

Actes photochimiques primaires dans les matériaux organiques en solution

Pascal Plaza* chargé de recherche CNRS, **Pascale Changenet-Barret**** chargée de recherche CNRS, **Damien Laage***** doctorant, **Monique Martin****** directeur de recherche CNRS

Summary : *Primary photochemical processes in organic materials in solution*

In this paper, we report on intramolecular electron transfer, distortional relaxation or isomerization reactions in a few classes of commercial or recently engineered organic compounds in solution. We also show the role of the solvent polarity as well as solvent dynamics in the deactivation pathway and in the reaction kinetics. The reactions are probed in real time by pico-femtosecond transient absorption spectroscopy.

Mots clés : *Transfert d'électron, torsion interne, isomérisation, solvation, composés donneur-accepteur d'électron.*

Key-words : *Electron transfer, internal torsion, isomerization, solvation, electron donor-acceptor compounds.*

Les molécules organiques, naturelles ou synthétiques, ont changé radicalement notre quotidien au cours des cinquante dernières années. Elles constituent une réserve inépuisable de composants pour la construction d'ensembles supramoléculaires de plus en plus fonctionnalisés et sont, avec les systèmes biologiques, au cœur des progrès et bouleversements les plus attendus dans les décennies à venir. Les phénomènes moléculaires induits par la lumière dans les molécules organiques possèdent en eux-mêmes un immense potentiel d'application dans des domaines aussi divers que la chimie proprement dite, l'optique ou la biologie et la médecine. On peut se référer au numéro spécial de *L'Actualité Chimique* de décembre 1994, déjà consacré à la photochimie [1], pour mesurer l'impact et le caractère interdisciplinaire de cette branche de la chimie. En tirant profit des propriétés des états excités de composés organiques, il est maintenant possible de façonner des systèmes capables de remplir une fonction photoinduite donnée, nécessaire à la résolution de certains problèmes. Le développement de technologies médicales comme la photothérapie [2] en constitue certainement un des exemples les plus marquants aujourd'hui. D'autres applications sont, entre autres, les sondes fluorescentes capables de reconnaissance de paramètres physico-chimiques à l'échelle moléculaire (nature chimique, présence d'ions, contraintes locales, complexation, dynamique de structure) [3], les matériaux pour l'optique non linéaire [4], les composants utilisables en technologie laser [5] (stabilisateur, modulateur, limiteur) et dans des circuits opto-optiques (bascule optique, fonctions

logiques). La conception de systèmes artificiels fonctionnalisés, comme par exemple ceux mimant la photosynthèse ou d'autres phénomènes biologiques naturels, occupe une part importante des recherches actuelles [6].

Le développement de ces champs d'application repose entièrement sur une connaissance détaillée du comportement des états électroniques excités en fonction de la structure électronique des composés, leur géométrie et la nature de leur environnement (solution, surface, système organisé, protéine). La spectroscopie femtoseconde est l'outil de choix pour l'analyse des actes photochimiques primaires car les voies de conversion de l'énergie lumineuse choisies spontanément par le milieu moléculaire doivent être ultrarapides afin d'être chimiquement efficaces. Selon l'architecture et le site, les mécanismes impliqués seront le transfert d'énergie, le transfert d'électron et de proton, la dissociation et la formation de liaison, les mouvements intramoléculaires, la distorsion et la restructuration géométrique.

On décrira ici des réactions de transfert d'électron (ou transfert de charge) intramoléculaire et de restructuration par distorsion ou isomérisation dans quelques classes de molécules organiques commerciales ou issues de recherches relativement récentes en synthèse organique [7-8]. Lorsque ces réactions ont lieu en solution, le caractère polaire ou non polaire du solvant ainsi que ses propriétés dynamiques jouent un rôle fondamental sur le chemin réactionnel et sa cinétique.

Transfert de charge intramoléculaire et dynamique de solvation

Les molécules substituées avec un groupement donneur et un groupement accepteur d'électron ont, dans leur état électronique fondamental, un caractère polaire du fait d'une densité électronique accrue sur l'accepteur et déficitaire sur le

UMR ENS-CNRS 8640, PASTEUR, Département de chimie, École Normale Supérieure, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05. Tél. : 01.44.32.33.27. Fax : 01.44.32.33.25.

E-mails :

* Pascal.Plaza@ens.fr

** Pascale.Changenet@ens.fr

*** Damien.Laage@ens.fr

**** Monique.Martin@ens.fr

donneur. Soumises à une excitation lumineuse, ces molécules peuvent acquérir instantanément un grand moment dipolaire permanent ou passer, après excitation, dans un autre état électronique plus polaire que l'état fondamental, un état dit à « transfert de charge ». En solution dans un solvant polaire, la coordonnée de réaction peut être une coordonnée interne à la molécule, une coordonnée de solvation ou bien les deux.

