Le supersilane, l'abstracteur d'atomes d'halogène privilégié en photochimie

Lilian GENILLER[1], **Florian JAROSCHIK**[2] **et Alexis PRIETO**[2]

[1] Université de Padoue (Italie).
[2] Institut Charles Gerhardt - UMR 5253, Pôle Chimie Balard Recherche, Montpellier.
✉ lilian.geniller@gmail.com ; florian.jaroschik@enscm.fr ; alexis.prieto@enscm.fr

Résumé La recherche de transformations plus économiques et respectueuses de l'environnement en chimie organique a récemment stimulé le développement de la photocatalyse sous lumière visible. Dans ce domaine de recherche en pleine expansion, les halogénures organiques, abondants et facilement disponibles, sont souvent utilisés comme précurseurs de radicaux. Pour générer les radicaux organiques correspondants dans des conditions réactionnelles douces, les processus de transfert d'atome d'halogène (XAT) jouent un rôle important et nécessitent des agents XAT appropriés. Le supersilane est largement employé comme agent XAT efficace sous activation par la lumière visible, permettant une large gamme de réactions de formation de liaisons C–C. Cet article met en lumière de nouvelles applications du supersilane à travers trois exemples concernant la chimie métallaphotoredox, les hydrohalogénations et les réactions de trifluoropropanation sous conditions catalytiques.

Mots-clés **Photochimie, radicaux, transfert d'atome d'halogène, silanes, lumière, catalyse.**

Abstract **Supersilane, the preferred halogen atom abstractor in photochemistry**
The quest for more economic and environmentally friendly transformations in organic chemistry has recently fuelled the development of visible-light photocatalysis. In this rapidly growing research field, abundant and readily available organic halides are often used as radical precursors. For generating the corresponding organic radicals under mild reaction conditions, halogen atom transfer (XAT) processes play an important role and suitable XAT agents are required. Supersilane has been widely employed as an efficient XAT agent under visible light activation enabling a large array of C–C bond formation reactions. In this short review, new applications of supersilane will be highlighted via three examples concerning metallaphotoredox chemistry, hydrohalogenations and trifluoropropanation reactions under catalytic conditions.

Keywords **Photochemistry, radicals, halogen atom transfer, silanes, light, catalysis.**

https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2026.520.05

La photochimie, une révolution douce pour une chimie organique durable

La chimie organique, discipline dédiée à l'étude et à la transformation des molécules à base de carbone, a grandement marqué notre monde contemporain. Elle est à l'origine de nombreuses innovations utilisées au quotidien dans nos sociétés comme les médicaments, les arômes alimentaires et les parfums ainsi que les matériaux polymères. Pourtant, elle doit aujourd'hui relever des défis majeurs, tels que réduire son empreinte environnementale, développer des procédés plus directs et sélectifs en vue d'optimiser l'efficacité des synthèses. C'est dans ce contexte que la photochimie et la photocatalyse ont émergé comme des stratégies prometteuses apportant des solutions tangibles aux problématiques précédemment évoquées. En effet, ces approches exploitent l'énergie lumineuse, une ressource abondante et renouvelable, et permettent de réaliser la synthèse de molécules organiques en conditions douces. Ces conditions réactionnelles permettent notamment d'isoler des molécules complexes difficilement accessibles *via* les voies de synthèse traditionnelles (*figure 1*). L'autre atout majeur de la photochimie réside dans sa capacité à activer des composés stables et souvent inertes en chimie thermique, tels que les acides carboxyliques, les alcools, et à les convertir en intermédiaires réactionnels hautement réactifs appelés espèces radicalaires. Quatre grands mécanismes permettent la génération de radicaux : les transferts d'atome d'halogène (XAT) [1], les transferts d'atome d'hydrogène (HAT) [2], les transferts monoélectroniques (SET) [3] et les transferts d'énergies (EnT) [4] (*figure 1*). Dans ce cadre-là, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'étude et à la mise en place de nouveaux protocoles photoinduits permettant la valorisation d'halogénures d'alkyles (R–X) par transferts d'atome d'halogène (XAT).

XAT, l'outil clé pour activer les halogénures organiques sous activation lumineuse

Les halogénures organiques sont des composés importants en chimie organique, utilisés dans des nombreuses transformations synthétiques comme produits de départ. Sous conditions photochimiques, ils peuvent être activés de plusieurs manières afin de générer les radicaux carbonés correspondants. L'activation des halogénures organiques pour la formation d'espèces radicalaires peut se faire soit par transfert monoélectronique (SET), soit par transfert d'atome d'halogène (XAT). Cependant, les processus SET, régis par les potentiels redox des molécules, sont difficiles à mettre en œuvre avec les halogénures organiques. En effet, ces composés, difficilement réductibles, ne sont pas de bons candidats dans les processus

