

X. EQUIPEMENT POUR MESURER LA LUMIERE INCIDENTE SUR UN COUVERT VEGETAL
POUR DES ETUDES DE PHOTOSYNTHESE

P. Hari, P. Pelkonen, M. Huhtamaa, R. Salminen et V. Pohjonen
Department of Sylviculture, University of Helsinki, Finland

NB. Les auteurs demandent de signaler qu'un texte plus complet et plus explicite a été publié dans Silva Fennica vol.10, 1976 n°2, 94-102.

Résumé. L'intensité lumineuse incidente sur la canopie varie considérablement à la fois dans l'espace et dans le temps. Pour éviter cette difficulté nous avons mis au point un appareil qui est influencé aussi peu que possible par les variations mentionnées. La construction est basée sur la relation linéaire existante entre l'intensité lumineuse (mesurée avec l'aide de diodes à silicium) et la photosynthèse. Cette procédure permet les opérations linéaires (sommation) et intégration) sans surcharger le débit des diodes sans pour cela perdre de l'exactitude. Il y a cinq diodes dans chaque chambre d'assimilation. Si $V_j(t)$ indique le débit de j :th de la diode au moment t , t_{1i} le moment du début de la mesure de la photosynthèse et t_{2i} le moment où la mesure i :th est complète. Notre équipement est construit de façon à permettre une sommation et une intégration en accord avec la formule suivante :

$$\int_{t_{1i}}^{t_{2i}} \sum_{j=1}^5 V_j(t) dt.$$

Le modèle dans lequel les variables indépendantes comprennent la lumière, mesurée avec l'équipement indiqué, et la température permet d'étudier les taux de photosynthèse même à l'intérieur du couvert végétal.

Introduction. La photosynthèse a été étudiée d'une façon très intense au cours des quelques dernières décades. Cependant, il est assez surprenant que la majorité des études se sont déroulées en laboratoire et que l'observation automatique de la photosynthèse dans les conditions culturales a été l'exception plutôt que la règle. A notre avis ceci n'est pas une situation naturelle étant donné que c'est aux champs que peut être évaluée l'importance des divers aspects de la photosynthèse. L'observation automatique de la photosynthèse dans les conditions culturales n'en est pas très difficile techniquement parlant, aussi les raisons avancées pour préférer les études en laboratoire peuvent être trouvées ailleurs.

Le premier point crucial consiste dans la mesure de la lumière spécialement à l'intérieur de la canopie, où il y a précisément de fortes variations temporelles et spatiales dans l'intensité lumineuse.

Le second point important est l'analyse statistique des données recueillies aux champs étant donné que les variables indépendantes de lumière et de température sont en corrélation étroite. Ces difficultés ne sont pas suffisamment grandes pour que les études en pleine terre soient inutiles.

Dans le présent article nous allons décrire un système permettant de mesurer la lumière pour les études de photosynthèse poursuivies aux champs et nous allons donner quelques exemples d'analyses statistiques des résultats obtenus.

Equipement

Organisation générale d'une station en plein champ

L'équipement de mesure de la lumière forme une partie d'un système automatique pour la mesure des échanges gazeux, des facteurs de croissance et de l'environnement en plein champ. La photosynthèse et la transpiration nettes à l'intérieur de la canopie et de la végétation en pleine terre ont été étudiées de façon automatique pendant toute une saison de croissance de jeunes peuplements de Pinus sylvestris L. avec quelques sapins de Norvège disséminés à la Station forestière de l'Université de Helsinki dans le centre de la Finlande. Ce système comprend deux analyseurs infrarouges (URAS) et 20 chambres ou cuvettes d'assimilation de type piège travaillant pneumatiquement. Un analyseur a été utilisé pour contrôler les niveaux de CO₂ et l'autre pour les niveaux de H₂O. Les cuvettes sont fermées et pré-réglées pour des séquences de 100 secondes. La teneur en CO₂ de l'air dans la cuvette est mesurée avant l'ouverture de la cuvette. Le taux de photosynthèse est déterminé sur la base de différence de CO₂ entre la concentration à l'intérieur et à l'extérieur des cuvettes. Une unité d'analyse logique, préparée par la Cy NOKIA de Finlande, a été utilisée pour contrôler le système et collecter les données sur les taux de photosynthèse, de transpiration, les températures et la lumière.

