

NOTICE SCIENTIFIQUE 2025

GIOVANGIGLI Vincent, Directeur de recherche émérite, Section 41

Centre de Mathématiques Appliquées, UMR 7641

École Polytechnique, 91128, Palaiseau Cedex

1. CURRICULUM VITAE.....	2
2. TRAVAUX ET OBJECTIFS.....	3
2.1. Mathématiques	3
2.2. Physique.....	17
2.3. Application des mathématiques	21
3. PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	25
3.1. Livres.....	25
3.2. Articles de mathématiques	25
3.3. Articles de physique.....	27
3.4. Articles d'application des mathématiques.....	29
3.5. Actes de congrès à comité de lecture.....	30
3.6. Thèses.....	33
3.7. Conférences sur invitation.....	33
3.8. Communications à des congrès	36
3.9. Logiciels.....	42
4. AUTRES ACTIVITÉS	43
4.1. Enseignement.....	43
4.2. Valorisation.....	47
4.3. Animation de la recherche.....	48
4.3. Administration de la recherche.....	49

1. CURRICULUM VITAE

Nom : GIOVANGIGLI
Prénom : Vincent
Date de naissance : 28 Mai 1957 à Aix en Provence
Activité professionnelle : Directeur de Recherche émérite au CNRS
Adresse professionnelle : Centre de Mathématiques Appliquées
Ecole Polytechnique
91128, Palaiseau Cedex
Adresse électronique : vincent.giovangigli@polytechnique.edu
Adresse www : <http://www.cmap.polytechnique.fr/~giovangi/>

Diplômes

- Ecole Normale Supérieure de la rue d'Ulm 1978–1982
- Agrégation de mathématiques, 1980, Rang 7^e
- Thèse de Troisième Cycle, Université Paris 6, Dir. G. Duvaut, 1982.
- Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris 6, Dir. G. Duvaut, 1988.

Activités professionnelles

- Chargé de recherche CNRS en mécanique à Paris 6 d'octobre 1983 à novembre 1989 puis au Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique de novembre 1989 à octobre 1996.
- Conseiller scientifique à l'ONÉRA, un jour par semaine de Mai 1989 à novembre 2016.
- Directeur de recherche CNRS au Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique, depuis Octobre 1996, rattachement à la section Mathématiques en 1997, passage 1^e classe en Octobre 2004 de classe exceptionnelle en Octobre 2011, et émérite à partir du 1er octobre 2022.

Principales responsabilités

- Directeur adjoint de Mars 1997 à Mai 1998 puis Directeur de Juin 1998 à Mars 2006 du Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique.
- Membre de septembre 2004 à octobre 2012 puis président d'octobre 2012 à décembre 2015 de la Commission des thèses *Mathématiques et Informatique* de l'Ecole Doctorale de Polytechnique.
- Organisateur principal du congrès SMAI 2009.
- Directeur adjoint de la Fondation Mathématique Jacques Hadamard chargé du Labex Mathématique Hadamard de septembre 2015 à septembre 2019.

Prix et distinctions

- Prix CISI/SMAI de Calcul scientifique 1996.
- Prix CRAY/Silicon-Graphics de Calcul scientifique 1996.
- Fellow and Chartered Physicist of The Institute of Physics 1999.
- Prix Jacques-Louis Lions 2011 de l'Académie des Sciences.
- Conférence Harold Grad, 33ème congrès Rarefied Gas Dynamics 2024.

2. TRAVAUX ET OBJECTIFS

Les recherches effectuées ont eu pour objet la modélisation, l'analyse mathématique, l'analyse numérique et la simulation numérique d'écoulements réactifs, en particulier lorsque la cinétique chimique est complexe. Ces diverses activités sont regroupées par familles scientifiques *Mathématiques*, *Physique*, et *Application des mathématiques* pour plus de clarté.

Les résultats de nature *mathématique* concernent essentiellement les équations des flammes, les systèmes hyperboliques-paraboliques, les systèmes de relaxation, les entropies d'ordre supérieur, l'algèbre linéaire pour les systèmes singuliers, l'analyse numérique et quelques études diverses.

Les travaux de nature *physique*—qui préparent les études mathématiques—concernent la théorie cinétique des mélanges gazeux, la théorie cinétique hors équilibre thermodynamique, le transport multi-espèce dans les mélanges gazeux, l'interaction entre un mélange gazeux et un cristal la théorie cinétique des fluides denses et des fluides cohésifs ou capillaires.

Les *applications des mathématiques* concernent les flammes, les réacteurs de dépôt chimique, les fluides diphasiques ou supercritiques, les interfaces diffuses, les fluides de Cahn-Hilliard, ainsi que divers écoulements.

Il faut toutefois souligner la cohérence du programme de recherche, chaque étape représentant généralement une facette d'un même problème. Un même phénomène peut ainsi conduire à des publications de nature physique dans une phase de modélisation, de nature mathématique pour l'existence de solutions ou leur comportement asymptotique, au développement de nouveaux algorithmes et enfin à des simulations numériques. Ces étapes sont liées entre elles et l'essence des mathématiques appliquées est l'unité entre ces diverses étapes.

A titre d'exemple, la structure correcte des systèmes d'équations aux dérivées partielles hyperboliques-paraboliques symétrisables pour les mélanges gazeux résulte des travaux sur la théorie cinétique. Grâce à cette structure nous avons alors obtenu des résultats d'existence locaux—en temps—et globaux autour d'états d'équilibre. Cette théorie cinétique a donné par ailleurs des systèmes linéaires singuliers sous contrainte correctement structurés pour l'évaluation des coefficients de transport des mélanges. Cette structure a permis la mise au point d'algorithmes rapides pour l'évaluation des coefficients de transport qui ont ensuite permis la simulation d'écoulements réactifs multi-dimensionnels avec un transport détaillé et une chimie complexe.

2.1. MATHÉMATIQUES

2.1.1 Existence de solutions pour les équations des flammes

L'analyse mathématique et la simulation numérique de problèmes issus de la combustion ont connu un important développement dans les années 1980–2000 sous l'impulsion de Jacques-Louis Lions.

Dans ce contexte, une première étude a eu pour objet l'analyse d'équations modélisant *les flammes accrochées sur un brûleur poreux*. Ce sont des équations du second ordre non linéaires posées dans des intervalles semi-infinis. En utilisant des méthodes

itératives, des méthodes variationnelles ainsi que le degré topologique nous avons obtenu l'existence, l'unicité et le comportement asymptotique de solutions [M1] [T1].

Je me suis alors intéressé aux *flames planes libres avec pertes de chaleur*. Les inconnues, définies sur un intervalle semi-infini, sont la température et—avec une chimie simple—la concentration du réactant. Le débit de masse—ou encore la vitesse de propagation—est aussi une valeur propre non linéaire. Compte tenu de la présence de limites d'extinction il est nécessaire de reparamétriser l'arc des solutions en échangeant la vitesse de propagation c avec le taux maximal de pertes thermique λ . *En utilisant le degré topologique, nous avons obtenu l'existence de solutions régulières puis étudié la limite asymptotique des grandes énergies d'activation*. Nous avons établi que $0 < c < c_{\text{ad}}$ où c_{ad} est le débit en l'absence de pertes de chaleur et que $\lim_{\epsilon \rightarrow 0} (\lambda_\epsilon/\epsilon) \sim -c^2 \log(c^2/c_{\text{ad}}^2)$ où $1/\epsilon$ représente une énergie d'activation de telle sorte qu'au delà d'un seuil critique de pertes thermiques il y a extinction. *Nous avons également mis en évidence pour la première fois les trois échelles spatiales $\mathcal{O}(\epsilon)$, $\mathcal{O}(1)$ et $\mathcal{O}(1/\epsilon)$ et la structure multi-échelle des flames* [M3] [T2].

Une étude fondamentale a ensuite concerné l'existence de solutions aux équations modélisant les *flames planes avec une chimie arbitrairement complexe et un transport multi-espèce* issu de la théorie cinétique des gaz. Ces équations s'écrivent pour les faibles nombres de Mach

$$\begin{aligned} c y'_k + \mathcal{F}'_k &= m_k \omega_k, & k \in S, \\ c h' + \mathcal{Q}' &= 0, \end{aligned}$$

où c est le débit de masse, y_k la fraction massique de la k ème espèce, \mathcal{F}_k le flux massique de la k ème espèce, $S = \{1, \dots, n\}$ les indices des espèces, n le nombre d'espèces, m_k la masse molaire de la k ème espèce, ω_k le taux de production molaire de la k ème espèce, h l'enthalpie du mélange, \mathcal{Q} le flux de chaleur et $'$ la dérivée dans la direction normale à la flamme x . Les conditions aux limites sont données en $x = 0$ et $x = \infty$ et toutes les dérivées secondes des concentrations et de la température sont couplées par le transport. Les flux de masse sont en particulier de la forme $\mathcal{F}_k = -\sum_{l \in S} C_{kl} x'_l - \rho y_k \theta_k T'$ où $C = (C_{kl})_{k,l \in S}$ est une *matrice pleine* de coefficients de diffusion, x_l la fraction molaire de la l ème espèce, ρ la densité et θ_k le coefficient de diffusion thermique de la k ème espèce. La définition du degré topologique repose principalement sur les estimations a priori et par conséquent sur des outils entropiques compte tenu de la structure complexe des équations. *Nous avons établi en particulier que la norme naturelle associée à la diffusion multi-espèces est de la forme $\sum_{k \in S} \int |\partial_x y_k|^2 / y_k dx$, obtenu pour la première fois une estimation de la température dans une flamme avec un transport et une chimie complexes et démontré l'existence de solutions* [M16] [M19] [CI13] [C37] [C41].

Nous avons également étudié un *modèle de flamme sphérique* du à Guy Joulin, physicien de la combustion talentueux. L'équation qui gouverne la position du front de flamme $r(t)$ est une équation integro-différentielle de la forme

$$r \partial_{1/2} r = r \log r + E \alpha(t),$$

où r est le rayon de la flamme défini sur $[0, \infty)$, E le paramètre d'énergie, $\alpha(t)$ la taux de déposition d'énergie, et $\partial_{1/2} r = (1/\sqrt{\pi}) \int_0^t r'(s)/\sqrt{t-s} ds$ la dérivée d'ordre un demi. Des techniques spécifiques ont du être développées pour établir l'existence de solution ainsi que l'existence d'un seuil d'énergie pour la propagation du front [M18]. Pour un

$\alpha(t)$ convenable, on démontre qu'il existe une énergie critique E_{cr} telle que si $E < E_{\text{cr}}$ alors $\lim_{t \rightarrow \infty} r = 0$, si $E = E_{\text{cr}}$ alors $\lim_{t \rightarrow \infty} r = 1$, si $E > E_{\text{cr}}$ il y a alors allumage de la flamme et $\lim_{t \rightarrow \infty} r = +\infty$ [M18].

2.1.2 Systèmes hyperboliques-parabolique et mélanges gazeux

Nous nous sommes intéressés aux propriétés et aux solutions des systèmes d'équations aux dérivées partielles généraux modélisant les mélanges gazeux réactifs avec une chimie complexe et un transport détaillé issu de la théorie cinétique des gaz en dimension quelconque. Les équations de conservation s'écrivent sous la forme

$$\partial_t \mathbf{u} + \sum_{i \in C} \mathbf{A}_i(\mathbf{u}) \partial_i \mathbf{u} = \sum_{i, j \in C} \partial_i (\mathbf{B}_{ij}(\mathbf{u}) \partial_j \mathbf{u}) + \Omega(\mathbf{u}), \quad (1)$$

où $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^n$ est la variable conservative

$$\mathbf{u} = \left(\rho_1, \dots, \rho_n, \rho v_1, \dots, \rho v_d, \frac{1}{2} \rho |\mathbf{v}|^2 + \mathcal{E} \right)^t.$$

Dans ces équations ρ_i désigne la densité partielle de la i ème espèce, n le nombre d'espèces chimiques, $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_d)^t$ la vitesse du mélange, d la dimension d'espace, $C = \{1, \dots, d\}$ l'ensemble des directions spatiales, $\mathbf{n} = n + d + 1$ le nombre d'inconnues, \mathcal{E} l'énergie interne par unité de volume. La matrice $\mathbf{A}_i = \partial_{\mathbf{u}} \mathbf{F}_i$ est le jacobien du flux convectif dans la i ème direction et la matrice \mathbf{B}_{ij} , qui contient les coefficients de transport, relie le gradient $\partial_j \mathbf{u}$ au flux dissipatif dans la i ème direction. *Il a alors été possible de symétriser ces équations et d'analyser leur structure grâce aux propriétés des coefficients de transport déduites de nos travaux sur la théorie cinétique.* Si σ désigne l'entropie mathématique—opposée de l'entropie physique par unité de volume, le changement de variable $\mathbf{u} \rightarrow \mathbf{v}$, où $\mathbf{v} = (\partial_{\mathbf{u}} \sigma)^t \in \mathbb{R}^n$ est la variable entropique, est un difféomorphisme régulier et en écrivant $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{v})$ dans (1) on obtient

$$\tilde{\mathbf{A}}_0(\mathbf{v}) \partial_t \mathbf{v} + \sum_{i \in C} \tilde{\mathbf{A}}_i(\mathbf{v}) \partial_i \mathbf{v} = \sum_{i, j \in C} \partial_i (\tilde{\mathbf{B}}_{ij}(\mathbf{v}) \partial_j \mathbf{v}) + \tilde{\Omega}(\mathbf{v}), \quad (2)$$

où $\tilde{\mathbf{A}}_0$ est symétrique définie positive, les $\tilde{\mathbf{A}}_i$ sont symétriques, $\tilde{\mathbf{B}}_{ij}^t = \tilde{\mathbf{B}}_{ji}$ et $\tilde{\mathbf{B}} = \sum_{i, j \in C} \xi_i \xi_j \tilde{\mathbf{B}}_{ij}$ est semi-définie positive. Ces propriétés résultent de la compatibilité de l'entropie σ avec la convection *et la diffusion multi-espèces* et la variable entropique pour les mélanges gazeux est de la forme

$$\mathbf{v} = (\partial_{\mathbf{u}} \sigma)^t = \left(\frac{g_1 - \frac{1}{2} |\mathbf{v}|^2}{RT}, \dots, \frac{g_n - \frac{1}{2} |\mathbf{v}|^2}{RT}, \frac{\mathbf{v}}{RT}, \frac{-1}{RT} \right)^t,$$

où g_i est la fonction de Gibbs de la i ème espèce. La matrice de dissipation $\tilde{\mathbf{B}} = \sum_{i, j \in C} \xi_i \xi_j \tilde{\mathbf{B}}_{ij}$ est toutefois seulement semi-définie positive et afin de séparer entre inconnues hyperboliques et paraboliques on introduit une variable normale \mathbf{w} . Ces variables sont telles que $\mathbf{v} \rightarrow \mathbf{w}$ est un difféomorphisme régulier et si on écrit $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{w})$ dans (2) qu'on multiplie à gauche par $(\partial_{\mathbf{w}} \mathbf{v})^t$ on obtient une forme normale

$$\bar{\mathbf{A}}_0(\mathbf{w}) \partial_t \mathbf{w} + \sum_{i \in C} \bar{\mathbf{A}}_i(\mathbf{w}) \partial_i \mathbf{w} = \sum_{i, j \in C} \partial_i (\bar{\mathbf{B}}_{ij}(\mathbf{w}) \partial_j \mathbf{w}) + \bar{\Omega}(\mathbf{w}) + \bar{\mathbf{b}}, \quad (3)$$

avec \bar{A}_0 et \bar{B}_{ij} de la forme

$$\bar{A}_0 = \begin{bmatrix} \bar{A}_0^{I,I} & 0_{n_i, n_{II}} \\ 0_{n_{II}, n_i} & \bar{A}_0^{II,II} \end{bmatrix}, \quad \bar{B}_{ij} = \begin{bmatrix} 0_{n_i, n_i} & 0_{n_i, n_{II}} \\ 0_{n_{II}, n_i} & \bar{B}_{ij}^{II,II} \end{bmatrix},$$

où \bar{A}_0 est symétrique définie positive, les \bar{A}_i sont symétriques (mais ne sont plus des Jacobiens) $\bar{B}_{ij}^t = \bar{B}_{ji}$ et la matrice $\bar{B}^{II,II}(\mathbf{w}, \xi) = \sum_{i,j \in C} \bar{B}_{ij}^{II,II}(\mathbf{w}) \xi_i \xi_j$ est définie positive pour tout ξ dans la sphère unité de \mathbb{R}^d . On a alors séparé $\mathbf{w} = (\mathbf{w}_I, \mathbf{w}_{II})^t$ en une partie hyperbolique \mathbf{w}_I et une partie parabolique \mathbf{w}_{II} que l'on peut chacune mélanger par difféomorphisme et $\bar{\mathbf{b}}$ est un résidu quadratique $\bar{\mathbf{b}} = (0, \sum_{i,j \in C} \bar{M}_{ij}^{II,II,II}(\mathbf{w}) \partial_i \mathbf{w}_{II} \partial_j \mathbf{w}_{II})^t$ qui est nul pour la variable normale *naturelle*. En supposant une propriété d'invariance du noyau $N(\bar{\mathbf{B}})$ introduite par Kawashima, que nous avons renforcée avec $\tilde{B}_{ij} N(\bar{\mathbf{B}}) = 0$, nous avons caractérisé toutes les variables normales. La variable normale naturelle pour les mélanges gazeux est

$$\mathbf{w}_I = \rho, \quad \mathbf{w}_{II} = \left(\frac{g_2 - g_1}{RT}, \dots, \frac{g_n - g_1}{RT}, \frac{\mathbf{v}}{RT}, \frac{-1}{RT} \right)^t,$$

et on retrouve bien sûr que l'équation de conservation de la masse totale n'a aucun terme dissipatif.

Une première application des formes normales pour les mélanges gazeux a donné *un résultat d'existence local en temps* grâce à une version quasilinéaire d'un théorème de Volpert et Hudjaev que nous avons du renforcer par une condition d'équi-intégrabilité [M12]. Une extension aux mélanges en déséquilibre vibrationnels—où chaque niveau vibrationnel est considéré comme une espèce indépendante—du théorème d'existence locale est présentée dans [M17] ainsi que la démonstration détaillée du théorème modifié de Volpert et Hudjaev. Pour un choix judicieux de constantes physiques et de conditions initiales, on obtient aussi que $\rho = \text{Cte}$, $\mathbf{v} = 0$ et $T = \text{Cte}$ de telle sorte que des systèmes de réaction-diffusion sont aussi compris dans l'étude. Ces articles importants présentent la première utilisation de variables entropiques et normales pour les mélanges réactifs et contiennent strictement les résultats de nombreux articles de la littérature publiés parfois plus de vingt ans après.

Une seconde application des formes normales concerne les équations générales des plasmas dissipatifs *fortement magnétisés* qui introduisent de nombreuses difficultés. Ces difficultés sont dues aux flux de transport qui diffèrent selon l'orientation des gradients par rapport au champ magnétique \mathbf{B} et il y a par exemple cinq viscosités de cisaillement différentes. Les propriétés de symétries complexes des coefficients en fonction de \mathbf{B} sont là aussi obtenues par la théorie cinétique. La variable parabolique est la même que celle des mélanges gazeux ordinaires mais la variable hyperbolique naturelle diffère avec

$$\mathbf{w}_I = (\rho, E_1, E_2, E_3, B_1, B_2, B_3)^t, \quad \mathbf{w}_{II} = \left(\frac{g_2 - g_1}{RT}, \dots, \frac{g_n - g_1}{RT}, \frac{\mathbf{v}}{RT}, \frac{-1}{RT} \right)^t,$$

où $\mathbf{E} = (E_1, E_2, E_3)^t$ et $\mathbf{B} = (B_1, B_2, B_3)^t$ sont les champs électriques et magnétiques. La structure du système d'équations aux dérivées partielles sort en partie du cadre présenté ci-dessus mais nous avons toutefois obtenu des *symétrisations partielles*

et établi que *le problème de Cauchy pour les plasmas dissipatifs les plus généraux est bien posé localement en temps* [M23] [M24] [C51].

Nous nous sommes ensuite intéressés à *des théorèmes d'existence globaux en temps et à la stabilité asymptotique d'états d'équilibres* en généralisant la théorie de Kawashima. Les propriétés de dissipativité locale des solutions sont ici fondamentales et nous avons établi que la condition de Kawashima est vérifiée aux points d'équilibre \mathbf{w}^* des mélanges gazeux. Plus précisément si $\phi \in \mathbb{R}^n \setminus \{0\}$ est tel que $\bar{\mathbf{B}}(\mathbf{w}^*, \xi)\phi = 0$ et $\bar{\mathbf{L}}(\mathbf{w}^*)\phi = 0$ où $\bar{\mathbf{B}}(\mathbf{w}^*, \xi) = \sum_{i,j \in C} \bar{\mathbf{B}}_{ij}(\mathbf{w}^*)\xi_i\xi_j$ et $\bar{\mathbf{L}} = -\partial_{\mathbf{w}}\bar{\Omega}(\mathbf{w}^*)$ pour un ξ dans la sphère unité alors $\zeta\bar{\mathbf{A}}_0(\mathbf{w}^*)\phi + \bar{\mathbf{A}}_i(\mathbf{w}^*, \xi)\phi \neq 0$ pour tout $\zeta \in \mathbb{R}$. Nous avons introduit par ailleurs de nouvelles hypothèses de structure en écrivant que le terme source est dans l'image de son linéarisé à l'équilibre et qu'on a l'inégalité de stabilité

$$\delta|\tilde{\Omega}|^2 \leq -\langle \mathbf{v} - \mathbf{v}^*, \tilde{\Omega} \rangle, \quad (4)$$

où \mathbf{v}^* est un état d'équilibre. Ces propriétés sont bien vérifiées pour les mélanges gazeux et les estimations a priori sont typiquement de la forme

$$|\mathbf{w}(t) - \mathbf{w}^*|_l^2 + \int_0^t (|\partial_x \mathbf{w}_I(\tau)|_{l-1}^2 + |\partial_x \mathbf{w}_{II}(\tau)|_l^2) d\tau \leq C|\mathbf{w}^0 - \mathbf{w}^*|_l^2,$$

où $|\cdot|_l$ désigne la norme dans l'espace de Sobolev $H^l(\mathbb{R}^d)$ avec $l > [d/2] + 1$. Grâce à ces propriétés, nous avons pu étendre le théorème d'existence globale de Kawashima et obtenir pour la première fois des résultats d'existence globaux autour d'états d'équilibre pour les équations des fluides réactifs issues de la théorie cinétique [M13] [M15] [C32].

