

GdR CNRS 'Incendie'
Table ronde des Journées de Juin 2010 au CSTB
Titre : La pyrolyse des matériaux dans un incendie

Transcription des interventions

Les intervenants ont été les suivants : Carlos Fernandez-Pellos (FP), University of Bekerley - Alexis Coppalle (AC), CORIA – Bernard Porterie (BP), IUSTI – Dominique Morvan (DM), Université de Marseille – Thomas Rogaume (TR), P-PRIME – Pascal Boulet (PB), LEMTA – Aurélien Thirry (AT), LCPP, Khaled Chetehouna (KC), PRISME.

La transcription est faite dans l'ordre chronologique des interventions, ce qui peut parfois faire apparaître des allers et retours sur certains sujets.

Cette table ronde a fait suite à la présentation de Carlos Fernandez-Pellos sur la modélisation de la pyrolyse avec un schéma à 8 réactions, c'est pourquoi certaines interventions y font allusion.

FP : Dans le cas expérimental présenté (mousse de PU), un schéma de pyrolyse simplifié à une réaction ne donnait pas de bons résultats. Nous avons donc utilisé un schéma évolué avec plusieurs espèces. Comment a-t-il été déterminé ? En utilisant les résultats d'essais avec l'ATG, mais ces expériences ATG ne sont réalisés qu'avec quelques grammes de matière.

AC : Dans la réalité c'est différent, plusieurs kilogrammes peuvent être dégradés. D'autre part, dans la modélisation de la propagation d'un front de pyrolyse, le calcul du flux de rayonnement est délicat, les cinétiques sont sensibles au flux. Peut-on utiliser des cinétiques raffinées, dont les paramètres sont obtenus sur des essais à petites échelles sur des simulations à plus grandes échelles ?

FP : Des modèles raffinées à plusieurs étapes, obtenus avec les résultats fournis par une ATG peuvent ne pas être réalistes pour de la modélisation à plus grande échelle. Par exemple avec les composites, il se produit un 'trapping' des gaz de pyrolyses, qui peut induire des fractures, dont la modélisation est complexe car celles-ci sont distribuées de façon aléatoire dans le matériau. Avec les matériaux réels (c.a.d. pas en petites quantités), il peut se produire beaucoup de phénomènes.

AC : Pour le schéma que vous avez déduit de l'ATG, les cinétiques sont-elles réelles ?

FP : La transition 'smoldering to flaming', qui a été observée, ne peut être prédite sans introduire des espèces et des réactions intermédiaires.

PB : Question à FP, si quelqu'un d'autre que vous refait une analyse des mêmes résultats expérimentaux, est qu'il obtiendra le même schéma réactionnel ?

FP : Certainement oui. En tout cas on ne peut pas se tromper sur le nombre de réactions. Si l'analyse ne fournit qu'une réaction, alors cela veut dire qu'il n'a été observé qu'un seul pic sur le thermo-gramme.

DM : la forme du thermo-gramme dépend beaucoup de la montée en température, on peut avoir 2 réactions avec une énergie d'activation proche, on ne pourra pas faire de distinctions.

TR : Plus la vitesse de chauffe est forte, mieux on différencie les pics. D'ailleurs avec un cône calorimètre, on ne voit pas seulement un pic. Les conditions avec un cône sont plus réalistes qu'avec l'ATG, et on distingue aussi plusieurs réactions. De façon générale, chaque pic est associé à une réaction, et le mécanisme est construit sur la phase gazeuse pour mieux comprendre ce qui se passe.

PB : Est-ce que on est induit en erreur avec les schémas extraits avec une rampe faible en température ? Dans la réalité les flux sont plus forts et certaines réactions déterminées par l'ATG n'existent peut être pas ?

DM : Plus on remonte aux premiers instants du feu, plus on a besoin de détails

PB : Est-ce que l'effet de l'eau sur le feu est correctement prédit avec un schéma à 8 réactions ?

FP : Ce schéma a été développé afin de prédire la transition combustion sans flamme à la combustion avec flamme. Avec une seule réaction cela n'a pas été possible. Plus généralement, il est relativement facile de modéliser une flamme jet (la température et les espèces), avec une phase solide, c'est beaucoup plus difficile.

TR : D'autant plus que, dans un incendie, on a tous les flux possibles, faibles au début du feu et forts après. Parler d'amélioration des codes d'incendie avec une chimie détaillée, c'est être capable de décrire les espèces intervenant dans le schéma. La corrélation assez bonne entre l'ATG et le cône sur le nombre de réaction ou d'étapes (voir les travaux récents de Matala, Rogoame, Lautenberger, Pellos, ...) mais il y a souvent des divergences sur les constantes cinétiques du schéma (le facteur pré-exponentiel et l'énergie d'activation)

FP : Dans la présentation que j'ai faite, j'ai indiqué que nous avons utilisé un schéma à plusieurs réactions. Mais je ne dis pas qu'il faut utiliser systématiquement un schéma à plusieurs étapes. A chaque problème, il faut regarder quel est l'aspect critique, et peut être que, dans certains cas, le détail du mécanisme de pyrolyse n'est pas le plus important.