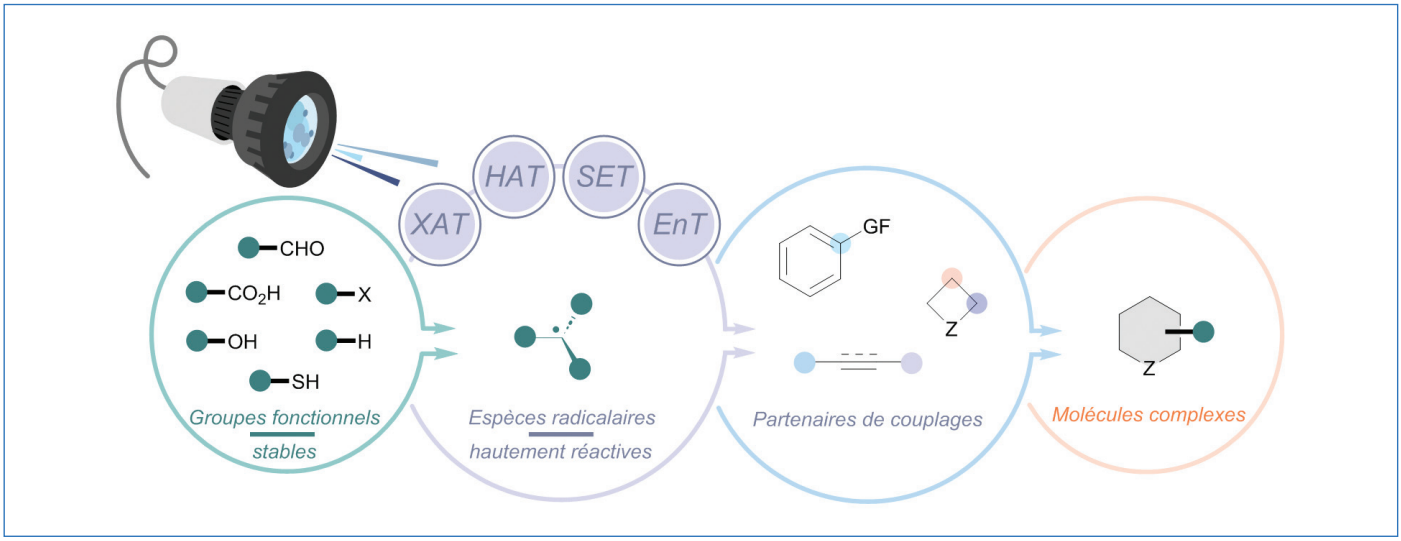


Figure 1 - Vue schématique des processus photo-induits.

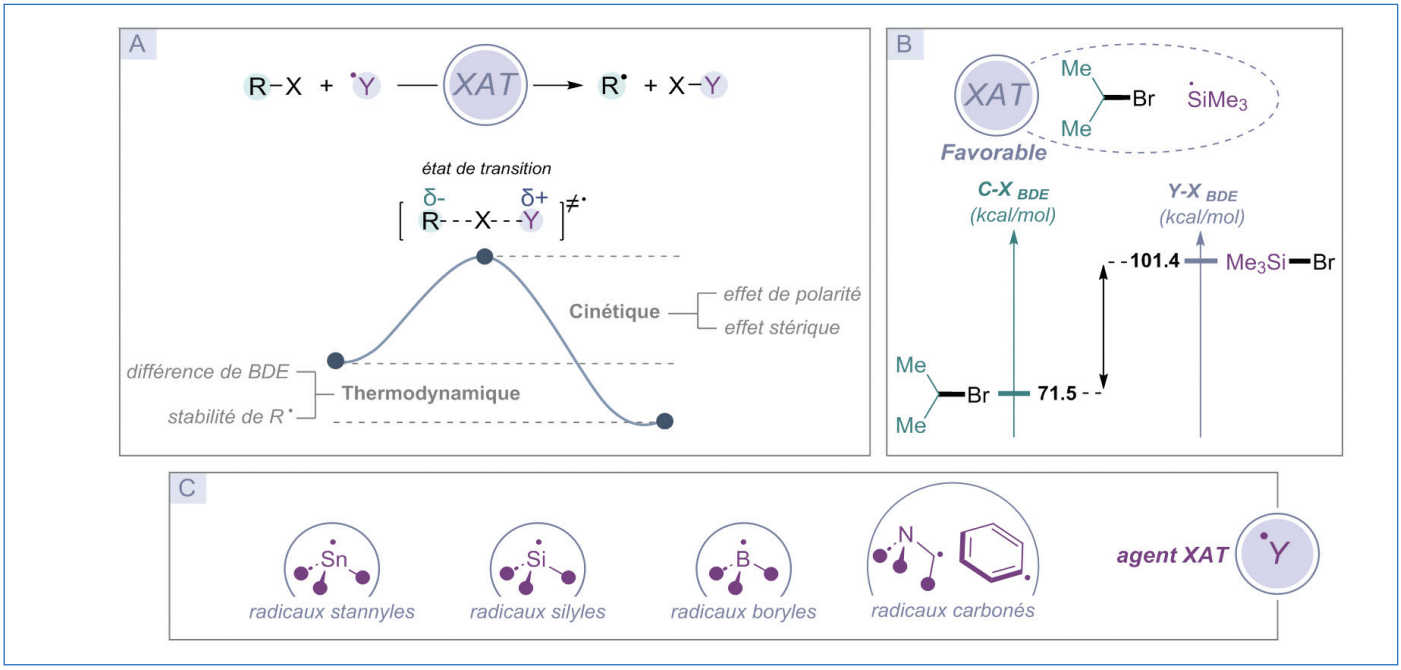


Figure 2 - Vue d'ensemble des transferts d'atomes d'halogène (XAT).