Exigences pour un système de mesure de l'intensité de la lumière

Le courant de sortie d'une cellule photo voltaïque Siemens (BPY") qui est presque une fonction linéaire de l'intensité lumineuse sous des éclairagements faibles, est branché dans un circuit électrique visible sur la fig.1 (voir Optoelectronics semiconductors 1974). Lorsque l'intensité lumineuse augmente la sortie élève le niveau de saturation et la cellule engendre un courant constant. La valeur seuil du niveau de saturation dépend fortement de la valeur de la résistance R_L. La relation existante entre l'intensité de la lumière et la sortie de la cellule photoélectrique est presque identique à la relation existant entre la photosynthèse et l'intensité lumineuse à température constante. Ainsi il est possible de construire une relation linéaire entre le taux de photosynthèse et le courant de sortie de la cellule photoélectrique en incluant une résistance convenable dans le circuit, qui de plus, permet de compléter la construction d'une partie de l'équipement pour mesurer l'intensité lumineuse dans les études de photosynthèse. Cet appareil n'est pas perturbé par les grandes variations spatiales et temporelles de l'intensité lumineuse dans le couvert végétal.

L'équipement a été conçu en se basant sur l'analyse mathématique suivante de la photosynthèse. Si P (t) indique la quantité totale de CO₂ fixé par la photosynthèse au moment t, pendant toute la saison de croissance. Le taux de photosynthèse f est défini comme la dérivée par rapport au temps de P (t) donc :

$$f = \frac{dP}{dt} \quad (1)$$

S'il y a suffisamment d'eau utilisable dans le sol pour la plante, le taux de photosynthèse est déterminé tout d'abord par la température x et par l'intensité de la lumière y (cf. HARI et LUNKKANEN 1974), on a :

$$f = f (x,y) \dots\dots (2)$$

Le taux de photosynthèse est beaucoup plus fréquemment mesuré dans les champs par le système de mesures ouvertes. Une des branches est placé dans la chambre. La cuvette est fermée pendant 60 à 120 secondes avant que la concentration de CO₂ de la cuvette soit mesurée. On peut alors la comparer avec la concentration en CO₂ de l'air extérieur. La cuvette est ouverte après la fin des mesures. Prenons t_{1i} comme moment auquel la cuvette est fermée pour la mesure i : t_{1i} et t_{2i} comme moment où la cuvette est ouverte. Lorsque l'on fait l'intégration de l'équation (2) entre t_{1i} et t_{2i} on aura l'équation dérivée (3) :

$$\int_{t_{1i}}^{t_{2i}} \frac{dP}{dt} dt = \int_{t_{1i}}^{t_{2i}} f (x(t), y(t), dt) \dots\dots (3)$$

Etant donné que la partie de gauche de l'équation (3) représente la quantité de CO₂ fixée par la photosynthèse pendant le temps où la cuvette était fermée pour la mesure de i : t_{1i} et qui est obtenue directement par l'analyseur de gaz (IRGA), la partie de droite de l'équation (3) peut être simplifiée en supposant que l'effet de la température et de l'intensité de la lumière sur la photosynthèse sont multiplicatifs c'est à dire :

$$f (x,y) = f_1 (x) f_2 (y) \dots\dots\dots (4)$$

où f₁ est l'action de la température et f₂ l'effet de l'intensité de la lumière. Supposant par la suite que la température est constante pendant la période où la cuvette est fermée, la partie gauche de l'équation (3) peut être exprimée comme suit :

$$\int_{t_{1i}}^{t_{2i}} f (x(t), y (t)) dt = \int_{t_{1i}}^{t_{2i}} f_1 (x(t)) f_2 (y(t)) dt =$$

$$= f_1 (x (t_{1i})) \int_{t_{1i}}^{t_{2i}} f_2 (y (t)) dt \dots\dots\dots (5)$$

Il y a de fortes fluctuations spatiales de l'intensité de la lumière dans la cuvette causée par l'ombrage du feuillage. L'action perturbatrice de l'ombrage peut être fortement atténuée en utilisant plusieurs cellules dans la cuvette.