AC : Si on veut éviter de prescrire le dégagement de chaleur (HRR), il faut utiliser un modèle de pyrolyse, et mon expérience m'a montré qu'utiliser une seule réaction ne marche pas. Que peut-on faire d'autre ? Il y a quelques années, des schémas réduits pour les NOx ont été développés, mais quand ils sont utilisés en dehors de leur domaine de validité, les résultats obtenus ne sont pas bons. Est-ce que ce on ne risque pas d'avoir le même problème avec les schémas fournis par l'ATG ?

TR : Cela dépend du matériau étudié. Par exemple avec le PMMA, la dégradation se fait en surface dans un film de petite épaisseur. Certainement que cela est bien reproduit dans les conditions de l'ATG et que les schémas extraits des essais ATG marchent. Pour le bois, c'est différent, il y a un fort gradient de TP dans le matériau, la dégradation se fait dans l'épaisseur du matériau, la diffusion de l'O₂ est importante. Donc des résultats obtenus avec l'ATG peuvent ne pas être transposables à des échantillons de plus grandes masses.

AT : Avec le logiciel gpyro, la pyrolyse peut être modélisée avec des schémas détaillés. Comment peut-on connaître les propriétés thermo-physiques des espèces intermédiaires. Cela est difficile.

FP : c'est exact que certaines propriétés ne sont pas connues actuellement. Dans certains cas, les phénomènes compliquent la détermination de ces paramètres, par exemple pour le PMMA il peut y avoir apparition de bulles dans la matière qui changent les propriétés thermo-physiques du matériau.

RC à TR : Pour étudier la pyrolyse des plantes, quel est le dispositif expérimental le plus adapté ?

TR : il n'existe pas, il faut développer cet appareil. Rappel : avec l'ATG les conditions sont loin d'un feu réel, avec le cône on ne connaît pas les conditions limites (les profils de T_p et d'oxygène dans et autour du matériau) ce qui empêche de faire des simulations afin de déterminer les coefficients de la loi d'Arrhenius, en comparant la perte de masse calculée à la valeur expérimentale. Il faut développer un dispositif dans lequel ces conditions limites sont maîtrisées ou imposées. Matala et Lautenberger sont en train d'y travailler.

AT et AC : est-on sûr que les lois d'Arrhenius sont applicables à la dégradation thermique des matériaux ?

TR : la loi d'Arrhenius est pilotée par la température, or dans la phase solide, il peut exister des phénomènes diffusifs. Si on ne prend pas la forme de la loi d'Arrhenius, il n'y a pas d'autres lois utilisables actuellement.

AC : la loi d'Arrhenius vient de la théorie moléculaire des gaz. Un doublé qui réagit passe dans un état excité pour ensuite se relaxer. L'écart d'énergie entre l'état initial et l'état excité est l'énergie d'activation. C'est une théorie qui repose sur la notion de chocs moléculaires. Comment peut-on admettre sans questionnement sa transcription à un état solide?

FP : Mais cela marcheLa cassure d'une macromolécule dans un polymère n'est pas loin du processus de collision de deux molécules en phase gaz.

AC : Mais ce qui serait préférable c'est de considérer non pas une énergie d'activation unique mais une distribution sur un certain intervalle.

François Demouge (CSTB) : Le débit de perte de masse est un paramètre très important. Quintiere considère la perte de masse en fonction de la ventilation et de sa valeur sans confinement (feu ventilé). Que faut-il penser de ce type d'approche, en particulier pour l'ISI ?

(pas réponse à cette question)

TR : José Torero montre (voir le handbook SFPE) que le débit de masse doit refléter la pyrolyse. Mais faut-il pour un feu à grandes échelles, décrire le terme source avec une grande résolution spatiale? Si on ne s'intéresse qu'au désenfumage, la réponse est peut être non.

AC : la majorité des études actuelles en ingénierie de la sécurité incendie (ISI) se font en prescrivant le dégagement de chaleur. On voit apparaître maintenant quelques études pour lesquelles l'utilisateur de modèles, pour des applications ISI, essaye de prédire le dégagement de chaleur, donc de modéliser la pyrolyse. Face à ces nouvelles approches, L'ISI doit-elle attendre le développement de bons modèles de pyrolyse? A court terme la solution est sûrement dans des approches type Quintiere.

DM : y a-t-il des transitions de phase qui sont observées avec les résultats de l'ATG.

TR : cela est identifié avec l'ATG, une transition de phase apparaît comme une réaction.

FP : La loi de changement de phase de Clausius-Clapeyron contient une réaction de type Arrhenius (une exponentielle peut être identifiée).