

Fonctionnement des systèmes photosynthétiques

Hitmi Adnane, Moussard Cécile, Austruy Annabelle, Vernay Philippe
Clermont Université, Université d'Auvergne, Laboratoire de Physiologie
et Biotechnologies Végétales - 63000 Clermont-Ferrand.

Contact : adnane.hitmi@udamail.fr



DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Nom de l'indicateur : Fonctionnement de l'appareil photosynthétique des plantes supérieures, bio-indicateur de la contamination des sols.

Principe du bio-indicateur :

La photosynthèse est une voie centrale du métabolisme cellulaire. C'est le processus biologique qui permet aux plantes supérieures, en présence de lumière, de fixer le CO₂ atmosphérique pour produire de la matière organique (Fig. 1). Elle se déroule en 2 étapes :

- la première consiste à capturer l'énergie lumineuse et à la convertir en énergie chimique afin de synthétiser du NADPH et de l'ATP, éléments essentiels au métabolisme cellulaire,
- la seconde consiste en l'utilisation de ces molécules énergétiques afin de réduire le carbone, fixé sous forme de CO₂, et de le transformer en composés organiques.

L'énergie lumineuse absorbée par l'appareil photosynthétique n'est pas totalement transformée en énergie chimique. Ainsi, si l'activité photosynthétique est perturbée par un environnement défavorable, la dissipation d'énergie sous forme de chaleur et de fluorescence chlorophyllienne devra compenser cette baisse. La fluorescence des chlorophylles *a* est considérée comme un indicateur intrinsèque précis des premières étapes de la photosynthèse, et son intensité est inversement liée au rendement photosynthétique et donc de la vitalité des végétaux. Les paramètres de caractérisation du fonctionnement de l'appareil photosynthétique, et en particulier des photosystèmes II (PSII), sont sensibles aux conditions environnementales des plantes (Buonasera *et al.*, 2011) et ont été proposés comme moyen de "biomonitoring" dans des stratégies d'amélioration des productions agricoles (Baker et Rosenqvist, 2004 ; Bourrié, 2007) et en écotoxicologie (Bi Fai *et al.*, 2007). Récemment, la technique de mesure de la fluorescence chlorophyllienne en lumière modulée s'est imposée pour caractériser la performance des appareils photosynthétiques par sa rapidité, sa simplicité, sa fiabilité et surtout par son caractère non invasif et la possibilité de réaliser des mesures *in situ* en routine.

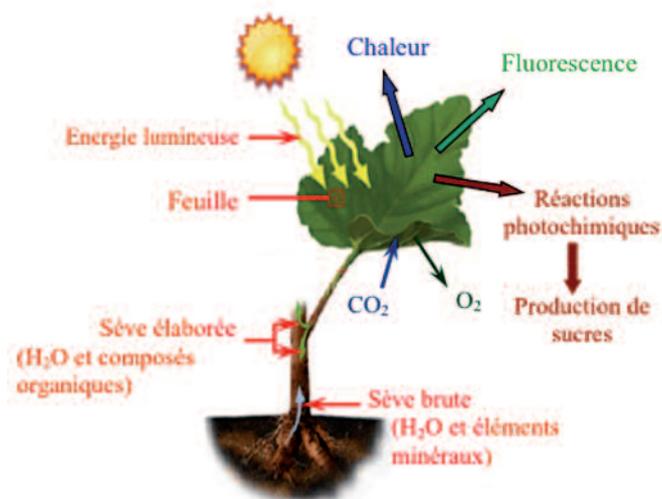


Figure 1 : Mécanisme simplifié du processus de photosynthèse.

DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

Les analyses sont réalisées *in situ* par des personnes spécialisées dans les domaines de la systématique et de l'écophysiologie végétale. Elles sont effectuées systématiquement pendant la période du maximum de végétation entre mai et juin. La démarche à suivre consiste en plusieurs étapes.

Étape 1 : Pour chaque site, des modalités différant dans le niveau de pollution du sol ou dans la nature de l'occupation végétale ont été caractérisées. Ensuite des modalités témoins avec des pollutions relativement faibles à absentes ont été identifiées. Une sélection de 5 espèces végétales dominantes, de préférence communes dans les modalités de chaque site, a été réalisée.