La structure générale symétrique hyperbolique-parabolique mise en évidence avec les mélanges gazeux a ensuite été retrouvée dans de nombreux autres modèles. Nous avons tout d'abord analysé la structure mathématique du système d'équations aux dérivées partielles obtenu lorsque l'on suppose *un équilibre chimique partiel des réactions chimiques*. L'entropie à l'équilibre partiel est alors l'entropie hors équilibre évaluée sur la variété d'équilibre partiel, la variable entropique à l'équilibre partiel restant dans un sous espace vectoriel fixe de l'espace des phases, et nous avons établi l'existence de solutions [M20]. Le cas des mélanges qui sont localement à l'équilibre chimique complet a été étudié dans un chapitre d'un livre sur la modélisation des mélanges gazeux [L2].

Dans l'*approximation ambipolaire pour la modélisation des plasmas dissipatifs multi-espèces*, le champ magnétique est pris égal à zéro et le champ électrique est évalué avec l'approximation du courant nul $\sum_{k \in S} \varkappa_k \mathcal{F}_k = 0$ où \varkappa_k désigne la charge molaire de la k ème espèce. Dans cette approximation les équations du plasma peuvent être complètement symétrisées—contrairement au cas fortement magnétisé—et nous avons établi des théorèmes d'existence globale autour d'états d'équilibres ainsi que leur stabilité asymptotique en utilisant la variable normale

$$\mathbf{w}_I = (\rho, q)^t, \quad \mathbf{w}_{II} = \left(\frac{G_3 - r_3 G_1 - s_3 G_2}{RT}, \dots, \frac{G_n - r_n G_1 - s_n G_2}{RT}, \frac{\mathbf{v}}{RT}, \frac{-1}{RT} \right)^t,$$

où q est la charge, $r_k = (\varkappa_2 m_k - \varkappa_k m_2)/(\varkappa_2 m_1 - \varkappa_1 m_2)$, $s_k = (\varkappa_k m_1 - \varkappa_1 m_k)/(\varkappa_2 m_1 - \varkappa_1 m_2)$ pour $3 \leq k \leq n$. Les solutions physiquement admissibles sont alors telles que $q = 0$ et nous avons également établi *la continuité des solutions par rapport à la masse de l'électron lorsqu'elle tend vers zéro* [M22] [C54].

Un théorème de stabilité asymptotique a également été obtenu pour les équations de Saint-Venant avec une température variable mises sous forme normale [M31]. Ces équations modélisent un film flottant sur un liquide avec pour application le verre fondu flottant sur de l'étain fondu pour la fabrication des vitrages. Le modèle de Saint-Venant bi-dimensionnel avec température variable a par ailleurs été dérivé asymptotiquement à partir d'un modèle de verre tri-dimensionnel ainsi que les conditions aux limites de type frontières libres sur les bords du film.

Avec un fluide supercritique on ne peut plus distinguer d'état liquide ou gazeux et il n'existe plus qu'un seul état fluide. Les systèmes d'équations correspondants sont hyperboliques-paraboliques *localement* symétrisables et définis sur des ouverts qui ne sont pas convexes à causes d'instabilités thermodynamiques. Nous avons clarifié dans cette étude les hypothèses de compatibilité de l'entropie avec la convection, la diffusion, et les termes source qui impliquent alors (4). *Pour les systèmes symétriques, la parabolicité au sens de Petrovsky est équivalente à la forte parabolicité.* L'existence locale de solutions ainsi que la stabilité des états d'équilibre a été établie [M35] [CI36] [CI39] [C76] [C77] [C81].

Enfin nous avons établi l'existence de *solutions faibles aux équations des mélanges isomasses réactifs* [M40]. Nous avons utilisé notamment des études antérieures de P.L. Lions, E. Feireisl, Mucha et Pokorný, et Novotný et Pokorný concernant la définition de solutions faibles pour des fluides monoespèces. Les principales difficultés proviennent de la forme complexe de l'estimation entropique et de la construction de solutions approchées avec des termes stabilisateurs [M40].

2.1.3 Systèmes hyperboliques-paraboliques de relaxation

La relaxation est un phénomène naturel omniprésent typiquement modélisé par des termes d'atténuation raides. Les systèmes d'équations aux dérivées partielles correspondants s'écrivent sous la forme

$$\partial_t \mathbf{u} + \sum_{i \in C} A_i(\mathbf{u}) \partial_i \mathbf{u} = \sum_{i,j \in C} \epsilon^a \partial_i (B_{ij}(\mathbf{u}) \partial_j \mathbf{u}) + \frac{1}{\epsilon} \Omega(\mathbf{u}), \quad (5)$$

où ϵ est un paramètre destiné à tendre vers zéro et où \mathbf{a} est une mesure des effets dissipatifs. Le terme source Ω est tel qu'il existe une variété d'équilibre \mathcal{E} avec $Q \in \mathcal{E}^\perp$ et si Π_ϵ désigne le projecteur orthogonal sur \mathcal{E} alors $u = \Pi_\epsilon^t \mathbf{u}$ est la variable lente conservative. Les questions fondamentales sont notamment l'existence de solutions u_ϵ , le développement de Chapman-Enskog de u_ϵ , et les équations à l'ordre deux en ϵ satisfaites par la variable lente.

Nous avons tout d'abord étudié la structure hyperbolique-parabolique des systèmes d'équations aux dérivées partielles régissant des *fluides multi-températures*. *Les équations obtenues par la théorie cinétique des gaz hors équilibre ont alors une structure entropique symétrisable grâce à des flux dissipatifs correctement structurés.* Dans cette situation $\mathbf{a} = 1$ et nous avons étudié le *développement de Chapman-Enskog d'ordre deux des solutions* lorsque $\epsilon \rightarrow 0$ pour les systèmes hyperboliques-paraboliques ainsi que les équations d'ordre deux de la variable lente

$$\partial_t u_e + \sum_{i \in C} A_i^e(u_e) \partial_i u_e = \sum_{i,j \in C} \epsilon \partial_i (B_{ij}^e(u_e) \partial_j u_e). \quad (6)$$

Ces équations (6) forment un système entropique symétrisable et les propriétés dissipatives du système régissant la variable lente \mathbf{B}_{ij}^ϵ , sont alors issues des termes convectif hors équilibre \mathbf{A}_i perturbés ainsi que des termes dissipatifs hors équilibre \mathbf{B}_{ij} . En particulier, *pour les écoulements mono-température, la viscosité volumique est issue des termes convectifs hors équilibre perturbés et la viscosité de cisaillement est directement héritée du tenseur visqueux hors équilibre* [M37] [M43] [CI48] [CI51] [C83]. Nous avons obtenu ensuite l'existence de solutions locales \mathbf{u}_ϵ sur des intervalles de temps indépendants de ϵ avec des données bien préparées. Les estimations a priori sont typiquement

$$\begin{aligned} & |\mathbf{w}(t) - \mathbf{w}^*|_l^2 + \frac{1}{\epsilon} |\pi \mathbf{w}(t)|_{l-1}^2 + \int_0^t (|\partial_x \mathbf{w}_I|_{l-1}^2 + |\partial_x \mathbf{w}_{II}|_l^2) d\tau + \frac{1}{\epsilon} \int_0^t |\pi \mathbf{w}(\tau)|_l^2 d\tau \\ & + \frac{1}{\epsilon^2} \int_0^t |\pi \mathbf{w}(\tau)|_{l-1}^2 d\tau + \int_0^t |\partial_t \mathbf{w}(\tau)|_{l-1}^2 d\tau \leq C \left(|\mathbf{w}_0 - \mathbf{w}^*|_l^2 + \frac{1}{\epsilon} |\pi \mathbf{w}_0|_{l-1}^2 \right), \end{aligned}$$

où π est la projecteur orthogonal sur la variété rapide \mathcal{E}^\perp . Une hypothèse de structure $\overline{\mathbf{A}}_0 \pi = \pi \overline{\mathbf{A}}_0$ vérifiée dans le cas multi-température, a simplifié les estimations a priori de certains commutateurs. Nous avons démontré rigoureusement *la convergence asymptotique vers des modèles à une seule température avec apparition d'un terme de viscosité volumique* lorsque les échanges d'énergie sont rapides *avec une estimation d'erreur du second ordre* $u_\epsilon - u_e = \mathcal{O}(\epsilon^2)$ *pour des données bien préparées* [M38] [CI41] [CI42] [C95]

Nous nous sommes ensuite intéressés à *la relaxation des fluides réactifs lorsque les temps chimiques tendent vers zéro*. Dans cette situation $\mathbf{a} = 0$ nous avons obtenu des résultats d'existence locaux en temps et globaux autour d'états d'équilibre en généralisant la théorie de Kawashima au cas des systèmes raides [M42] [CI44] [CI50] [C87]. L'hypothèse $\overline{\mathbf{A}}_0 \pi = \pi \overline{\mathbf{A}}_0$ n'est plus vérifiée pour les mélange gazeux ce qui rend plus technique l'existence locale et une idée clé pour l'existence globale est l'existence *de matrices de compensation* K telles que $K\pi = 0$.

Nous avons poursuivi notre étude des systèmes hyperboliques-paraboliques symétrisables avec des termes de relaxation rapides en s'intéressant à l'existence de solutions régulières pour *le cas de données initiales mal préparées*. Pour une famille particulière de systèmes hyperboliques-paraboliques, nous avons utilisé des *développements en temps multi-échelles qui contiennent des correcteurs de couches initiales décroissants rapidement vers zéro* de la forme

$$\mathbf{w}_\epsilon^a(\mathbf{x}, t) = \mathbf{w}_0(\mathbf{x}, t) + \epsilon \mathbf{w}_1(\mathbf{x}, t) + \mathbf{w}_0^{il}(\mathbf{x}, t/\epsilon) + \epsilon \mathbf{w}_1^{il}(\mathbf{x}, t/\epsilon),$$

où \mathbf{w} est une variable quasi-normale bien adaptée à la variété d'équilibre, $\mathbf{w}_0(\mathbf{x}, t) + \epsilon \mathbf{w}_1(\mathbf{x}, t) + \mathcal{O}(\epsilon^2)$ un développement classique de Hilbert, $\mathbf{w}_0^{il}(\mathbf{x}, t/\epsilon)$ et $\mathbf{w}_1^{il}(\mathbf{x}, t/\epsilon)$ des correcteurs de couche initiale qui convergent exponentiellement vers zéro pour $\tau = t/\epsilon \rightarrow \infty$. Les démonstrations d'existence de la solution \mathbf{w}_ϵ et les estimations d'erreur de la forme $\mathbf{w}_\epsilon - \mathbf{w}_\epsilon^a = \mathcal{O}(\epsilon^2)$ diffèrent entièrement du cas où les données initiales sont bien préparées [M44]. Ces résultats généralisent au cas hyperbolique-parabolique les résultats de Wen-An Yong pour le cas hyperbolique *et améliorent les estimations d'erreur* de $\mathcal{O}(\epsilon^{3/2})$ à $\mathcal{O}(\epsilon^2)$ grâce à des développements plus fins qui ajoutent une composante de second ordre selon la variété rapide [M44].

2.1.4 Entropies et entropies d'ordre supérieur

On s'est d'abord intéressé à la structure des entropies mathématiques—fonctions d'état du fluide ou d'ordre zéro—pour les systèmes d'équations aux dérivées partielles des fluides multi-espèces dissipatifs réactifs. Nous avons obtenu la forme générale des entropies compatibles avec la structure hyperbolique sous une hypothèse de non dégénérescence de la thermodynamique. Nous avons ensuite établi l'unicité à une transformation affine près des entropies d'ordre zéro compatibles avec la structure hyperbolique–parabolique et indépendantes des coefficients de diffusion de masse et de chaleur [M36].

Nous avons introduit par ailleurs les entropies d'ordre supérieur qui sont des *estimateurs d'entropie cinétique pour les modèles fluides*. Ces grandeurs sont suggérées par la théorie cinétique des gaz et par une interprétation entropique de la méthode de Bernstein. Pour un fluide incompressible dans \mathbb{R}^d avec une conductivité $\lambda(T)$ et une viscosité $\eta(T)$ telles que

$$\underline{a}T^\varkappa \leq \lambda/c_v \leq \bar{a}T^\varkappa, \quad \underline{a}T^\varkappa \leq \eta \leq \bar{a}T^\varkappa, \quad T^\sigma (|\partial_T^\sigma \lambda| + |\partial_T^\sigma \eta|) \leq \bar{a}_\sigma T^\varkappa, \quad \sigma \geq 1,$$

où la théorie cinétique suggère que $1/2 \leq \varkappa \leq 1$, les entropies d'ordre supérieur $\gamma^{[k]}$ sont quadratiques en les dérivées de la température T et la vitesse v

$$\gamma^{[k]} = \frac{|\partial^k T|^2}{T^{1+a_k}} + \frac{|\partial^k v|^2}{rT^{a_k}}, \quad k \geq 1,$$

avec $a_k = 1 + k(1 - 2\varkappa)$ comme suggéré par la théorie cinétique. On définit alors $\gamma^{[0]} = \frac{T-T_\infty}{T_\infty} - \log\left(\frac{T}{T_\infty}\right) + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c_v T_\infty}$ et on peut établir des inégalités entropiques de la forme

$$\partial_t \int_{\mathbb{R}^d} \left(\gamma^{[0]} + \gamma^{[1]} + \dots + \gamma^{[k]} \right) dx + \delta \int_{\mathbb{R}^d} T^{1-\varkappa} \left(\gamma^{[1]} + \gamma^{[2]} + \dots + \gamma^{[k+1]} \right) dx \leq 0,$$

lorsque

$$\|\log T\|_{BMO} + \|v/\sqrt{T}\|_{L^\infty},$$

est assez petite. On obtient dans cette situation de nouvelles estimations a priori pour des fluides incompressibles [M25] [M26] [C59]. Nous avons étudié par la suite les développements asymptotiques des entropies d'ordre supérieur de la forme $\gamma^{[0]} + \epsilon^2 \gamma^{[1]} + \dots + \epsilon^{2k} \gamma^{[k]}$ où ϵ est le nombre de Knudsen [M27].

Incidentement, nous avons établi des inégalités d'interpolation de Nirenberg avec poids d'un intérêt indépendant. Si on se donne $1 < q < \infty$, $1 < r < \infty$, $k \geq 1$ et $0 \leq j \leq k$, g un poids de la classe de Muckenhoupt $A_r \cap A_q = A_{\min(q,r)}$, et p avec

$$\frac{1}{p} = \frac{k-j}{k} \frac{1}{q} + \frac{j}{k} \frac{1}{r},$$

alors pour tout $v \in L^q(gdx)$ avec $\partial^k v \in L^r(gdx)$, la dérivée intermédiaire $\partial^j v$ est $L^p(gdx)$ et il existe une constante $\mathcal{C}(d, k, q, r, [g]_{A_q}, [g]_{A_r})$ telle que

$$\left(\int_{\mathbb{R}^d} g |\partial^j v|^p dx \right)^{\frac{1}{p}} \leq \mathcal{C} \left(\int_{\mathbb{R}^d} g |v|^q dx \right)^{\left(1 - \frac{j}{k}\right) \frac{1}{q}} \left(\int_{\mathbb{R}^d} g |\partial^k v|^r dx \right)^{\frac{j}{k} \frac{1}{r}}.$$

Pour $q = \infty$ on a $\frac{1}{p} = \frac{j}{kr}$, et si $v - v_\infty \in H^k(\mathbb{R}^d) \cap C^0(\mathbb{R}^d)$ où v_∞ est une constante alors $\partial^j v$ est dans $L^p(gdx)$ et il existe une constante $\mathcal{C}(d, k, r, [g]_{A_r})$ avec

$$\left(\int_{\mathbb{R}^d} g |\partial^j v|^{\frac{rk}{j}} dx \right)^{\frac{j}{rk}} \leq \mathcal{C} \|v\|_{BMO}^{1-\frac{j}{k}} \left(\int_{\mathbb{R}^d} g |\partial^k v|^r dx \right)^{\frac{j}{rk}}.$$

Ces inégalités jouent un rôle clé dans les estimations entropiques d'ordre supérieur.

Nous avons ensuite généralisé aux fluides compressibles les estimateurs d'entropie cinétique introduits précédemment dans un cadre incompressible. Les entropies d'ordre supérieur sont de la forme

$$\gamma^{[k]} = \rho h^{2k} \left(\frac{|\partial^k \rho|^2}{\rho^2} + \frac{|\partial^k v|^2}{T} + c_v \frac{|\partial^k T|^2}{T^2} \right),$$

où $h = 1/(T^{\frac{1}{2}-\varkappa}\rho)$ est un poids associé à la dépendance du libre parcours moyen en la densité ρ et la température T . On s'est intéressé aux principes entropiques correspondants pour des fluides compressibles dont la viscosité volumique, la viscosité de cisaillement et la conductivité thermique dépendent de la température selon la théorie cinétique des gaz. On peut alors établir des principes entropiques pour des estimateurs de la forme $\gamma^{[0]} + \gamma^{[1]} + \dots + \gamma^{[k]}$ dès lors que la quantité

$$\begin{aligned} & \|\log \rho\|_{BMO} + \left\| \frac{v}{\sqrt{T}} \right\|_{L^\infty} + \|\log T\|_{BMO} \\ & + \left\| h \frac{\partial_x \rho}{\rho} \right\|_{L^\infty} + \left\| h \frac{\partial_x v}{\sqrt{T}} \right\|_{L^\infty} + \left\| h \frac{\partial_x T}{T} \right\|_{L^\infty} + \left\| h^2 \frac{\partial_x^2 T}{T} \right\|_{L^\infty}, \end{aligned}$$

est assez petite, généralisant les résultats précédents au cas compressible [M28]. Nous avons par la suite réalisé une analyse asymptotique des entropies d'ordre supérieur des fluides compressibles de la forme $\gamma^{[0]} + \epsilon^2 \gamma^{[1]} + \dots + \epsilon^{2k} \gamma^{[k]}$ où ϵ est le nombre de Knudsen. Cette étude établit la validité de principes entropiques d'ordre supérieurs pour les faibles nombres de Mach et de Knudsen de telle sorte que l'on peut parler de persistance de l'entropie de Boltzmann au niveau fluide [M29] [CI28] [CI31] [CI34].

Nous nous sommes intéressés à l'existence de solutions faibles globales en temps aux équations de la mécanique des fluides dans la limite des faibles nombre de Mach et avec des conditions aux limites périodiques. Ces recherches ont été effectuées en collaboration avec Didier Bresch de l'Université de Savoie et Ewelina Zatorska de l'Imperial College. Didier Bresch et Benoît Desjardins ont introduit des entropies d'ordre supérieurs conduisant à l'existence globale de solutions faibles pour les équations des fluides compressibles, sous des hypothèses concernant la dépendance des viscosités en volume $\kappa(\rho)$ et cisaillement $\eta(\rho)$ en la densité ρ . Dans le même esprit, et pour des écoulement à faibles Mach, *de nouvelles entropies mathématiques ont été introduites* qui conduisent à une hydrodynamique à deux vitesses [M39]. Des résultats d'existence globale de solutions faibles ont ainsi été obtenus [M39].

2.1.5 Algèbre linéaire et systèmes singuliers

La structure mathématique des systèmes linéaires de transport—issus de systèmes d'équations de Boltzmann linéarisés—qu'il faut résoudre pour obtenir les coefficients de transport des mélanges a été extraire de nos travaux sur la théorie cinétique. Nous avons introduit ensuite les outils adéquats pour l'analyse de ces systèmes et pour la mise au point d'algorithmes itératifs.

Lors d'une étude sur les flux de diffusion multi-espèces, nous avons relié pour la première fois les matrices de diffusion D aux inverses généralisés avec noyau et image imposés. Les matrices de diffusion $D = (D_{kl})_{k,l \in S}$ sont reliées aux matrices de Stefan-Maxwell $\Delta = (\Delta_{kl})_{k,l \in S}$ de la forme

$$\Delta_{kk} = \sum_{\substack{l \in S \\ l \neq k}} \frac{x_k x_l}{D_{kl}}, \quad k \in S \quad \Delta_{kl} = -\frac{x_k x_l}{D_{kl}}, \quad k, l \in S, \quad k \neq l,$$

où x_k est la fraction molaire de la k espèce et $D_{kl} = \mathcal{D}_{kl}(p, T)$ le coefficient de diffusion binaire de la paire d'espèces (k, l) . Nous avons établi que la matrice D est l'inverse généralisé de Δ tel que $D\Delta D = D$, $\Delta D \Delta = \Delta$, $N(D) = \mathbb{R}y$ et $R(D) = y^\perp$ où $y = (y_1, \dots, y_n)^t$ est le vecteur des fractions massiques. Nous avons aussi montré que, du fait de la conservation de la masse, la plupart des algorithmes de transport rendent dégénérés les systèmes d'équations de conservation lorsque toutes les fractions massiques sont considérées comme des inconnues indépendantes. Une nouvelle formulation des flux de diffusion a été introduite pour supprimer ces singularités artificielles [M4] [A9] [C18] [C21].

