Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 71 (1971-1973)

Heft: 343

Artikel: Influence de l'anhydride sulfureux sur les échanges gazeux de la moutarde blanche (Sinapis alba L.)

Autor: Buron, Annie / Cornic, Gabriel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-276319

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Influence de l'anhydride sulfureux sur les échanges gazeux de la moutarde blanche (*Sinapis alba* L.)

PAR

ANNIE BURON [1] et GABRIEL CORNIC
Laboratoire du Phytotron, Service d'Ecologie
F-91190 Gif-sur-Yvette

Summary. — Photosynthesis and stomatal aperture are modified by SO_2 fumigation. A 3 minute SO_2 fumigation at 2,5 ppm increases the CO_2 assimilation and stomatal aperture. A 40 minute SO_2 fumigation at 40 ppm decreases photosynthesis and stomatal aperture.

The SO_2 effect on photosynthesis is a function of the fumigation time and of the SO_2 and CO_2 concentration during the fumigation : a high CO_2 level protects the leaves against the SO_2 effect.

Photorespiration is also affected by SO_2 fumigation : a long and a short SO_2 fumigation time at 2,5 ppm decreases photorespiration. A long and a short SO_2 fumigation time at 40 ppm increases and then decreases photorespiration.

La pollution atmosphérique est un problème d'actualité dont l'étude est primordiale pour la sauvegarde des végétaux dans les zones d'activité industrielle. Son étude a commencé avec le grand développement de l'industrie (SCHRÖDER et REUSS, 1893). Depuis, les études se sont succédé en considérant indépendamment chaque facteur responsable de cette pollution (voir les revues de DUGGER et TING, 1970 ; BURON, 1972).

La pollution par SO_2 est particulièrement importante dans les zones d'industrie pétrolière et les zones urbaines. Il a été vu que la sensibilité des plantes à l'anhydride sulfureux différait selon les espèces (CHOUARD, 1925 ; ZIMMERMANN et HITCHCOCK, 1956), que les dommages causés dépendaient non seulement de la teneur en SO_2 de l'atmosphère (MOREL, 1966) mais aussi des caractéristiques microclimatiques de l'environnement (KORITZ et WENT, 1953).

A forte teneur, le SO_2 provoque une destruction des chloroplastes (NOACK, 1925), la formation de nécroses et une forte diminution de la

[1] Adresse actuelle : Station fédérale de recherches agronomiques de Lausanne, Section de physiologie, CH — 1005 Lausanne.

photosynthèse (MOREL, 1966). A de faibles teneurs de SO_2 (2 à 5 µl l^{-1}) l'activité photosynthétique peut être affectée mais cette action est réversible (THOMAS, HILL, 1949). L'effet sur la respiration est plus ambigu : on note une stimulation ou une inhibition de celle-ci selon les conditions hydriques (KATZ, 1949) ; cependant lorsqu'il se produit des nécroses on observe sa réduction (MOREL, 1966).

Le SO_2 atmosphérique peut cependant être absorbé par la plante (BROMFIELD, 1972). Après réduction il est inclus dans les acides aminés soufrés et dans les protéines (DE CORMIS et BONTE, 1969). Dans les zones où il existe une carence en soufre, l'enrichissement en SO_2 de l'atmosphère peut provoquer une augmentation de la production végétale (THOMAS, 1951).

Nous allons présenter ici des résultats montrant l'influence d'une faible (2,5 ppm) et d'une forte (40 ppm) concentration de SO_2 sur les échanges gazeux de CO_2 et sur l'ouverture stomatique chez le *Sinapis alba* L.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Les cultures de *Sinapis alba* L. sont faites en lumière artificielle dans une salle « obscure » du Phytotron de Gif-sur-Yvette dans les conditions suivantes, maintenues constantes pendant toute la durée de l'expérience. La température de la salle est de 22°C le jour et de 12°C la nuit, l'humidité relative est de 70 %, l'éclairement est de 25 Klux au niveau des plantes avec un cycle de 16 heures de lumière et de 8 heures d'obscurité. Les plantes poussent sur de la vermiculite et sont arrosées avec la solution nutritive d'HOAGLAND, tous les jours.

1. *Mesure des échanges de CO_2*

Un analyseur de gaz ONERA dans l'infrarouge permet de suivre la variation de la quantité en CO_2 de l'air balayant une feuille en place sur la plante au cours de la fumigation. L'air est débarrassé de sa vapeur d'eau et du CO_2 atmosphérique après passage sur H_2SO_4 et sur de l'ascarite, puis un barbotage dans l'eau lui assure une humidité relative de 75 % environ. Il peut être ensuite enrichi en CO_2 par simple diffusion de CO_2 pur à travers une membrane en caoutchouc perméable à ce gaz. Une simple variation de sa surface suffit pour obtenir différentes teneurs. Pour chaque expérience on a répété 5 fois les mesures avec des plantes différentes. Deux lampes fluorescentes de 400 W donnent au niveau des feuilles une énergie d'environ 9,5 W m^{-2}.

