



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Comptes Rendus

Biologies

Michel Delseny

Biographie de Roland Douce

Volume 343, issue 2 (2020), p. 135-141

Published online: 9 October 2020

<https://doi.org/10.5802/crbiol.21>



This article is licensed under the
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Les Comptes Rendus. Biologies sont membres du
Centre Mersenne pour l'édition scientifique ouverte
www.centre-mersenne.org
e-ISSN : 1768-3238

Notices biographiques / *Biographical Notes*

Biographie de Roland Douce

Biography of Roland Douce

Michel Delseny^a

^a Membre de l'Académie des sciences, France

Courriel: delseny@univ-perp.fr

Manuscrit reçu et accepté le 5 août 2020.



Roland Douce est un scientifique de très grande classe, qui a su créer à Grenoble une école de biologie du chloroplaste et de la mitochondrie végétale de renommée mondiale. Il nous a quittés le 4 novembre 2018. Depuis un article a rappelé ses contributions [1] et l'Académie des sciences, dont il était un membre éminent, lui a rendu hommage le 8 octobre 2019, à l'occasion d'une séance au cours de laquelle ses confrères, ses collaborateurs et ses amis ont évoqué ses travaux, ses contributions et ses passions (<https://www.youtube.com/watch?v=FuA74jcXshM>).

Né le 18 mai 1939 à Saint Maur des Fossés, dans le Val de Marne, il y fait ses études secondaires. Il fréquente ensuite l'Université de Paris, la Sorbonne, où, passionné par les sciences de la vie, il débute sa carrière scientifique en 1961, comme assistant puis comme maître-assistant. Il soutient sa thèse d'état en 1970 sur « Structure, localisation et métabolisme du diphosphatidyl glycérol, ou cardiolipine, dans les plantes » à une époque où l'on ne savait pratiquement rien sur les phospholipides de plantes. La cardiolipine est le lipide majeur de la membrane interne des mitochondries, animales ou végétales. Après sa thèse, il part, ce qui n'est pas courant à cette époque, effectuer un séjour post-doctoral de deux ans à la Johnson Research Foundation à Philadelphie dans le laboratoire de Walter Bonner, l'un des grands spécialistes de la chaîne respiratoire de transfert d'électrons dans la mitochondrie. Dans ce laboratoire, il améliore la purification des mitochondries végétales et met au point un test de l'intégrité de cet organelle [2]. Il séjourne ensuite au Scripps Research Institute of Oceanography, à La Jolla en Californie, dans le laboratoire d'Andrew Benson, le découvreur avec Melvin Calvin et James Bassham, du cycle de réduction photosynthétique du CO₂. Roland Douce y purifie les chloroplastes d'épinard. Il est le premier à purifier et caractériser l'enveloppe du chloroplaste [3] et à montrer qu'elle est le siège de la biosynthèse des galactolipides spécifiques des chloroplastes, et en particulier du MGDG, le monogalactosyldiacylglycérol [4], alors que tout le monde pensait qu'ils étaient synthétisés dans le réticulum endoplasmique. A son retour en France en 1974, il est nommé professeur à l'Université de Grenoble et crée le laboratoire de Physiologie cellulaire végétale, qui sera rapidement associé au CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) et au CEA (Commissariat à l'Energie Atomique),

puis à l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique).

La première tâche des quelques membres de sa jeune équipe est de purifier, avec la meilleure qualité possible, les deux types d'organites cellulaires, mitochondries et chloroplastes, afin d'en analyser la composition et les fonctions. Leurs protocoles deviennent rapidement des références au niveau mondial. Ce travail de pionnier va leur permettre de défricher le champ encore largement inconnu de la composition de ces organites, de leur fonctionnement au sein de la cellule et de leurs interactions avec le cytoplasme et les peroxysomes.

