LES MOTS DE LA COMBUSTION

Groupement Français de Combustion

19 janvier 2004

A

ABLATION

(angl. ablation) Transformation progressive d'un matériau par décomposition, fusion, vaporisation, sublimation, érosion... En technologie spatiale, l'ablation est utilisée pour limiter l'échauffement thermocinétique. La normalisation française propose divers termes dérivés : ablatif (propre à l'ablation), ablativement, ablatir (produire une ablation), s'ablatir (subir une ablation).

ABSORPTION

(angl. absorption) *du latin absorptio, même sens* [appl. mesure de concentration sur le trajet optique] Processus d'interaction où des photons incidents sont instantanément annihilés pour porter la matière sur un état énergétique excité ($\Delta E = h\nu$). Le coefficient de probabilité d'absorption (coefficient B_{12} d'Einstein) est la fréquence d'absorption de photon par molécule rapportée à la densité de photons incidents susceptibles d'être absorbés ($m^3 s^{-2} J^{-1}$). Selon la loi de Beer-Lambert, le coefficient d'absorption K_ν,(pour une fréquence optique donnée, est le gradient axial relatif d'énergie du faisceau : $K_\nu = -\frac{I}{I_0}(cm^{-1})$ **équiv:** atténuation relative. **voir:** Epaisseur optique, fluorescence, loi de Beer-Lambert.

ABSORPTIVITE

(angl. absorptivity) L'absorptivité caractérise les propriétés radiatives d'un corps (gaz, suies, particules). C'est le rapport du flux d'énergie absorbée $L^0_{\lambda T}$ par le corps à celui qui est reçu. Si les flux sont directionnels ou hémisphériques, l'absorptivité sera dite directionnelle ou hémisphérique. L'absorptivité totale intègre tout le spectre des longueurs d'onde.On a $\alpha_{\lambda T} = \frac{L_{\lambda T}}{L^0_{\lambda T}}$ avec $L_{\lambda T}$ flux incident. **équiv:** facteur d'absorption. **voir:** Luminance, radiance, flux lumineux.

ACCROCHE-FLAMME

voir: Stabilisateur.

ACD

initiales pour analyse calorimétrique différentielle **voir:** Analyse calorimétrique différentielle.

ACTIVATION

Ce mot n'est utilisé en cinétique que dans l'expression énergie d'activation. Il représente la barrière d'énergie qu'un système doit franchir pour passer d'un état initial à un état final plus stable. **voir:** Energie d'activation, énergie d'activation d'Arrhenius.

ACTIVITE

(angl. activity) [appl. thermodynamique] Pour une phase liquide ou solide contenant différentes espèces i, si $G_i^{p'}$ représente l'énergie libre de Gibbs d'une mole de i pur liquide ou solide à la température T et sous la pression p' et G_i^p l'énergie libre de Gibbs de i dans la solution ou le mélange à la même température mais sous la pression p, l'activité de i à T et p est définie par la relation $G_i^p - G_i^{p'} = RT\ln(a_i^{p,T})$. L'activité est liée au potentiel chimique par la relation $\mu_i = \mu_i^0 + RT\ln(a_i)$, où μ_i est le potentiel chimique de i à T et p, μ_i^0 est le potentiel chimique de i à l'état de référence et a_i l'activité de i.

ADIABATICITE

Caractère adiabatique d'un système. **voir:** Adiabatique.

ADIABATIQUE

du grec adiabatos : infranchissable Un système subit une transformation adiabatique lorsque, au cours de cette transformation, il est thermiquement isolé du milieu extérieur. Il peut échanger du travail mécanique avec l'extérieur mais est supposé être complètement entouré de parois adiabatiques, empêchant tout échange de chaleur avec l'extérieur. Même lorsque les parois sont conductrices de chaleur, une transformation peut être considérée comme adiabatique si elle est très rapide, l'échange de chaleur n'ayant pas le temps de se faire pendant la transformation. **www:** www.chm.ulaval.ca,www.ipst.u-strasbg.fr/jld/index.htm.

ADIABATIQUE DE CRUSSARD

voir: Equation de Crussard.

