

splenic erythrophagocytosis and during removal of shed blood from the peritoneal cavity by macrophages (for a review and references see Ghadially⁵). It should be noted that such spherical or tear-drop-shaped membrane-bound fragments contain haemoglobin and that this phenomenon is quite distinct from lysis, where the haemoglobin escapes leaving behind a red cell ghost.

The formation of satellite heterophagosomes and/or heterolysosomes seems to be a mechanism by which the erythrocyte is broken up into more manageable portions after ingestion by the cell.

- 5 F. N. Ghadially, *Ultrastructural Pathology of the Cell*. Butterworths, London 1975.

Action de l'orientation et de la qualité de la lumière sur le développement des protonémas de Bryales

Light orientation and radiations quality on protonemas development in Bryales

M. Larpent-Gourgoud et M. P. Aumaitre

Laboratoire de Phytomorphogénèse, 4, rue Ledru, F-63000 Clermont Ferrand (France), 9 mai 1977

Summary. The radiations coming from 'Blanc Brillant de Luxe' fluorescent stimulate the growth and ramification of protonema of *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. This stimulation is caused by red light (660 nm). Multidirectional lightening is more favorable than unidirectional exposition.

La lumière peut avoir des effets très divers sur le protonéma des Bryales: elle modifie la vitesse de croissance de l'axe, la longueur des cellules, le rythme des mitoses et l'apparition des ramifications¹. Le spectre d'action de la lumière sur la ramification et le spectre d'absorption in vivo sont qualitativement identiques, ce qui confirme le rôle important de la photosynthèse dans la morphogénèse du protonéma. De plus, le phytochrome intervient dans la mise en place des ébauches latérales².

Ayant ainsi obtenu un certain nombre de résultats en lumières monochromatiques, nous avons comparé le développement du protonéma de *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., soumis à des éclairagements de lumière blanche de qualité spectrale différente. De nombreux résultats discordants sont en effet cités dans la littérature et proviennent souvent d'une mauvaise définition de la source lumineuse utilisée.

Les protonémas de *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. sont cultivés en cellule de Van Tieghem, sur milieu A de Kofler, à $23 \pm 1^\circ\text{C}$, selon une technique déjà décrite³. Les divers types d'éclairagement sont obtenus avec des tubes fluorescent Mazda: type Blanc industriel (BI), Blanc brillant de luxe (BBL), et lumière du jour de luxe (LjL). Leur spectre d'émission est donné par la figure. Le matériel est éclairé soit par dessus, à l'aide d'un plafond lumineux, soit de tous côtés et d'une manière homogène par des tubes disposés verticalement dans une enceinte climatisée. Les énergies d'éclairagement sont mesurées au solarimètre (Minerva 4 L Kipp et Zonen).

Résultats et discussion. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

1. Pour les mêmes énergies d'éclairagement de $2000 \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ les vitesses de croissance passent de 20 à $31 \mu\text{m/h}$ suivant le type de tube fluorescent utilisé. Les longueurs moyennes cellulaires sont plus fortes sous un éclairagement de type Blanc industriel. Le rythme des mitoses (nombre de cellules formées par unité de temps [24 h] le long de l'axe principal), est accéléré de 4,6 à 10,5 si l'éclairagement change du Blanc industriel au Blanc brillant de luxe. Les protonémas se présentent sous la forme de très longs filaments non ramifiés avec le Blanc industriel. Les rameaux latéraux apparaissent au contraire avec les 2 autres types d'éclairagements.

2. Pour des énergies plus élevées de $4500 \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, les vitesses de croissance restent pratiquement constantes ainsi que le rythme des mitoses, mais le pouvoir de ramification est toujours maximal sous un éclairagement de type Blanc brillant de luxe.

