

ÉLÉMENTS MOLÉCULAIRES CHEZ *LYCOPERSICON ESCULENTUM* APRÈS EXPOSITION À DES RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES HAUTE FRÉQUENCE¹

Rapport sur le mémoire de thèse présenté par Monsieur David Roux pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Blaise Pascal (spécialité : Physiologie végétale)

par Michel Thellier²

Ce travail de thèse se place à l'intersection de deux grands domaines de recherches. D'une part, les plantes sont sensibles à de nombreux stimuli (tels que contact, vent, pluie, changements de température, brûlures, piqûres, blessures et même certains rayonnements électromagnétiques), auxquels elles répondent parfois par des mouvements (e.g. sensibles, certaines plantes carnivores) mais très généralement par des modifications du métabolisme et du développement ; et les événements moléculaires associés sont l'objet d'intenses travaux. D'autre part, l'essor de la téléphonie mobile a suscité des recherches sur l'effet que pouvaient avoir, sur le vivant, les rayonnements électromagnétiques qu'elle utilise.

Les objectifs de David Roux étaient 1) de confirmer la sensibilité des plantes aux rayonnements électromagnétiques et de l'étudier, particulièrement à des fréquences voisines du GHz (celles de la téléphonie mobile), avec une très grande rigueur expérimentale et 2) de rechercher la façon dont ce stimulus particulier affecte divers paramètres cellulaires, dont l'abondance d'ARNm tels que Calm-n6 (*calmodulin N6*), lecdpk1 (*Lycopersicon esculentum calcium dependent protein kinase I*) et pin2 (*proteinase inhibitor type II*). Le matériel d'expérience a été la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill cv VFN-8).

Une longue discussion (30 pages) replace la sensibilité des végétaux aux rayonnements électromagnétiques dans le cadre général de leur sensibilité aux stimuli de l'environnement et discute l'origine de cette sensibilité (effet thermique ou non, influence du calcium et des caractéristiques [amplitude, durée] de l'irradiation) et, par suite, la nature des mécanismes senseurs et de transduction.

Quatre articles ont été tirés de ce travail et déjà publiés dans des journaux internationaux (*Physiol. Plant.*, *Plant Signaling & Behavior* [2 fois], *Planta*) ainsi que le résumé d'une communication paru aux C.R. du « 16th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility » (David Roux étant 1^{er} auteur de quatre de ces cinq publications).

Du point de vue expérimental, un effort particulier a été fait sur la rigueur du choix et de l'utilisation des techniques. En particulier, les conditions d'irradiations qui ont été mises au point ici constituent maintenant une référence pour tout chercheur qui désirera entreprendre des études de l'effet des rayonnements électromagnétiques sur des échantillons vivants.

¹ Thèse présentée à l'Université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de Docteur d'Université, spécialité : Physiologie végétale. 2008, 147 pages + annexes.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur émérite à la Faculté des Sciences de l'Université de Rouen.

L'auteur a étudié les effets de l'irradiation par des rayonnements électromagnétiques proches de 1 GHz sur la transcription de gènes déjà connus pour être impliqués dans la réponse des végétaux à divers stimuli ou stress. Ne serait-il pas intéressant de rechercher s'il n'existe pas des ARNm, autres que ceux déjà connus, et dont l'abondance serait affectée spécifiquement par une telle irradiation ?

Les ARNm envisagés par l'auteur interviennent essentiellement dans les processus terminaux de la transduction des stimuli. Il me paraîtrait intéressant d'étudier s'il n'existe pas des ARNm dont l'abondance serait modifiée par la réception du stimulus ou, du moins, par des événements proches de la réception. Pour cela, on pourrait se servir du phénomène de « stockage/rappel » de signaux (dont la mise en évidence, au temps de Marie-Odile Desbiez, doit beaucoup au laboratoire même où travaille maintenant David Roux). En bref, on peut trouver des situations expérimentales où la plante perçoit un premier stimulus mais stocke ce signal, en quelque sorte « en mémoire », suspendant ainsi son expression terminale jusqu'à ce que l'application d'un second stimulus adéquat permette d'en achever la transduction. En appliquant seulement le premier stimulus on pourrait rechercher quels sont les ARNm dont l'abondance est modifiée, quelles associations d'ARNm avec les ribosomes se produisent, quelles modifications de l'état énergétique des cellules sont observées, etc., en relation avec les seuls événements précoces de la transduction (i.e. ceux liés à la réception du stimulus ou immédiatement voisins). Une tentative en ce sens a été faite autrefois par l'équipe même où travaille maintenant David Roux (Henry-Vian et al. *Plant Physiol. Biochem.* 1995 **33**, 337-344).

David Roux s'est intéressé surtout à des modifications de la transcription suite à l'irradiation des plantes par des rayonnements électromagnétiques de fréquence voisine de 1 GHz. Cela vaudrait la peine de s'intéresser aussi à l'effet de ces rayonnements sur la traduction des ARNm en protéines ainsi qu'à des modifications post-traductionnelles (par exemple des phosphorylations/déphosphorylations de protéines). Il semble en effet que de tels effets puissent être extrêmement précoces, i.e. se produisant dans les minutes qui suivent un stimulus (cf. Tafforeau et al. *Plant Signaling & Behavior* 2006 **1**, 9-14.).

Cela dit, les remarques précédentes sont bien moins des critiques que des suggestions pour les recherches à venir. Elles témoignent en fait de ce que le travail de David ROUX est riche de possibilités de développement dans des voies diverses.

On retiendra surtout 1) que ce travail a conduit à la mise au point d'une méthodologie rigoureuse d'irradiation par des rayonnements électromagnétiques de l'ordre du GHz, méthodologie qui peut maintenant servir de modèle pour tout autre chercheur engagé dans l'évaluation des effets de ces rayonnements sur la matière vivante, 2) qu'il a permis la mise au point d'indicateurs sensibles et précis des réponses des plantes aux stimuli (abondances d'ARNm, état énergétique des cellules), 3) que, grâce à ces indicateurs, il a largement contribué à la démonstration non ambiguë de ce que les plantes sont sensibles aux rayonnements électromagnétiques proches de 1 GHz, qu'elles y font des réponses moléculaires reproductibles et que certains de ces événements sont communs à ceux observés en réponse à d'autres types de stimulus, 4) qu'il a dégagé des caractéristiques cinétiques de ces réponses, en particulier la mise en évidence d'une oscillation de l'abondance de plusieurs ARNm (mais pas de tous) avec des maximums, à 15 et 60 min suivant l'irradiation, séparés par une dépression qui retombe parfois presque à la valeur de base, et 5) qu'il a en partie débrouillé l'interaction du calcium avec ces événements moléculaires.

L'importance des résultats est attestée par le fait qu'ils se publient sans difficulté dans de bons journaux internationaux, l'une de ces publications ayant d'ailleurs été sélectionnée pour « *Faculty of 1000 Biology* ».