2. *Mesure de l'ouverture des stomates*

On a déposé sur l'épiderme inférieur des gouttelettes d'une gamme d'isobutanol et d'eau. Seules les gouttelettes à tension superficielle suffisamment faible pénètrent par les stomates (ALVIN et HAVIS, 1954).

Le rang de la dernière solution qui pénètre mesure ici, par convention, la porosité. On a choisi un écart de 5 % entre chaque solution de la gamme.

3. *Fumigation de SO_2*

L'air provenant de l'arrivée en air comprimé du laboratoire, enrichi ou non en CO_2 et maintenu à pression constante, est canalisé jusqu'à un mélangeur dans lequel le SO_2 maintenu à la pression atmosphérique arrive par une série de tubes capillaires. Un simple réglage de la longueur des tubes capillaires suffit pour obtenir plusieurs teneurs de SO_2 avec le même montage. Une pompe envoie ce mélange dans l'enceinte de fumigation (BURON, 1972).

Un barbotage de l'air du circuit pendant 3 heures à un débit de 100 l h^{-1} dans 50 ml d'eau oxygénée qui oxyde le SO_2 en acide sulfurique, permet de doser la quantité de SO_2 contenue dans un volume d'air connu. L'augmentation de l'acidité est dosée par simple acidimétrie (O.C.D.E., 1964).

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. *Action du SO_2 sur la photosynthèse et l'ouverture stomatique*

a) *Action d'une fumigation à 0,5 ppm de deux durées différentes :*

La figure 1 montre l'effet de fumigations de 2,5 ppm durant 3 ou 40 minutes, sur la photosynthèse et l'ouverture stomatique. On constate que la fumigation la plus courte provoque une augmentation de l'assimilation et de l'ouverture stomatique (fig. 1 A et B), tandis que la fumigation la plus longue entraîne au contraire une diminution de la photosynthèse et de l'ouverture des stomates (fig. 1 C et D).

Dans certaines conditions le SO_2 provoque une augmentation de la photosynthèse. Dans les manipulations décrites figure, 1 la variation de l'assimilation peut s'expliquer par la variation concomitante de l'ouverture des stomates. UNSWORTH, BISCOE et PINCKNE (1972) ont également observé une ouverture des stomates pour des teneurs allant de 0,01 à 0,5 ppm de SO_2.

b) *Action de différentes teneurs de SO_2 à des concentrations différentes de CO_2 sur la photosynthèse :*

Le SO_2 qui pénètre dans les feuilles par les stomates peut être réduit et incorporé dans certains acides aminés et les protéines (DE CORMIS et BONTE, 1969).

Cette observation suggère une compétition possible entre le CO_2 et le SO_2 et que l'effet de l'anhydride sulfureux peut être diminué lorsque la teneur en CO_2 de l'atmosphère augmente.

