



Un système simple pour la mesure in situ des échanges gazeux de couverts végétaux de quelques mètres carrés de surface foliaire

François Alain Daudet, Maurice M. Crocombette, Robert Falcimagne, René Pallut

► To cite this version:

François Alain Daudet, Maurice M. Crocombette, Robert Falcimagne, René Pallut. Un système simple pour la mesure in situ des échanges gazeux de couverts végétaux de quelques mètres carrés de surface foliaire. *Agronomie*, 1987, 7 (2), pp.133-139. <hal-00884977>

HAL Id: hal-00884977

<https://hal.science/hal-00884977v1>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Un système simple pour la mesure *in situ* des échanges gazeux de couverts végétaux de quelques mètres carrés de surface foliaire

François Alain DAUDET

avec la collaboration technique de Maurice CROCOMBETTE, Robert FALCIMAGNE & René PALLUT

I.N.R.A. Laboratoire de Bioclimatologie, Domaine de Crouelle, Centre de recherches de Clermont-Ferrand-Theix, 63039 Clermont-Ferrand Cedex

RÉSUMÉ

On décrit un système en circuit ouvert relativement simple pour la mesure *in situ* de l'assimilation nette de CO₂ et de la transpiration d'un couvert végétal de quelques m² de surface foliaire. Les plantes sont enfermées dans une enceinte transparente formée par soudure à partir d'un film polymère mince. L'air ambiant est insufflé dans l'enceinte après un léger enrichissement en CO₂ contrôlé par un régulateur de débit massique. Ce dispositif permet d'une part d'établir une correspondance entre écart de concentration de CO₂ et flux de CO₂ échangé, d'autre part de calculer le débit général d'air qui traverse l'enceinte par mesure de dilution. La connaissance des écarts de concentration (CO₂ et H₂O) entre l'entrée et la sortie de l'enceinte conduit alors au calcul des échanges gazeux des plantes. Toutes les données utiles sont acquises en continu par un microordinateur. On présente de façon détaillée les résultats d'une journée de mesure sur tournesol. Grâce sans doute à la bonne transparence dans l'I.R. du film utilisé, et au débit relativement élevé autorisé (1 à 2 renouvellements par minute), les effets de confinement ont paru peu importants dans la plupart des situations climatologiques rencontrées jusqu'alors, de sorte qu'aucune climatisation n'a été nécessaire.

Mots clés additionnels : *circuit ouvert, transpiration, assimilation nette de gaz carbonique, enrichissement en gaz carbonique.*

SUMMARY

A simple system for in situ monitoring of gas exchanges in canopies with a leaf area of several square meters.

A relatively simple open circuit system is described for *in situ* measurements of net CO₂ assimilation and transpiration rates in field plots of several m² leaf area. Plants were enclosed in a transparent chamber made of welded thin plastic foil. External air was blown into the chamber after a small CO₂ enrichment monitored with a mass flow controller. This distinctive feature gave direct scaling of carbon dioxide fluxes and the possibility of easily calculating the air flow rate coming into the chamber by measuring the dilution of the injected CO₂. Then, measurement of the differences in H₂O and CO₂ concentrations between air inlet and outlet of the assimilation chamber gave classical gas exchange rates for the plants. All information was continuously monitored by a microcomputer. An example of the results obtained during a complete day of measurement on a sunflower field plot is given. Due both to good I.R. transparency and to the rather high air flow rates allowed (1 to 2 air renewals per minute but higher rates would be possible), confinement effects (glasshouse effects...) appeared to be negligible under most of the climatic conditions experienced, so that no air conditioning was necessary.

Additional key words : *open circuit, transpiration rate, net photosynthetic rate, carbon dioxide enrichment.*

I. INTRODUCTION

La mesure dans les conditions naturelles de la transpiration et de l'assimilation nette instantanées d'un couvert végétal présente un grand intérêt, qu'il s'agisse de valider des modèles théoriques ou plus simplement d'étudier le comportement de couverts végétaux en réponse à des conditions d'environnement variées.

