

Les nouveaux développements en micro-spectroscopie infrarouge utilisant le rayonnement synchrotron

Marine Cotte^{a, b*}, Jean Susini^b, Paul Dumas^c

^a C2RMF - UMR171, Palais du Louvre, Porte des Lions, 14 quai F. Mitterrand, 75001 Paris

^b ID21, ESRF, BP 220, 38043 Grenoble Cedex

^c SMIS, SOLEIL, L'Orme des Merisiers, Saint-Aubin, BP 48, 91192 GIF-sur-YVETTE CEDEX

Résumé – La micro-spectroscopie FTIR (Fourier Transform Infrared) utilisant le rayonnement synchrotron est une technique d'imagerie moléculaire à haute résolution latérale en plein extension. Elle offre la possibilité d'obtenir des cartographies de groupes moléculaires et parfois de leur organisation supramoléculaire sur des composés variés (organiques et/ou minéraux) avec une résolution spatiale qui n'est limitée que par la limite de diffraction. Des études dans le domaine de la pharmacie, de la biologie ou des matériaux archéologiques seront présentées.

1. Introduction

La plupart des méthodes d'imagerie utilisant le rayonnement synchrotron emploie comme sonde les rayons X, plus ou moins durs selon les cas. Cependant, l'étendue spectrale du rayonnement synchrotron est suffisamment large pour fournir également une source brillante dans le domaine des infrarouges. C'est cette caractéristique qui a motivé le développement de la micro-spectroscopie FTIR (Fourier Transform Infrared) couplée au rayonnement synchrotron. La micro-spectroscopie FTIR est une technique relativement classique qui combine les avantages de la microscopie (visualisation de l'échantillon et de la zone à analyser, cartographie) aux avantages de la spectroscopie infrarouge (analyse moléculaire et structurale). L'acquisition de spectres infrarouges sur une zone bidimensionnelle permet de générer des images chimiques qui correspondent à la distribution spatiale des groupes moléculaires. L'avantage du rayonnement synchrotron réside dans sa luminance¹. Même si le flux de photons total émis par un corps noir (type Globar) est plus élevé que celui produit par une source synchrotron, la luminance ou brillance (flux par unité de surface et unité d'angle solide) obtenue avec un synchrotron est bien supérieure (d'un facteur 10^3) à celui d'une source classique, du fait de la très faible divergence angulaire du faisceau. Le rayonnement synchrotron permet donc de diaphragmer le faisceau et d'obtenir ainsi une résolution spatiale limitée par la diffraction ($\lambda/2$) et non plus par le flux tout en conservant un bon rapport signal sur bruit (Fig.1).

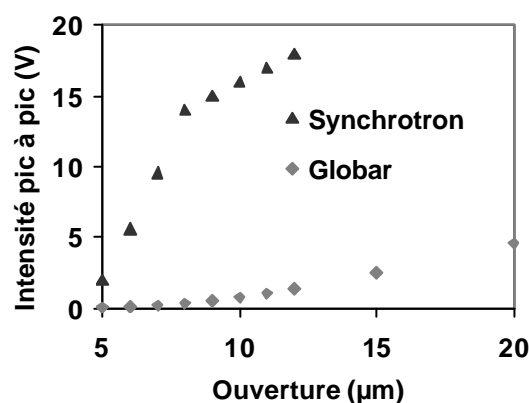


Figure 1 – Intensité de l'interférogramme (V) avec une source synchrotron et une source Globar pour différentes ouvertures.

2. Exemples d'application

Les domaines d'application sont très variés du fait de la diversité des matériaux qui peuvent être étudiés par microscopie infrarouge. Cette variété est elle-même corrélée à la grande gamme de groupements moléculaires excités dans le domaine des infrarouges moyens ($4000-500\text{cm}^{-1}$). En effet, la plupart des groupements à base de C,H,O,N,S ont des fréquences de vibrations dans ce domaine, ce qui fait de la spectroscopie FTIR une technique de choix pour l'analyse d'échantillons organiques (biologie, pharmacie, médecine, polymère...). Elle permet non seulement la caractérisation de groupes moléculaires mais peut aussi donner des informations sur l'arrangement de ces groupes à plus grande distance (liaison hydrogène, structure secondaire des protéines...) Cette technique s'étend aussi à l'étude de certains minéraux, et peut même permettre de distinguer différentes phases du même

* Auteur à contacter : cotte@esrf.fr – Tel : 01 40 20 57 59

composé. C'est a fortiori une technique idéale pour l'étude de matériaux hybrides (biominéralisation, peintures...). Divers exemples seront présentés, illustrant cette diversité d'application et d'information : diffusion de composés à travers la peau², caractérisation de micro-billes de chitosane –polyéthylène oxyde³, phénomènes de dégradation dans des cheveux et des peaux de momies⁴, analyse de cellules humaines tumorales⁵.

La spécificité du microscope FTIR construit sur la ligne de lumière ID21 à l'ESRF est sa proximité avec les microscopes X: la combinaison des techniques X-infrarouge y est donc fortement favorisée. Des exemples d'études croisées, alliant les caractérisations atomiques et moléculaires, seront présentés.

3. Références

- [1] P. Dumas et L. Miller, *The use of synchrotron infrared micro spectroscopy in biological and biomedical investigations*, Vib. Spec., **32**, (2003) 3-21
- [2] M. Cotte, P. Dumas, M. Besnard, P. Tchoreloff et Ph. Walter, *Synchrotron FT-IR microscopic study of chemical enhancers in transdermal drug delivery: example of fatty acids*, J. Contr. Release, **97**, (2004) 269-281
- [3] L. Martinez, F. Agnely, J. Siepmann, B. Ieclerc, M. Cotte, S. Geiger et G. Couarraze, *Cross-linking of chitosan and chitosan/poly(ethylene oxide) beads: A theoretical treatment*, J. Contr. Release, (2007), in press.
- [4] M. Cotte, Ph. Walter, G. Tsoucaris et P. Dumas, *Studying skin of an Egyptian mummy by infrared microscopy*, Vib. Spec., **38**, (2005) 159-167
- [5] P. Dumas, G. D. Sockalingum et J. Sulé-Suso *Adding synchrotron radiation to infrared microspectroscopy: what's new in biomedical applications?* Trends in Biotechnology, **25** (1), (2007), 40-44