Nous avons ensuite approfondi l'étude mathématique des matrices de diffusion et mis au point des algorithmes de diffusion approchés. En écrivant la matrice de Stefan-Maxwell sous la forme $\Delta = M - Z$ où $M = \text{diag}(M_1, \dots, M_n)$ et $M_k > \Delta_{kk}$, en définissant la matrice d'itération $\mathcal{T} = M^{-1}Z$ et le projecteur $P = \mathbb{I} - u \otimes y$ où $u = (1, \dots, 1)^t$ et $y = (y_1, \dots, y_n)^t$, nous avons obtenu le développement

$$D = \sum_{j \geq 0} (P\mathcal{T})^j M^{-1} P^t.$$

Le rayon spectral de $P\mathcal{T}$ est notamment strictement inférieur à l'unité, alors que celui de \mathcal{T} est l'unité du fait que Δ est singulière. *En tronquant cette série, on obtient ainsi des coefficients de diffusion approchés de précision arbitraire*—en pratique deux termes suffisent—et cette étude s'adapte au cas où certaines espèces ont une concentration nulle mutatis mutandis. Ces coefficients de diffusion approchés sont symétriques, conservent la masse et assurent une production positive d'entropie [M5] [C22].

Ces techniques itératives ont ensuite été étendues à *tous les coefficients de transport des mélanges gazeux de molécules mono-atomiques ou poly-atomiques après le développement d'une nouvelle théorie cinétique qui a fourni des systèmes linéaires de transport correctement structurés*. Ces systèmes linéaires de transport sont de la forme

$$\begin{cases} G\alpha = \beta \\ \alpha \in \mathcal{C} \end{cases} \quad (7)$$

où $G \in \mathbb{R}^{\omega, \omega}$ est symétrique semi-définie positive, $\beta \in R(G)$ et $\mathcal{C} \subset \mathbb{R}^{\omega}$ est un sous espace linéaire tel que $N(G) \oplus \mathcal{C} = \mathbb{R}^{\omega}$ de telle sorte que le problème est bien posé. Nous avons notamment mis en évidence une matrice de transport creuse notée $\text{db}(G)$, composée de diagonales de blocs de G , qui est facilement inversible et telle que $2\text{db}(G) - G$ est définie positive dès lors qu'il y a au moins trois espèces $n \geq 3$ dans le mélange. Il est par ailleurs nécessaire de résoudre ces systèmes linéaires pour évaluer les coefficients de transport à chaque point d'un maillage et à chaque instant. La convergence d'algorithmes itératifs a été déduite directement des propriétés structurelles issues du cadre cinétique, en utilisant les pseudo-inverses à image et noyau imposés et en généralisant les outils introduits pour la diffusion. Grâce à la symétrie des systèmes, nous avons également pu utiliser des algorithmes de type gradients conjugués avec la matrice de transport creuse $\text{db}(G)$ comme préconditionneur. En tronquant les séries convergentes correspondantes, on a ainsi obtenu des coefficients de transport approchés de précision arbitraire et les premiers termes de ces séries fournissent des formules explicites simples et précises. Ces résultats ont fait l'objet d'un livre synthétisant les aspects physiques, algorithmes et les tests numériques [L1] [M10] [CI10] [CI20] [C28] [C29] [C30]. Nous avons ensuite étudié de façon plus approfondies méthodes itératives projetées—introduites lors des études sur la diffusion multi-espèces—pour la résolution des systèmes linéaires singuliers sous contrainte. Nous avons incidemment obtenu une généralisation du théorème de Stein pour les matrices singulières sous la forme suivante : Une matrice \mathcal{T} est semi-convergente (ses puissances convergent mais pas nécessairement vers zéro) si et seulement si il existe deux matrices symétriques semi-définies positives A et B telles que $B = A - \mathcal{T}^t A \mathcal{T}$ et $N(A) = N(B) = N(I - \mathcal{T})$. Nous avons également obtenu une nouvelle démonstration d'un théorème de Keller sur les matrices semi-convergentes et renforcé un théorème spectral de Neumann et Plemmons sur les matrices d'itérations des systèmes singuliers [M14].

Une nouvelle théorie cinétique des mélanges gazeux ionisés fortement magnétisés a également été développée. Les matrices des systèmes linéaires à résoudre—lorsque qu'on les écrit avec soin—sont symétriques, singulières, et complexes, la partie imaginaire s'annulant avec le champ magnétique. Ces matrices sont de la forme $\mathcal{G} = G + iG'$ où $G \in \mathbb{R}^{\omega, \omega}$ est symétrique semi-définie, $G' \in \mathbb{R}^{\omega, \omega}$ est symétrique avec un noyau compatible $G'N(G) = 0$ et les systèmes à résoudre sont de la forme $\mathcal{G}\alpha = \beta$ avec $\alpha \in \mathfrak{C}$ où $\mathfrak{C} = \mathcal{C} + i\mathcal{C}$ est la complexification de $\mathcal{C} \subset \mathbb{R}^{\omega}$ complémentaire de $N(G)$. La convergence d'algorithmes itératifs standards et des méthodes de résidus orthogonaux a été établie [M30]. Les simulations numériques montrent aussi que les développements asymptotiques des matrices de diffusion convergent plus lentement lorsque le degré d'ionisation augmente. Les systèmes linéaires de transport correspondants ont donc été reformulés de façon *plus singulière* grâce à des développements d'inverses généralisés en produits tensoriels de directions conjuguées dans les cadres réel et complexe. Nous avons ainsi obtenu de très bons taux de convergence pour tous les degrés d'ionisation et indépendamment de l'intensité du champ magnétique [M32] [CI24] [CI26] [CI29] [C66] [C67] [C68] [C70].

2.1.6 Analyse numérique pour les équations des fluides réactifs

Nous avons tout d'abord approfondi et perfectionné les méthodes de continuation avec grilles adaptatives. Le reparamétrage des arcs de solutions se fait tout d'abord en considérant une projection de la solution dans un espace des phases. Dans le cas de

problèmes posés sur un intervalle, et en supposant que la condition de reparamétrage puisse être écrite en un point quelconque du maillage, nous avons introduit une méthode originale de résolution des systèmes linéaires qui supprime des singularités artificielles apparaissant dans la décomposition des systèmes bloc-tridiagonaux des équations reparamétrées. Ces nouvelles techniques ont permis de calculer des limites d’extinction par appauvrissement et enrichissement de flammes étirées hydrogène-air dont la chimie est complexe [M2] [A14] [CI1] [CI2] [CI3] [CI5] [CI6] [CI7] [C8] [C9] [C14] [T2].

Nous avons étudié diverses méthodes numériques pour le calcul de la couche limite réactive autour du nez d’Hermès lors de sa rentrée dans l’atmosphère. Une approche dite “couche de choc”, pour laquelle le choc est traité comme une frontière libre a été retenue. La distance du choc est calculée comme une valeur propre non linéaire après un changement de variable. Un modèle à plusieurs températures a également été utilisé pour tenir compte des déséquilibres thermodynamiques vibrationnels des molécules diatomiques [M7] [CI4] [C5] [C10] [C11] [C13] [C15] [C17] [C19].

Une étude a concerné les méthodes itératives utilisées pour inverser les systèmes linéaires issus de la discrétisation des équations aux dérivées partielles modélisant les écoulements réactifs en plusieurs dimensions d’espace. Ces systèmes sont en général creux, larges et non symétriques. Dans cette étude, nous avons analysé et testé les performances des algorithmes SOR, GMRES, RGMRES, CGS, Bi-CGSTAB, et des préconditionneurs, Gauss-Seidel, SSOR et ILU, lors de la résolution de problèmes de combustion [M9] [CI8]. Nous avons par ailleurs travaillé à l’utilisation optimale de l’architecture des ordinateurs parallèles/vectoriels pour le calcul des flammes. Nous avons notamment modifié la structure de bibliothèques de programmes informatiques utilisées pour l’évaluation des grandeurs aéro-thermo-chimiques dans les mélanges gazeux et une implémentation parallèle d’un code de flamme de diffusion a été réalisée [M6] [A8] [A11] [C6].

La méthode Streamline–diffusion est une méthode d’éléments finis couramment utilisée en mécanique des fluides. Cette méthode a été adaptée au cas des écoulements réactifs à faible nombre de Mach. L’absence de principe du maximum de ces méthodes, notamment sur les maillages triangulaires, a nécessité l’introduction de diffusion ‘cross-wind’. Nous avons ainsi simulé numériquement des flammes de type Bunsen avec une cinétique chimique monoréactionnelle [M21] [C45] [C50].

Un bilan de divers algorithmes mis au point pour la simulation numérique de la chimie complexe a fait l’objet d’un article dans “Images des Mathématiques”, “Modélisation de la Combustion”, publication du CNRS destinée à la diffusion de l’information scientifique et technique [M11].

2.1.7 Divers

Une analyse mathématique des équations des couches de choc autour d’un corps de rentrée a été réalisée. Dans cette approche, le choc est traité comme une frontière libre où l’on écrit des conditions du type Rankine-Hugoniot et le fluide entre le nez du véhicule et le choc est un fluide visqueux. En utilisant une formulation de type point fixe et le degré topologique de Leray-Schauder, nous avons établi que les modèles de couches de choc axisymétriques sont des modèles bien posés [M8].

Nous avons étudié la structure mathématique de la thermodynamique des fluides non idéaux—notamment les fluides supercritiques—et leur construction possible à partir d’une loi d’état. Cette étude donne une définition mathématique précise d’une

thermodynamique fluide au contraire des *axiomes flous* de Callen. On s'est également intéressé à la structure des termes sources chimiques dérivés de la mécanique statistique hors équilibre et à la notion d'équilibre chimique à haute pression. Ces résultats ont récemment été étendus [M47] pour prendre en compte l'existence d'instabilités thermodynamiques conduisant à des séparations entre phases [M33,M47].

Un bilan assez complet de nos connaissances sur la modélisation des mélanges gazeux réactifs a été effectué et a donné lieu à la publication d'un livre. Cet ouvrage présente nos recherches physiques, mathématiques et numériques sur ce sujet [L2] [A21] [A22] [CI14] [CI15] [CI16] [CI17] [CI18] [CI21] [CI22] [CI23] [C42] [C44] [C47]. Un article de synthèse a également été publié où l'on mentionne de nombreux problèmes ouverts [M34] [CI27] [CI30] [CI32] [CI33].

Dans le même esprit, Yoshikazu Giga et Antonín Novotný ont dirigé la rédaction de l'encyclopédie intitulée *Handbook of Mathematical Analysis in Mechanics of Viscous Fluids* publiée chez Springer. À leur invitation, j'ai rédigé un chapitre de synthèse sur les aspects mathématiques des fluides réactifs intitulé *Solutions for models of chemically reacting mixtures* [M41]. Une publication clarifiant les liens entre la structure symétrisable des systèmes d'équations aux dérivées partielles des mélanges fluides et leur origine cinétique a également été écrite [A28]. Ces travaux mathématiques sur les mélanges gazeux et le transport multi-espèce ont également fait l'objet de diverses conférences [CI37] [CI38] [CI45] [C79] [C80].

Une synthèse des propriétés mathématiques des modèles fluides obtenus à partir de la théorie cinétique des gaz a également été écrite [M48] [A34]. Les dérivations cinétiques sont globalement plus satisfaisantes que les dérivations de type thermodynamique mais sont notoirement plus complexes [M48] [A34].

2.1.8 Conditions aux limites pour l'équation de Boltzmann

L'interaction entre une molécule gazeuse et un cristal a été modélisée par des équations cinétiques faisant intervenir des potentiels d'interaction dus aux atomes fixes du cristal et des collisions avec un gaz de phonons représentant les fluctuations du potentiel engendrées par le mouvement des atomes du cristal. Dans une limite asymptotique où la couche de physisorption est mince on obtient une nouvelle équation cinétique dont la résolution fournit la bonne condition à la limite pour l'équation de Boltzmann dans le gaz [P23] [P24]. Le problème au limite en question est très différent des couches de Knudsen classiques utilisant une équation de Boltzmann linéarisée. Pour une couche mince de physisorption il y a un potentiel de confinement attractif-répulsif, un opérateur de relaxation associé à l'interaction gas-phonons et il n'y a pas de particules sur la surface à cause de la barrière de potentiel. Nous avons démontré l'existence et l'unicité d'une solution au problème de la couche mince de physisorbant dans un cadre fonctionnel approprié [M46]. Nous avons également introduit un schéma itératif d'approximation qui converge géométriquement vers l'unique solution [M46]. On peut ainsi obtenir les conditions aux limites pour l'équation de Boltzmann avec un schéma itératif donc les premières itérations sont remarquablement précises. Les calculs numériques ont confirmé les résultats théoriques [M46] et diverses simulations ont été réalisées concernant des écoulements fluides classiques [P25].

2.1.9 Existence de solutions pour les fluides avec interfaces diffuses

Une nouvelle démonstration de l'existence de solutions pour le système d'équations régissant les fluides de Korteweg non isothermes a été établie. L'existence locale de solutions a été obtenue dans un cadre Hilbertien grâce à *une forme symétrisée normale des équations augmentées*. Cette forme normale utilise la variable augmentée naturelle $\mathbf{w} = (\rho, \mathbf{w}, \mathbf{v}, T)^t$ où \mathbf{w} est une représentation local du gradient de densité $\mathbf{w} = \partial_x \rho$. Les composantes hyperboliques sont $\mathbf{w}_I = (\rho, \mathbf{w})^t = (\mathbf{w}'_I, \mathbf{w}''_I)^t$, avec $\mathbf{w}'_I = \rho$ et $\mathbf{w}''_I = \mathbf{w}$, et les paraboliques sont $\mathbf{w}_{II} = (\mathbf{v}, T)^t$.

La forme normale peut s'écrire

$$\bar{\mathbf{A}}_0(\mathbf{w})\partial_t \mathbf{w} + \sum_{i \in C} \bar{\mathbf{A}}_i(\mathbf{w})\partial_i \mathbf{w} - \sum_{i, j \in C} \bar{\mathbf{B}}_{ij}^d(\mathbf{w})\partial_i \partial_j \mathbf{w} - \sum_{i, j \in C} \bar{\mathbf{B}}_{ij}^c(\mathbf{w})\partial_i \partial_j \mathbf{w} = \mathbf{h}(\mathbf{w}, \partial_x \mathbf{w}), \quad (8)$$

avec $\bar{\mathbf{A}}_0$, $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^d$ et $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^c$ de la forme

$$\bar{\mathbf{A}}_0 = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{A}}_0^{1,I} & 0_{n_I, n_{II}} \\ 0_{n_{II}, n_I} & \bar{\mathbf{A}}_0^{II,II} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{B}}_{ij}^d = \begin{bmatrix} 0_{n_I, n_I} & 0_{n_I, n_{II}} \\ 0_{n_{II}, n_I} & \bar{\mathbf{B}}_{ij}^{d,II,II} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{B}}_{ij}^c = \begin{bmatrix} 0_{n_I, n_I} & \bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,I,II} \\ \bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,II,I} & \bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,II,II} \end{bmatrix},$$

où $\bar{\mathbf{A}}_0$ est symétrique définie positive, les $\bar{\mathbf{A}}_i$ sont symétriques, $(\bar{\mathbf{B}}_{ij}^d)^t = \bar{\mathbf{B}}_{ji}^d$, $i, j \in C$, et la matrice $\bar{\mathbf{B}}^{d,II,II} = \sum_{i, j \in C} \bar{\mathbf{B}}_{ij}^{d,II,II}(\mathbf{w})\xi_i \xi_j$ est définie positive pour tout ξ dans la sphère unité de \mathbb{R}^d , et les matrices $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^c$ sont telles que $(\bar{\mathbf{B}}_{ij}^c)^t = -\bar{\mathbf{B}}_{ji}^c$, les blocs $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,I,I}$ s'annulent $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,I,I} = 0$, et les blocs qui couplent fortement les variables hyperboliques et paraboliques $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,I,II}$ et $\bar{\mathbf{B}}_{ij}^{c,II,I}$ ne dépendent que de $(\mathbf{w}'_I, \mathbf{w}_{II})$ et sont donc plus réguliers. Le membre de droite $\mathbf{h}(\mathbf{w}, \partial_x \mathbf{w})$ est enfin de la forme $\mathbf{h} = (\mathbf{h}_I, \mathbf{h}_{II})^t$ avec $\mathbf{h}_I = \mathbf{h}_I(\mathbf{w}, \partial_x \mathbf{w}_{II})$ et $\mathbf{h}_{II} = \mathbf{h}_{II}(\mathbf{w}, \partial_x \mathbf{w})$.

La variable gradient de densité \mathbf{w} est une inconnue supplémentaire du système augmenté et une propriété fondamentale du système est de maintenir la contrainte physique de gradient $\mathbf{w} = \partial_x \rho$, avec des conditions aux limites compatibles, dès lors qu'elle est vérifiée au temps initial $t = 0$ avec $\mathbf{w}_0 = \partial_x \rho_0$. Ces résultats ont nécessité de nouvelles estimations a priori pour des linéarisations de (8) respectant la contrainte de gradient $\mathbf{w} = \partial_x \rho$ [M45].

De nouvelles conditions de stricte stabilité ont été introduites pour les systèmes augmentés du type hyperboliques-paraboliques-dispersifs [M49]. Des solutions globales ont été obtenues autour d'états d'équilibre et on a obtenu des résultats de stabilité asymptotiques. Les estimations obtenues avec la formulation augmentées sont analogues à celles obtenues avec la formulation originale du troisième ordre mais sont plus simples à écrire et à démontrer. Nous avons également établi la décroissance asymptotique en temps des solutions [M49]. Une extension est en cours pour des mélanges de fluides qui nécessite des outils thermodynamiques sophistiqués. Le modèle d'interface diffuse considéré est obtenu dans la situation simplifiée où les coefficients de capillarité sont identiques entre eux.

2.2. PHYSIQUE

2.2.1 Théorie cinétique des mélanges gazeux monotempératures

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la théorie cinétique isotrope semi-classique, i.e., semi-quantique, pour les mélanges de gaz mono-atomiques et poly-atomiques. Il existait en effet un formalisme général du à l'école allemande où l'on respectait les symétries naturelles mais où les calculs nécessaires n'avaient pas été réalisés et un formalisme de l'école américaine qui avait détruit complètement toutes les symétries naturelles pouvant apparaître, et notamment celle des systèmes linéaires de transport et des coefficients de transport. Nous avons donc écrit une théorie cinétique suivant le formalisme de l'école allemande, en incluant le cas des molécules non linéaires, le cas réactif, en approfondissant les structures mathématiques naturelles, et en introduisant des espaces d'approximation variationnels réduits originaux pour la résolution des équations de Boltzmann linéarisées [L1] [CI10] [CI20]. *Cette théorie cinétique qui respecte les symétries naturelles associées aux équations de Boltzmann a ouvert la porte à la symétrisation des équations macroscopiques, grâce à la symétrie des coefficients de transport, et a ouvert la porte à l'utilisation d'algorithmes itératifs performants pour la résolution des systèmes linéaires de transport grâce à leur structure.* La symétrie des coefficients résulte de la symétrie des sections de collision de telle sorte que pour les gaz on démontre les relations d'Onsager. Nous avons ensuite généralisé les résultats obtenus dans un cadre semi-classique aux cas de la mécanique classique et de la mécanique quantique lorsque le mélange gazeux est isotrope. Nous avons ainsi étendu le domaine d'application de notre théorie algorithmique du transport [P5]. Divers régimes possibles pour les équations des mélanges gazeux issues de la théorie cinétique des gaz réactifs ont également été examinés [P9] [C56] [C57]. Nous avons ensuite approfondi la théorie cinétique des mélanges gazeux réactifs en considérant une chimie arbitrairement complexe. Nous nous sommes intéressés au régime d'équilibre chimique dans les équations de Boltzmann lorsque toutes les collisions—inertes ou réactives—sont rapides et aux équations macroscopiques correspondantes. On retrouve les mêmes équations et flux que dans le régime des réactions lentes dans lesquelles on impose ensuite l'équilibre chimique macroscopique, mais pas les mêmes coefficients de transport [P7].

Nous nous sommes intéressés ensuite à *la théorie cinétique des plasmas fortement magnétisés*. Nous avons étudié les coefficients de transport ainsi que la structure des systèmes linéaires de transport correspondants. Il faut noter ici que *la présence d'un champ magnétique complique considérablement la structure des flux dissipatifs qui deviennent anisotropes*. La diffusion des espèces, par exemple, s'effectue différemment selon l'alignement des gradients avec le champ magnétique [P10]. De nouvelles propriétés de symétries des coefficients de transport perpendiculaires et transverses au champ magnétique ont ensuite été établies [P11]. *Les systèmes linéaires de transport associés à tous les coefficients ont été évalués et leur structure mathématique mise en évidence* [P11] [P12].

2.2.2 Théories cinétiques multi-températures

Nous avons généralisé dans un premier temps des résultats obtenus avec une seule température interne au cas où l'énergie des molécules peut être décomposée en plusieurs modes indépendants, ayant chacun leur température, *au voisinage de l'équilibre thermodynamique*. Pour cette nouvelle situation, nous avons décrit la structure mathématique

des systèmes linéaires de transport et développé en série tous les coefficients de transport correspondants [P4].

Une première théorie cinétique hors équilibre thermodynamique des gaz polyatomiques a ensuite été développée. Nous avons considéré le cas simplifié où les modes internes ont une température T_{in} qui peut différer de la température de translation T_{tr} . Le coefficient de viscosité volumique, absent des modèles hors-équilibre thermodynamique, réapparaît dans un régime de relaxation et on a asymptotiquement la relation fondamentale

$$\mathbf{n}k_{\text{B}}(T_{\text{tr}} - T) = -\kappa\partial_x\cdot\mathbf{v},$$

où \mathbf{n} est le nombre de particules par unité de volume, k_{B} la constante de Boltzmann, T la température d'équilibre et κ la viscosité volumique. Des simulations de type Monté-Carlo des fluctuations d'un gaz régi par les équations de Boltzmann montrent que lorsque le temps de relaxation de l'énergie interne est lent, seul le modèle macroscopique à deux températures décrit correctement le fluide. Par contre, si le temps de relaxation est assez rapide, les fluctuations sont correctement décrites avec un modèle macroscopique mono-température incluant un terme de viscosité volumique [P13] [P14] [C69] [C70] [C72]. L'intérêt du modèle cinétique est qu'il donne des flux dissipatifs macroscopiques correctement structurés et qu'il explique physiquement l'apparition de la viscosité volumique, rendant nécessaire des estimations d'erreur d'ordre deux. Nous avons ensuite généralisé ces résultats aux mélanges H/H₂ avec un régime où les échanges d'énergie de rotation sont rapides et ceux de vibration sont plus lents. Afin de tester la validité du modèle asymptotique, tous les modes quantiques de rotation-vibration de la molécule de H₂ ont été calculés ainsi que les taux d'échange entre ces états lors de collisions avec la molécule H [P15] [A25] [CI35] [C75].

