

DONNÉES EXPERIMENTALES SUR L'ORIGINE,
LA FORMATION, LE RÔLE DES PIGMENTS CAROTÉNOÏDES
CHEZ LES *RHODOTORULA*

Par Ph.-J. LUTERAAN et J. CHOAY

Un travail histochimique précédent nous avait conduit à envisager le rôle des lipides dans la formation des pigments caroténoïdes chez les *Rhodotorula* (Champeau et Luteraan, 1946). L'abondance particulière des graisses et du phosphore dans ces champignons laissait en effet penser que cette élaboration était liée à un processus de désaturation des lipides, dans lequel interviendraient des phénomènes de phosphorylation.

Des observations et des expériences relatives à la formation des pigments caroténoïdes avaient déjà mis en valeur le rôle favorable du glycérol. C'est ainsi qu'Ingraham et Steenböck observent la production de pigments caroténoïdes chez *Bacillus phlei* cultivé sur milieu au glycérol (Ingraham et Steenböck, 1935). Puis Fromageot et Tchang-Joue montrent que chez *Rhodotorula sanniei* le maximum d'abondance et de stabilité des pigments caroténoïdes est obtenu par culture sur un milieu ayant le glycérol comme unique source de carbone ; la présence d'aneurine ou d'une de ses fractions n'est alors nullement indispensable (Fromageot et Tchang-Joue, 1938).

Dans le même ordre d'idées, nous avons constaté qu'un *Penicillium*, cultivé sur un milieu purement synthétique au glycérol, en l'absence rigoureuse d'aneurine ou de l'une de ses fractions, y produit un pigment caroténoïde abondant, alors que son pigment normal apparaît très faiblement. Un témoin sur milieu glycosé avec aneurine, mais même source d'azote, produit le pigment propre aux *Penicillium*, mais ne développe aucun pigment caroténoïde visible. Chez les *Penicillium*, comme chez les *Rhodotorula*, la production de pigment caroténoïde est donc bien liée à l'utilisation du glycérol.

La formation de caroténoïdes à partir du glycérol nous a fait concevoir que les corps gras pourraient avoir la même origine ; que l'acide oléique pourrait provenir du glycérol par un processus de polymérisation et de désaturation. En effet, l'ensemencement de

Rhodotorula rubra sur un milieu à l'acide oléique provoque une culture abondante, une pigmentation intense et persistante ; l'examen histochimique montre d'énormes vacuoles bourrées de corps gras (examen au lactophénol-bleu coton-soudan III, Langeron, 1942, p. 1245).

Notre attention a été attirée aussi par deux ordres de faits : 1° les pigments caroténoïdes augmentent avec la valeur énergétique du substrat, donc avec la consommation d'oxygène ; 2° les caroténoïdes sont des éléments d'un insaponifiable. Ces deux faits nous amènent à la proposition suivante, à savoir que *la partie caroténoïde de l'insaponifiable croît avec la consommation d'oxygène*. Ce qui conduit tout naturellement à se demander si, dans l'ensemble des organismes aérobies, l'importance de l'insaponifiable croît avec l'intensité respiratoire, si l'insaponifiable ne constitue pas un facteur respiratoire essentiel pour la cellule.

Terroine et Bonnet (1927), Terroine, Bonnet, Kopp et Véchet (1927), dans des travaux célèbres et restés fondamentaux, ont étudié la valeur énergétique des lipides, démontré qu'elle augmente avec leur désaturation, prouvé l'origine lipidique des stérols, ce qui les a conduits à faire des dosages très précis aussi bien des acides gras totaux que de l'insaponifiable. Nous extrayons les tableaux suivants de ces travaux de base, en en présentant les données qui nous intéressent :

TABLEAU I (d'après Terroine et Bonnet, 1927, p. 591)

Expériences sur *Sterigmatocystis nigra*

Concentration en glycose du milieu	Acides gras totaux	Insaponifiable
3 %	3,1	0,31
10 %	9,0	1,0
20 %	10,5	1,2
40 %	12,32	1,16

TABLEAU II (d'après Terroine, Bonnet, Kopp et Véchet, 1927, p. 683)

	<i>Sterigmatocystis nigra</i>			<i>Bacillus phlei</i>		
	milieu glycosé à 30 %			milieu glycosé à 12 %		
Acides gras totaux ..	6,5	8,6	8,5	10,8	12,6	14,9
Insaponifiable	0,7	1,12	1,13	0,95	1,37	1,86
Stérols	0,17	0,32	0,34	0,48	0,38	0,39

Contradiction apparente, les stérols diminuent, contrairement à ce qu'attendaient les auteurs pour *Bacillus phlei*. L'insaponifiable augmente par rapport aux lipides avec la concentration en glycose chez *Sterigmatocystis nigra* jusqu'à un taux optimum de 30 p. 100, et tend à diminuer ensuite.