ADIABATIQUE DE HUGONIOT

voir: Equation de Hugoniot.

ADSORPTION

(angl. adsorption) Rétention à la surface d'un solide, dit adsorbant, des molécules d'un gaz ou d'une substance en solution ou en suspension.

AEROBIE

du grec aèr : air, et bios : vie **voir:** combustion aérobie.

AEROSOL

(angl. aerosol) (all. Aerosol) [appl. combustion, fumées, brouillards] Suspension de particules liquides ou solides très fines (de l'ordre de 1 um) produite lors d'un processus de combustion lorsque les fumées atteignent le point de rosée de divers produits lourds qu'elles contiennent.

AEROTHERMOCHIMIE

contraction de aéro pour aérodynamique, thermo pour thermodynamique et chimie Terme utilisé à l'origine par Th. Von Karman pour désigner l'association de trois disciplines, l'aérodynamique, la thermodynamique et la chimie (en particulier la cinétique chimique), pour décrire les écoulements laminaires ou turbulents sièges de réactions chimiques, homogènes ou hétérogènes.

AGE

initiales pour analyse des gaz émanents **voir:** Analyse des gaz émanents.

AGGLOMERATION

(angl. agglomeration) (all. Anhäufung) *du latin glomus : peloton* [appl. formation des suies] L'agglomération est un terme générique englobant tous les mécanismes qui conduisent à une réduction du nombre de particules présentes dans une flamme. Deux processus différents peuvent être décrits. La coagulation consiste en la fusion de deux particules de suie pour en former une nouvelle de taille supérieure. Ce mécanisme est basé sur un réarrangement important de la structure des suies, et il aura lieu lorsque les suies sont jeunes (taille inférieure à 10 nm). Le second processus est l'agglomération par coalescence. Dans ce cas la suie formée conserve la mémoire de la forme des deux sphères initiales. Ce mécanisme devient plus important lorsque les suies ont subi un traitement thermique dans la flamme, elles ont alors une structure moins *mobile.* **équiv:** agrégation. **voir:** Suie.

AGREGATION

voir: Agglomération.

AIR AXIAL

voir: Air extérieur.

AIR DE COMBUSTION

[appl. technologie industrielle, en particulier cimentière] Totalité de l'air entrant dans le four. Il comprend l'air primaire entrant dans le four par le brûleur (air intérieur, air extérieur, air de transport), et l'air injecté dans le four en aval du brûleur. **voir:** Air de transport, air extérieur, air intérieur, air primaire.

AIR DE COMBUSTION NEUTRE

[appl. technologie industrielle, en particulier cimentière] **voir:** Air stoechiométrique.

AIR DE TRANSPORT

[appl. technologie industrielle] Circuit d'air aboutissant au four par le brûleur et véhiculant le combustible solide, par exemple en technologie cimentière.

AIR EXTERIEUR

[appl. technologie industrielle, en particulier cimentière] Circuit d'air entrant dans le four par le brûleur, assurant le refroidissement du brûleur et participant par ses caractéristiques d'injection à la forme de la flamme dans un four industriel. **équiv:** air axial, air périphérique.

AIR INTERIEUR

[appl. technologie industrielle, en particulier cimentière] Circuit d'air entrant dans le four par le brûleur, dont la mise en rotation provoquée contribue à l'accrochage et à la forme de la flamme dans un four industriel. **équiv:** air radial, air rotationnel.

AIR PERIPHERIQUE

voir: Air extérieur.

AIR PRIMAIRE

[appl. combustion industrielle] L'air primaire comprend la totalité de l'air entrant dans le four par le brûleur. Dans le cas particulier d'un four moderne de cimenterie, l'air primaire représente de 8 à 12 % de l'air total. Il permet une combustion immédiate mais partielle du combustible, et l'accrochage de la flamme. En faisant varier le débit et la pression d'injection, on modifie la forme de la flamme. Dans le cas d'une chauffe au charbon, une partie de l'air primaire peut servir au transport de celui-ci. L'air introduit ultérieurement dans le four pour assurer la combustion totale est appelé, selon les configurations industrielles particulières, air secondaire, air tertiaire, ... **voir:** Air de transport, air extérieur, air intérieur.