Glossaire

4CzIPN : 1,2,3,5-tetrakis(carbazol-9-yl)-4,6-dicyanobenzène
BDE : énergie de dissociation de liaison (« *bond dissociation energy* »)
BTP : 2-bromo-3,3,3-trifluoro-1-propène
DBE : dibromoéthane
EnT : transfert d'énergie (« *energy transfer* »)
HAT : transfert d'atome d'hydrogène (« *hydrogen atom transfer* »)
SET : transfert monoélectronique (« *single electron transfer* »)
TTMSS : supersilane, tris(triméthylsilyl)silane
XAT : transfert d'atome d'halogène (« *halogen atom transfer* »)

de type SET. Les XAT, quant à eux, sont gouvernés par les énergies de dissociation de liaison (BDE), faisant de ces derniers un mode d'activation privilégiée pour la génération de radicaux carbonés à partir d'halogénures organiques. D'un point de vue mécanistique, ces réactions de substitution homolytique bimoléculaire (S_H2) permettent la génération d'un radical R$^\bullet$ *via* la rupture homolytique d'une liaison R–X (halogénures organiques) par l'emploi d'une espèce radicalaire Y$^\bullet$, communément appelée promoteur de XAT ou agent XAT (*figure 2A*). Ces processus présentent un profil énergétique simple en une étape avec un état de transition d'arrangement colinéaire des groupes d'attaque Y et de départ R. Plusieurs aspects cinétiques et thermodynamiques vont impacter la sélectivité et la faisabilité de ces processus radicalaires.

Aspects cinétiques

Les aspects cinétiques dépendent principalement d'effets stériques et de polarité. En effet, les positions peu accessibles ($C_{encombré}$–X) peuvent se voir défavorisées vis-à-vis de positions spatialement moins contraintes ($C_{accessible}$–X). La polarité des espèces engagées dans les XAT a également une influence considérable, car elle permet ou non la stabilisation de l'état de transition. En effet, lors de l'alignement colinéaire dû à l'attaque de Y$^\bullet$ et au départ de R$^\bullet$ autour de l'atome transféré, des charges partielles se forment. Ainsi, les XAT sont favorisés lorsque le groupement R permet la stabilisation d'une charge négative et que le groupement Y stabilise une charge

positive. De ce fait, les XAT sont très rapides lorsque les agent XAT ($Y^{\bullet}$) ont un caractère nucléophile et les halogénures organiques ont un caractère électrophile (portant des groupements électroattracteurs (GEA), exemple GEA–R–X) (*figure 2A*). À l'inverse, les XAT sont défavorisés lorsque les halogénures organiques utilisés présentent un caractère nucléophile (portant des groupements électrodonneurs (GED), exemple GED–R–X).

Aspects thermodynamiques

La thermodynamique des XAT est régie par des effets enthalpiques : afin que ces transferts soient exergoniques, la liaison formée X–Y doit être plus forte que la liaison rompue C–X, se traduisant par la simple inégalité $BDE_{X-Y} > BDE_{C-X}$ (*figure 2B*). La stabilité du radical formé $R^{\bullet}$ est également importante d'un point de vue thermodynamique.

XAT à base de supersilane en photocatalyse

La nature de l'agent XAT est cruciale dans les réactions de synthèse organique, car elle impacte fortement ses paramètres cinétiques et thermodynamiques, et donc sa réactivité. Au fil du temps, certaines espèces se sont imposées comme d'excellents candidats pour ces réactions de transfert, notamment les radicaux stannyles et silyles. Plus récemment, les radicaux boryles et carbonés, tels que les radicaux α-aminés ou aryles, ont également émergé comme des acteurs majeurs, malgré une réactivité plus limitée (*figure 2C*). Le mode d'activation de ces promoteurs joue également un rôle important dans la conception des transformations organiques et a évolué au fil des disciplines et des avancées technologiques. Historiquement, les premiers exemples ont été rapportés avec les radicaux stannyles, utilisés dans des conditions thermiques ou sous irradiation UV pour des réactions de déshalogénation ou d'addition sur des composés insaturés. Cependant, en raison de leur toxicité, ces radicaux stannyles ont progressivement cédé leur place aux radicaux silyles. Parmi eux, le supersilane (tris(triméthylsilyl)silane ou TTMSS, *figure 3A*) s'est distingué des autres espèces [5] et s'est montré particulièrement compatible avec les méthodologies photocatalysées. En effet, en plus d'être activable par transfert d'atome d'hydrogène (HAT, réaction analogue au XAT), conventionnellement utilisé dans des conditions thermiques, son potentiel redox lui permet également d'être activé par oxydation monoélectronique (SET_{ox}) à l'aide d'un photocatalyseur (*figure 3B*).