En spectroscopie stationnaire, lorsqu'on observe un grand décalage entre le spectre d'absorption et le spectre d'émission d'une molécule polaire dans un solvant polaire et si ce décalage augmente avec la polarité du solvant, on peut en général conclure que la fluorescence provient d'un état excité beaucoup plus polaire que l'état fondamental, autour duquel le solvant doit se réorganiser. Ce phénomène est illustré dans la *figure 1* où les spectres d'absorption et de fluorescence du 9,9'-bianthryl et du 10-cyano-bianthryl sont donnés dans des solvants de polarité croissante comme le méthylcyclohexane, l'éther diéthylique, l'éthanol et l'acétonitrile. Les structures des molécules sont données dans la *figure 2* ; à l'état électronique fondamental, les noyaux anthracéniques sont orthogonaux, le 9,9'-bianthryl est apolaire, mais le 10-cyanobianthryl possède un moment dipolaire permanent dû à la présence du substituant cyano qui introduit une dissymétrie dans la molécule. Lorsque le spectre de fluorescence comporte deux bandes, on peut ima-

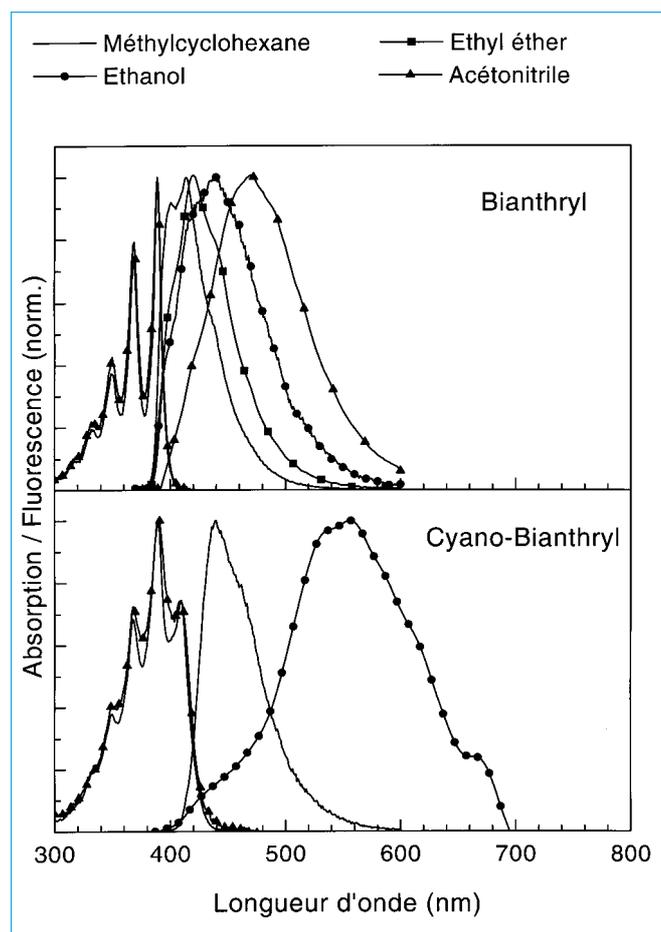


Figure 1 - Spectres d'absorption (structurés à gauche) et de fluorescence (bandes larges à droite) du 9,9'-bianthryl et du 10-cyano-bianthryl en solution dans le méthylcyclohexane (apolaire) et quelques solvants de polarité croissante.

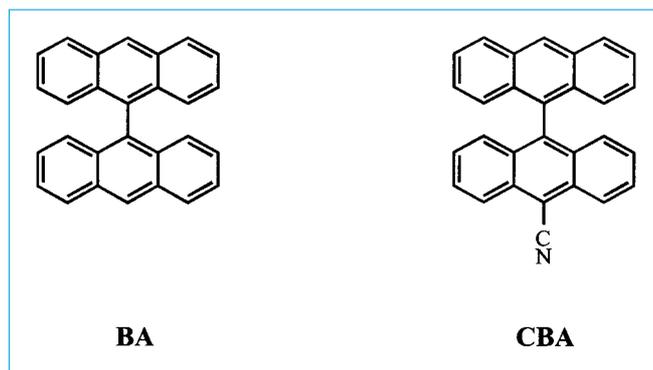


Figure 2 - Structures moléculaires du 9,9'-bianthryl (BA) et du 10-cyano-bianthryl (CBA).

