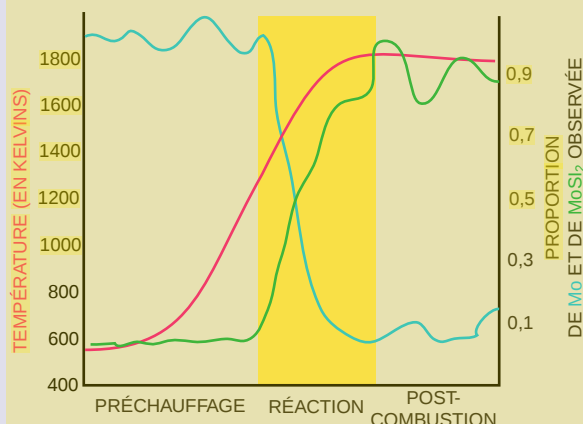


Synchrotron et combustion solide

La cinétique des réactions chimiques, les températures auxquelles elles se produisent, le «chemin» que la nature emprunte pour passer d'un état à un autre sont des données essentielles si l'on veut améliorer un procédé de synthèse de matériaux.

Dans le cas de la combustion solide, les analyses sont particulièrement ardues, car tout se passe très vite (l'ensemble des étapes de la figure se produit souvent en moins d'une seconde) et il est difficile d'arrêter la réaction : même une trempe dans l'eau ou dans l'azote liquide ne stabilise le matériau qu'en plus d'une seconde, et ce que l'on observe «à froid» diffère parfois considérablement de ce qui se passe vraiment «à chaud». Il faut donc se donner les moyens d'analyser la réaction pendant qu'elle se produit.

La diffraction des rayons X est un outil de choix pour ces analyses, car chaque famille de pics de diffraction est la signature de l'arrangement des atomes, qui, lui même, change au cours de la réaction. Quand on fait réagir du molybdène avec du silicium, par exemple, connaissant les familles de pics caractéristiques de chacun des réactifs et du produit, on voit à quelle vitesse disparaissent le molybdène et le silicium, et à quelle vitesse apparaît le disiliciure de molybdène (MoSi_2), qui est le produit visé. Mieux : on détecte des variations de températures, car si les pics de l'un des éléments disparaissent sans qu'aucun produit n'apparaisse, sa fusion a certainement lieu : quand il fond, l'arrangement atomique de l'élément est détruit et il semble alors disparaître. On voit même si, avec



La diffraction des rayons X couplée à la mesure des températures par caméra infrarouge révèle la transformation du molybdène (Mo) en siliciure de molybdène (MoSi_2). Ces techniques sont mises en œuvre à Dijon par Ch. Gras.

rapides que l'on doit effectuer 10 à 30 mesures par seconde pour établir une analyse fiable. Seules des sources de type synchrotron délivrent assez de photons X à cette cadence pour que l'analyse soit possible. Depuis 1993, le LURE, à Orsay, accueille des chercheurs des Universités de Nancy, Dijon, Belfort et Paris XIII, qui ont couplé cette technique à une mesure de température par caméra infrarouge. Ces études, qui portent essentiellement sur la fabrication de matériaux nanocristallins, ont d'ores et déjà fourni des résultats spectaculaires : non seulement, on préserve, lors de la réaction, la taille extrêmement réduite des grains de matière (40 à 80 nanomètres, ou milliardièmes de mètre), mais, de plus, le couplage des deux techniques révèle l'évolution de réactions chimiques avec une précision inégalée à de telles températures.

Dominique VREL,
Laboratoire CNRS d'Ingénierie des Matériaux et des Hautes Pressions,
Université Paris XIII.

moteurs d'avion. Les poudres sont d'abord comprimées sous forme de pastilles, généralement cylindriques. Pour certaines applications, la pastille tout entière est chauffée uniformément jusqu'à ce que la réaction se produise simultanément dans tout l'échantillon. Toutefois, dans la plupart des cas, l'échantillon n'est allumé qu'en un point, et la réaction se propage spontanément dans toute la pièce.

La synthèse par combustion est plus qu'une technique rapide et économique de fabrication des matériaux spéciaux. Les températures élevées et les temps de réaction très brefs réarrangent les atomes assez rapidement pour qu'ils forment des structures solides qui seraient normalement instables. On obtient ainsi des matériaux qui seraient inaccessibles, telles des céramiques truffées de microdiamants de synthèse, dont on fait des outils coupants : dans les fours classiques, le diamant se transforme en graphite, mais, au cours d'une combustion rapide, les cristaux de diamant conservent leur forme et leur dureté. La synthèse par combustion procure également des matériaux «à gradients de composition», aux propriétés sur mesure : on règle à volonté la structure microscopique du matériau, qui peut évoluer, par exemple, de celle d'un métal solide à une extrémité à celle d'une céramique réfractaire, à l'autre. Avec une variation progressive de la composition, les matériaux obtenus résistent mieux aux variations importantes de température et aux contraintes.

Scintillations et homogénéité

Les chimistes devront encore explorer beaucoup la synthèse par combustion avant que les ingénieurs utilisent régulièrement la méthode. Pour fabriquer des matériaux «à la carte», on devra comprendre les phénomènes qui engendrent la structure moléculaire du matériau, élucider les mécanismes élémentaires de chaque phase de la transformation des poudres. Les caractéristiques les plus intéressantes de la synthèse par combustion solide – un chauffage rapide, des températures élevées appliquées brièvement et des durées de réaction courtes – compliquent évidemment les analyses.

Aujourd'hui, les chimistes qui s'intéressent à ces problèmes commencent à reprendre et à adapter des idées provenant de divers domaines de la science