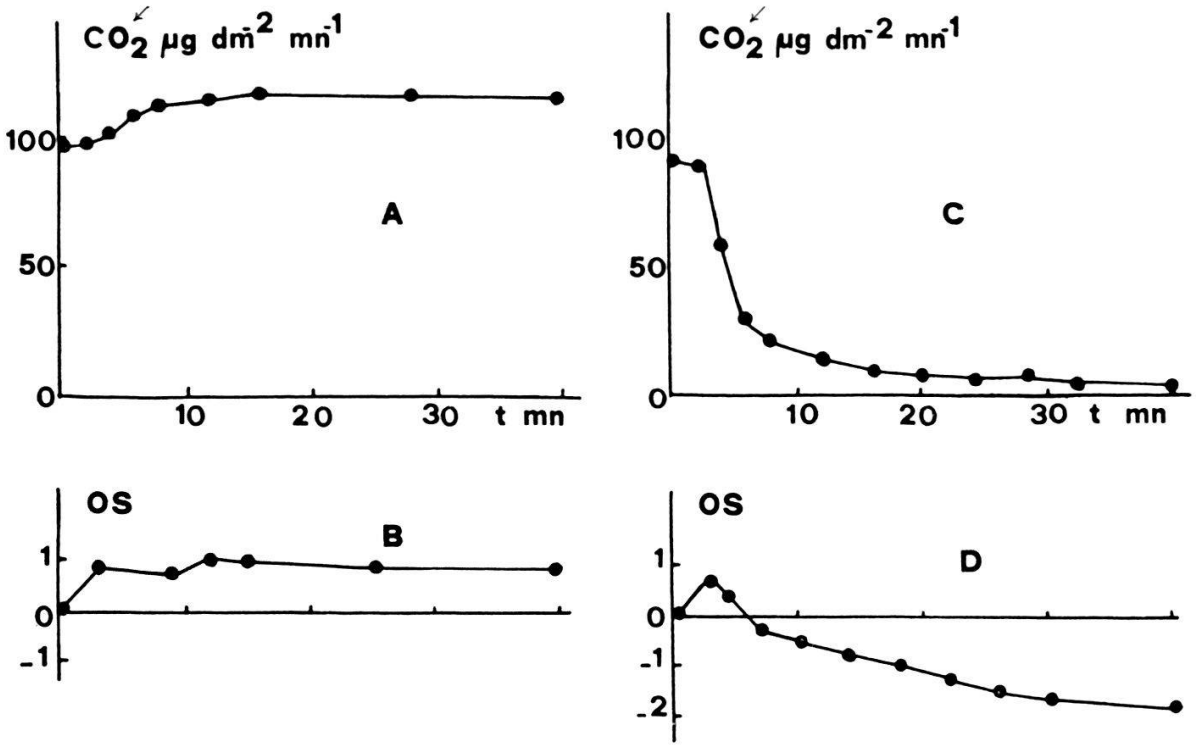

Fig. 1. — Evolution de l'activité photosynthétique (CO_2 ↙) et de l'ouverture stomatique (OS) au cours du temps (t), lors de fumigation de 3 minutes (fig. 1 A et 1 B) et de 40 minutes (fig. 1 C et 1 D). L'ouverture stomatique avant la fumigation est considérée comme égale à 0 ; une unité sur le graphique correspond à un changement de 10 % dans la concentration de la solution isobutanol/eau pénétrant dans les feuilles.

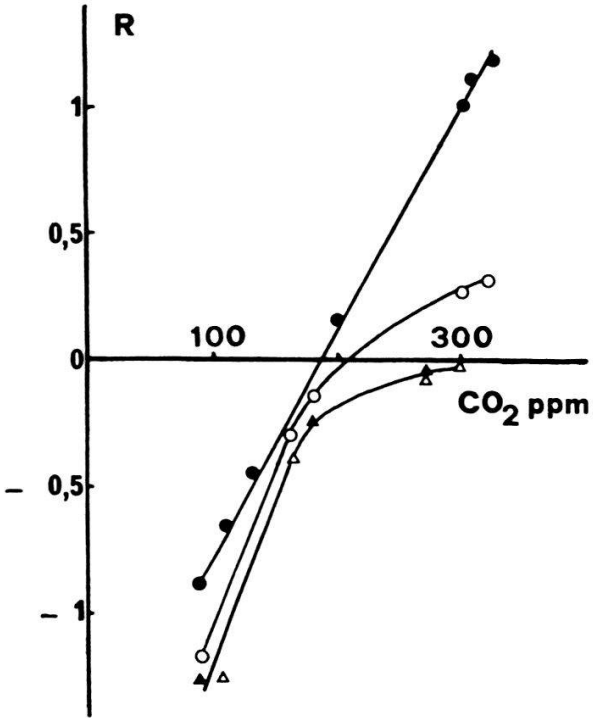

Fig. 2. — Evolution du rapport R, représentant les échanges de CO_2 après application de SO_2 par rapport à la photosynthèse apparente initiale en fonction de la teneur en CO_2 de l'atmosphère. Fumigation par 2,5 ppm de SO_2 durant 3 minutes : ●——●, durant 40 minutes ○——○. Fumigation par 40 ppm de SO_2 durant 3 minutes ▲——▲, durant 40 minutes △——△.

La figure 2 montre l'influence de la teneur en CO_2 de l'atmosphère sur l'effet exercé par le SO_2 sur les échanges nets du CO_2. Quatre conditions de fumigation sont choisies : deux teneurs (2,5 et 40 ppm) appli-

quées pendant deux durées différentes (3 et 40 minutes). On exprime l'effet du SO_2 sur l'échange net en considérant le rapport *R* de sa valeur atteinte après la fumigation à celle avant la fumigation. On peut voir que dans tous les cas plus la teneur en CO_2 est forte moins l'effet du SO_2 est important. Les concentrations élevées en CO_2 protègent donc la photosynthèse contre l'action nocive du SO_2. Les résultats obtenus pour chaque traitement présentent entre eux quelques différences.

R mesuré après la fumigation de 2,5 ppm de SO_2 pendant 3 minutes varie linéairement en fonction de la teneur en CO_2 de l'air : l'activité photosynthétique masquée par un rejet de CO_2 à 100 ppm est stimulée lorsque la teneur de l'air en gaz carbonique atteint 300 ppm.