Si l'on compare ces résultats avec les spectres d'émission des divers tubes (figure), on remarque alors que la lumière émise par les tubes fluorescents Blanc Industriel est très pauvre (4%) en rouge clair ($\lambda = 660 \text{ nm}$). Ces radiations sont au contraire présentes dans les 2 autres types de tubes fluorescents à raison de 8,5% pour les tubes lumière du jour de luxe et 11% pour les tubes Blanc brillant de luxe. Comme nous l'avons démontré⁴,

Tableau 1. Effet de l'énergie et de la qualité spectrale de la lumière sur des cellules de protonéma de *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. âgées de 12 jours

Types de tubes fluorescents	Vitesse de croissance moyenne en $\mu\text{m}/24 \text{ h}$	Longueur moyenne des cellules en μm	Rythme des mitoses/24 h	R/N $\times 100^*$
I				
Blanc industriel	$20,0 \pm 5,0$	$98 \pm 2,0$	$4,6 \pm 1,1$	0
Lumière du jour de luxe	$21,0 \pm 4,5$	$86,5 \pm 1,5$	$7,1 \pm 0,6$	4 ± 2
Blanc brillant de luxe	$31,0 \pm 5,5$	$82,0 \pm 3,5$	$10,5 \pm 1,0$	8 ± 4
II				
Blanc industriel	$23,0 \pm 8,0$	$73,0 \pm 1,5$	$8,6 \pm 1,3$	10 ± 5
Lumière du jour de luxe	$19,0 \pm 5,0$	$55,5 \pm 4,5$	$7,8 \pm 1,1$	12 ± 5
Blanc brillant de luxe	$21,5 \pm 6,5$	$71,0 \pm 9,0$	$8,0 \pm 1,1$	15 ± 4

Energies d'éclairagement: I, $2000 \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$,
II, $4500 \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$.

R = nombre de ramifications, N = nombre de cellules.

- 1 M. Larpent-Gourgoud, *Annls scient. nat. Bot.* 70, 1 (1960).
2 M. Gourgoud et R. Jacques, *C. r. Acad. Sci. Paris* 264, 2196 (1967).
3 M. Larpent-Gourgoud, J. P. Larpent et R. Jacques, *Soc. Bot. fr., Coll. Bryologie*, p. 153 (1974).
4 M. Larpent-Gourgoud et R. Jacques, *C. r. Acad. Sci. Paris* 273, 162 (1971).

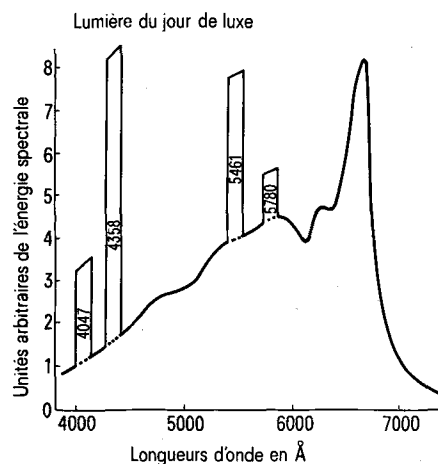
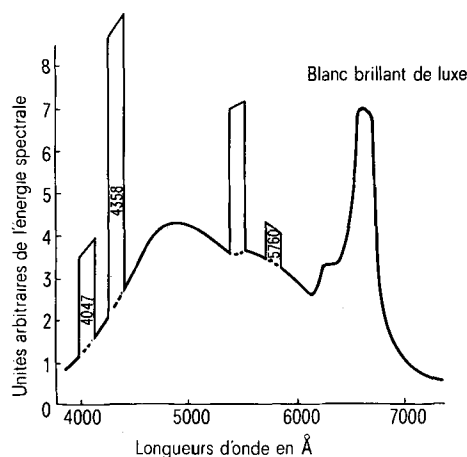
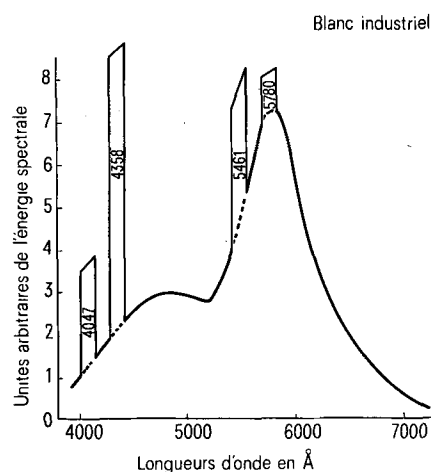
le rouge clair agissant par l'intermédiaire du phytochrome, stimule le rythme des divisions cellulaires perpendiculaires et obliques à l'origine des ébauches de ramification. L'effet d'étiollement disparaît en présence de rouge clair.