giner sans ambiguïté un mécanisme photoinduit mettant en jeu deux états excités. Mais, lorsqu'il ne montre qu'une seule bande comme dans la *figure 1*, il n'est pas possible de dire de manière simple si le grand déplacement vers le rouge de cette unique bande de fluorescence traduit la réorganisation du solvant autour d'un état excité polaire soudainement créé, ou bien une transition très rapide et irréversible de l'état excité initial vers un état polaire fluorescent de plus basse énergie, lui-même induisant la réorganisation de la couche de solvation. La spectroscopie laser femtoseconde permet de répondre à cette question, soit en mesurant l'évolution de la bande de fluorescence en temps réel, soit en détectant par absorption induite les espèces transitoires mises en jeu. Contrairement aux bandes d'émission, les positions spectrales des bandes d'absorption des états de transfert de charge sont le plus souvent insensibles à la réorganisation du solvant. L'absorption transitoire permet donc de distinguer plus facilement les deux mécanismes dans le cas particulier où la cinétique de formation de l'état de transfert de charge est complètement contrôlée par la dynamique de solvation, comme indiqué dans la *figure 3a*.

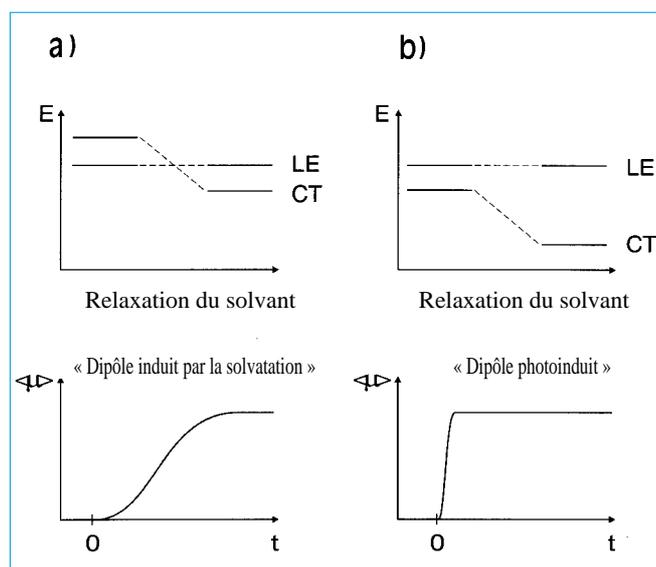


Figure 3 - Représentation schématique de l'évolution temporelle du moment dipolaire moyenné sur les populations de l'état excité ; a) abaissement de l'état de transfert de charge (CT) induit par la solvation en dessous de l'état dit « localement excité » (LE) peu polaire et apparition retardée d'un grand moment dipolaire ; b) l'état de transfert de charge est le plus bas et le moment dipolaire élevé est obtenu directement après excitation.

La *figure 4* montre l'évolution des spectres d'absorption transitoire (donnés en densité optique différentielle ΔD) de solutions de 9,9'-bianthryl et de 10-cyano-bianthryl dans l'éthanol, mesurés 1,5 ps et 50 ps après excitation avec des impulsions laser de 500 fs à 370 nm. Ces spectres et leur analyse cinétique démontrent que les mécanismes photoinduits dans ces molécules sont différents et peuvent être décrits respectivement par les deux cas de la *figure 3*.