Les trois autres traitements ont des effets semblables sur la photosynthèse. Dans les trois cas la réponse de *R* à des augmentations de la concentration en CO_2 se décompose en deux parties de pente très différente. Pour des concentrations en CO_2 de 100 à 180 ppm, *R* augmente rapidement ; pour des concentrations supérieures à 180 ppm, son augmentation est plus faible. L'effet protecteur du CO_2 est donc plus important dans une zone où sa teneur dans l'atmosphère est plus faible.

D'autre part dans le cas de fumigation de 40 ppm les effets de 2 durées d'application sur *R* sont identiques. A partir d'un certain seuil de concentration en SO_2 de l'atmosphère, les effets sur l'assimilation sont identiques quelle que soit la durée de la fumigation.

ZIEGLER (1972) observe que le SO_2 est un inhibiteur compétitif de la RuDP-carboxylase en présence de HCO_3^-. Les résultats décrits ci-dessus montrant l'effet protecteur du CO_2 sur l'activité photosynthétique en présence de SO_2 s'expliquent bien en admettant chez le *Sinapis alba* l'existence d'une telle compétition.

c) *Influence d'une fumigation de SO_2 sur l'évolution de l'activité photosynthétique au cours de la croissance :*

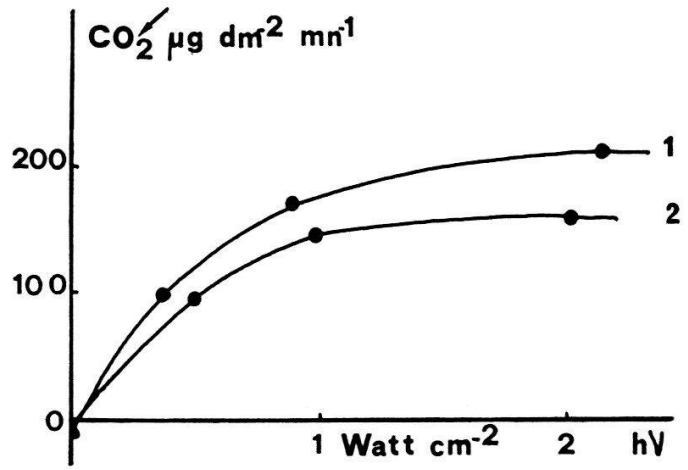

Fig. 3. — Variation de l'activité photosynthétique (CO_2) en fonction des différents niveaux d'énergie lumineuse (hv), chez la 3e feuille apparue ayant subi une fumigation de 3 minutes par 2,5 ppm de SO_2 (1) et n'ayant pas subi de fumigation (2). Chaque point est la moyenne de mesures faites sur 10 feuilles issues de plantes différentes.

On a voulu savoir si l'effet d'une fumigation de SO_2 à un moment donné pouvait se faire sentir à long terme sur l'activité photosynthétique.

On soumet au 24e jour de la croissance la 3e feuille apparue à une fumigation de 2,5 ppm pendant 3 minutes, qui n'est pas suivie de nécrose. Dix jours après le traitement, on examine la réponse de l'activité photosynthétique à des éclairements différents. La comparaison s'effectue avec des plantes n'ayant pas subi le traitement.

La figure 3 montre les résultats obtenus. Chaque point est la moyenne de 10 mesures faites sur 10 plants différents. On peut voir que les plantes ayant subi la fumigation ont, à tous les éclairements, une photosynthèse

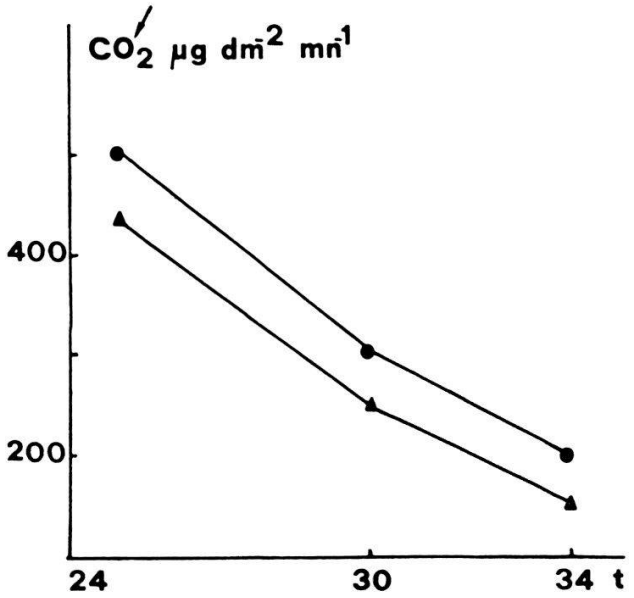

Fig. 4. — Evolution en fonction du temps (t) exprimé en jours de la photosynthèse nette (CO_2) au plateau de saturation lumineuse chez la 3e feuille apparue ayant subi une fumigation de 3 minutes par 2,5 ppm de SO_2 (●——●) et n'ayant subi aucune fumigation (▲——▲).

plus élevée. La figure 4 montre que, pendant cette période de 10 jours, l'évolution du plateau de saturation des plantes traitées est parallèle à celle du plateau de saturation des plantes non traitées.

