

## Invitation à la soutenance de thèse

### MODÉLISATION DE LA COMBUSTION DES MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES NOUVELLE GÉNÉRATION

Pierre Bernigaud

**19 Décembre 2023 à 14h**  
ENSTA Paris, Amphithéâtre 2.2.34

#### Devant le jury composé de :

Yves D'ANGELO	Université Côte d'Azur, Laboratoire J.A.D.	Rapporteur
Stany GALLIER	ArianeGroup, Centre de Recherches du Bouchet	Rapporteur
Marc BELLENOUE	ENSMA, Institut P'	Examineur
Christelle COLLET	OTAN, MSIAC	Examinatrice
Marc MASSOT	École Polytechnique, CMAP	Examineur
Laurent CATOIRE	ENSTA Paris, Unité Chimie et Procédés	Directeur de thèse
Dmitry DAVIDENKO	ONERA, DMPE/MPF	Encadrant

#### Résumé

Employés dans des moteurs fusées civiles et militaires, les propergols composites sont caractérisés par une structure hétérogène au niveau microscopique. Ils sont constitués principalement de particules oxydantes, d'une matrice de polymère, appelée liant, et éventuellement de particules métalliques. Le liant maintient l'intégralité structurale du propergol, et fournit par sa pyrolyse des gaz dont la combustion contribue au dégagement de chaleur dans la flamme. Les produits de combustion des particules oxydantes permettent l'oxydation des autres composants du propergol.

Le perchlorate d'ammonium (PA) est un oxydant largement utilisé dans les propergols composites, principalement en association avec un liant polymérique tel que le polybutadiène hydroxytéléchélique (PBHT). Une telle association est alors appelée propergol PA/PBHT. Les propergols nouvelle génération pourraient inclure des nitramines dans leur composition, comme l'hexogène (RDX), en remplacement partiel du PA pour certaines fins spécifiques. En particulier, la réduction de la quantité de PA contenue dans le propergol permet de limiter la formation d'une traînée visible à l'échappement du moteur, réduisant la signature du propulseur.

**L'objectif de cette thèse est d'étudier l'effet de l'inclusion du RDX dans un propergol PA/PBHT conventionnel.**

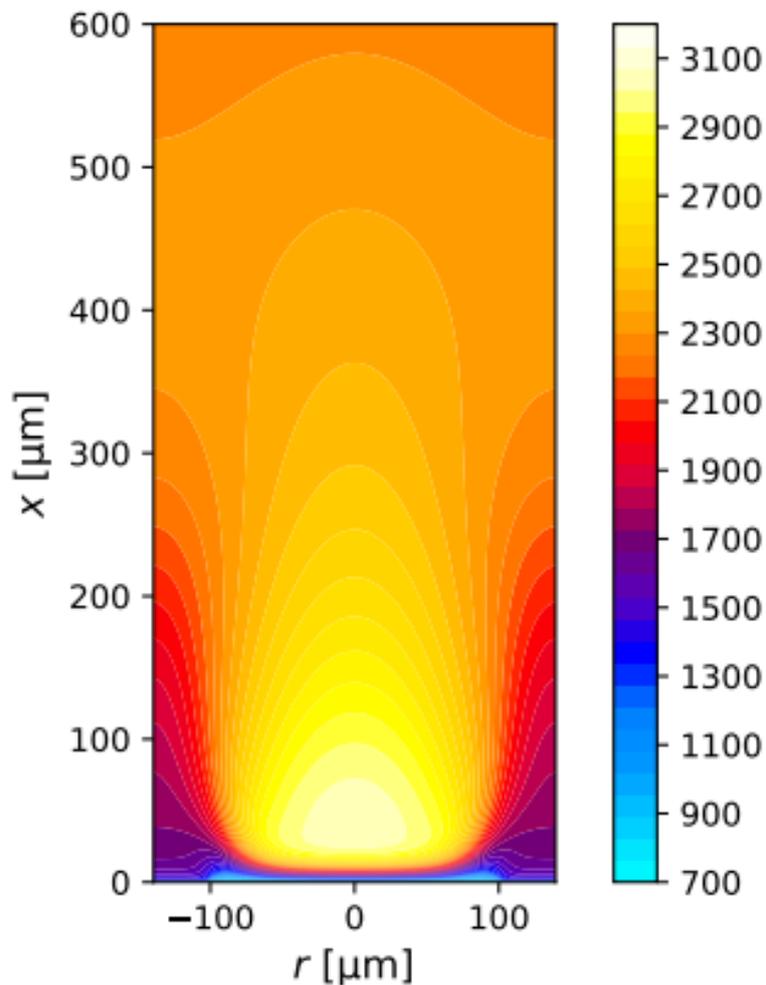
A cette fin, une première partie de la thèse est dédiée à la mise en place des modèles de combustion pour les ingrédients considérés: PA, liant homogénéisé PA/PBHT, et RDX.

Un mécanisme de cinétique chimique est mis au point, capable de représenter les processus chimiques caractéristiques de la combustion de l'ensemble de ces matériaux énergétiques. Pour chaque ingrédient, un modèle de décomposition en phase condensée est par ailleurs formulé, pour être associé au mécanisme cinétique. Des simulations unidimensionnelles sont alors réalisées en

approche couplée flamme/solide, afin de valider l'ensemble sur les données expérimentales disponibles.

De part leur structure hétérogène, l'étude de la combustion d'un propergol composite nécessite l'utilisation de méthodes numériques multidimensionnelles. Une seconde partie de la thèse est donc dédiée au développement et à la validation d'un code de calcul 2D, permettant la simulation de la combustion d'une particule oxydante entourée d'une couche de liant, en configuration axisymétrique.

Dans une dernière partie, les modèles de combustion mis au point sont utilisés conjointement avec le code de calcul développé afin d'étudier l'effet de l'inclusion du RDX dans un propergol PA/PBHT classique. Pour la première fois, la structure de la flamme produite par un propergol PA/PBHT/RDX est obtenue et caractérisée. Une étude est menée sur l'effet de la pression et de la taille des grains de RDX sur la régression du propergol, mettant en évidence l'existence de différents régimes de combustion. Des recommandations sont faites afin d'optimiser les performances de ce type de composition.



*Combustion d'une particule de RDX entourée d'une couche de liant homogénéisé PA/PBHT*

**Mots clés**

Propergol composite, Modèle de combustion, Cinétique chimique, Combustion hétérogène, PA, PBHT, RDX



**AGENCE  
INNOVATION  
DÉFENSE**