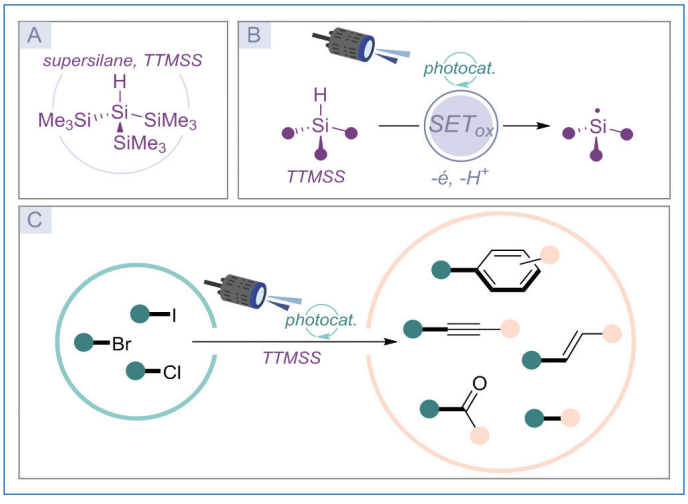


Figure 3 - Le supersilane en photocatalyse.

Ces propriétés ont élargi le champ d'application des XAT, permettant la mise en place de conditions réactionnelles plus douces et mieux contrôlées, dans lesquelles de nombreux halogénures ont été valorisés au sein de transformations plus complexes.
Des modifications structurelles récentes du supersilane ont même permis de développer des agents XAT aux propriétés plus spécifiques, comme le supersilanol, présentant un caractère hydrure moins prononcé, ou encore l'aminosupersilane, permettant l'utilisation d'halogénures beaucoup moins activés tels que les chlorures d'alkyle.
Le supersilane représente donc un outil de choix pour la valorisation des halogénures organiques et leur emploi pour la synthèse de molécules complexes par formation de nouvelles liaisons carbone–carbone, notamment dans des transformations photocatalytiques (*figure 3C*) [1]. C'est pour ces raisons qu'il se trouve au cœur des stratégies réactionnelles récemment développées.

XAT et métallaphotoredox pour un couplage croisé désulfurisant

L'association de la catalyse organométallique et de la photocatalyse a conduit au développement d'un outil particulièrement puissant, la métallaphotoredox. Cette stratégie repose sur l'utilisation de la lumière visible pour générer des radicaux, lesquels sont directement engagés dans des réactions de couplage métallo-catalysé avec divers partenaires [6]. Parmi les métaux disponibles, le nickel a été retenu, car il était celui pour lequel les connaissances mécanistiques étaient les plus approfondies au moment du développement de ces travaux. De plus, contrairement à de nombreux précurseurs radicalaires abondants ou commercialement accessibles – tels que les acides carboxyliques, les alcools, les alcanes, les amines ou encore les halogénures organiques –, les thiols n'avaient jusqu'alors jamais été exploités dans ce contexte (*figure 4*). L'objectif de ces travaux a donc été d'intégrer les dérivés thiolés, très présents dans la nature, notamment dans l'acide aminé cystéine, en tant que précurseurs de radicaux dans des réactions de couplage métallaphotocatalysées. Le défi consistait à générer efficacement un radical carboné à partir d'un dérivé soufré, puis à l'insérer dans un cycle catalytique au nickel compatible avec la catalyse photoredox.

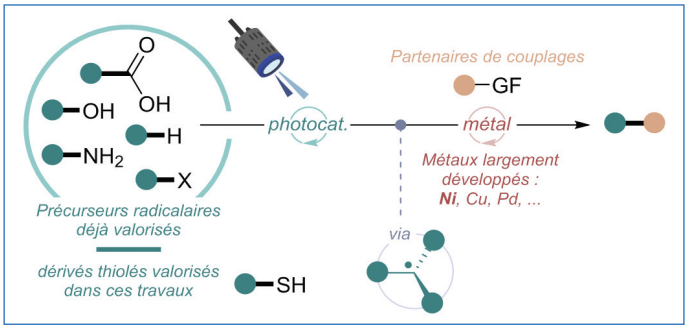


Figure 4 - Aperçu général de la métallaphotoredox.

Plusieurs stratégies permettent, sous irradiation lumineuse, d'obtenir des radicaux carbonés par désulfurisation de dérivés thiolés [7]. Les méthodes les plus courantes reposent sur l'utilisation de thioéthers redox-actifs ou de sels de sulfonium. Cependant, ces systèmes sont généralement activés par réduction monoélectronique (SET_{red}). Or, dans une approche de double catalyse photoredox/nickel, le bon fonctionnement

du cycle catalytique impose une activation oxydante (SET_{ox}) du dérivé soufré, nécessaire pour permettre par la suite la régénération de l'espèce catalytique Ni(0). Cette incompatibilité redox rend ces stratégies difficilement transposables à notre système (*figure 5A*).