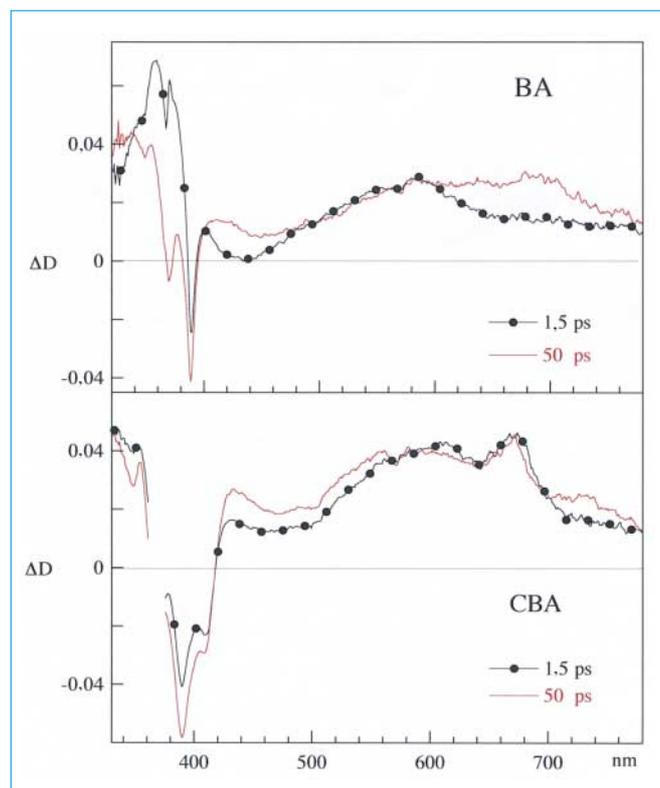


Figure 4 - Évolution de la densité optique différentielle ΔD de solutions de 9,9'-bianthryl (BA) et de 10-cyano-bianthryl (CBA) dans l'éthanol, mesurée 1,5 ps et 50 ps après excitation avec des impulsions laser de 500 fs à 370 nm.

Dans le cas du 9,9'-bianthryl, le spectre d'absorption transitoire mesuré 1,5 ps après excitation montre en effet, autour de 370 nm, une bande d'absorption transitoire de forte intensité caractéristique de l'anthracène et très peu d'absorption, vers 690 nm, caractéristique de l'état de transfert de charge. Au contraire, 50 ps après excitation, le processus de transfert d'électron intramoléculaire est bien caractérisé par la présence de la bande à 690 nm alors que la bande anthracénique à 370 nm a disparu. Les temps d'apparition ($14 \pm 2,5$ ps) et de disparition (17 ± 3 ps) respectifs de ces deux bandes, dont la dynamique a été traitée comme un processus exponentiel, sont identiques, indiquant bien une relation précurseur-successeur. D'autre part, ces temps sont très voisins du temps de solvation moyen de l'éthanol (16 ps [9]), indiquant que la coordonnée de réaction sur cette gamme de temps est la coordonnée de solvation. Le processus sondé correspond donc bien au cas a) de la *figure 3*, avec changement de la nature électronique de l'état excité.

Dans le cas du 10-cyanobianthryl, 1,5 ps après excitation, la bande transitoire caractéristique de l'anthracène autour de 370 nm n'est pas observée mais le spectre montre un pic à 670 nm qui est la signature du radical anion du cyano-

anthracène et dont l'intensité est toujours la même 50 ps après excitation. Cette mesure indique que l'état de transfert de charge est directement atteint par l'excitation optique et qu'en conséquence, le processus photoinduit correspond au cas b) de la *figure 3*, c'est-à-dire à la solvation sans modification de la nature électronique de l'état excité. La substitution de l'un des noyaux anthryls par un groupement cyano a induit une inversion des deux premiers états excités pour la configuration nucléaire de l'état fondamental. Le processus de réorganisation du solvant attendu autour de cet état de transfert de charge est probablement contenu dans les petites modifications spectrales observées entre 1,5 ps et 50 ps, en particulier dans la région spectrale (450-600 nm) où l'émission stimulée par la sonde lors de la traversée du milieu excité contribue à la densité optique différentielle mesurée.

Dans ces résultats, la coordonnée de solvation est présentée comme la coordonnée de réaction dominante. Toutefois, pour le 9,9'-bianthryl, un changement de géométrie d'équilibre avec diminution de l'angle entre les plans anthracéniques est attendu dans l'état excité initial. Sur la base de nos observations en milieu peu polaire (non présentées ici), nous avons proposé que la réaction de transfert de charge en milieu polaire décrite ci-dessus ait lieu pour une large distribution de géométries de l'état excité initial [10-11].

Distorsion géométrique non activée : une voie de relaxation efficace en l'absence de contrainte externe

Les molécules flexibles, comme les colorants cationiques dérivés du diphenyl- ou triphenyl-méthane (*figure 5*), sont capables de convertir réversiblement l'énergie lumineuse avec une très grande efficacité. En solution fluide, l'énergie électronique déposée dans ces molécules par une excitation optique est dissipée en quelques picosecondes, voire en quelques centaines de femtosecondes pour les plus efficaces. Sur la base d'effets de viscosité bien documentés, il est communément admis que l'énergie est dissipée via la diffusion rotationnelle des noyaux phényles. De telles molécules présentent un intérêt pratique comme sonde moléculaire, puisque la mesure de leur rendement ou déclin de fluorescence renseigne sur les contraintes locales susceptibles de gêner voire de bloquer leur distorsion non radiative. L'auramine (*figure 5 a*) a fait l'objet d'une grande variété d'études pour sonder, par exemple, la structure et la fonction des protéines, le vieillissement des polymères ou encore les phénomènes d'adsorption sur des microcristaux de cellulose.