Nous nous sommes aussi intéressés à la relaxation d'une population complète d'états quantiques d'un mélange de gaz polyatomiques. Chaque état quantique est considéré comme une pseudo-espèce indépendante et le modèle fluide correspondant n'a pas de terme de viscosité volumique. Dans un régime de relaxation, nous avons obtenu une estimation des écarts à l'équilibre de la population. Ces estimations sont pleinement compatibles avec les formules de viscosité volumiques des mélanges à l'équilibre. Ces résultats ont été appliqués à de l'hydrogène dans de l'hélium en tenant compte des 301 états quantiques de la molécule H₂ [A26] [C84].

Enfin nous avons étudié les mélanges gazeux polyatomiques dans lesquels les électrons ont leur propre température afin de modéliser les réacteurs de dépôt de silicium pour la fabrication de cellules photovoltaïques [P17]. Le nombre de Knudsen est pris égal à la racine carrée du rapport de masse entre les électrons et les espèces lourdes et les équations fluides ont été obtenues de même que les flux de transport et les systèmes linéaires de transport.

2.2.3 Transport multi-espèce

Cette étude a eu pour objet la structure des systèmes linéaires de transport qu'il faut résoudre afin d'évaluer les coefficients de transport des mélanges gazeux, c'est-à-dire la viscosité en volume, la viscosité de cisaillement, les matrices de diffusion, les coefficients de diffusion thermique (pour l'effet Soret) et la conductivité thermique. Ces systèmes linéaires résultent de la résolution par une méthode de Galerkin de systèmes d'équations de Boltzmann linéarisées et ont une taille proportionnelle au nombre d'espèces chim-

ique n . Ces systèmes sont de la forme (7) et la symétrie de G résulte des propriétés de symétrie des opérateurs de Boltzmann linéarisés, la positivité de G est liée à la production d'entropie, le noyau de G est lié aux invariants de collision, le caractère bien posé résulte de l'orthogonalité des espaces variationnels d'approximation et des invariants de collisions, et la définie positivité de $2\text{db}(G) - G$ résulte du fait que si $n \geq 3$ il n'existe pas d'anti-invariant de collisions [L1] [M10] [CI10] [CI20] [C28] [C29] [C30].

Diverses extensions ont été réalisées avec notamment l'introduction d'un cadre variationnel qui permet l'évaluation de la conductivité thermique et des rapports de diffusion thermique d'un mélange sans calculer au préalable la conductivité thermique partielle et les coefficients de diffusion thermique [P1], l'utilisation de sous-espaces variationnels de dimension réduite motivés par la physique pour l'évaluation de la viscosité volumique des mélanges gazeux polyatomiques [P2], l'étude des coefficients de diffusion thermique dans les écoulements très dilués [P3], ou encore l'optimisation des algorithmes de transport pour le calcul des flammes bi-dimensionnelles [P6] [C35]. Nous avons enfin écrit une librairie d'évaluation des coefficients de transport distribuée à tous les utilisateurs universitaires <http://www.cmap.polytechnique.fr/www.eglib/>. Les algorithmes correspondants sont présentés dans diverses publications [P8] [A24] [CI11] [CI12] [C38] [C40].

Nous avons aussi écrit un article de synthèse sur la diffusion dans les mélanges réactifs à haute pression. A haute pression, les effets des non-idéalités sont fondamentaux en particulier en présence d'instabilités thermodynamiques. Cet article de synthèse s'intéresse également aux modèles traversant les instabilités, notamment les modèles d'interfaces diffuses qui passent continument d'un régime souscritique à une régime supercritique [A27] [P16] [CI49] [CI52]

2.2.4 Interaction entre un mélange gazeux et un cristal

La physico-chimie de l'interaction entre un gaz et une surface est d'un intérêt considérable pour de nombreuses applications comme la rentrée atmosphérique, la combustion, la catalyse, l'évaporation ou le dépôt chimique. Dans cette opération de recherche, l'interaction entre une molécule gazeuse et un cristal est modélisée par des équations cinétiques faisant intervenir des potentiels d'interaction dus aux atomes fixes du cristal et des collisions avec un gaz de phonons représentant les fluctuations du potentiel engendrées par le mouvement des atomes du cristal. Nous avons aussi introduit un modèle cinétique de l'adsorption tenant compte pour la première fois de molécules chimisorbées. Nous avons établi que la production d'entropie cinétique est positive, obtenu la structure du physisorbat et du chimisorbat et retrouvé les conditions aux limites fluides classiques pour les phénomènes d'adsorption. Ces conditions aux limites n'avaient été obtenues jusqu'à présent que de façon empirique. A l'équilibre entre gaz/physisorbat et chimisorbat on retrouve les isothermes classiques de Langmuir [P19] [A29] [C88] [C92].

Une généralisation de l'étude précédente au cas d'une chimie de surface arbitrairement complexe et de molécules polyatomiques a été conduite. En utilisant une méthode de Chapman-Enskog généralisée et un changement d'échelle fluide, nous avons retrouvé les conditions aux limites fluides pour un mélange gazeux au contact d'une paroi réactive. Ces conditions aux limites relient les flux des espèces gazeuses et la dynamique des espèces chimisorbées à la chimie de surface. Des conditions aux limites d'ordre supérieur conduisent par ailleurs à de la diffusion multispèce surfacique et le cas de l'adsorption multisite a également été étudié [A31] [P20].

2.2.5 Théorie cinétique et interfaces diffuses

Les modèles d'interfaces diffuses permettent de représenter continûment les zones de transition entre diverses phases d'un fluide. Ces modèles sont particulièrement intéressants pour la simulation numérique d'interfaces dont la géométrie est complexe ou pour étudier les transitions entre des régimes souscritique et supercritique. Les équations des fluides monoespèces avec interfaces diffuses—dits aussi fluides cohésifs ou capillaires ou de Korteweg—font intervenir une énergie additionnelle quadratique en les gradients due à van der Waals, le tenseur de Korteweg, et le flux de chaleur de Dunn-Serrin. Nous avons dérivé pour la première fois les équations des fluides monoespèces avec interfaces diffuses non isothermes à partir de la théorie cinétique des gaz denses et de la hiérarchie BBGKY [P21].

2.2.6 Théorie cinétique et équations de Cahn-Hilliard

Les équations de type Cahn-Hilliard qui régissent les mélanges fluides avec interfaces diffuses ont été généralement obtenues *empiriquement* ou à partir de considérations thermodynamiques *ambiguës*. Nous avons dérivé pour la première fois ces équations à partir de la théorie cinétique des mélanges de gaz denses et de la hiérarchie BBGKY correspondante, généralisant les résultats déjà obtenus pour les fluides monoespèces et les fluides de Korteweg [P22] [A32].

Les deux idées principales ont été la simplification des distributions de paires d'espèces issues de la théorie de Bogoliubov ainsi que l'utilisation de développements de Taylor d'ordre plus élevés pour évaluer les contributions non locales dans le tenseur de pression, l'énergie interne, le flux de chaleur et les équations de Boltzmann linéarisées [P22]. Ces équations, dont les inconnues sont les densités partielles des espèces, la vitesse fluide du mélange et la température sont nouvelles et n'avaient donc jamais été écrites correctement [P22] [A32].

2.2.7 Conditions aux limites pour l'équation de Boltzmann

Nous avons repris le modèle physique d'interaction gaz-paroi étudié précédemment avec un changement d'échelle de type cinétique et non plus fluide. Nous avons ainsi pu étudier les conditions aux limites pour l'équation de Boltzmann issues de modèles cinétiques fins d'interaction gas-paroi. Les conditions aux limites correctes ont été déduites pour la première fois à partir d'un modèle cinétique physique et non plus déduites phénoménologiquement [P23] [P24] [P25]. Les conditions aux limites peuvent être obtenues avec un schéma itératif dont les premières itérations sont remarquablement précises [P24] [P25].

2.3. APPLICATION DES MATHÉMATIQUES

2.3.1 Extinction de flammes

Une première étude concerne les limites d’extinction par étirement de flammes prémélangée dans un écoulement à point d’arrêt avec une chimie simple. Pour une paroi catalytique et adiabatique, en utilisant la méthode des développements asymptotiques raccordés, nous avons décrit les différentes structures de flammes en fonction des taux d’étirement et déterminé les limites d’extinction qui sont des points de retournement [F1] [A1] [C2] [C3] [C4]. L’utilisation de méthodes de continuation a permis le calcul des limites d’extinction par étirement des flammes dans un écoulement à point d’arrêt symétrique [F2] [A2] [A3],

Le développement de nouveaux algorithmes de continuation avec grilles adaptatives a permis *le calcul de limites d’extinction avec des fronts de flammes raides, une chimie complexe et un transport détaillé*. Ces travaux ont tout d’abord nécessité l’implémentation et l’optimisation de logiciels d’écriture automatique de grandeurs thermochimiques dans un mélange gazeux. De nombreuses limites d’extinction ont pu être calculées avec notamment l’extinction par étirement de flammes jumelles prémélangées d’hydrogène-air et méthane-air [F3] [A4] [A5] [A6], l’extinction de flammes propane-air à cinétique chimique complexe dans un contre courant de produits de combustion [F4] [A7] [C7], l’extinction des flammes tubulaires de méthane [A10] [A12] [A13] [C12] [C16], l’extinction de flammes planes [F9] [C23], et enfin les limites d’extinction de flammes étirées de méthane en rotation et de flammes étirées de diffusion hydrogène-air [F11] [A15]. Une étude analytique et numérique de flammes sphériques hydrogène-air a aussi été réalisée. Ces flammes peuvent être observées en apesanteur. Les simulations numériques ont permis de déterminer la structure détaillée de ces flammes ainsi que leurs limites d’extinction riches et pauvres [F10].

2.3.2 Structure de flammes

La simplification des schémas réactionnels présente un intérêt considérable pour de nombreuses applications. Des outils informatiques facilitant la simplification des cinétiques chimiques ont été réalisés. Une étude de schémas semi-globaux de combustion du propane a été menée à bien [F5] [F6] [F7] [A16] [C20] [C25].

En utilisant des algorithmes spécifiques nous avons calculé des structures de flammes bidimensionnelles avec une chimie et un transport complexe. Ces calculs ont permis une description fine de l’interaction fluide/chimie avec des applications aux modèles de flammelettes utilisés en combustion turbulente [F8] [C24] [C26]. Une nouvelle méthode Streamline-diffusion adaptée au cas des écoulements réactifs à faible nombre de Mach a été appliquée avec succès aux flammes de type Bunsen dont la chimie est complexe en utilisant les outils d’estimation d’erreur a posteriori pour l’adaptation des maillages non structurés [F17].

Nous avons étudié l’impact de divers coefficients de transport sur des structures de flammes et notamment de la diffusion thermique des espèces—la diffusion de masse due aux gradients de température. Nous avons notamment étudié l’impact du transport sur des flammes multi-dimensionnelles axisymétriques hydrogène-air pauvres et riches ainsi que des structures de flammes méthane-air [F14] [A17] [C39]. Nous avons également considéré l’impact du transport sur les limites d’extinction de flammes planes et de flammes étirées symétriques d’hydrogène-air et de méthane-air [F15]. Enfin, nous

avons étudié l'impact de la diffusion thermique sur la concentration des suies dans des flammes d'éthylène. Des simulations numériques de flammes de diffusion laminaires axisymétriques ont été réalisées avec une chimie détaillée à 66 espèces et un modèle de suies sectionnel de sphéroïdes qui comporte 20 sections dont les masses sont réparties logarithmiquement. Pour certaines concentrations d'éthylène, la distribution des suies est quantitativement et *qualitativement* différente lorsque l'on tient compte de l'effet Soret pour les précurseurs des suies, en accord avec les mesures expérimentales [A23] [C62] [C63] [C64].

2.3.3 Épitaxie

Des simulations tridimensionnelles d'un réacteur de dépôt Ga(CH₃)₃-AsH₃ ont été effectuées avec une chimie complexe en phase gazeuse et en phase hétérogène pour la production de l'arséniure de Gallium GaAs. Une formulation de type vitesse-tourbillon a été utilisée pour les variables hydrodynamiques avec une discrétisation en différences finies. Divers algorithmes pour l'évaluation des coefficients de diffusion thermiques ont d'autre part été comparés [F12] [CI9] [C27] [C36]. Divers régimes opératoires ont été également mis en évidence selon la température surfacique du cristal. Nous avons également effectué une étude de sensibilité pour le schéma réactionnel surfacique [F13].

Une étude en collaboration avec le laboratoire PICM *Physique des Interfaces et Couches Minces* concerne la modélisation et la simulation numérique du dépôt de silicium lors de la fabrication de cellules photovoltaïques. L'enjeu environnemental est très important et les réacteurs de dépôt font intervenir des cinétiques chimiques complexes pour la décomposition du Silane SiH₄ et la formation de chaînes Si_nH_m. Il intervient également l'ionisation des espèces, des déséquilibres thermodynamiques, et des champs électriques rapidement oscillants. Une dérivation des équations à partir de la théorie cinétique des gaz a été obtenue [P17]. Le modèle a été couplé à une équation cinétique décrivant les poussières de silane qui a été discrétisée par une méthode sectionnelle. Les simulations numériques de réacteurs avec une chimie complexe et avec les poussières ont été réalisées [F30] [A30] [C89].

De nouvelles simulations ont été réalisées avec une chimie plus fine en phase gazeuse et sur la paroi ainsi qu'avec un découplage des temps rapides et lents pour les molécules gazeuses et les poussières. Le rôle fondamental des ions H₃⁺ a été mis en évidence [F32].

2.3.4 Brouillard de gouttelettes et fluides supercritiques

On s'est intéressé à la structure de flammes étirées diphasiques obtenues en brûlant un brouillard de gouttelettes qui conduisent à de nombreux problèmes mathématiques et numériques. Diverses représentations de la fonction de distribution des gouttes, qui est régie par une équation de type Boltzmann, ont été étudiées [A18] [A20] [CI19] [C43] [C48]. Nous nous sommes aussi intéressés à la structure et aux limites d'extinction des flammes étirées obtenues par la combustion d'un brouillard de gouttelettes et à l'impact du transport multi-espèce et de l'effet Soret qui intervient en phase gazeuse ainsi que dans les phénomènes d'évaporation [F16] [C46] [C52].

Un logiciel de simulation numérique directe d'écoulements réactifs à faibles nombres de Mach a été couplé à un module de suivi de gouttelettes dans un domaine bi-périodique. Nous avons ainsi simulé numériquement l'évaporation d'un brouillard de gouttelettes dans un mélange turbulent. Nous avons notamment montré qu'en deux

dimensions d'espace les gouttes ont tendance à se concentrer hors des structures tourbillonnaires ce qui conduit à un ralentissement du processus d'évaporation [A19] [C49].

Les fluides supercritiques interviennent dans les moteurs de la fusée Ariane. Pour de tels fluides, on ne peut plus distinguer d'état liquide et gazeux et il n'existe plus qu'un seul état de type fluide. Un modèle de fluide dense a été utilisé pour calculer des structures de flammes planes transcritiques H₂-Air et H₂-O₂ F21] [C65]. Nous avons aussi étudié la structure et les limites d'extinction des flammes étirées de diffusion H₂-O₂ transcritiques [F23] [C74]. Nous avons enfin étudié des couches de mélange au voisinage de limites de stabilité thermodynamique de type chimique où la diffusion disparaît. Les simulations numériques montrent que les modèles de diffusion idéaux sont inaptes à décrire la physique de la diffusion au voisinage de ces points d'instabilités [F29] [C78].

2.3.5 Impact de la viscosité volumique

L'approximation de Stokes est couramment utilisée pour la modélisation des fluides compressibles et consiste à négliger la viscosité volumique κ en supposant que le rapport κ/η est petit devant l'unité, η désignant la viscosité de cisaillement. Cette approximation *est totalement erronée* car la théorie cinétique et les mesures expérimentales indiquent que ce rapport κ/η est toujours d'ordre unité—voire plus grand—pour les gaz polyatomiques. *Une analyse des équations fluides montre que le succès de l'approximation de Stokes est du en fait à la structure du terme $\nabla \cdot ((\kappa \nabla \cdot v)I)$.* Pour les faibles Mach par exemple, dans une flamme d'hydrogène, κ n'est pas négligeable, $\nabla \cdot v$ non plus, mais le terme $\nabla \cdot ((\kappa \nabla \cdot v)I)$ est un gradient et a donc une influence négligeable sur la structure de flamme car il peut être regroupé avec la perturbation hydrodynamique de la pression qui est un multiplicateur de Lagrange. Nous nous sommes donc intéressés à l'impact de la viscosité volumique lors de l'interaction entre une onde de choc et une bulle d'hydrogène. Ces travaux ont été poursuivis en étudiant l'impact de la viscosité volumique dans des couches cisillées réactives tri-dimensionnelles. *La théorie et les simulations numériques démontrent l'importance de la viscosité volumique pour ces écoulements rapides* [F20] [F30] [CI25] [C58] [C61] [C68] [C69] [C70] [CI55].

Un bilan complet sur l'origine de la viscosité volumique, les systèmes de relaxation associés, les résultats de nature mathématique associés et son impact en mécanique des fluides a été effectué [F33].

2.3.6 Interfaces diffuses

Les modèles d'interfaces diffuses sont couramment utilisés pour la simulation des fluides diphasiques dans le régime souscritique. Dans le domaine supercritique il n'y a plus bien sûr d'interfaces réelles et elles sont remplacées par des zones de forts gradients de la densité volumique. Les modèles d'interfaces diffuses peuvent donc être avantageusement utilisés pour la simulation de fluides traversant la frontière critique. Nous nous sommes ainsi intéressés aux modèles du type second gradient de Van der Waals/Korteweg transcritiques. Nous avons simulé des fronts d'évaporation d'oxygène ainsi que des flammes entre de l'oxygène froid et dense et de l'hydrogène de type gazeux avec des modèles de type Van der Waals/Korteweg. Ces modèles ont nécessité une reformulation 'thermodynamique' des flux multi-espèces ainsi que la prise en compte de la condensation de la vapeur d'eau au contact de l'oxygène liquide [F28] [CI47] [CI53] [C86] [C90] [C94].

De nouvelles simulations ont déjà été réalisées pour des mélanges d'éthane et d'azote dans le cadre de l'ANR INSIDE portée par Guillaume Ribert du laboratoire CORIA de Rouen. Les courbes de points critiques obtenues sont en bon accord avec les mesures expérimentales [M47].

2.3.7 Divers

Les propulseurs à poudre d'Ariane sont une source de problèmes mathématiques, physiques et numériques. On s'est intéressé à la structure de flammes monodimensionnelles comportant une phase solide et une phase gazeuse. Les simulations numériques effectuées ont permis de mettre en évidence une structure multi-échelles ainsi que des limites d'extinction à basse pression [F18] [C53]. Nous avons par ailleurs passé en revue différents problèmes issus des modèles de combustion comprenant une phase solide et une phase gazeuse comme dans les propulseurs P230 de la fusée Ariane [F19] [C60]. Nous nous sommes ensuite intéressés à la stabilité des flammes de combustibles solides dont la cinétique chimique est complexe. Une nouvelle thermodynamique de la phase solide et de nouvelles lois d'interface ont été introduites [F22] [C71] [C73]. Enfin nous avons étudié les flammes instationnaires de combustibles solides intervenant dans le moteur d'Ariane. La phase solide est thermoélastique, la phase gazeuse est régie par les équations des mélanges gazeux réactifs compressibles et des réactions chimiques complexes ont également lieu à l'interface. Ce modèle permet notamment la propagation d'ondes acoustiques dans le mélange gazeux et d'ondes élastiques dans le solide [F24] [C73]. L'importance de la conservativité dans les modèles fluides-particules a également été mise en évidence en simulant la synthèse de particules de dioxyde de titane TiO_2 dans les flammes [F31]. La combustion de gouttes d'aluminium a également été simulée numériquement des chimies gazeuse et hétérogène complexes [C93].

Les jets des moteurs fusées génèrent des plasmas dans l'atmosphère et la haute atmosphère. Nous nous sommes intéressés à la modélisation et la simulation numérique de ces plasmas. On a utilisé à cette fin un modèle de diffusion ambipolaire et une chimie complexe d'ionisation par des sels de potassium, de sodium et de chlore. Les schémas numériques et les matrices jacobiennes ont du être adaptés pour garantir la contrainte de conservation de la charge électrique [F25]. Nous avons également étudié l'impact du transport d'espèces ionisées dans un réacteur pour le dépôt de silicium [P18].

Lors d'une crise majeure dans un réacteur nucléaire, de l'hydrogène est produit et stocké dans la cuve de confinement. Afin d'empêcher cet hydrogène de s'enflammer, voire de détonner, des recombineurs catalytiques passifs sont installés dans les cuves. Ces recombineurs transforment l'hydrogène en vapeur d'eau à température ambiante grâce à des réactions surfaciques catalysées par le platine et le palladium. Un modèle bidimensionnel avec une chimie complexe en phase gazeuse et en phase hétérogène a été utilisé pour étudier l'effet d'appauvrissement en oxygène sur le fonctionnement des recombineurs et les comparaisons expérimentales sont très satisfaisantes [F27].