L'absorption d'une faible quantité d'anhydride sulfureux augmente de façon durable l'assimilation et ne modifie pas la forme de son évolution durant la période de croissance examinée.

2. *Action du SO_2 sur le dégagement de CO_2 à la lumière dans un air dépourvu de gaz carbonique et sur l'ouverture stomatique :*

Le dégagement de CO_2 à la lumière, ou photorespiration, est lié à la photosynthèse (JACKSON et VOLK, 1970) et intervient dans le bilan des échanges de CO_2 en représentant une perte (BJÖRKMAN, 1967).

a) *Effet d'une fumigation de 2,5 ppm durant 3 et 40 minutes*

La figure 5 montre le dégagement de CO_2 à la lumière et l'évolution de la fermeture des stomates observée au cours de fumigations de 3 minutes (fig. 5 A et 5 B) et de 40 minutes (fig. 5 C et 5 D). On peut

voir que dans les deux conditions le dégagement de CO_2 diminue jusqu'à une valeur stable égale à 10 % du dégagement initial pour la fumigation la plus longue et de 30 % pour la fumigation la plus courte.

La figure 5 montre que pour la plus courte fumigation il se produit une ouverture stomatique, tandis que pour la plus longue elle diminue.

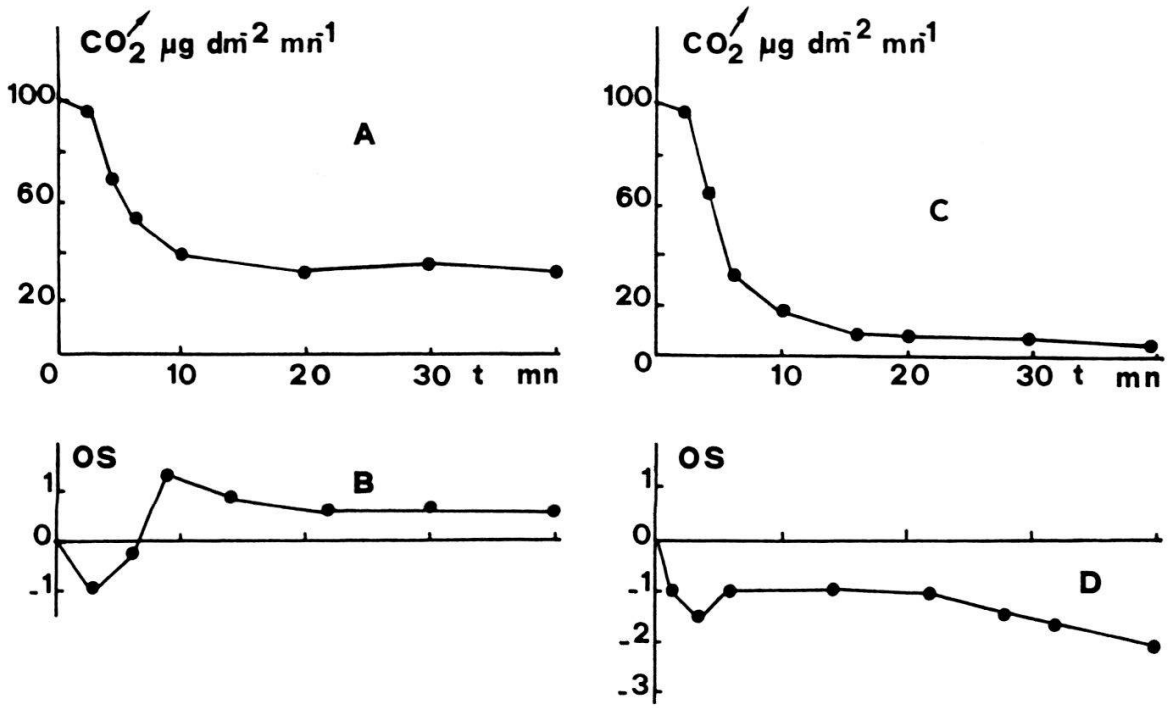

Fig. 5. — Evolution en fonction du temps (*t*), du dégagement de CO_2 à la lumière ($CO_2\nearrow$) dans une atmosphère dépourvue de gaz carbonique, exprimée en pourcentage du dégagement avant la fumigation, et de l'ouverture des stomates, lors de fumigation de 3 minutes (fig. 5 A et 5 B) et de 40 minutes (fig. 5 C et 5 D), par 2,5 ppm de SO_2. L'ouverture stomatique avant la fumigation est considérée comme égale à 0 ; une unité sur le graphique correspond à un changement de 10 % dans la concentration de la solution pénétrant dans les feuilles.