Une fois les chloroplastes purifiés, il devient possible de séparer et purifier leurs constituants. C'est ainsi que la double membrane des chloroplastes sera purifiée et caractérisée par sa composition lipidique et protéique unique [5, 6]. Une nouvelle étape est franchie avec le fractionnement de l'enveloppe en membrane externe et membrane interne [7, 8]. A côté de la découverte majeure du site de synthèse des galactolipides, l'une des découvertes les plus spectaculaires de cette période sera la démonstration de la présence de caroténoïdes dans l'enveloppe des chloroplastes, une découverte qui ébranlait aussi les dogmes établis qui voulaient que ces pigments soient localisés uniquement dans les thylacoïdes où se produisent les réactions de la photosynthèse. Ces analyses connaîtront un nouvel essor avec l'acquisition des techniques de la biologie moléculaire, de la génomique et de la protéomique qui permettront la caractérisation fonctionnelle des enveloppes [9, 10]. Ainsi, les gènes de quelques enzymes clés de la biosynthèse des lipides, en particulier la MGDG synthase, seront isolés au travers de collaborations et permettront de caractériser ces enzymes [11]. Il sera également établi que l'enveloppe des chloroplastes est non seulement le site de synthèse des lipides chloroplastiques, mais aussi de nombreux autres métabolites tels que les caroténoïdes, les prénylquinones et les précurseurs de la chlorophylle. Grâce à l'équipe de Roland Douce, on connaît aujourd'hui avec une très grande précision la composition des chloroplastes, constamment mise à jour dans une base de données, ChloroKB (chlorokb.fr), créée par le laboratoire. Cette base de données offre une description du métabolisme des chloroplastes en lien avec le reste du métabolisme cellulaire et recense un peu plus de 1100 protéines, 1500

métabolites et 700 complexes impliqués dans leur synthèse.

Un autre volet majeur de l'activité de l'équipe concerne la mitochondrie, également purifiée à un niveau jusque-là inégalé [12]. Là encore, les méthodes de purification seront largement diffusées et permettront à de nombreux laboratoires de se les approprier et d'apporter des contributions importantes sur leur fonctionnement. L'un des phénomènes qui fascinaient Roland Douce est celui de la photorespiration [13]. L'enzyme clé de la photosynthèse, la ribulose biphosphate carboxylase, fonctionne également comme une oxygénase, qui produit une molécule de triose phosphate et une de 2-phosphoglycolate. Les peroxysomes et les mitochondries régénèrent une partie du triose-phosphate à partir du glycolate mais cela se traduit par la perte d'une molécule de CO_2 . L'efficacité de fixation du CO_2 est donc diminuée par la photorespiration et occasionne une baisse du rendement de la photosynthèse. Le glycolate est transformé dans les peroxysomes en glyoxylate puis en glycine, qui passe dans les mitochondries où elle est décarboxylée par un complexe multienzymatique, le complexe glycine décarboxylase/sérine hydroxyméthyl transférase pour produire la sérine. Ce complexe peut représenter jusqu'à 50% des protéines mitochondriales. Sous la conduite de Roland Douce, ce complexe sera disséqué et son fonctionnement sera finalement décrit à l'échelle atomique grâce à son analyse structurale en collaboration avec les chercheurs de l'Institut de Biologie Structurale de Grenoble [14, 15]. Les travaux de l'équipe de Roland Douce vont se diversifier avec l'étude des voies de biosynthèse de plusieurs aminoacides, localisées dans les chloroplastes ou les mitochondries [16, 17], et avec l'étude de la biosynthèse de plusieurs vitamines, dont la biotine [18] et le folate ou vitamine B12. Ce dernier cas illustre parfaitement la coopération entre les différents compartiments cellulaires et l'évolution des diverses enzymes qui fascinaient Roland Douce. En effet, si l'assemblage du tétrahydrofolate se fait dans les mitochondries, l'un de ses précurseurs, le noyau ptérine, est synthétisé dans le cytosol et l'autre, l'acide para-amino benzoïque, est fabriqué dans le chloroplaste. Le tétrahydrofolate est ensuite polyglutamylé dans la mitochondrie pour être redistribué dans le cytoplasme et les chloroplastes. Les différentes enzymes impli-

quées et leurs gènes seront caractérisés dans son équipe [19].