Scholarpedia est une encyclopédie du type *Wikipedia* mais dont les articles sont écrits par des spécialistes et signés. Les articles doivent être concis et donner les références les plus importantes aux lecteurs voulant approfondir le sujet. A l'invitation de *Scholarpedia* j'ai rédigé un article sur la modélisation des mélanges fluides qui a déjà été visualisé plus de 50000 fois [F26]. Ces travaux sur les mélanges gazeux et le transport multi-espèce issus de la théorie cinétique ont également fait l'objet de conférences [A28] [CI40] [CI43] [C82] [C85].

3. PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Les articles ont été séparés par familles scientifiques *Mathématiques, Physique et Applications des mathématiques aux fluides réactifs* pour plus de clarté. Les deux livres appartiennent aux trois familles thématiques selon les chapitres.

3.1. LIVRES

- [L1] A. Ern and V. Giovangigli, *Multicomponent Transport Algorithms*, Lecture Notes in Physics, New Series “Monographs”, **m 24**, 1994.
- [L2] V. Giovangigli, *Multicomponent Flow Modeling*, Birkhäuser Boston, MESST Series, 1999.

3.2 ARTICLES DE MATHÉMATIQUES

- [M1] V. Giovangigli, *Aspects mathématiques d’un modèle de flamme simple*, Comptes Rendus de l’Académie des Sciences, Série II, **294**, 1982, p. 1061–1064.
- [M2] V. Giovangigli and M. Smooke, *Adaptive Continuation Algorithms with Application to Combustion Problems*, Appl. Numer. Math., **5**, 1989, p 305–331
- [M3] V. Giovangigli, *Non Adiabatic Plane Laminar Flames and their Singular Limits*, SIAM J. on Mathematical Analysis, **21**, 1990, p 1305–1325.
- [M4] V. Giovangigli, *Mass Conservation and Singular Multicomponent Diffusion Algorithms*, IMPACT Comput. Sci. Eng., **2**, 1990, p 73–97.
- [M5] V. Giovangigli, *Convergent Iterative Methods for Multicomponent Diffusion*, IMPACT Comput. Sci. Eng., **3**, 1991, p 244–276.
- [M6] M. Smooke and V. Giovangigli, *Numerical Modeling of Axisymmetric Laminar Diffusion Flames by a Parallel Boundary Value Method*, Int. J. Supercomp. Appl., **5**, 1991, p 34–49.
- [M7] B. Laboudigue, V. Giovangigli and S. Candel, *Numerical Solution of a Free-Boundary Problem in Hypersonic Flow Theory : Nonequilibrium Viscous Shock Layers*, J. Comp. Phys., **102**, 1992, p 297–309.
- [M8] V. Giovangigli, *An Existence Theorem for a Free-Boundary Problem of Hypersonic Flow Theory*, SIAM J. Math. Anal., **24**, 1993, p 571–582.
- [M9] A. Ern, V. Giovangigli, Keyes D. and M. Smooke, *Towards Polyalgorithmic Linear System Solvers for Nonlinear Elliptic Problems*, SIAM J. Sci. Stat. Comp., 1994, p 681–703.
- [M10] A. Ern and V. Giovangigli, *Fast and Accurate Multicomponent Property Evaluations*, J. Comp. Physics, **120**, 1995, pp. 105–116.
- [M11] V. Giovangigli, *Modélisation Numérique de la Chimie Complexe*, Images des Mathématiques, Modélisation de la Combustion, Publication du CNRS, 1996, pp. 67–76.
- [M12] V. Giovangigli and M. Massot, *Les mélanges Gazeux Réactifs, (I) Symétrisation et Existence Locale*, C. R. Acad. Sci. Paris, **323**, Série I, 1996, pp. 1153–1158.
- [M13] V. Giovangigli and M. Massot *Les mélanges Gazeux Réactifs, (II) Stabilité Asymptotique des états d’équilibres*, C. R. Acad. Sci. Paris, **323**, Série I, 1996, pp. 1207–1212.
- [M14] A. Ern and V. Giovangigli, *Projected Iterative Algorithms with Application to Multicomponent Transport*, Linear Algebra and its Applications, **250**, 1997, pp. 289–315.
- [M15] V. Giovangigli and M. Massot, *Asymptotic Stability of Equilibrium States for Multicomponent Reactive Flows*, Mathematical Models & Methods in Applied Science, **8**, 1998, pp. 251–297.

- [M16] V. Giovangigli, *Flames Planes avec Transport Multi-espèce et Chimie Complexe*, C. R. Acad. Sci. Paris, **326**, Série I, 1998, pp. 775–780.
- [M17] V. Giovangigli and M. Massot, *The Local Cauchy Problem for Multicomponent Reactive Flows in Full Vibrational Nonequilibrium*, Math. Meth. Appl. Sci., **21**, (1998), pp. 1415–1439.
- [M18] J. Audounet, V. Giovangigli and J. M. Roquejoffre, *A Threshold Phenomenon in the Propagation of a Point Source Initiated Flame*, Physica D, **121**, (1998), pp. 295–316.
- [M19] V. Giovangigli, *Plane Flames with Multicomponent Transport and Complex Chemistry*, Math. Mod. Meth. Appl. Sci., **9**, (1999), pp. 337–378.
- [M20] V. Giovangigli and M. Massot, *Entropic Structure of Multicomponent Reactive Flows with Partial Equilibrium Reduced Chemistry*, Math. Meth. Appl. Sci., **27**, (2004), pp. 739–768.
- [M21] E. Burman, A. Ern and V. Giovangigli, *An Adaptive Finite Element Method with Crosswind Diffusion for Low Mach, Steady, Laminar Combustion*, J. Comp. Phys., **188**, (2003), pp. 472–492.
- [M22] V. Giovangigli and B. Graille, *Asymptotic Stability of Equilibrium States for Ambipolar Plasmas*, Math. Mod. Meth. Appl. Sci., **14**, (2004), pp. 1361–1399.
- [M23] V. Giovangigli and B. Graille, *The Local Cauchy Problem for Ionized Magnetized Reactive Gas Mixtures* Math. Meth. Appl. Sci., **28**, (2005), pp. 1647–1672.
- [M24] V. Giovangigli and B. Graille, *Le Problème de Cauchy Local pour les Plasmas Dissipatifs*, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I, **340**, (2005), pp. 119–124.
- [M25] V. Giovangigli, *Entropies d’Ordre Supérieur* C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I, **343**, (2006), pp. 179–184.
- [M26] V. Giovangigli, *Higher Order Entropies*, Arch. Rat. Mech. Anal., **187**, (2008), pp. 221–285.
- [M27] V. Giovangigli, *Asymptotics of Higher Order Entropies* ESAIM Proceedings, **18**, (2007), pp. 99–119.
- [M28] V. Giovangigli, *Higher Order Entropies for Compressible Fluid Models*, Math. Mod. Meth. Appl. Sci., **19**, (2009), pp. 67–125.
- [M29] V. Giovangigli, *Persistence of Boltzmann Entropy in Fluid Models*, Disc. Cont. Dyn. Syst., **24**, (2009), pp. 95–114.
- [M30] V. Giovangigli and B. Graille, *Projected Iterative Algorithms for Complex Symmetric Systems Arising in Magnetized Transport*, Lin. Alg. App., **430**, (2009), pp. 1404–1422.
- [M31] V. Giovangigli and B. Tran, *Mathematical Analysis of a Saint-Venant Model with Variable Temperature*, Math. Mod. Meth. Appl. Sci., **20**, (2010), pp. 1251–1297.
- [M32] V. Giovangigli, *Multicomponent Transport Algorithms for Partially Ionized Plasmas*, J. Comp. Phys. **229**, (2010), pp. 4117–4142.
- [M33] V. Giovangigli and L. Matuszewski *Supercritical Fluid Thermodynamics from Equations of States*, Physica D, **241**, (2012), pp. 649–670.
- [M34] V. Giovangigli, *Multicomponent Flow Modeling*, Science China Mathematics, **55**, (2012), pp. 285–308.
- [M35] V. Giovangigli and L. Matuszewski, *Mathematical Modeling of Supercritical Multicomponent Reactive Fluids*, Math. Mod. Meth. App. Sci., **23**, (2013), pp. 2193–2251.
- [M36] V. Giovangigli and L. Matuszewski, *Structure of Entropies in Dissipative Multicomponent Fluids*, Kin. Rel. Mod., **6**, (2013), pp. 373–406.

- [M37] V. Giovangigli and W. A. Yong, *Volume Viscosity and Fast Internal Energy Relaxation : Symmetrization and Chapman-Enskog Expansion*, *Kin. Rel. Models*, **8**, (2015), pp. 79–116.
- [M38] V. Giovangigli and W. A. Yong, *Volume Viscosity and Fast Internal Energy Relaxation : Error estimates*, *Nonlinear Analysis : Real World Applications*, **43**, (2018) pp. 213–244.
- [M39] D. Bresch, V. Giovangigli and E. Zatorska, *Two-velocity hydrodynamics in fluid mechanics: Part I Well Posedness for Zero Mach Number Systems*, *J. Math. Pures App.*, **104**, (2015) pp. 762–800.
- [M40] V. Giovangigli, M. Pokorný and E. Zatorska, *On the Steady Flow of Reactive Mixtures*, *Analysis*, **35**, (2015) pp. 319–341.
- [M41] V. Giovangigli, *Solutions for Models of Chemically Reacting Mixtures*, *Handbook of Mathematical Analysis in Mechanics of Viscous Fluids*, Y. Giga and A. Novotný eds., Springer (2018), pp. 2979–3030.
- [M42] V. Giovangigli and W. A. Yong, *Asymptotic Stability and Relaxation for Fast Chemistry Fluids*, *Nonlinear Analysis*, **159**, (2017), pp. 208–263.
- [M43] V. Giovangigli and W. A. Yong, *Erratum: “Volume Viscosity and Fast Internal Energy Relaxation : Symmetrization and Chapman-Enskog Expansion”*, *Kin. Rel. Models*, **9**, (2016), pp. 813–813.
- [M44] V. Giovangigli, Z.B. Yang and W.-A. Yong, *Relaxation Limit and Initial Layer for a Class of Hyperbolic-Parabolic Systems*, *SIAM J. Math. Anal.*, **50**, (2018), pp. 6455–4697.
- [M45] V. Giovangigli, Y. Le Calvez, and F. Nabet, *Symmetrization and Local Existence of Strong Solutions for Diffuse Interface Fluid Models*, *J. Math. Fluid Mech.*, **25**, (2023), 82.
- [M46] K. Aoki, V. Giovangigli, F. Golse and S. Kosuge, *The Physisorbate-Layer Problem Arising in Kinetic Theory of Gas-Surface Interaction*, *J. Stat. Mech.*, **191** 53 (2024).
- [M47] V. Giovangigli, Y. Le Calvez, and G. Ribert, *Multicomponent Thermodynamics with Instabilities and Diffuse Interfaces Fluids*, Special Issue, *Accurate and Efficient Numerical Methods for the Multi-Component Partial Differential Equations including the Phase-Field Models*, Editor: Junseok Kim, AIMS Mathematics, 9 25979–26034 (2024).
- [M48] V. Giovangigli, *Mathematical Modeling of Fluids from the Kinetic Theory*, Chapter 3 in *New Perspectives in Mathematical Fluid Mechanics*, M. Bulíček, E. Feireisl, J. Málek and M. Pokorný editors, Nečas Center Series, Springer Berlin (in press) (2025).
- [M49] V. Giovangigli, *Asymptotic stability of Equilibrium States for Cohesive Fluids*, (submitted for publication) (2025).

3.3 ARTICLES DE PHYSIQUE

- [P1] A. Ern and V. Giovangigli, *Thermal Conduction and Thermal Diffusion in Dilute Polyatomic Gas Mixtures*, *Physica-A*, **214**, 1995, pp. 526–546.
- [P2] A. Ern and V. Giovangigli, *Volume viscosity of Dilute Polyatomic Gas Mixtures*, *Eur. J. Mech., B/Fluids*, **14**, 1995, pp. 653–669.
- [P3] A. Ern and V. Giovangigli, *On the Evaluation of Thermal Diffusion Coefficients in Chemical Vapor Deposition Processes*, *J. Chem. Vap. Dep.*, **3**, 1994, pp. 3–31.
- [P4] A. Ern and V. Giovangigli, *Kinetic Theory of Dilute Gas Mixtures with Independent Energy Modes near Equilibrium*, *Physica-A*, **224**, 1996, pp. 613–625.
- [P5] A. Ern and V. Giovangigli, *The Structure of Transport Linear Systems in Dilute Isotropic Gas Mixtures*, *Phys. Rev. E*, **53**, 1996, pp. 485–492.

- [P6] A. Ern and V. Giovangigli, *Optimized Transport Algorithms for Flame Codes*, Comb. Sci. Tech., **118**, 1996, pp. 387–395.
- [P7] A. Ern and V. Giovangigli, *The Kinetic Equilibrium Regime*, Physica-A, **260**, (1998), pp. 49–72.
- [P8] A. Ern and V. Giovangigli, *Multicomponent Transport*, Letter to the Editor, A.I.A.A. J. Thermo. Heat Transfer, **14**, (2000), pp. 119–120.
- [P9] A. Ern and V. Giovangigli, *Kinetic Theory of Reactive Gas Mixtures with Application to Combustion*, J. Transp. Theory Stat. Phys., **32**, (2003), pp. 657–677.
- [P10] V. Giovangigli and B. Graille, *Kinetic Theory of Partially Ionized Reactive Gas Mixtures*, Physica A, **327**, (2003), pp. 313–348.
- [P11] V. Giovangigli and B. Graille, *Kinetic Theory of Partially Ionized Reactive Gas Mixtures II*, J. Phys. A, **42**, (2009), 025503.
- [P12] V. Giovangigli, B. Graille, T. Magin, and M. Massot *Multicomponent Transport in Weakly Ionized Mixtures*, Plasma Sources Science and Tech., **19**, (2010), 034002.
- [P13] D. Bruno and V. Giovangigli, *Relaxation of Internal Temperature and Volume Viscosity*, Physics of Fluids, **23**, (2011), 093104.
- [P14] D. Bruno and V. Giovangigli, *Erratum: Relaxation of Internal Temperature and Volume Viscosity*, Physics of Fluids, **25**, (2013), 039902.
- [P15] D. Bruno, F. Esposito, and V. Giovangigli, *Relaxation of Rotational-Vibrational Energy and Volume Viscosity in H-H₂ Mixtures*, J. Chem. Physics, **138**, (2013), 084302.
- [P16] P. Gaillard, V. Giovangigli and L. Matuszewski, *Multicomponent Transport in High Pressure Flows*, in High Pressure Flows for Propulsion Applications, J. Bellan ed., Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol 260, American Institute of Aeronautics & Astronautics, (2020), pp. 485–529.
- [P17] J.-M. Orlac’h, V. Giovangigli, T. Novikova, and P. Roca y Cabarrocas, *Kinetic theory of two-temperature polyatomic plasmas*, Physica A, **494**, (2018), pp. 503–546.
- [P18] J.-M. Orlac’h, V. Giovangigli, T. Novikova, E. Johnson and P. Roca y Cabarrocas, *Impact of charged species transport coefficients on self-bias voltage in an electrically asymmetric RF discharge*, Plasmas Sources Sci. Tech., **28**, (2019), 055003.
- [P19] K. Aoki and V. Giovangigli, *A Kinetic Model of Adsorption on Crystal Surfaces*, Phys. Rev. E, **99**, (2019), 052137.
- [P20] K. Aoki and V. Giovangigli, *Kinetic Theory of Chemical Reactions on Crystal Surfaces*, Physica A, **565**, (2021) 125573.
- [P21] V. Giovangigli, *Kinetic Derivation of Diffuse-Interface Fluid Models*, Phys. Rev. E, **102**, (2020), 012110.
- [P22] V. Giovangigli, *Kinetic Derivation of Cahn-Hilliard Fluid Models*, Phys. Rev. E, **104**, (2021), 054109.
- [P23] K. Aoki, V. Giovangigli and S. Kosuge, *Boundary conditions for the Boltzmann equation from gas-surface interaction kinetic models*, Phys. Rev. E, **106**, (2022), 035306.
- [P24] S. Kosuge, K. Aoki and V. Giovangigli, *Models of boundary condition for the Boltzmann equation based on kinetic approach*, Riv. Mat. Univ. Parma, **15**, (2024), 1–29.
- [P25] S. Kosuge, K. Aoki, V. Giovangigli, F. Golse, *Applications of new boundary conditions for the Boltzmann equation derived from a kinetic model of gas-surface interaction*, Phys. Rev. Fluids, **10**, (2025), 053401.

3.4 ARTICLES D'APPLICATION DES MATHÉMATIQUES

- [F1] V. Giovangigli and S. Candel, *Extinction Limits of Catalyzed Stagnation Point Flow Flames*, Comb. Sci. and Tech., **48**, 1986, p. 1–30.
- [F2] V. Giovangigli and M. Smooke, *Extinction Limits for Premixed Laminar Flames in a Stagnation Point Flow*, J. Comp. Phys., **68**, 1987, p. 327–345.
- [F3] V. Giovangigli and M. Smooke, *Extinction Limits of Strained Premixed Laminar Flames with Complex Chemistry*, Comb. Sci. and Tech., **53**, 1987, p. 23–49.
- [F4] N. Darabiha, S. Candel, V. Giovangigli and M. Smooke, *Extinction of Strained Premixed Propane-Air Flames with Complex Chemistry*, Comb. Sci. and Tech., **60**, 1988, p 267–284.
- [F5] E. Jafdan, N. Darabiha, S. Candel and V. Giovangigli *Strained Propane-Air Flames with Detailed and Reduced Kinetic Schemes*, Comb. Sci. and Tech., **76**, 1991, p 287–299.
- [F6] E. Jafdan, N. Darabiha, S. Candel and V. Giovangigli *Application de la Réduction Systématique de Schémas Cinétiques au Calcul de Flamme Laminaires Etirées Prémélangées de Propane-Air*, J. Phys. III, **1**, 1991, p 651–666.
- [F7] R. W. Bilger, H. K. Chelliah, J. H. Chen, R. W. Dibble, M. B. Esler, V. Giovangigli, J. Göttgens, D. A. Goussis, S. H. Lam, N. Peters, B. Rogg, K. Seshadri, M. D. Smooke, S. H. Starner, Treviño C. and F. A. Williams, *Reduced Kinetic Mechanisms and Asymptotic Approximations for Methane-Air Flames*, A Topical Volume, M. D. Smooke ed., Springer-Verlag, Lecture Notes in Physics **384**, 1991
- [F8] M. Smooke and V. Giovangigli, *Numerical Modeling of Axisymmetric Laminar Diffusion Flames*, IMPACT Comput. Sci. Eng., **4**, 1992, p 46–79.
- [F9] V. Giovangigli and M. Smooke, *Application of Continuation Techniques to Plane Premixed Laminar Flames*, Comb. Sci. and Tech., **87**, 1992, p 241–256.
- [F10] J. Buckmaster, M. Smooke, and V. Giovangigli, *Analytical and Numerical Modeling of Flame-Balls in Hydrogen-Air Mixtures*, Comb. and Flame, **94**, 1993, p 113–124.
- [F11] D. Trees, T. M. Brown, K. Seshadri, M. D. Smooke, G. Balakrishnan, R. W. Pitz, V. Giovangigli and P. Nandula, *The Structure of Nonpremixed Hydrogen-Air Flames*, Comb. Sci. Tech., **104**, 1995, pp. 427–439.
- [F12] A. Ern, V. Giovangigli and M. Smooke, *Numerical Study of a Three-Dimensional Chemical Vapor Deposition Reactor with Detailed Chemistry*, J. Comp. Phys., **126**, 1996, pp. 21–39.
- [F13] A. Ern, V. Giovangigli and M. Smooke, *Detailed Modeling of Three-Dimensional Chemical Vapor Deposition*, J. Crystal Growth, **180**, 1997, pp. 670–679.
- [F14] A. Ern and V. Giovangigli, *Thermal Diffusion Effects in Hydrogen-Air and Methane-Air Flames*, Comb. Theory Mod., **2**, (1998), pp. 349–372.
- [F15] A. Ern and V. Giovangigli, *Impact of Multicomponent Transport on Planar and Counterflow Hydrogen/Air and Methane/Air Flames*, Comb. Sci. Tech., **149**, (1999), pp. 157–181.
- [F16] R. Bendakhlia, V. Giovangigli, and D. Rosner, *Soret Effects in Laminar Counterflow Spray Diffusion Flames*, Comb. Theory Mod., **6**, (2002), pp. 1–17.
- [F17] E. Burman, A. Ern and V. Giovangigli, *Bunsen Flames Simulation by Finite Elements on Adaptively Refined Unstructured Triangulations*, Comb. Theor. mod., **8**, (2004), pp. 65–84.
- [F18] V. Giovangigli, Nicolas Meynet and Mitchell Smooke, *Application of Continuation Techniques to Ammonium Perchlorate Plane Flames*, Combust. Theory Model., **10**, (2006), pp. 771–798.
- [F19] Y. Fabignon, J.F. Trubert, V. Borie, V. Giovangigli, A. Bizot, and N. Meynet, *Some Aspects of Combustion Modeling for Solid Energetic Materials*, Aerospace Science and Technology, **11**, (2007), pp. 5–12.