Il est clair, d'après ces mesures, que le SO_2 agit directement sur la photorespiration, probablement par son effet sur l'activité photosynthétique. Ces résultats correspondent d'ailleurs à ceux de HERATH et ORMROD (1972) qui constatent une diminution du point de compensation en présence de SO_2.

b) Les figures 6 et 7 illustrent les résultats obtenus lors des fumigations de 40 ppm de SO_2 pendant 3 et 40 minutes. On peut voir que les 3 premières minutes du traitement sont les plus importantes et sont décisives pour l'évolution du dégagement de CO_2, puisqu'il se produit dans les deux cas une augmentation transitoire du dégagement suivi d'une forte diminution jusqu'à une valeur constante. La valeur finale atteinte est plus faible pour la plus longue fumigation.

La destruction des structures des tissus foliaires, conduisant à leur mort progressive constatée après un traitement de 3 minutes, ne serait probablement pas étrangère à l'obtention de cette augmentation transitoire. En effet, la destruction des chloroplastes qui se manifeste par une décoloration de la feuille libère une forte quantité de substrat photo-

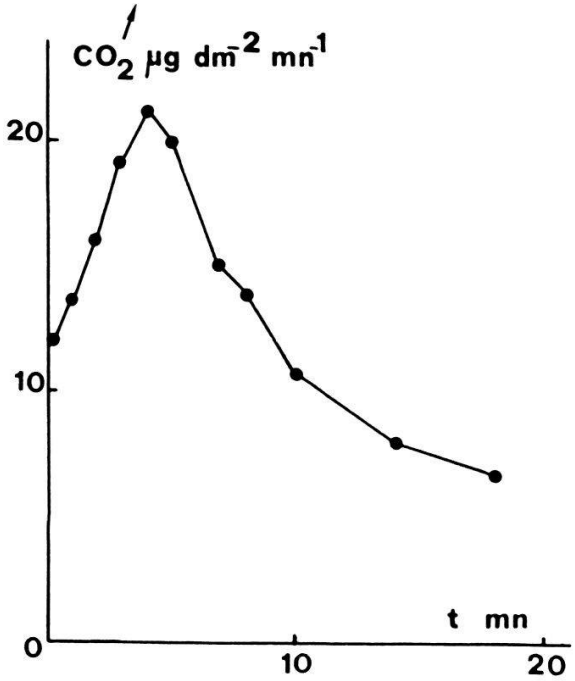

Fig. 6. — Evolution du dégagement de CO_2 à la lumière ($CO_2 \nearrow$) dans une atmosphère dépourvue de gaz carbonique, au cours du temps (t), lors de fumigation de 3 minutes par 40 ppm de SO_2.

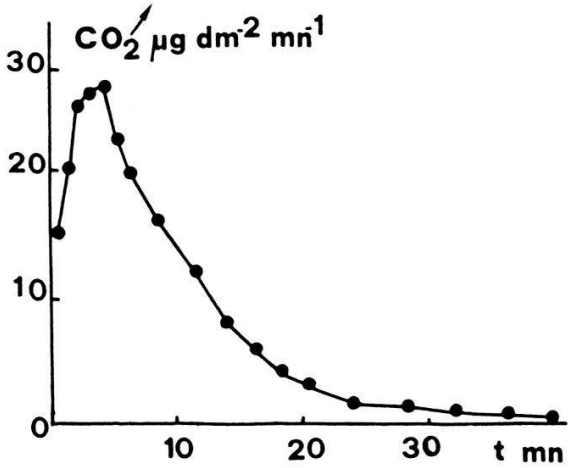

Fig. 7. — Evolution du dégagement de CO_2 à la lumière ($CO_2 \nearrow$) dans une atmosphère dépourvue de gaz carbonique, au cours du temps (t), lors de fumigation de 40 minutes par 40 ppm de SO_2.

respirable mise subitement à la disposition des peroxisomes. Une telle destruction des membranes chloroplastiques a déjà été observée pour des teneurs de SO_2 analogues par NOACK (1925).