Le dernier volet des recherches menées sous la direction de Roland Douce concerne les répercussions des conditions de stress sur le métabolisme cellulaire et en particulier le métabolisme énergétique. Ce fut d'abord la carence en CO_2 , la carence en sucre, puis la tolérance au froid ou à l'ensoleillement. Là aussi, on ne peut qu'être frappé par la gamme d'approches utilisées qui va des méthodes biochimiques classiques de la métabolomique jusqu'aux observations de terrain en milieu alpin en passant par le développement de méthodes non invasives comme la RMN, dont il fut l'un des promoteurs [20]. Il poussait ses travaux aussi loin que possible pour percer les mécanismes moléculaires du métabolisme, recourant aux divers outils de la biochimie, de la biologie moléculaire, de la biophysique, ou de la cristallographie au travers de collaborations. Cet intérêt pour le métabolisme des stress, allié à sa passion pour la montagne allait le conduire à s'investir dans la création avec Richard Bligny et Serge Aubert d'un laboratoire de recherche au jardin botanique du col du Lautaret [21]. Ainsi, toute la gamme d'approches, de la molécule à l'écosystème, était couverte.

Au total, les contributions scientifiques de Roland Douce et de son équipe sont considérables et ont fait très largement progresser nos connaissances en physiologie végétale. Elles se sont concrétisées par plus de 200 articles dans des journaux internationaux à comité de lecture ainsi que plusieurs ouvrages [22] et articles de revue qui font autorité. Il a été un pionnier, en associant des compétences et des technologies complémentaires. Il était lui-même un expérimentateur enthousiaste. Défenseur infatigable de la biologie végétale, il était convaincu qu'une biochimie de pointe était un complément indispensable pour donner un sens à la biologie moléculaire et à la génomique naissante. Parmi les physiologistes végétaux, il a été l'un des premiers à comprendre l'intérêt de la biologie structurale pour disséquer les mécanismes sous-jacents aux processus biologiques. Sa notoriété avait été reconnue par de nombreuses distinctions : médaille d'argent du CNRS en 1982, membre senior de l'Institut Universitaire de France (1992–2002), élection à l'Académie des Sciences en 1996 après avoir été élu correspondant en 1990, élection comme « senior scientist » à l'Université d'Oxford, et élection comme membre

étranger de la National Academy of Sciences des USA en 1997.

En parallèle à ses contributions scientifiques remarquables, Roland Douce a été un organisateur de la recherche et un communicant redoutable, capable d'entraîner l'adhésion de ses collaborateurs, de ses tutelles ou de ses partenaires industriels. Il avait saisi l'importance pour l'agriculture des recherches qu'il menait sur les voies de biosynthèse des aminoacides, cibles potentielles d'herbicides, et cela l'avait conduit à créer avec Rhône-Poulenc Agrochimie une Unité Mixte de Recherche, qui a survécu à toutes les restructurations qu'a connues cette compagnie. Il a ainsi été un pionnier de ce dialogue indispensable entre partenaires privés et publics. Roland Douce avait été également chef du département de Physiologie Végétale de l'INRA de 1985 à 1990, Directeur des recherches à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon de 1995 à 1998 et Directeur de l'Institut de Biologie Structurale de Grenoble de 2002 à 2005. Il a participé à de nombreux comités scientifiques, dont le comité national du CNRS. Dans ces différentes fonctions, il a profondément marqué chacune de ces institutions et nombre de ses membres. A l'Académie des sciences, il était également très actif. Il y avait exercé les fonctions de délégué de section et participait avec enthousiasme aux diverses réunions, intransigeant sur l'excellence scientifique. Passionné par les phénomènes d'évolution et par l'organisation des cellules vivantes, il avait organisé en 2013 un remarquable colloque sur les origines de la vie [23].

Il avait coordonné la rédaction de deux rapports de l'Académie, l'un sur Le monde végétal, du génome à la plante entière [24], et l'autre sur Les plantes génétiquement modifiées [25], qui lui avait valu de la part d'activistes anti-OGM des attaques personnelles qui l'avaient beaucoup affecté. Cela l'a, au final, renforcé dans sa conviction d'instaurer un dialogue entre la science et la société civile.