- [F20] G. Billet, V. Giovangigli, and G. de Gassowski, *Impact of Volume Viscosity on a Shock/Hydrogen Bubble interaction*, *Combust. Theory Model.*, **12**, (2008), pp. 221–248.
- [F21] V. Giovangigli, L. Matuszewski, and F. Dupoirieux, *Detailed Modeling of Transcritical Planar H_2 - O_2 - N_2 Flames*, *Combust. Theory Model.*, **15**, (2011), pp. 141–182.
- [F22] S. Rahman, V. Giovangigli, and V. Borie, *Pressure and Initial Temperature Sensitivity Coefficient Calculations in Ammonium Perchlorate Flames*, *J. Prop. Power*, **27**, (2011), pp. 1054–1063.
- [F23] V. Giovangigli and L. Matuszewski, *Numerical Simulation of Transcritical Strained Laminar Flames*, *Combust. Flame*, **159**, (2012), pp. 2829–2840.
- [F24] V. Giovangigli and Shihab Rahman, *Numerical simulation of unsteady planar Ammonium Perchlorate flames including detailed gas phase chemistry and fluid-structure interaction*, *C. R. Acad. Sci. Paris, Mécanique*, **341**, (2013), pp. 152–160.
- [F25] D. Gueyffier, B. Fromentin-Denoziere, J. Simon, A. Merlen, and V. Giovangigli, *Numerical Simulation of Ionized Rocket Plumes*, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, **28**, (2014), pp. 218–225.
- [F26] V. Giovangigli, *Multicomponent Flow*, *Scholarpedia*, **9** (2014), pp. 11930.
- [F27] N. Meynet, A. Bentaïb, and V. Giovangigli, *Impact of Oxygen Starvation on Operation and Potential Ignition of Passive Auto-Catalytic Recombiners*, *Combust. Flame*, **161**, (2014), pp. 2192–2202.
- [F28] P. Gaillard, V. Giovangigli and L. Matuszewski, *A Diffuse Interface Lox/Hydrogen Transcritical Flame Model*, *Combust. Theory Model.*, **20**, (2016), pp. 486–520.
- [F29] P. Gaillard, V. Giovangigli and L. Matuszewski, *Nonmixing Layers*, *Physical Review Fluids*, **1**, (2016), 084001.
- [F30] R. Boukharfane, P. J. Martinez Ferrer, A. Mura, V. Giovangigli, *On the role of bulk viscosity in compressible reactive shear layer developments*, *Eur. J. Mech. B/Fluids*, **77**, (2019) pp. 32–47.
- [F31] Jean-Maxime Orlac’h, Nasser Darabiha, Vincent Giovangigli, and Benedetta Franzelli, *Important of mass and enthalpy conservation in the modeling of titania nanoparticles flames*, *Combust. Theory Model.*, **25**, (2021), pp. 389–412.
- [F32] Tinghui Zhang, Jean-Maxime Orlac’h, Monalisa Ghosh, Vincent Giovangigli, Pere Roca i Cabarrocas and Tatiana Novikova, *Role of H_3^+ ions in the deposition of silicon thin films from SiH_4/H_2 discharge: modeling and experiments*, *Plasma Source Tech.*, **30**, (2021), 075024.
- [F33] Domenico Bruno and Vincent Giovangigli, *Internal Energy Relaxation Processes and Bulk Viscosities in Fluids*, *MDPI Fluids* **7** 356 (2022)

3.5 ACTES DE COLLOQUES AVEC COMITÉ DE LECTURE

- [A1] V. Giovangigli and S. Candel, *Extinction Limits of Catalysed Stagnation Point Flow Flames*, in *Numerical Simulation of Combustion Phenomena*, Glowinsky, Larrouturou and Temam Eds., Springer Verlag, 1985, p. 267–281.
- [A2] V. Giovangigli and M. Smooke, *Calculation of Extinction Limits of Premixed Laminar Flames in a Stagnation Point Flow*, *AMS-SIAM Summer Seminar on Reacting Flows*, Ludford Ed., Cornell University, 1985, p. 377–394.
- [A3] V. Giovangigli and M. Smooke, *Extinction Limits for Premixed Laminar Flames in a Stagnation Point Flow*, *Large Scale Scientific Computing, Progress in Scientific Computing* **7**, P. Deuffhard and B. Engquist Eds., Birkhäuser, 1987, p. 138–158.

- [A4] V. Giovangigli and M. Smooke, *Extinction of Strained Premixed Hydrogen-air Flames*, Complex Chemical Reaction Systems Mathematical Modeling and Simulation, Springer Series in Chemical Physics **47**, J. Warnatz and W. Jager Ed., Springer Verlag, 1987, p. 281–291.
- [A5] M. Smooke and V. Giovangigli, *Extinction of Counterflow Premixed Laminar Flames*, Supercomputer Research in Chemistry and Chemical Engineering, K. F. Jensen and D. G. Truhlar Eds., ACS Symposium Series **353**, 1987, p. 404–419.
- [A6] V. Giovangigli and M. Smooke, *The Effect of Nonunit Lewis Numbers on the Extinction of Premixed Laminar Flames in a Stagnation Point Flow*, Proceedings of the Second ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference, P. J. Porto and I. Tanasawa Eds., **1**, 1987, p. 265–271.
- [A7] Darabiha N., V. Giovangigli, A. Trouvé, S. Candel and E. Esposito, *Flamelet Modeling of Turbulent Premixed Flames*, AGARD Conference Proceedings, **422**, 1987, p. 33-1 – 33-17.
- [A8] V. Giovangigli and N. Darabiha, *Vector Computers and Complex Chemistry Combustion*, Mathematical Modeling in Combustion and Related Topics, C. Brauner and C. Schmidt-Laine Eds., M. Nijhoff Pub., NATO ASI Series **140**, 1988, p. 491–503.
- [A9] V. Giovangigli, *Mass conservation and Singular Multicomponent Diffusion Algorithms*, Numerical Combustion, 3^e Conférence Internationale sur la simulation numérique de la Combustion, Sophia-Antipolis (Antibes), A. Dervieux et B. Larouturrou Eds., Lecture Notes in Physics, Springer Verlag **351**, 1989, p 310–322.
- [A10] M. Smooke and V. Giovangigli, *On the Extinction of Tubular Flames*, Numerical Combustion, 3^e Conférence Internationale sur la simulation numérique de la Combustion, Sophia-Antipolis (Antibes), A. Dervieux et B. Larouturrou Eds., Lecture Notes in Physics, Springer Verlag **351**, 1989, p 450–460.
- [A11] N. Darabiha and V. Giovangigli, *Vectorized Computations of Complex Chemistry Flames*, High Performance Computing, Proceedings of the International Symposium on High Performance Computations, Montpellier, J. L. Delhay et E. Gelembé Eds., Elsevier Science Publisher, North Holland, 1989, p 273–286.
- [A12] G. Dixon-Lewis, V. Giovangigli, R. J. Kee, J. A. Miller, B. Rogg B., M. D. Smooke, G. Stahl and J. Warnatz, *Numerical Modeling of the Structure and Properties of Tubular Strained Laminar Premixed Flames*, Dynamics of Deflagration and Reactive Systems : Flames, A. L. Kuhl, J. C. Leyer, A. A. Borisov and W. A. Sirignano eds., Progress in Astronautics and Aeronautics, **131**, AIAA, Washington DC, 1991, p 125–144.
- [A13] M. D. Smooke and V. Giovangigli, *Structure and Extinction of Premixed Tubular Flames*, Proceedings of the Combustion Institute, **23**, (1990), p 447–454 .
- [A14] M. D. Smooke, J. Crump, K. Seshadri and V. Giovangigli, *Comparison between Experimental Measurements and Numerical Calculations of the Structure of Counterflow, Diluted Methane-Air, Premixed Flames*, Proceedings of the Combustion Institute, **23**, (1990), p 463–470.
- [A15] M. D. Smooke and V. Giovangigli, *A Comparison between Experimental Measurements and Numerical Calculations of the Structure of Premixed Rotating Counterflow Methane-Air Flames*, Proceedings of the Combustion Institute, **24**, (1992), p 161-168.
- [A16] M. Smooke and V. Giovangigli, *Simplified Transport and Reduced Chemistry Models of Premixed and Non-premixed Combustion*, Modeling in Combustion Science, J. Buckmaster and T. Takeno eds., Proceedings of the US-Japan Seminar, Lecture Notes in Physics, Springer Verlag, 1995, p 81–106.
- [A17] A. Ern and V. Giovangigli, *Thermal Diffusion Effects in Multicomponent Flows*, Calcul Scientifique pour le 21^e Siècle, Congrès en l’honneur de Roland Glowinsky, M. O. Bristeau, G. Etgen, W. Fitzgibbon, J. L. Lions, J. Périaux, M. F. Wheeler Eds., John Wiley & Sons Ltd, 1997, pp. 403–412.

- [A18] R. Bendahkha and V. Giovangigli, *Multiradii Modeling of Spray Diffusion Flames*, Proceedings of the Combustion Institute, **28**, (2000), pp. 1039–1045.
- [A19] R. Bendahkha, N. Darabiha, J. De Charentenay and V. Giovangigli, *Turbulent Mixing with Sprays*, IUTAM Symposium on Turbulent Mixing and Combustion, A. Polard and S. Candel (eds), Kluwer Academic Publisher, (2002), pp. 347–355.
- [A20] V. Giovangigli, *Multicomponent Transport and Sprays*, International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer, CHT-04, G. de Vahl Davis and E. Leonardi (eds), Begell House Inc., New York.
- [A21] V. Giovangigli, *Gaseous Flows with Multicomponent Transport and Complex Chemistry*, Reactive Flow and Transport through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Oberwolfach Report 49/2005, pp. 27–29.
- [A22] V. Giovangigli, *Multicomponent Reactive Flows*, XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Proceedings of Wascom 2005, R. Monaco (ed), World Scientific Pub., Singapore, (2006), pp. 262–273.
- [A23] S. Dworkin, M. D. Smooke, and V. Giovangigli, *The Impact of Detailed Multicomponent Transport and Thermal Diffusion Effects on Soot Formation in Ethylene/Air Flames*, Proceedings of the Combustion Institute, **32**, (2009), 1165–1172.
- [A24] V. Giovangigli, *Multicomponent Transport in Polyatomic Reactive Gas Mixtures*, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, AIP Conference Proceedings 1333, 635–642 (2010).
- [A25] D. Bruno, F. Esposito and V. Giovangigli, *Relaxation of Rotational-Vibrational Energy and Volume Viscosities in H/H₂ Mixtures*, AIP Conference Proceedings 1501, 1061–1070 (2012).
- [A26] D. Bruno, E. Esposito and V. Giovangigli, *Relaxation of Quantum Population and Volume Viscosities in He/H₂ Mixtures*, AIP Conference Proceedings 1628, 1237–1244 (2014).
- [A27] V. Giovangigli, *Multicomponent Transport in Laminar Flames*, International Symp. Comb., San Francisco, Proceedings of the Combustion Institute, **35**, (2015), 625–637.
- [A28] V. Giovangigli, *Dissipative Reactive Fluid Models from the Kinetic Theory*, Second meeting on particle systems and PDE's, Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, **129**, (2015) pp. 67–132.
- [A29] K. Aoki, V. Giovangigli and M. Hattori, *A Kinetic Model of Adsorption on Solid Surfaces*, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, AIP Conference Proceedings 1786, 100005 (2016).
- [A30] J.-M. Orlac'h, V. Giovangigli, T. Novikova and P. Roca i Cabarrocas, *Hybrid Kinetic/Fluid Modeling of Silicon Nanoparticles Dynamics in Silane Plasma Discharges*, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, AIP Conference Proceedings 1786, 130004 (2016).
- [A31] K. Aoki, V. Giovangigli, *A Kinetic Model of Reactive Crystal Surfaces*, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, AIP Conference Proceedings 2132, 130003 (2019).
- [A32] V. Giovangigli, *A Synthesis of the Kinetic Derivation of Cahn-Hilliard Equations*, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, AIP Conference Proceedings 2996, 040002 (2024).
- [A33] V. Giovangigli, *Relaxation of Internal Energy Processes and Bulk Viscosities in Fluids*, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, AIP Conference Proceedings 2996, 050006 (2024).
- [A34] V. Giovangigli, *From Kinetic Theory to Hyperbolic-Parabolic Fluid Systems of Equations*, Harold Grad Conference, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, (in press) (2025).

3.6 THÈSES

- [T1] V. Giovangigli, *Aspects Mathématiques d'un Modèle de Flamme Simple*, Thèse de Troisième Cycle, Université Paris 6, Dir. Georges Duvaut, Soutenue le 17 mai 1982 devant le jury constitué de messieurs J. L. Lions (président), G. Duvaut, R. Borghi et J. P. Guiraud (examineurs).
- [T2] V. Giovangigli, *Structure et Extinction de Flammes Laminaires Prémélangées*, Thèse d'Etat, Université Paris 6, Dir. Georges Duvaut, Soutenue le 5 mai 1988 devant le jury constitué de messieurs J. L. Lions (président), G. Duvaut, S. Candel, P. Kuentzmann, P. Clavin, J. Chauvin et M. D. Smooke (examineurs).

3.7 CONFÉRENCES SUR INVITATION

- [CI1] *Adaptive Continuation Algorithms* Université YALE, New Haven (USA) mars 1987, New Haven USA.
- [CI2] *Calculs de Flammes et Effets d'Etirement*, Ecole de Printemps de Combustion, Ile d'Oléron, Mai 1987.
- [CI3] *Le Calcul des flammes laminaires étirées d'Hydrogène-Oxygène, Prospectives dans les Conditions des Moteurs Fusées*, Première Conférence du PIRSEM Moteurs Cryotechniques, Octobre 1988.
- [CI4] *A Review of Some Results on Reacting Flow*, Hermès Research and Development Meeting, Aix la Chapelle, RFA, Décembre 1988, (avec Sebastien Candel et Bruno Laboudigue).
- [CI5] *Le Calcul des Ecoulements Réactifs avec Chimie Complexe*, Ecole de Printemps de Mécanique des Fluides Numérique, Aussois, Mai 1989.
- [CI6] *Le Calcul des Fronts de Flamme avec Chimie Complexe*, Ecole d'Automne de Combustion, Oléron, Octobre 1989.
- [CI7] *Les flammes étirées d'Hydrogène-Air instationnaires*, Conférence du PRC sur les Superstatoréacteurs, Paris, Octobre 1991.
- [CI8] *Towards Polyalgorithmic Linear System Solvers for Nonlinear Elliptic Problems*, Copper Mountain Conference on Iterative Methods, Denver, USA, Avril 1992, (avec Alexandre Ern, David Keyes et Mitchell Smooke).
- [CI9] *Ecoulements Réactifs pour les Dépôts*, Congrès National d'Analyse Numérique, Giens, Mai 1993, (avec Alexandre Ern).
- [CI10] *Méthode Itératives pour l'Evaluation des Coefficients de Transport dans les Mélanges Gazeux Polyatomiques*, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département d'Analyse numérique, Juin 1993.
- [CI11] *Transport Multi-espèces dans les Flammes*, 28^e Congrès National d'Analyse Numérique, Mini-symposium sur la combustion, La Londe-Les Maures, Juin 1996.
- [CI12] *Multicomponent Transport in Flammes*, 7^e Conférence Internationale sur la Combustion Numérique, York, Mars-Avril 1998.
- [CI13] *Plane Laminar Flames with Detailed Transport and Complex Chemistry*, Congrès 'Modeling of Reaction Fronts', Lyon, Mai 1999.
- [CI14] *Modélisation des Mélanges Gazeux Réactifs*, 31^e Congrès National d'Analyse Numérique, Ax les Thermes, Mai 1999.

- [CI15] *Multicomponent Transport in Flammès*, Institute for Mathematics and their Applications, 1999-2000 IMA Program, Reactive Flow and Transport Phenomena, IMA Minisymposium “Mathematical Investigations of Models in Combustion”, 14–17 Novembre, Minneapolis, USA, 1999.
- [CI16] *Multicomponent Transport in Flammès*, Stefan Banach International Mathematical Center, ‘Reaction Diffusion Equations and Waves’, Varsovie, Pologne, 22–25 mai 2000.
- [CI17] *Modélisation Détaillée des Flammès*, CEMRACS 2000, ‘Modélisation de la Combustion et du Stockage des Déchets Nucléaires’, Laboratoire ASCII, Orsay, Juillet 2000.
- [CI18] *Stabilité Asymptotique pour les Systèmes Dissipatifs du Second Ordre*, Colloquium du CMLA, ENS Cachan, mai 2003.
- [CI19] *Multicomponent Transport and Sprays*, International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer CHT-04, Norvege, Avril 2004.
- [CI20] *Multicomponent Transport*, XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Wascom05, Sicile, Juin 2005.
- [CI21] *Gaseous Flows with Complex Chemistry and Multicomponent Transport*, Conference on Reactive Flow and Transport Phenomena Through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Novembre 2005.
- [CI22] *Modélisation et Simulation Numérique des Mélanges Gazeux Réactifs*, 7^e Journée ‘Calcul Scientifique et Modélisation’, Université de Picardie Jules Verne, LAMFA, Mai 2007.
- [CI23] *Modélisation et Simulation Numérique de Mélanges Gazeux Réactifs*, Colloquium du Laboratoire Jean Kuntzmann, Décembre 2007.
- [CI24] *Multicomponent Transport in Weakly Ionized Mixtures*, Invited Topical Conference, XXIX International Conference on the Physics of Ionized Gases, ICPIG 2009, Mexique, Juillet 2009.
- [CI25] *Transport-property computational methods and the importance of bulk viscosity*, AeroThermodynamics Days at VKI, Von Karman Institute, 3-4 Novembre, 2009.
- [CI26] *Méthodes Itératives pour le Transport Multi-espèce*, Premières Journées du GdR Calcul, Institut Henri Poincaré, Paris, Novembre 2009.
- [CI27] *Mathematical Multicomponent Flow Modeling*, Summer school on ‘Stress Tensor Effects on Fluid Mechanics’, Morningside Center of Mathematics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Janvier 2010.
- [CI28] *Higher Order Entropies*, Capital Normal University, Beijing, Janvier 2010.
- [CI29] *Multicomponent Transport in Polyatomic Reactive Gas Mixtures*, Invited Conference, 27th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Asilomar, Pacific Grove, Californie, Juillet 2010.
- [CI30] *Multicomponent Flows*, Zhou Pei-Yuan Center for Applied Mathematics, Tsinghua University, Beijing, Septembre 2011.
- [CI31] *Higher Order Entropies*, Zhou Pei-Yuan Center for Applied Mathematics, Tsinghua University, Beijing, Septembre 2011.
- [CI32] *Mélanges Gazeux Réactifs*, Académie des Sciences, Paris, Novembre 2011.
- [CI33] *Modélisation des Mélanges Gazeux*, Forum des lauréats en informatique et en mathématiques appliquées, Institut Henri Poincaré, Paris, Novembre 2011.
- [CI34] *Entropies d’Ordre Supérieur*, Journée de la Société Mathématique de France pour les lauréats de l’Académie des Sciences, Université de Rennes 1, Rennes, Novembre 2011.
- [CI35] *Relaxation of Rotational-Vibrational Energy and Volume Viscosities in H/H₂ Mixtures*, Invited Conference, 28th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Zaragoza, Juillet 2012.

- [CI36] *Fluides Supercritiques Multi-espèces Réactifs*, Rencontres DYSCO *Dynamique des Systèmes Complexes*, Allevard les Bains, janvier 2013.
- [CI37] *Kinetic Models and Partial Differential Equations Modeling Reactive Mixtures*, Second meeting on particle systems and PDE's, University of Minho, Braga Portugal, Décembre 2013.
- [CI38] *Entropy and Stefan-Maxwell Equations*, Maxwell-Stefan meets Navier-Stokes Meeting, Halle University, Avril 2014.
- [CI39] *Supercritical Reactive Fluids*, Zou Pei Yuan Center for Applied Mathematics, Tsinghua University, Mai 2014.
- [CI40] *Multicomponent Transport in Laminar Flames*, International Symposium on Combustion, San Francisco, Août 2014.
- [CI41] *Volume Viscosity and Internal Energy Relaxation*, Workshop ModTerCom, Porquerolles, Septembre 2014.
- [CI42] *Relaxation de l'Energie Interne et Viscosité Volumique*, Workshop on Kinetic models, Bordeaux, Octobre 2014.
- [CI43] *Multicomponent Transport in Laminar Flames*, Laminar Burning Velocity 2015, LBV2015, Coria, Rouen, Mars 2015.
- [CI44] *Multicomponent Reactive Flows with Fast Chemistry*, Mathflows 2015, Porquerolles, Septembre 2015.
- [CI45] *Kinetic Theory of Reactive Gas Mixtures*, XL Summer School on Mathematical Physics, Ravello, Italie, Septembre 2015.
- [CI47] *Diffuse Interface Transcritical Flames*, Kyoto University, Kyoto, Novembre 2015.
- [CI48] *Volume Viscosity and Internal Energy Relaxation*, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Novembre 2015.
- [CI49] *Transport Multi-espèce dans les Flammes*, Ecole de Combustion, Ile d'Oléron, Juin 2016.
- [CI50] *Asymptotic Stability and Relaxation for Fast Chemistry Fluids*, Zou Pei Yuan Center for Applied Mathematics, Tsinghua University, Septembre 2016.
- [CI51] *Relaxation of Internal Energy and Volume Viscosity*, NCTS and National Taiwan University, Taipei, Janvier 2017.
- [CI52] *Multicomponent Transport in Laminar Flows*, Cheng Kung National University, Tainan, Janvier 2017.
- [CI53] *Supercritical Fluid Thermodynamics, Diffuse Interfaces and Transcritical Flames*, Second Workshop on Compressible Multiphase Flows, IRMA, Université de Strasbourg, mai 2019.
- [CI54] *Relaxation of Internal Energy and Volume Viscosity*, Mathematics conference between Zhejiang University and Top Institutions in Paris, HangZhou, Zhejiang University, septembre 2019.
- [CI55] *Relaxation of Internal Energy and Volume Viscosity*, Distinguished Lectures Series in Mathematics, School of Mathematical Sciences, Capital Normal University, Beijing, (en distanciel) Octobre 2021.
- [CI56] *Relaxation of Internal Energy and Bulk Viscosities in Fluids*, 32nd Conference on Rarefied Gas Dynamics, Seoul Juillet 2022.
- [CI57] *Kinetic Derivation and Existence of Strong Solutions for Diffuse Interface Fluid Models*, France-Korea IRL webinar in PDE Décembre 2022.