AIR RADIAL

voir: Air intérieur.

AIR ROTATIONNEL

voir: Air intérieur.

AIR STOECHIOMETRIQUE

[appl. combustion industrielle] (unité: m^3 d'air/m^3 de gaz ou m^3 d'air/kg de combustible condensé) On appelle air stoechiométrique ou pouvoir comburivore d'un gaz combustible ou d'un combustible solide ou liquide la quantité d'air nécessaire et suffisante pour assurer la combustion complète de l'unité de volume de ce gaz ou de l'unité de masse du combustible condensé (charbon, fuel). L'air stoechiométrique permet donc d'obtenir la combustion complète sans excès d'air. Il est calculé à partir de l'analyse élémentaire du combustible, en supposant la combustion complète des différents éléments : H en H_2O, C en CO_2, S en SO_2.
Quelques ordres de grandeur : gaz naturel 9,8 Nm^3 d'air/Nm^3 de gaz (PCI 37650 kJ/Nm^3), fuel ? ? Nm^3 d'air/kg de fuel (PCI 39750 kJ/kg), charbon 6,7 Nm^3/kg de charbon (PCI 23000 kJ/kg). **équiv:** pouvoir comburivore, air théorique, air de combustion neutre.

AIR THEORIQUE

[appl. combustion industrielle] **voir:** Air stoechiométrique.

AIR TOTAL

[appl. combustion industrielle] L'air total est la somme de l'air stoechiométrique, théoriquement nécessaire et suffisant pour la combustion complète du combustible, et de l'excès d'air mis en oeuvre pratiquement.

ALLUMABILITE

(angl. ignitability) [appl. réaction au feu des matériaux] Mesure de la facilité avec laquelle une éprouvette d'un matériau peut être être allumée sous l'influence d'une source extérieure de chaleur dans des conditions d'essai spécifiées. Elle est identifiée par la combinaison de la chaleur apportée et du temps requis pour allumer l'éprouvette d'essai. Elle est exprimée en termes de température de la source chauffante ou de temps requis pour l'allumage (temps minimum d'allumage).

ALLUMAGE

(angl. ignition, forced ignition, firing) (all. Zündung) Acte de la mise en oeuvre de la source d'inflammation (étincelle électrique, flamme pilote, jet chaud...). Par extension, inflammation localisée donnant lieu à la propagation de la combustion. **équiv:** inflammation, mise à feu.

ALLUMAGE PAR ETINCELLE ELECTRIQUE

En supposant le mélange gazeux soumis à l'étincelle électrique inflammable, l'étincelle ionise le mélange et le rend ainsi conducteur. L'énergie électrique peut alors être libérée et permettre d'atteindre les conditions d'inflammation. Cette libération est très brève : d'une à quelques centaines de microsecondes. Si est la durée totale de l'étincelle, V le potentiel et I l'intensité du courant, l'énergie libérée sera $E = \int V\,I\,dt$. On peut admettre que cette énergie électrique est très rapidement transformée en énergie thermique et que, compte tenu des températures très élevées atteintes localement (de l'ordre de 3000°C), le délai d'auto-inflammation est très court. Pour que l'allumage ait lieu, il faut que E soit supérieure à une valeur critique E_c et soit libérée dans un volume supérieur à un volume critique V_c. **voir:** Energie critique d'allumage, volume critique d'allumage.

ALLUMAGE SPONTANE

(angl. self-ignition) [appl. feu, incendie] Allumage résultant d'un auto-échauffement d'un matériau. **équiv:** auto-allumage.

AMORCAGE

voir: Initiation.

AMORCEUR

voir: Inducteur.