Roland était un enseignant remarquable, enthousiaste, capable de passionner ses étudiants pour le métabolisme cellulaire et la biochimie. Il vivait littéralement le métabolisme de la plante, lorsqu'il l'expliquait. Son enthousiasme était communicatif. Il était aussi un naturaliste dans l'âme, curieux, passionné d'ornithologie et il n'avait pas hésité à effectuer un séjour botanique aux îles Kerguelen. Il laisse un héritage que ses élèves font fructifier dans une unité mixte de recherche, le Laboratoire Physiologie Cellulaire et Végétale qui associe aujourd'hui le CEA, le CNRS, l'Université de Grenoble Alpes et l'INRA. Leurs recherches visent à étudier la dynamique du fonctionnement de la cellule végétale, aussi bien au niveau moléculaire que cellulaire, dans le contexte de la plante entière au cours de son développement et en réponse aux conditions fluctuantes du milieu.

Nous garderons en mémoire toutes ces images d'un scientifique exceptionnel, brillant, visionnaire, apprécié de tous, d'un confrère curieux, généreux, chaleureux, toujours à l'écoute et disponible, prêt à faire partager sa passion pour la biologie végétale et la nature.

English version

Roland Douce is a world-class scientist who has created a world-renowned school of chloroplast and plant mitochondrial biology in Grenoble (France). He passed away on November 4, 2018. Since then an article has recalled his contributions [1] and the French Academy of sciences, of which he was an eminent member, paid tribute to him on 8 October, 2019, during a session in which his colleagues, collaborators and friends spoke about his work, contributions and passions (<https://www.youtube.com/watch?v=FuA74jcXshM>).

Born on 18 May, 1939 in Saint Maur des Fossés, in the Val de Marne, he completed his secondary education there. He then attended the University of

Paris, the Sorbonne, where, fascinated by life sciences, he began his scientific career in 1961, as an assistant and then as a master assistant. He defended his thesis in 1970 on "Structure, localization and metabolism of diphosphatidyl glycerol, or cardiolipin, in plants" at a time when virtually nothing was known about plant phospholipids. Cardiolipin is the major lipid of the inner membrane of animal or plant mitochondria. After his thesis, he left for an unusual two-year post-doctoral fellowship at the Johnson Research Foundation in Philadelphia in the laboratory of Walter Bonner, one of the leading experts on the respiratory electron transfer chain in the mitochondria. In this laboratory, he improved the

purification of plant mitochondria and developed a test for the integrity of this organelle [2]. He then stayed at the Scripps Research Institute of Oceanography in La Jolla, California, in the laboratory of Andrew Benson, the discoverer, with Melvin Calvin and James Bassham, of the photosynthetic CO₂ reduction cycle. Roland Douce purifies spinach chloroplasts there. He was the first to purify and characterize the chloroplast envelope [3] and to show that it is the site of biosynthesis of chloroplast-specific galactolipids, and in particular MGDG, monogalactosyldiacylglycerol [4], whereas everyone thought they were synthesized in the endoplasmic reticulum. On his return to France in 1974, he was appointed professor at the University of Grenoble and created the Plant Cell Physiology Laboratory, which was soon associated with the CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) and the CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), then with the INRA (Institut National de la Recherche Agronomique).

The first task of the few members of his young team is to purify, with the best possible quality, the two types of cellular organelles, mitochondria and chloroplasts, in order to analyse their composition and functions. Their protocols are rapidly becoming worldwide references. This pioneering work will enable them to clear the still largely unknown field of the composition of these organelles, their functioning within the cell and their interactions with the cytoplasm and peroxisomes.