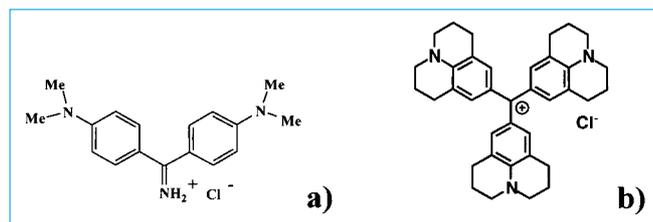


Figure 5 - Structures moléculaires de l'auramine a) et du cristal violet julolidine b), colorants cationiques dérivés respectivement du diphenylméthane et du triphenylméthane.

La spectroscopie transitoire à l'échelle des picosecondes nous a permis de montrer qu'en milieu fluide le processus de dégradation de la lumière dans ces molécules met en jeu un processus de relaxation via un état transitoire instable non fluorescent. Par ailleurs, la mesure des spectres de fluorescence instantanés de l'auramine montre un déplacement ultrarapide de ces spectres vers le rouge, accompagné de la chute de leur intensité et d'un allongement de leur temps de déclin [12]. Nous avons interprété ces observations par l'allongement de la durée de vie radiative du chromophore lors de la torsion intramoléculaire qui entraîne une réduction de la chaîne de conjugaison du système π . L'absorption de l'état fondamental, déplacée vers les basses énergies par rapport à celle des sous-unités diméthylaniline ou amine, indique bien qu'il y a une délocalisation électronique sur l'ensemble du système π et que la géométrie d'équilibre est presque plane. L'absorption de l'état transitoire distordu (figure 6) s'avère au contraire extrêmement voisine de celle du radical cation de la diméthylaniline, indiquant une localisation de la charge positive sur l'une des sous unités diméthylaniline et donc une géométrie où cette sous-unité est fortement découplée du reste de la molécule [13].

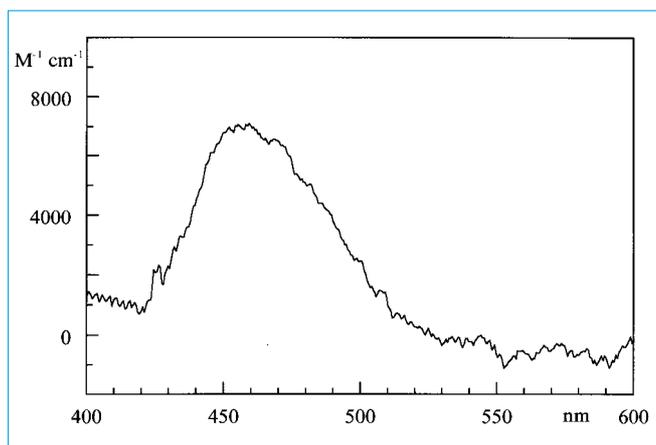


Figure 6 - Coefficient d'extinction molaire de l'espèce transitoire observée, estimé à partir de l'absorption différentielle mesurée 6,5 ps après excitation d'une solution d'auramine dans l'éthanol, avec une impulsion laser de 700 fs à 425 nm. Pour comparaison, le radical cation de la diméthylaniline présente un maximum vers 470 nm avec un coefficient d'extinction molaire de 4700 M⁻¹cm⁻¹.

Par ailleurs, nous avons observé que le processus qui conduit à la repopulation de l'état fondamental est moins sensible à l'augmentation de viscosité que le processus de torsion intramoléculaire de l'état excité, ce qui confirme l'existence d'une étape intermédiaire dans la relaxation. L'effet de viscosité sur cette dernière montre qu'elle met également en jeu un mouvement de grande amplitude et le fait d'observer des cinétiques exponentielles identiques pour la relaxation de l'état transitoire tordu et la repopulation de l'état fondamental nous a amenés à postuler un chemin réactionnel pour l'étape intermédiaire. Celui-ci mettrait en jeu la rotation d'une deuxième sous-unité diméthylaniline à l'état excité et conduirait, après franchissement d'une petite barrière d'activation, à une intersection conique (un entonnoir) entre les surfaces de potentiel de l'état excité et de l'état fondamental définies par les coordonnées de torsion de deux

noyaux phényles. La cinétique de cette deuxième étape activée serait l'étape accessible par l'expérience lors de la mesure de la repopulation de l'état fondamental [14].