ANALYSE CALORIMETRIQUE DIFFERENTIELLE

(angl. differential scanning calorimetry (DSC)) [appl. cinétique hétérogène, stabilité thermique des matériaux] Technique d'analyse thermique qui consiste à maintenir une différence de température nulle entre la substance étudiée et une substance inerte de référence, lorsque les deux échantillons sont soumis à la même variation linéaire de température et au même environnement, et à mesurer l'énergie nécessaire fournie soit à l'échantillon étudié soit à la référence (généralement par effet Joule). Comme pour l'analyse thermique différentielle, les surfaces des pics enregistrés en fonction du temps, c'est à dire en fonction de la température, sont liées quantitativement aux effets thermiques et peuvent être calibrées soit par effet Joule soit par comparaison avec un pic obtenu lors d'une transformation d'enthalpie connue. **voir:** Analyse thermique, analyse thermique différentielle.

ANALYSE DES GAZ EMANENTS

(angl. evolved gas analysis (EGA)) [appl. cinétique hétérogène, stabilité thermique des matériaux] Analyse de gaz ou mélanges gazeux issus de la dégradation thermique d'un échantillon, les produits volatils étant entraînés par un courant gazeux et analysés par toute technique appropriée (chromatographie en phase gazeuse, spectrométrie de masse...). L'analyse des gaz émanents (initiales AGE) complète avantageusement les techniques d'analyse thermique comme l'analyse thermogravimétrique ou thermogravimétrie (ATG), ou l'analyse thermique différentielle (ATD). **voir:** Analyse thermique différentielle, thermogravimétrie.

ANALYSE ELEMENTAIRE

Mesure de la composition d'une substance selon ses différents éléments constitutifs. Elle est souvent utilisée dans les études relatives à la réactivité de substances condensées (combustion, dégradation thermique, gazéification), pour caractériser les échantillons étudiés avant la réaction considérée et les résidus obtenus après cette réaction. Des appareils automatiques appropriés permettent le dosage simultané du carbone, de l'hydrogène et de l'azote, et, si nécessaire, du soufre et de l'oxygène (même si ce dernier est souvent déterminé par simple différence lorsque la substance étudiée ne contient que les éléments précédents). Le dosage d'éléments tels que Cl, Br, I, F, S, P et B s'effectue après minéralisation, généralement obtenue par combustion de l'échantillon (mais aussi en voie humide par attaque par un acide oxydant ou par le peroxyde de sodium), mise en solution des résidus et analyse des sels formés par des titrages classiques.

ANALYSE EN LIGNE

Méthode d'analyse de mélanges gazeux ou liquides où l'analyseur voit passer en continu les mélanges, directement sur la canalisation où ils circulent ou plus généralement sur une dérivation de dimension compatible avec l'analyseur. Dans la mesure où la partie sensible de l'analyseur voit un échantillon réellement représentatif de la composition des mélanges étudiés, l'analyse en ligne permet la détermination de la composition de ces mélanges ou de la concentration d'un ou plusieurs composants particulièrement intéressants de ces mélanges (par exemple le taux de CO dans des produits gazeux de combustion). L'analyse peut être menée soit en continu (par exemple par l'intermédiaire d'analyseurs infrarouges), soit de manière discontinue (par exemple par introduction d'échantillons dans un chromatographe à intervalles réguliers). Le terme d'analyse en ligne s'oppose aux méthodes de prélèvements et d'analyse où l'analyseur n'est pas couplé directement à la ligne de circulation du mélange.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

voir: Granulométrie.

ANALYSE IMMEDIATE

[appl. charbon] Analyse du charbon indiquant le taux d'humidité, le taux de matières volatiles, le taux de cendres et le carbone fixe. **voir:** Carbone fixe, indice de matières volatiles, taux de cendres.

ANALYSE SPECTRALE

(angl. power spectral density) [appl. analyse représentant l'énergie contenue dans le signal à une fréquence donnée] L'analyse spectrale consiste à étudier le contenu fréquentiel d'un signal ou de plusieurs signaux. Elle permet la détermination de la densité spectrale de puissance (Peuvent aussi être calculés la corrélation et le déphasage entre deux signaux. Généralement basée sur des transformées de Fourier rapides, l'analyse spectrale peut aussi être conduite avec des méthodes plus récentes (méthodes autorégressives, à moyenne glissante, de composition harmonique de Pisarenko...). **voir:** Transformée de Fourier rapide.