Once the chloroplasts have been purified, it becomes possible to separate and purify their constituents. Thus, the double membrane of chloroplasts will be purified and characterized by its unique lipid and protein composition [5, 6]. A further step is taken with the splitting of the envelope into outer and inner membranes [7, 8]. Alongside the major discovery of the site of synthesis of galactolipids, one of the most spectacular discoveries of this period was the demonstration of the presence of carotenoids in the envelope of chloroplasts, a discovery that also shook up the established dogmas, which held that these pigments were only localized in the thylacoids where the photosynthetic reactions take place. These analyses will be further developed with the acquisition of molecular biology, genomics and proteomics techniques that will allow the functional characterization of the envelopes [9, 10]. Thus, the genes of a few key enzymes of lipid biosynthesis, in particular MGDG

synthase, will be isolated through collaborations and will make it possible to characterize these enzymes [11]. It will also be established that the chloroplast shell is not only the site of synthesis of chloroplastic lipids, but also of many other metabolites such as carotenoids, prenylquinones and chlorophyll precursors. Thanks to Roland Douce's team, the composition of chloroplasts is now known with a very high degree of precision and is constantly updated in a database, ChloroKB (chlorokb.fr), created by the laboratory. This database provides a description of the metabolism of chloroplasts in relation to the rest of the cellular metabolism and lists just over 1,100 proteins, 1,500 metabolites and 700 complexes involved in their synthesis.

Another major aspect of the team's activity concerns the mitochondria, which have also been purified to an unprecedented degree [12]. Once again, the purification methods will be widely disseminated and will enable many laboratories to appropriate them and make important contributions to their operation. One of the phenomena that fascinated Roland Douce was that of photorespiration [13]. The key enzyme of photosynthesis, ribulose biphosphate carboxylase, also functions as an oxygenase, which produces a triose phosphate molecule and a 2-phosphoglycolate molecule. Peroxisomes and mitochondria regenerate some of the triose phosphate from the glycolate, but this results in the loss of one molecule of CO₂. The efficiency of CO₂ fixation is therefore reduced by photorespiration and causes a decrease in the efficiency of photosynthesis. The glycolate is transformed in the peroxisomes into glyoxylate and then into glycine, which passes into the mitochondria where it is decarboxylated by a multienzymatic complex, the glycine decarboxylase/serine hydroxymethyl transferase complex to produce serine. This complex can represent up to 50% of the mitochondrial proteins. Under the direction of Roland Douce, this complex will be dissected and its functioning will finally be described at the atomic scale thanks to its structural analysis in collaboration with researchers from the Institute of Structural Biology in Grenoble [14, 15]. The work of Roland Douce's team will diversify with the study of the biosynthesis pathways of several amino acids, located in chloroplasts or mitochondria [16, 17], and with the study of the biosynthesis of several vitamins, including biotin [18] and folate or vitamin B12. The latter case is a perfect

illustration of the cooperation between the different cell compartments and the evolution of the various enzymes that fascinated Roland Douce. Indeed, if the assembly of tetrahydrofolate takes place in the mitochondria, one of its precursors, the pterin nucleus, is synthesized in the cytosol and the other, para-amino benzoic acid, is manufactured in the chloroplast. The tetrahydrofolate is then polyglutamoylated in the mitochondrion for redistribution in the cytoplasm and chloroplasts. The different enzymes involved and their genes will be characterized in his team [19].

The final aspect of the research conducted under the direction of Roland Douce concerns the repercussions of stress conditions on cellular metabolism and in particular energy metabolism. This was firstly CO₂ deficiency, sugar deficiency, and then tolerance to cold or sunlight. Here too, one cannot but be struck by the range of approaches used, from classical biochemical methods of metabolomics to field observations in the Alpine environment and the development of non-invasive methods such as NMR, of which he was one of the promoters [20]. He pushed his work as far as possible to break through the molecular mechanisms of metabolism, using various tools from biochemistry, molecular biology, biophysics, or crystallography through collaborations. This interest in stress metabolism, combined with his passion for the mountains, led him to invest in the creation with Richard Bligny and Serge Aubert of a research laboratory at the botanical garden of the Col du Lautaret [21]. Thus, the whole range of approaches, from the molecule to the ecosystem, was covered.