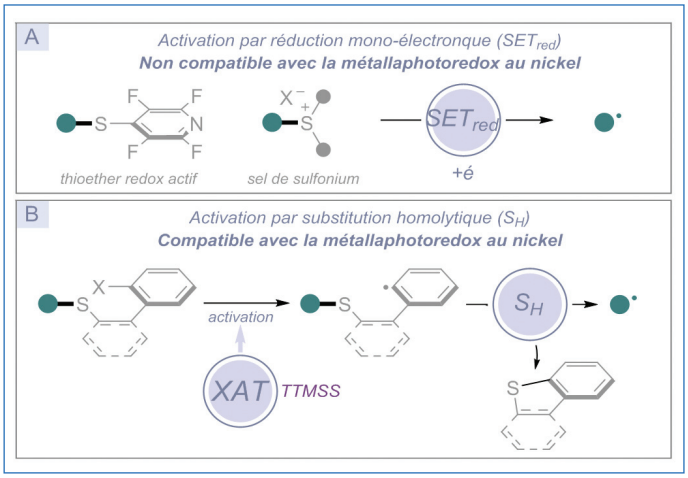


Figure 5 - Processus de désulfurisation radicalaire photo-médiés.

Une autre alternative consiste à employer des thioéthers spécifiquement conçus pour subir, après une première activation radicalaire, un réarrangement intramoléculaire par substitution homolytique (S_H), conduisant au radical carboné escompté (*figure 5B*). Dans le cadre de ces travaux, l'activation retenue repose sur un XAT médié par l'espèce radicalaire issue du supersilane, elle-même générée par SET_{ox}. Cette voie d'activation s'avère compatible avec la stratégie de catalyse au nickel et permet d'inscrire efficacement la désulfurisation dans un cycle métallaphotoredox cohérent.

Après optimisation, les meilleures conditions réactionnelles ainsi que la structure optimale du thioéther ont été déterminées. L'ensemble du processus se déroule à température ambiante, sous lumière bleue, en présence d'un photocatalyseur organique (4CzIPN), d'une base (pyridine) et de faibles quantités de nickel et de ligand (*figure 6*) [8]. La méthodologie développée permet d'accéder à une large gamme de diarylméthanes dissymétriques avec une excellente tolérance vis-à-vis de nombreux groupements fonctionnels. Bien que l'utilisation de dérivés soufrés aliphatiques ne se soit pas avérée efficace, l'engagement direct de structures complexes dans la réaction, telles que des dérivés de stéroïdes (estrone), de sucres (D-glucose), d'acides aminés (L-valine) ou de principes actifs (fluoxétine : la substance active contenue dans le Prozac®), témoigne de la robustesse du protocole et permet d'envisager son application à des fonctionnalisations tardives en fin de synthèse.

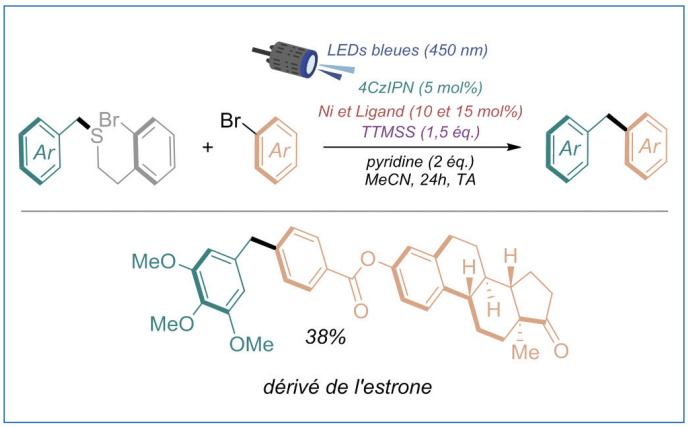


Figure 6 - Couplage désulfurisant en double catalyse photoredox/nickel.

XAT inconventionnel : formation de radicaux halogénés pour l'hydrohalogénation d'alcènes et d'alcynes

La très grande majorité des transformations à base de XAT vise à créer un radical carboné transitoire structurellement stable (qui ne se réarrange pas) pouvant ensuite réagir avec des récepteurs de radicaux. En revanche, dans cette partie, il sera démontré que l'utilisation d'un dihalogénure d'éthane, tel que le dibromoéthane (DBE), permet d'accéder, après XAT, à des radicaux carbonés structurellement instables, qui subissent une β-élimination d'un radical d'halogène et conduisent à la formation d'éthylène gazeux, dont la libération constitue la force motrice du processus (*figure 7*).

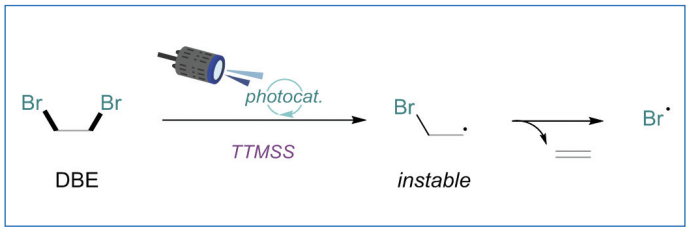


Figure 7 - Génération d'un radical bromé par XAT et élimination d'éthylène.