ANALYSE THERMIQUE

(angl. thermal analysis) *termes utilisés pour la première fois par G. Tammann en 1905.* [appl. cinétique hétérogène, stabilité thermique des matériaux] L'analyse thermique, au sens général du terme, consiste à mesurer l'évolution d'une grandeur physique en fonction de la température lorsque celle-ci varie linéairement au cours du temps. La grandeur mesurée peut être la masse (analyse thermogravimétrique), le dégagement ou l'absorption de chaleur (analyse thermique, au sens restreint du mot, ou analyse calorimétrique), la longueur ou le volume (analyse dilatométrique), une propriété électrique (conductimétrie ou mesure de résistance), magnétique, optique, structurale... L'analyse thermique peut être simple ou différentielle selon que la mesure de la grandeur physique considérée est effectuée directement ou par comparaison avec le comportement d'un échantillon de référence ne subissant pas de modification de la grandeur physique dans le domaine de température étudié. **voir:** Analyse calorimétrique différentielle, analyse thermique différentielle, thermogravimétrie.

ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE

(angl. differential thermal analysis (DTA)) [appl. cinétique hétérogène, stabilité thermique des matériaux] L'analyse thermique différentielle d'une substance dans un domaine de température donné consiste à caractériser la thermicité des transformations et réactions qu'elle subit, en mesurant la différence de température entre un échantillon de cette substance et une référence thermiquement inerte lorsque l'ensemble échantillon + référence est placé dans un four dont la température varie linéairement au cours du temps dans le domaine de température considéré.
La première mesure d'ATD a été réalisée en 1899. Les appareils disponibles actuellement permettent des mesures beaucoup plus précises, sans que le principe de la méthode ait changé. En l'absence de toute transformation ou réaction, la température de l'échantillon s'élève à la même vitesse que celle de la référence : le signal reste nul. Dans le cas contraire, un pic indique l'existence de transformations ou réactions endothermiques ($\Delta T = T_{echantillon} - T_{reference} < 0$) ou exothermiques ($\Delta T > 0$). On distingue cinq classes de transformations ou réactions impliquant des changements énergétiques et apparaissant sur les courbes d'ATD : transitions de phase, réactions à l'état solide, transitions du second ordre (variation d'entropie sans variation d'enthalpie, se traduisant par un décalage de la ligne de base), décompositions (généralement endothermiques), réactions avec un gaz actif (endothermiques ou exothermiques suivant le cas). On montre que la surface du pic d'ATD est

liée à la quantité d'énergie libérée ou absorbée, mais qu'elle dépend beaucoup des conditions expérimentales et des caractéristiques de l'appareillage. Il est donc avantageux d'effectuer un calibrage en comparant la surface du pic d'ATD de la réaction considérée avec la surface du pic obtenu dans les mêmes conditions expérimentales (mêmes appareillage, vitesse de montée en température, débits gazeux...) pour une transformation d'enthalpie connue (fusion d'un sel par exemple) se produisant à une température voisine de la réaction étudiée. L'ATD est très souvent pratiquée simultanément à la thermogravimétrie (ATG) dans des appareils appropriés. **voir:** Analyse calorimétrique différentielle, thermogravimétrie.

ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE

voir: Thermogravimétrie.

ANEMOMETRIE

du grec anémos : vent, et métron : mesure **voir:** Vélocimétrie.

ANEMOMETRIE LASER

voir: Vélocimétrie laser.

APPROXIMATION DE BOUSSINESQ

ARRETE-FLAMME

(angl. flame arrestor, flame trap) (all. Flammenrückschlagsicherung) Dispositif prévenant un retour de flamme à l'intérieur d'une canalisation, d'un appareil ou d'un récipient contenant un combustible, comme par exemple une grille ou un remplissage en toile métallique. **équiv:** coupe-flamme.

ARRHENIUS

nom du physicien suédois Svante Arrhenius (1859-1927), prix Nobel de chimie en 1903 **voir:** Equation d'Arrhenius, facteur d'Arrhenius.

