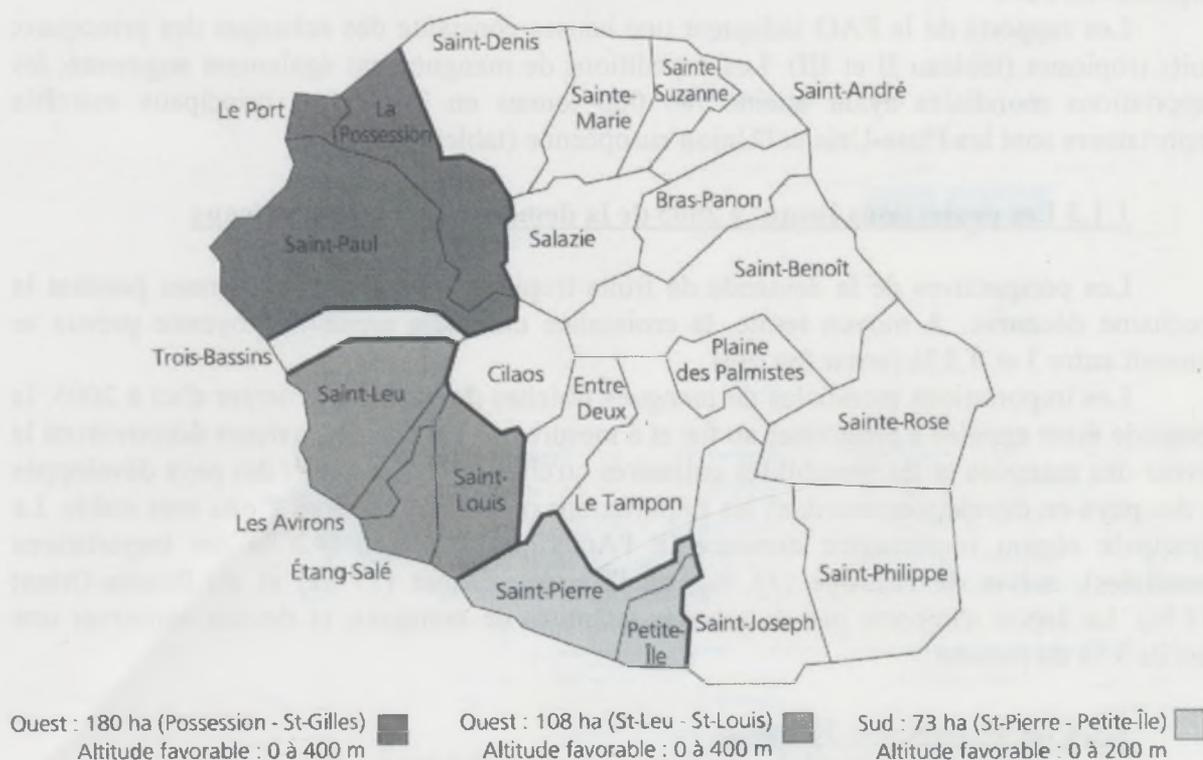


Figure 2 : Répartition de la culture de la mangue à la Réunion (Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2002). Les productions de cours ne sont pas prises en compte.

et occupe la troisième place derrière les litchis et les agrumes. Chaque année ce sont 46 000 tonnes de fruits qui sont récoltés dont 3 000 tonnes de mangues (www.cpi.asso.fr, 2004).

1.1.4.2 Un marché local de la mangue

À la Réunion le manguier est une espèce fruitière de premier ordre. Il est présent dans de nombreux jardins créoles et sa culture connaît un essor considérable depuis quelques années.

Les vergers de manguiers occupaient en 2001 plus de 350 ha de terres agricoles situées principalement dans l'ouest du département (figure 2), la surface de manguier plantés ayant été multipliée par 8 en 20 ans.

La production se situe essentiellement sur la côte « sous le vent », la seule commune de St-Paul regroupant 43% de la surface de l'île. La culture se fait principalement au niveau du littoral, à une altitude moyenne pour l'île de 130 m.

La production potentielle de l'île est de 3 500 tonnes/an.

La diversité des lieux de production permet aux différentes variétés d'approvisionner le marché local d'octobre à mai. Les variétés tardives (février à mai) sont soumises aux risques de cyclone mais elles sont très prisées pour leurs qualités gustatives (figure 3).

La commercialisation se fait principalement par le marché de gros.

La production étant plus ou moins planifiable et demandée par le consommateur, les distributeurs et les producteurs traitent directement, d'où les faibles écarts de prix au cours de la chaîne de production.

Les variétés locales et principalement 'José' se vendent au meilleur prix à 2,36 €/kg. La mangue verte pour rougails et aussi très recherchée (Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2002).

Ces tarifs relativement élevés montrent que la mangue reste un produit de luxe, dont la production est loin de saturer la demande des consommateurs (environ 5 kg par habitant et par an à la Réunion).

Ces dernières années, pour les variétés locales les prix se maintiennent voire augmentent, alors que ceux de 'Cogshall' tendent à fléchir un peu. Dès lors, les écoulements en progression vers l'exportation apparaissent comme un d'assainissement indispensable pour cette variété.

1.1.4.3 L'import-export

L'importation de mangues à la Réunion est interdite pour des raisons d'ordre phytosanitaire, les pays exportateurs (Asie, Brésil, Mexique, Afrique) abritant des espèces de mouches de fruits (Tephritidae) inexistantes à la Réunion.

Seule la variété 'Cogshall' correspond aux critères propres à l'export (bonne fermeté, forme, calibres adaptés, coloration : rouge-verte-jaune), son exportation augmente depuis 1997 (en 1999 : 40 tonnes). Les exportations représentent environ 100 tonnes, ce qui est une faible quantité par rapport aux 3 000 tonnes de mangues produites. - Réunion ?

1.1.4.4 Les critères de qualité

Les mangues tout comme les ananas et les litchis visent le Label Rouge, afin de faire reconnaître officiellement la notoriété des fruits locaux exportés, la Chambre d'Agriculture de la Réunion a lancé une étude visant à cibler les attentes des consommateurs européens. À l'issue de cette étude, une procédure d'échantillonnage et de traçabilité sera mise en place

	PRÉCOCE		DE SAISON		TARDIVE	
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Aristide						
Auguste						
Caro						
Carotte						
Early Gold						
Haden						
José						
Léonard						
Lise						
Lucie						
Maison Rouge						
Perrot						
Pierrefontaine						
Prade						
Ruby						
Weatley						

Figure 3 : Maturité des principales variétés de mangue à la Réunion, ces données sont des moyennes qui peuvent varier en fonction des conditions pédoclimatiques locales (Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2002).

auprès des agriculteurs. Elle permettra de faire estampiller ces fruits du Label Rouge, qui certifie que le produit est meilleur que la norme. et ce qui est un atout incontestable à l'export. (Comité de pilotage de l'industrie de la Réunion, Agriculture, 15/12/2003).

1.2 La biologie et la physiologie du manguier

1.2.1 La classification du manguier

→ référence ouvrage
The mango edible
E. Litz 1997.

Le manguier (*Mangifera indica* L.) est une plante dicotylédone de la famille des Anacardiaceae des régions tropicales. Il existe plus de 850 espèces de manguier dont certaines présentes en Asie depuis 4000-5000 ans. Son nom lui vient du malais *mango* et du latin *fera*, « je porte » (Le Bellec et Renard, 1999).

Il existe 170 cultivars de *Mangifera indica* L. référencés (Jintanawong et al., 1992).

Classification :	Règne :	Plantae
	Sous règne :	Tracheobionta
	Division :	Magnoliophyta
	Classe :	Magnoliopsida
	Sous classe :	Rosidae
	Ordre :	Sapindales
	Famille :	Anacardiaceae
	Genre :	<i>Mangifera</i> L.
	Espèce :	<i>Mangifera indica</i> L.

1.2.2 Les réserves carbonées du manguier

1.2.2.1 Le carbone dans l'arbre

Synthétisés au niveau des feuilles, les sucres atteignent les autres compartiments de la plante selon ses besoins. Ils peuvent aussi être mobilisés à partir d'organes réserves. On parle alors d'organes sources, qui sont les lieux de production de carbone circulant (feuilles et compartiments réserve) et d'organes puits, qui sont les lieux d'utilisation. Ceci permet à la plante de libérer de l'énergie grâce aux assimilats ou réserves carbonées et d'assurer son développement à travers son entretien et la production de nouveaux tissus.

1.2.2.2 Les principales formes présentes dans la plante

On distingue les sucres circulants et des sucres non circulants ou sucres de réserve.

Les sucres circulants :

Saccharose : il est majoritaire dans de nombreuses plantes et représente le dernier maillon de la chaîne photosynthétique, c'est la forme normale de transfert d'un compartiment à l'autre,

Fructose et le glucose : ce sont des produits du métabolisme qui transitent sous forme de saccharose dans les compartiments de transfert. Ils sont communément présents dans les racines à des concentrations souvent plus élevées que le saccharose (Loesher et al., 1990).

Les sucres de réserve :

Amidon : C'est une longue chaîne, polymère de glucose, ce sucre est la forme de stockage de carbone la plus répandue dans le règne végétal.

1.2.2.3 Le rôle et la localisation des réserves carbonées

Les sucres de réserves sont un moyen de faire face aux aléas environnementaux, susceptibles de faire diminuer l'assimilation de carbone issue de la photosynthèse. Ils ont pour rôle principal la production d'énergie nécessaire au métabolisme et au développement des structures carbonées en particulier.

Chez les arbres, à la floraison et à la fructification, les réserves sont mobilisées sous forme de sucres solubles qui migrent jusqu'à leur lieu d'utilisation (fleurs et fruits), elles peuvent donc être un facteur limitant de leur développement. Davie et Stassen (1997 a et b) suggèrent que chez le manguier, les réserves des structures permanentes (grosses racines et branches) complètent l'apport en sucres produits par photosynthèse pendant la période de forte demande.

Le système racinaire possède les plus fortes concentrations en sucres et en amidon que toutes les autres parties de l'arbre (Loesher et al., 1990).

1.3 Les éléments de production du manguier et le *girdling*

1.3.1 Les éléments de production du Manguier

1.3.1.1 L'induction florale artificielle de la mangue

Pour induire la floraison, il faut procéder en plusieurs étapes. Tout d'abord on utilise un régulateur de croissance : le paclobutrazol. Cette substance bloque la synthèse de gibbérellines et donc bloque ou raccourcit les nouvelles unités de croissances émises. Ce produit a un effet homogène et indépendant de la pluviométrie. Pour conforter et amplifier ce phénomène on induit simultanément un stress hydrique.

Ensuite, on pulvérise sur la parcelle du sulfate de potassium qui favorise l'évolution du méristème vers l'état floral plutôt que vers l'état végétatif. Cette substance modifie le rapport K/N dans la plante et favorise donc l'accumulation de carbone dans le rameau et les tissus proches du méristème terminal.

Enfin, afin de provoquer le débourrement des méristèmes terminaux, on va appliquer du nitrate de potassium et de calcium.

Par contre pour le paclobutrazol, il n'existe aucun substitut à cette substance qui est interdite en AB, vu sa nocivité (Bayot M. et al., 2003).

1.3.1.2 L'élaboration du rendement

Comme toutes les espèces fructifères, l'élaboration du rendement chez le manguier est très liée à la floraison et à la fructification.

Le rendement du manguier est déterminé par deux composantes principales : le nombre de sites fructifères (inflorescences) par hectare et le poids moyen des fruits, la première composante étant déterminée par la complexité de l'arborescence (Wolstenholme et Whiley, 1995).

Le nombre d'inflorescences par arbre et par hectare détermine le rendement potentiel. Le rendement réel est alors fonction du nombre moyen de fruit par inflorescence, avec en général seulement un ou deux fruits qui arrivent à maturité.

La solution pour améliorer le rendement consiste à optimiser la ramification et les conditions adéquates pour obtenir un pourcentage de pousses capable de fleurir.

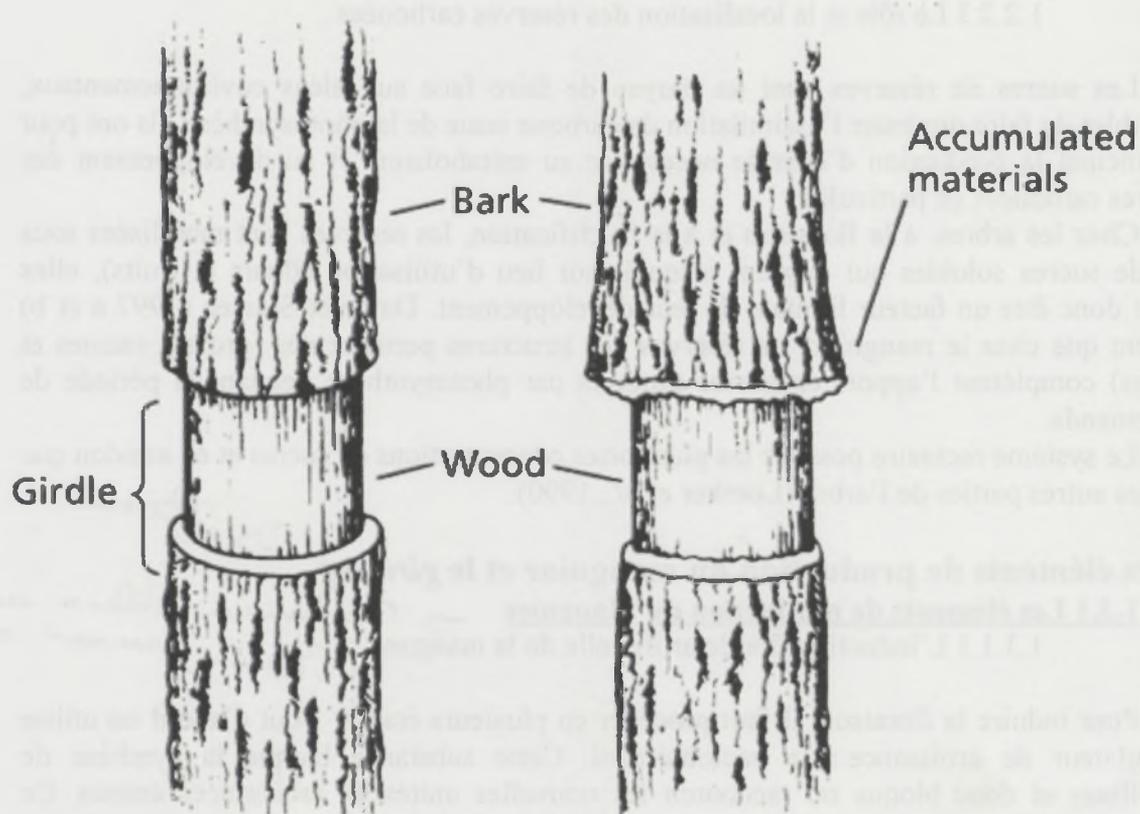


Figure 4 : Schéma d'une branche immédiatement après le girdling (ceinturage ou annélation) à gauche et quelques temps après le girdling à droite. Le ceinturage est le déplacement et l'enlèvement de l'écorce d'un arbre dans un anneau autour du tronc ou d'une branche. À droite, les matériaux transférés des feuilles se sont accumulés dans la région au-dessus de la ceinture et l'ont faite gonfler. (accumulated materials : accumulation de matières ; bark : écorce ; girdle : annélation ; wood : bois) (Plant Physiology Online Classical Studies on Phloem Transport.htm).

Les composantes de rendement du manguier sont :

Le nombre de bourgeons potentiellement florifère / arbre

Le pourcentage de bourgeons floraux

Le nombre d'inflorescences fructifères / arbre

Le nombre de fruits / inflorescence

Le pourcentage de fruits récoltés

Le poids d'un fruit

La densité du verger

Un verger en pleine production, de densité 5×7 mètres a un rendement de 8 à 15 tonnes à l'hectare, soit environ 50 kg de mangues par arbre (Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2002).

1.3.1.3 La récolte

La récolte débute environ 120 jours après la floraison (cela varie en fonction du climat, de la variété, de l'altitude et du sol). La mangue est un fruit climactérique (fruit dont la maturité se poursuit après récolte, au cours de la conservation) qui doit être cueilli vert-mature. La mangue est un fruit dense mal protégé, très sensible aux chocs et meurtrissures diverses. Elle doit être cueillie avec soin, en évitant les taches de latex et être soigneusement conditionnée. Malgré l'alternance, on peut néanmoins compter sur un rendement moyen de 10 à 15 tonnes par hectare et par an (50 kg par arbres) sur un verger de plus de 10 ans.

Après la cueillette, les fruits peuvent être conservés pendant plusieurs jours dans une chambre froide à une température entre 8 et 13°C selon la variété et avec une humidité relative de 90 %.

1.3.1.4 Les coûts de production

Sur un verger adulte et mécanisé, le coût de production est d'environ 6 098 € par ha et par an (incluant le coût de plantation). Si ce verger a un rendement moyen proche de 10 tonnes / hectares, le coût de production de 0,61 € / kg. Dans le cas d'un verger non mécanisé, il faut prévoir 30 jours supplémentaires de récolte et un coût de production de production de 0,76 € / kg (Chambre d'agriculture de la Réunion, 2002) (annexe 1).

Les traitements phytosanitaires, la récolte et la taille sont les postes les plus lourds dans les coûts de l'exploitation d'un verger de manguiers (annexe 1).

1.3.2 Le girdling

Le *girdling* est une technique qui consiste à retirer une partie de l'écorce, plus précisément le phloème, du tronc ou des branches (figure 4). Cette pratique a pour but d'induire et de synchroniser la floraison (puis la fructification), d'augmenter le rendement et la taille des fruits chez certaines espèces. Cette pratique est connue à travers le monde depuis plusieurs dizaines d'années. Elle est basée sur le fait de favoriser le développement des fruits situés au dessus de l'anneau incisé, au détriment du stockage dans les racines.

1.3.2.1 Les effets sur la production

Une étude réalisée dans des années 70-80 à montré que cette pratique pouvait être réalisée tous les ans sur le pêcher sans dommage pour l'arbre si le *girdling* était correctement effectué. Le *girdling* peut également être pratiqué pour les nectarines, où il a pour effet une

augmentation de la taille du fruit, une augmentation du rendement et une concentration de la récolte ainsi qu'une précocité plus grande de cette dernière (Powell A., 1999).

Des résultats similaires ont été obtenus pour les mandarines 'Fairchild' et les citrons 'Lisbon' par des études de l'Université d'Arizona (Wright Glenn C., 2000).

Sur la variété d'avocat 'Hass', le *girdling* accroît la taille des fruits (Davie S.J. et al., 1995).

Des essais de *girdling*, ont été réalisés en 1994 sur des pommiers (Braeburn, Royal Gala, et Fuji / MM.106). Ces derniers ont montré une diminution de la croissance végétative, incluant les tiges, le diamètre du tronc, et la taille des fruits. Mais, il accroît la floraison et le rendement l'année suivante (Samad A. et al., 1995).

Des recherches de l'Université de Californie (dirigées par la California Dried Fig Institute) ont également démontrées que le *girdling* sur les figues 'Black Mission' a pour résultat une augmentation de la taille des fruits et de leur nombre par arbre (Ferguson L. et al., 1999 ; Bryant Dan, 2001).

1.3.2.2 Les effets sur les paramètres physiologiques

Sur la variété d'avocat 'Hass', le *girdling* montre une augmentation du taux de sucres dans les feuilles et provoque une diminution du taux d'azote, de phosphate et de calcium par rapport aux branches non-*girdlées*. Ceci serait probablement dû à une diminution de 50% du taux de chlorophylle (Davie S.J. et al., 1995).

Cette accumulation de sucres se traduit rapidement par une diminution de la photosynthèse qui est attribuée à un freinage du flux d'électrons (Foyer, 1988). Si elle se prolonge, l'accumulation de sucres peut se traduire par une diminution de la capacité photosynthétique, comme le montrent les phénomènes de photoinhibition et de jaunissement des feuilles.

Chez la tomate le *girdling* réalisé sur les pétioles provoque la fermeture des stomates en raison d'une augmentation d'acide abscissique, suite à l'arrêt de son export par le phloème et cela sans stress hydrique (Else M.A. et al., 1996).

L'effet du *girdling*, couplé à l'ablation du bourgeon terminal chez le pin à torches (*Pinus taeda*) a mis en évidence une augmentation très rapide des taux de sucres (notamment du saccharose et de l'amidon) et d'une diminution de la capacité photosynthétique (baisse de A_{net} en CO_2 et lumière saturante) qui est caractérisée par une diminution de V_{cmax} , de J_{max} , de la sensibilité à l' O_2 nécessaire pour la photosynthèse, et d'une diminution de Q_p et d'une augmentation de Q_N (Myers D.A. et al., 1999).

Des études plus récentes essaient de comprendre les effets du *girdling* sur la vigne, afin de mieux contrôler les équilibres sucres/acides, dans le but d'une meilleure vinification (Hunter J.J. et Ruffner Hans Peter, 2001).

Un étude tendant à analyser la synchronisation sur la floraison puis de la fructification du soja, montre une diminution du taux d'échange de carbone des feuilles sous une lumière saturante (Egli D. B. et Bruening W. P., 2002).

Les effets du *girdling* sur des citronniers, on montré une accumulation d'hydrates de carbones (sucres solubles et amidon) dans les feuilles et l'écorce situés au dessus en absence de fruit, alors qu'elle ne se produisait pas lorsque des fruits étaient présents (puits importants en hydrates de carbones). Dans les deux cas cela engendre un déficit important au niveau des racines. De plus, l'expression de certains gènes (taux d'ARN), STPH-L et STPH-H (deux isoformes de l'amidon phosphorylase), Agps (ADP-glucose pyrophosphorylase, petite sous unité), AATP (ADP/ATP transporteur plastique), PGM-C (phosphoglucomutase) et CitSuS1 (saccharose synthétase) ont montré une corrélation positive avec le taux d'amidon accumulé croissant dans les feuilles et l'écorce, et inversement dans les racines (Li C.Y. et al., 2003).

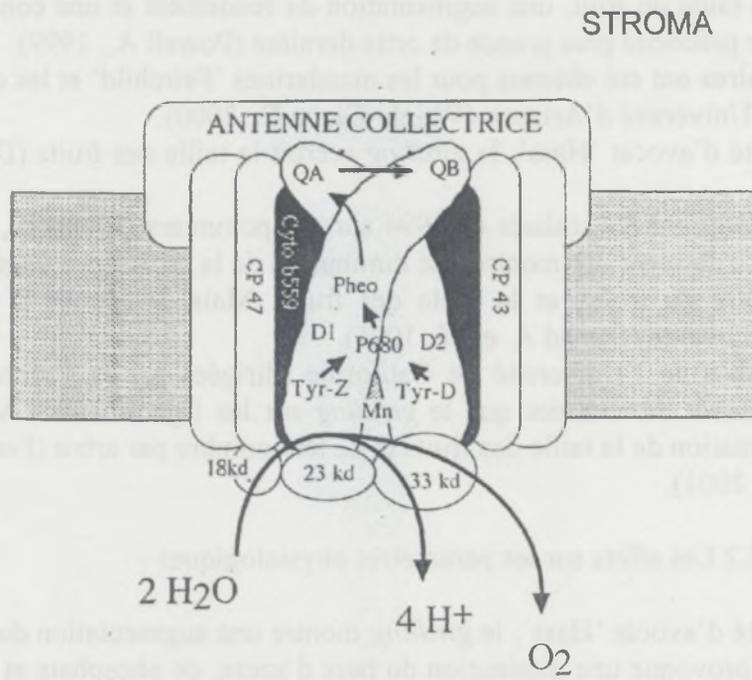
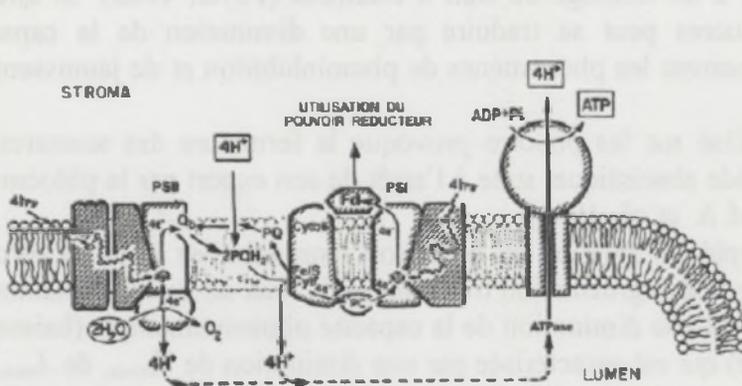


Figure 5 : Schéma du modèle structural de centre réactionnel et d'antenne collectrice du PSII (Rutherford, 1989).



- 1 collecte des photons au niveau des antennes PSI et PSII
- 2 Hydrolyse de l'eau
3. Production d'ATP
4. Production de pouvoir réducteur

PSI Photosystème I	PQ Plastoquinone
PSII Photosystème II	PQH ₂ Plastoquinone réduite
Fe/S Cytochrome f	Q _b Plastoquinone fixée sur le PS ₂ pour accepter les e ⁻
Fd Ferredoxine	e ⁻ électrons
Centre réactionnel	

Figure 6 : Schéma de la chaîne photosynthétique (Rutherford, 1989).

1.4 La fluorescence et le modèle biochimique de la photosynthèse

1.4.1 La fluorescence

1.4.1.1 Le mécanisme physiologique de la fluorescence

Les photosystèmes (I et II), présents à l'intérieur des thylakoïdes, sont constitués d'une association de pigments et de protéines. Ces complexes sont organisés autour d'un centre réactionnel et d'une antenne collectrice de photons. Les chlorophylles a et b constituent l'essentiel de ces pigments, des caroténoïdes (β -carotènes et xanthophylles) sont également présents. Les spectres d'absorption de ces différentes molécules recouvrent un maximum d'absorption sur l'ensemble du spectre de la lumière naturelle.

Le centre réactionnel du photosystème II (PSII) est constitué probablement de 5 à 6 molécules de chlorophylles a incluant le donneur primaire P_{680} (Nanba et Satoh, 1988), associé aux protéines CP47 CP43 pour former l'antenne du cœur (Akabori et *al.*, 1988). L'antenne collectrice est composée d'une population hétérogène de chlorophylle a et b (figure 5).

L'antenne collectrice et le centre réactionnel des PSI sont associés à des polypeptides de 65 et 58 kDa et une centaine de molécules de chlorophylles (Malkin, 1986) (figure 6).

A température ambiante, la fluorescence chlorophyllienne provient essentiellement des molécules de chlorophylles a, associées aux PSII.

Au niveau de l'antenne collectrice des PSII, une molécule de chlorophylle absorbe l'énergie d'un photon. Cette molécule passe alors d'un état fondamental à un état excité instable. La molécule de chlorophylle excitée retourne à son état énergétique initial soit par transmission de l'énergie d'excitation à une molécule voisine (phénomène de résonance) (photochimie : P), soit en dissipant cette énergie sous forme de chaleur (H), soit en émettant un photon de longueur d'onde supérieure à la longueur d'onde du photon initialement absorbé (phénomène de fluorescence) (F).

$$F + H + P = 1$$

La fluorescence (F), la chaleur (H) et la photochimie (P) sont des fractions de la lumière totale absorbée dont la somme fait 1 (LI-COR, Manuel d'utilisation 5).

1.4.1.2. L'intérêt et la cinétique de la fluorescence

La fluorescence de la chlorophylle peut être mesurée et utilisée pour étudier le fonctionnement des PSII. L'ensemble des processus élémentaires qui constituent la photosynthèse sont fortement interdépendants, la fluorescence peut donc servir d'outil d'analyse d'une partie de la photosynthèse (Papageorgiou, 1975 ; Briantais et *al.*, 1986).

L'émission de fluorescence suit une cinétique, décrite et interprétée par Kautsky et *al.* (1960), et se décompose en deux parties (figure 7) :

- la première est une augmentation rapide de la fluorescence ;
- la seconde, plus lente, correspond à une phase de décroissance.

1.4.1.2.1 La phase rapide

La mesure de la fluorescence se fait sur des feuilles adaptées à l'obscurité pour que tous les PSII soient synchronisés à l'état ouvert (ils sont tous aptes à recevoir des photons). Dans cette condition, la fluorescence est minimale (notée F_0).

La phase rapide (0,5 à 2 secondes) correspond à une augmentation de la fluorescence du niveau F_0 jusqu'au niveau F_p (ou F_m si l'énergie d'excitation est saturante). La hauteur de ce pic (F_p) est proportionnelle à la quantité de photons reçue par les PSII. La fluorescence est maximale (F_m) lorsque tous les PSII sont fermés.



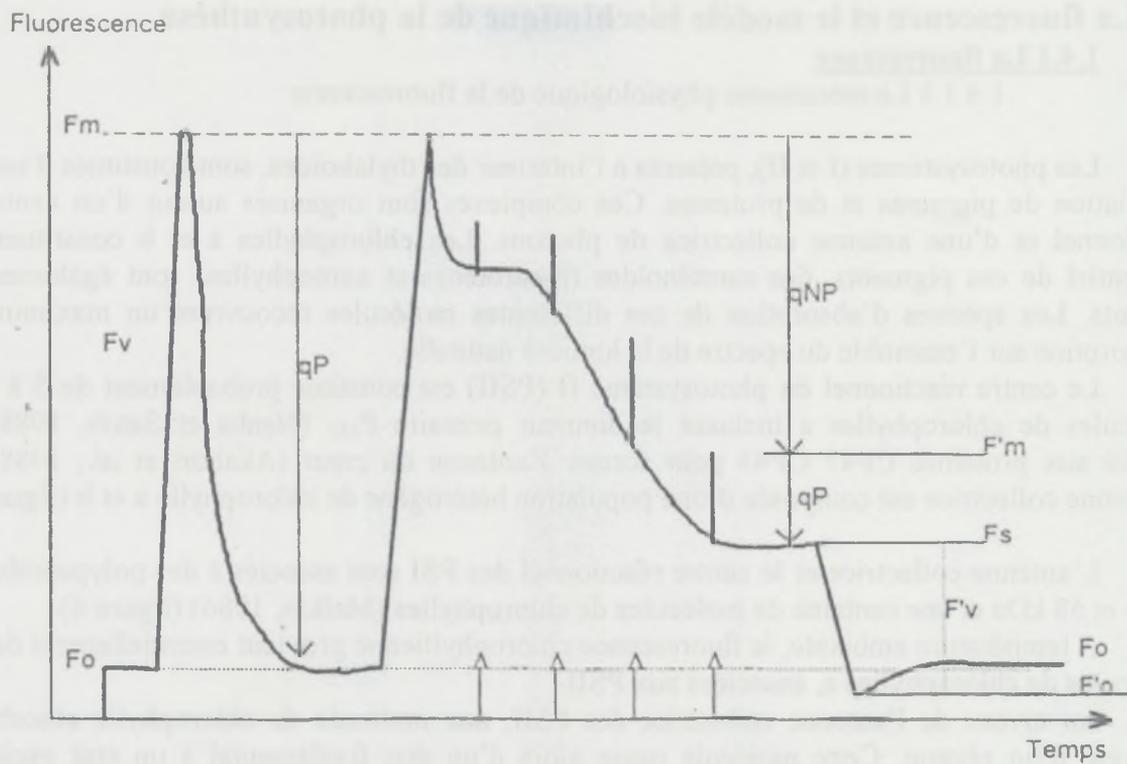


Figure 7 : Schéma de la cinétique de Kautsky et *al.* (1960).

L'émission de fluorescence dépend de mécanismes photochimiques et non photochimiques des PSII, ceux-ci entraînent une extinction de la fluorescence (*Quenching*). La proportion des PSII ouverts détermine le *quenching* photochimique (Q_p) c'est-à-dire le pourcentage de fluorescence éteinte par des processus photochimiques. Ce *quenching* est égal à 0 quand les PSII sont synchronisés à l'état fermé (au niveau F_m). La différence entre F_0 et F_m est appelée fluorescence maximale variable (F_v).

1.4.1.2.2 La phase lente

Cette phase se caractérise par l'extinction, en quelques minutes, de la fluorescence du niveau F_p (ou F_m) jusqu'au niveau stationnaire F_s . Elle est due à la réouverture des PSII. La diminution de la fluorescence dépend de processus métaboliques complexes, qui ont lieu au niveau des chloroplastes. Le *quenching* non photochimique (Q_N) caractérise la dissipation non radiative de l'énergie d'extinction. Q_N est induit par trois phénomènes majeurs :

- un gradient de protons dû à la phase lumineuse s'établit de part et d'autre de la membrane des thylakoïdes ;
- le passage de l'état excité à l'état stationnaire ;
- la photoinhibition de la photosynthèse.

1.4.1.3.3 Les paramètres photochimiques calculés

Ces deux phases permettent d'estimer :

- l'efficacité photochimique potentielle des PSII (Φ_p). Elle représente la quantité de centres potentiellement fonctionnels (Demming et Björkman, 1987). Cette mesure réalisée sur des PSII synchronisés à l'état ouvert, après adaptation de la feuille à l'obscurité, est une estimation de l'efficacité optimale pour le transfert des électrons de P_{680} (PSII) à l'accepteur primaire quinone A (Krause, 1988), Φ_p est le rapport :

$$\Phi_p = (F_m - F_0) / F_m = F_v / F_m$$

Le PSII est sensible aux stress de l'environnement, tels que la sécheresse, la température, l'ensoleillement... ou de la plante elle-même comme l'âge de la feuille, et sont bon état de fonctionnement, ces stress affectent l'efficacité des PSII ce qui induit une diminution du rapport F_v/F_m (Li-Cor, Manuel d'utilisation 5).

- l'efficacité photochimique des PSII (Φ_{PSII}). Elle représente le rendement quantique du transport non cyclique des électrons sous éclairage donné. Elle est proportionnelle au *quenching* (Q_p) et à l'efficacité de capture de l'énergie lumineuse par les PSII ouverts, Φ_{PSII} est le rapport :

$$\Phi_{PSII} = Q_p \times (F_m' - F_0') / F_m' = (F_m' - F_s) / F_m'$$

Avec : F_0' : fluorescence minimale sous lumière actinique ;

F_m' : fluorescence maximale sous lumière actinique.

- le flux de transport d'électrons (ETR) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) :

$$\text{ETR} = \Phi_{PSII} \times I \times \alpha \times f$$

Avec : I : intensité lumineuse incidente°;

α : quantité de lumière absorbée par la feuille (le plus souvent proche de 0,84 car 84% de la lumière est absorbée par la feuille) ;

f: rapport entre l'énergie absorbée par le PSII et l'énergie absorbée par le PSI (généralement 0,5 pour les plantes en C3 car il est souvent considéré que l'énergie est partagée à égalité entre les photosystèmes I et II, alors qu'il est de 0,4 pour les plantes en C4).

Le *quenching* photochimique Q_P :

$$Q_P = (F_m' - F_s) / (F_m' - F_o')$$

Le *quenching* photochimique inclut la photosynthèse et la photorespiration, il tend à augmenter quand la lumière est faible, donc les feuilles utilisent la lumière de façon la plus efficace possible.

Le *quenching* non-photochimique Q_N :

$$Q_N = (F_m - F_m') / (F_m - F_o')$$

Le *quenching* non-photochimique comprend les mécanismes de dissipation de chaleur, il augmente quand la lumière est forte, c'est un mécanisme de protection qui évite une trop forte accumulation d'énergie dans les membranes des thylakoïdes.

Il est aussi parfois noté NPQ :

$$NPQ = (F_m - F_m') / F_m'$$

1.4.2 Le modèle biochimique de la photosynthèse

La concentration intra cellulaire en CO_2 représente une variable du modèle biochimique de la photosynthèse basé sur l'assimilation nette de carbone par la photosynthèse, A_{net} (Farquhar et al. 1980), complétée par le modèle de la conductance stomatique, g_s (Farquhar and Wong 1984, Leuning 1990, Collatz et al. 1991, Harley et al. 1992, Baldocchi 1994, Le Roux et al. 1999, Urban et al. 2003). Ce modèle biochimique de A_{net} est aussi couplé à un modèle de transfert de lumière pour simuler la photosynthèse au niveau de la canopée (Harley et al. 1985, Harley and Tenhunen 1991, Harley and Baldocchi, 1995, DePury and Farquhar 1997) ou de la plante seule (Le Roux et al. 2001, Sinoquet et al. 2001).

Le modèle biochimique photosynthétique nécessite de représenter la capacité photosynthétique des feuilles à travers différents paramètres (taux maximal de carboxylation de la Rubisco, V_{cmax} , flux d'électrons en conditions de lumière saturante, J_{max} , et respiration mitochondriale, R_d). La majorité de l'azote (N) des feuilles est représentée par les protéines du cycle de Calvin et les thylakoïdes ce qui explique le fait que la capacité photosynthétique soit fortement liée au taux d'azote des feuilles (massique : N_a , ou surfacique : N_m) (Field et Mooney 1986, Evans 1989, Kellomäki et Wang 1997, Walcroft et al. 1997 et 2002).

Le taux d'assimilation nette de CO_2 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$), des plantes en C_3 est fonction du taux de carboxylation (V_c), le taux d'oxygénation (V_o) de la RuBP et l'évolution du taux de CO_2 en fonction de la lumière, qui résulte de procédés autres que la photorespiration (respiration mitochondriale, R_d ; $\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$) :

$$A_{net} = V_c - 0,5 V_o - R_d$$

D'après Harley et al. (1992) la version du modèle proposé par Farquhar et al. (1980), de A_{net} peut s'écrire :

$$A_{net} = (1 - (0,5 O / \tau C_i)) \min(W_c, W_j) - R_d$$

où : O est la pression partielle ou concentration en O_2 au niveau des espaces intracellulaires ($O = 21$ kPa), τ est le facteur de spécificité de la Rubisco, C_i est la pression partielle ou concentration en CO_2 au niveau des espaces intercellulaires (Pa), W_c est le taux de carboxylation limité par l'augmentation, l'état d'activation ou les propriétés cinétiques de la Rubisco

($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) et W_j est le taux de carboxylation limité par la régénération de la RuBP ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Le taux de carboxylation W_c est donné par :

$$W_c = V_{cmax} \cdot C_i / (C_i + K_c \cdot (1 + O / K_o))$$

où : V_{cmax} est le taux maximal de carboxylation de la Rubisco ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), et K_c (Pa CO_2) et K_o (Pa O_2) sont respectivement les constantes de Michaelis-Menten de carboxylation et d'oxygénation de la Rubisco. Le taux de carboxylation W_j est contrôlé par le flux d'électrons J ($\mu\text{mol } \text{électrons } \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) :

$$W_j = J C_i / (4(C_i + O / \tau))$$

$$J = \alpha Q / (1 + \alpha^2 Q^2 / J_{max}^2)^{0.5}$$

où : α est l'efficacité quantique maximale (mol électrons mol⁻¹ photons), Q est la densité de flux de rayonnement utile à la photosynthèse ($\mu\text{mol } \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) et J_{max} est le flux d'électrons en conditions de lumière saturante ($\mu\text{mol } \text{électrons } \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Le modèle prend en compte les corrections de température à apporter à V_{cmax} , J_{max} , R_d , τ , K_c et K_o , et aussi, V_{cmax} , J_{max} et R_d sont corrélés à N_a (avec N_a la quantité d'azote par unité de surface de feuille, en g N m⁻²).

Pour avoir plus de détails sur la description des paramètres du modèle, il faut se référer à la publication Urban et al. (2003 et 2004).

Le modèle de la conductance stomatique retenu est celui de Ball-Berry (Ball et al. 1987), qui est plus adapté que celui de Leuning (1995). Ce qui permet de calculer A_{net} à partir de :

$$C_i = C_a - A_{net} / g_b - A_{net} / g_s$$

où : C_a est la pression partielle en CO_2 (Pa), g_b est la conductance à la surface de la feuille et g_s est la conductance stomatique.

La sécheresse réduit V_{cmax} avec peu ou pas de variation pour N_a d'après une étude de Wilson et al. (2000). De plus, une diminution de V_{cmax} a été observée chez *Quercus douglasii* H. & A. celle-ci étant attribuée à une baisse de la concentration en azote (Xu and Baldocchi 2003). Les relations sources-puits jouent aussi un rôle très important, suggéré par une diminution de V_{cmax} et de J_{max} pour un N_a donné pendant la période de croissance des fruits du pêcher (Walcroft et al. 2002).

La conductance stomatique est un paramètre peu étudié au cours des saisons, il est joué cependant un rôle important dans le modèle biochimique lié à la photosynthèse.

Le modèle empirique (Jarvis 1976) et semi-empirique (Ball, Berry and Woodrow 1987 ; Leuning 1990, 1995) de g_s ont été associés au modèle biochimique de la photosynthèse foliaire. Le modèle de Ball et al. (1987) est devenu particulièrement populaire car couple g_s avec A_{net} et d'importantes variables environnementales, comme la concentration en CO_2 et l'humidité relative de l'air :

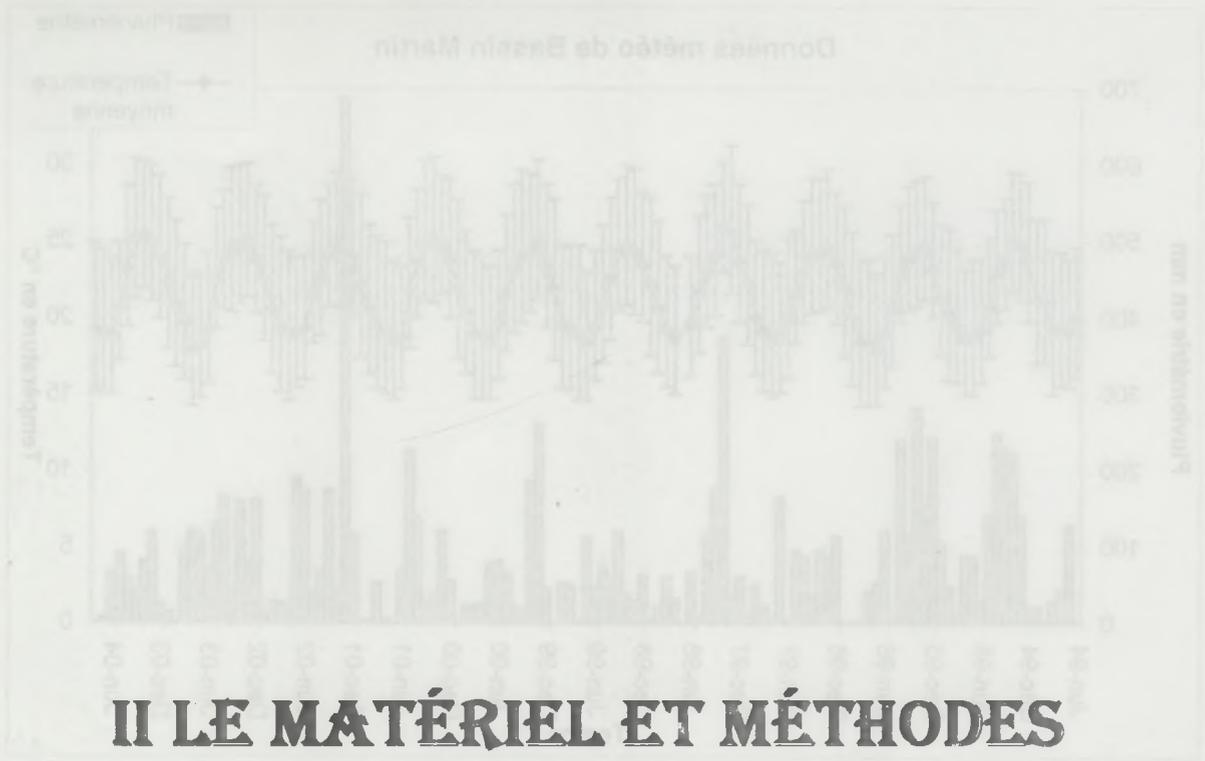
$$g_s = g_0 + m A_{\text{net}} Rh / C_a$$

où : Rh est l'humidité relative, g_0 (conductance stomatique à l'origine) et m (un coefficient empirique du modèle de BWB) sont les interceptes à l'axe des ordonnées de la pente obtenu de régression des moindres carrées.

Des expériences ont montré que ce modèle est celui qui rend le mieux compte des réponses stomatiques chez différentes espèces soumises à différentes températures, intensités de lumière et degrés d'humidité (Collatz et al. 1991, 1992). L'effet du déficit hydrique du sol est encore en discussion. Certains auteurs considèrent que m reste constant et $V_{c_{\text{max}}}$ diminue quand le sol sèche (Sellers et al. 1996, Colello et al. 1998), d'autres considèrent que m diminue (Harley and Tenhunen 1991, Sala and Tenhunen et al. 1996). Xu and Baldocchi (2003) observent que m n'est pas affecté par la sécheresse et l'âge de la feuille.

La photosynthèse nette (A_{net}) varie en fonction de la conductance stomatique (g_s) et de la concentration intracellulaire en CO_2 (C_i) (Urban, 2004),

D'après la littérature, l'assimilation nette des feuilles est souvent anormalement faible. Les raisons principales seraient des limitations fortes par les stomates et des phénomènes de photoinhibition, peut-être liés au manque d'activité des puits à certaines époques de l'année, c'est-à-dire à certains stades de développement de l'arbre (Schaffer et al., 1997 ; Whiley et al., 1999). La photosynthèse nette à l'échelle de l'arbre n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études. En effet, la grande longévité des feuilles de manguier se traduit par de grandes différences d'âge (donc d'efficacité photosynthétique) et d'accès à la lumière (Schaffer et al., 1994).



II LE MATÉRIEL ET MÉTHODES

Figure 8 : Graphique représentant les températures moyennes mensuelles, maximales, minimales ainsi que la pluviométrie mensuelle relevées sur les 10 dernières années à Bassin-Martin

	1	2	3	4	5
A			Gasc 23.02	NG+G 23.74	NG 22.63
B	NG 19.23	Gasc 22.26	NG 19.42	Gasc 20.84	NG 19.96
C	NG 19.23	Gasc 22.26	NG 19.42	Gasc 20.84	NG 19.96
D	Gasc 21.19	G 19.61	Gasc 20.24	G 20.21	NG+G 21.61

Figure 9 : Schéma représentant la parcelle d'étude située à Bassin-Martin.

NG : tamisau sans gushing

G : tamisau avec gushing

Gasc : tamisau avec gushing et privation d'eau

Les cellules grisées représentent les tamisau possédant des capacités de variation de diamètre de ligne FEMTA.

Les chiffres représentent les diamètres de lignes (en mm) relevés le 13/03/2004.

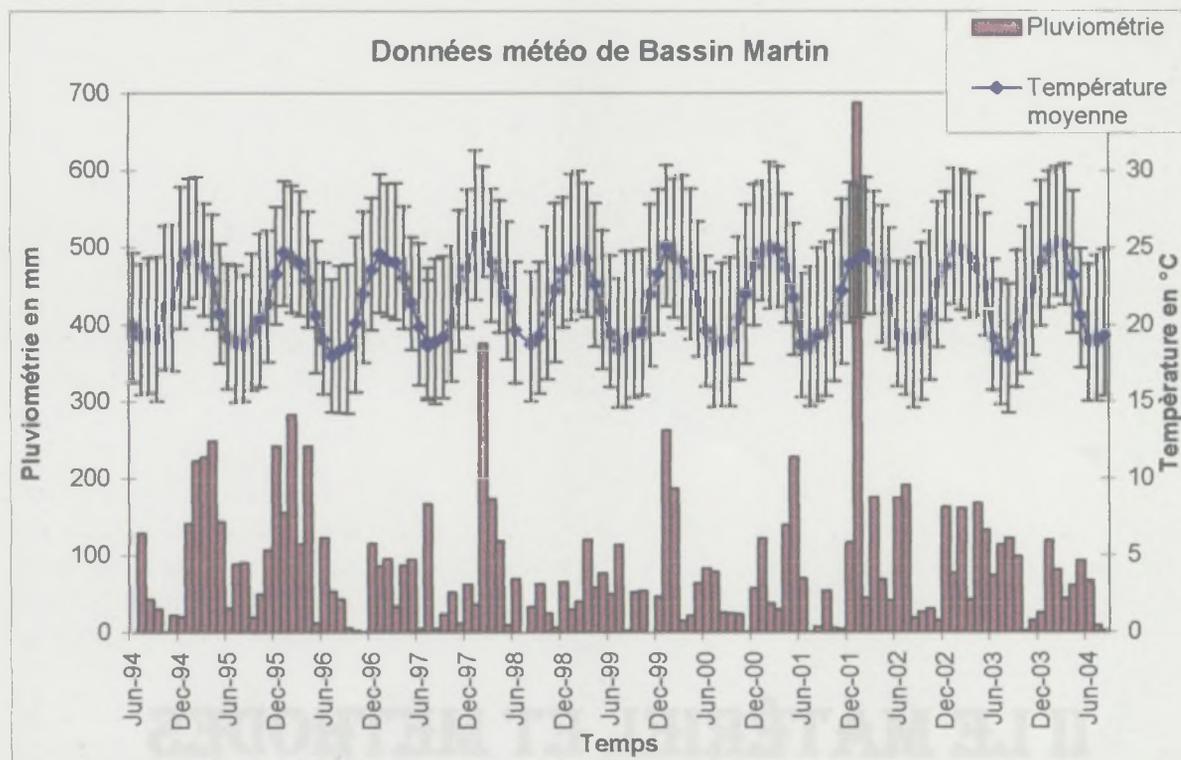


Figure 8 : Graphique représentant les températures moyennes, maximales, minimales mensuelles, ainsi que la pluviométrie mensuelle relevées sur les 10 dernières années à Bassin-Martin.

	5	4	3	2	1
A	NG 22.63	NG+G 23.74	Gsec 23.02		
B	NG 3.34	NG+G 19.94/23.90	NG+G 20.09/20.09	NG+NG 20.54/20.95	NG+G 20.36/19.58
C	Gsec 19.96	Gsec 20.63	NG 19.45	Gsec 22.26	NG 19.22
D	NG+G 21.61/19.80	G 20.55/21.76	Gsec 20.24	G 19.61	Gsec 21.19

Figure 9 : Schéma représentant la parcelle d'étude, située à Bassin-Martin.

NG : rameau sans *girdling*

G : rameau avec *girdling*

Gsec : rameau avec *girdling* et privation d'eau

Les cellules grisées représentent les rameaux possédant des capteurs de variation de diamètre de tige PEPISTA.

Les chiffres représentent les diamètres de tiges (en mm) relevés le 13/02/2004.

Tabelle

Ce chapitre est consacré à la présentation du dispositif expérimental, du matériel végétal, des modèles de la photosynthèse et de la conductance stomatique ainsi que des méthodes de mesure.

2.1 Le contexte climatique de la Réunion

Située dans l'hémisphère sud, légèrement au Nord du tropique du Capricorne, l'île de La Réunion fait partie de l'archipel des Mascareignes, avec les îles Maurice et Rodrigues. Elle se trouve dans la partie sud-ouest de l'océan indien par 55°30' de longitude Est et de 21° de latitude Sud.

Orientée dans la direction nord-ouest/sud-est, sur une longueur maximale de 70 km, la Réunion occupe une superficie de 2 507 km². Située dans la zone de climat tropical humide. La Réunion offre de par son caractère montagneux, de fortes nuances de température et de pluviométrie.

On distingue deux saisons. L'hiver, de mai à octobre, est la saison "fraîche" ou "sèche". Les températures sont douces et les pluies peu abondantes. Ces dernières restent tout de même significatives sur la côte Est de l'île. L'été, de novembre à avril, durant lequel les températures sont plus élevées, l'humidité plus forte et les pluies beaucoup plus importantes, est la "saison chaude" ou la "saison des pluies". L'ensoleillement est très important toute l'année, même au cœur de la saison des pluies.