Cette réactivité a été exploitée dans l'hydrobromation et l'hydroiodation radicalaire de nombreux alcènes et alcynes [9]. Contrairement aux méthodes traditionnelles d'hydrohalogénation radicalaire, qui utilisent des halogénures d'hydrogène en combinaison avec des initiateurs de radicaux, cette nouvelle approche évite les acides forts qui peuvent diminuer la régiosélectivité et être incompatibles avec certains groupements fonctionnels [10]. La réaction du DBE sous lumière bleue, en présence de TTMSS et de divers alcènes, a fourni, après 18 h à température ambiante, une large gamme de produits bromés avec d'excellentes régiosélectivités « anti-Markovnikov ». Pour les alcènes du type accepteur de Michael, de nombreux groupements fonctionnels sont compatibles, comme montré dans l'exemple d'un dipeptide sur la *figure 8*.

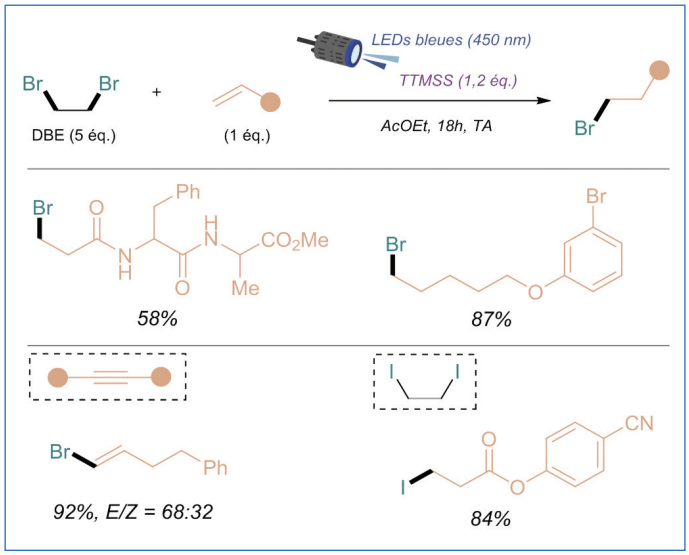


Figure 8 - Hydrohalogénation radicalaire d'alcènes et d'alcynes.

Dans le cas d'alcènes non activés, l'ajout d'un photocatalyseur ou l'utilisation de DBE comme solvant a été nécessaire pour obtenir les produits avec de bons rendements. Les réactions conditionnelles ont également été appliquées avec succès aux alcynes terminaux et internes, menant dans la plupart des cas à des mélanges E/Z des alcènes bromés (*figure 8*). Enfin, changer le DBE pour le diiodoéthane (DIE) a fourni plusieurs produits monoiodés avec de bons rendements et toujours une excellente régiosélectivité (*figure 8*). Sous les conditions établies, l'utilisation de précurseurs halogénés, tels que le 1-bromo-2-chloroéthane ou l'hexachloroéthane, pour former un radical chloré, n'a pas encore permis de réaliser des réactions d'hydrochloration.

XAT avec un système catalytique supersilane/$NaBH_4$ pour la trifluoropropanation formelle d'halogénures organiques

Les procédés synthétiques impliquant un XAT sous lumière visible permettent d'accéder à une large gamme de molécules organiques sous conditions douces. Néanmoins, un désavantage majeur réside dans l'utilisation (super-)stœchiométrique d'un agent XAT, ce qui augmente les coûts et peut causer des problèmes de purification. Il est par conséquent désirable de développer des procédés catalytiques en agent XAT, ce qui est possible, dans certains cas, par l'ajout d'un réducteur sacrificiel peu coûteux, qui n'intervient pas dans la réaction radicalaire. Un rare exemple d'un système catalytique TTMSS/$NaBH_4$ a été décrit en 1989 [11], qui a servi d'inspiration pour développer la trifluoropropanation formelle de divers halogénures organiques décrite ci-dessous. Dans ce processus, le TTMSS aura deux rôles (*figure 9*) : dans un premier temps, le TTMSS$^\bullet$ radical (formation : voir *figure 3B* p. 30) réalise un XAT pour générer une espèce radicalaire, ce qui conduit simultanément à la formation du TTMSS–X. Ce dernier est ensuite réduit par du $NaBH_4$ pour rétablir le silane TTMSS–H, qui peut maintenant servir comme donneur d'hydrogène dans des processus de HAT pour terminer une réaction radicalaire et régénérer un nouveau TTMSS$^\bullet$ radical. Ainsi, une quantité catalytique de TTMSS est suffisante et les sous-produits sont facilement séparables.

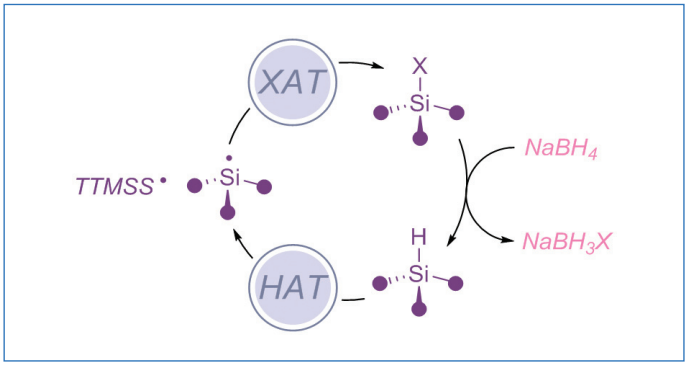


Figure 9 - Processus impliqués dans le système catalytique TTMSS/$NaBH_4$.

Des composés organiques incorporant un ou plusieurs atomes de fluor sont très recherchés, notamment en chimie médicinale et en sciences des matériaux, car les atomes de fluor peuvent modifier de manière significative certains paramètres chimiques, physiques ou biologiques, tels que la réactivité, la solubilité ou la lipophilie [12]. Parmi les fonctions fluorées disponibles, le groupement trifluorométhyle (–CF_3) se distingue par son intégration dans de nombreux principes actifs commerciaux tels que la fluoxétine et l'alpélisib. Cela a suscité un intérêt croissant pour le développement de méthodologies permettant son incorporation, en particulier par voie photochimique [13]. Pour ce faire, un large panel de sources de groupement –CF_3 amplement développé (réactif d'Umemoto, Ruppert-Prakash, Langlois…) avait déjà été utilisé pour obtenir des fonctions trifluorométhyles. Notre stratégie novatrice a visé l'introduction d'un motif trifluoropropane (–CH_2–CH_2–CF_3) sur des halogénures organiques à partir d'un produit peu onéreux, largement disponible dans le commerce et facile à manipuler au laboratoire : le 2-bromo-3,3,3-trifluoro-1-propène (BTP) (*figure 10*) [14]. Celui-ci sert d'accepteur de radicaux carbonés, formés par XAT à partir du supersilane activé et de l'halogénure organique. Cette étape conduit à la génération d'une nouvelle espèce radicalaire intermédiaire, qui est ensuite impliquée dans un HAT avec le supersilane, formant ainsi un intermédiaire bromé et régénérant l'agent XAT. Un deuxième enchaînement de XAT-HAT successif permet finalement la réduction de cet intermédiaire, conduisant au produit final souhaité. Cette procédure est compatible avec des halogénures d'alkyle primaires et secondaires, ainsi qu'avec des iodures d'aryles et de nombreux groupements fonctionnels. Pour quelques rares substrats portant des insaturations (alcènes, alcynes), le système catalytique ne s'est pas avéré adéquat, mais les produits trifluoropropanes ont été obtenus en utilisant des quantités stœchiométriques de TTMSS. Enfin, en remplaçant le $NaBH_4$ dans le système catalytique par du $NaBD_4$, il a été possible d'obtenir une série de composés bis-deutérés avec de très bons taux d'incorporation de deutérium. Ceci est un exemple rare d'une double deutération alpha d'un groupement –CF_3, qui en même temps confirme la proposition mécanistique de la réaction.

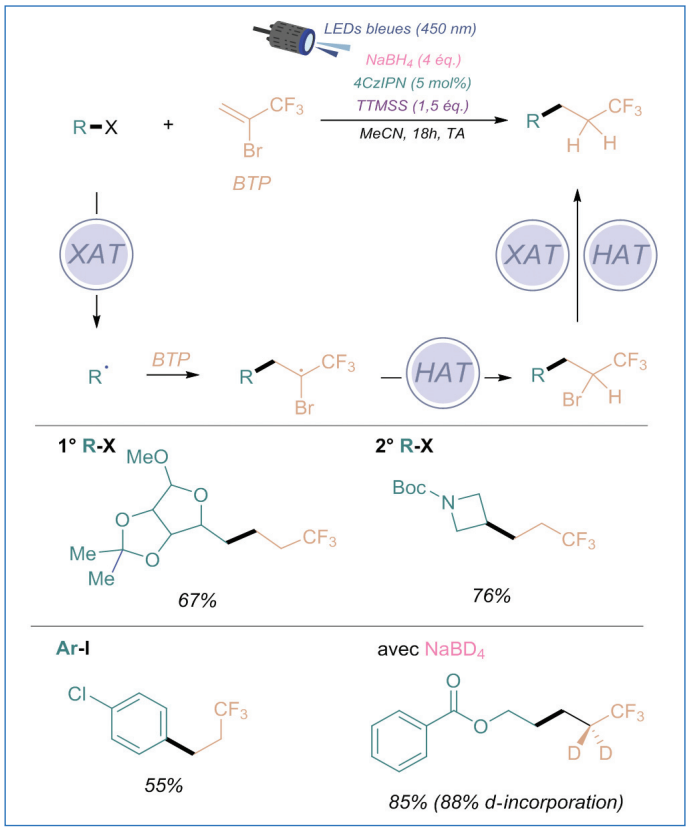


Figure 10 - Trifluoropropanation formelle de divers halogénures organiques. *d*-incorporation : incorporation du deutérium dans la molécule.