- [CI58] *Kinetic Theory of Reactive Flows and their Applications*, 4th European Conference on Non-Equilibrium Gas Flows, NEGF23 TU Eindhoven Mars 2023.
- [CI59] *Internal Energy Relaxation Processes and Bulk Viscosity Coefficients*, Workshop on discrete kinetic methods for combustion simulation: Fundamentals and Practice, European Combustion Meeting (ECM), Avril 2023.
- [CI60] *Asymptotic Stability for a Multicomponent Reactive Flow Diffuse Interface Model*, Workshop on "Energetic methods for multi-component reactive systems and mixtures: Modelling, stability, and asymptotic analysis", WIAS Berlin Septembre 2023.
- [CI61] *Mathematical modeling of multicomponent reactive flows from the kinetic theory*, EMS School on "Mathematical Aspects of Fluid Flows" Kácov, Mai 2024.
- [CI62] *From Kinetic Theory to Hyperbolic-Parabolic Fluid Systems of Equations*, Harold Grad Conference, Rarefied Gas Dynamics International Symposium, Göttingen, Juillet 2024.
- [CI63] *High Pressure Multicomponent Flows*, EMS-TAG Mixtures : Modeling, Analysis and Computing, Kickoff Meeting, Praha, Février 2025.
- [CI64] *Asymptotic Stability of Equilibrium States for Cohesive Fluids*, International Workshop on Recent Advances in Nonlinear PDEs, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Novembre 2025.

3.8 COMMUNICATIONS À DES CONGRÈS

- [C1] *Low frequency instabilities in turbulent combustors*, Ecole de Combustion, Les Houches, Mars 1984, (avec Christophe Lechatelier et Sébastien Candel).
- [C2] *Extinction Limits of Catalyzed Stagnation Point Flow Flames*, 1st INRIA-SIAM International Conference on Numerical Combustion, Sophia-Antipolis, Mai 1985, (avec Sébastien Candel).
- [C3] *Premixed Catalysed Flames in Stagnation point Flows*, 6th IWOMIC Congres, Berkeley, California, USA, Août 1985, (avec Sébastien Candel).
- [C4] *Extinction des Flamme Prémélangées contre une paroi Catalytique*, 7^e Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, Septembre 1985.
- [C5] *Non Equilibrium Boundary-Layer and Viscous Shock Layer Calculations — Preliminary calculations on the Stagnation line*, Meeting Hermès, Stockolm, Suède, Decembre 1986, (avec Bruno Laboudigue).
- [C6] *Vector Computers and Complex Chemistry*, 2nd SIAM International Conference on Numerical Combustion, San Francisco, California, USA, Mars 1987, (avec Nasser Darabiha).
- [C7] *Partial Extinction of Strained Premixed Laminar Flames with Complex Chemistry*, 2nd SIAM International Conference on Numerical Combustion, San Francisco, California, USA, Mars 1987, (avec Nasser Darabiha et Sébastien Candel).
- [C8] *Extinction of Strained Premixed Laminar Flames with Complex Chemistry*, 2nd SIAM International Conference on Numerical Combustion, San Francisco, California, USA, Mars 1987, (avec Mitchell Smooke).
- [C9] *Adaptive Continuation Algorithms for Laminar Flames Extinction Problems*, Première Conférence Internationale sur les Mathématiques Appliquées et Industrielles, Paris, Juillet 1987.
- [C10] *Hypersonic Reactive Boundary-Layer at the Stagnation Point of a Blunt Body*, EUROMECH 225, 'The Aerodynamics of Spacecraft', Cranfield, England, Juillet 1987, (avec Bruno Laboudigue et Sébastien Candel).

- [C11] *Hypersonic Reactive Boundary-layer at the Stagnation Point of a Blunt Body*, Meeting Hermès, Stuttgart, RFA, Novembre 1987, (avec Bruno Laboudigue et Sébastien Candel).
- [C12] *On the Extinction of Tubular Flames*, 3rd Workshop on Numerical Methods in Laminar Flame Propagation, University of Leeds, England, Avril 1988, (avec Mitchell Smooke).
- [C13] *Viscous Shock Layer at the stagnation point of a blunt body with catalytic effects*, Meeting Hermès, Kaiserslautern, RFA, Avril 1988, (avec Bruno Laboudigue).
- [C14] *Flammes Etirées avec Cinétique Chimique Complexe*, 20^e Congrès National d'Analyse Numérique, Evian, Mai 1988.
- [C15] *Coupling of Thermal Non-Equilibrium on Viscous Shock Layer Equations at the Stagnation Point of a Blunt Body*, Meeting Hermès, Bologna, Italie, Novembre 1988, (avec Bruno Laboudigue).
- [C16] *The Structure and Extinction of Tubular Flames*, Eastern States section of the Combustion Institute, Clearwater, Florida (USA), Décembre 1988, (avec Mitchell Smooke).
- [C17] *Influence of Transport Properties on Wall heat flux for Axisymmetric Thin Viscous Shock Layers*, Meeting Hermès, Göttingen, RFA, Avril 1989, (avec Bruno Laboudigue).
- [C18] *Mass Conservation and Singular Multicomponent Diffusion Algorithms*, 3rd SIAM International Conference on Numerical Combustion, Juan-les-Pins, Mai 1989.
- [C19] *Relaxation and Chemistry*, Meeting Hermès, Stuttgart, RFA, Juin 1990, (avec Frédéric Thivet, Marie-Yvone Perrin, Bruno Laboudigue et Sébastien Candel).
- [C20] *Reduced Propane-Air Mechanism*, International Conference on Reduced Kinetics, Cambridge, Juillet 1990, (avec Eric Jafdan, Nasser Darabiha et Sébastien Candel).
- [C21] *Mass Conservation and Multicomponent Diffusion*, 10^e Congrès IWOMIC, Poitiers, Juillet 1990.
- [C22] *Convergent Iterative Methods for Multicomponent Diffusion*, 4th SIAM International Conference on Numerical Combustion, St. Petersburg, Florida, USA, Décembre 1991.
- [C23] *Application of Continuation Techniques to Plane Premixed Laminar Flames*, 4th SIAM International Conference on Numerical Combustion, St. Petersburg, Florida, USA, Décembre 1991, (avec Mitchell Smooke).
- [C24] *Numerical Simulation of Axisymmetric Premixed Bunsen Flames*, 4th SIAM International Conference on Numerical Combustion, St. Petersburg, Florida, USA, Décembre 1991, (avec Mitchell Smooke).
- [C25] *Flame Computations with Kinetics from Various Origins*, Anglo-French Meeting, Wescott-Aylesbury, 1992, (avec Vincent Borie).
- [C26] *Computational Modeling of Axisymmetric Laminar Premixed Flames*, Eastern States Section of the Combustion Institute, New Orleans, USA, Mars 1993, (avec Mitchell Smooke).
- [C27] *Numerical Study of Three Dimensional Chemical Vapor Deposition*, 5th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Garmish, Germany, Septembre 1993, (avec Alexandre Ern et Mitchell Smooke).
- [C28] *Convergent Iterative Methods for Multicomponent Transport*, 5th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Garmish, Germany, Septembre 1993, (avec Alexandre Ern et Mitchell Smooke).
- [C29] *Algorithmes pour le Transport Multi-espèces*, 26^e Congrès National d'Analyse Numérique, Les Karellis, Mai 1994, (avec Alexandre Ern).

- [C30] *Fast and Accurate Transport Property Evaluation*, Eastern States Section of the Combustion Institute, Clearwater Beach, Floride, Décembre 1994, (avec Alexandre Ern).
- [C31] *Une Equation Parabolique Singulière*, 27^e Congrès National d'Analyse Numérique, Super Besse, Mai 1995, (avec Rosa Pardo-San Gil et Hannibal Rodriguez-Bernald).
- [C32] *Problème de Cauchy et Stabilité Asymptotique pour le Système d'Equations décrivant des Gaz Multi-espèces Réactifs avec Chimie Complexe*, 27^e Congrès National d'Analyse Numérique, Super Besse, Mai 1995, (avec Marc Massot).
- [C33] *Sur la Modélisation de l'Interaction Turbulence-Chimie dans la Post-Combustion des Jets de Moteurs-Fusées a Propergol Solide*, Colloque CNES/ONERA/CNRS sur les Ecoulements Propulsifs, Bordeaux, Septembre 1995, (avec V. Borie).
- [C34] *Direct Numerical Simulation of a Supersonic Mixing layer*, 6th SIAM International Conference on Numerical Combustion, New Orleans, USA, Mars 1996, (avec Marc Massot).
- [C35] *Fast and Accurate Multicomponent Transport Property Evaluation*, 6th SIAM International Conference on Numerical Combustion, New Orleans, USA, Mars 1996, (avec Alexandre Ern).
- [C36] *Three-Dimensional Chemical Vapor Deposition with Detailed Gas-Phase and Surface Chemistry*, 6th SIAM International Conference on Numerical Combustion, New Orleans, USA, Mars 1996, (avec Alexandre Ern et Mitchell Smooke).
- [C37] *Plane Laminar Flames with Detailed Transport and Complex Chemistry*, Workshop Chemical Waves, Fronts and Patterns, Lyon, Octobre 1997.
- [C38] *Multicomponent Transport in Flames*, 7th SIAM International Conference on Numerical Combustion, York, G.B., Mars-avril 1998.
- [C39] *Computational Study of the Structure of a Rich Methane/Air Bunsen Flame*, 7th SIAM International Conference on Numerical Combustion, York, G. B., Mars-avril 1998. (avec Alexandre Ern et Mitchell Smooke).
- [C40] *Transport Multi-espèce dans les Mélanges Gazeux*, Colloque Annuel du CEA en Mécanique des Fluides, 26–28 janvier, CEA, Saclay, 1999.
- [C41] *Plane Flame with Detailed Transport and Complex Chemistry*, Modeling of Reaction Fronts at the Interface of Mathematics, Physics, and Chemistry, 19–21 Avril, Université de Lyon 1, Lyon, 1999.
- [C42] *Modélisation des Mélanges Gazeux Réactifs*, 31^e Congrès National d'Analyse Numérique, 17–21 Mai, Ax les Thermes, 1999.
- [C43] *Numerical Modeling of Spray Counterflow Diffusion Flames*, Atomization and Spays, Congrès ILAS, Juillet, Toulouse, 1999. (avec Rafik Bendakhlia et Daniel Gaffié).
- [C44] *Multicomponent Transport in Flammes*, Institute for Mathematics and their Applications, 1999-2000 IMA Program, Reactive Flow and Transport Phenomena, 14–17 Novembre, Minneapolis, USA, 1999.
- [C45] *Adaptive Finite Element Method for Methane Bunsen Flame Simulation*, 8th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Amelia Island, Florida, USA, 2000, (avec Eric Burman et Alexandre Ern).
- [C46] *Soret Effet in Spray Diffusion Flames*, 8th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Amelia Island, Florida, USA, 2000, (avec Rafik Bendakhlia).
- [C47] *Multicomponent Transport in Flammes*, Stefan Banach International Mathematical Center, 'Reaction Diffusion Equations and Waves', Varsovie, Pologne, 22–25 mai 2000.

- [C48] *Multiradii Modeling of Spray Diffusion Flames*, 28th International Symposium on Combustion, Edinburgh, Juillet 2000, (avec Rafik Bendahklia).
- [C49] *Turbulent Mixing with Sprays*, Congrès IUTAM ‘Turbulent Mixing and Combustion’, Queen’s University at Kingston, Canada, 3–6 Juin 2001, (avec Rafik Bendahklia, Nasser Darabiha et Julien De Charentenay).
- [C50] *Adaptive Finite Element Method for Low Mach, Steady, Laminar Combustion*, 9th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Sorrento, Italia, 2002, (avec Eric Burman et Alexandre Ern).
- [C51] *Les Mélanges Gazeux réactifs Partiellement Ionisés*, 35^e Congrès National d’Analyse Numérique, La Grande Motte, Juin 2003, (avec Benjamin Graille).
- [C52] *Multicomponent Transport and Sprays*, International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer CHT-04, Norvege, Avril 2004.
- [C53] *Application of Continuation Techniques to AP Flames*, 10th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Sedona, Arizona, 2004, (avec Nicolas Meynet et Mitchell Smooke).
- [C54] *Stabilité Asymptotique des Plasmas Ambipolaires*, 36^e Congrès National d’Analyse Numérique, Obernai, Mai 2004, (avec Benjamin Graille).
- [C55] *Symmetrization of Multicomponent Reactive Flows in the Small Mach Number Limit*, Mathematical and Numerical Aspects of Low Mach Number Flows, Porquerolles, Juin 2004, (avec Marc Massot).
- [C56] *Multicomponent Transport*, XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Wascom05, Acireale, Sicile, Juin 2005.
- [C57] *Gaseous Flows with Complex Chemistry and Multicomponent Transport*, Conference on Reactive Flow and Transport Phenomena Through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Oberwolfach, Novembre 2005.
- [C58] *Impact of Volume Viscosity on a Shock/Diffusion Flame Interaction*, Eleventh International Conference on Numerical Combustion, Granada, Avril 2006, (avec Germain Billet).
- [C59] *Entropies d’Ordre Supérieur*, 38^e Congrès National d’Analyse Numérique, Guidel, Juin 2006.
- [C60] *Some Aspect of Combustion Modeling for Solid Energetic Materials*, 1st European Conference for Aerospace Science, Moscou, Juillet 2006, (avec Yves Fabignon, Jean-François Trubert, Vincent Borie, Alain Bizot, et Nicolas Meynet).
- [C61] *Simulation Numérique de l’Interaction Choc/Bulle d’Hydrogène*, SMAI 2007, Congrès de Mathématiques Appliquées et Industrielles, Praz sur Arly, Juin 2007.
- [C62] *The Impact of Multicomponent Transport and Thermal Diffusion Effects on Soot Formation in Ethylene/Air Flames*, Fall Technical Meeting, Eastern States Section of the Combustion Institute, University of Virginia, 2007. (avec Seth Dworkin et Mitchell Smooke).
- [C63] *Thermal Diffusion Effects on Soot Formation in Ethylene/Air Flames*, 11th SIAM International Conference on Numerical Combustion, Monterey, USA, 2008, (avec Seth Dworkin et Mitchell Smooke).
- [C64] *The Impact of Multicomponent Transport and Thermal Diffusion Effects on Soot Formation in Ethylene/Air Flames*, 32nd International Symposium on Combustion, Montreal, Août 2008, (avec Seth Dworkin et Mitchell Smooke).
- [C65] *Numerical Simulation of Supercritical Reacting Flow Using a Cubic Equation of State*, ‘Work-in-Progress Poster’, 32nd International Symposium on Combustion, Montreal, Août 2008, (avec Lionel Matuszewski, F. Dupoirieux, M. Habiballah et L. Vingert).

- [C66] *Multicomponent Transport in Weakly Ionized Mixtures*, XXIX International Conference on the Physics of Ionized Gases, ICPIG 2009, Mexique, Juillet 2009, (avec Benjamin Graille, Thierry Magin, et Marc Massot).
- [C67] *Multicomponent Transport in Partially Ionized Plasmas*, 1st Meeting, ESA Working group on Kinetic Theory for Hypersonic Flows, Institut Henri Poincaré, 15-16 Octobre 2009.
- [C68] *Transport-property computational methods and the importance of bulk viscosity*, AeroThermodynamics Days at VKI, Von Karman Institute, 3-4 Novembre, 2009.
- [C69] *Internal Temperature Relaxation and Volume Viscosity*, 2nd Meeting, ESA Working group on Kinetic Theory for Hypersonic Flows, Saint-Petersbourg, 7-8 mai 2010.
- [C70] *Multicomponent Transport in Reactive Polyatomic Gas Mixtures*, 27th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Asilomar, Pacific Grove, Californie, 11-15 Juillet, 2010.
- [C71] *Application of Continuation Techniques to Pressure and Initial Temperature Sensitivity Coefficients in Ammonium Perchlorate Flames*, 46th AIAA/ASME Joint Propulsion Conference & Exhibit, Nashville, Tennessee, 25-28 Juillet, 2010, (avec Shihab Rahman et Vincent Borie)
- [C72] *Internal Temperature Relaxation in the Navier-Stokes Regime*, 3rd Meeting, ESA Working group on Kinetic Theory for Hypersonic Flows, Milan, 3-4 février 2011.
- [C73] *Numerical simulation of unsteady ammonium perchlorate planar flames with complex interface chemical kinetics*, 13th International Conference on Numerical Combustion, 27-29 avril 2011, Corfou, (avec Shihab Rahman)
- [C74] *Modeling and numerical simulation of supercritical flames*, 13th International Conference on Numerical Combustion, 27-29 avril 2011, Corfou, (avec Lionel Matuszewski)
- [C75] *Relaxation of Rotational-Vibrational Energy and Volume Viscosities in H/H₂ Mixtures*, 28th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Zaragoza, Espagne, Juillet 2012, (avec Domenico Bruno et Fabrizio Esposito).
- [C76] *Modélisation et Simulation Numérique de Fluides Nonidéaux Réactifs*, 41^e Congrès National d'Analyse Numérique, Super Besse, Mai 2012, (avec Lionel Matuszewski).
- [C77] *Fluides Supercritiques Multi-espèces Réactifs*, Rencontres Dysco, Allevard les Bains, Janvier 2013.
- [C78] *Nonideal Diffusion in Supercritical Flow*, 14th International Conference on Numerical Combustion, 8-10 avril 2013, San Antonio, (avec Pierre Gaillard et Lionel Matuszewski)
- [C79] *Kinetic Models and Partial Differential Equations Modeling Reactive Mixtures*, Second meeting on particle systems and PDE's, University of Minho, Braga Portugal, Décembre 2013.
- [C80] *Entropy and Stefan-Maxwell Equations*, Maxwell-Stefan meets Navier-Stokes Meeting, Halle University, 31 mars-2 avril 2014.
- [C81] *Supercritical Reactive Fluids*, Zou Pei Yuan Center for Applied Mathematics, Tsinghua University, Mai 2014.
- [C82] *Multicomponent Transport in Laminar Flames*, International Symposium on Combustion, San Francisco, 3-8 Août 2014.
- [C83] *Volume Viscosity and Internal Energy Relaxation*, Workshop ModTerCom, Porquerolles, 6-7 Septembre 2014.
- [C84] *Relaxation of Quantum State Population in He/H₂ Mixtures*, 29th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Xian, Chine, Juillet 2014, (avec Domenico Bruno et Fabrizio Esposito).
- [C85] *Multicomponent Transport in Laminar Flames*, Laminar Burning Velocity 2015, LBV2015, Coria, Rouen, Mars 2015.

- [C86] *Diffuse interface methods for diffusion flame from subcritical to supercritical pressure*, 15th International Conference on Numerical Combustion, 19–22 avril 2015, Avignon, (avec Pierre Gaillard et Lionel Matuszewski)
- [C87] *Multicomponent Reactive Flows with Fast Chemistry*, Mathflows 2015, Porquerolles, Septembre 2015.
- [C88] *A Kinetic Model of Adsorption on Solid Surfaces*, 30th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Victoria Island, Canada, Juillet 2016, (avec Kazuo Aoki et Masanari Hattori).
- [C89] *Hybrid Kinetic/Fluid Modeling of Silicon Nanoparticles Dynamics in Silane Plasma Discharges*, 30th Conference on Rarefied Gas Dynamics, Victoria Island, Canada, Juillet 2016, (avec J.-M. Orlac'h, V. Giovangigli, T. Novikova and P. Roca i Cabarrocas).
- [C90] *Diffuse interface models : A comparison*, 16th International Conference on Numerical Combustion, 3–5 avril 2017, Orlando, USA, (avec Pierre Gaillard et Lionel Matuszewski)
- [C91] *Computation study of Al droplet combustion in different atmospheres*, EUCASS 2017 Conference, 3–6 Juillet 2017, Milan, Italie, (avec Mathieu Muller et Dmitry Davidenko)
- [C92] *A kinetic model of reactive crystal surfaces*, 31st Conference on Rarefied Gas Dynamics, Glasgow, Juillet 2018, (avec Kazuo Aoki).
- [C93] *Computational study of aluminum droplet combustion using a 1d unsteady approach*, 17th International Conference on Numerical Combustion, Aachen, 6-8 mai 2019, (avec Mathieu Muller et Dmitry Davidenko).
- [C94] *Supercritical fluid thermodynamics, diffuse interfaces and transcritical flames*, Second Workshop on Compressible Multiphase Flows, IRMA, Université de Strasbourg, 27-29 mai 2019.
- [C95] *Relaxation of internal energy and volume viscosity*, Mathematics conference between Zhejiang University and Top Institutions in Paris, HangZhou, Zhejiang University, 25-28 septembre 2019.
- [C96] *A Kinetic Derivation of Cahn-Hilliard Fluid Equations*, 32nd Conference on Rarefied Gas Dynamics, Seoul Juillet 2022.
- [C97] *Relaxation of Internal Energy Processes and Bulk Viscosities in Fluids*, 32nd Conference on Rarefied Gas Dynamics, Seoul Juillet 2022, (avec Domenico Bruno).
- [C98] *Kinetic Theory of Reactive Gas Flows and their Applications*, 4th European Conference on Nonequilibrium Gas Flows, NEGF23 TU Eindhoven Mars 2023.
- [C99] *Internal Energy Relaxation Processes and Bulk Viscosity Coefficients*. Workshop on discrete kinetic methods for combustion simulation: Fundamentals and Practice, European Combustion Meeting (ECM), Avril 2023.
- [C100] *Asymptotic Stability for a Multicomponent Reactive Flow Diffuse Interface Model*, Workshop on "Energetic methods for multi-component reactive systems and mixtures: Modelling, stability, and asymptotic analysis", WIAS Berlin Septembre 2023.
- [C101] *Mathematical modeling of multicomponent reactive flows from the kinetic theory*, EMS School on "Mathematical Aspects of Fluid Flows" Kácov, Mai 2024.
- [C102] *From Kinetic Theory to Hyperbolic-Parabolic Fluid Systems of Equations*, Harold Grad Conference, 33rd Rarefied Gas Dynamics International Symposium, Göttingen, Juillet 2024.
- [C103] *High Pressure Multicomponent Flows*, EMS-TAG Mixtures : Modeling, Analysis and Computing, Kickoff Meeting, Praha, Février 2025.
- [C104] *Un Modèle d'Interaction Solide-Gaz*, SMAI 2025, Congrès de Mathématiques Appliquées et Industrielles, Carcans-Maubuisson, Juin 2025.