ASPHALTE

Ce terme désigne l'ensemble des produits précipités par des solvants tels que des paraffines légères. Les constituants principaux de l'asphalte sont des constituants huileux (solubles dans le propane liquide chaud, c'est à dire à température ambiante), des résines (solubles dans le n-pentane, insolubles dans le propane liquide chaud) et des asphaltènes (insolubles dans le n-pentane, mais solubles dans le benzène). En géologie, les asphaltes désignent les bitumes solides ou semi-solides, noirs à brun-noirs, solubles dans le disulfure de carbone et qui se liquéfient progressivement au cours d'un chauffage. Les asphaltites sont des bitumes solides, durs, solubles dans le sulfure de carbone et qui se ramollissent au dessus de 110°C. **voir:** Asphaltène, bitume.

ASPHALTENE

Ce terme désigne la fraction des bitumes ou des asphaltes insolubles dans le n-pentane, mais solubles dans le benzène. Les asphaltènes sont généralement considérés comme les constituants d'une huile brute précipités par un fort excès d'un alcane, qui peut être selon les normes le pentane, l'hexane ou l'heptane. On parlera alors d'asphaltènes C5, C6 ou C7. Le concept d'asphaltènes a été généralisé aux produits issus de la liquéfaction du charbon : on désigne sous ce nom les constituants solubles dans le benzène et insolubles dans le pentane ou l'heptane, et sous le nom de préasphaltènes les constituants solubles dans la pyrydine mais insolubles dans le benzène. D'autres normes définissent les asphaltènes comme solubles dans le toluène et insolubles dans l'hexane, les huiles étant solubles dans l'hexane et les préasphaltènes étant solubles dans le tétrahydrofurane et insolubles dans le benzène. **voir:** Asphalte, bitume.

ATD

initiales utilisées pour analyse thermique différentielle **voir:** Analyse thermique différentielle.

ATG

initiales utilisées pour analyse thermogravimétrique **voir:** Thermogravimétrie.

ATOMISATION

(angl. atomization) *du latin atomus : indivisible* **voir:** Pulvérisation.

ATOMISEUR

[appl. technologie industrielle] Dispositif d'injection de combustible liquide servant à pulvériser mécaniquement les liquides en fines gouttelettes et à donner au jet la forme et l'angle optimums pour l'application souhaitée.

ATTENUATION RELATIVE

voir: Absorption.

AUTO-ALLUMAGE

voir: Allumage spontané.

AUTO-ECHAUFFEMENT

(angl. self-heating) [appl. feu, incendie] Réaction exothermique dans un matériau entraînant une élévation de température dans ce matériau.