Les méthodes micrométéorologiques fondées sur diverses théories des échanges aérodynamiques permettent d'accéder à l'évapotranspiration réelle (ETR) à des échelles de temps très fines et ont l'avantage de n'apporter aucune perturbation au phénomène que l'on étudie mais leur application à la mesure du flux de CO₂ échangé par un couvert n'est pas encore opérationnelle. La solution la plus réaliste actuellement pour étudier *in situ* les échanges gazeux d'un couvert

végétal de quelques m² de surface foliaire semble donc utiliser la technique des Chambres d'Assimilation et de Transpiration (CAT), en adoptant un principe proche de celui couramment appliqué à l'échelle de la feuille, soit l'usage d'une enceinte transparente et ventilée, de dimension suffisante pour englober l'échantillon étudié. Nous décrivons un système de ce type, utilisé depuis deux ans dans diverses conditions à Clermont-Ferrand.

La présence d'une enceinte transparente même très légère, perturbe inévitablement le climat radiatif et les conditions aérodynamiques de l'environnement des plantes. Les informations dont nous disposons sur le microclimat dans l'enceinte par rapport aux conditions naturelles sont encore très insuffisantes. Dans l'état actuel du système que nous avons réalisé, il semble que le facteur le plus altéré soit l'hygrométrie, ce qui peut avoir des conséquences sur les échanges que nous cherchons à mesurer. Nous indiquerons quelques éléments susceptibles de diminuer l'importance de cette perturbation.

II. PRINCIPE DES CHAMBRES D'ASSIMILATION ET DE TRANSPIRATION (CAT)

On trouve dans la littérature la description de CAT utilisées pour des surfaces végétales de quelques m² et soumises au rayonnement solaire naturel, qui se rattachent toutes plus ou moins à deux principes :

A. Les enceintes en circuit fermé ou semi-fermé

L'air de l'enceinte n'est pas renouvelé. L'assimilation nette et la transpiration sont mesurées par la vitesse d'appauvrissement de l'air en gaz carbonique et l'augmentation de sa teneur en eau. Comme il n'y a pas de surpression par rapport à la pression atmosphérique ambiante, il y a possibilité de contamination par l'air extérieur ; un soin particulier doit donc être accordé à l'étanchéité de l'enceinte et des circuits annexes. Ces systèmes sont réservés à des mesures ponctuelles et ne dépassant pas 1 à 2 minutes. Citons par exemple PETERS *et al.*, 1974 ; GARRITY *et al.*, 1984 ; DALEY *et al.*, 1984.

Dans le cas de mesures en continu (ROBELIN & MAUGET, 1977 ; VAN HOLSTEIN, 1979, NILWIK & ten BÖHMER, 1981), il faut injecter du gaz carbonique et éliminer de l'eau pour compenser la photosynthèse nette et la transpiration des plantes (systèmes semi-fermés). Une climatisation très puissante et dispendieuse en énergie est nécessaire lorsque les surfaces végétales étudiées deviennent quelque peu importantes. Il s'agit donc de matériels relativement lourds et le plus souvent à poste fixe.

B. Les enceintes en circuit ouvert

L'air extérieur est insufflé dans l'enceinte qui se trouve ainsi en légère surpression — il n'y a donc pas de risque de contamination — et ressort avec des caractéristiques (température, concentrations en CO₂ et H₂O), différentes de l'entrée. Dans de tels systèmes (BALDING *et al.*, 1973 ; GREENWOOD & BERESFORD,

1979, 1980 ; DAVIS & LUDLOW, 1981), qui fonctionnent sans difficulté en continu, le calcul des échanges gazeux des végétaux suppose que soient connus simultanément :

- les écarts de concentration (CO₂, H₂O) entre l'entrée et la sortie de l'enceinte,
- le débit général d'air qui la traverse.

Les problèmes majeurs que l'on rencontre dans le cas de surfaces végétales relativement importantes sont :

- différents « effets de serre » (d'origine radiative ou convective) qui traduisent l'importance des modifications du microclimat,
- le contrôle du débit d'air traversant l'enceinte.

Il est évident que plus ce débit est important, plus seront faibles les écarts entrée-sortie et donc plus les conditions intérieures de l'enceinte pourront être considérées comme proches des conditions extérieures. L'usage de débits d'air importants tend ainsi à éliminer la nécessité d'une climatisation. Le débit optimal correspond en fait à la réalisation du meilleur compromis entre des écarts entrée-sortie :

- suffisamment faibles (condition du minimum de perturbation microclimatique),
- suffisamment importants pour être mesurés convenablement par les analyseurs de gaz utilisés.

Le système que nous décrivons ci-dessous comporte une méthode fiable de contrôle de ce débit, dans une très large gamme.

III. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE UTILISÉE

A. Principe général

Nous avons choisi un principe d'enceinte en circuit ouvert avec un léger enrichissement en gaz carbonique (fig. 1).

Une soufflerie prélève l'air ambiant à quelques mètres au-dessus de la végétation. Par suite des échanges turbulents, cet air est plus homogène que dans la végétation ; on suppose également que le plus souvent il est plus sec et moins chaud, ce qui introduit *a priori* une « compensation » (au moins partielle) des effets de serre attendus. Une injection de CO₂ contrôlée à l'aide d'un régulateur de débit massique, conduit à un enrichissement de quelques vpm (cm³/m³) de l'air qui pénètre dans l'enceinte. Cette particularité répond essentiellement à trois objectifs :

- 1) fournir une échelle d'évaluation pour le flux de photosynthèse nette ou de respiration (cf. § III.D),
- 2) calculer le débit général d'air (par mesure de la dilution du CO₂ injecté), débit de plusieurs m³ par minute qu'il est nécessaire de connaître pour calculer la transpiration,
- 3) de manière accessoire, compenser le prélèvement de CO₂ par les plantes en période diurne.

L'air est prélevé pour analyse à trois endroits (A, B, C fig. 1) :

- l'air ambiant en A,
- l'air enrichi (après homogénéisation assurée par un parcours de quelques mètres dans la gaine de circu-

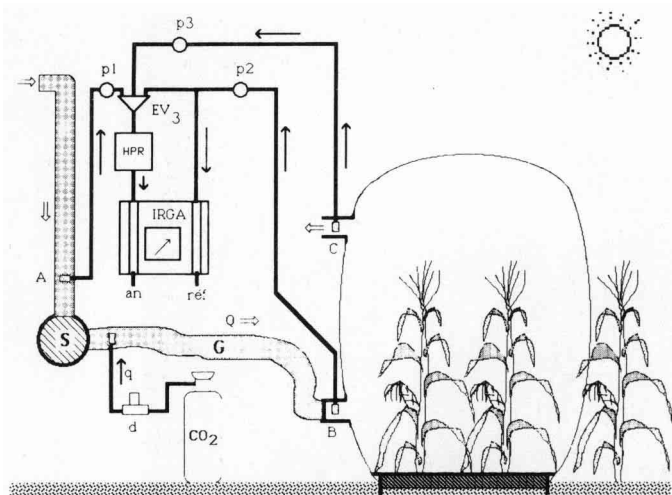


Figure 1

Schéma de principe du système de circuit ouvert utilisé.

S = Soufflerie principale ; d = régulateur de débit massique pour l'injection du CO₂ ; G = gaine souple ; IRGA = analyseur différentiel de gaz carbonique ; HPR = hygromètre à point de rosée ; EV₃ = ensemble d'électrovannes 3 voies ; p1, p2, p3 = pompes d'échantillonnage ; A, B, C = points de prélèvement d'air pour analyse.

Diagram of the open system and equipment used.

S = main blower ; d = mass flow controller for injection of pure CO₂ ; G = flexible pipe ; IRGA = differential IR CO₂ analyser ; HPR = dew point hygrometer ; EV₃ = group of three-way electrovalves ; p1, p2, p3 = sampling pumps ; A, B, C = points of sampling for air analysis.

lation) en B. Cet échantillon est envoyé en permanence sur le tube « Référence » de l'analyseur différentiel de CO₂ (appareil à absorption de rayonnement infrarouge, IRGA),

— l'air sortant de l'enceinte en C.

Un système de pompes et d'électrovannes à 3 voies (EV₃) permet de commuter ces trois lignes de gaz sur l'hygromètre à point de rosée (HPR) et sur le tube « Analyse » de l'IRGA selon un cycle qui comprend trois phases (fig. 2).

— *phase 1* = repérage des zéros d'assimilation nette et de transpiration.

L'air prélevé en B passe dans les analyseurs et l'on mesure d'une part sur l'IRGA :

$$\Delta C_B^B = [\text{CO}_2]_B - [\text{CO}_2]_B = 0$$

zéro de l'analyseur différentiel qui est aussi le zéro d'assimilation nette puisque l'air prélevé en B est celui qui entre dans l'enceinte,

d'autre part sur l'hygromètre :

$$W_B = [\text{H}_2\text{O}]_B \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

teneur en eau à l'entrée de l'enceinte.

— *phase 2* = échelle des flux de CO₂ et calcul du débit général d'air.

L'électrovanne EV₃ dirige alors l'air prélevé en A

sur les analyseurs et l'on mesure en particulier sur l'IRGA :

$$\Delta C_B^A = [\text{CO}_2]_A - [\text{CO}_2]_B \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}).$$

Cet écart de concentration est proportionnel au débit q d'injection de CO₂. La correspondance est ainsi établie entre tout écart de concentration de CO₂ relevé entre deux points du circuit général d'air et un flux de gaz carbonique échangé (par exemple la photosynthèse).

Par ailleurs le débit principal d'air est donné par :

$$Q = \frac{q}{\Delta C_B^B - \Delta C_B^A} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1)$$

avec :

q = débit volumique standard (ramené à 20 °C et à la pression atmosphérique normale) de CO₂ injecté ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

— *phase 3* = mesure des échanges gazeux instantanés des plantes.

Durant cette phase, c'est l'air prélevé en C qui est analysé et l'on mesure les données nécessaires au calcul de la photosynthèse nette et de la transpiration des plantes (cf. § III.D) :

$$\Delta C_B^C = [\text{CO}_2]_C - [\text{CO}_2]_B \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3})$$

et

$$W_C = [\text{H}_2\text{O}]_C \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-3}).$$

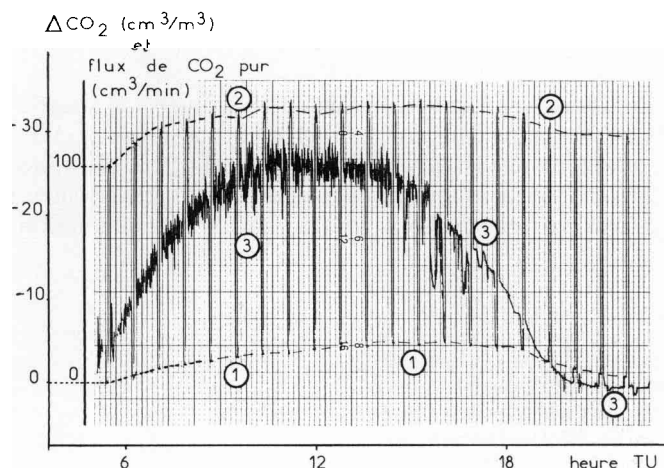


Figure 2

Enregistrement analogique du signal fourni par l'IRGA.

1, 2, 3 = phases du cycle de mesure (cf. texte § III.A). Le bruit de fond est vraisemblablement dû aux vibrations provoquées par le vent. Les variations du signal en phase 3 reflètent celles de l'assimilation nette au cours de la journée du 29 juin 1985 (cf. fig. 4b). On remarquera que par suite des dérives de l'analyseur et des variations du débit général d'air (cf. fig. 4f), les deux échelles en ordonnées sont « flottantes ». Débit constant d'injection de CO₂ = 100 cm³/min.

Chart recording of the IRGA analog output.

1, 2, 3 = corresponding phases of the measuring cycle (see text § III.A). The background noise is mainly due to vibrations caused by the wind. The variation of the signal in phase 3 reflects that of net photosynthesis during the day of June 29, 1985 (cf. fig. 4b). Note that due to analyser shift and variation of the general air flow rate (cf. fig. 4f), scales on the ordinates are both « floating ». Constant rate of CO₂ injection = 100 cm³/min.



Figure 3

Photographie de l'enceinte (polyéthylène de 0,03 mm d'épaisseur), utilisée en 1985 sur tournesol ($L = 1 \text{ m}$, $l = 1 \text{ m}$, $h = 1,8 \text{ m}$).

View of the chamber (polyethylene 0.03 mm thick) used for a sunflower canopy in 1985 ($L = 1 \text{ m}$, $l = 1 \text{ m}$, $h = 1.8 \text{ m}$).

Les phases 1 et 2 permettent l'étalonnage périodique du système et durent généralement de 1 à 3 minutes chacune. L'essentiel du temps de mesure est consacré à la phase 3 (10 à 60 minutes). Après un premier traitement, les données sont enregistrées sur une cassette magnétique par un micro-ordinateur qui de plus affiche en temps réel, pour contrôle, les valeurs instantanées des principales grandeurs mesurées.