Étape 2 : Etude du fonctionnement du système photosynthétique (Fig. 2).

- Mesures de la Photosynthèse nette (P_n) : les mesures ont été réalisées à l'aide d'un appareil portable Li-Cor modèle 6400 (Lincoln, NE, USA) (Fig. 2). L'appareil comporte une console contenant l'électronique et l'ensemble de régulation du flux d'air. La console est reliée à une pince qui vient enfermer la feuille dans une chambre étanche de $2 \times 3 \text{ cm}^2$. L'hygrométrie de l'air est régulée à 30% d'humidité relative par passage sur de la drierite. La teneur en CO_2 est ajustée à la valeur de $360 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ par un injecteur à CO_2 (LI-Cor 6400-01, Lincoln, NE, USA) qui utilise comme source des cartouches sous haute pression de CO_2 liquéfié. Les concentrations en H_2O et en CO_2 à l'entrée et à la sortie de la chambre sont déterminées par deux spectrophotomètres à infrarouge placés directement dans la pince. La température de la chambre est fixée à 23°C , elle est contrôlée par deux systèmes de refroidissement thermoélectriques (effet Peltier) et mesurée par un thermocouple placé sous la feuille. La feuille est éclairée par une source de lumière constituée du module LI-Cor 6400-02 LED (Lincoln, NE, USA). Elle reçoit $1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, l'intensité lumineuse est mesurée par un capteur à diode de silicium placé directement dans la source. Au cours d'une mesure, l'analyseur enregistre régulièrement le flux de la pompe et les variations des taux de CO_2 et d' H_2O dans le circuit. Une mesure sur les feuilles de chaque plante a été réalisée. 6 mesures par espèce végétale et par modalités ont été réalisées.