Les exigences mises en lumière ci-dessus pour les équipements de mesures peuvent être résumés comme suit :

1. Il y a n cellules dans la cuvette
2. Prenons V_{1j} pour indiquer le courant de sortie de la cellule j. La relation entre la sortie V_{1j} et le taux de photosynthèse est linéaire à température constante, c'est-à-dire :

$$f(x,y) = a f_1(x) (V_{1j}(y) + b) , \dots\dots\dots (6)$$

lorsque $j = 1, 2, \dots\dots\dots, n$.

3. L'appareil doit être capable de répondre à l'intégrale suivante (cf. KUBIN 1971) :

$$V_{3i} = \int_{t_{1i}}^{t_{2i}} \sum_{j=1}^n V_{1j}(y(t)) dt \quad (7)$$

Résultats

Un système a été construit qui réalise les exigences indiquées précédemment. La valeur de la résistance R_L (cf. Fig. 1) est calibrée de façon à donner une relation linéaire entre le courant de sortie de la cellule photoélectrique et le taux de photosynthèse à température constante. Ceci a été exécuté empiriquement et on a obtenu une valeur $3 K \Omega$. Dans la fig. 2 les mesures de l'IRGA sont montrées comme une fonction de la sortie de ELP pour une température variable dans les limites de 10-15°C pendant une période entre le 6 et 23 juin 1974. Il est évident que cette relation linéaire entre les mesures de IRGA et la sortie ELP tient assez bien.

Le maximum de sortie varie d'un amplificateur totalisateur à l'autre comme le résultat de faibles différences de calibrage. Pour cette raison, la sortie de chaque amplificateur est normalisée de façon à donner la valeur 100 en plein soleil au cours de l'été.

Si P_{Ki} indique le résultat des mesures de i : th de l'IRGA des K: th de la cuvette, Lorsque l'on combine les 3 équations (3), (6) et (7) on obtient le modèle final :

$$P_{Ki} = a f_1 (x(t_{li})) (V_{3Ki} - b) \dots \dots \dots (8)$$

ou f_1 est l'effet de la température,

V_{3Ki} est la valeur de sortie de ELP

et a et b des paramètres qui doivent être estimés.

La fonction f et les paramètres a et b ont été déterminés séparément pour le pin et pour le sapin. Les estimations ont été basées sur les données collectées pendant la période du 25 juin 1974 et le 3 juillet pour le pin d'Ecosse et au cours de la période du 31 juillet 1974 et 4 août pour le sapin de Norvège. Les fonctions f_1 qui ont été obtenues sont données dans la figure 3. Les mesures des taux de photosynthèse et ceux calculés par le modèle (Equation (8)) pour le pin au cours de la période sont donnés par la figure 4, et par la figure 5 pour le sapin de Norvège au cours de la période correspondante. Le modèle explique 86% des variances du taux de photosynthèse du pin d'Ecosse et 89% pour le sapin de Norvège pour les périodes indiquées dans les figures.

Discussion

Les fluctuations spatiale et temporelle de l'intensité lumineuse sont très importantes spécialement à l'intérieur de la canopie. Les mouvements d'obscurisation du feuillage, déplacés par le vent provoquent des changements soudains de l'intensité lumineuse (cf. LOGAN et PETERSON 1964; HARI et LUNKKANEN 1974). La partie principale de cette étude a pour but de développer un système de mesure de l'intensité de la lumière pour les études de photosynthèse. Cet appareil n'est pas tellement influencé par de telles fluctuations de l'intensité de la lumière. L'équipement proposé est basé sur l'analyse mathématique des mesures techniques pour le taux de photosynthèse dans des systèmes de mesure dits ouverts.

Etant donné que ELP doit travailler dans des conditions culturales une attention particulière doit être apportée dans la réalisation des circuits. Les composants peuvent fonctionner en toute confiance dans une large gamme de température (-10°C à + 40°C) et dans les conditions humides de culture. Le ELP a prouvé cependant qu'il est capable de travailler correctement dans les conditions extrêmes extérieures, ceux du début de l'hiver.

Le montage de ELP est essentiellement basé sur les propriétés de la cellule photoélectrique (BPY₁₁). Il semble qu'il y a des similitudes entre les caractéristiques du taux de photosynthèse et ceux de la cellule BPY₁₁ alors que par ailleurs une aussi forte corrélation n'a jamais été obtenue. La cellule photoélectrique BPY₁₁ peut être remplacée par un photosenseur linéaire mais dans ce cas il y a lieu d'utiliser une installation plus compliquée électronique ou bien un ordinateur linéaire.

Les composants de l'équipement ont été choisis pour réaliser les exigences exprimées par les équations (6) et (7). Le degré de précision des mesures est satisfaisant mais cependant il doit être encore vérifié. Actuellement, la mesure du taux de photosynthèse représente le point le plus délicat du système. Mais il peut être encore fortement amélioré en poursuivant le développement du système. Il faut tenir compte des variations dans le balayage par l'air du système IRGA et du degré de précision des mesures de l'IRGA.

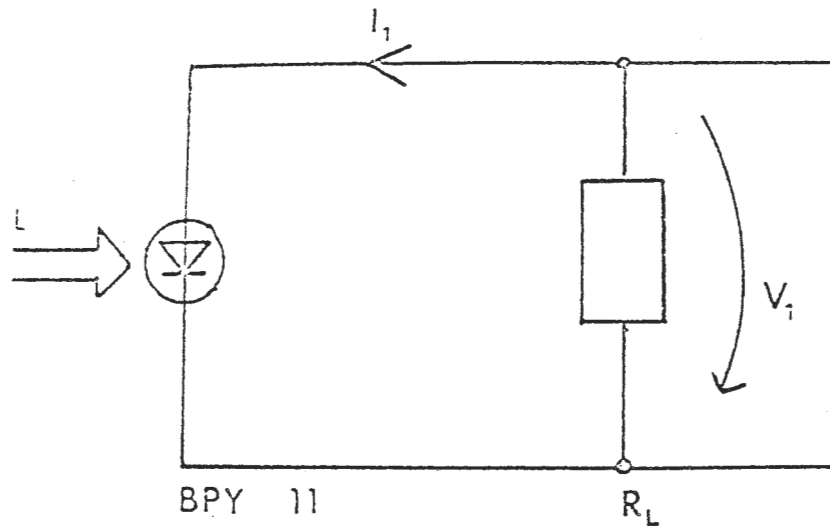


Figure 1. Circuit test pour cellule photovoltaïque BPY11

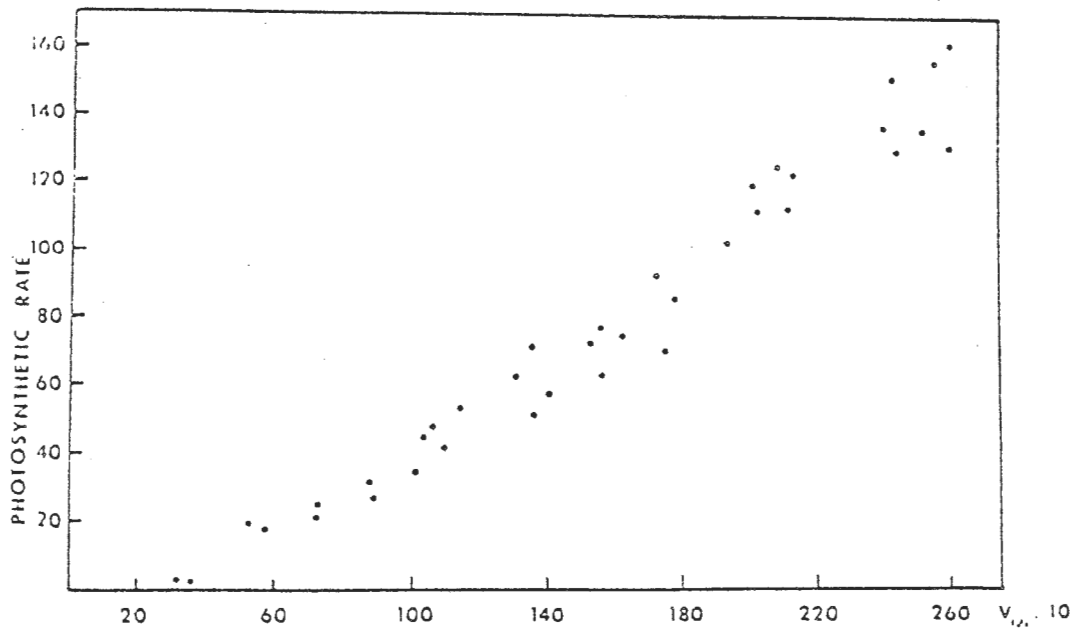


Figure 2. Corrélation entre le taux de photosynthèse et la sortie de ELP sous des températures variant entre 10°C-15°C au cours de la période 1974-06-06 et 06-23

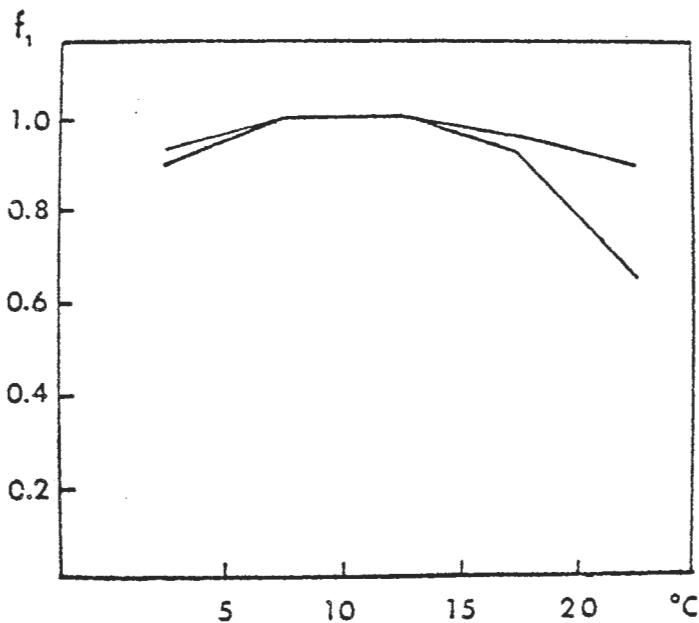


Figure 3. Fonction f_1 pour le pin d'Ecosse (ligne fine) et pour le sapin de Norvège (ligne épaisse).

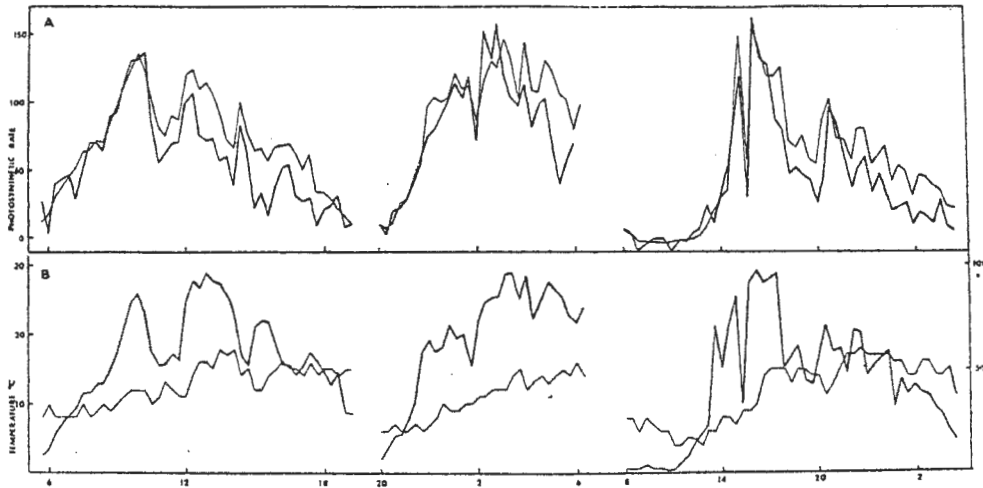


Figure 4 A-Taux de photosynthèse mesuré (ligne épaisse) en accord avec l'équation 8 et calculé pour la période 1974-06-06 06-07 et 06-10 pour le pin d'Ecosse

B- Sortie de ELP (ligne épaisse) et température (ligne fine) pour la même période