Perspectives

Les trois exemples d'utilisation du supersilane dans des XAT sous lumière bleue illustrent des nouvelles applications en termes de substrats de départ, de sélectivité, de nouvelles fonctionnalités et d'efficacité. Ils ouvrent un large champ à la diversification et à l'exploration de l'espace chimique, dans un souci de rendre les procédés plus économes et d'utiliser des produits facilement accessibles, notamment biosourcés.

[1] F. Juliá, T. Constantin, D. Leonori, Applications of halogen-atom transfer (XAT) for the generation of carbon radicals in synthetic photochemistry and photocatalysis, *Chem. Rev.*, **2022**, *122*, p. 2292-352, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00558

[2] L. Capaldo, D. Ravelli, M. Fagnoni, Direct photocatalyzed hydrogen atom transfer (HAT) for aliphatic C–H bonds elaboration, *Chem. Rev.*, **2022**, *122*, p. 1875-924, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00263

[3] M. H. Shaw, J. Twilton, D. W. C. MacMillan, Photoredox catalysis in organic chemistry, *J. Org. Chem.*, **2016**, *81*, p. 6898-926, https://doi.org/10.1021/acs.joc.6b01449

[4] S. Dutta, J. E. Erchinger, F. Strieth-Kalthoff, R. Kleinmans, F. Glorius, Energy transfer photocatalysis: exciting modes of reactivity, *Chem. Soc. Rev.*, **2024**, *53*, p. 1068-89, https://doi.org/10.1039/d3cs00190c

[5] C. Chatgilialoglu, C. Ferreri, Y. Landais, V. I. Timokhin, Thirty years of $(TMS)_3SiH$: a milestone in radical-based synthetic chemistry, *Chem. Rev.*, **2018**, *118*, p. 6516-72, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00109

[6] J. Twilton *et al.*, The merger of transition metal and photocatalysis, *Nat. Rev. Chem.*, **2017**, *1*, 0052, https://doi.org/10.1038/s41570-017-0052

[7] L. Geniller, M. Taillefer, F. Jaroschik, A. Prieto, Photo-induced desulfurative processes for carbon radical generation, *ChemCatChem* **2023**, *15*, e202300808, https://doi.org/10.1002/cctc.202300808

[8] L. Geniller, M. Taillefer, F. Jaroschik, A. Prieto, Nickel metallaphotoredox catalysis enabling desulfurative cross coupling reactions, *Adv. Synth. Catal.*, **2022**, *364*, p. 4249-54, https://doi.org/10.1002/adsc.202201152

[9] L. Geniller, M. Taillefer, F. Jaroschik, A. Prieto, Photo-induced halogen-atom transfer: generation of halide radicals for selective hydrohalogenation reactions, *Chem. Eur. J.*, **2022**, *28*, e202201495, https://doi.org/10.1002/chem.202201495

[10] M. Galli, C. J. Fletcher, M. del Pozo, S. M. Goldup, Scalable anti-Markovnikov hydrobromination of aliphatic and aromatic olefins, *Org. Biomol. Chem.*, **2016**, *14*, p. 5622-6, https://doi.org/10.1039/C6OB00692B

[11] M. Lesage, C. Chatgilialoglu, D. Griller, Tris(trimethylsilyl)silane: a catalyst for radical mediated reduction reactions, *Tetrahedron Lett.*, **1989**, *30*, p. 2733-4, https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)99111-1

[12] D. O'Hagan, Understanding organofluorine chemistry. An introduction to the C–F bond, *Chem. Soc. Rev.*, **2008**, *37*, p. 308-19, https://doi.org/10.1039/b711844a

[13] X. Pan, H. Xia, J. Wu, Recent advances in photoinduced trifluoromethylation and difluoroalkylation, *Org. Chem. Front.*, **2016**, *3*, p. 1163-85, https://doi.org/10.1039/c6qo00153j

[14] L. Geniller, M. Taillefer, F. Jaroschik, A. Prieto, Photo-induced formal trifluoropropanation of organic halides, *ACS Catal.*, **2023**, *13*, p. 8624-30, https://doi.org/10.1021/acscatal.3c02087

Actuellement postdoctorant dans l'équipe du Pr. Luca Dell'Amico à l'Université de Padoue (Italie), **Lilian GENILLER** a obtenu son doctorat à l'Université de Montpellier en 2024 et il a reçu le ***Prix de thèse Dina Surdin 2025 de la division Chimie Organique (DCO) de la Société Chimique de France***.



Chimie et...Étymologie

D'après les chroniques de Pierre Avenas !

Après *La Prodigieuse histoire du nom des éléments*, voici

La Foisonnante histoire du nom des molécules

Cet ouvrage richement illustré révèle l'étymologie des noms des molécules, qui deviennent ainsi le point de départ d'un périple bien au-delà de la chimie, nous entraînant vers la botanique, la zoologie, l'histoire, la mythologie, la médecine, la biologie, les techniques ou encore l'industrie…



22 € - 270 pages

Existe en format ebook

www.laboutique.edpsciences.fr