AUTO-INFLAMMATION

(angl. self-ignition) (all. Selbstzündung) [appl. cinétique chimique, moteurs à combustion interne, sécurité] L'auto-inflammation est une inflammation dans laquelle un mélange combustible-comburant porté à une température et une pression suffisantes s'enflamme "spontanément" dans certaines conditions de confinement (volume plus ou moins grand). Lors de l'inflammation des composés hydrocarbonés, plusieurs types de phénomènes macroscopiques sont susceptibles de se produire. Leur apparition est fonction des paramètres, pression, température et concentrations. On peut citer outre les flammes normales, les flammes froides, les auto-détonations, les flammes à long retard.
Les auto-inflammations normales conduisant à des flammes normales sont obtenues au delà de 400°C. Elles sont facilement visibles dans le réacteur, de couleur bleue ou jaune suivant les concentrations et les pressions. Sur les enregistrements de variation de pression et d'intensité lumineuse, elles se manifestent par un pic très intense dû à leur caractère très énergétique.
Les auto-inflammations froides se produisent généralement à des températures inférieures à 400°C. Du côté des faibles pressions, le domaine des flammes froides est séparé de celui des flammes normales par une zone dite de "coefficient négatif de température" (intervalle de température au cours duquel la vitesse de réaction d'oxydation passe par un minimum en fonction de la température). Dans le cas du méthane, elles n'apparaissent qu'à partir de 550°C. Elles se manifestent par un pic ou des pics successifs (dans le cas d'auto-inflammations froides multiples) d'amplitude bien inférieure à celle d'une auto-inflammation normale. L'auto-inflammation froide est visible à l'oeil sous forme d'une lueur bleue.
Une auto-inflammation froide peut être suivie d'une auto-inflammation normale de second stade : la flamme froide peu lumineuse est suivie immédiatement par une flamme normale, jaune ou bleue, bien plus intense que la flamme froide. Ces flammes normales de second stade jouent un rôle très important dans le fonctionnement normal des moteurs Diesel. Pour certains combustibles, on observe la présence d'un domaine dans lequel se produisent des flammes normales de troisième stade, et même dans le cas du propane dans certaines conditions, de domaines d'auto-inflammation normale de quatrième et cinquième stade. Ces domaines sont fermés par la limite des flammes normales de second stade. Ces auto-inflammations normales de Nième stade sont identiques aux auto-inflammations normales de second stade, à la différence près que ce n'est plus la première flamme froide qui "allume" le reste du mélange, mais respectivement la deuxième, la troisième et la quatrième flamme froide.
Les auto-inflammations détonantes se produisent à l'intérieur du domaine d'auto-inflammation normale de second stade et du domaine d'auto-inflammation normale, du côté des fortes concentrations en oxygène. L'auto-accélération de la flamme normale engendre une onde de choc qui se traduit à chaque fois par la destruction de l'installation, lorsqu'elle est en Pyrex. Lorsque ce phénomène de combustion associé à une onde de choc se produit, il est source d'accidents ou d'incidents mécaniques dans les moteurs thermiques. Il est en effet à l'origine du phénomène de cliquetis observé dans les moteurs à combustion interne à allumage commandé, les moteurs Diesel et les moteurs Diesel-gaz dans certaines conditions expérimentales.
L'auto-inflammation à long retard correspond à la naissance d'une flamme parasite qui se produit à haute température pour les mélanges riches en oxygène. Comme son nom l'indique, elle se produit au bout d'un temps assez long. Elle est due à une accumulation d'hydrogène et de monoxyde de carbone qui se retrouvent dans leurs propres conditions d'auto-inflammations. Pour ces derniers combustibles (H2 et CO), il existe en fait un "coefficient négatif de pression" qui se traduit par l'apparition de trois limites d'auto-inflammations en fonction de la pression.
équiv: inflammation spontanée. **voir:** Cliquetis, coefficient négatif de température, délai d'auto-inflammation, flamme froide, limite d'auto-inflammation, température d'auto-inflammation.

AUTO-INHIBITION

[appl. cinétique chimique] Inhibition d'une réaction par un composé inhibiteur produit par la réaction elle-même. **voir:** Inhibiteur, inhibition.

AUTOPROPULSION

(angl. rocket propulsion) (all. Raketenantrieb) Mode de propulsion d'un engin lorsque les forces qui le mettent en mouvement résultent de l'éjection d'une partie de sa propre masse. Ce mode de propulsion n'utilise pas le milieu ambiant. On lui associe quelquefois les termes de propulsion à réaction ou propulsion par moteur-fusée. On distingue principalement deux modes d'autopropulsion : la propulsion propergolique classique, pour laquelle la source d'énergie utilisée est contenue dans la matière qui sera éjectée (cette matière est alors appelée propergol), et la propulsion non propergolique ou à masse inertielle éjectable, pour laquelle la matière éjectée est inerte.

AVANCEMENT DE REACTION

[appl. cinétique chimique] Pour une réaction isolée, on peut définir différents types d'avancement. L'un des plus simples et des plus employés, pour un système fermé et une réaction $aA+bB+\ldots \rightarrow lL+mM+\ldots$, est l'avancement de De Donder , défini par $-\frac{dn_A}{a} = -\frac{dn_B}{b} = \ldots = -\frac{dn_L}{l} = -\frac{-dn_M}{m} = \xi$, est exprimé en moles, et $\xi = 0$ pour $t = 0$. Donc, pour un réactif A, $n_A = n_{A,0} - a\xi$, et pour un produit L, $n_L = n_{L,0} + l\xi$.
Une autre définition courante de l'avancement est le taux de conversion τ_A d'un réactif A. En général on choisit le réactif minoritaire, c'est à dire celui qui arrive à épuisement le premier. L'avancement est défini

par $n_A = n_{A,0}\,(1 - \tau_A)$, où τ_A est un nombre sans dimension. Pour une réaction à stoechiométries multiples, on est amené à définir un avancement (soit ξ_j, soit $\tau_{A,j}$) pour chacune des j composantes. L'avancement global est alors un vecteur à j composantes.

