

## Glossaire

### Termes techniques

<b>Aérosol</b>	Substances divisées en particules solides ou en gouttelettes liquides en suspension dans l'atmosphère
<b>Albédo</b>	Coefficient de réflexion d'une surface dans les courtes longueurs d'ondes (0,3 - 3 $\mu\text{m}$ ), noté $a$ . En agronomie, cette surface est l'ensemble sol + végétation.
<b>Corps noir</b>	Corps dont les propriétés lui permettent de convertir la totalité de son énergie thermique en énergie rayonnante et à l'inverse de transformer la totalité de l'énergie rayonnante reçue par lui en énergie thermique
<b>Diffusion dans l'atmosphère</b>	Interaction entre le rayonnement et les molécules de l'air ou des particules en suspension, ayant pour résultat la diffusion du rayonnement dans toutes les directions mais ne comportant pas de perte d'énergie radiante
<b>Diffusion de Mie</b>	Diffusion du rayonnement dans l'atmosphère par des particules sphériques quel que soit le rapport de leur taille à la longueur d'onde du rayonnement incident. Désigne souvent aussi, dans un sens plus limité, la diffusion par des particules dont la taille se situe entre 0,1 et 50 fois la longueur d'onde
<b>Diffusion de Rayleigh</b>	Diffusion atmosphérique produite par des particules sphériques qui sont petites, c.-à-d. qui mesurent moins d'un dixième environ de la longueur d'onde incidente. L'interaction du rayonnement visible avec les molécules d'air est un exemple de ce phénomène
<b>Diffusion turbulente</b>	Diffusion de matière ou des propriétés de particules d'air, telles que la chaleur et la quantité de mouvement, par les tourbillons d'un flux turbulent
<b>Durée d'insolation</b>	Durée pendant laquelle le soleil est apparu brillant (le seuil énergétique de l'insolation est fixé par l'OMM depuis 1981 à $120 \text{ W.m}^{-2}$ )
<b>Durée du jour</b>	Temps écoulé entre le lever et le coucher du soleil
<b>Éclairement (lumineux)</b>	Quotient du flux lumineux reçu par un élément infinitésimal d'une surface entourant le point considéré, par l'aire de cet élément (lx)
<b>Éclairement diffus</b>	Éclairement lumineux sans contribution du rayonnement solaire direct (lx)
<b>Éclairement énergétique (flux énergétique par unité d'aire, en un point d'une surface)</b>	Puissance totale reçue par une surface par unité d'aire ( $\text{W.m}^{-2}$ )

<b>Emissivité d'un matériau</b>	Rapport entre l'énergie rayonnée par un matériau et celle rayonnée par un corps noir à la même température. C'est donc une mesure de la capacité d'un corps à absorber et à réémettre l'énergie rayonnée
<b>Épaisseur optique</b>	Grandeur caractérisant la transparence du milieu atmosphérique. L'épaisseur optique est un nombre adimensionnel qui mesure l'inverse de la transmission d'énergie lumineuse entre deux sections A et B d'un faisceau. Exprimé en logarithme décimal, ce nombre est appelé densité optique. Le coefficient d'absorption (ou d'extinction) est l'épaisseur optique par unité de longueur parcourue
<b>Exitance énergétique (émittance)</b>	Flux énergétique par unité d'aire émis par une surface ( $W.m^{-2}$ )
<b>Exposition lumineuse (lumination, quantité d'éclairement)</b>	Produit de l'éclairement par sa durée ( $J.m^{-2}$ )
<b>Facteur de trouble atmosphérique de Linke (facteur de trouble atmosphérique)</b>	Rapport du coefficient d'atténuation de l'atmosphère réelle à celui d'atténuation moléculaire de l'air pur et sec
<b>Flux énergétique (puissance rayonnante)</b>	Puissance rayonnée par une source ponctuelle dans toutes les directions ( $W$ ou $J/s$ )
<b>Flux lumineux</b>	Grandeur caractéristique d'un flux de rayonnement, exprimant son aptitude à produire une sensation lumineuse ( $lm$ )
<b>Fraction d'insolation</b>	Rapport entre la durée d'insolation et la durée du jour
<b>Intensité énergétique</b>	Puissance rayonnée par une source ponctuelle par unité d'angle solide ( $W.sr^{-1}$ )
<b>Irradiance</b>	Éclairement énergétique en Anglais
<b>Longueur d'onde</b>	Longueur de l'oscillation des champs électromagnétiques permettant le transfert d'énergie(m)
<b>Luminance énergétique (cf. radiance).</b>	Puissance rayonnée par une source étendue dans une direction <b>u</b> donnée par unité d'angle solide et par unité de surface de la source projetée dans la direction <b>u</b> ( $W.m^{-2}.sr^{-1}$ ).
<b>PAR</b>	Photosynthetically Active Radiation, en français Rayonnement photosynthétiquement actif ( $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ ). Il est compris entre 0.4 et 0.7 $\mu m$ .
<b>Photon</b>	Particule élémentaire qui transmet l'interaction (la force) électromagnétique. Chaque onde électromagnétique (lumière visible mais aussi infrarouge, ultraviolet, rayons X, ...) transporte des photons qui ont une énergie bien déterminée suivant la longueur d'onde de la lumière.