B. L'enceinte proprement dite

Sauf dans le cas de plantes basses ($h < 60 \text{ cm}$), l'enceinte est réalisée sans armature, à partir de films en matière plastique transparente mince (polypropylène ou polyéthylène de 0,03 à 0,08 mm d'épaisseur) et formée par soudure en fonction du type de couvert étudié. Elle se gonfle sous l'effet de la pression due à la soufflerie principale (fig. 3). Une ventilation supplémentaire représentant un taux de brassage d'environ 10 par minute est assurée à l'intérieur dans le but d'améliorer les échanges aérodynamiques et l'homogénéité de l'air.

Le choix de la nature des films n'est pas encore définitif. Quelques essais comparatifs ont porté principalement sur les critères de facilité de manipulation et de résistance mécanique et nous ont fait préférer le polyéthylène au polypropylène. Sa grande transparence dans l'infrarouge thermique a aussi été considérée *a priori* comme un élément important dans le choix du polyéthylène, l'effet de serre (au sens radiatif du terme) étant minimal. L'inconvénient majeur de ce polymère semble être son vieillissement qui se traduit notamment par un accroissement progressif de

l'aspect laiteux du film. Nous avons donc principalement utilisé un film de polyéthylène de 30 microns d'épaisseur et sans additif stabilisateur (pour bénéficier d'une transparence maximale au rayonnement thermique). D'autres polymères seront essayés lorsque des observations microclimatiques plus fines pourront être associées à ces mesures.

C. Le matériel de mesure associé

Il s'agit principalement des matériels suivants :

- régulateur de débit massique (injection du CO_2 ⁽¹⁾),
- analyseur différentiel de CO_2 ⁽²⁾,
- hygromètre à point de rosée ⁽³⁾,
- capteurs météorologiques (rayonnement, température),
- micro-ordinateur ⁽⁴⁾,
- interface de mesure ⁽⁵⁾.

Dans l'état actuel, l'ensemble (y compris la soufflerie) est logé dans une petite remorque ($1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) aisément transportable sur le terrain. La puissance électrique consommée est inférieure à 1 kVA ; sur ce total, environ 600 VA sont consacrés à la ventilation.

⁽¹⁾ TYLAN type FC 260, gamme 2 à 100 ml/minute.

⁽²⁾ ADC type 225 Mark II, gamme $\pm 50 \text{ vpm}$.

⁽³⁾ ELCOWA type DP 1100.

⁽⁴⁾ EPSON type HX 20.

⁽⁵⁾ Fabrication INRA, 10 voies 0-5 V.

D. Traitement des données, calcul de flux

La phase 3 du cycle est décomposée en périodes élémentaires de 3 minutes environ pendant lesquelles le micro-ordinateur recueille l'ensemble des informations présentes et calcule leur moyenne. A l'issue de chaque période élémentaire — « instant t » —, on dispose ainsi de deux valeurs ΔC_{Bt}^C et W_{Ct} qui sont les indications moyennes fournies respectivement par l'IRGA et l'analyseur à point de rosée. Les calculs de flux pour cet instant t sont alors effectués de la façon suivante :

1. Calcul de l'assimilation nette ou de la respiration

Le flux de CO_2 échangé par les plantes est donné par :

$$An_t = 1,83 \cdot q \cdot \frac{\Delta C_{Bt}^C - \Delta C_B^B}{\Delta C_A^A - \Delta C_B^B} \quad (mg \cdot s^{-1}) \quad (2)$$

On peut noter que pour ce calcul de An , le principe de l'injection de CO_2 sous le débit constant q , supprime la nécessité de connaître le débit général d'air qui traverse l'enceinte. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, le régulateur de débit massique fournit en fait l'échelle des flux de CO_2 échangés dans le système. Cela apparaît sur la figure 2 où l'axe des ordonnées est simultanément un repère des $\Delta[CO_2]$ mesurés par l'IRGA et des flux échangés, étant entendu que le flux injecté était de $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. La dérive des paliers observés en phases 1 et 2, que l'on constate au cours de la journée est probablement d'origine thermique. Elle est sans incidence sur la précision des calculs car elle est facilement corrigée par une interpolation linéaire en fonction du temps. Il est par contre important qu'à un instant donné, les « zéros » de l'IRGA soient identiques pour les 3 phases du cycle, ce qui suppose un équilibrage minutieux des débits gazeux dans les tubes optiques de l'IRGA.

2. Calcul de la transpiration

Il faut cette fois connaître le débit général d'air Q donné par la formule (1). On a alors pour la transpiration :

$$Tr_t = Q_t(W_{Ct} - W_B) \quad (g \cdot s^{-1}) \quad (3)$$

Notons que, la mesure de W n'étant pas différentielle, la validité de cette méthode de calcul de la transpiration repose en partie sur l'hypothèse que la valeur d'entrée, W_B qui est mesurée au cours de la phase 1 du cycle ne subit pas de fluctuation importante au cours des phases suivantes. Les résultats obtenus ont montré qu'il n'en était pas toujours ainsi et qu'il fallait au moins reconstituer les valeurs de W_B pour chaque instant t par interpolation linéaire entre deux mesures consécutives.

IV. RÉSULTATS

Le système a été testé, au cours de plusieurs campagnes de mesure en 1984 et 1985. Notre expérience porte au total sur environ 80 journées complètes de mesure sur plusieurs cultures (maïs semence, tournesol, vigne, genêt, noyer).

On montre à titre d'exemple (fig. 4), les résultats détaillés obtenus sur tournesol le 29 juin 1985, journée

relativement chaude et ensoleillée permettant quelques observations méthodologiques simples. On remarquera en particulier :

- la simultanéité des variations de transpiration et d'assimilation nette en réponse aux quelques rapides passages nuageux observés. Le temps de réponse du système de mesure, de l'ordre de 1 à 2 minutes dépend du volume de l'enceinte et des débits.

- des fluctuations anormales des flux mesurés au cours de la première partie de la nuit du 29 au 30 juin. Ces anomalies que nous avons fréquemment constatées sont consécutives à des condensations dans les canalisations de prélèvement des gaz.

- la variation assez régulière du débit général Q calculé par dilution du CO_2 . Cette variation qui est sans doute essentiellement liée à celle de l'alimentation électrique de la soufflerie principale est sans incidence sur les calculs de flux.

- la variation de température de l'air à l'entrée et à la sortie de la chambre. On a généralement constaté, pour une culture correctement alimentée en eau, un refroidissement de l'air après passage dans la chambre. Celui-ci est maximal (2 à 3 °C) lorsque la transpiration des plantes est le plus intense et la nuit (refroidissement radiatif).

- la variation de l'hygrométrie de l'air à l'entrée et à la sortie de la chambre. On constate toujours une augmentation sensible d'hygrométrie. Celle-ci qui s'explique évidemment par la transpiration des plantes, se trouve amplifiée par le léger refroidissement que nous venons de signaler.

V. DISCUSSION ET CONCLUSION

Ces essais nous ont démontré la validité d'ensemble du principe de mesure adopté. Les particularités du système les plus intéressantes à retenir sont à notre avis :

- 1 — l'injection de CO_2 contrôlée par un régulateur de débit massique qui fournit l'échelle des flux de gaz carbonique échangés par les plantes et permet de calculer le débit général d'air. Cette solution qui évite l'emploi d'un débitmètre de grande capacité (appareil peu précis et coûteux) s'est révélée d'une grande souplesse d'utilisation car la précision obtenue sur la valeur du débit est indépendante de celui-ci. Des débits relativement élevés peuvent donc théoriquement être utilisés ce qui devrait pratiquement supprimer la nécessité de climatiser l'enceinte.

On peut remarquer que dans les conditions d'observation du 29 juin 1985 (fig. 4), et à 14 h 30 (TSV) lorsque la transpiration est maximale, les valeurs de l'hygrométrie à l'entrée et à la sortie de la chambre sont respectivement de 44,5 et 68,5 p. 100 ; cet écart est relativement important et l'on peut craindre des effets sur les phénomènes mêmes que l'on cherche à mesurer. On doit pouvoir corriger cet inconvénient en augmentant le débit d'air qui traverse l'enceinte. Il faudra pour cela augmenter la puissance de la soufflerie et/ou réduire les pertes de charge.

- 2 — l'usage d'un film polymère mince pour la réalisation de l'enceinte. Le polyéthylène présente notamment l'avantage d'une grande transparence dans l'infrarouge thermique (transmittance de 90 p. 100

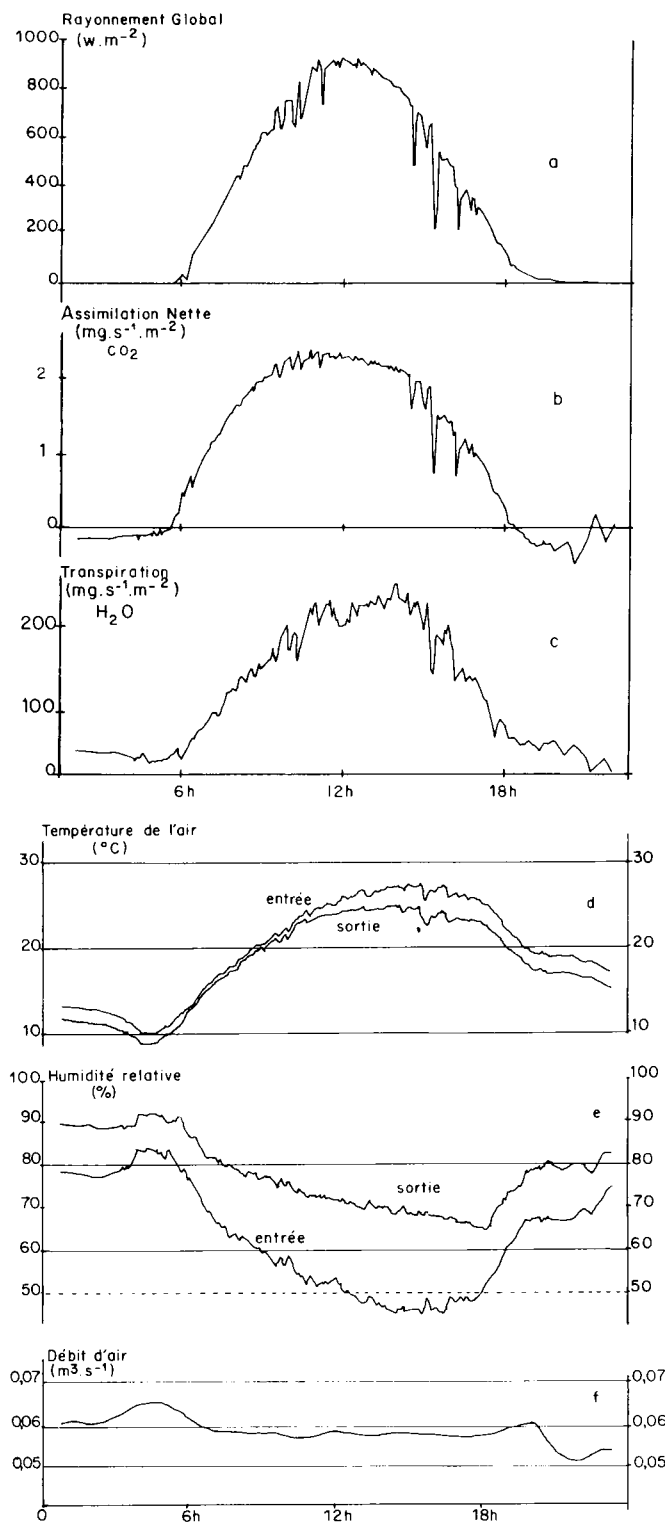


Figure 4

Exemple d'une journée de mesure sur tournesol (29 juin 1985).
Variation de :

a) rayonnement global ; b) assimilation nette (par unité de surface de sol) ; c) transpiration (par unité de surface de sol) ; d) température de l'air à l'entrée et à la sortie de l'enceinte ; e) hygrométrie (entrée et sortie) ; f) débit général d'air.

Enceinte utilisée : identique à figure 2. Surface foliaire = 2,95 m².

Example of one day's measurements on a sunflower canopy (June 29, 1985). Time course of :

a) total radiation ; b) net photosynthesis rate (per m² of ground) ; c) transpiration rate (per m² of ground) ; d) air temperature at inlet and outlet of the chamber ; e) relative humidity of the air (inlet and outlet) ; f) air entry flow rate.

dans la gamme de longueur d'onde 7-25 µm pour le film d'épaisseur 0,03 mm utilisé en 1985).

Les craintes que l'on aurait pu formuler du fait de sa relative perméabilité au CO₂ ne sont pas fondées. Celle-ci a été déterminée par le laboratoire des polymères de l'Université de Clermont-Ferrand. La valeur trouvée ($1,04 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{pa}^{-1}$), montre que, compte tenu d'un écart maximal de concentration de CO₂ entre l'air de l'enceinte et l'air extérieur de $30 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$ soit 3,04 pa, le flux diffusif maximal traversant les parois pour une surface de 8 m² serait de :

$$f = 3,04 \times 8 \times 1,04 \cdot 10^{-4} = 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ soit}$$

$$4,63 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{min}^{-1}$$

ce qui est inférieur de plusieurs ordres de grandeur aux échanges gazeux mesurés ; les erreurs ainsi occasionnées sont donc parfaitement négligeables.