B

BANDE MOLECULAIRE

(angl. molecular band) [appl. propriétés radiatives des gaz de combustion dans une flamme] Ensemble des transitions (dipolaires) rotationnelles correspondant à une transition vibrationnelle donnée. **équiv:** spectre vibrationnel. **voir:** Spectroscopie moléculaire.

BARRIERE D'ACTIVATION

Expression parfois employée pour désigner l'énergie d'activation d'un processus élémentaire. **voir:** Energie d'activation.

BEC BUNSEN

(angl. Bunsen burner) *du nom du physico-chimiste allemand Robert Bunsen (1811-1899)* [appl. flamme laminaire] Brûleur de laboratoire pour flammes laminaires de prémélange à richesse variable. L'injection du combustible gazeux (gaz naturel, butane, propane ou méthane) s'effectue au fond du brûleur tubulaire par un orifice ou gicleur. Le prémélange s'effectue dans la cavité tubulaire du brûleur, l'air étant aspiré par effet de trompe par des ouvertures à la base du brûleur. Une virole cylindrique et concentrique au tube permet la régulation du débit d'air ainsi obtenu, donc de la richesse. Lorsque la virole est fermée, le bec Bunsen produit une flamme de diffusion dans l'air. La flamme laminaire d'un bec Bunsen est accrochée par la couche de mélange créée par le bord du brûleur. Le bec Bunsen est utilisé généralement dans les laboratoires de physique et chimie comme source de chaleur pour chauffer des préparations. En combustion on l'utilise pour des études fondamentales, pour la mise au point de diagnostics, comme flamme veilleuse. **équiv:** brûleur laminaire prémélangé.

BEC MECKER

(angl. Mecker burner) [appl. flamme laminaire] Brûleur similaire au bec Bunsen, dont il se différencie par une grille épaisse insérée en extrémité du tube et qui permet de réaliser un accroche-flamme régulier à la surface de sortie du brûleur. Ce système de stabilisation donne lieu à une flamme plus courte à débit égal par rapport au bec Bunsen, la surface de flamme étant distribuée dans un volume conique dont la base est constituée par la grille Mecker, chaque maille de la grille donnant naissance à une flamme semblable à celle d'un bec Bunsen. **équiv:** brûleur laminaire prémélangé.

BEER

nom du physicien allemand August Beer (1825-1863) **voir:** Loi de Beer-Lambert.

BERTHELOT

nom du chimiste français Marcellin Berthelot (1827-1907) Marcellin Berthelot a joué un grand rôle dans l'étude des quantités de chaleur mises en jeu dans les réactions chimiques (thermochimie). Il a été l'un des premiers à étudier scientifiquement la combustion, en collaboration avec Paul Vieille, dont il a utilisé à partir de 1880 la bombe calorimétrique pour l'étude des explosifs et des chaleurs de formation des composés organiques.

BIERGOL

voir: Diergol.

BILAN AERAULIQUE

[appl. technologie industrielle] Bilan des entrées et sorties des gaz d'un atelier, exprimées en Nm^3 par kg de matière. Il fournit des renseignements utiles sur la répartition des différents flux gazeux (par exemple en permettant la mise en évidence d'entrées d'air parasites) et donne une image du fonctionnement de l'installation.

BILAN THERMIQUE

[appl. technologie industrielle] Bilan des quantités de chaleur entrant et sortant d'une installation industrielle et tenant compte des transformations et changements d'état de la matière. C'est une opération très technique qui ne peut être effectuée que sur une installation fonctionnant en régime stable. