



ICARE - CNRS
Institut de Combustion, Aérothermique
Réactivité et Environnement
1c, avenue de la Recherche Scientifique
45071 Orléans - Cedex 2 - France

Personnel d'ICARE au 14 Décembre 2010

✓ Chercheurs CNRS :	10 (+ 1 DREM)
✓ Enseignants-chercheurs :	14 (+ 1 PREM)
✓ ITA :	19 (dont 1 IATOS 0,25)
✓ Total permanents :	45 (dont 10 HDR)
✓ Doctorants :	23 (dont 4 en co-tutelle internationale)
✓ Contractuels (ATER, post-doc, Chercheurs et IT Contractuels) :	21
✓ Total :	89

Domaines de recherche: Energie, Environnement, Propulsion, Espace

- Combustion
- Cinétique chimique
- Physique des plasmas
 - Mécanique des fluides, turbulence
 - Ecoulements multiphasiques
 - Ecoulements supersoniques, hypersoniques
 - Ecoulements raréfiés, ionisés

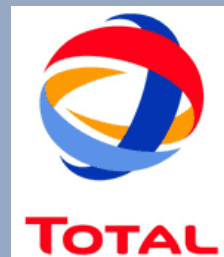
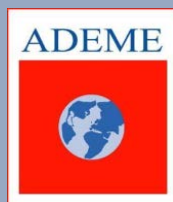


Domaines d'application

- Propulsion aérospatiale
- Propulsion électrique
- Propulsion liquide et solide
- Rentrées atmosphériques
- Chimie atmosphérique
- Production d'énergie
- Combustibles alternatifs, biofuels, Hydrogène
- Réduction des émissions polluantes
- Prévention des risques industriels



Coopérations principales



Coopérations internationales: UE, Russie, USA, Canada, Chine, Japon, Ukraine, Turquie, Argentine, etc

Thèmes de Recherche

✓ 3 principaux thèmes de recherche:

- Combustion
 - Cinétique chimique de la combustion et des systèmes réactifs
 - Dynamique de la combustion et des systèmes réactifs
- Réactivité atmosphérique
- Propulsion spatiale et Ecoulements à grande vitesse