Des difficultés subsistent dans la mesure de la transpiration :

— des condensations se produisent fréquemment la nuit dans les canalisations de prélèvement d'air. Elles ont pour effet d'invalider les calculs de transpiration notamment en début de journée. Diverses solutions sont à l'étude pour pallier cet inconvénient.

— le caractère non différentiel de l'hygromètre utilisé entraîne des erreurs importantes lorsque la teneur en eau de l'atmosphère varie trop rapidement.

Dans le cas d'utilisation de l'enceinte fixée au sol en place (cas général pour les cultures annuelles étudiées jusqu'à présent), la légère surpression qui règne à l'intérieur limite probablement la prise en compte du dégagement de gaz carbonique par le sol mais aucune preuve expérimentale n'a encore été apportée à ce sujet.

Tous ces points devraient pouvoir prochainement être améliorés ou élucidés.

Les modifications de l'environnement microclimatique sont principalement dues à la diminution des échanges turbulents plante-atmosphère, malgré un taux de renouvellement important et une ventilation additionnelle à l'intérieur de l'enceinte destinée principalement à homogénéiser l'air. Les effets sur la température de l'air et sur l'hygrométrie ne peuvent pas complètement être évalués à partir des écarts observés entre l'entrée et la sortie de la chambre car l'air aspiré est prélevé à environ 3 mètres au-dessus de la végétation ; il est donc généralement moins humide que ce que l'on observerait au sein du couvert. Une étude systématique du microclimat des enceintes et des différences avec les conditions extérieures (température de feuilles notamment) serait nécessaire pour évaluer l'importance des distorsions susceptibles d'en résulter en ce qui concerne les échanges gazeux.

Reçu le 22 avril 1986.

Accepté le 16 novembre 1986.

REMERCIEMENTS

La mise au point de cet appareillage a été possible grâce à un financement partiel par l'ATP (Action Thématique Programmée) du Centre INRA de Bordeaux « Ecophysiologie de la Vigne ».

Brevet : un brevet pour la France a été déposé sous le numéro 8517447.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Balding F. R., Cunningham G. L., Plummer R. F.**, 1973. An inexpensive self-contained system for field measurement of gas exchange. *Photosynthetica*, 7, 382-386.
- Daley P. F., Cloutier C. F., McNeil J. N.**, 1984. A canopy porometer for photosynthesis studies in field crops. *Can. J. Bot.*, 62, 290-295.
- Davis R., Ludlow M. M.**, 1981. A field gas exchange measuring system for pasture canopies. *Tropical Agronomy Technical Memorandum*, n° 28. CSIRO edit.
- Garrity D. P., Sullivan C. Y., Watts D. G.**, 1984. Rapidly determining sorghum canopy photosynthetic rates with a mobile field chamber. *Agron. J.*, 76, 163-165.
- Greenwood E. A. N., Beresford J. D.**, 1979. Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated chamber technique. 1. Comparative transpiration from juvenile *Eucalyptus* above saline ground-water seeps. *Journal of Hydrology*, 42, 369-382.
- Greenwood E. A. N., Beresford J. D.**, 1980. Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated chamber technique. 2. Evaporation from atriplex plantations over a shallow water table. *J. Hydrol.*, 45, 313-319.
- Holstein H. M. C. Van**, 1979. A closed system for measurement of photosynthesis, respiration and CO₂ compensation points. *Meded. Landhouwhogeschool Wageningen*, 79, (10), 14 p.
- Nilwik H. J. M., ten Böhmer H.**, 1981. An improved closed system for continuous measurement of photosynthesis, respiration and transpiration. *Meded. Landhouwhogeschool Wageningen*, 81 (4), 9 p.
- Peters D. B., Clough B. F., Stahl G. R.**, 1974. Measurement of dark respiration, evaporation and photosynthesis in field plots. *Agron. J.*, 66, 460-462.
- Robelin M., Mauget J.-C.**, 1977. Comportement photosynthétique du noyer (*Juglans regia*). Premières observations sur un couvert continu obtenu à partir d'un semis haute densité. *Ann. Agron.*, 28, 583-597.