Ces faits confirment notre hypothèse et nous permettent d'établir la proposition suivante plus générale que la précédente qui n'était relative qu'aux seuls caroténoïdes. *L'insaponifiable total augmente avec la quantité d'oxygène consommé, donc avec l'intensité respiratoire* chez des organismes dits inférieurs, et aussi probablement chez les autres.

Il est possible d'envisager un nouveau développement à cette proposition fondamentale en la rapprochant d'une autre série d'observations relatives à la biologie des *Rhodotorula* et des champignons présentant un pigment en général.

1° Les *Rhodotorula* sont azymatiques sans exception (Diddens et Lodder 1942). Nous confirmons le fait ; il est général ; d'une part, il n'y a jamais production de pigment par les champignons en anaérobiose ; d'autre part, il est des pigments qui s'opposent à toute possibilité de vie anaérobie (Luteraan 1946 a).

2° Les champignons présentant un pigment ont un pouvoir de synthèse très élevé, qui leur permet de vivre parfois sur des substrats dépourvus en apparence de toute substance nutritive, caractère qui confine à l'autotrophie, bien qu'il s'agisse d'organismes hétérotrophes ; c'est le cas notamment de certains champignons à pigment mélanique (Champeau et Luteraan 1946).

Ceci s'explique aisément. Le caractère d'autoxydabilité dévolu aux corps gras, et aussi à certains pigments, permet l'utilisation maxima de l'oxygène, en s'opposant ainsi à un abaissement du potentiel d'oxydo-réduction cellulaire ; le pouvoir de synthèse par la cellule en est accru d'autant. Enfin, l'autoxydabilité des corps gras dans le sein des organismes est réglée et limitée par le pouvoir antioxygène mutuel de leurs constituants, ce qui permet le maintien du niveau desmolytique cellulaire (Luteraan, 1947).

L'ensemble de ces constatations nous permet d'énoncer cette troisième proposition : *le maintien du niveau desmolytique cellulaire est assuré principalement par les corps gras*, tout d'abord grâce au jeu du coefficient lipocyte de Mayer et Schaeffer, ou de ses équivalents, permettant l'imbibition protoplasmique, grâce au jeu antagoniste des pouvoirs pro- ou antioxygènes dévolus plus particulièrement aux corps gras, grâce à la valeur énergétique si considérable de ces derniers et à leurs caractères physiques d'insolubilité, pouvoir d'adsorption, etc...

Les carotènes sont des sensibilisateurs chromatiques dont les effets sont relativement faibles et ne s'exercent que dans le domaine des courtes longueurs d'onde (Calzavara *in* Acribat 1941). On ignore l'action de la lumière sur les pigments caroténoïdes des *Rhodotorula* ; ils se forment très bien à l'obscurité. D'après nos observations personnelles, il est fréquent de trouver des *Rhodotorula* dans des lieux demi-obscur, développés sur des substrats variés ; leurs colonies voisinent avec celles de rhodobactéries, de sarcines, de divers champignons ; leur transport dans l'air s'effectue notamment par l'intermédiaire de petites mouches genre *Drosophila*.

Signalons enfin que les variations de pH du milieu ne nous ont pas paru exercer une action particulière sur la formation et la persistance des pigments caroténoïdes.

BIBLIOGRAPHIE

- AERIBAT. — Chimie des sensibilisateurs chromatiques et physico-chimie de la sensibilisation. *Cours conférence du centre de perfectionnement technique*. Fasc. n° 769, nov. 1941, *Maison de la Chimie*, Paris.
- BÉRAUD. — La lipogénèse dans le monde des microbes et des végétaux inférieurs. *Cours conférence du centre de perfectionnement technique*. Fasc. n° 729, 17 décembre 1941, *Maison de la Chimie*, Paris.
- BINET. — *Traité de physiologie* de Roger et Binet, 1940, tome XII, Masson et Cie, Paris.
- CHAMPEAU et LUTERAAN. — Sur quelques données histo-chimiques et physiologiques concernant des champignons levuriformes. *Ann. de parasit.*, XXI, 1946, p. 344-355.
- COLIN — *La chimie des plantes*, 1945, Flammarion, Paris.
- COMBES. — *La vie de la cellule végétale*. Collection Armand Colin, Paris, 1933, n° 96 ; 1938, n° 109 ; 1937, n° 203.
- *La forme des végétaux et le milieu*. Collection Armand Colin, Paris, 1947, n° 240.
- DIDDENS et LODDER. — *Die anaskosporegenen Hefen*, 2^{te} Hälfte, Amsterdam, 1942.
- DUFRAISSE. — *Catalyse d'autoxydation ; antioxygènes et prooxygènes*. In *Traité de chimie organique* sous la direction de V. Grignard, tome II, fasc. 2, Masson et Cie, Paris.
- FRANCKE. — Zur Autoxydation der ungesättigten Fettsäuren. II. Die Wirkung der Carotinoide. *Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiologische Chemie*, CCXII, 1932, p. 234.
- FROMAGEOT et TCHANG-JOUE. — I. Sur les pigments caroténoïdes de *Rhodotorula sarniei*. *Arch. für Mikrobiologie*, IX, 1938, p. 424. — II. Sur la synthèse des pigments caroténoïdes par *Rhodotorula sarniei*. *Ibidem*, p. 434.
- HEIM. — Les pigments des champignons. Leurs rapports avec la systématique. *Bull. Soc. Ch. Biol.*, XXIX, 1942, p. 47-48.
- INGRAHAM et STEENBÖCK. — The relation of microorganisms to carotenoid and vitamin A. II. The production of carotenoid by *Mycobacterium phlei*. *Bioch. J.*, XXIX, 1935, p. 2553.

- KARRER. — Nouvelles données sur les caroténoïdes. *Bull. Soc. Ch. Biol.*, XXVIII, 1946, p. 688.
- KUHN et DRUMM. — Unkehrbare Hydrierung und Dehydrierung bei Poluenen. *Bericht der deutschen chemischen Gesellschaft*, LXV, 1932, p. 1458.
- LANGERON. — *Précis de microscopie*, 1942, 6^e éd., Masson et Cie, Paris.
- *Précis de mycologie*, 1945, Masson et Cie, Paris.
- LEBBETON. — La lipogénèse chez les animaux supérieurs. *Cours conférence du centre de perfectionnement technique*, Fasc. n° 728, 1942, *Maison de la Chimie*, Paris.
- LEDERER. — *Les caroténoïdes des plantes*. Actualités scientifiques et industrielles, n° 137, 1934. Hermann et Cie, Paris.
- LUTERAAN. — De l'action empêchante de diverses substances sur la croissance de champignons pathogènes pour l'homme. *C.R. Soc. Biol.*, CXL, 1946, p. 832.
- La diffusion dans la gélose et ses applications à l'étude de la physiologie des microorganismes. *Ann. de paras.*, XXI, 1946, p. 356-375.
- Remarques sur les antibiotiques. *Ann. de paras.*, XXII, 1947, n° 1.
- POLONOVSKI. — Glycolyse et respiration. *Exp. ann. de bioch. méd.*, 1944, 4^e série, Masson et Cie, Paris.
- RETOVSKI. — Modèle de respiration avec le système huile de tournesol-caroténoïde. *Bull. Soc. Ch. Biol.*, XVII, 1935, p. 1614.
- SCHOPFER. — Étude et identification d'un caroténoïde de champignon. *C.R. Soc. Biol.*, 1935, p. 3-4.
- TERROINE et BONNET. — L'énergie de croissance. Formation des matières grasses aux dépens des glucides par les microorganismes. *Bull. Soc. Ch. Biol.*, IX, 1927, p. 588.
- TERROINE, BONNET, KOPP et VÉCHOT. — La formation des stérols est-elle liée au métabolisme des matières grasses ? *Bull. Soc. Ch. Biol.*, IX, 1927, p. 678.
- VERNE. — Observations histochimiques sur l'oxydation des lipides et ses rapports avec les caroténoïdes. *Bull. d'histol. appl.*, 1936, p. 433-440.
- Caroténoïdes et oxydation des lipides. *C.R. Soc. Biol.*, CXXI, 1936, p. 609.
- *Couleurs et pigments des êtres vivants*. Collection Armand Colin, Paris, 1930, n° 123.
- VON EULER et KARRER. — Zur Biochemie der Carotenoïde. *Helv. Ch. Acta*, XII, 1929, p. 278.
- WATTIEZ et STERNON. — *Eléments de chimie végétale*, 1942, 2^e éd., Masson et Cie, Paris.
- WURMSER. — Les potentiels d'oxydo-réduction des systèmes biologiques. *Exp. ann. de bioch. méd.*, 1939, 1^{re} série, Masson et Cie, Paris.

Institut de parasitologie de la Faculté de médecine de Paris
(Directeur : Prof. E. Brumpt)
Section de mycologie (Chef de service : Dr M. Langeron).