<b>Radiance</b>	Mot anglais pour désigner la luminance énergétique
<b>Rayonnement</b>	Transfert d'énergie par des oscillations rapides de champs électromagnétiques
<b>Rayonnement atmosphérique</b>	Rayonnement de grande longueur d'onde en provenance de l'atmosphère (noté $R_a$ ) lié à la température apparente de l'atmosphère par la loi de Stephan, la voute céleste étant assimilée à un corps noir : $R_a = \sigma.T_{atm}^4$
<b>Rayonnement diffus</b>	Partie de rayonnement global arrivant à la surface du sol par diffusion dans l'atmosphère
<b>Rayonnement direct</b>	Partie de rayonnement global provenant directement et exclusivement du disque solaire
<b>Rayonnement extra-terrestre</b>	Rayonnement reçu par une surface plane à la distance moyenne $D_0$ du Soleil ( $149.5 \cdot 10^6$ km). Il est approximativement de $1367 \text{ W.m}^{-2}$ , et varie très peu (uniquement sous l'effet de l'activité solaire). De ce fait on l'appelle également la Constante solaire
<b>Rayonnement global</b>	Ensemble du rayonnement émis par le soleil compris entre $0,3$ et $3 \mu\text{m}$ arrivant à la surface du sol (noté $R_g$ ). $R_g$ est la somme des rayonnements direct et diffus
<b>Rayonnement net</b>	Bilan radiatif, différence entre les rayonnements incidents, global et atmosphérique, et ascendants, réfléchi et terrestre (noté $R_n$ ) $R_n = (1-a) R_g - (R_t - R_a)$ , la nuit se réduit à $R_n = R_a - R_t$
<b>Rayonnement terrestre</b>	Rayonnement émis par la surface de la Terre liée à sa température par la loi de Stephan – Boltzmann : $R_T = \epsilon_{sol} \cdot \sigma \cdot T_{sol}^4$ avec $T_{sol}$ émissivité de la surface
<b>Réflectance</b>	Fraction de la lumière incidente réémise par réflexion. Terme utilisé aussi dans les grandes longueurs d'ondes ( $5$ à $100 \mu\text{m}$ ) pour exprimer la propriété d'une surface à réfléchir celles-ci (coefficient de réflexion). Elle est égale dans ce cas à $1 - \epsilon$ , $\epsilon$ étant l'émissivité de la surface
<b>Surface lambertienne</b>	Surface dont la luminance ne dépend pas de la direction d'émission
<b>Téledétection</b>	Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci
<b>Transfert radiatif</b>	Transfert d'énergie par rayonnement
<b>Trouble atmosphérique</b>	Diminution de la transparence de l'atmosphère au rayonnement (surtout visible) due à l'absorption et à la diffusion par des particules solides et liquides autres que les nuages

