

Rédigé le 16 juin 2026

4 minutes de lecture

Actualités

Recherche fondamentale

Cinétique de la catalyse et des réactions

Analyse chimique

Transformer le CO_2 en énergie propre est un enjeu-clé à la fois pour le climat et la transition énergétique, et le recours à la voie photocatalytique nécessite de comprendre les mécanismes en jeu à très petite échelle. Grâce à une collaboration étroite entre IFPEN et le Synchrotron SOLEIL dans le cadre d'un travail de thèse[1], une cellule *operando* inédite permet désormais de sonder, à l'échelle atomique, le comportement des catalyseurs sous l'effet de la lumière. Une

avancée majeure pour accélérer le potentiel développement d'un procédé industriel.

Le défi : lever les verrous de la photosynthèse artificielle

La conversion photocatalytique du CO_2, qui utilise **l'énergie solaire** (**une ressource 400 fois supérieure à la demande mondiale**), est l'un des grands défis du siècle. Cependant, **son efficacité reste trop faible** pour une exploitation industrielle en raison de phénomènes complexes comme la désactivation des matériaux catalytiques ou la recombinaison des charges électroniques [1]. Jusqu'à présent, l'absence d'outils permettant d'observer le catalyseur en action — c'est-à-dire en conditions *operando* — empêchait d'identifier précisément les causes de ces blocages.

Une synergie d'expertises techniques

La mise en place d'**une nouvelle cellule d'analyse** a fait l'objet d'un partenariat technique étroit entre les équipes des deux organismes. La conception du dispositif s'est directement inspirée des réacteurs photocatalytiques déjà utilisés dans les laboratoires d'IFPEN. Cette base a ensuite été adaptée et optimisée par les équipes du synchrotron^2 pour répondre aux contraintes spécifiques de **la ligne de lumière ROCK** de SOLEIL, permettant ainsi un couplage inédit entre **la photocatalyse en phase gaz** et **l'analyse par rayons X** [2].

Une validation croisée entre laboratoire et synchrotron

La fiabilité de ce nouvel outil a été démontrée grâce à une démarche de validation rigoureuse impliquant les deux partenaires :

- **Performance catalytique** : Les résultats obtenus au synchrotron ont été comparés et validés par rapport à ceux obtenus sur l'unité de test située sur le site d'IFPEN, garantissant ainsi que le rayonnement X n'altère pas le comportement du catalyseur.
- **Précision analytique** : Les mesures de spectroscopie d'absorption des rayons X (XAS) effectuées dans la cellule ont été confirmées par des analyses ex situ réalisées en capillaires, assurant une qualité de signal optimale malgré les contraintes du dispositif *operando*.

Percer les secrets de l'origine et de l'évolution de l'activité photocatalytique

Le nouvel équipement a été mis en œuvre pour l'étude de **photocatalyseurs à base d'oxysulfures de molybdène (MoO_xS_y) supportés sur TiO_2**. Le couplage de la technique XAS de pointe avec **une approche de modulation d'excitation sous illumination transitoire** a permis d'identifier la nature de la phase active (**nano-clusters de MoO_xS_y**) et de comprendre l'évolution de son site actif au cours de la réaction de photoréduction du CO_2.[3]. Un tel résultat constitue une première pour la réaction considérée en phase gazeuse.

Un outil partagé pour l'avenir

Ce dispositif innovant et polyvalent, désormais disponible sur la ligne ROCK du Synchrotron SOLEIL, peut être adapté à d'autres réactions et couplé à de nouvelles techniques d'analyse comme la spectroscopie Raman. Il offre ainsi à la communauté scientifique un outil de pointe, né de la collaboration entre recherche institutionnelle et grande infrastructure de recherche, pour concevoir les solutions de décarbonation de demain.

[1] Sébastien ROTH, ***Exploration par voies moléculaires de nanostructures de sulfure et oxysulfure de Mo supportées pour la réduction photocatalytique du CO_2***, Thèse de doctorat, ENS de Lyon, 2024.

[2] Avec le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre des projets ANR-22-EXLU-0003 et ANR-10-EQPX-45

Références :

[1] Roth, S., Bonduelle-Skrzypczak, A., Legens, C., Raybaud, P. ***Meeting the Industrial Challenges of CO_2 Photocatalytic Reduction: Moving From Molybdenum Disulfides to Oxysulfides Based Materials?*** ChemSusChem 2025, 18, e202400572.
>> DOI : https://doi.org/10.1002/cssc.202400572

[2] Roth, S., Bonduelle-Skrzypczak, A., Legens, C., Marin, J., Barthe, L., Beauvois, A., Briois, V., Raybaud, P. ***Operando photocatalytic cell for time-resolved XAS/GC analysis of gas phase CO_2 photoreduction***. J. Synchrotron Rad. (2026). 33, 123–12.
>> DOI : https://doi.org/10.1107/S1600577525008768

[3] Roth, S., Bonduelle-Skrzypczak, A., Legens, C., Marin, J., Beauvois, A., Briois, V., de Zwart, F. J., Mougel, V., Copéret, C., Raybaud, P. ***TiO_2-supported Mo oxysulfide nanostructures for the CO_2 photoreduction: active states from operando X-ray absorption spectroscopy*** (under reviewing)

Contacts scientifiques : Sébastien Roth, Audrey Bonduelle, Christèle Legens, Pascal Raybaud

Photoréduction du CO2 : IFPEN et le Synchrotron SOLEIL développent ensemble une cellule d'analyse spectroscopique operando
16 juin 2026

Lien vers la page web :