✓ 8 équipes de recherche

Principaux Objectifs du groupe Combustion

Cinétique Chimique de Combustion

Explosion Chimique

Flamme de prémélange, Laminaire ou turbulente

Optimisation des Systèmes de Production d'énergie

Déflagrations lentes

Détonation
stable & instable

Formation
des Polluants

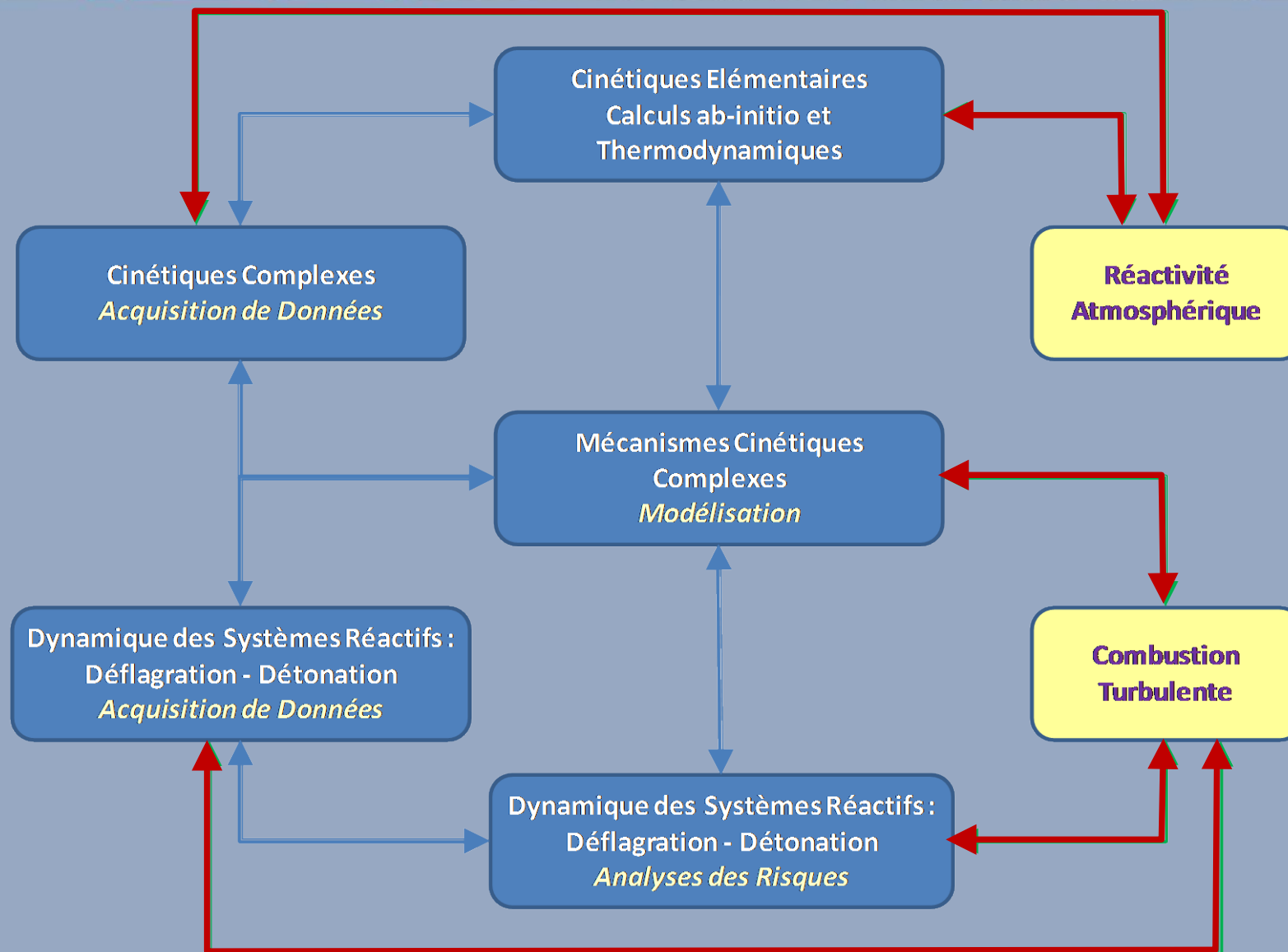
Nouveaux
Combustibles

Déflagrations
fortement accélérées

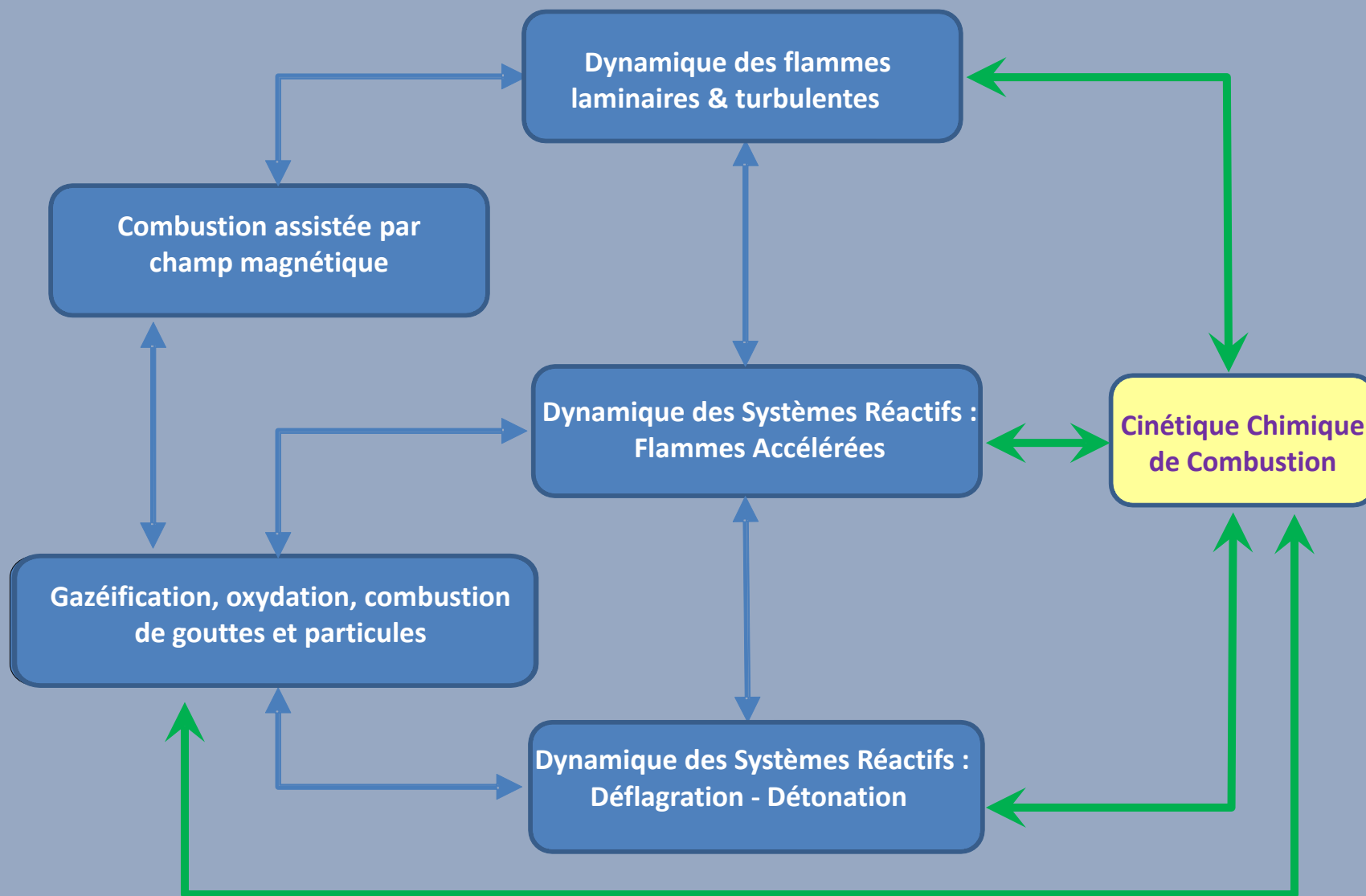
Nouveaux modes de
combustion

Acquisition de données Fondamentales

Place de la Thématique au sein du laboratoire



Place de la Thématique au sein d'ICARE





PRINCIPALES ETUDES

Acquisition des données Fondamentales

✓ Mesures Globales

- Limites d'inflammabilité
- Energie minimale d'inflammation
- Vitesses fondamentales de flamme
- Longueur de Markstein
- Délais d'auto-inflammation
- Taille des cellules de détonation
- Energie critique de détonation

✓ Mesures Détaillées

- Suivi de la consommation des réactifs
- Suivi de la formation des produits
- Suivi des intermédiaires de combustion

Groupe Thématique I Combustion

- ✓ **Détermination de grandeurs fondamentales**
 - Réactions élémentaires en combustion
 - Détermination de paramètres thermocinétiques
 - Mécanismes cinétiques

- ✓ **Formation et réduction des polluants de la combustion**
 - Cinétique chimique de formation et destruction des NOx
 - Suies et Précurseurs
 - Formation des HAP et précurseurs de suie