Discussion

Les résultats présentés ci-dessus mettent en évidence l'action du SO_2 sur l'activité photosynthétique et sur le degré d'ouverture des stomates. L'action du SO_2 sur l'assimilation peut être positive ou négative, selon

que la durée de la fumigation est de 3 ou 40 minutes. Il est probable qu'il agit directement sur la photosynthèse comme le laissent penser les données bibliographiques (DE CORMIS et BONTE, 1969 ; ZIEGLER, 1972) et les résultats décrits (fig. 1). Cependant, il est difficile d'apprécier dans quelle mesure les variations de l'ouverture stomatique influent sur les variations des échanges gazeux. Quoi qu'il en soit il est certain qu'une augmentation de l'ouverture des stomates, telle que l'on observe lors des fumigations de courte durée à 2,5 ppm ne peut que faciliter l'assimilation et que leur fermeture pendant la fumigation de 40 minutes favorise la diminution de la quantité de CO_2 fixé (fig. 1). Enfin l'expérience décrite sur la figure 4 indique que les modifications de l'assimilation induites par une petite fumigation au SO_2 peuvent se conserver durant la croissance.

L'action du SO_2 sur l'assimilation dépend de la teneur de l'atmosphère en CO_2, elle est d'autant plus nocive que la teneur en CO_2 est faible. Dans les trois traitements, comprenant la fumigation à 2,5 ppm durant une longue période et les deux fumigations à 40 ppm, on a constaté que l'effet protecteur du CO_2 était plus important entre 100 et 180 ppm. Ce changement dans l'efficacité de la protection par le gaz carbonique pose le problème de l'existence d'une compétition entre le SO_2 et le CO_2 se fixant sur une même molécule en excès entre 100 et 180 ppm.

L'action du SO_2 sur l'ouverture stomatique est difficile à interpréter ; comme le montrent les figures 1 (B et D) et 5 (B et D), elle dépend de la durée de la fumigation et de la concentration en CO_2 de l'atmosphère. En présence de CO_2 il se produit une ouverture stomatique ne persistant pas dans le cas des fumigations de longue durée. En absence de CO_2, le SO_2 produit dans les premiers instants une fermeture stomatique d'autant moins réversible que la fumigation est plus longue. Le SO_2 absorbé en faible quantité aurait une action antagoniste de celle du CO_2 sur les mouvements stomatiques (MANSFIELD, 1971).

Ces variations de l'ouverture des stomates pourraient être dues à l'action du SO_2 sur la quantité de CO_2 qui les induit puisque les deux phénomènes sont liés (MEIDNER et MANSFIELD, 1968).

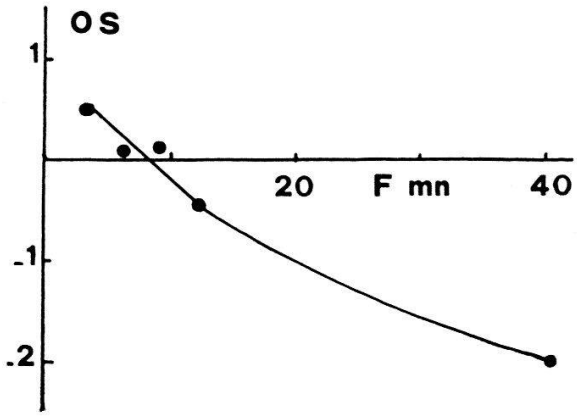

Fig. 8. — Variation de l'ouverture stomatique (OS) à la lumière dans un air sans CO_2 mesurée 40 minutes après la fumigation en fonction de la durée d'une fumigation (F) par 2,5 ppm de SO_2. L'ouverture stomatique avant la fumigation est considérée comme égale à 0 ; une unité sur le graphique correspond à un changement de 10 % dans la concentration de la solution pénétrant dans la feuille.

Dans un air sans CO_2, le SO_2, provoquant la fermeture des stomates, agirait sur le processus de leur ouverture. La figure 8 montre que son mécanisme serait lésé par un traitement de plus de 10 minutes puisque leur fermeture n'est plus réversible 40 minutes après la fumigation. On observe aussi que le degré de réversibilité est proportionnel à la durée de l'application de SO_2. Ainsi le mécanisme permettant l'ouverture des stomates se dégraderait de plus en plus sous l'influence de SO_2.

L'ouverture des stomates constatée dans une atmosphère de 300 ppm de CO_2 contenant 2,5 ppm de SO_2 suggère une compétition entre les deux gaz. En effet, tout se passe comme si la quantité de CO_2 absorbée par la feuille était moins forte en présence de SO_2. De plus, au début de la fumigation, le CO_2 protège le mécanisme d'ouverture des stomates qui finit par se dégrader lorsque la durée d'application du SO_2 augmente.

Si l'ensemble des résultats met en relief l'action néfaste de fortes quantités de SO_2 sur l'assimilation de la plante, il montre également qu'il est possible d'augmenter de façon durable l'activité photosynthétique du *Sinapis alba* L. par de petites fumigations de SO_2. Des études ultérieures sont nécessaires pour évaluer l'importance de ce dernier point.