Le climat réunionnais se singularise surtout par de grandes variabilités liées à la géographie de l'île. La position géographique de l'île à bonne distance de l'équateur et le rôle régulateur de l'océan et des alizés sont les principales causes de la douceur du climat.

La température décroît avec l'altitude. Sur le littoral, les températures moyennes varient entre 21°C l'hiver et 26°C l'été. Dans les hauts de l'île, le climat est plus frais, avec des températures variant de 12°C l'hiver à 17°C l'été à 1500 mètres d'altitude.

La pluviométrie est également très différente entre la côte "au vent", exposée aux alizés, et la côte "sous le vent", qui en est protégée par les massifs montagneux. La côte Est reçoit ainsi de 3 000 à 3 500 mm d'eau par an, alors que la côte Ouest en reçoit moins de 1 000 en bord de mer. Le massif de la Fournaise est particulièrement arrosé avec des précipitations atteignant 12 000 mm par an (cf. Annexe 2).

C'est pendant l'été austral (de janvier à avril) que peuvent se manifester les cyclones tropicaux, souvent générateurs de fortes pluies

Les données climatiques sur la station de Bassin-Martin

La figure 8 représente les températures moyennes, maximales, minimales mensuelles, ainsi que la pluviométrie mensuelle relevées sur les 10 dernières années à Bassin-Martin, où se situe la parcelle d'étude.

2.2 Le dispositif expérimental et conduite culturale

2.1.1 La localisation de la parcelle d'étude et dispositif de plantation

L'ensemble de cet essai s'est déroulé du mois de mars au mois d'août 2004.

La parcelle d'étude est située sur l'île de la Réunion, à Saint-Pierre (20°18'36,8''S, 55°30'29,2''EO et 290m d'altitude). La densité de plantation du verger est de 4 x 5 mètres, soit une densité de 500 arbres/ha.

Lors de la plantation les trous prévus pour accueillir les arbres ont été isolés du reste du sol par une bâche plastifiée, afin de mieux contrôler les différents apports d'eau entre traitements irrigués et non irrigués. L'irrigation est réalisée par un système de goutte à goutte dit « queue de cochon ».



Figure 10 : Photographie de la Li-cor 6400-40 avec ses trois têtes : à plafond transparent (à gauche), mesurant la fluorescence (au milieu) et à lumière rouge et bleue (à droite) (http://weather.nmsu.edu/Teaching_Material/soil698/Student_Material/Photosynthesis/6400.html).

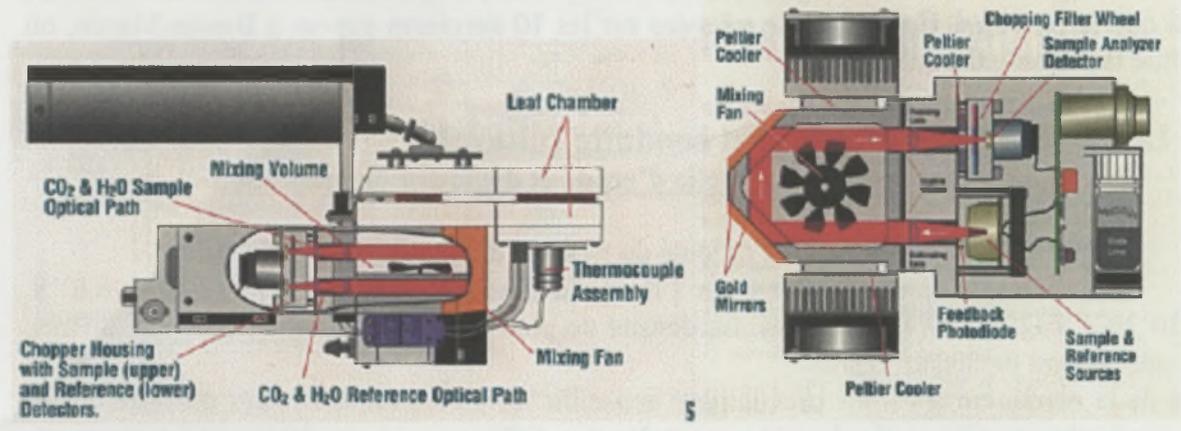
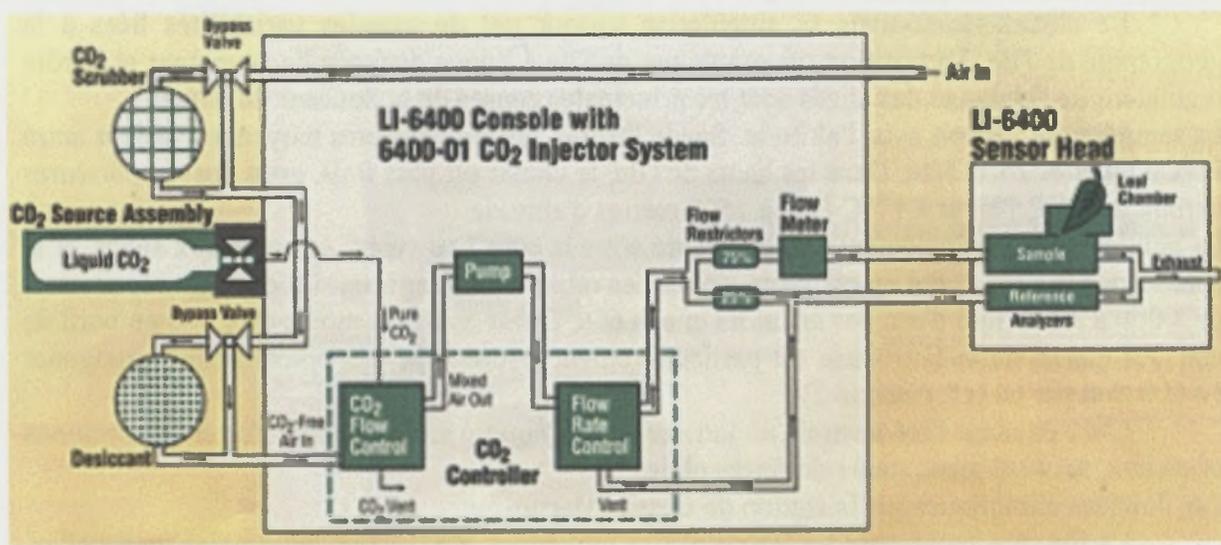


Figure 11 : Principe de mesure de la Li-cor 6400-40 et schéma avec la tête à plafond transparent.

2.1.2 L'organisation de la parcelle et répartition des divers traitements

La parcelle comprend 18 arbres de variété 'Cogshall' sur lesquels se répartissent 24 rameaux qui ont été suivis au cours de ces expériences.

La figure 9 représente le schéma de la parcelle avec la répartition des différents traitements comprenant 11 rameaux *non-girdlés* (NG), 7 rameaux *girdlés* (G), 6 rameaux *girdlés* qui ont subi un arrêt de l'irrigation le 12 mai 2004 (Gsec, correspondant au jour 133) ainsi que la répartition des systèmes PEPISTA sur 15 de ces rameaux.

L'incision annulaire ou *girdling* a été réalisée sur les rameaux le 1^{er} avril (jour 92).

2.1.3 La conduite de la parcelle

2.1.3.1 L'entretien de la parcelle

La fertilisation a été réalisée trois fois par an, avec un produit à diffusion lente, Osmocote (15-9-10).

Le désherbage a été réalisé à la débroussailleuse à cause de la mauvaise accessibilité de la parcelle, quand le besoin s'en faisait sentir.

2.1.3.2 La protection phytosanitaire

Les traitements furent réalisés environ une fois par mois et adaptés en fonction des attaques parasites et des stades phénologiques des arbres. Les traitements utilisés ont principalement été des traitements insecticides, acaricides, plus des traitements fongiques en périodes de floraison contre l'oïdium.

2.1.3.3 L'irrigation

L'irrigation sur la parcelle fut constante tout au long de la durée de l'étude, d'une durée de 2 heures par jour (de 13h à 15h), chaque arbre possédant 10 goutteurs d'un débit de 2 litres par heure. Seul le traitement Gsec a subi un arrêt total d'irrigation à partir du 12 mai (jour 133).

2.3 Le matériel végétal et protocole d'échantillonnage

2.3.1 Le matériel végétal

Les mesures furent effectuées sur des manguiers *Mangifera indica* L. de cultivar 'Cogshall', greffé sur 'Maison Rouge', la plantation a eu lieu en mai 2001.

'Cogshall' est une variété qui fut sélectionnée en Floride dans les années 1940, cette variété est connue pour avoir des arbres de petite taille, une forte production et des fruits d'une bonne qualité gustative et visuelle. Le poids moyen des fruits est d'environ 500 g, d'une couleur de peau jaunâtre-orange, généralement recouverte de cramoisi rouge et brillant, sa chair est douce, dépourvue de fibres, très aromatique et riche en saveurs épicées. Le fruit et l'arbre ont une bonne tolérance aux diverses maladies.

L'arbre reste compact avec un minimum de taille et produit entre 15 à 25 kg de fruits par an (www.fairchildgarden.org/horticulture/mangotrees.html).

→ Pourquoi cette variété ?
Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

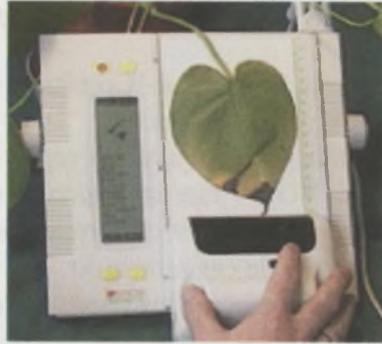


Figure 12 : Photographie du planimètre AM200, ADC BioScientific Limited, Hoddesdon, UK (www.bermtgmbh.de/adc/adc-e.htm).



Figure 13 : Photographie de l'appareil Minolta chlorophyll meter SPAD-502 (www.MinoltaSPAD502DLMeterfromSpectrumTechnologies,Inc.htm).

lieu de l'annulation
sur le rameau / - éuc
→

2.3.2 Le protocole d'échantillonnage

Les rameaux qui ont été suivis lors de cette expérience, ont d'abord été sélectionnés parce qu'ils présentaient une bonne exposition au soleil et qu'ils possédaient également des diamètres comparables, proches de 2 cm (cf. figure 9). → *Tabelle*

Les feuilles qui ont servi aux diverses mesures, ont été sélectionnées selon les mêmes critères sur ces rameaux.

Sur les rameaux suivis, les départs de bourgeons ont été systématiquement supprimés, pour éliminer toute apparition de nouveaux puits de carbone, ce qui aurait modifié les paramètres étudiés ; d'autant plus que les flushs sont asynchrones d'un arbre à l'autre et aussi au sein d'un même arbre.

À l'approche de la période de la floraison, cette pratique a été stoppée (après le jour 160), les bourgeons ont ensuite pu croître normalement.

2.4 Le matériel expérimental

2.4.1 La Li-cor 6400-40

La Li-cor 6400-40 (LI 6400, Li-Cor Inc., Lincoln, USA, cf. figure. 10) est un appareil portable, qui a été utilisé pour réaliser les diverses mesures des paramètres photosynthétiques sur les feuilles des manguiers.

La Li-cor 6400 permet de mesurer les échanges gazeux et de calculer le taux de photosynthèse des plantes.

La photosynthèse nette (A_{net}) correspond au CO_2 assimilé ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Le flux d'air envoyé dans la chambre contenant la feuille est contrôlé, de manière à maintenir le taux de CO_2 envoyé à la feuille constant. Les calculs de cet appareil s'appuient sur les travaux de von Caemmerer et Farquhar (1981). Son fonctionnement repose sur un système de mesure « ouvert ». Les échanges gazeux sont mesurés comme présentés dans les schémas de la figure 11, par des analyseurs infrarouges. La feuille est placée dans une chambre à l'intérieur de laquelle on impose un flux d'air entrant de teneur en CO_2 connue. Les taux d'échanges sont calculés par différence entre la concentration de l'air sortant et celle de l'air entrant.

L'appareil permet de réguler l'environnement dans lequel les mesures sont faites notamment en ce qui concerne le taux de CO_2 , l'intensité lumineuse, la température de feuille (T_f) et l'hygrométrie si nécessaire.

2.4.2 Le planimètre

Le planimètre (AM200, ADC BioScientific Limited, Hoddesdon, UK, cf. figure. 12) sert à déterminer avec précision la surface des feuilles prélevées, à l'aide de son scanner à main.

2.4.3 Le SPAD

Le chlorophyll meter SPAD-502 de Minolta (cf. figure. 13) sert à mesurer le taux de chlorophylle des feuilles. Les mesures réalisées au SPAD peuvent aussi être reliées à l'absorbance (θ) des feuilles.

2.5 Les méthodes de mesure des différents paramètres

L'ensemble de ces paramètres ont été suivis au cours du temps pour les différents traitements avec des séries de mesures environ tous les 20 jours sur la même feuille jusqu'à la fin de la série.

2.5.1 Les mesures d'échanges gazeux

2.5.1.1 La respiration

R_d (la respiration mitochondriale) a été mesurée sur des feuilles adaptées à l'obscurité. On pince la feuille et après au moins cinq minutes sans lumière la mesure est déclenchée après stabilisation. Les mesures ont été effectuées grâce à la Li-Cor 6400-40, munie de la tête Red Blue, d'une surface de 6 cm², qui permet ainsi une meilleure précision de la mesure.

Afin de pouvoir les comparer, les valeurs de R_d ont été corrigées à une température de 30°C, suivant la formule décrite par Leuning (1997) :

$$R_d(T_1) = R_d(T_{ref}) \exp\left(\frac{\Delta H_a \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_1}\right)}{RT_{ref}}\right)$$

avec : la température de référence $T_{ref} = 303$ K (30°C), l'énergie d'activation $\Delta H_a = 38782$ J mol⁻¹, la constante des gaz parfait $R = 8.3143$ J K⁻¹ mol⁻¹ et la température de feuille T_1 .

2.5.1.2 La photosynthèse nette et la conductance stomatique

Les mesures de photosynthèse nette (A_{net}) et de conductance stomatique (g_s) ont été effectuées, au cours de journées de fort ensoleillement (sans nuage) pour que la luminosité reçue par les feuilles soit la plus homogène possible (et si possible au dessus de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La feuille est pincée à l'aide de la Licor 6400-40, munie de la tête à plafond transparent et que l'on a orienté face aux rayons incidents du soleil. La mesure est effectuée quand la photosynthèse et la conductance atteignent leurs valeurs maximales, avant de décliner.

La photosynthèse brute (A_{brut}) a été calculée à partir de A_{net} et de R_d (corrigé en fonction de la température de la feuille) selon la formule :

$$A_{brut}(T_1) = A_{net}(T_1) - R_d(T_1)$$

Les courbes g_s en fonction de A_{net} ont été réalisées pour les différentes dates de mesures et les régressions linéaires ont été calculées avec S-Plus 2000 (MathSoft International, Bagshot, UK) afin d'obtenir les équations des droites de régression, ainsi que leur coefficients de corrélation.

2.5.2 Les mesures de fluorescence de la chlorophylle

2.5.2.1 Les F_v/F_m

Les mesures de fraction de photons absorbée pour la voie photochimique (F_v/F_m) ont été réalisées deux fois dans la même journée une fois le matin et une fois vers midi.

Les mesures de F_v/F_m du matin ont été réalisées sur des feuilles de manguiers ensachées la veille au soir avec de l'aluminium de façon que la feuille ne puisse recevoir de

rayons lumineux ce qui a pour effet d'ouvrir les centres réactionnels au maximum. Les mesures ont été effectuées grâce à l'appareil Li-Cor 6400-40 muni de sa tête fluorométrique.

Les mesures de F_v/F_m du midi ont été réalisées suite à un ensachage des feuilles d'une durée de 30 minutes, les feuilles ayant déjà reçu de la lumière le matin. Les mesures ont ensuite été effectuées suivant le même protocole que précédemment.

2.5.2.2 L'efficacité quantique maximale et le flux d'électrons maximal en lumière saturante

Les mesures ont été effectuées sur des feuilles possédant un bon ensoleillement, grâce à l'appareil Li-Cor 6400-40 et la tête fluorométrique.

Nous avons réalisé des courbes de réponse à des niveaux d'intensité lumineuse décroissants : 2000, 1000, 400 et 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ avec 10% de lumière bleue. Les données recueillies sont ensuite traitées sous S-Plus (S-Plus 2000, MathSoft International, Bagshot, UK) à partir desquelles sont déduits l'efficacité quantique maximale (α , mol électrons par mol photons) et le flux d'électrons maximal en lumière saturante (J_{max} , $\mu\text{mol électrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), grâce à une régression non-linéaire de Φ_{PSII} en fonction de l'intensité lumineuse (Q) suivant la formule (Levavasseur, 2003) :

$$\Phi_{\text{PSII}} = \frac{2 \alpha}{\theta \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha Q}{J_{\text{max}}}\right)^2}}$$

avec : l'absorbance θ égale à 0,8 ; valeur utilisée dans le cas des feuilles persistantes et épaisses.

Cette formule est le résultat de la combinaison des deux équations suivantes :

$$J = 0.5 \Phi_{\text{PSII}} \theta Q$$

$$J = \frac{\alpha Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{\alpha Q}{J_{\text{max}}}\right)^2}}$$

La valeur de 0,5 est utilisée selon l'hypothèse que 50% de la lumière est reçue par les photosystèmes II.

Les valeurs de J_{max} ainsi obtenues sont ensuite ramenées à une température identique de 30°C, afin de pouvoir plus facilement les comparer. Cette correction utilise la formule suivante (Leuning 1997) :

$$J_{\text{max}}(T_1) = J_{\text{max}}(T_{\text{ref}}) \frac{\exp\left(\frac{\Delta H_a \left(1 - \frac{T_{\text{ref}}}{T_1}\right)}{RT_{\text{ref}}}\right) \left(1 + \exp\left(\frac{\Delta S T_{\text{ref}} - \Delta H_d}{RT_{\text{ref}}}\right)\right)}{1 + \exp\left(\frac{\Delta S T_{\text{ref}} - \Delta H_d}{RT_1}\right)}$$

avec : la température de référence $T_{ref} = 303 \text{ K}$ (30°C), l'énergie d'activation $\Delta H_a = 38782 \text{ J mol}^{-1}$, l'énergie de désactivation $\Delta H_d = 102211 \text{ J mol}^{-1}$, l'entropie $\Delta S = 317 \text{ J mol}^{-1}$, la constante des gaz parfait $R = 8.3143 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ et la température de feuille T_l .

2.5.2.3 Les mesures de Q_p et de NPQ

Les mesures ont été réalisées sur des feuilles adaptées à l'obscurité, après avoir été ensachées environ 30 minutes dans des pochettes en aluminium. On pince la feuille à l'aide de la Li-Cor 6400-40, munie de la tête fluorométrique. On attend la stabilisation des paramètres dF/dt et $FlrCV\%$ (qui doivent être respectivement inférieurs à 5 et 1), on effectue une première mesure sans lumière, puis on impose 2000, 1200 et 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de lumière actinique, toujours avec 10% de lumière bleue.

2.5.3 Les mesures d'absorbance

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un appareil Minolta chlorophyll meter SPAD-502 à au moins quatre endroits différents de la feuille, afin d'homogénéiser et d'obtenir une valeur moyenne. Cette méthode a l'avantage d'être non destructrice pour les feuilles étudiées et d'estimer la quantité de chlorophylle dans les feuilles, qui est en relation directe avec l'état de santé de l'arbre. Il existe une relation entre le taux de chlorophylle et l'état de nutrition de la plante, ainsi une diminution des valeurs mesurées est généralement l'indication d'une diminution du taux de chlorophylle et d'azote dans les feuilles observées (www.geneq.com/catalog/en/spad-502.html).

Le principe de la mesure est basé sur l'analyse de spectre de la lumière effectuée par l'intermédiaire de la pince placée sur la feuille (www.specmeters.com).

Après l'établissement d'une relation entre les mesures du SPAD et une sphère d'intégration Licor, Lic1800-12S reliée à un spectromètre (Fieldspec ProFR, Analytical Spectral Devices, inc., Boulder, Co), il a été montré la corrélation entre les mesures du SPAD et l'absorbance mesurée, suivant l'équation :

$$\text{Absorbance} = -0,000035 x^2 + 0,006673 x + 0,547776 \quad R^2 = 0,979285$$

2.5.4 Les mesures de variation de diamètre de tiges

Système PEPISTA a permis de suivre les variations de diamètre de tiges des rameaux dans les divers traitements, de comparer ainsi les amplitudes des variations nocturnes et diurnes ainsi que la bonne croissance des rameaux. Mais les données n'ayant pas encore été traitées totalement, elles n'ont pas pu être analysées. *-> intérêt*

2.5.5 Les mesures de gap fractions

Les prélèvements ont été effectués à la fin de chaque série de mesures, après avoir pris des photos *fish eyes* à l'emplacement de la feuille. Ces photos après traitement informatique donnent les valeurs des *gap fractions* de chacune des feuilles. Les *gap fractions* servent à vérifier l'accès à la lumière de chaque feuille, ce qui correspond à la portion du ciel visible depuis la feuille. Les valeurs de *gap fractions* ont été calculées grâce au logiciel HemiView (HemiView 3.1 SR1, Delta-T devices, UK), mais la totalité des photos n'étant pas encore traitées ces résultats seront exploités ultérieurement.

2.5.6 Les prélèvements des feuilles

Les feuilles ont été détachées de leur branche avec le pétiole et emballées dans de l'aluminium, afin de les protéger de la lumière. Après les avoir pesées, on a déterminé la surface des feuilles à l'aide d'un planimètre (AM200, ADC BioScientific Limited, Hoddesdon, UK), ensuite les feuilles ont été congelées et conservées à - 40°C et ce, jusqu'à leur analyse en laboratoire après les avoir lyophilisées pour obtenir leur poids sec.

Les analyses qui seront réalisées *a posteriori* auront pour but de déterminer les taux d'azote et des taux de sucres sous ses formes solubles et non solubles dans ces feuilles.

2.5.7 Les traitements statistiques des résultats et la présentation des graphiques

Les analyses statistiques ont été effectuées par comparaisons de variances (ANOVA), suivies de comparaisons multiples de moyenne sur S-Plus 2000 (MathSoft International, Bagshot, UK). Les comparaisons se faisant au risque de 5%. Les régressions linéaires ont été obtenues par la méthode des moindres carrés, tandis que les régressions non-linéaires le furent par celle du maximum de vraisemblance.

Les résultats des moyennes sont exprimés avec des barres d'erreurs correspondant aux erreurs standards.

Les résultats des analyses statistiques sont présentés sur les graphiques, pour un même traitement au cours du temps (lettres en minuscules) et entre traitements pour une même date (lettres en majuscules). Les analyses statistiques qui ne sont pas significativement différentes partagent la même lettre.

Les traits présents sur les graphiques aux jour 92, 133 et 170 symbolisent respectivement les dates de pratique du *girdling*, l'arrêt de l'irrigation d'une partie du traitement *girdlé* (Gsec) et le début du débourrement des bourgeons.

↳ flexion ?

III LES RÉSULTATS ET LA DISCUSSION

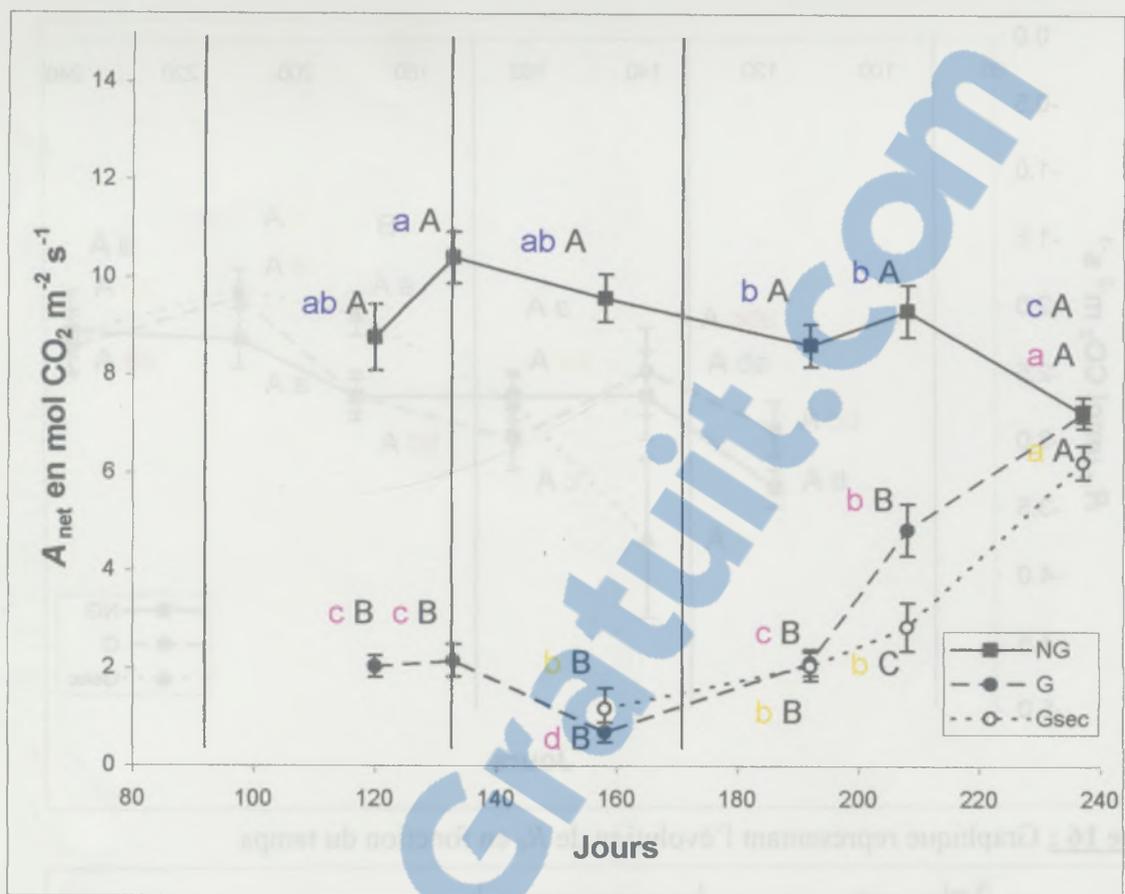


Figure 14 : Graphique représentant l'évolution de A_{net} en fonction du temps.