 - Formation des suies
 - Modélisation de la formation de suie en moteur Diesel

Groupe Thématique I Combustion

- ✓ **Nouveaux combustibles et carburants**
 - Combustion enrichie en hydrogène, syngas, et biocarburants
 - Combustion d'esters méthyliques d'acides gras et biodiesel modèles
 - Autres carburants oxygénés : alcools, éthers, et cétones
 - Carburants synthétiques à partir du charbon, du gaz naturel et de la biomasse
- ✓ **Nouvelles technologies en combustion et production d'énergie**
 - Combustion pauvre
 - Couplage combustion enrichie en oxygène et capture de CO₂
 - Interactions NO-hydrocarbures à basse température (EGR)



Dynamique de la Combustion & des Systèmes Réactifs

✓ Dynamique des flammes laminaires

- Détermination des limites d'inflammabilité
- Détermination des vitesses fondamentales de flamme
- Détermination des longueurs de Markstein
- Calculs des conditions à l'équilibre thermodynamiques
 - Température de Flamme, Pression adiabatique de combustion
 - Propriétés thermodynamiques et de transport, C_p , λ , μ , Le , ...
- Evaluation de la réactivité du milieu, Nbre de Zeldovich

✓ Dynamique des flammes turbulentes

- Structure des flammes turbulentes
- Accélération de flamme et transition à la détonation
- Sécurité et analyse des risques
- Vaporisation, oxydation, combustion de gouttes et particules
- Combustion assistée par champ magnétique