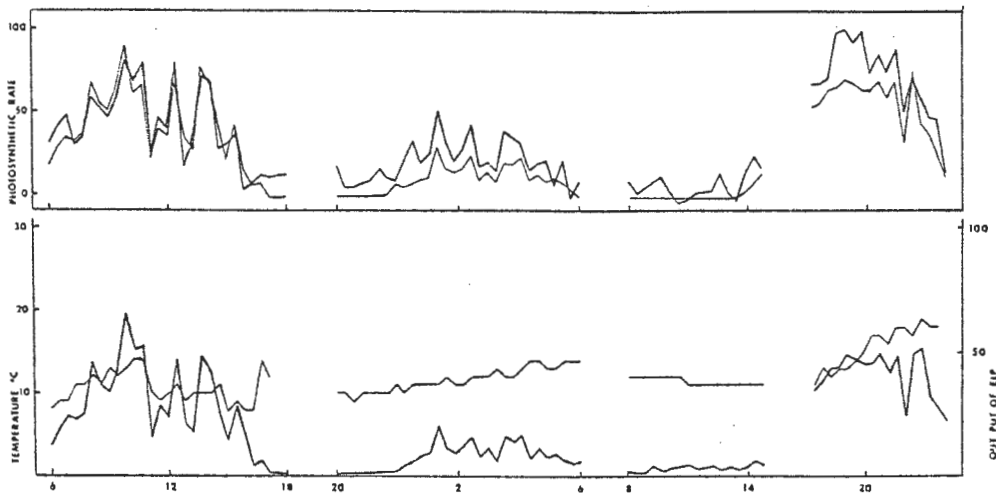


Figure 5 A- De même que dans la figure 4 mais pour les valeurs du sapin de Norvège pendant la période 1974- 07-21 et 07-25.

L'analyse statistique effectuée sur les résultats obtenus montre, cependant, qu'ils sont bien meilleurs que ceux espérés. Le modèle (équation 8) permet d'expliquer 80% des variations du taux de photosynthèse dans n'importe quelle période observée au cours de l'été 1974. Les taux de photosynthèse mesurés et calculés présentés dans les figures 4 et 5 sont donnés simplement pour illustrer les performances. En plus il y a lieu de ne pas oublier que les taux de photosynthèse mesurés et calculés sont indépendants l'un de l'autre étant donné que les paramètres du modèle sont estimés à partir de données collectées au cours de la période du 25 juin 1974 au 3 juillet pour le pin d'Ecosse et du 31 juillet 1974 au 4 août pour le sapin de Norvège.

Les mesures de taux de photosynthèse ont été analysées dans la littérature. Il n'y a que peu de données valables, dans lesquelles un calcul statistique est donné (cf. REIFSNYDER W.E. 1962). En particulier, les renseignements concernant la photosynthèse à l'intérieur de la canopie sont assez rares. Ceci est très probablement dû aux grandes difficultés impliquées par les mesures de l'intensité lumineuse dans la canopie. L'analyse statistique des taux de photosynthèse est aussi plus compliquée étant donné que les variables indépendantes, température et intensité lumineuse, sont en étroite corrélation et aussi à cause de ce que le déficit hydrique et la température ont une interaction étroite avec la photosynthèse (HARI et LUUKKANEN 1973). Aussi il est difficile d'utiliser une méthode standard d'analyse statistique.

L'utilisation de ELP et une analyse statistique soignée des données permet d'étudier la photosynthèse dans les conditions culturales avec un degré qui n'était précédemment possible qu'au laboratoire. Dans cette voie, l'attention doit être portée sur l'étude des aspects écologiques importants de la photosynthèse aux champs.

Références

- EVANS, L.T. The effect of light on plant growth, development and yield. In Plant Response to Climatic Factors (ed. Slatyer, R.O.) Unesco, Paris 1973.
- HARI P. and LUUKKANEN O. 1973. Effect of water stress, temperature, and light on photosynthesis in alder seedlings. *Physiol. Plant.* 29: 45-53.
- HARI P. and LUUKKANEN O. 1974. Field studies of photosynthesis as affected by water stress, temperature, and light in birch. *Physiol. Plant.* 32: 97-102.
- KORNHER, A. and RODSKSER, N. 1967. Über die Bestimmung der Globalstrahlung in Pflanzenbeständen. *Flora.* 157 : 149-164.
- KUBIN, S. 1971. Measurement of radiant energy. In Plant Photosynthetic Production (ed. SESTAK, Z. et al.) pp. 702-763.
- LOGAN, K.T. and PETERSON, E.B. 1964. A method of measuring and describing light patterns beneath the forest canopy. Department of forestry publication no. 1073: 1-26.
- NEUWIRTH, G. 1963. Die soziologische Bedingungen der Energienwertung durch Assimilation in Fichtenbeständen (Picea abies L.) . *Archiv für Forstwesen* 11: 1224-1240.