Overall, the scientific contributions of Roland Douce and his team are considerable and have greatly advanced our knowledge of plant physiology. They have resulted in more than 200 articles in international peer-reviewed journals as well as several books [22] and authoritative journal articles. It has been a pioneer in combining complementary skills and technologies. He was himself an enthusiastic experimenter. A tireless advocate of plant biology, he was convinced that advanced biochemistry was an indispensable complement to give meaning to molecular biology and emerging genomics. Among plant physiologists, he was one of the first to understand the value of structural biology in dissecting the mechanisms underlying biological processes. His

notoriety had been recognized by numerous distinctions: CNRS silver medal in 1982, senior member of the Institut Universitaire de France (1992–2002), election to the French Academy of sciences in 1996 after being elected “correspondant” in 1990, election as “senior scientist” at Oxford University, and election as foreign member of the US National Academy of Sciences in 1997.

In parallel to his remarkable scientific contributions, Roland Douce has been a formidable research organiser and communicator, capable of attracting the support of his collaborators, supervisors and industrial partners. He understood the importance for agriculture of the research he was conducting on the biosynthesis pathways of amino acids, potential targets for herbicides, and this led him to create with Rhône-Poulenc Agrochimie a Joint Research Unit, which has survived all the restructuring that this company has undergone. He was thus a pioneer in this indispensable dialogue between private and public partners. Roland Douce was also Head of the Plant Physiology Department at INRA from 1985 to 1990, Director of Research at the Ecole Normale Supérieure de Lyon from 1995 to 1998 and Director of the Institute of Structural Biology in Grenoble from 2002 to 2005. He has participated in numerous scientific committees, including the national committee of the CNRS. In these different functions, he has had a profound influence on each of these institutions and many of its members. At the French Academy of sciences, he was also very active. There he had served as a section delegate and participated enthusiastically in the various meetings, uncompromising on scientific excellence. Fascinated by the phenomena of evolution and by the organization of living cells, he had organized in 2013 a remarkable symposium on the origins of life [23]. He coordinated the writing of two reports of the Academy, one on The Plant World, from the Genome to the Whole Plant [24] and the other on Genetically Modified Plants [25], which led to personal attacks from anti-GMO activists that affected him greatly. In the end, this strengthened his conviction to establish a dialogue between science and civil society.

Roland was a remarkable, enthusiastic teacher, able to enthuse his students about cellular metabolism and biochemistry. He literally lived the metabolism of the plant, when he explained it. His enthusiasm was infectious. He was also a naturalist

at heart, curious, passionate about ornithology and he had not hesitated to make a botanical trip to the Kerguelen Islands. He left a legacy that his students are now bringing to fruition in a joint research unit, the Laboratory of Cell and Plant Physiology, which today brings together the CEA, the CNRS, the University of Grenoble Alpes and the INRA. Their research aims to study the dynamics of plant cell functioning, both at the molecular and cellular levels, in the context of the whole plant during its development and in response to fluctuating environmental conditions.

We will keep in mind all these images of an exceptional scientist, brilliant, visionary, appreciated by all, a curious, generous, warm-hearted colleague, always ready to listen and available, ready to share his passion for plant biology and nature.