## Appareils

<b>Albédomètre</b>	Capteur pour la mesure de l'albédo d'une surface. Il est constitué de deux pyranomètres montés en opposition, un pour mesurer le rayonnement global et l'autre pour mesurer le rayonnement réfléchi.
<b>Bilanmètre</b>	cf. Pyrradiomètre différentiel.
<b>Héliographe (Campbell-Stokes)</b>	Capteur pour l'enregistrement sur papier de la durée d'insolation (boule de cristal).
<b>Héliomètre</b>	Capteur pour la mesure automatique de la durée d'insolation.
<b>Luxmètre</b>	Capteur pour la mesure automatique de l'éclairement lumineux (lx).
<b>Photomètre</b>	Appareil de mesure d'une grandeur photométrique en fonction de la courbe de sensibilité de l'œil.
<b>Pyromètre</b>	cf. Radiothermomètre.
<b>Pyranomètre</b>	Capteur pour la mesure automatique du rayonnement global (0.3 à 3 $\mu\text{m}$ ).
<b>Pyrgéomètre</b>	Capteur pour la mesure automatique du rayonnement de grandes longueurs d'ondes (3 - 50 $\mu\text{m}$ ).
<b>Pyrhéliomètre</b>	Capteur pour la mesure automatique du rayonnement solaire direct.
<b>Pyrradiomètre différentiel</b>	Capteur pour la mesure automatique du rayonnement net.
<b>Quantummètre</b>	Capteur pour la mesure automatique du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR).
<b>Radiomètre</b>	Capteur pour la mesure automatique d'un éclairement énergétique ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ).
<b>Radiothermomètre</b>	Appareil de mesure de température sans contact par la mesure du rayonnement infrarouge émis par un objet ou une surface (plus communément appelé pyromètre ou thermomètre infrarouge).
<b>Spectroradiomètre</b>	Appareil pour la mesure des grandeurs radiométriques dans des intervalles étroits de longueur d'onde, sur un domaine spectral donné.
<b>Thermomètre infrarouge</b>	cf. Radiothermomètre.

## Unités de mesure

### Unités énergétiques

Le **watt** est l'unité de puissance lumineuse (flux énergétique) dans le système international d'unités.

Le **watt.m<sup>-2</sup>** est l'unité de mesure de la densité de flux énergétique (éclairage énergétique).

Le **watt.sr<sup>-1</sup>** est l'unité de mesure de l'intensité énergétique.

Le **watt.sr<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>** est l'unité de mesure de la luminance énergétique résultant d'un flux énergétique d'un faisceau dans un élément d'angle solide.

Pour convertir de	En	Multiplier par
Calorie (cal)	Joule (J)	4,1868
Watt seconde (W.s)	Joule (J)	1
Watt heure (W.h)	Joule (J)	$3,6 \cdot 10^3$
Joule (J)	Calorie (cal)	0,2388
Joule (J)	Watt heure (W.h)	$0,2778 \cdot 10^{-3}$
Watt heure par mètre carré (W.h.m <sup>-2</sup> )	Joule par centimètre carré (J.cm <sup>-2</sup> )	0,36
Joule par centimètre carré (J.cm <sup>-2</sup> )	Watt heure par mètre carré (W.h.m <sup>-2</sup> )	2,778
Joule par mètre carré (J.m <sup>-2</sup> )	Watt heure par mètre carré (W.h.m <sup>-2</sup> )	$0,2778 \cdot 10^{-3}$

### Unités photométriques

Ces unités concernent les grandeurs mesurées avec des capteurs ayant une courbe de réponse spectrale équivalente à celle de l'œil humain (cf. courbe C.I.E., Commission internationale de l'éclairage).