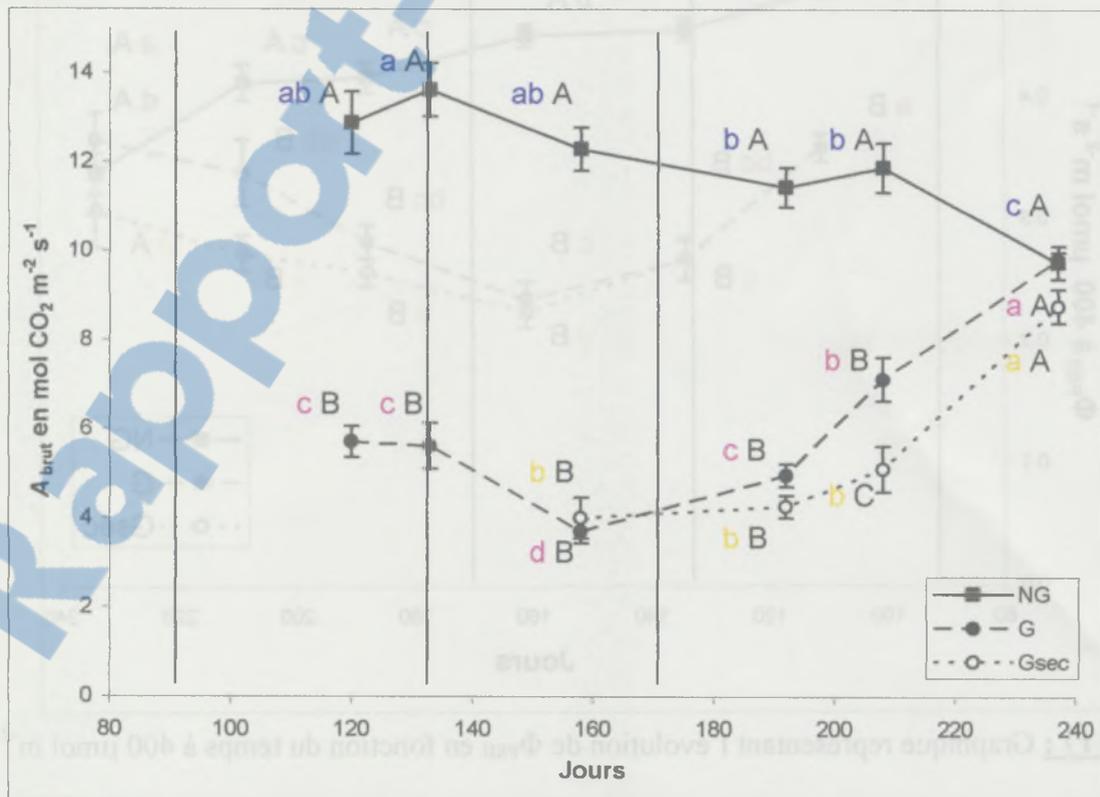


Figure 15 : Graphique représentant l'évolution de A_{brut} en fonction du temps.

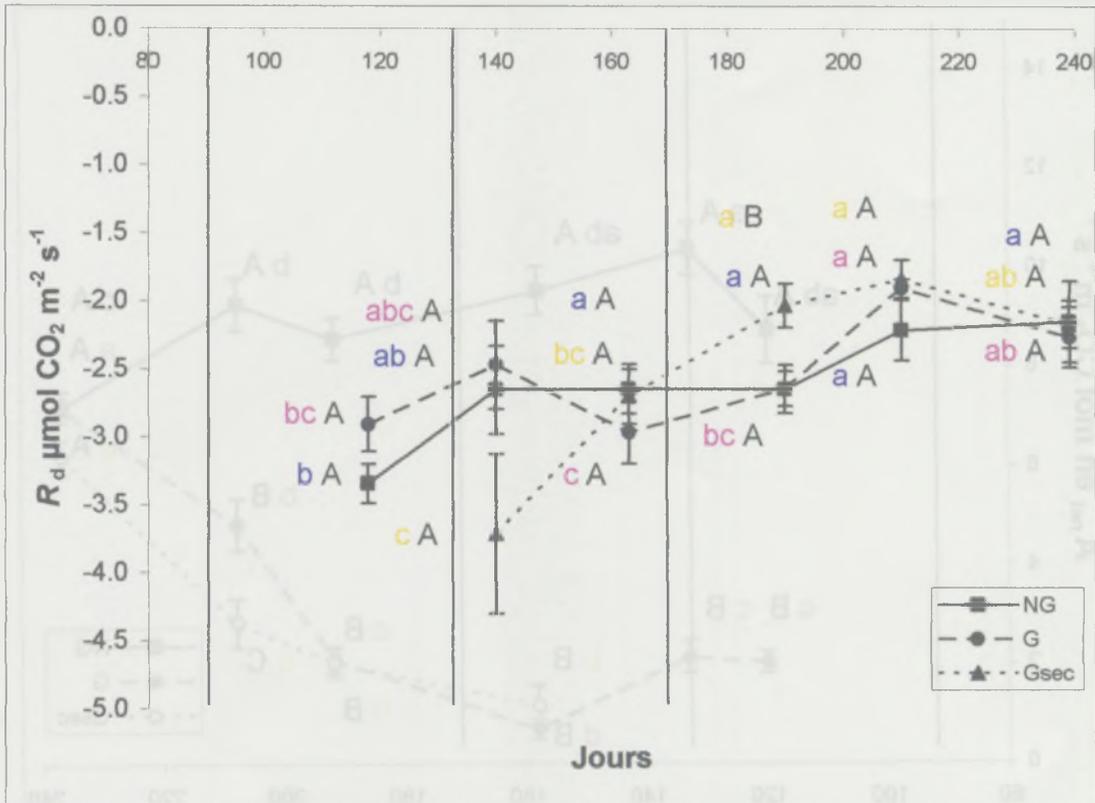


Figure 16 : Graphique représentant l'évolution de R_d en fonction du temps.

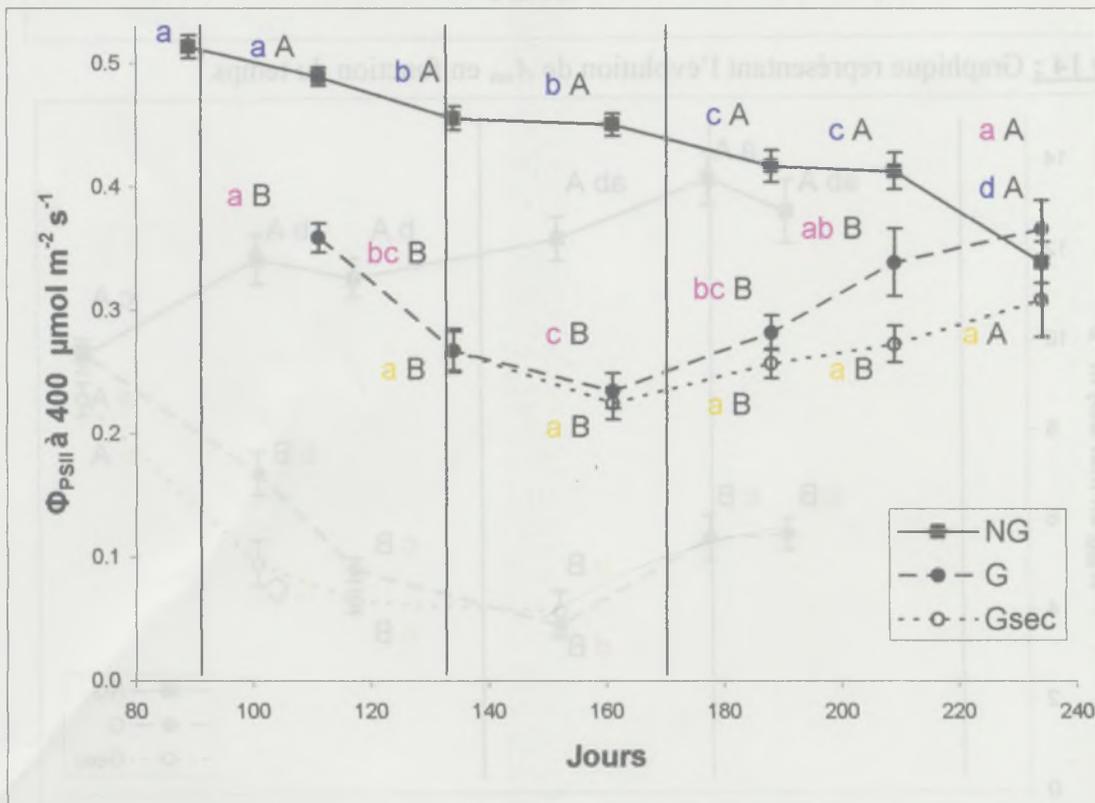


Figure 17 : Graphique représentant l'évolution de Φ_{PSII} en fonction du temps à 400 µmol m⁻² s⁻¹.

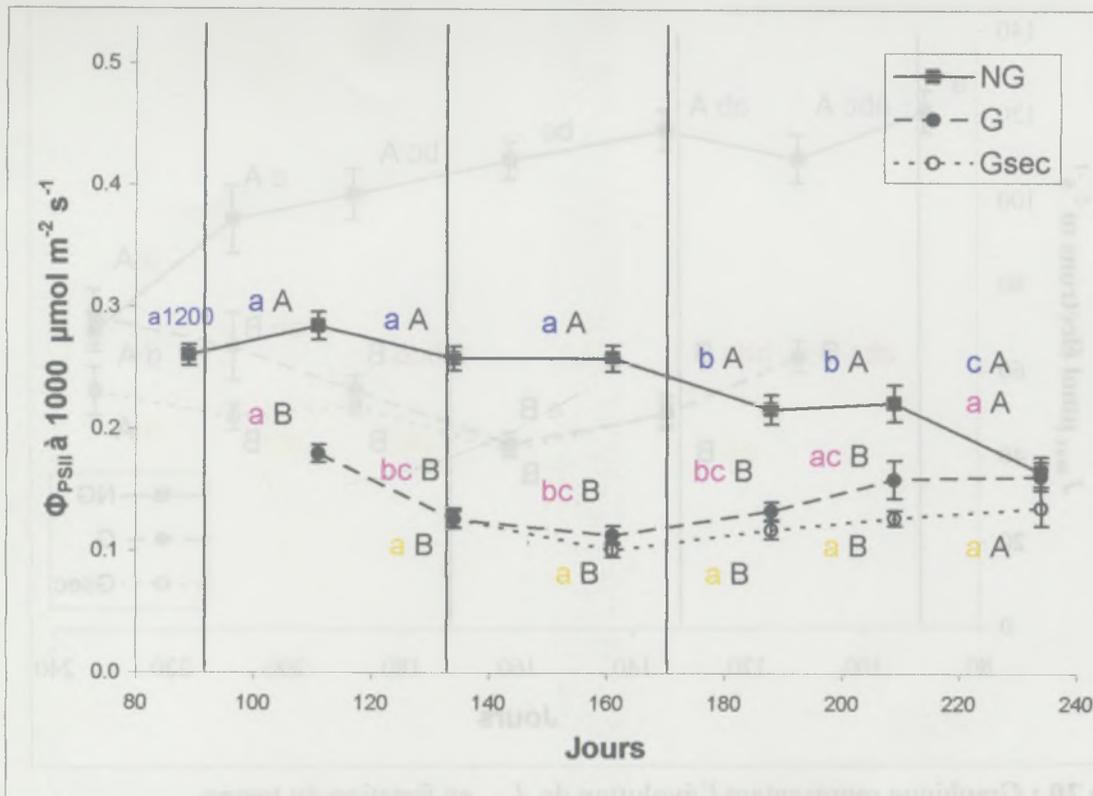


Figure 18 : Graphique représentant l'évolution de Φ_{PSII} en fonction du temps $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

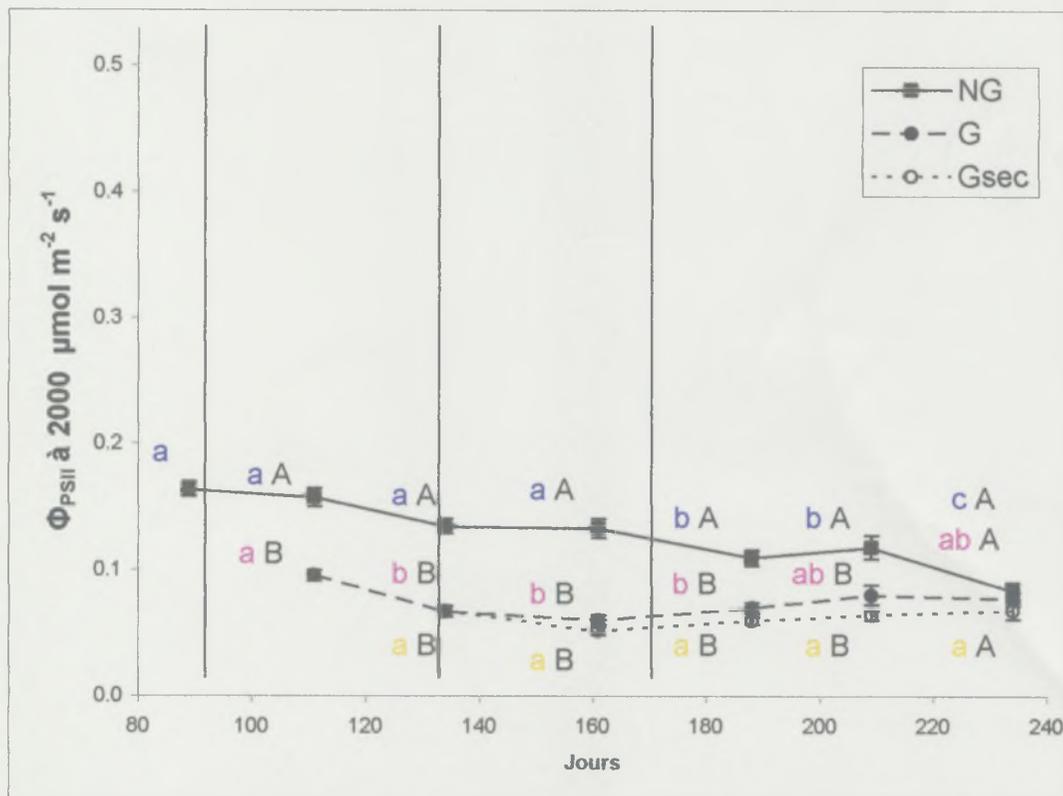


Figure 19 : Graphique représentant l'évolution de Φ_{PSII} en fonction du temps $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

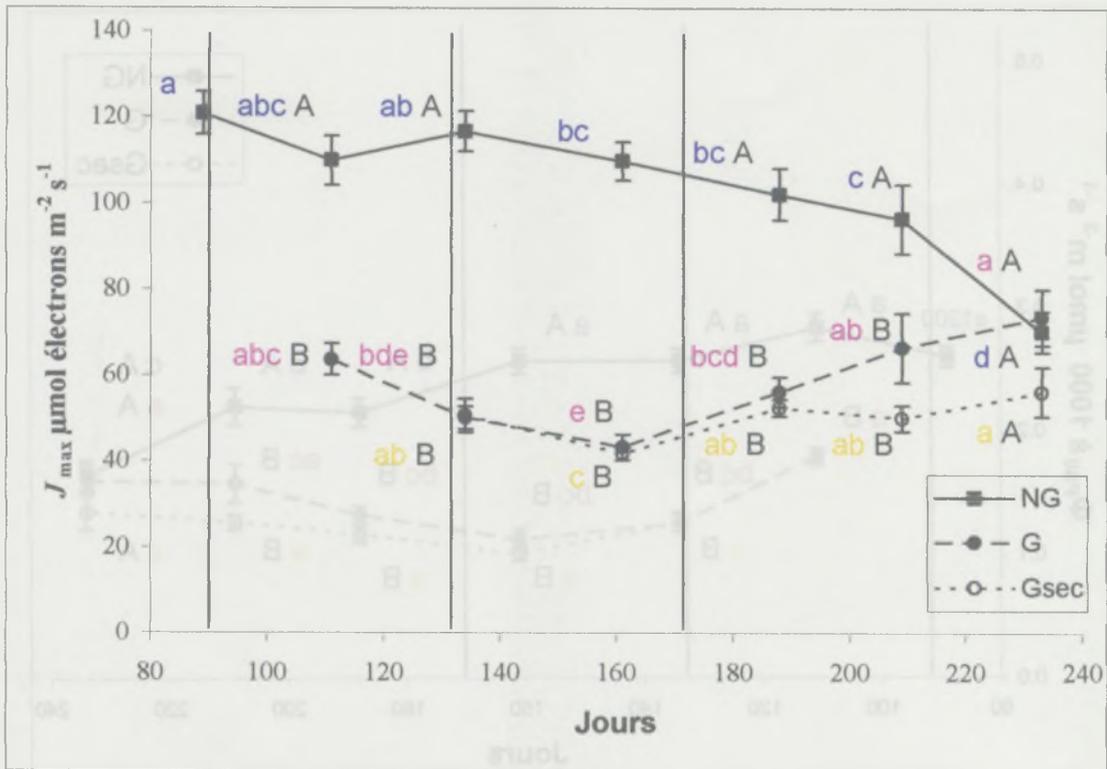


Figure 20 : Graphique représentant l'évolution de J_{\max} en fonction du temps.

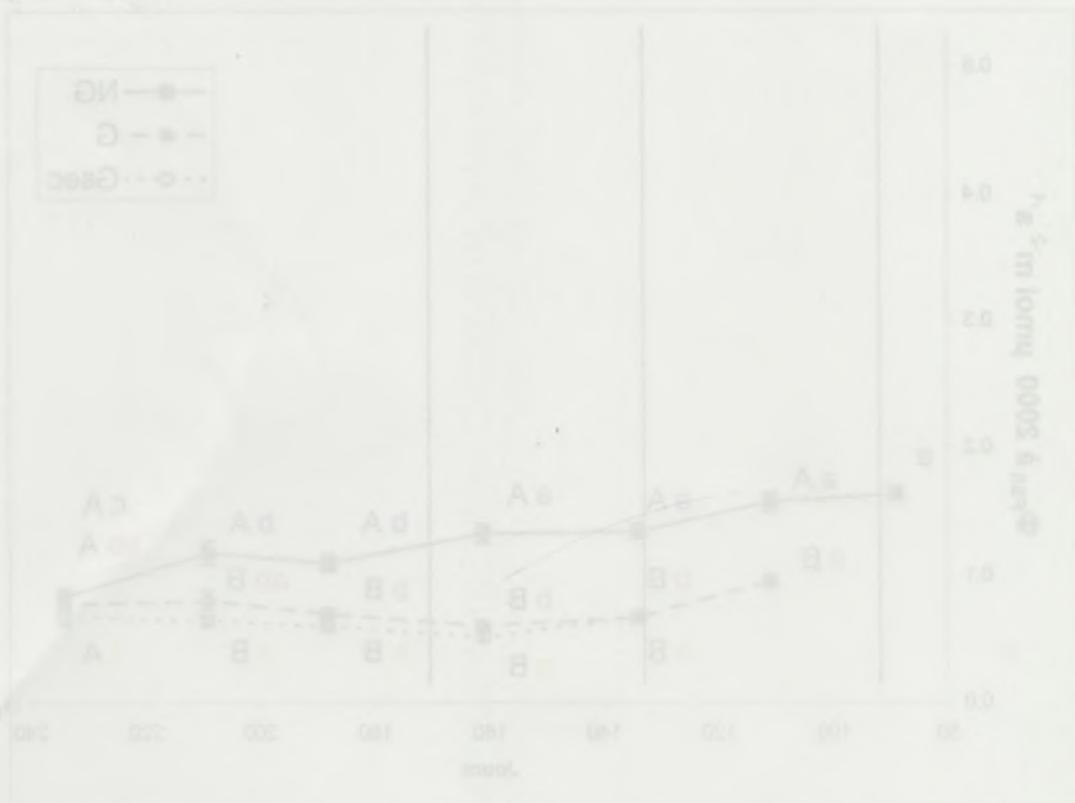


Figure 19 : Graphique représentant l'évolution de J_{\max} en fonction du temps 5000 $\mu\text{mol m}^{-2}$.

Tous les résultats et les interprétations qui vont suivre ont pour but d'analyser et d'expliquer les variations et les différences de A_{net} .

3.1 Les résultats

Afin d'être plus clair dans l'analyse des résultats, il a été choisi de traiter uniquement le traitement *non girdlé* (NG) et le traitement *girdlé* (G), dans un premier temps, le traitement *girdlé-sec* (Gsec) étant analysé individuellement.

3.1.1 La photosynthèse nette (A_{net}) et brute (A_{brut})

La photosynthèse nette représente l'assimilation de carbone par les feuilles. Nous avons également calculé la photosynthèse brute, qui est en rapport plus direct avec la capacité photosynthétique que la photosynthèse nette.

A_{net} et A_{brut} pour le traitement NG (figures 14 et 15) sont stables (statistiquement non différentes) avant le débourrement floral, avec des valeurs proches de $10 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pour A_{net} et de $13 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pour A_{brut} .

Après le débourrement (jour 170) ces valeurs chutent à $7,2 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pour A_{net} et à $9,8 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pour A_{brut} au jour 237.

A_{net} et A_{brut} sont nettement inférieurs dans les traitements G par rapport au traitement NG et ceci très rapidement après la mise en place du *girdling* (jour 92), avec des valeurs proches de $1,5 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pour A_{net} et $5 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pour A_{brut} .

On observe un rétablissement des valeurs vers la normale (NG) pour le traitement G à partir du débourrement, le traitement G ne présente plus de différence significative à partir du jour 237.

3.1.2 La respiration de nuit (R_d)

La respiration (R_d) exprimée en valeurs absolue est stable (environ $3 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), entre les jours 118 et 163, dans les deux traitements NG et G (figure 16).

Après le début du débourrement floral (après le jour 170) les valeurs de R_d diminuent jusqu'à $2 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (au jour 240).

3.1.3 L'efficacité photochimique des photosystèmes II (Φ_{PSII}) et flux d'électrons maximal en lumière saturante (J_{max})

Φ_{PSII} diminue faiblement au cours du temps avant le débourrement dans le traitement NG, pour les trois intensités lumineuses 400 , 1000 et $2000 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (figures 17, 18 et 19).

On remarque la même tendance pour J_{max} qui passe d'environ $115 \text{ } \mu\text{mol électrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ avant le débourrement à $70 \text{ } \mu\text{mol électrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ au jour 233 à la pleine floraison (figure 20).

Après le débourrement la diminution de Φ_{PSII} et de J_{max} s'accroît dans le traitement NG.

La diminution de Φ_{PSII} et de J_{max} est beaucoup plus fortement marquée dans le traitement G jusqu'au débourrement floral, avec des valeurs pratiquement inférieures de moitié au traitement NG pour J_{max} qui passe de 63 à $43 \text{ } \mu\text{mol électrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ du jour 111 à 161. Après le débourrement floral, J_{max} remonte dans le traitement G pour atteindre des

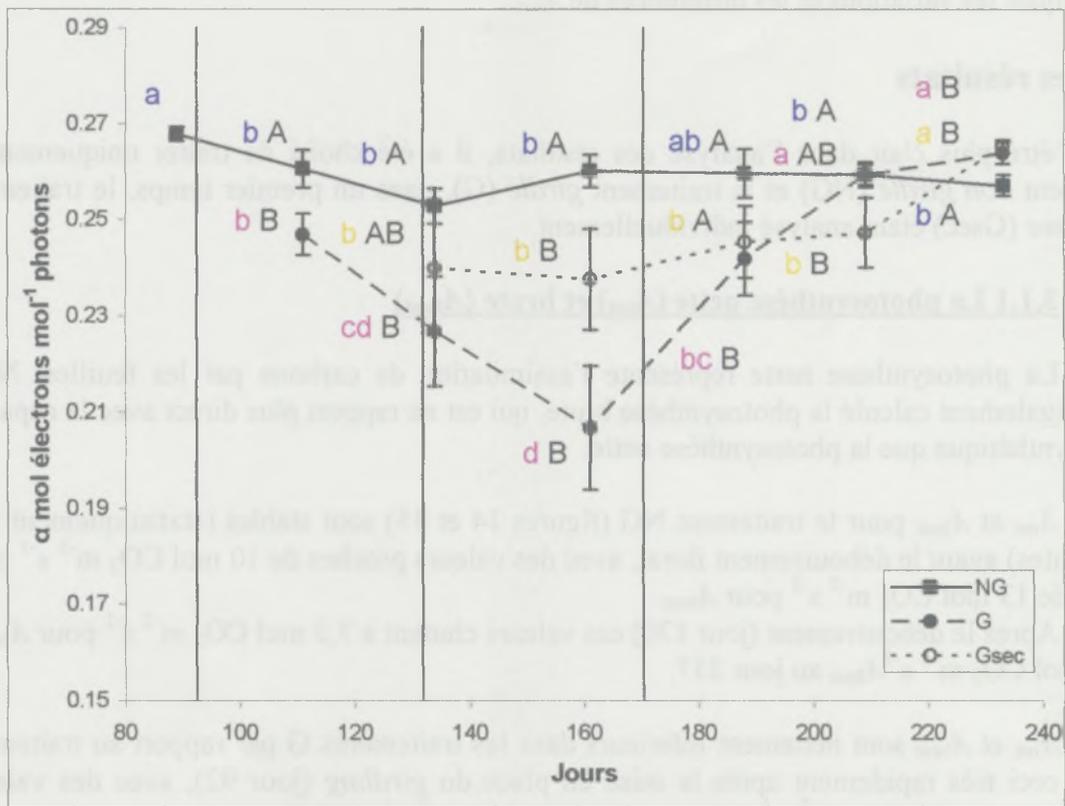


Figure 21 : Graphique représentant l'évolution de α en fonction du temps.