3. L'orientation des rayons lumineux n'est pas indifférente (tableau 2): un éclairage unidirectionnel, perpendiculaires aux cultures, à énergies égales, est toujours moins efficace pour la mise en place de la

Tableau 2. Effet de la direction de la lumière sur le développement de cultures de protonémas de *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. âgées de 12 jours

Types de tubes fluorescents	Vitesse de croissance en $\mu\text{m}/24\text{ h}$	Longueur moyenne des cellules en μm	Rythme des mitoses/24 h	R/N $\times 100^*$
4500 $\text{ergs} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$				
Blanc industriel	$23,0 \pm 8,0$	72 ± 16	8 ± 1	10 ± 5
↓				
↔	$28,0 \pm 7,0$	83 ± 10	8 ± 1	20 ± 8
↑				
Lumière du jour de luxe	$19,0 \pm 5$	55 ± 5	8 ± 1	12 ± 5
↓				
↔	$19,5 \pm 2,0$	69 ± 3	7 ± 1	54 ± 13
↑				
Blanc brillant de luxe	$24,0 \pm 6$	71 ± 9	8 ± 1	15 ± 4
↓				
↔	$21,0 \pm 5,5$	85 ± 5	6 ± 1	59 ± 12
↑				
↓ Rayonnement perpendiculaire unidirectionnel.				
↔ Rayonnement diffus pluridirectionnel.				
↑				

* Nombre total R de rameaux latéraux observés sur un filament protonématique âgé de 12 jours
Nombre total N de cellules dénombrées sur le même axe



Spectres d'émission des différentes sources de lumière utilisées.

ramification qu'un éclairage pluridirectionnel. En effet, pour une lumière type Blanc brillant de luxe, le pouvoir de ramification passe de 15 lorsque les rayons lumineux sont verticaux à 59 s'ils sont multidirectionnels. Cette stimulation de la ramification pour des cultures éclairées par un rayonnement pluridirectionnel se retrouve pour les différentes qualités de lumière.

Il était important de comparer les diverses sources de lumière blanche utilisées couramment aussi bien pour la culture des Bryophytes que pour celle des plantes supérieures. L'accent est mis sur l'intérêt de la qualité du spectre d'émission. L'intensité lumineuse dans la bande rouge clair (660 nm) conditionne le type de morphogénèse adopté par les organismes protonématiques. Ce type de radiation intervient via les photorécepteurs de la photosynthèse mais surtout via le phytochrome.

En s'appuyant sur ces résultats, il est désormais possible de poursuivre l'analyse biochimique de la ramification du protonéma en comparant des protonémas chlorophylliens ramifiés d'une part, obtenus sous tubes Blanc brillant de luxe, et d'autre part non ramifiés, cultivés sous tubes Blanc Industriel.

La direction de l'éclairage a été soulignée. Les résultats obtenus par Wada et Furuya⁵ ont mis en évidence l'importance de ce paramètre dans le développement du prothalle d'*Adiantum capillus veneris*.

Un éclairage unilatéral et perpendiculaire à l'axe des filaments protonématiques est toujours moins favorable à la ramification, à énergie égale, qu'un éclairage multidirectionnel. Ces résultats demandent à être analysés parallèlement aux réactions phototropiques de l'organisme.

5 M. Wada et M. Furuya, *Planta* 98, 177 (1971).