La **candela** est l'*intensité lumineuse*, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  hertz ( $\lambda = 555$  nm) et dont l'*intensité énergétique* dans cette direction est 1/683 watt par stéradian. Avant 1978, la candela était définie comme étant l'intensité lumineuse d'une surface de 1/60 cm<sup>2</sup> d'un corps noir à la température de fusion du platine (2042 K). La valeur numérique de 1/683 a été choisie de manière à raccorder le système actuel d'unité avec l'ancien.

Le **lumen (lm)** est le *flux lumineux* émis par unité d'angle solide (stéradian) par une source ponctuelle uniforme dont l'intensité lumineuse est de 1 candela. [1 lm = 1 cd.sr].

Le **lux (lx)** est l'unité d'*éclairage lumineux* produit sur une surface de 1 m<sup>2</sup> par un flux lumineux de 1 lumen uniformément distribué sur cette surface. [1 lx = 1 cd.sr.m<sup>-2</sup>].

## Unités photoniques

Le  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  est l'unité de mesure de la *densité de flux de photons (éclairage photonique)*. Cette unité est utilisée en agrométéorologie notamment pour la mesure du *rayonnement photosynthétiquement actif*. Dans le passé, l'Einstein a été souvent employé comme unité photonique. Quand l'une ou l'autre de ces définitions est employée, la quantité de photons dans une mole est égale à la quantité de photons dans un einstein (1 mole = 1 einstein =  $6,022.10^{23}$  photons).

Il faut bien faire la différence entre rayonnement global (Rg) et le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR). On peut quantifier ce dernier en :

- $\text{W.m}^{-2}$ , il s'agit, pour les anglo-saxons, de *Photosynthetic Irradiance ou PI*
- $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , c'est alors le *Photosynthetic Photon Flux Density ou PPFD*

La relation entre le Rg et le PAR n'est pas constante. En première approximation, on peut utiliser la formule suivante :

$$\text{PAR} = 0,48 \times \text{Rg}$$

Rg : rayonnement global (0,3 - 3,0  $\mu\text{m}$ ) en  $\text{W.m}^{-2}$

PAR : Rayonnement photosynthétiquement actif (0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ ) en  $\text{W.m}^{-2}$

Ce facteur de conversion (0,48) varie en fonction du lieu et des conditions d'éclairement (essentiellement entre 0,45 et 0,52).

La conversion des  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  en unité énergétique  $\text{W.m}^{-2}$  est compliquée. Elle dépend de la source lumineuse et la courbe distribution spectrale de la source doit être connue afin d'effectuer la conversion.

Pour des mesures de rayonnement photosynthétiquement actif (400 - 700 nm) en conditions naturelles (source : soleil + ciel bleu), on peut utiliser en première approximation le facteur de conversion suivant :

$$1 \text{ W.m}^{-2} = 4.57 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.$$

## Formules

### Caractérisation de la longueur ( $\lambda$ ) et la fréquence ( $\nu$ ) des ondes

$$\nu = c / \lambda$$

$c$  : Vitesse de la lumière = 299 792 458 m s<sup>-1</sup> (dans le vide)

### Caractérisation de la longueur d'onde maximale d'un rayonnement (loi de Wien)

$$\lambda_{\max} = C_w / T$$

$C_w$  : Constante (2.897 10<sup>-3</sup> m K) et

$T$  : Température du corps (en K)

### Caractérisation de l'exitance énergétique ( $M_e$ ) d'un corps (loi de Stefan-Boltzman)

$$M_e = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4$$

$\varepsilon$  : Émissivité de la surface ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzman (5.6698 10<sup>-8</sup> W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>)

$T_s$  : Température du corps (en K)

### Energie d'un photon - relation de Planck

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$E$  : énergie d'un photon en J pour  $\lambda$  donné

$h$  : Constante de Planck = 6.626069 3 × 10<sup>-34</sup> J.s

$\nu$  : Fréquence de la radiation (Hz)

$\lambda$  : Longueur d'onde de la radiation (m)

$c$  : Vitesse de la lumière = 299 792 458 m s<sup>-1</sup> (dans le vide)