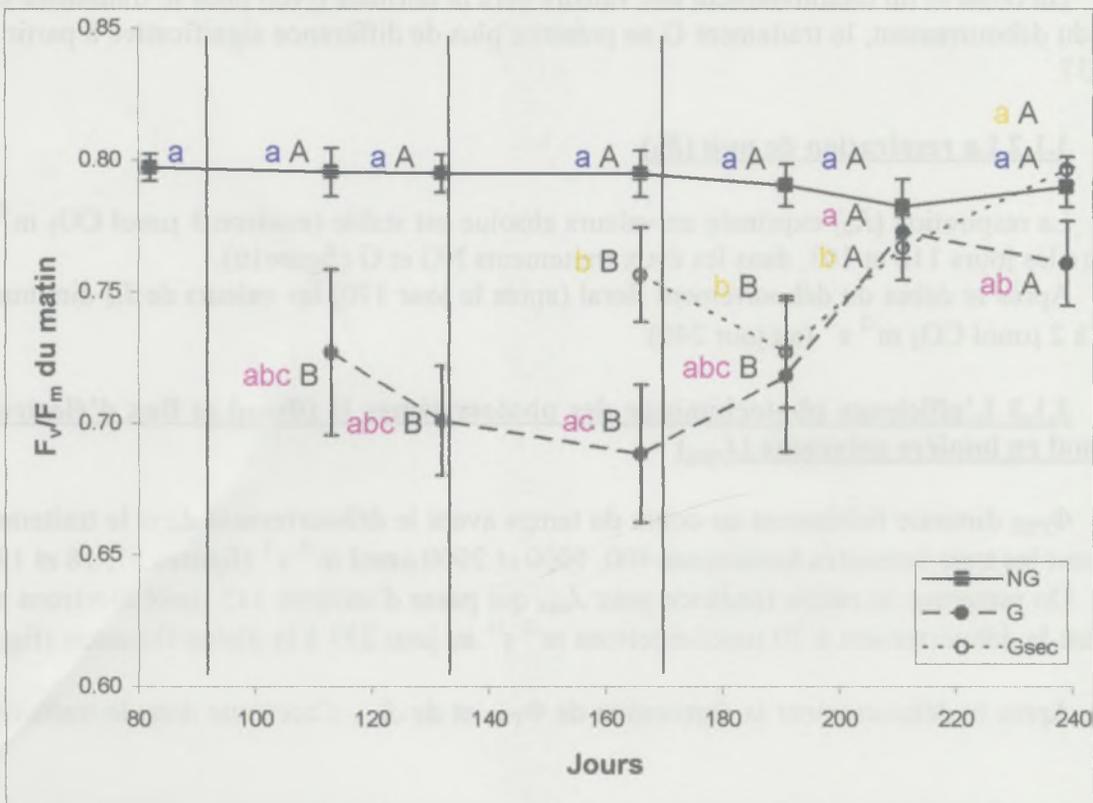


Figure 22 : Graphique représentant l'évolution de F_v/F_m en fonction du temps.

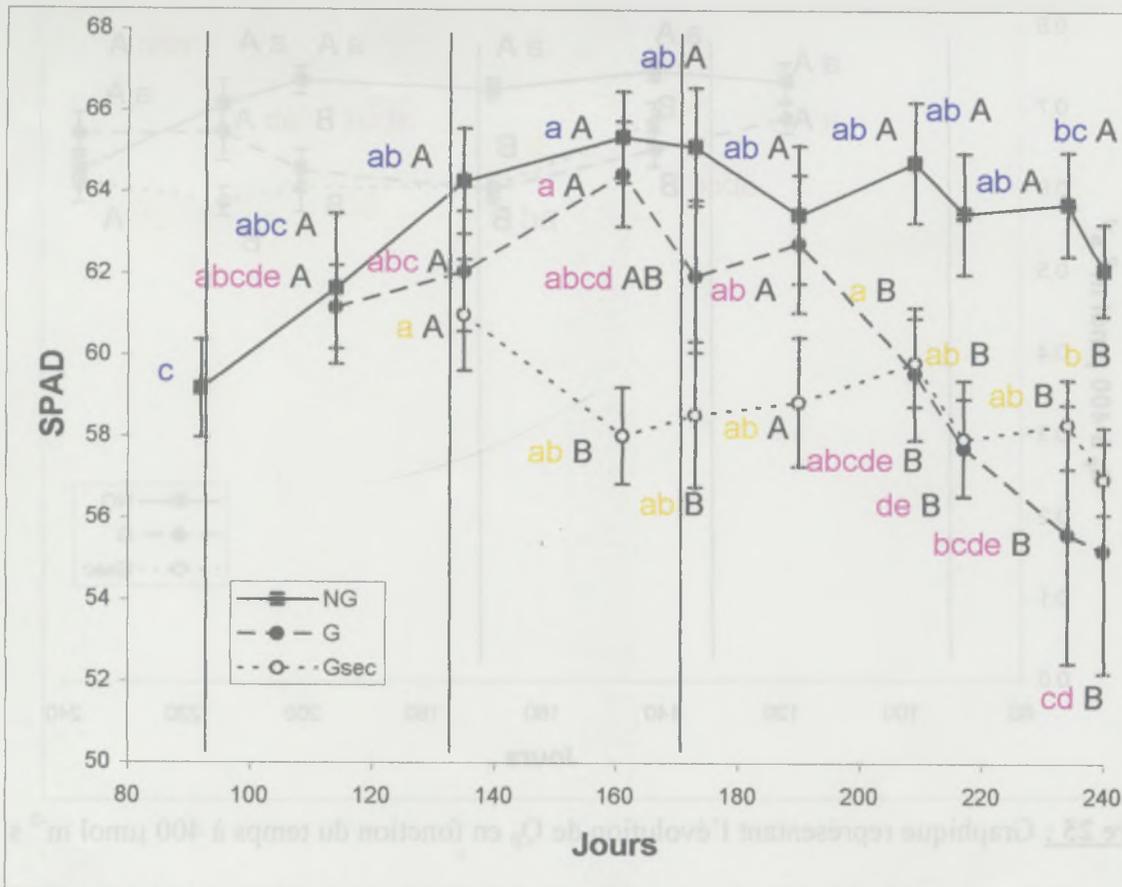


Figure 23 : Graphique représentant l'évolution des valeurs de SPAD en fonction du temps.

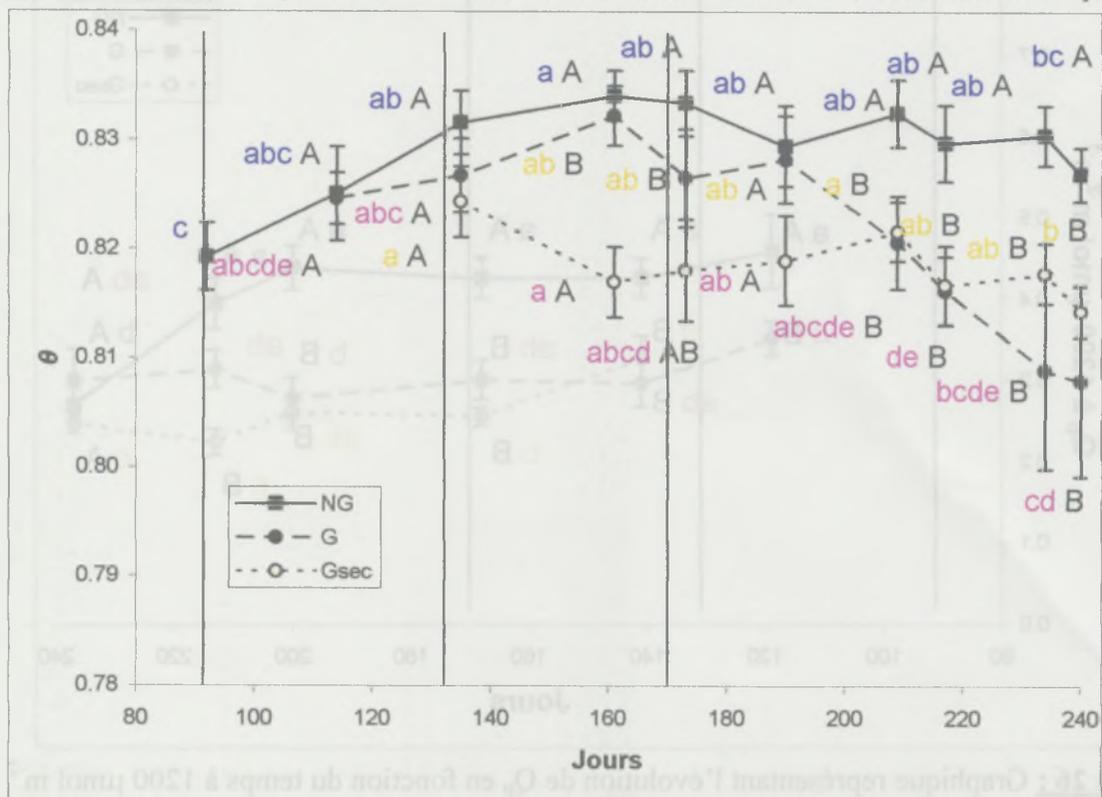


Figure 24 : Graphique représentant l'évolution de l'absorbance (θ) en fonction du temps.

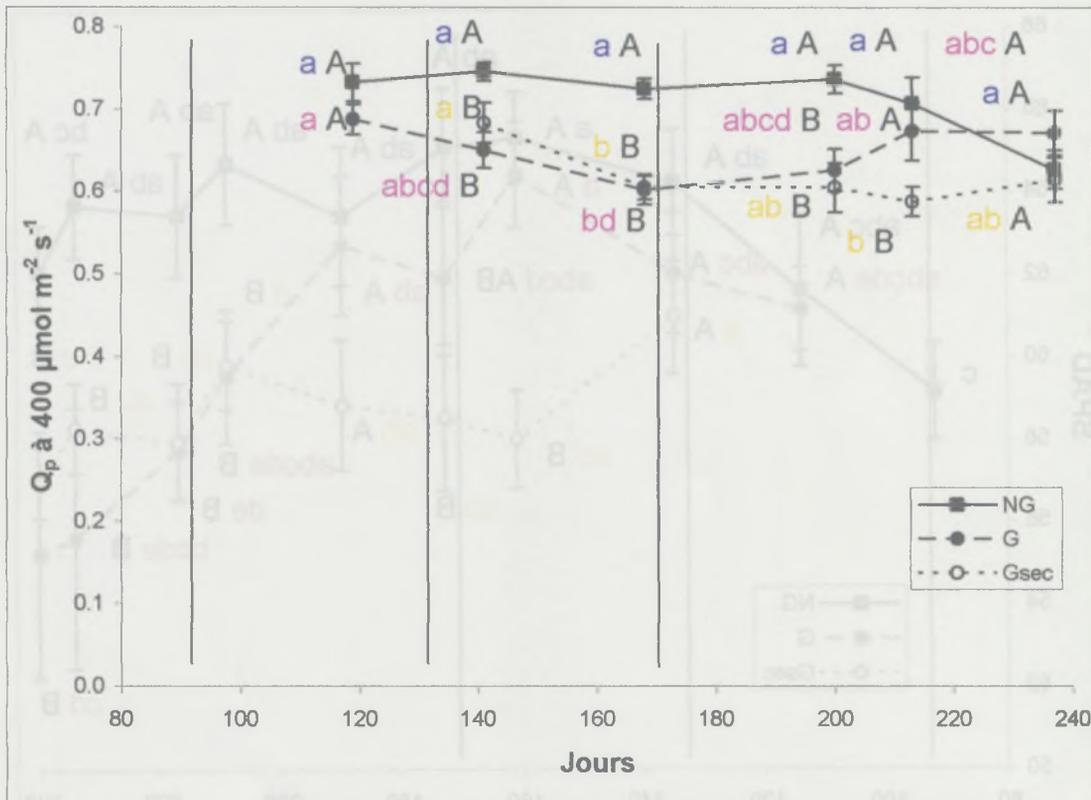


Figure 25 : Graphique représentant l'évolution de Q_p en fonction du temps à $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

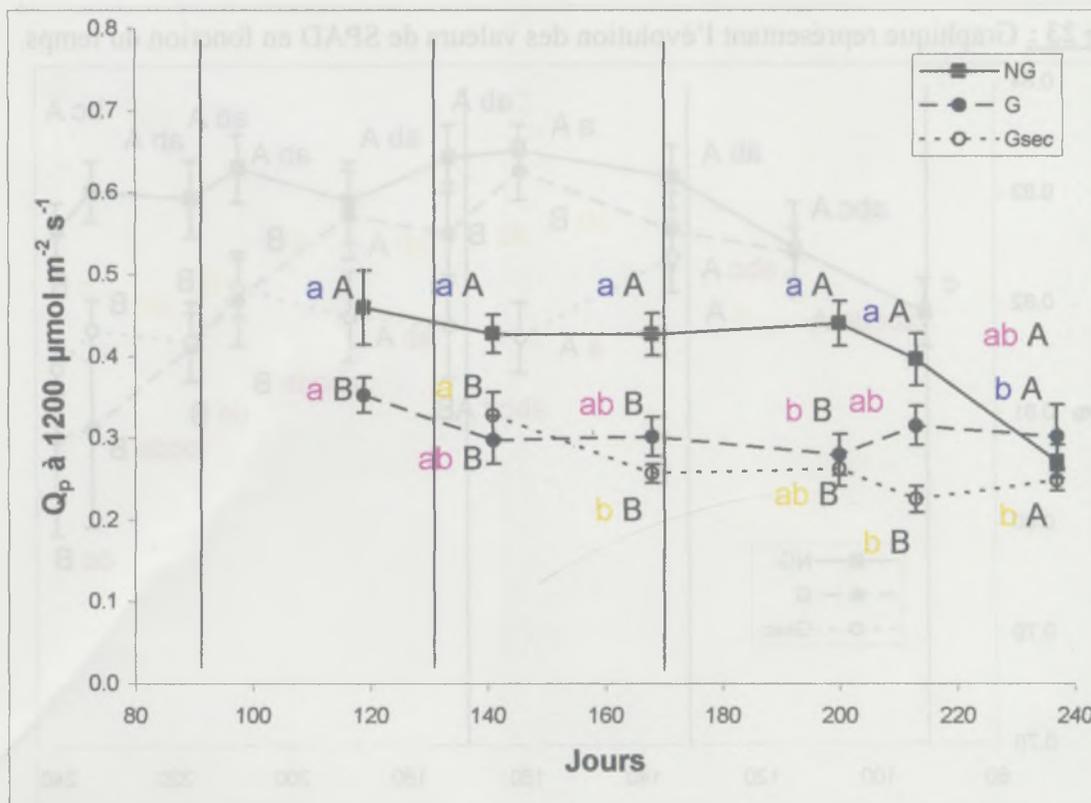


Figure 26 : Graphique représentant l'évolution de Q_p en fonction du temps à $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

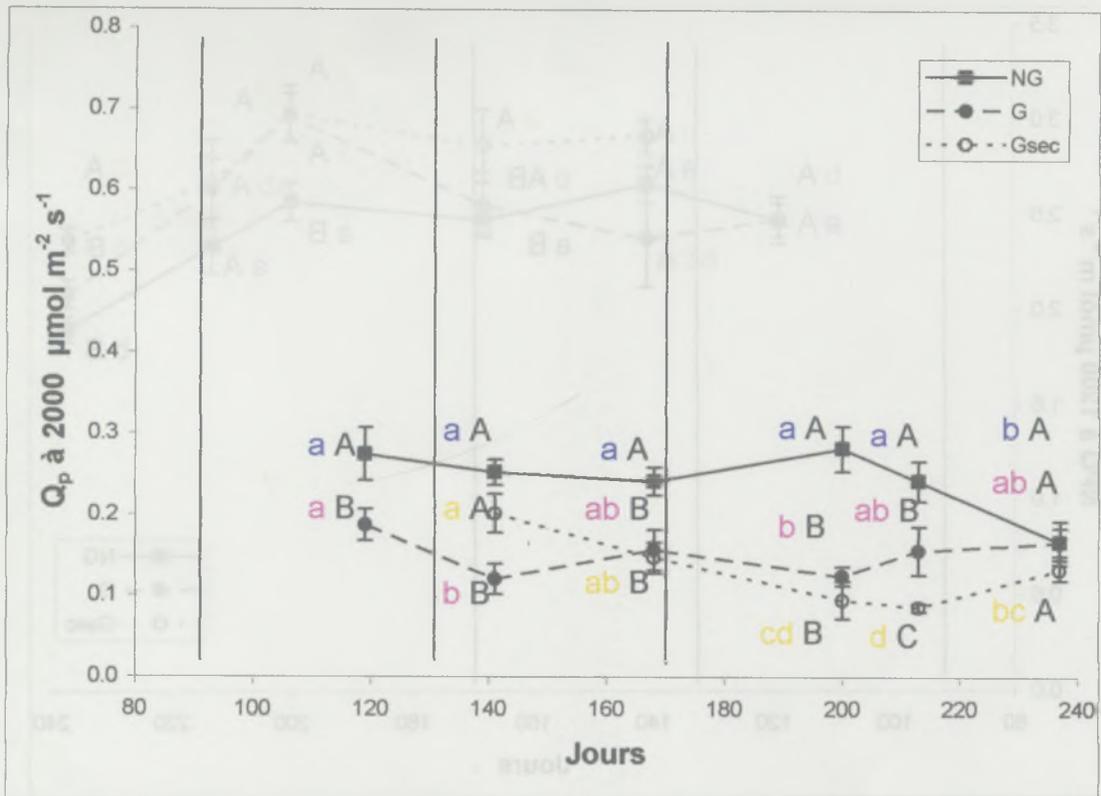


Figure 27 : Graphique représentant l'évolution de Q_p en fonction du temps à 2000 µmol m⁻² s⁻¹.

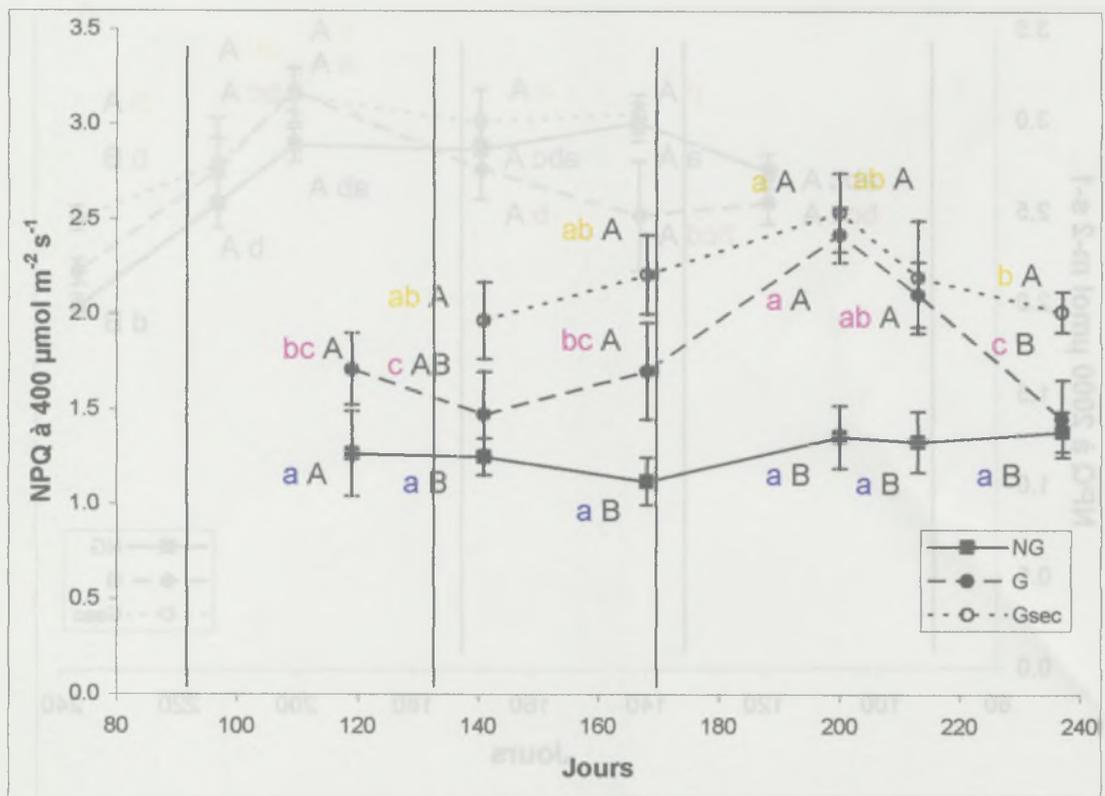


Figure 28 : Graphique représentant l'évolution de NPQ en fonction du temps à 400 µmol m⁻² s⁻¹.

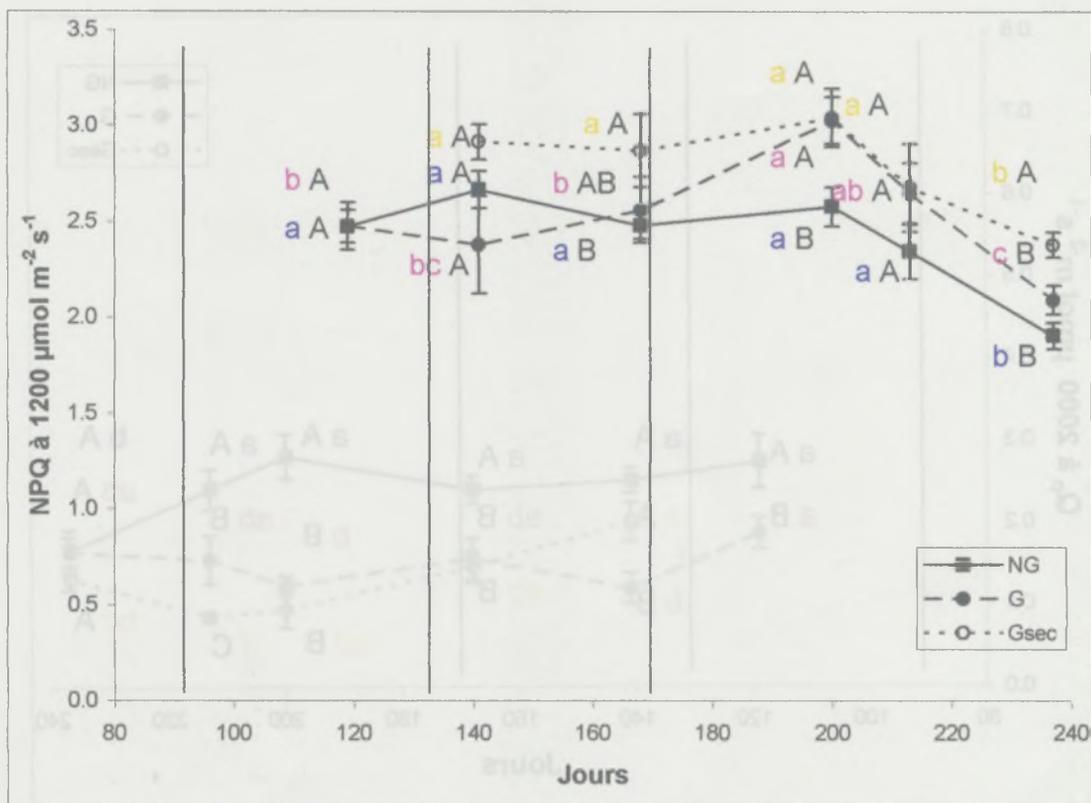


Figure 29 : Graphique représentant l'évolution de NPQ en fonction du temps à 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

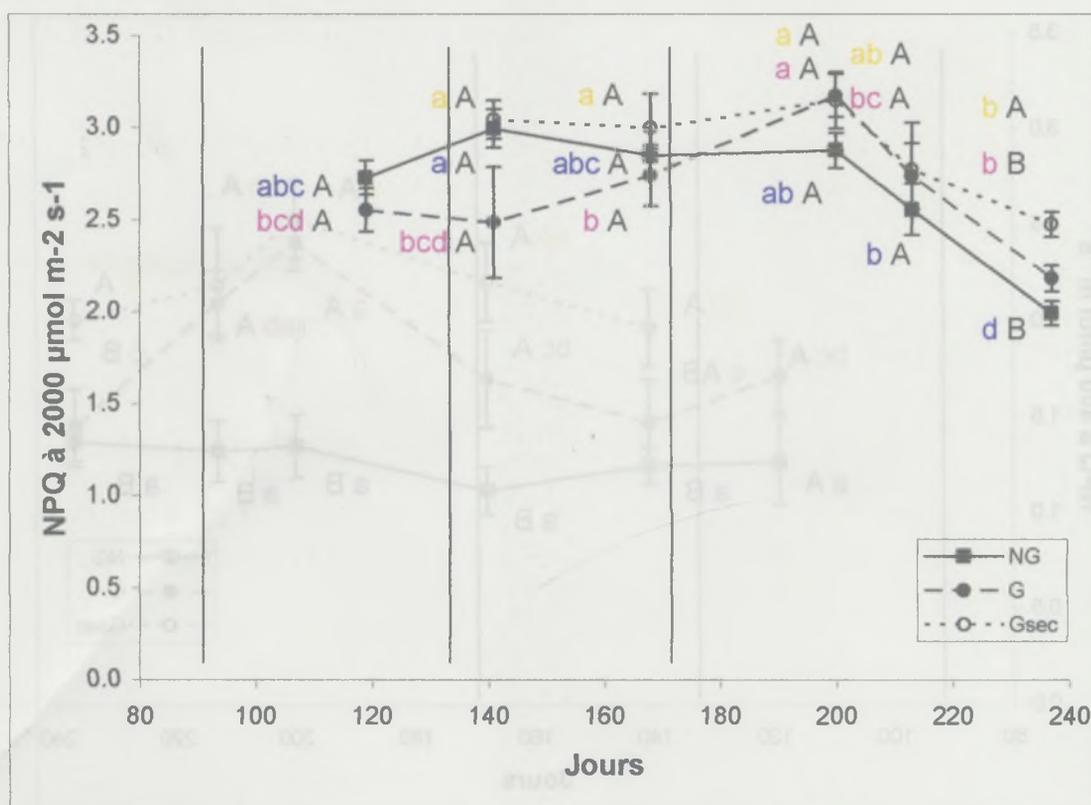


Figure 30 : Graphique représentant l'évolution de NPQ en fonction du temps à 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

valeurs comparables à celles du traitement NG (73,5 μmol électrons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ au jour 233) à la pleine floraison.