Références / References

- [1] J. Joyard, H. K. Lichtenthaler, « Tribute to Roland Douce », *Photosynth. Res.* **141** (2019), p. 131-142.
- [2] R. Douce, E. L. Christensen, W. D. Bonner Jr, « Preparation of intact plant mitochondria », *Biochim. Biophys. Acta* **275** (1972), p. 148-160.
- [3] R. Douce, R. B. Holz, A. A. Benson, « Isolation and properties of the envelope of spinach chloroplasts », *J. Biol. Chem.* **248** (1973), p. 7215-7222.
- [4] R. Douce, « Site of biosynthesis of galactolipids in spinach chloroplast », *Science* **183** (1974), p. 852-853.
- [5] H. P. Siebertz, E. Heinz, J. Joyard, R. Douce, « Characterization of lipids from chloroplast envelopes », *Eur. J. Biochem.* **101** (1979), p. 429-438.
- [6] J. Joyard, A. Grossman, S. G. Bartlett, R. Douce, N. H. Chua, « Characterization of envelope membrane polypeptides from spinach chloroplasts », *J. Biol. Chem.* **257** (1982), p. 1095-1101.
- [7] M. A. Block, A. J. Dorne, J. Joyard, R. Douce, « Preparation and characterization of membrane fractions enriched in outer and inner envelope membrane from spinach chloroplasts », *J. Biol. Chem.* **258** (1983), p. 13273-13286.
- [8] R. Douce, J. Joyard, « Biochemistry and function of the plastid envelope », *Annu. Rev. Cell Biol.* **6** (1990), p. 173-216.
- [9] J. Joyard, E. Teyssier, C. Miège, D. Berny-Seigneurin, E. Maréchal, M. A. Block, A. J. Dorne, N. Rolland, G. Ajlani, R. Douce, « The biochemical machinery of plastid envelope membranes », *Plant Physiol.* **118** (1998), p. 715-723.
- [10] N. Rolland, M. Ferro, D. Seigneurin-Berny, J. Garin, R. Douce, J. Joyard, « Proteomics of chloroplast envelope membranes », *Photosynth. Res.* **78** (2003), p. 205-230.
- [11] C. Miège, E. Maréchal, M. Shimojima, K. Awai, M. A. Block, H. Ohta, K. Takamiya, R. Douce, J. Joyard, « Biochemical and topological properties of type A MGDG synthase, a spinach chloroplast envelope enzyme catalyzing the synthesis of both prokaryotic and eukaryotic MGDG », *Eur. J. Biochem.* **265** (1999), p. 990-1001.
- [12] M. Neuburger, E. P. Journet, R. Bligny, J. P. Carde, R. Douce, « Purification of plant mitochondria by isopycnic centrifugation in density gradients of Percoll », *Arch. Biochem. Biophys.* **217** (1982), p. 312-323.
- [13] R. Douce, M. Neuburger, « Biochemical dissection of photorespiration », *Curr. Opin. Plant Biol.* **2** (1999), p. 214-222.
- [14] C. Cohen-Addad, S. Pares, L. Sieker, M. Neuburger, R. Douce, « The lipoamide arm in the glycine decarboxylase complex is not freely swinging », *Nat. Struct. Mol. Biol.* **2** (1995), p. 63-68.
- [15] R. Douce, J. Bourguignon, M. Neuburger, F. Rébeillé, « The glycine decarboxylase system : a fascinating complex », *Trends Plant Sci.* **6** (2001), p. 167-176.
- [16] V. Biou, R. Dumas, C. Cohen-Addad, R. Douce, D. Job, E. Pebay-Peyroula, « The crystal structure of plant acetohydroxy acid isomeroreductase complexed with NADPH, two magnesium ions and a herbicidal transition state analog determined at 1.65 Å resolution », *EMBO J.* **16** (1997), p. 3405-3415.
- [17] S. Ravanel, M. A. Block, P. Rippert, S. Jabrin, G. Curien, F. Rébeillé, R. Douce, « Methionine metabolism in plants : chloroplasts are autonomous for *de novo* methionine synthesis and can import S-adenosyl methionine from the cytosol », *J. Biol. Chem.* **279** (2004), p. 22548-22557.
- [18] C. Alban, D. Job, R. Douce, « Biotin metabolism in plants », *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **51** (2000), p. 17-47.
- [19] S. Ravanel, R. Douce, F. Rébeillé, « Metabolism of folates in plants », *Adv. Bot. Res.* **59** (2011), p. 67-106.
- [20] R. Bligny, R. Douce, « NMR and plant metabolism », *Curr. Opin. Plant Biol.* **4** (2001), p. 191-196.
- [21] S. Aubert, *Jardin botanique alpin du Lautaret*, Edition université J Fourier, 2013, 201 pages.
- [22] R. Douce, *Mitochondria in Higher Plants : Structure, Function and Biogenesis*, Academic Press, 1985, 327 pages.
- [23] R. Douce, E. Postaire, « Les origines du vivant », in *Une équation à plusieurs inconnues*, Folio Essais, Gallimard, 2016.
- [24] R. Douce, 2000, Le monde végétal. Du génome à la plante entière. Académie des sciences. Rapport sur la science et la technologie n° 10, Tec & Doc, Paris.
- [25] R. Douce, 2002, Les plantes génétiquement modifiées. Académie des sciences. Rapport sur la science et la technologie n° 13, Tec & Doc, Paris.