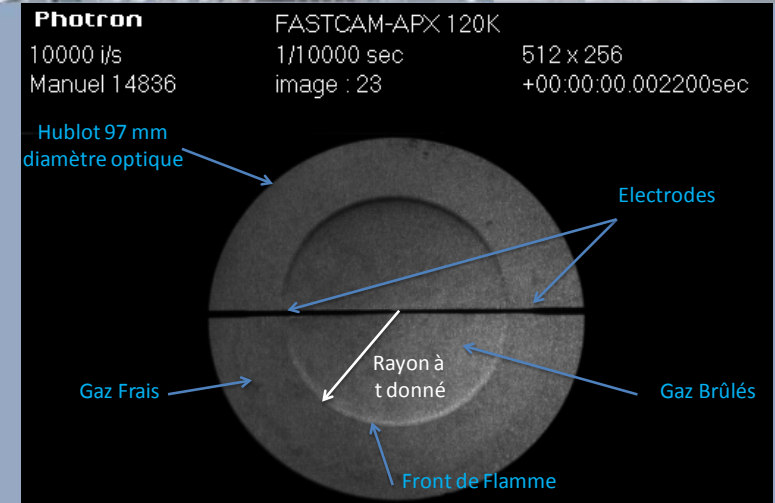
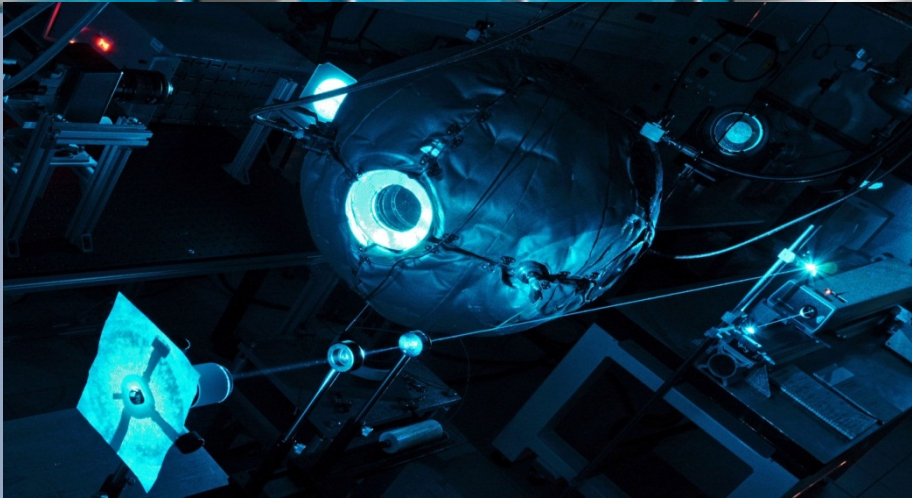
Contexte et Objectifs des Recherches

- ✓ Fournir des données afin de permettre la validation des modèles numériques développés dans les thématiques respectives.
- ✓ Améliorer les connaissances sur des systèmes énergétiques proches des conditions de l'application, dans les domaines de production d'énergie, de propulsion et de sûreté des systèmes énergétiques.
- ✓ ICARE possède les équipements nécessaires à la constitution de ces bases de données et utilise les diagnostics appropriés.



MOYENS D'ÉTUDES

Moyens techniques - *Flammes*



✓ **Bombes sphériques chauffées pour la mesure des vitesses fondamentales de flamme de combustibles gazeux et liquides à pression élevée par ombroscopie rapide.**

✓ **Caractéristiques uniques:**

- $T_{\max} = 210^{\circ}\text{C}$,
- $P_{\max} = 50 \text{ bars}$,
- large volume interne (56 L) \Leftrightarrow une mesure fiable de S_L° , $l_{\text{markstein}}$

Moyens techniques - *Flammes*

Brûleurs

- Brûleurs à contre-courants dans une enceinte haute pression (pression max 5 MPa), permettant la stabilisation de flammes laminaires prémélangées à contre-courants jusque 1 MPa. L'enceinte est munie d'accès optiques pour l'application de techniques de diagnostics laser (Fluorescence Induite par Laser, Emission, Absorption, spectroscopie Raman, Cavity Ring-Down Spectroscopy) pour la mesure des espèces chimiques majoritaires et minoritaires, les radicaux, les polluants et la température dans les flammes.

- Brûleur à flamme plate (Patm) avec prélèvement par sonde pour la détection et la mesure des espèces chimiques stables par Chromatographie en phase gaz (CPG-FID-TCD) et FTIR.