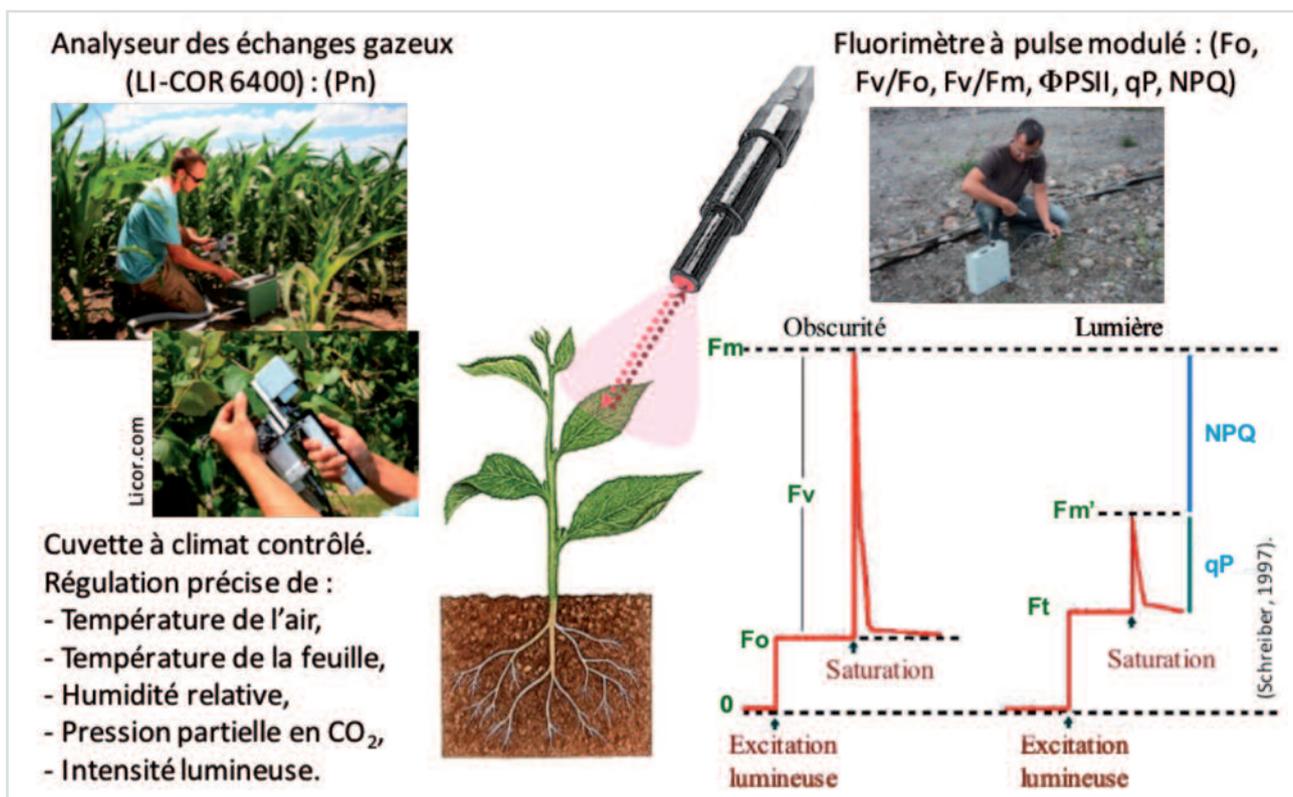


Figure 2 : Instruments de mesure des paramètres caractérisant le fonctionnement des systèmes photosynthétiques des plantes.

- Mesure de la fluorescence des chlorophylles a : les paramètres mesurés permettent de déterminer le fonctionnement des PSII et notamment de l'antenne collectrice et de la transmission de l'énergie lumineuse en énergie potentielle électrochimique. Les paramètres mesurés sont obtenus sur des feuilles intactes à l'aide d'un système PAM FMS 1 « Pulse Amplitude Modulation Fluorescence Monitoring System 1 » (Hansatech Instruments, Norfolk, UK). Ce système de mesure repose sur l'utilisation d'une lumière continue de très faible intensité, d'une lumière actinique, d'une lumière modulée, et d'un flash de lumière saturante. Différents paramètres sont suivis, nous présenterons les paramètres que nous proposons comme bioindicateurs potentiels de la qualité des sols. Ce sont :
 - **Fo : fluorescence à l'état initial.** Ce paramètre évalue l'intensité de la fluorescence lorsque tous les centres réactionnels du PSII sont ouverts (quinones oxydées). C'est la fluorescence minimale obtenue lorsque les plantes sont adaptées à l'obscurité.
 - **Fv/Fo : production primaire maximale des PSII.** Il caractérise le rendement quantique potentiel des PSII ce qui permet d'estimer la capacité de photosynthèse des feuilles.
 - **Fv/Fm : efficacité photochimique maximale des PSII.** Ce paramètre traduit l'efficacité des PSII à utiliser la lumière pour la conversion photochimique. Sa valeur de référence est proche de 0.8 chez une plante saine.

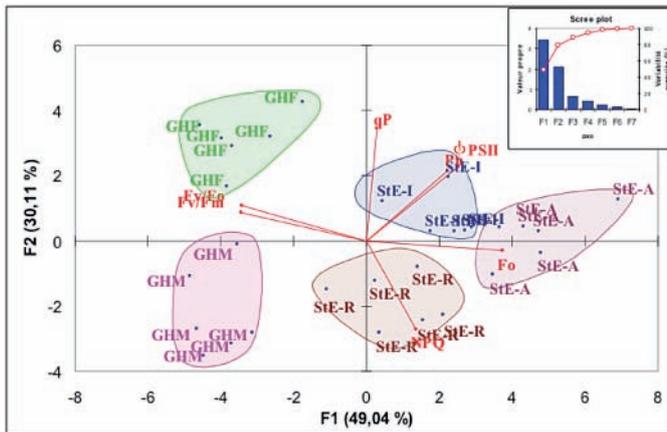


Figure 5 : Cercles de corrélation montrant la distribution des paramètres de l'activité photosynthétique chez des plants de *Oenothera biennis* L. indigènes aux modalités des sites de Saint-Etienne (StE-A, StE-R et StE-I) et de Homécourt (GHM et GHP).