- [C105] *Asymptotic Stability of Equilibrium States for Cohesive Fluids* International Workshop on Recent Advances in Nonlinear PDEs, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Novembre 2025, (avec Kazuo Aoki, François Golse et Shingo Kosuge).

3.9 LOGICIELS

La librairie `eglib.f` servant à évaluer les propriétés de transport dans les mélanges gazeux est disponible sur demande pour les utilisateurs universitaires. Des renseignements sur cette librairie peuvent être obtenus sur le serveur `www` du laboratoire <http://www.cmap.polytechnique.fr/www.eglib/>. Nous actualisons cette librairie périodiquement et elle est régulièrement demandée par de nouveaux utilisateurs. Cette librairie vient notamment d'être recommandée dans un article de synthèse sur le transport *Transport properties for combustion modeling*, N. Brown, L. Bastien, P. Price, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2011, Pages 565-582.

4. AUTRES ACTIVITES

4.1 ENSEIGNEMENT

4.1.1 Thèses

- Co-Encadrement à 30% d'un doctorant à l'Ecole Centrale de Paris, Bruno Laboudigue, en collaboration avec Sébastien Candel, en 1986-1988. La thèse a porté sur le calcul de la couche limite réactive autour du nez d'Hermès. La thèse a été soutenue le 3 décembre 1990 et Bruno Laboudigue a été engagé dans le Centre de Recherche de Pechiney à Voreppe.
- Encadrement à 100% d'un doctorant de l'Ecole Polytechnique. Alexandre Ern, a effectué une thèse sur les algorithmes d'évaluation des propriétés de transport des mélanges gazeux polyatomiques. La thèse a été soutenue le 27 avril 1994 et Alexandre Ern est parti travailler dans le Laboratoire CERMICS des Ponts et Chaussées.
- Encadrement à 100% d'un doctorant de l'Ecole Polytechnique. Marc Massot a effectué une thèse sur les équations des fluides réactifs et sur le calcul des flammes supersoniques. La thèse a été soutenue le 10 septembre 1996 et Marc Massot a obtenu un poste de Chargé de Recherche au CNRS.
- Encadrement à 30% d'une doctorante MESR/Industrie en collaboration avec Courbet, Ingénieur à l'ONERA. Gersendre Selva a effectué une thèse sur la résolution par itérations des grands systèmes linéaires. Cette thèse a été soutenue le 16 décembre 1998 et Gersendre Selva est parti travailler chez Total.
- Co-Encadrement à 20% d'un doctorant Cifre en collaboration avec François Jouve et Jean Claude Nédélec. Monsieur Binh Tran a travaillé sur la résolution des équations de Saint-Venant avec frontières libres, avec pour application le verre fondu. Monsieur Tran travaille dans la société Saint-Gobain, où il dirige une équipe de recherche. Il n'a malheureusement jamais fini la rédaction de son mémoire de thèse mais un article a été publié.
- Encadrement à 90% d'un doctorant MESR/ONERA/Industrie avec Sébastien Candel, Professeur à l'École Centrale. Rafik Bendahklia a effectué une thèse sur la modélisation et la simulation numérique de la combustion des brouillards de gouttelettes. La thèse a été soutenue le 30 octobre 2001 Rafik Bendahklia a été engagé par la société Peugeot.
- Encadrement à 10% d'un doctorant MESR/Industrie en collaboration avec Courbet, Ingénieur à l'ONERA. Nikos Letierrier a effectué une thèse sur les schémas de discrétisation des flux dissipatifs par la méthode des volumes finis. Cette thèse a été soutenue le 28 février 2003 et Nikos Letierrier est parti travailler au CEA.
- Encadrement à 100% d'un doctorant de l'École Normale Supérieure de Cachan. Benjamin Graille a effectué une thèse sur la modélisation des plasmas froids et les équations aux dérivées partielles correspondantes. Cette thèse a été soutenue le 9 novembre 2004 et Benjamin Graille a obtenu un poste de Maître de Conférences à l'Université d'Orsay.
- Encadrement à 40% d'un doctorant MESR/CNES en collaboration avec Yves Fabignon, Ingénieur à l'ONERA. Nicolas Meynet a travaillé sur la combustion dans les propulseurs solides d'Ariane. Cette thèse a été soutenue le 19 décembre 2005 et Nicolas Meynet a été engagé par l'Institut de Sureté Nucléaire IRSN.
- Encadrement à 20% d'un doctorant MESR/CNES en collaboration avec Yves Fabignon, Ingénieur à l'ONERA. Thomas Fontfreyde a effectué une thèse sur la modélisation des brouillards de gouttelettes dans les écoulements turbulents. La thèse s'est bien déroulée et le manuscrit est fini à 85% mais Monsieur Fontfreyde travaille maintenant dans l'ingénierie pétrolière et n'a jamais fini la rédaction.

- Encadrement à 70% d'un doctorant DGA avec Monsieur Francis Dupoirieux, Ingénieur à l'ONERA. Lionel Matuszewski, polytechnicien, a effectué une thèse sur la modélisation de la combustion des fluides supercritiques. La thèse a été soutenue le 11 mars 2011 et Monsieur Lionel Matuszewski a été engagé comme Ingénieur de Recherche à l'ONERA.
- Encadrement à 50% d'un doctorant DGA en collaboration avec Yves Fabignon, Ingénieur à l'ONERA. Shihab Rahman a travaillé sur la modélisation instationnaire de la combustion des propulseurs d'Ariane. La thèse a été soutenue le 14 mai 2012 et Monsieur Shihab Rahman a été engagé comme Ingénieur de Recherche à l'INERIS.
- Encadrement à 80% d'un doctorant ONERA en collaboration avec Yves Mauriot, Ingénieur à l'ONERA. Pierre Gaillard, polytechnicien, a préparé une thèse sur la modélisation de la combustion des fluides supercritiques. La thèse a été soutenue le 18 décembre 2015 et Pierre Gaillard est parti travailler chez MBDA.
- Co-encadrement à 50% d'un doctorant de l'École Polytechnique en collaboration avec Pere Roca, directeur du laboratoire PICM. Jean-Maxime Orlac'h, polytechnicien, a travaillé sur les réacteurs à plasmas pour le dépôt de silicium et la fabrication de cellules photovoltaïques. La thèse a été soutenue le 2 mai 2017.
- Encadrement à 20% d'un doctorant DGA en collaboration avec Dmitry Davidenko, Ingénieur à l'ONERA. Mathieu Muller, ancien élève de l'École Centrale de Lyon, a effectué une thèse sur la combustion de gouttes d'Aluminium dans les propulseurs d'Ariane. La thèse a été soutenue le 10 décembre 2019.
- Encadrement à 50% d'un doctorant financé grâce au projet ANR INSIDE en collaboration avec Monsieur Guillaume Ribert Maître de Conférences à l'INSA de Rouen. Yoann Le Calvez, ancien élève de l'École Centrale de Nantes, a préparé une thèse sur la modélisation mathématique, la simulation numérique et l'analyse mathématique des équations des interfaces diffuses. La thèse a commencé le 1er octobre 2020 puis réalisée à Rouen avec Guillaume Ribert pendant l'année 2022–2023.

4.1.2 Stages divers

- Encadrement de deux élèves effectuant leur stage de troisième année d'étude à l'École Centrale de Paris en 1984-1985. Stage sur la Simulation Numérique des Couches Limites Réactives.
- Encadrement de deux élèves effectuant leur stage de troisième année d'étude à l'École Polytechnique en 1989. Stage sur la sensibilité de délais d'auto-inflammation par rapport aux espèces réactives mises en jeux, en collaboration avec Pierre-Arnaud Raviart.
- Encadrement d'un stagiaire du DEA d'Analyse Numérique, commun à l'École Polytechnique et à l'Université Paris 6, en 1989. Alexandre Ern a travaillé sur la simulation numérique de la combustion.
- Encadrement d'un élève effectuant son stage de troisième année de l'École des Ponts et Chaussées au Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique en 1992. Stage sur les flammes accrochées sur un brûleur poreux.
- Encadrement d'un stagiaire du DEA d'Analyse Numérique, commun à l'École Polytechnique et à l'Université Paris 6, en 1993. Marc Massot a travaillé sur la symétrisation des équations des mélanges gazeux réactifs issues de la théorie cinétique des gaz.
- Encadrement d'un élève effectuant son stage de troisième année d'étude à l'École Polytechnique en 1995. Stage sur la modélisation d'un leurre infra-rouge avec des calculs de flammes.

- Encadrement d'un élève effectuant son stage de DEA "Analyse Numérique" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 1999–2000. Benjamin Graille a travaillé sur la modélisation des plasmas froids à hautes densités et sur l'analyse des équations aux dérivées partielles correspondantes.
- Encadrement d'un élève effectuant un stage de première année à l'École Polytechnique en 2002. Stage sur la modélisation des systèmes différentiels d'origine chimique.
- Encadrement d'un élève effectuant son stage de DEA "Analyse Numérique" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 2001–2002. Monsieur Mohamed Ait Hssaine a travaillé sur la modélisation d'un réacteur de réformage d'hydrocarbures.
- Encadrement d'un élève effectuant son stage de MASTER 2 "Mathématiques et Applications" parcours "Analyse Numérique et équations aux Dérivées Partielles" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 2011–2012, en collaboration avec Laurent Boudin, Bérénice Grec et Francesco Salvarini. Monsieur Colin Chambeyron a travaillé sur l'Analyse Numérique des équations de Maxwell-Stefan.
- Encadrement à 100% d'une étudiante effectuant son stage de MASTER 2 du parcours "Analyse Modélisation et Simulation" de l'Université Paris-Saclay pour l'année universitaire 2017-2018. Madame Cynthia Tayeh travaille sur la modélisation mathématique des parois réactives.
- Encadrement à 50% d'un stagiaire du Master 2 'Mathématiques de la Modélisation' de Sorbonne Université au printemps en 2020 en collaboration avec Flore Nabet du CMAP. Yoann Le Calvez, ancien élève de l'École Centrale de Nantes, a effectué un stage sur la thermodynamique des mélanges non idéaux et la symétrisation des équations des interfaces diffuses.

4.1.3 Cours de DEA/MASTER

- Cours dans le DEA "Analyse Numérique" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 1998–1999. Le cours était intitulé "Modélisation et Simulation Numérique des Mélanges Gazeux Réactifs".
- Cours dans le DEA "Analyse Numérique" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 1999–2000. Le cours était intitulé "Modélisation des écoulements réactifs en combustion et en pollution atmosphérique".
- Cours dans le DEA "Analyse Numérique" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 2000–2001. Le cours était intitulé "Modélisation des écoulements réactifs".
- Cours dans le DEA "Analyse Numérique" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 2001–2002. Le cours était intitulé "Modélisation des écoulements réactifs".
- Cours en deuxième année du MASTER de Sciences et Technologies, Mention "Mathématiques et Applications", Spécialité "Mathématiques de la Modélisation" de l'Université Paris 6, l'École Polytechnique, et l'École Normale Supérieure, pour l'année universitaire 2007–2008. Le cours est intitulé "Modélisation Mathématique et Simulation Numérique des écoulements Réactifs".

4.1.4 Cours divers

- Conférencier invité à l'Université YALE, mars 1987, New Haven USA. Titre de la conférence : Adaptive Continuation Algorithms.
- Conférencier invité à l'École de Printemps de Combustion 1987 à l'Île d'Oléron. Titre de la conférence : Calculs de Flamme et Effets d'étirements.
- Conférencier invité à l'École de Printemps de Mécanique des Fluides Numérique 1989 à Aussois. Titre de la conférence : Calcul des écoulements Réactifs avec Chimie Complexe.
- Conférencier invité à l'École d'Automne de Combustion 1989 à l'Île d'Oléron. Titre de la conférence : Calculs de Fronts de Flamme avec Chimie Complexe.
- Conférencier invité pour la manifestation "Maths en Jeans", Ecole Polytechnique Avril 1993, parrainée par la Société Mathématique de France. Titre de la conférence : Simulation Numérique de la Combustion.
- Participation à un cours de formation continue du Collège de l'École Polytechnique sur "La combustion et sa Modélisation" organisé par Sebastien Candel les 23–25 avril 1997 à Palaiseau. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.
- Participation à un cours de formation continue de l'Institut d'Expertise et de Prospective de l'École Normale Supérieure sur "Modélisation de la Combustion" organisé par Henri Berestycki et Fabienne Galzin, le 28 octobre 1997 à Paris. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme et des Réacteurs d'épitaxie.
- Participation à un cours de formation continue du Collège de l'École Polytechnique sur "Modélisation et Simulation de la Combustion" organisé par Sebastien Candel les 4–6 Mai 1999 à Palaiseau. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.
- Participation à un cours de l'École de Combustion du "Groupement Français du Combustion Institute" les 24–30 Mai 2000 au mont Saint Odile. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.
- Participation aux cours du CEMRACS 2000 'Modélisation de la Combustion et du Stockage des Déchets Nucléaires'. Cours sur la 'Modélisation Détaillée des Flamme' Laboratoire ASCII, 3–9 Juillet 2000.
- Participation à un cours de formation continue du Collège de l'École Polytechnique sur "Modélisation et Simulation de la Combustion" organisé par Sébastien Candel les 9–11 Mai 2001 à Palaiseau. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.
- Notes de cours pour le Von Karman Institute, "Multicomponent Transport Algorithms", le cours ayant été donné par Alexandre Ern en Juin 2002 lors d'une semaine sur les 'Physico-Chemical Models for High Enthalpy and Plasma Flows'
- Participation à la 6^e Ecole d'été SFT-CNRS sur la "Modélisation Numérique des écoulements Multi-phasiques et Réactifs" organisée par Richard Saurel de l'IUSTI de Marseille les 23–29 Juin 2002 à Porquerolles. Cours sur la Modélisation Détaillée des Mélanges Gazeux.
- Participation à un cours de formation continue du Collège de l'École Polytechnique sur "Modélisation et Simulation de la Combustion" organisé par Sébastien Candel les 20–23 Mai 2003 à Palaiseau. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.

- Participation à un cours de formation continue du Collège de l'École Polytechnique sur "Modélisation et Simulation de la Combustion" organisé par Sébastien Candel les 30 Mai–02 juin 2005 à Palaiseau. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.
- Participation à un cours de formation continue du Collège de l'École Polytechnique sur "Modélisation et Simulation de la Combustion" organisé par Sébastien Candel les 21 Mai–24 mai 2007 à Palaiseau. Cours sur la Modélisation Détaillée des Flamme Laminaires.
- Cours sur les liens entre les modèles cinétiques et les équations aux dérivées partielles modélisant les mélanges gazeux. University of Minho, Braga Portugal, Décembre 2013.
- Conférencier invité à la XL Summer School on Mathematical Physics, Cours sur 'Kinetic Theory of Reactive Gas Mixtures' Ravello, Italie, Septembre 2015.
- Conférencier invité à la l'Ecole de Combustion 2016, Cours sur le transport multi-espèce dans les flammes, Ile d'Oléron, Juin 2016.
- Cours sur "Mathematical modeling of multicomponent reactive flows from the kinetic theory", European Mathematical Society, EMS School on "Mathematical Aspects of Fluid Flows" Kácov, Mai 2024.

4.2 VALORISATION

- Contrat avec l'association pour l'étude des problèmes avancés (AEPA) et la Direction des Recherches et Etudes Techniques (DRET). "Le calcul numérique des flammes laminaires", Février 1985/ Juin 1985.
- Participation aux travaux contractuels faits pour la Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation (SNECMA) en 1985-1987 par le laboratoire EM2C du CNRS et de l'ECP.
- Participation aux travaux contractuels faits pour la société Dassault en 1987-1991 par le laboratoire EM2C du CNRS et de l'ECP portant sur la modélisation du nez d'Hermès.
- Participation aux travaux contractuels faits pour la Direction des Recherches et Etudes Techniques (DRET) en 1987-1988 par le laboratoire EM2C du CNRS et de l'ECP portant sur la simulation des mélanges gazeux réactifs.
- Contrat avec le PIRSEM Moteurs Cryotechniques pour une étude sur le calcul des flammes laminaires étirées d'Hydrogène-Oxygène (1988).
- Contrat avec la société Elf Aquitaine. Etude de la vectorisation des codes d'écriture automatique CHEMKIN et calcul de flammes de butane (1990).
- Contrat avec la société THOMSON-CSF. Simulation Numérique d'un réacteur MOCVD (1991).
- Contrat avec le PRC Combustion Supersonique pour une étude sur les flammes laminaires étirées instationnaires (1991).
- Contrat avec l'Institut Français du Pétrole. Simulation numérique des flammes étirées avec cinétique chimique complexe (1997).
- Travaux pour la société CETH présente sur le campus de l'École Polytechnique. Faisabilité d'une étude d'un réacteur de réformage d'hydrocarbures (2002).

- Conseiller Scientifique à l'ONÉRA de Mai 1989 à Novembre 2016, un jour par semaine. Travaux divers sur les limites d'extinction des flammes par inhibition, la simplification des schémas réactionnels, la simulation des flammes diphasiques à cinétique chimique complexe, le calcul de l'évolution de particules fluides dans un écoulement turbulent, la simulation des flammes de Perchlorate d'Ammonium dans le moteur d'Ariane, les modèles Eulériens de brouillards de gouttelettes, la simulation des flammes de Propergols, la modélisation des fluides supercritiques, les instabilités thermodynamiques, les flammes transcritiques planes et étirées, les plasmas ambipolaires, la diffusion nonidéale, les flammes transcritiques turbulentes, les multi-fluides, les modèles de gaz raréfiés et les interfaces diffuses.

4.3 ANIMATION DE LA RECHERCHE

- Responsable à l'École Polytechnique du DEA d'Analyse Numérique de Paris 6 entre 1997 et 2004, date de sa transformation en Master.

Responsable du Colloquium du Centre de Mathématiques Appliquées (avec Philippe Le Floch et Pierre-Arnaud Raviart) de septembre 1996 à juin 1999.

Responsable de l'équipe "Écoulements Diphasiques et Combustion" du Centre de Mathématiques Appliquées jusqu'en mars 2002.

- Membre du Comité éditorial de la revue 'La Recherche Aérospatiale' de juin 1994 à janvier 1997, date à laquelle cette revue s'est transformée.

Membre du Comité éditorial de la revue 'Combustion Theory and Modeling' de Mars 1997 à décembre 2019.

Éditeur en chef du Journal de l'École Polytechnique—Mathématiques, de Septembre 2013 à septembre 2018.

- Membre du Conseil Scientifique de la Maison de la Simulation depuis 2011.

Membre du Conseil Scientifique de la Fondation Mathématique Jacques Hadamard de 2011 à 2015.

- Organisateur Principal du Congrès SMAI 2009, 4e Biennale Française de Mathématiques Appliquées, qui s'est déroulé du 25 au 29 mai 2009 à La Colle sur Loup.

Colloquium Co-Chair pour la thématique 'Laminar Flames', 36th International Symposium on Combustion.

Membre du 'Steering Committee' du Congrès SIAM sur la Combustion Numérique depuis 1996 à 2019.

Membre du 'International Advisory Committee' du Congrès Rarefied Gas Dynamics depuis juillet 2016.

4.4 ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE

- Directeur adjoint du Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique, UMR 7641 du CNRS, du 1^{er} Mars 1997 au 30 Mai 1998.

Directeur du Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique, UMR 7641 du CNRS, du 1^{er} Juin 1998 au 30 mars 2006.

- Membre de la Commission de Recrutement de Mathématiques Appliquées de l'école Polytechnique jusqu'en juin 2006.
- Membre du Comité d'évaluation de l'Institut Non Linéaire de Nice, les 16-17 janvier 2003, et membre du Comité d'évaluation du Laboratoire de Mathématiques Appliquées de Pau, les 1 et 2 décembre 2005.

Président du Comité d'évaluation du Laboratoire de Mathématiques, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II, les 20 et 21 décembre 2006, et président du Comité d'évaluation du Laboratoire de Mathématiques, Université de Savoie, le 4 février 2010.

- Membre du Conseil Scientifique de l'École Doctorale de l'Ecole Polytechnique jusqu'en mars 2007.
- Membre du Comité d'évaluation pour les Programmes Blancs de l'Agence Nationale de la Recherche, Commission 'Sciences pour l'Ingénieur' CSD2 en 2008 et 2009 et de la commission 'Sciences pour l'Ingénieur' SIMI9 en 2010.
- Membre du Comité d'attribution de la Prime d'Excellence Scientifique pour les Mathématiques à l'Université de Versailles Saint-Quentin de 2010 à 2012.
- Président du Comité d'attribution du Prix Blaise Pascal en 2012 et membre de ce Comité en 2013.
- Membre de la Commission des Thèses *Mathématiques et Informatiques* de l'École Doctorale de l'École Polytechnique de septembre 2004 à décembre 2012 et président de cette commission d'octobre 2012 à décembre 2015.

Directeur Adjoint de l'École Doctorale Mathématique Hadamard, Représentant de l'École Polytechnique, jusqu'au mois de septembre 2015.

- Directeur Adjoint de la FMJH, chargé du Labex LMH, de septembre 2015 à septembre 2019. Les cinq programmes du Labex sont l'École Doctorale Hadamard et les mathématiques à l'interface avec les sciences du vivant, l'ingénierie, la physique théorique et les sciences de l'information et le LMH a regroupé treize laboratoires et environ cinq cents permanents.