Transfert de charge, isomérisation ou passage intersystème : des voies de relaxation imposées par le solvant et la structure moléculaire

Une famille de polyènes substitués, présentant une hyperpolarisabilité quadratique exceptionnellement élevée, a été conçue par l'équipe de M. Blanchard-Desce (ENS-Paris) [8]. Ces molécules (figure 7) sont dites « push-pull » parce qu'elles possèdent un substituant donneur d'électron (dibutylaniline) et un substituant accepteur d'électron (thio-barbiturique). La spectroscopie ultrarapide nous a permis de montrer que le chemin réactionnel photoinduit dans ces molécules dépend à la fois de la nature du solvant et de la longueur de la chaîne conjuguée qui sépare le donneur et l'accepteur. On se limitera ici à illustrer ce comportement, en montrant l'effet du solvant sur les voies de relaxation du composé avec une chaîne à 2 doubles liaisons ($n = 2$) dans sa conformation tout *trans*.

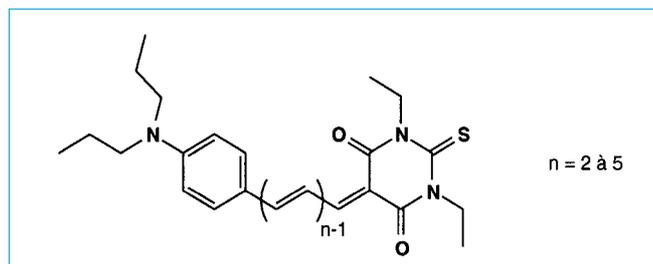


Figure 7 - Structure moléculaire des polyènes « push-pulls » étudiés, avec un substituant donneur d'électron (dibutylaniline, à gauche) et un substituant accepteur d'électron (thio-barbiturique, à droite), séparés par une chaîne conjuguée de longueur variable. Ces molécules ont été conçues pour leurs applications en optique non linéaire [8].

Dans le cyclohexane, un solvant non polaire, les spectres transitoires résolus en temps entre 2 ps et 1 ns (figure 8) révèlent un point isobestique ($\Delta D = \text{constante}$) à 516 nm, région où l'état fondamental absorbe. Cette observation met en évidence qu'au terme d'une durée de vie de 65 ps, l'état excité initial relaxe non pas vers l'état fondamental mais vers une nouvelle espèce. Une nanoseconde après excitation, on peut voir sur la figure une absorption résiduelle (ΔD positif) attribuable à cette nouvelle espèce, entre 560 et 600 nm, dans le bord rouge du spectre de l'état fondamental. Nous avons par ailleurs pu mesurer l'absorption à des temps très longs (voir 100 ns et 1 ms sur la figure 9) et montrer que cette espèce a une durée de vie de quelques centaines de millisecondes. On peut raisonnablement penser qu'il s'agit d'une forme *cis* instable obtenue par photoisomérisation d'une double liaison de la chaîne conjuguée initialement tout *trans* [15], puisque la photochimie stationnaire ne montre pas de forme stable autre que l'état fondamental. Lorsqu'on répète cette expérience dans le dioxane, dont la constante diélectrique est à peine plus grande que celle du cyclohexane mais qui est polaire à l'échelle moléculaire, le

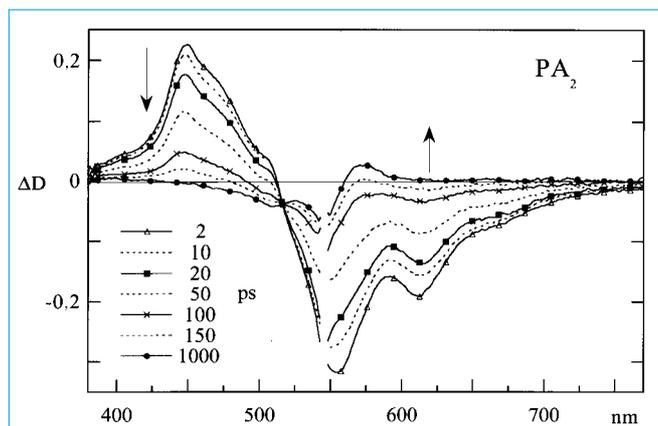


Figure 8 - Spectres d'absorption transitoire résolus en temps, mesurés pour le polyène « push pull » de la figure 7 avec une chaîne conjuguée comprenant 2 doubles liaisons ($n = 2$), en solution dans le cyclohexane. L'expérience est réalisée avec des impulsions excitatrices de 500 fs à 546 nm. Les flèches indiquent le sens de la variation du signal en fonction du temps.