3.1.4 L'efficacité quantique maximale (α) et de l'efficacité photochimique potentielle des photosystèmes II (F_v/F_m)

α et F_v/F_m apparaissent stables tout au long des essais pour le traitement NG (0,26 mol électrons mol^{-1} photons pour α et de 0,79 pour F_v/F_m , figures 21 et 22)

À l'inverse de NG, les valeurs d' α et de F_v/F_m , diminuent fortement dans le traitement G, de 0,247 à 0,2 mol électrons mol^{-1} photons pour α aux dates 111 et 161, et de 0,72 et 0,68 pour F_v/F_m aux dates 133 et 166, respectivement.

Les valeurs d' α et de F_v/F_m remontent après le débourrement (jour 170), pour atteindre 0,26 mol électrons mol^{-1} photons au jour 233 pour α et 0,76 au jour 239 pour F_v/F_m dans le traitement G.

3.1.5 La teneur en chlorophylles et l'absorbance (θ)

Pour les traitements NG et G les valeurs de SPAD et d'absorbance (figures 23 et 24) augmentent jusqu'au moment du débourrement. Dans le traitement NG les valeurs de SPAD augmentent de 59 à 65 du jour 92 à 161 et l'absorbance augmente de 0,82 à 0,834 aux mêmes jours. Le traitement NG et G ne montrant pas de différences significatives avant le débourrement.

Après le débourrement (jour 170), les valeurs se stabilisent dans le traitement NG autour de 63,7 et 0,83 respectivement pour les valeurs de SPAD et d'absorbance, alors que dans le traitement G, les valeurs de SPAD et d'absorbance diminuent pour atteindre 55,2 et 0,8 au jour 240.

3.1.6 Le quenching photochimique (O_n) et le quenching non-photochimique (NPQ)

3.1.6.1 Les valeurs de Q_p

Les valeurs dans le traitement NG (figures 25, 26 et 27) apparaissent stables avant la floraison (environ : 0,73, 0,44 et 0,26 respectivement à 400, 1200 et 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Après le jour 200, on observe une diminution pour les trois niveaux lumineux les valeurs atteignant : 0,62, 0,27 et 0,16 respectivement à 400, 1200 et 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ au jour 237.

Les valeurs du traitement G sont inférieures à celle du traitement NG avant la floraison (environ : 0,64, 0,30 et 0,16 respectivement à 400, 1200 et 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Les valeurs redeviennent proches entre les traitements NG et G après la floraison, dès le jour 213 (différence non significative).

3.1.6.2 Les valeurs NPQ

On observe que pour une intensité lumineuse de 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ les valeurs de NPQ sont stables tout au long des essais (environ 1,3) dans le traitement NG (figures 28, 29 et 30), alors que les valeurs dans le traitement G sont supérieures (environ 1,6) avant la floraison, proche de 2,5 en pleine floraison au jour 200, pour finalement redescendre au niveau des valeurs NG (1,45 au jour 237).

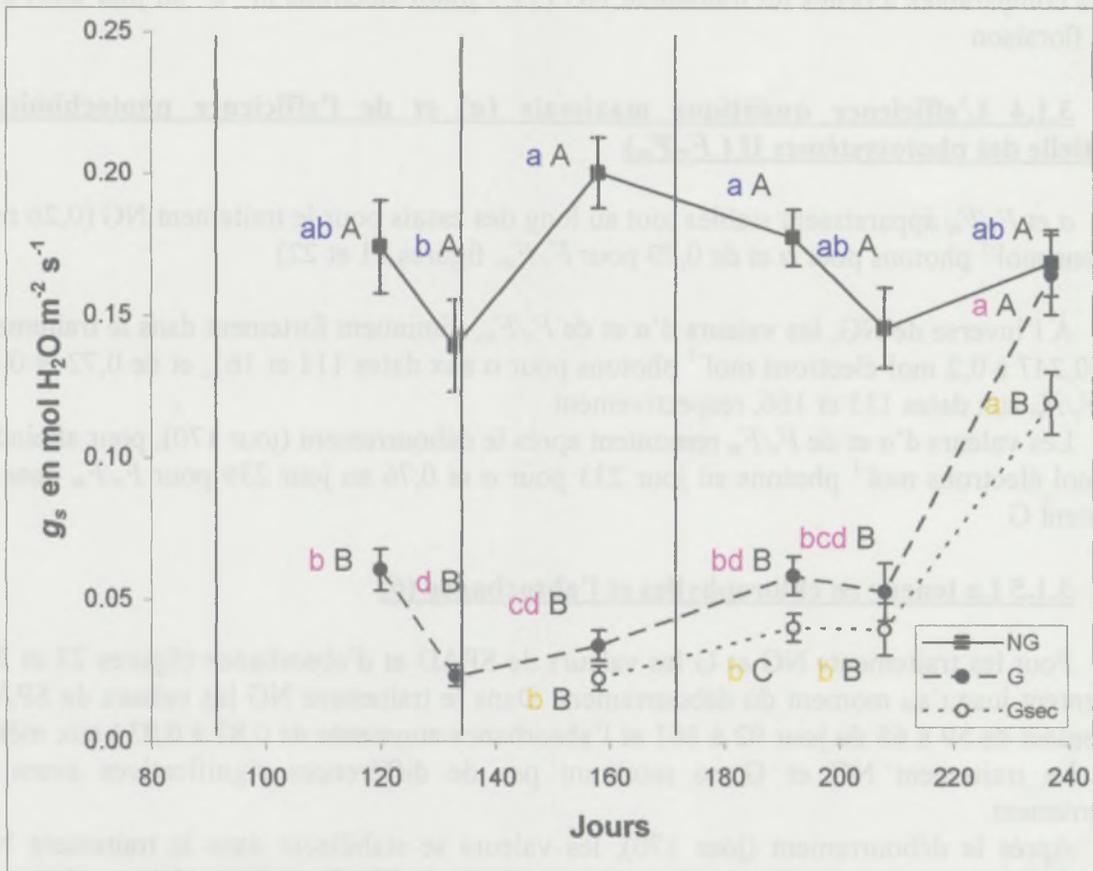


Figure 31 : Graphique représentant l'évolution de g_s en fonction du temps.

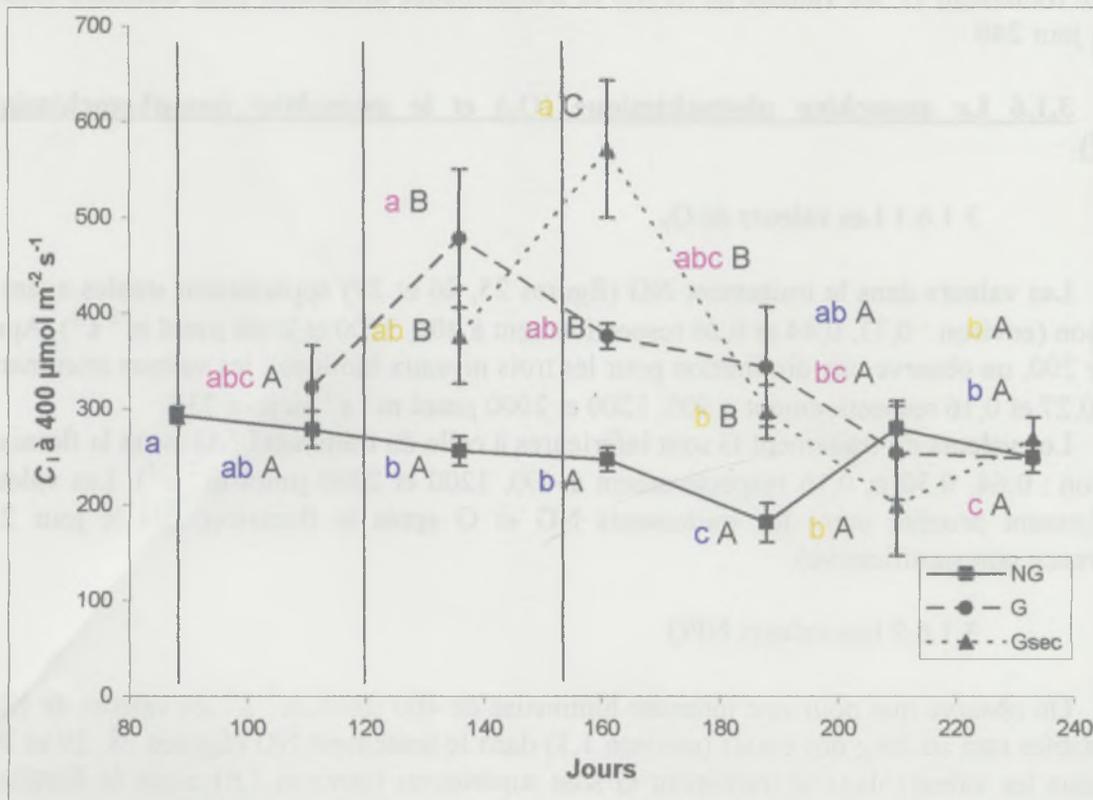


Figure 32 : Graphique représentant l'évolution de C_i en fonction du temps à $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

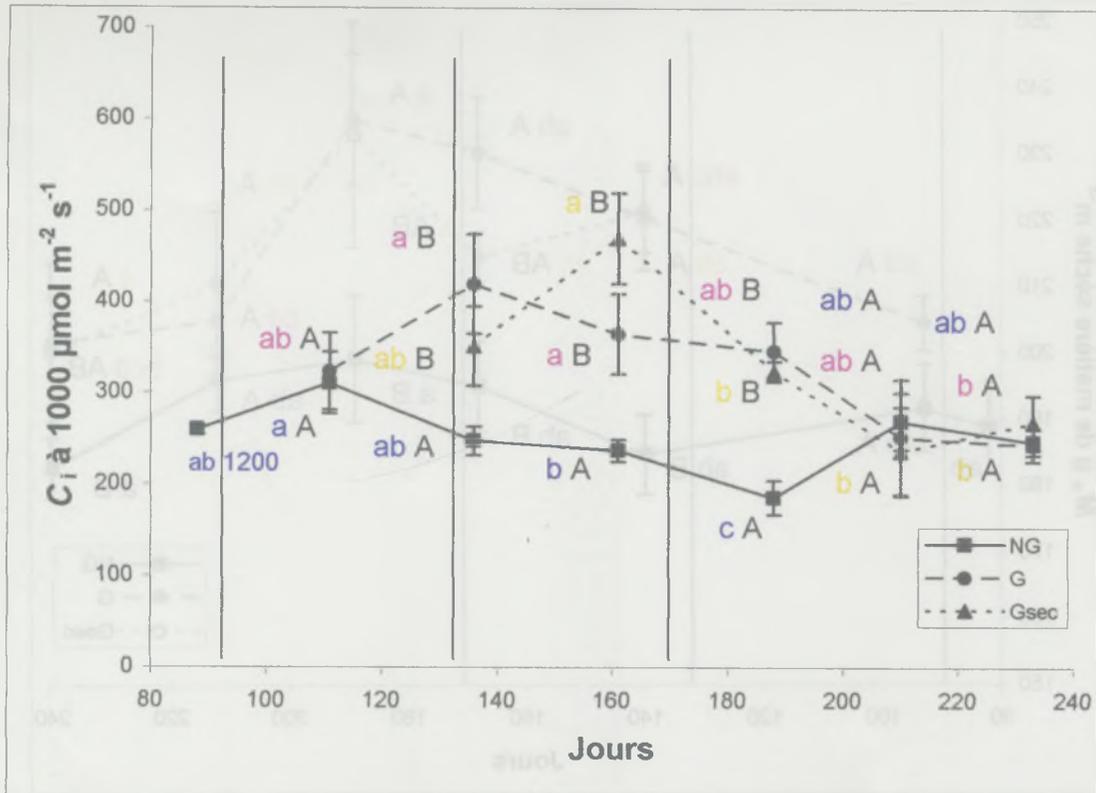


Figure 33 : Graphique représentant l'évolution de C_i en fonction du temps à 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

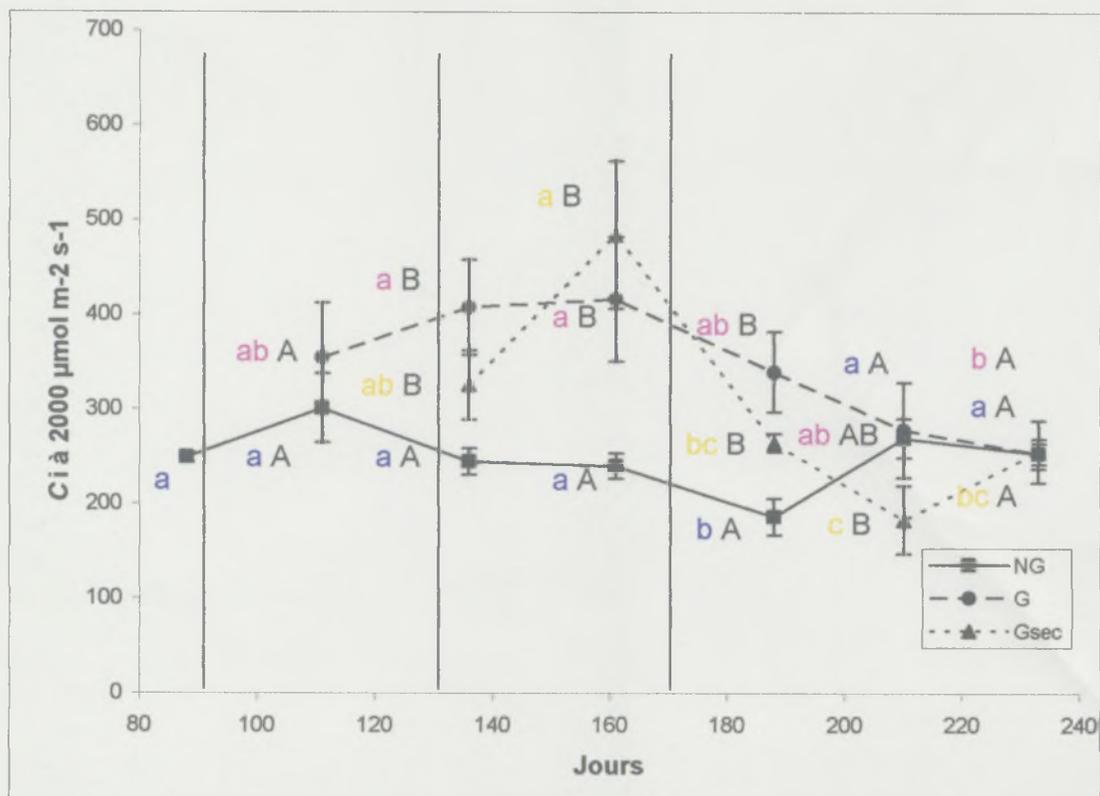


Figure 34 : Graphique représentant l'évolution de C_i en fonction du temps à 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

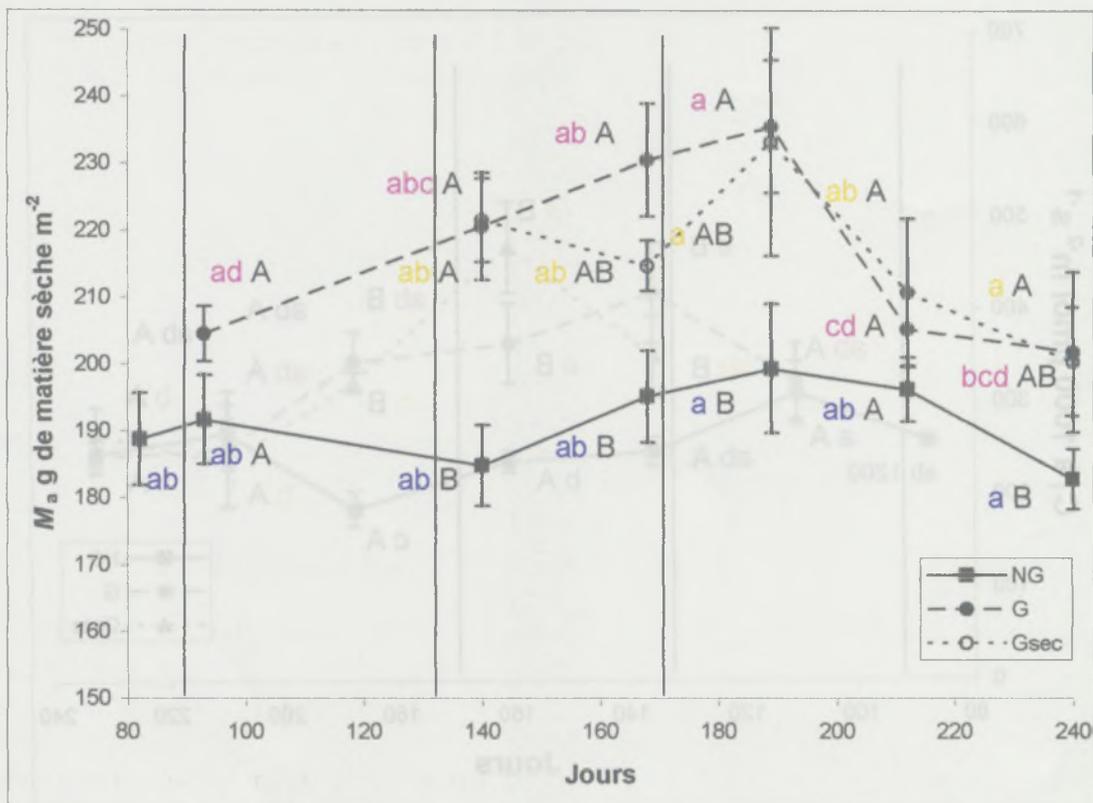


Figure 35 : Graphique représentant l'évolution de M_a en fonction du temps.

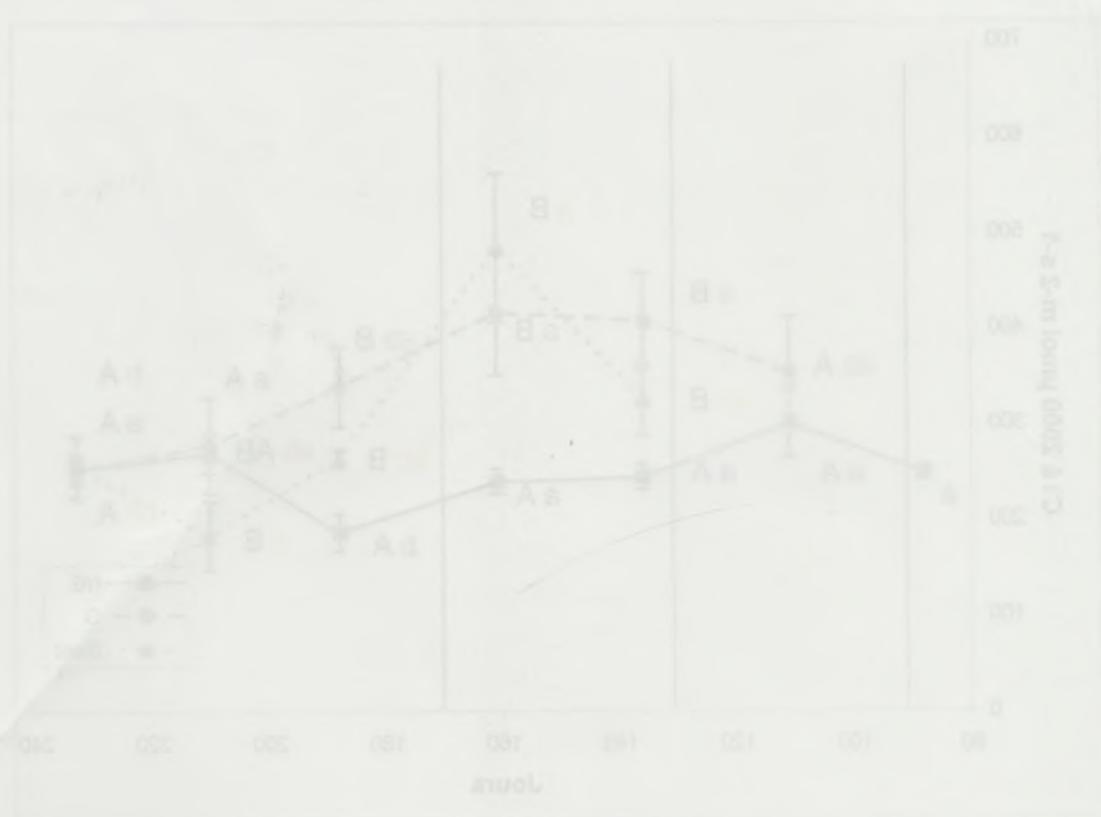


Figure 34 : Graphique représentant l'évolution de L en fonction du temps à 2000 heures.

Pour les intensités lumineuses supérieures de 1200 et 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, on observe que les différences ne sont plus significatives entre les deux traitements NG et G et que les valeurs obtenues sont très similaires. À 1200 et à 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ les valeurs sont proches de 2,5 avant le débourrement pour descendre à 2 au jour 237.

3.1.7 La conductance stomatique (g_s)

La conductance (g_s) dans le traitement NG reste plus ou moins stable tout au long de l'essai et varie entre 0,2 et 0,15 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (figure 31).

Alors que g_s dans le traitement G est bien inférieur dès le début des essais (0,06 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ au jour 120) et diminue encore pour atteindre 0,034 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ au jour 158 (avant le débourrement). Après le débourrement la conductance remonte légèrement (jour 192 et 208) dans le traitement G, avec des valeurs proches de 0,055. g_s dans le traitement G atteint des valeurs comparables au traitement NG au jour 237 (0,165 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

3.1.8 La pression partielle en CO_2 dans les espaces intercellulaires (C_i)

L'observation des différentes valeurs de C_i montrent un comportement similaire pour les trois niveaux d'intensité lumineuse (400, 1000 et 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, figures 32, 33 et 34).

Le niveau de C_i dans le traitement NG montre une légère diminution jusqu'au moment de la floraison pour remonter après cette dernière.

À l'inverse, C_i augmente nettement dans le traitement G avant le débourrement par rapport au traitement NG. Cette différence diminue ensuite pour devenir non significative après la floraison, dès le jour 210.

3.1.9 La matière spécifique (M_a)

Les valeurs de M_a (g de matière sèche m^{-2}) présentées dans la figure 35 ne sont pas corrigées des quantités de sucres car celles-ci ne sont pas encore quantifiées.

Les valeurs de M_a apparaissent comme stables (environ 190 g de matière sèche m^{-2}) tout au long des essais pour le traitement NG.

Le traitement G montre des valeurs de M_a nettement supérieures dès le début des essais (205 g de matière sèche m^{-2} au jour 93) et en augmentation jusqu'au moment de la pleine floraison pour atteindre 235 g de matière sèche m^{-2} au jour 189. Après cette période M_a diminue pour retrouver des valeurs plus proches du traitement NG (205 et 240 g de matière sèche m^{-2} au jour 212 et 240).

3.1.10 L'effet de la privation d'eau du traitement G

→ l'effet a-t-il été
mesuré → potentiel
hydrique
rapporté =

Le comportement du traitement Gsec est très similaire à celui du traitement G.

On observe tout de même que les valeurs des Φ_{PSII} (figures 17, 18 et 19) du traitement Gsec sont plus basses que pour le traitement G et que cet écart s'accroît avec le temps. Cette remarque est également valable pour les valeurs de Q_p et de J_{max} (figures 20, 25, 26 et 27).

Les pentes des droites de g_s en fonction de A_{net} (figure 37) montrent des valeurs plus faibles avant le débourrement, ce qui n'est plus le cas après la pleine floraison.

Les valeurs de A_{net} et A_{brut} (figures 14 et 15) montrent une récupération moins rapide que celle du traitement G après le débourrement et des valeurs finales encore inférieures à celle du niveau de références du traitement NG.

Le traitement Gsec présente aussi une baisse moins importante des valeurs d' α et de F_v/F_m (figures 21 et 22) que celle observée pour le traitement G avant le débourrement. De plus, pour les valeurs d' α on observe une récupération plus lente après le débourrement par rapport au traitement G.

On remarque enfin que les valeurs de SPAD et d'absorbance (figures 23 et 24) sont touchées beaucoup plus rapidement dans le traitement Gsec que dans le traitement G (avant le débourrement), alors qu'après le débourrement les deux traitements montrent des valeurs similaires.

Il faut également attendre les résultats d'analyses des taux de sucres et d'azote des feuilles, afin de mieux pouvoir appréhender tous ces résultats et les différences entre les différents traitements.

Mais d'après les valeurs de matière spécifique (M_a , figure 35), on peut probablement dire qu'il n'y aura pas de grandes différences entre les taux de sucre des deux traitements *girdlés* qui sont nettement supérieurs au traitement NG.

3.2. La discussion

3.2.1 L'interprétation des variations temporelles

R_d est stable avant le débourrement (figure 16), puis diminue après le débourrement floral dans les deux traitements NG et G, ce qui est conforme aux observations précédemment réalisées par Urban et *al.* en 2004. Mais, nous n'avons pas d'interprétations pour les variations observées de R_d .

Φ_{PSII} représente le rendement quantique du transport non cyclique des électrons sous éclairage donné (400, 1000 et 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Les valeurs de Φ_{PSII} sont proportionnelles au *quenching* photochimique (Q_p), qui est un estimateur de la proportion des centres réactionnels ouverts et à l'efficacité photochimique potentielle des photosystèmes II sous lumière actinique (F_v'/F_m' , annexe 4), la majeure partie de la variable des Φ_{PSII} est attribuable à celle de Q_p .