Résumé. — L'assimilation photosynthétique du CO_2 et le degré d'ouverture des stomates sont affectés par des fumigations de SO_2 : une fumigation durant 3 minutes par 2,5 ppm de SO_2 augmente l'assimilation de façon durable, et provoque une ouverture stomatique. Une fumigation durant 40 minutes par 2,5 ppm de SO_2 la déprime et provoque la fermeture des stomates.

L'effet du SO_2 sur la photosynthèse dépend de sa concentration lors de la fumigation, de la durée de la fumigation et de la concentration de CO_2 de l'atmosphère au moment de cette dernière : de fortes teneurs en CO_2 diminuent l'effet du SO_2.

La photorespiration est affectée par des fumigations de SO_2 : des fumigations par 2,5 ppm de SO_2 pendant de courtes et longues durées provoquent sa diminution jusqu'à une valeur constante, des fumigations par 40 ppm de SO_2 pendant des courtes et longues durées entraînent une augmentation transitoire du dégagement du CO_2 suivie d'une diminution jusqu'à l'apparition d'un taux constant.

BIBLIOGRAPHIE

ALVIM, P. T. et HAVIS, J. R. 1954. — An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. *Plant Physiol.*, *29*, 97-98.

BJÖRKMAN, O. 1967. — Further studies of the effect of oxygen concentration on photosynthetic CO_2 uptake in higher plants. *Carn. Inst. Wash. Year Book*, *66*, 220-232.

BROMFIELD, A. R. 1972. — Absorption of atmospheric sulphur by mustard *(Sinapis alba)* grown in a glasshouse. *J. agri. Sci.*, *78*, 343-344.

BURON, A. 1972. — Les effets de l'anhydride sulfureux sur les échanges de CO_2 du *Sinapis alba* L. Thèse de 3e Cycle, Université Paris-Sud, Orsay. (43 pages).

CHOUARD, P. 1925. — Quelques effets de l'anhydride sulfureux sur les végétaux. *Assoc. Franç. Avancement des Sciences*, Grenoble, 342-345.

DE CORMIS, L. et BONTE, C. 1969. — Variation de la teneur en soufre des plantes. *Poll. atm.*, *43*, 160-162.

DUGGER, W. M. et TING, J. P. 1970. — Air pollution oxidants : their effects on metabolic processes in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, *21*, 215-234.

HERATH, H. M. W. et ORMROD, D. P. 1972. — Temperature and sulfur nutrition effects on CO_2 compensation values in barley, peas and rape. *Plant Physiol.*, 443-444.

JACKSON, W. A. et VOLK, R. J. 1970. — Photorespiration. *Ann. rev. Plant Physiol.*, *21*, 385-432.

KATZ, M. 1949. — Sulphur dioxyde in the atmosphere and its relation to plant life. *Ind. Eng. Chem.*, *41*, 2450-2465.

KORITZ, H. G. et WENT, F. W. 1953. — The physiological action of smog on plants. I — Initial growth and transpiration studies. *Plant Physiol.*, *28*, 50-62.

MANSFIELD, T. A. 1971. — Stomata : Versatile sensory devices but difficult experimental subjects. *J. Biol. 5*, 115-123.

MEIDNER, H. et MANSFIELD, T. A. 1968. — *Physiology of stomata*. Mc Graw-Hill, New York.

MOREL, C. 1966. — Diagnostic différentiel des nécroses provoquées par l'acide fluorhydrique et l'anhydride sulfureux. Thèse de 3e cycle Université de Paris (82 pages).

NOACK, K. 1925. — Über das Chloroplasteneisen. *Z. Botan.*, *23*, 957-966.

O.C.D.E. 1964. — Mesure de l'anhydride sulfureux. *Méthodes de mesure de la pollution atmosphérique*, Paris.

SCHRÖDER, J. et REUSS, C. 1893. — *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberhager Hüttenrauchschäden*. P. Parey, Berlin 1883, p. 333.

THOMAS, M. D. et HILL, G. R. 1949. — *Photosynthesis in plants*. Chap. 2 : 19-52 (in FRANCK J. et LOOMIS W. E., Iowa State Cdl. Press, Ames, Iowa).

THOMAS, M. D. 1951. — Gas damage to plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, *2*, 293-322.

UNSWORTH, M. H., BICOE, P. V. et PINCKNEY, H. R. 1972. — Stomatal response to sulphur dioxide. *Nature*, *239*, 458-459.

ZIEGLER, I. 1972. — The effect of SO_3^{--} on the activity of ribulose 1-5 diphosphate carboxylase in isolated spinach chloroplasts. *Planta*, *103*, 155-163.

ZIMMERMAN, P. W. et HITCHCOCK, A. E. 1956. — Susceptibility of plants to hydrofluoric acid and sulphur dioxide gases. *Contrib. Boyce Thompson Inst. 18*, 263-279.

Manuscrit reçu le 13 juillet 1973.