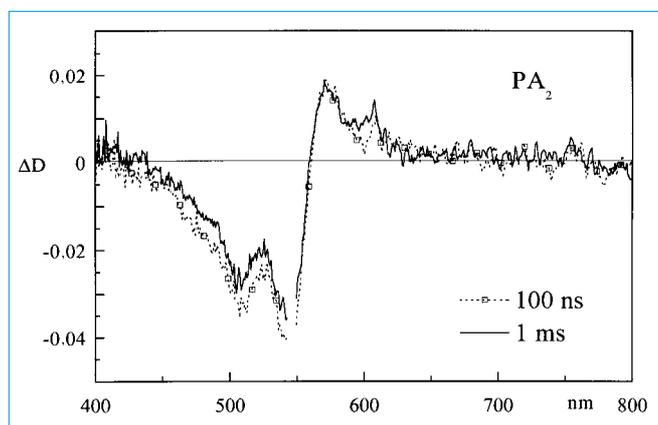


Figure 9 - Spectres d'absorption transitoire mesurés 100 ns et 1 ms après excitation de la solution étudiée dans la figure 8, en ajustant le retard entre les déclenchements de deux sources lasers femtosecondes synchronisées.

chemin de relaxation s'avère différent. On observe une apparition retardée de l'absorption différentielle avec un point isobestique, à 606 nm, dans la région spectrale où l'émission stimulée domine, indiquant la formation d'un état transitoire fluorescent en moins de 3 ps (figure 10). L'étude détaillée de cette réaction en milieu polaire et pour des longueurs de chaîne croissantes nous a permis de proposer un mécanisme photoinduit de rigidification de la structure moléculaire et d'augmentation du degré de conjugaison le long de la chaîne conduisant à une structure de type cyanine [16]. Son accélération dans des solvants de plus en plus polaires nous a conduit à suggérer que la réaction s'accompagne d'un transfert de charge du donneur vers l'accepteur. Dans le dioxane, l'état excité intermédiaire rigide à transfert de charge se désactive en 500 ps (figure 10), et le déclin des spectres d'absorption différentielle à l'échelle des subnanosecondes montre un autre point isobestique vers 520 nm, comme dans le cyclohexane. L'étude à l'échelle des temps très longs montre la formation d'une espèce fondamentale instable attribuée là aussi raisonnablement à un photoisomère. Pour les chaînes plus longues, le chemin réactionnel conduit directement, ou via l'état de transfert de charge, selon la nature du solvant, à une espèce facilement attribuable à l'état triplet par sa forte sensibilité à la présence d'oxygène dans la solution [15].

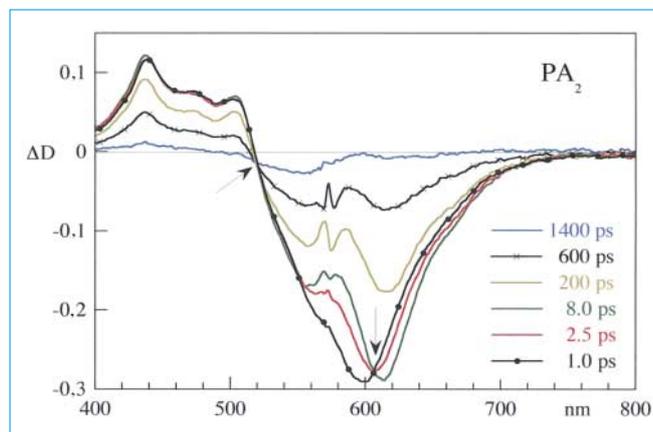


Figure 10 - Spectres d'absorption transitoire résolus en temps, mesurés pour le polyène « push pull » de la figure 7 avec une chaîne conjuguée comprenant 2 doubles liaisons ($n = 2$), en solution dans le dioxane. L'expérience est réalisée avec des impulsions excitatrices de 500 fs à 573 nm. Les flèches indiquent les points isobestiques observés aux temps courts (606 nm) d'une part et aux temps longs (520 nm) d'autre part.

Conclusion

Les recherches fondamentales décrites ici montrent la variété de réponses moléculaires que l'on peut induire par une impulsion optique ultracourte dans les matériaux organiques en solution. Le chemin réactionnel emprunté spontanément dès l'absorption d'un photon est imposé par la nature chimique et la géométrie des molécules, leur interaction avec le solvant, leur capacité à se restructurer, à subir ou à résister à une redistribution électronique importante. L'examen détaillé des phénomènes aux temps très courts permet de dégager la coordonnée moléculaire déterminante pour la dissipation spontanée de l'énergie lumineuse absorbée, et de connaître l'efficacité de cet acte photochimique primaire. Ces recherches constituent un passage obligé vers la conception d'ensembles moléculaires photofonctionnels.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement, les professeurs Wolfgang Rettig (université Humboldt, Berlin), Max Glasbeek (université d'Amsterdam) et Casey Hynes (ENS Paris), les Dr Yves Meyer (Orsay) et Mireille Blanchard-Desce (ENS Paris-université de Rennes), ainsi que les visiteurs et étudiants qui ont participé à ces travaux, en particulier Martin Jurczok, doctorant à l'université Humboldt, et Walther Akeman, post-doctorant, chercheur associé au CNRS. Ils remercient le GDR 1017 et le Laboratoire de photophysique moléculaire du CNRS (UPR 3361, université d'Orsay) pour leur aide financière.

Références

- [1] Photochimie-94, *L'Actualité Chimique*, supplément au numéro 7, Groupe de Photochimie du Club EDF, Société Française de Chimie, **1994**.
- [2] Dougherty T.J., *Photochem. Photobiol.*, **1993**, 58, p. 895-900.
- [3] Prasanna de Silva A., Nimal Gunaratne H.Q., Gunnlaugsson T., Huxley A.J.M., McCoy C.P., Rademacher J.T., Rice T.E., *Chem. Rev.*, **1997**, 97, p. 1515-1566.

- [4] Chemla D.S., Zyss J., *Nonlinear Optical Properties of Organic Molecules and Crystals*, Academic Press, Inc., New York, **1987**.
- [5] Pittman M., Plaza P., Martin M.M., Meyer Y.H., *Optics Comm.*, **1998**, *158*, p. 201-212.
- [6] Wang P.F., Jullien L., Valeur B., Filhol J.-S., Lehn J.-M., *New J. Chem.*, **1996**, *20*, p. 895-907.
- [7] Müller S., Heinze J., *Chem. Phys.*, **1991**, *157*, p. 231.
- [8] Blanchard-Desce M., Alain V., Bedworth P., Marder S., Fort A., Runser C., Barzoukas M., Lebus S., Wortmann R., *Chem. Eur. J.*, **1997**, *3*, p. 1091-1104.
- [9] Horng M.L., Gardecki J.A., Papazyan A., Maroncelli M., *J. Phys. Chem.*, **1995**, *99*, p. 17311-17337.
- [10] Jurczok M., Plaza P., Martin M.M., Meyer Y.H., Rettig W., *Chem. Phys.*, **2000**, *253*, p. 339-349.
- [11] Jurczok M., Plaza P., Rettig W., Martin M.M., *Chem. Phys.*, **2000**, *256*, p. 137-148.
- [12] Changuenet P., Zhang H., van der Meer M.J., Glasbeek M., Plaza P., Martin M.M., *J. Phys. Chem. A*, **1998**, *102*, p. 6716-6721.
- [13] Changuenet P., Zhang H., van der Meer M.J., Glasbeek M., Plaza P., Martin M.M., *J. Fluor.*, **2000**, *10*, p. 155-160.
- [14] Jurczok M., Plaza P., Martin M.M., Rettig W., *J. Phys. Chem. A*, **1999**, *103*, p. 3372-3377.
- [15] Laage D., Plaza P., Blanchard-Desce M., Martin M.M., en préparation.
- [16] Plaza P., Laage D., Martin M.M., Alain V., Blanchard-Desce M., Thompson W.H., Hynes J.T., *J. Phys. Chem. A*, **2000**, *104*, p. 2396-2401.

La Société de Secours aux Ingénieurs Chimistes

Créée en 1937, la Société de Secours aux Ingénieurs Chimistes a pour but de venir en aide à des ingénieurs chimistes ou à leur famille dans le besoin. Elle peut attribuer un secours non remboursable ou un prêt sans intérêt jusqu'à 20 000 francs sur une période de deux à trois ans.

La présentation de la demande est faite de préférence par l'intermédiaire de l'association des anciens élèves de l'école de chimie de l'intéressé.

Conditions d'obtention d'un secours ou d'un prêt sans intérêt :

- être de nationalité française,
- avoir exercé pendant plusieurs années la profession d'ingénieur chimiste ou de chimiste,
- être privé d'emploi ou traverser une période difficile, souhaiter développer ou créer une activité nouvelle même en dehors de la chimie,
- ou être dans le besoin pour d'autres raisons.

Vous pouvez aider la Société de Secours :

- en la faisant connaître à des camarades en difficulté (les demandes sont étudiées avec la plus grande discrétion) ;
- en y adhérant. La cotisation annuelle minimale est de 150 francs (un reçu fiscal est envoyé).

Société de Secours aux Ingénieurs Chimistes, Maison de la Chimie, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris.
<http://www.sfc.fr/Services.htm>