Les valeurs de J_{max} représente le flux d'électrons en conditions de lumière saturante ($\mu\text{mol électrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

On observe que les valeurs de Φ_{PSII} et de J_{max} diminuent peu dans le traitement NG et fortement dans le traitement G jusqu'au débourrement floral (figures 17, 18, 19 et 20).

D'ailleurs il y a une diminution des valeurs d' α et de F_v/F_m dans le traitement G qui n'est pas présent dans le traitement NG (figures 21 et 22).

Cette diminution avant le débourrement sera à interpréter au regard des dosages de sucres qui seront réalisés ultérieurement. Ces concentrations devraient être plus importantes dans le traitement G que dans le traitement NG.

On remarque que la diminution de Φ_{PSII} et de J_{max} s'accroît après le débourrement, dans le traitement NG. Cette diminution est principalement due à la proximité d'inflorescences (Urban et *al.*, 2004), et elle ne semble pas compensée par la mise en place des nouveaux puits.

À l'inverse, après le débourrement les valeurs de Φ_{PSII} et de J_{max} dans le traitement G remontent, de la même façon que les valeurs d' α et de F_v/F_m .

Après le débourrement, on peut faire l'hypothèse que les différences de concentrations en sucres devraient fortement diminuer du fait de l'apparition de nouveaux puits (les inflorescences) permettant l'évacuation des sucres ce qui serait à l'origine du rétablissement des valeurs de Φ_{PSII} et de J_{max} .

Les valeurs de M_a (figure 35) viennent confirmer cette hypothèse, car l'augmentation des valeurs de M_a est clairement le signe d'une accumulation de sucres dans le traitement G avant le débourrement. Après l'apparition de nouveaux puits (les inflorescences) et l'utilisation des sucres stockés les valeurs de M_a diminuent. Ces valeurs sont assez élevées par rapports aux observations précédemment réalisées (Urban et al. 2004). Les fortes valeurs de M_a sont principalement attribuables au fort ensoleillement des feuilles suivis, ce qui seront certainement confirmées de fortes valeurs de *gap fractions*.

Les valeurs montrent une augmentation de l'absorbance (figure 24) jusqu'au débourrement dans les deux traitements NG et G. D'après les observations effectuées, il est peu probable que cette augmentation soit due à une maturité incomplète des feuilles, en plus les valeurs de J_{max} étaient à leur maximal.

3.2.2 La comparaison des traitements NG et G

Les valeurs de A_{net} et A_{brut} (figures 14 et 15) sont inférieures dans le traitement G par rapport au traitement NG et ceci jusqu'à l'avant dernière mesure (au jour 208).

La différence observée pour les traitements G n'est pas la conséquence d'une différence de pressions partielles en CO_2 dans les espaces intercellulaires (C_i) inférieures dans les traitements G (figures 32, 33 et 34), comme on pourrait s'y attendre, au regard des valeurs de g_s qui sont inférieures dans le traitement G (figure 31). Au contraire, C_i apparaît supérieur dans le traitement G.

Cette différence de A_{net} n'est pas non plus due à R_d (figure 16), qui n'est pas significativement différent entre les traitements pour une même date.

La différence de photosynthèse est principalement attribuable à des flux électroniques plus faibles dans le traitement G, comme le montrent les valeurs plus faibles de Φ_{PSII} et d'absorbance observés (figures 17, 18, 19 et 24).

Les valeurs de Φ_{PSII} plus faibles dans le traitement G, sont en partie explicables par des valeurs d' α plus faibles (jusqu'au jour 188) et par des J_{max} plus faible (jusqu'au jour 210).

3.2.3 L'interprétation des différences d' α

α et F_v/F_m évoluent en parallèle (Werner, 2003).

Les valeurs d' α représentent l'efficacité quantique maximale (mol électrons mol⁻¹ photons).

Les valeurs de F_v/F_m représente l'efficacité photochimique potentielle des photosystèmes II et correspond à la quantité de centres potentiellement fonctionnels (Demming et Björkman, 1987). Cette mesure est une estimation de l'efficacité optimale pour le transfert des électrons de P680 (PSII) à l'accepteur primaire quinone A (Krause, 1988). Le rapport F_v/F_m est un indicateur de la photoinhibition. Cette dernière augmente quand ce rapport diminue.

Les valeurs d' α (figure 21) plus faibles jusqu'au jour 188 sont donc le signe d'une photoinhibition plus forte dans le traitement G que dans le traitement NG.

Après le débordement, on peut faire l'hypothèse que les différences de concentrations en naves devraient forcément diminuer du fait de l'apport de nouveaux poissons (infectés) pendant l'évacuation des naves et qui sont à l'origine du rétablissement des valeurs de A_{net} .

Les valeurs de A_{net} (figure 35) restent continues entre l'épave et l'augmentation des valeurs de A_{net} au début de l'accumulation de naves dans le traitement G avant le débordement. Après l'épave de nouveaux poissons (les infectés) et l'union des autres stocks les valeurs de A_{net} diminuent. Ces valeurs sont élevées par rapport aux observations précédemment réalisées (Judea et al. 2001). Les fortes valeurs de A_{net} sont principalement attribuées au fort enrichissement des eaux suivies et qui sont certainement contrôlées de fortes valeurs de g_s/A_{net} .

Les valeurs montrent une augmentation de l'abaissement (figure 34) jusqu'au débordement dans les deux traitements NG et G. D'après les observations effectuées, il est peu probable que cette augmentation soit due à une certaine usure des filets, ce qui est les valeurs de A_{net} soient à leur maximum.

3.2.1.1 Comparaison des traitements NG et G

Les valeurs de A_{net} et A_{net} (figure 14 et 15) sont similaires dans le traitement G par rapport au traitement NG et ont jusqu'à 17 jours écoulés (au jour 100).

La différence observée entre les traitements G et NG est la concentration de naves de poissons infectés en G, dans les zones infectées (G) observées dans les traitements G (figure 22 et 24) comme on pouvait s'y attendre, au regard des valeurs de A_{net} qui sont inférieures dans le traitement G (figure 31). Au contraire, G éprouve également dans le traitement G.

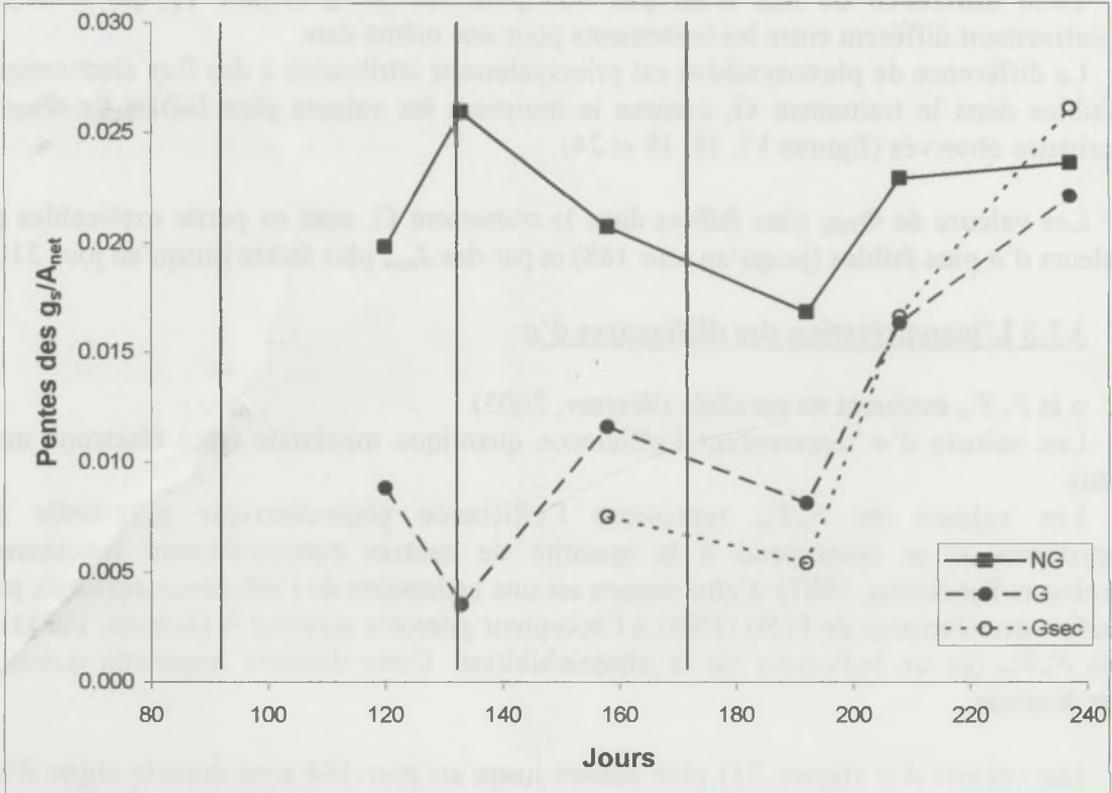


Figure 36 : Graphique représentant l'évolution des pentes des courbes de g_s/A_{net} en fonction du temps.

La plus grande photoinhibition dans le traitement G est attribuable à une proportion de centres réactionnels ouverts (estimé par Q_p) plus faible (jusqu'au jour 200). Cette photoinhibition n'a été qu'imparfaitement compensée par un *quenching* non-photochimique (NPQ) plus élevé.

L'observation des Q_p représente la proportion des centres réactionnels ouverts, se qui explique que les valeurs de Q_p soient plus fortes quand on diminue l'intensité lumineuse (figures 25, 26 et 27) car les feuilles utilisent la lumière de façon plus efficiente. Elle est aussi un indicateur du risque de "photodommage".

L'observation des NPQ représente un bon indicateur du niveau de la photoprotection des feuilles, car il comprend les mécanismes de dissipation de chaleur et il augmente quand la lumière est forte. C'est un mécanisme de protection qui a pour but d'éviter une trop forte accumulation d'énergie dans les membranes des thylakoïdes.

Pour les intensités lumineuses supérieures à $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1200 et $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, figures 28, 29 et 30), on constate que plus on augmente l'intensité lumineuse et moins le NPQ est capable de jouer son rôle pour le traitement G notamment avant la période de floraison. Pendant la période de floraison il y a une légère amélioration, peut-être due à une régénération plus grande des systèmes de photoprotection suite à l'apparition des nouveaux puits (les inflorescences). À la fin de la période de floraison les valeurs de NPQ des deux traitements sont comparables (statistiquement non différents).

Les observations des valeurs de NPQ montrent bien qu'il y a une atteinte des systèmes de photoprotection dans les traitements G d'où un probable dégradation des thylakoïdes. Car pour des valeurs inférieures de Q_p et une même quantité de lumière reçue on s'attendrait à avoir des valeurs de NPQ nettement plus élevées par rapport au traitement NG.

À noter que la remonté des valeurs d' α et de F_v/F_m dans le traitement G après le jour 160 (conséquence d'une diminution de la photoinhibition), qui peut être due à une augmentation du NPQ au jour 200 (figures 28, 29 et 30) ainsi qu'à la diminution de l'absorbance à partir de cette même date (figure 24).

La diminution de l'absorbance qui survient après la floraison induit une moins grande production d'électrons à éliminer d'où une explication possible de la diminution de la photoinhibition observée pour les traitements G.

3.2.4 Les courbes de g_s/A_{net}

Les courbes de g_s en fonction de A_{net} (données non montrées) dans le traitement NG sont conformes aux valeurs précédemment observées (Urban et *al.* 2004). Les pentes des droites de régression (figure 36) sont proches ou supérieures de 0,02, sauf pour le jour 192, date à laquelle la pente est de 0,168. Cette dernière valeur est proche de celle observée sur des feuilles proches des inflorescences après le débourrement floral (Urban et *al.* 2004).

Pour le traitement G, les courbes de g_s en fonction de A_{net} , sont elles aussi conformes aux observations déjà réalisées sur des traitements stressés (Urban et *al.* 2004). Les pentes des droites de régressions du traitement G sont bien inférieures (comprises entre 0,0035 et 0,011 du jour 120 à 192) à celles de du traitement NG

Après le débourrement, on observe une remonté des g_s en fonction de A_{net} après le jour 190 pour les deux traitements, jusqu'à ce qu'ils atteignent des valeurs comparable au jour 237 (0,0236 et 0,0221 pour les traitements NG et G respectivement).

3.2.5 Les effets des traitements sur la floraison

Les traitements G et Gsec ont induit une légère précocité (environ 10 jours) dans le débourrement des rameaux étudiés et surtout une homogénéité de ces derniers qui sont tous partis à fleurs.

Mais cette précocité au débourrement ne s'est pas traduite par une grande différence par rapport au traitement NG à la fin de la floraison.

La seule remarque notable concerne l'homogénéité des rameaux *girdlés*, par rapport au traitement NG. Ces derniers présentaient une hétérogénéité sur la moitié des rameaux suivis. Cette hétérogénéité s'est traduite par la présence de panicules florales, de flushs végétatifs et de inflorescences mixtes sur les mêmes rameaux.

Il faut noter aussi que l'ensemble des rameaux suivis ont produit des fleurs, et que cette induction florale peut avoir été influencée par les stress qu'ils ont subis, comme les manipulations et notamment la suppression systématique des bourgeons (puits pouvant modifier les paramètres suivis).

De plus il a récemment été montré que l'âge des feuilles a une influence sur la dose de froid nécessaire pour induire la floraison, cette dose de froid étant moins importante sur des feuilles plus âgées. Le fait de supprimer toutes les nouvelles pousses nous a conduit à travailler sur des feuilles matures, qui étaient certainement plus favorable à l'émission des panicules florales.

→ observations, feu li
les puits, quelle date?
→ floraison
partielle?
1/2 e
Vajme

Trop peu de commentaires sur
l'effet induit sur la floraison donner
chiffres avec tableaux vitant et date
de floraison

CONCLUSION

Le travail présenté ici a été réalisé dans le cadre du GIS Hortitrop, dont le but est d'élaborer des itinéraires techniques plus respectueux de l'environnement et d'améliorer la qualité de la production horticole à la Réunion, en particulier dans une perspective d'export.

Un modèle de gestion des ressources carbonées chez le manguiier, fonctionnant dans un premier temps à l'échelle du rameau est actuellement développé par l'équipe mixte INRA/CIRAD.

Dans le but de développer ce modèle et dans une perspective d'amélioration de la floraison, un essai de *girdling* a été réalisé en suivant l'hypothèse selon laquelle l'induction de la floraison chez le manguiier dépendait principalement de la concentration en carbone (sucres) dans les rameaux et d'une somme de stress (température, stress hydrique).

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'impact de cette pratique sur la photosynthèse.

Il a été montré que la pratique du *girdling* permettait d'avancer la date de floraison.

Nous avons observé que le *girdling* entraînait une diminution de la capacité photosynthétique. Cette tendance était toutefois inversée à l'apparition des inflorescences. Nous n'avons pas les moyens d'évaluer les effets à long terme de la diminution de photosynthèse associée à la pratique du *girdling*. Mais nous estimons qu'au regard de l'ampleur de cette diminution, le *girdling* doit être considéré avec précaution, malgré un effet positif d'avancement de 10 jours de la floraison et de son homogénéité.) oui

Les conditions de cette pratique restent encore à être clairement définies, car les résultats montrent une diminution rapide des paramètres de la capacité photosynthétique dans le traitement *girdlé*, certainement conséquente à l'accumulation de sucres dans les rameaux. Cette diminution de la capacité photosynthétique pénalise inévitablement le potentiel de production. Il serait utile de déterminer la période de l'année pour réaliser plus précisément le *girdling*, afin d'induire la floraison des rameaux sans pénaliser l'acquisition de carbone de l'arbre. Il serait aussi intéressant de reproduire cette expérience sur des arbres plus âgés et des rameaux de plus grande taille, pour étudier jusqu'à quelle échelle cette technique est utilisable, sans trop pénaliser l'arbre l'année suivante.

Grâce à ces premières expériences de *girdling* sur l'île de la Réunion, la méthode semble être prometteuse pour les arboriculteurs réunionnais, car une meilleure maîtrise de la date de floraison et surtout son homogénéité sont primordiales dans l'établissement de calendrier de production et de prévision de dates de récolte (environ 120 jours après la floraison).

À un niveau plus fondamental, cette expérience montre que la probable accumulation de sucres associée à la pratique du *girdling* est directement responsable de la réduction de la capacité photosynthétique et que cette dernière semble liée à une augmentation de la photoinhibition.

Cette hypothèse devra être confirmée par les analyses de la concentration en azote et en sucres solubles et insolubles (amidon) qui seront réalisées ultérieurement.

ANNEXES

ANNEXE 1 : COÛT DE PLANTATION, DE PRODUCTION ET RÉPARTITION DES CHARGES D'EXPLOITATION.

ANNEXE 2 : ZONAGE DE LA PLUVIOMÉTRIE ET THERMOMÉTRIE DE LA RÉUNION

ANNEXE 3 : SCHÉMA DES DEUX SYSTÈMES PHOTOSYNTHÉTIQUES I ET II

ANNEXE 4 : GRAPHIQUES DES F_v'/F_m' AU COURS DU TEMPS ET À DIFFÉRENTES INTENSITÉS LUMINEUSES

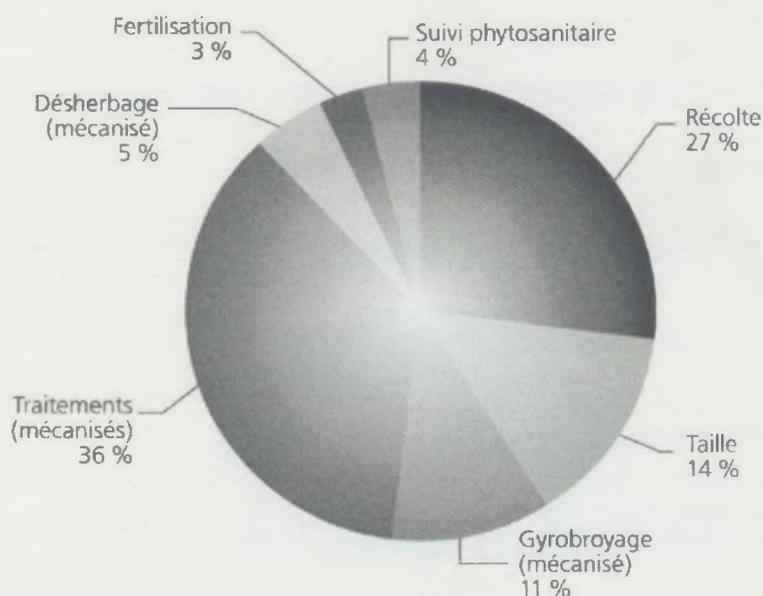
ANNEXE 1

Coût de plantation et de production (Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2002).

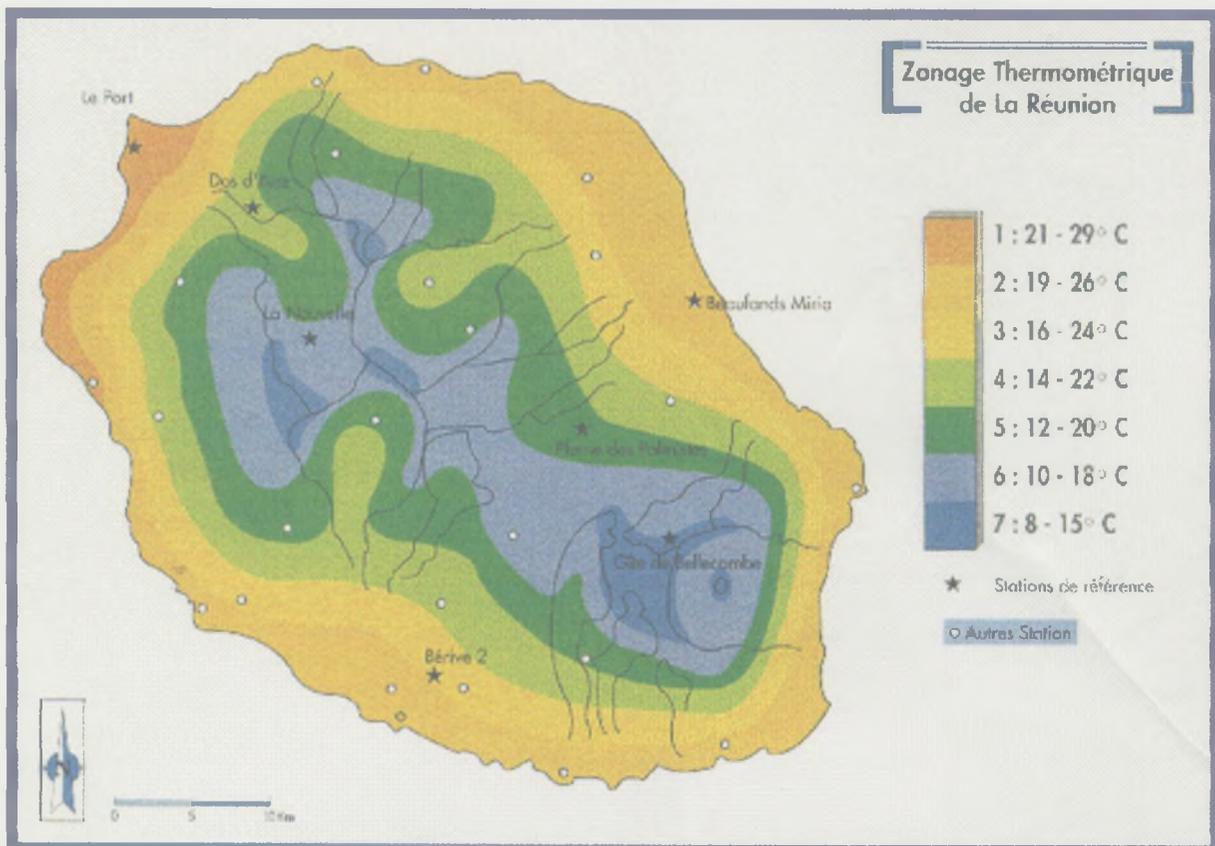
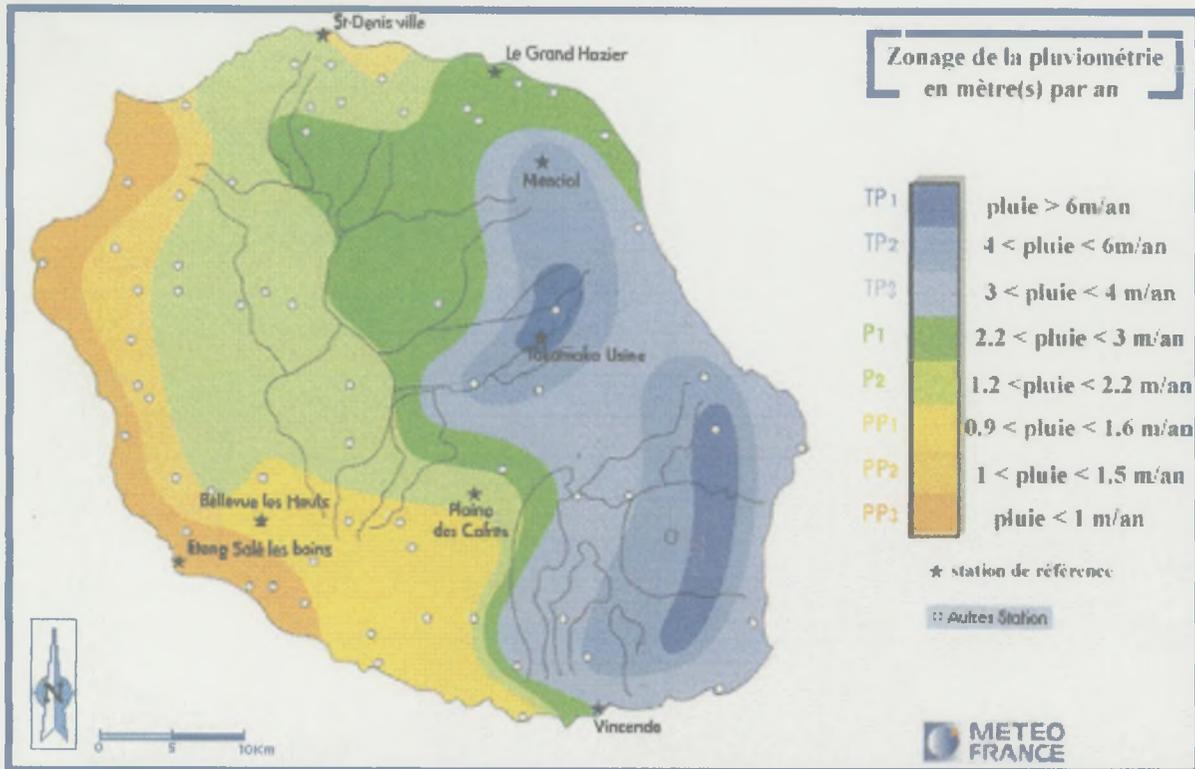
Coût de plantation d'un hectare de manguiers avec brise-vent et irrigation (plantation au trou)			
Nature	Quantité / ha	Prix unitaire	Montant
Approvisionnement			
- engrais (kg)	1000	0,38 €	380,97 €
- fumier (tonnes)	10	45,73 €	457,35 €
- plants manguiers	285	6,10 €	1 737,92 €
- plants filaos ou autres (brise-vent)	500	0,76 €	381,12 €
- réseau d'irrigation (frais d'installation compris)			3 048,98 €
TOTAL APPROVISIONNEMENTS			6 006,34 €
Travaux mécaniques			
- transport plants	2	48,02 €	96,04 €
- sillonnage brise-vent	3	45,73 €	137,20 €
- trouaison	14	45,73 €	640,29 €
Main-d'œuvre (heures)			
- fertilisation	5	6,67 €	33,33 €
- semis brise-vent	2	6,67 €	13,33 €
- épierrage	22	6,67 €	146,63 €
- piquetage	16	6,67 €	106,64 €
- plantation (manguiers + brise-vent)	98	6,67 €	653,18 €
TOTAL MAIN-D'ŒUVRE			1 826,64 €
TOTAL COÛT DE PLANTATION			7 832,98 €

Répartition des charges d'exploitation par poste sur un verger adulte (Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2002).