Optoelectronics semiconductors.1974. Siemens databook.

Reifsnyder,W.E.1967. Forest Meteorology : The forest energy balance.International review of forestry research,vol.2, pp.127-179. New York-London.

Rodskser N.1972. Experimental investigations into the alternation of Solar in field crops with special regard to the 0.3 - 0.7 μm spectral band. Waxtodling Plant Husbanding 27.

SCHULZE,E.D.1970. Der CO_2 -Gas wechsel der Buche (Fagus silvatica L.) in Abhängigkeit von den Klimafaktoren in Freiland.Flora.159: 177-232.

SCHULZE,E.D.1972. Die Wirkung von Licht und Temperature an den CO_2 -Gaswechsel verschiedener Lebenstormen aus der Krautschlicht eines montanes Büchenwaldes. Oecologia 9: 235-258.

SETLIK,I.1967. The use of integrating photoelectrical radiators recorders for the measurement of photosynthetically active radiation. In Functioning of Terrestrial Ecosystems at the Primary Production Level (ed.Eckard,F.E.)Unesco, Liege.

SZE,S.M.1969. Physics of semiconductor devices. Wiley-interscience.New York.

x x

x

XI. PRODUCTIVITE POTENTIELLE DES PLANTES ET METHODES DE SA MISE EN EVIDENCE
--

B.C.Mochkov, Institut d'Agrophysique-Laboratoire de physiologie de la lumière.
Prospect Grajdansky n°14 Leningrad K220-URSS.

En liaison avec l'augmentation prévisible de la population de notre planète qui atteindra 6 millions d'individus en l'an 2000, on entend de plus en plus fréquemment des appels et des inquiétudes, de plus en plus alarmantes, concernant l'approche d'une famine accompagnant des mortalités inévitables, et, ce qui est particulièrement désagréable c'est qu'aucune mesure n'est prise ni prévue à l'heure actuelle pour essayer de combattre ce fléau.

Ce qui plus est, c'est que ces derniers temps le problème de lutte contre le manque de produits alimentaires s'est compliqué par la protection indispensable de la nature contre la pollution et de la destruction possible de la biosphère.

L'utilisation massive sous culture de surfaces forestières et autres paysages naturels, qui était considéré encore récemment comme une réserve importante pour l'agriculture est actuellement, à juste raison, estimé comme inadmissible. Le fait d'inclure les bassins hydrauliques, y compris les océans comme sources de nourriture pour les hommes, non seulement animale mais aussi végétale- est un problème très complexe et encore insuffisamment connu, cependant il doit être résolu d'une façon urgente avec tout le sérieux indispensable.

PHYTOTRONIC NEWSLETTER N°16

SOMMAIRE

	Pages
I. Editorial	1
<u>Réunions</u>	
II. Symposium ISHS sur la culture protégée. Bucarest mai 1976.....	2
III. Symposium sur les recherches avec Arabidopsis. Francfort septembre 1976.....	2
IV. Séminaire du groupe d'étude des racines. Grenoble octobre 1976.....	3
V. Problèmes d'économies d'énergie	4
VI. 20e Congrès d'Horticulture de 1978. Symposium de Phytotronique.....	5
<u>Stratégie de la Recherche, articles et notes scientifiques</u>	
VII. Contrôle en feedback de la température des feuilles T. Matsui et H. Eguchi (Japon).....	6
VIII. Réactions des plantes à une absence prolongée de la lumière V.M. Leman et T.N. CHMANAEVA (URSS)	12
IX. Simulation du processus de production d'une station de plantes J. Ross (URSS) ..	16
X. Equipement pour mesurer la lumière incidente sur un couvert végétal pour des études de photosynthèse .P. Hari and al. (Finlande).....	20
XI. Productivité potentielle des plantes et méthodes de mise en évidence. B.C. Mochkov (URSS).....	28
XII. Activité photosynthétique des tomates sous des températures variables du système racinaire. L.N. Chermnykh and al. (URSS).....	37
XIII. Etude de l'effet Kok sur <u>Lactuca sativa</u> cv. <u>Romana</u> A. Sarti and al. (Italie) ..	42
XIV. Phytotron du Kazakstan F.A. Polimbetova (URSS).....	47