Moyens techniques – Réacteurs Idéaux

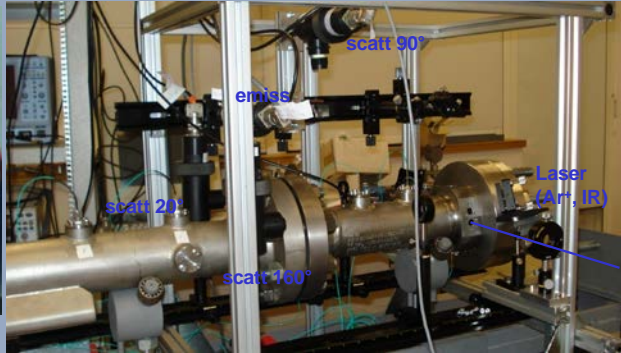
Réacteurs auto-agités par jets gazeux pressurisés (JSR) pouvant opérer dans un large domaine de température (500-1500 K, couvrant les régimes de basse et haute température, de pression (0.1- 4.0 MPa), et de richesse (0.02-4; éventuellement ∞).

Dispositif unique permettant d'atteindre les conditions rencontrées dans les TAG.

Analyses chimiques des espèces stables par techniques complémentaires FTIR, GC-MS-FID-TCD, piégeage/ HPLC.

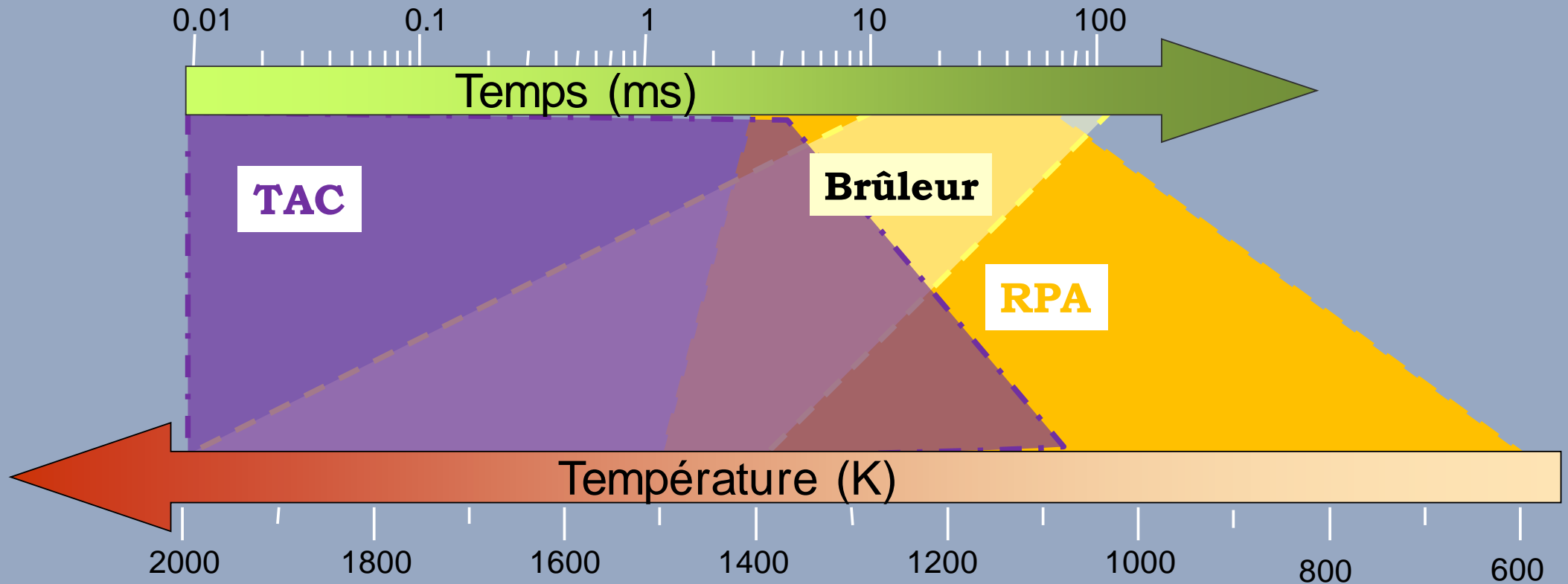


Moyens techniques – Réacteurs Idéaux



- ✓ Tubes à onde de choc (TAC) pouvant opérer jusqu'à ca. 5000 K. Ils sont équipés de diagnostics complémentaires : ARAS, Laser Scattering/Extinction, absorption UV & IR, détection des émissions de OH* et CH*.
- ✓ ICARE possède un grand parc de tubes à choc pour les études de cinétique chimique et son TAC-ARAS est unique en France et parmi les rares fonctionnant dans le monde.

Conclusion – Large domaine d'études



- ✓ **Gamme de Pression : 0,1 bar ⇔ 50 bars**
- ✓ **Combustibles : H₂, HC légers, HC lourds, Oxygénés, ...**
- ✓ **Richesse : très pauvre ⇔ pyrolyse**