Les teneurs totales en As et en Pb dans les sols des 7 modalités du site d'Auzon montrent des niveaux de pollution très élevés dans les zones contaminées. Néanmoins, les teneurs dans les modalités témoins sont plus élevées que les valeurs de constat d'impact pour l'As (37 mg/Kg). Les notes relatives des indices IPSP sont plus faibles dans les modalités contaminées que dans les modalités témoins. La modalité bois contaminé (AUBCO) présente une note relative faible de l'indice IPSP (0,3), traduisant une inhibition significative du fonctionnement des appareils photosynthétiques des plantes indigènes à cette modalité. Néanmoins, la caractérisation physico-chimique des sols montre que cette modalité est la moins contaminée dans le site. Afin d'expliquer ce résultat, il serait pertinent d'étudier l'impact de certains polluants organiques sur le fonctionnement des systèmes photosynthétiques. En effet, de plus grandes concentrations en di ATR, en fénuron et en isoproturon ont été déterminées dans le sol de cette modalité. L'indice IPSP semble décrire l'état global de l'environnement des plantes et de son action sur leur développement et non uniquement de la pollution en éléments traces métalliques (ETM) des sols.

Les résultats obtenus permettent de confirmer la pertinence d'utiliser cet indice pour définir la qualité d'un sol en supplément des analyses physico-chimiques classiques du sol.

Modalité	Indice IPSP	(ETM) _{sol} (mg/kg)		Classification sol (Vibrisse RMQS)
		As	Pb	
AUPTTE	1	115 ^a	52 ^a	C2
AUOBTE	0,81	63 ^a	30 ^a	C2
AUBTE	0,80	123 ^a	60 ^a	C2
AUOBCO	0,39	891 ^b	581 ^c	C3
AUFCO	0,37	1149 ^c	2033 ^d	C3
AUBCO	0,30	341 ^a	105 ^b	C3
AUBHCO	0,26	3643 ^c	4422 ^e	C3

Tableau 1 : Relation entre les notes relatives de l'IPSP obtenues pour les différentes modalités du site d'Auzon, les teneurs totales en As et en Pb dans les sols des modalités et leur classification en fonction du niveau de contamination. Les lettres indiquent pour un paramètre les différences significatives ($p < 0,05$, Test de Mann et Whitney).

Niveau de pollution :

- C2 : sol moyennement contaminé
- C3 : sol fortement contaminé
- TE : modalité témoin,
- CO : modalité Contaminée

Occupation végétale :

- P : Prairie,
- B : Bois,
- BH : Bois hydromorphe,
- OB : Ourlet boisé,
- F : Friche.

INTÉRÊTS ET LIMITES DE L'INDICATEUR

Intérêt de l'indice IPSP :

- Mesures des paramètres effectuées *in situ* grâce à des appareils portables.
- Mesures rapides et non destructrices du matériel végétal.
- Indice permettant de classer les modalités en fonction de la présence ou non de contamination des sols.
- Indice complémentaire aux analyses physico-chimiques.
- Test sensible car il permet de caractériser la qualité d'un sol avant l'apparition de symptômes de stress au niveau des plantes.

Limites de l'indice IPSP :

- Obligation d'une modalité de référence avec des conditions optimales pour le développement des plantes.
- Topographie du terrain et conditions climatiques doivent être appropriées au transport et à l'utilisation des équipements de mesure.
- Nécessité d'un utilisateur spécialisé dans le domaine de l'écophysiologie et de la systématique végétale (Bac+2).

Références Bibliographiques

Baker N.R., Rosenqvist E. (2004) Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55 : 1607-1621.

Bourrié B. (2007) La fluorescence chlorophyllienne comme outil de diagnostic. 8^e Journées de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre. GEMAS-COMIFER Fertilisation raisonnée et analyse de terre : quoi de neuf en 2007. Blois 20-21/11/ 2007.

Bi Fai P., Grant A., Reid B. (2007) Chlorophyll a fluorescence as a biomarker for rapid toxicity assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26: 1520-1531.

Buonasera K., Lambrea M., Rea G., Touloupakis E., Giardi M.T. (2011) Technological applications of chlorophyll a fluorescence for the assessment of environmental pollutants. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 401: 1139-1151.

Le Guédard M., Bessoule J.J. (2011) Indicateur lipides foliaires, programme ADEME Bioindicateurs de la Qualité des sols 2. 11 août 2011. 87 p.

CONTACT adnane.hitmi@udamail.fr

Actuellement membre de l'UMR A 547 Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre Fruitier et Forestier, Clermont Université, Université d'Auvergne, 100, rue de l'Egalité, 15000 Aurillac – France.