Ventilation par poste des charges d'exploitation sur un verger adulte

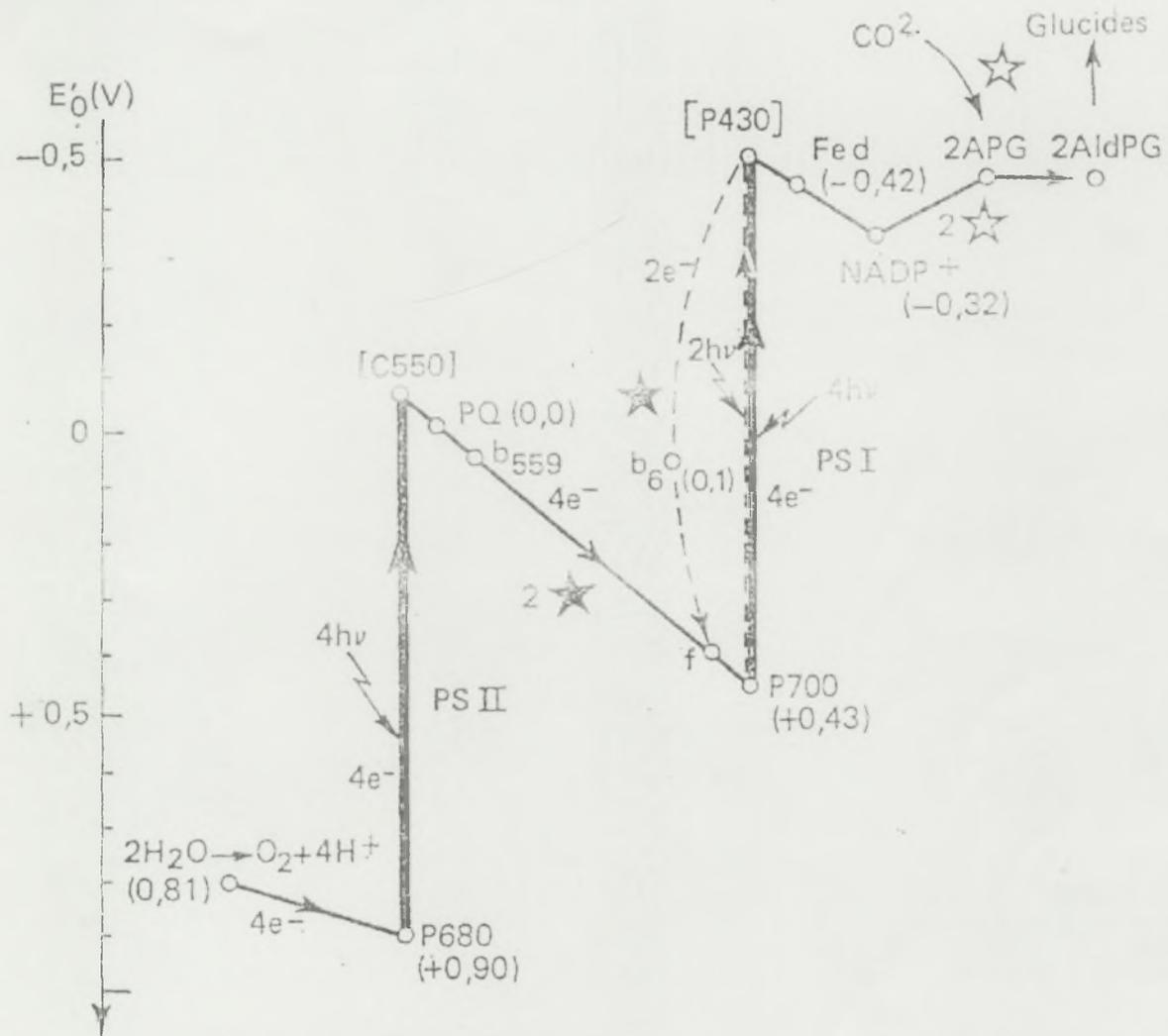


ANNEXE 2



ANNEXE 3

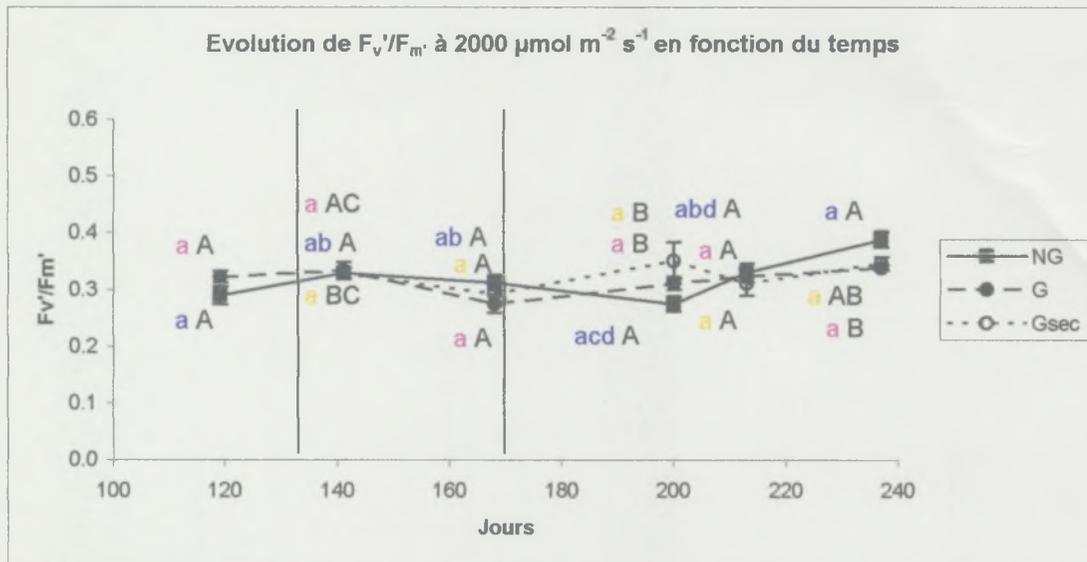
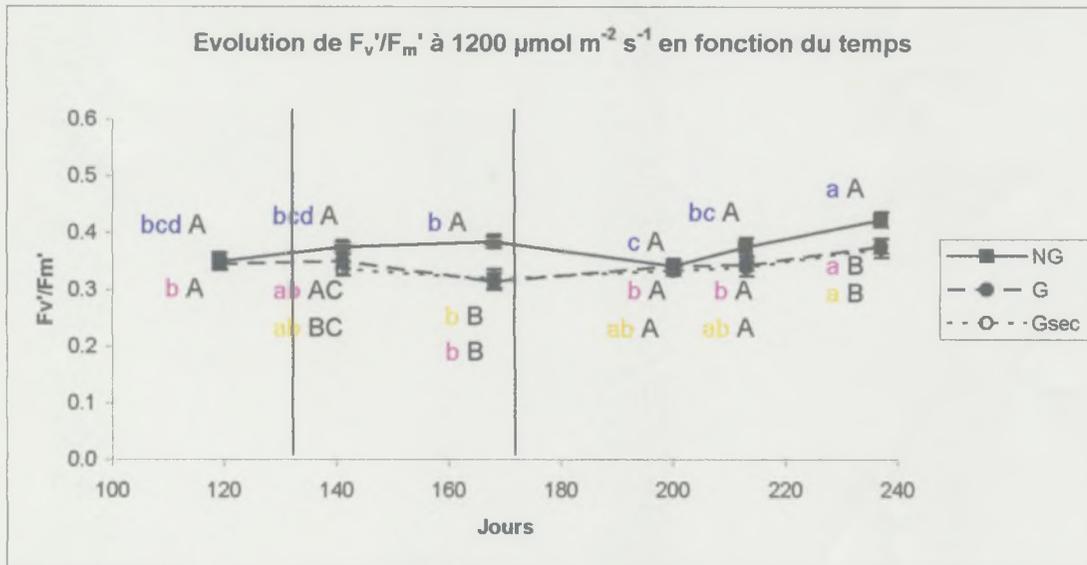
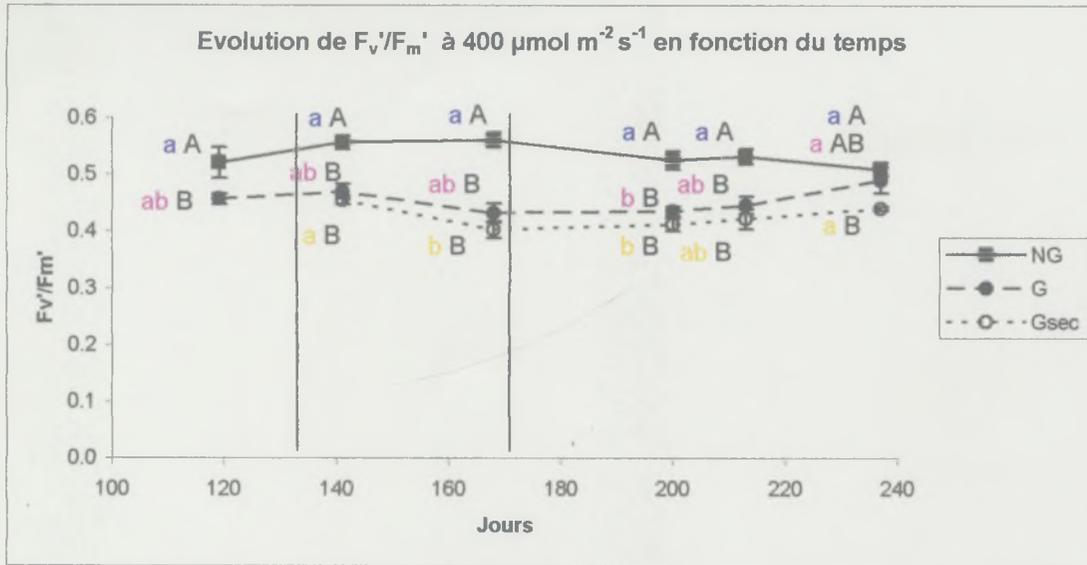
Schéma extrait de Physiologie végétale, Tome I, Nutrition, R. Heller.



Les deux systèmes photosynthétiques. En continu le trajet acyclique des électrons; en tirets le trajet cyclique. Étoiles pleines : formation d'une mole d'ATP; étoiles claires : consommation d'une mole d'ATP. Entre [], accepteurs encore hypothétiques; entre O, les potentiels d'oxydoréduction en volts.

ANNEXE 4

Graphique des F_v'/F_m' au cours du temps à différentes intensités lumineuse.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Publications (* références reprisent dans d'autres ouvrages) :

Baldocchi, D. 1994*. *An analytical solution for coupled leaf photosynthesis and stomatal conductance models*. Tree Physiol. 14:1069-1079.

Ball, J.T., I.E. Woodrow and J.A. Berry. 1987*. *A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions*. In Progress in Photosynthetic Research, Vol. IV, Proceedings of the VII International Congress on Photosynthesis. Ed. I. Biggins. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp 221-224.

Briantais J.M, Vermotte C., Krause G.H. et Weis E., 1986. *Chlorophyll a fluorescence of higher plants : chloroplasts and leaves*. In : *Light emission by plants and bacteria*. (Govindjee, Ames & Ford eds). Academic Press, New York, 539-583.

Bryant Dan, 2001. *Fig projects show girdling pluses and new cultivars*. Western Farm Press, May 5.

Collatz, G.J., J.T. Ball, C. Grivet and J.A. Berry. 1991*. *Regulation of stomatal conductance and transpiration*. Agric. For. Meteorol. 54:107-136.

Collatz, G.J., M. Ribas-Carbo and J.A. Berry. 1992*. *Coupled photosynthesis-stomatal conductance models for leaves of C4 plants*. Aust. J. Plant Physiol. 19:519-538.

Colello, G.D., C. Grivet, P.J. Sellers and J.A. Berry. 1998*. *Modeling of energy and CO2 flux in a temperate grassland ecosystem with Sib2: May-October 1987*. J. Atmos. Sci. 55:1141-1169.

Davie S.J., Stassen P.J.C. et Van der Walt Martie, 1995. *Girdling for increased "HASS" fruit size and its effect on carbohydrate production and storage*. Institute for Tropical and Subtropical crops Proceedings of The World Avocado Congress III, 25-28.

Davie S.J. et Stassen P.J.C., 1997a*. *Mango model : starch distribution in different tissues of 'Sensation' mango tree of varying age*. Horticulturae 455. Proceeding of the 5th International Mango symposium vol.1 : 143-150.

Davie, S.J. and Stassen, P.J.C., 1997b*. *The effect of fruit thinning and tree pruning on the tree starch reserves and on fruit retention of 'Sensation' mango trees*. Acta Horticulturae, 455, 160-166.

Egli D. B. et Bruening W. P., 2002. *Synchronous Flowering and Fruit Set at Phloem-Isolated Nodes in Soybean*. Crop Science 42:1535-1540.

Else M.A., Tiekstra A.E., Croker S.J., Davie W.J. et Jackson M.B., 1996. *Stomatal closure in flooded tomato plants involves abscisic acid and a chemically unidentified anti-transpirant in xylem sap*. Plant Physiol. 112: 239-247.

Evans, J.R. 1989*. *Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants*. *Oecologia* 78:8-19.

Farquhar, G.D., S. von Caemmerer and J.A. Berry. 1980*. *A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves in C3 species*. *Planta*. 149:78-90.

Farquhar, G.D. and S.C. Wong 1984*. *An empirical model of stomatal conductance*. *Aust. J. Plant Physiol.* 11:191-210.

Ferguson L., Mariscal M., Reyes H. et Metheney P., 1999. *Using girdling to improve Black mission fig size*. ISHS Acta Horticulturae 605: II International Symposium on Fig.

Field C.B. and H. Mooney. 1986*. *The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants*. In *On the Economy of Plant Form and Function*. Ed. G.T. Givnish. Cambridge University Press, pp 25-55.

Foyer, C.H., 1988*. *Feedback inhibition of photosynthesis through source-sink regulation in leaves*. *Plant Physiology*, 26, 483-492.

Génard, M., Lescourret, F., Ben Mimoun, M., Besset, J. and Bussi, C., 1998*. *A simulation model of growth at the shoot-bearing fruit level. II. Test and effect of source and sink factors in the case of peach*. *European Journal of Agronomy*, 9, 189-202.

Harley, P.C., J.A. Weber and D.M. Gates. 1985*. *Interactive effects of light, leaf temperature, carbon dioxide and oxygen on photosynthesis in soybean*. *Planta* 165:249-263.

Harley, P.C. and J.D. Tenhunen. 1991*. *Modeling the photosynthetic response of C3 leaves to environmental factors*. In *Modeling Crop Photosynthesis – From Biochemistry to Canopy*, Vol. 19. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, pp 17-39.

Harley, P.C., R.B. Thomas, J.F. Reynolds, and B.R. Strain. 1992*. *Modelling photosynthesis of cotton grown in elevated CO₂*. *Plant Cell Environ.* 15:271-282.

Harley, P.C. and D.D. Baldocchi. 1995*. *Scaling carbon dioxide and water vapour exchange from leaf to canopy in a deciduous forest. I. Leaf model parameterization*. *Plant Cell Environ.* 19:1146-1156.

Jarvis, P.G. 1976. *The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field*. *Philos. Trans. R. Soc. London B. Biol. Sci.* 273:593-610.

Jintanawong S. et al., 1992*. *Group characterization of thai mango, Mangifera indica L*. *Acta Horticulturae* 321 Volume I, *Frontier in Tropical Fruit Research*. ISHS, Thailand. p 254.

Kellomäki, S. and K.-Y. Wang. 1997*. *Photosynthetic responses of Scots pine to elevated CO₂ and nitrogen supply : results of a branch-in-bag experiment*. *Tree Physiol.* 17:231-240.

- Myers D.A., Thomas R.B. et DeLucia E.H., 1999. *Photosynthetic responses of loblolly pine (Pinus taeda) needles to experimental reduction in sink demand*. Tree Physiology 19, 235-242.
- Le Bellec F. et Renard V., 1999*. *Le grand livre des fruits tropicaux*. Ed. ORPHIE (CIRAD), 110-111.
- Le Roux, X., S. Grand, E. Dreyer et F.A. Daudet. 1999*. *Parameterization of a biochemically based photosynthesis model for walnut (Juglans regia) trees and seedlings*. Tree Physiol. 19:481-492.
- Le Roux, X., A. Lacoïnte, A. Escobar-Gutierrez, A. and S. Le Dizès. 2001*. *Carbon-based models of individual tree growth : a critical appraisal*. Ann. For. Sci. 58: 469-506.
- Lescourret, F., Ben Mimoun, M. and Génard, M., 1998*. *A simulation model of growth at the shoot-bearing fruit level. I. Description and parameterization for peach*. European Journal of Agronomy, 9, 173-188.
- Leuning, R. 1990*. *Modeling stomatal behavior and photosynthesis of Eucalyptus grandis*. Aust. J. Plant Physiol. 17:159-175.
- Leuning, R. 1995*. *A critical appraisal of a combined stomatal-photosynthesis model of C3 plants*. Plant Cell Environ. 18: 339-355.
- Leuning, R. 1997*. *Scaling to a common temperature improves the correlation between the photosynthetic parameters J_{max} and V_{cmax}* . J. Exp. Bot. 48:345-347.
- Li C.Y., Weiss D. et Goldschmidt E.E., 2003. *Girdling affects carbohydrate-related gene expression in leaves, bark and roots of alternate-bearing citrus trees*. Ann Bot (Lond). 2003 Jul; 92(1): 137-43. PMID: 12763756.
- Loesher W.H., McCamant T. et Keller J.D., 1990*. *Carbohydrate reserves, translocations, and storage in woody plant roots*. HortScience 25 (3) : 247-281.
- Papageorgiou G., 1975. *Chlorophyll fluorescence : an intrinsic probe of photosynthesis*. In *Bioenergetics of photosynthesis*. (Govindjee ed). Academic Press, New York, 319-371.
- Powell A., 1999. *Fruit culture in Alabama: Thinning and girdling*. Alabama cooperative extension system, ACES Publications, PubID: ANR-0053-N
- Sala, A. et J.D. Tenhunen. 1996*. *Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in Quercus ilex L. under the influence of seasonal drought*. Agric. For. Meteorol. 78:203-222.
- Samad A., McNeil N.L. et Khan Z.U., 1995. *Effect of girdling (Ring and Guillotine girdling) on vegetative growth, reproductive growth and biochemical changes in young apple trees under an ultra high density planting system*. American Society of Plant Biologist. Assimilate Partitioning & Allocation : 43.

Samson G., Morissette J.C. et Popovic R., 1988*. *Copper quenching of the variable fluorescenc in Dunaliella tertiolecta. New evidence for a copper inhibition effect on PSII photochemitery*. Photochem. Photobiol., 48 (N°3), 329-332.

Schaffer, B., Whiley, A.W. et Crane, J.H., 1994*. *Mango*. In : Schaffer, B. and Andersen, P.C. (eds). *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. 2, Sub-tropical and Tropical Crops*. CRC Press, Boca Raton, pp. 165-197.

Schaffer, B., Whiley, C.S. et Nissen, R.J., 1997*. *Leaf gaz exchange, dry matter partitioning, and mineral element concentrations in mango as influenced by elevated atmospheric carbon dioxide and root restriction*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 122 (6) : 849-855.

Sellers, P.J., D.A. Randall, G.J. Collatz, J.A. Berry, C.B. Field, D.A. Dazlich, C. Zhang, G.D. Colello and L. Bounoua. 1996*. *A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs*. Part I: Model formulation. J. Climate 9:676-705.

Sinoquet, H., X. Le Roux, B. Adam, T. Améglio and F.A. Daudet. 2001*. *RATP: a model for simulating the spatial distribution of radiation absorption, transpiration and photosynthesis within vegetation canopies : application to an isolated tree crown*. Plant Cell Env. 24:395-406.

Urban, L., X. Le Roux, H. Sinoquet, S. Jaffuel and M. Jannoyer. 2003. *A biochemical model of photosynthesis for mango leaves: evidence for an effect of the fruit on photosynthetic capacity of nearby leaves*. Tree Physiol. 23:289-300.

Urban L., Lu P. et Thibaud R., 2004. *Inhibitory effect of flowering and early fruit on leaf photosynthesis in mango*. Tree Physiology 24, 387-399.

Walcroft, A.S., D. Whitehead, W.B. Silvester and F.M. Kelliher. 1997*. *The response of photosynthetic model parameters to temperature and nitrogen concentration in Pinus radiata D. Don*. Plant Cell Environ, 20:1338-1348.

Walcroft A.S., Le Roux X., Diaz-Espejo A., Donès N. et Sinoquet H., 2002*. *Effects of crown development on leaf irradiance, leaf morphology and photosynthetic capacity in a peach tree*. Tree Physiol. 22:929-938.

Whiley, A.W., Searle, C., Schaffer, B. and Wolstenholme, B.N., 1999*. *Cool orchard temperatures of growing trees in containers can inhibit leaf gaz exchanges of avocado and mango*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 124, 46-51.

Wilson, K.B., D.D. Baldocchi and P.J. Hanson. 2000*. *Spatial and seasonal variability of photosynthetic parameters and their relationship to leaf nitrogen in a deciduous forest*. Tree Physiol. 20:565-578.

Wright Glenn C., 2000. *Girdling 'Fairchild' Mandarins and 'Lisbon' Lemons to Improve Fruit Size*. Yuma Mesa Agriculture Center, "2000 Citrus and Deciduous Fruit and Nut Research Report," College of Agriculture and Life Sciences, the University of Arizona, Tucson, Arizona, 85721.

Wolstenholme B.N. et Whiley A.W., 1995*. *Ecophysiology of the mango tree as a basis for pre-harvest management*. S.A. Mango Growers' Assoc. Yearbook 15 : 10-17.

Livres et documents :

Bayot M., Gonzalez Gomez A. et Van Gysel ., 27 mars 2003. *Les impasses techniques liées au cahier des charges BIO : cas de la mangue au Brésil et de l'ananas*. Atelier « Agriculture Biologique en zones tropicales : objet ou outil de recherche pour le CIRAD ? ». Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Agro Montpellier.

Chambre d'agriculture de la Réunion, SUAD Réunion, 2002. *La mangue. Dossier technico-économique*. 32 p.

CIRAD info, Juillet-Août 2003. *Qualité des productions horticoles à l'île de la Réunion*. Mensuel du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, n°137, p 12.

Levavasseur E, 2003. *Un modèle couplé de simulation de la photosynthèse et de la conductance stomatique pour le litchi*. Mémoire de fin d'étude de l'Institut National d'Horticulture – Angers.

Manuels d'utilisations LI-6400 : 1, 2, 3, 4 et 5. 4th printing Sept. 2001 by LI-COR, Inc, Biosciences.

Plant Physiology, third edition, Taiz & Zeiger. 2002 by Sinauer Associates, Inc.

Sites Internet :

Comité de pilotage de l'industrie de la Réunion : <http://www.cpi.asso.fr>

<http://www.berntgmbh.de/adc/adc-e.htm>

Food and Agriculture Organization : [http://www.FAO - COMITÉ DES PRODUITS.htm](http://www.FAO-COMITE-DES-PRODUITS.htm)
<http://www.fao.org>

<http://www.geneq.com/catalog/en/spad-502.html>

[http://www.Minolta SPAD 502 DL Meter from Spectrum Technologies, Inc.htm](http://www.Minolta-SPAD-502-DL-Meter-from-Spectrum-Technologies-Inc.htm)

[http://www.Plant Physiology Online Classical Studies on Phloem Transport.htm](http://www.Plant-Physiology-Online-Classical-Studies-on-Phloem-Transport.htm)

<http://www.specmeters.com>

http://weather.nmsu.edu/Teaching_Material/soil698/Student_Material/Photosynthesis/6400.html



Effet du *girdling* sur l'induction florale et la photosynthèse chez le manguier *Mangifera indica* L. "Cogshall".

Mémoire de fin d'études ENITA Clermont-Ferrand, 28 pages

Structure d'accueil : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomiques pour le Développement (CIRAD)

Encadrants : Maître de stage : Laurent Urban (INRA CIRAD)
Tuteur pédagogique : Pascale Goupil (ERTAC-UBP)

Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées
Option : Elaboration et Amélioration de la Production Végétale

RÉSUMÉ

Le secteur agricole de l'île de la Réunion dépend fortement des subventions de l'Etat liées à la canne à sucre. Mais, leur diminution paraissant inévitable, il est impératif de trouver de nouvelles voies pour le secteur agricole. C'est pourquoi le développement de cultures fruitières pour l'export et à forte valeur ajoutée paraît comme un enjeu important.

Le CIRAD-FLHOR a donc mis en place des programmes de recherche sur le manguier. L'équipe mixte INRA/CIRAD à la Réunion a développé un modèle de gestion des ressources carbonées chez ce dernier, basé sur les différents paramètres de la capacité photosynthétique.

En partant de l'hypothèse que l'induction florale était fortement conditionnée par le taux de carbone (sucres) au niveau des rameaux ainsi que par une somme de stress, des essais de *girdling* ont été mis en place sur le manguier.

Les résultats ont montré une forte diminution des paramètres de la capacité photosynthétique dans le traitement *girdlé* par rapport au traitement non-*girdlé*, mais ces paramètres se sont rétablis après le débourrement floral. De plus l'induction florale est apparue plus homogène et plus précoce dans le traitement *girdlé*.

Cette diminution de la capacité photosynthétique liée à une augmentation de la photoinhibition semble être la conséquence directe d'une accumulation de sucre liée au *girdling*.

Ces expériences de *girdling* sur le manguier à la Réunion semblent intéressantes pour les arboriculteurs réunionnais, mais il reste à mieux définir le cadre de cette pratique afin de ne pas pénaliser l'arbre.

Mots clés : manguier, modèle, capacité photosynthétique, induction florale, *girdling*, photoinhibition.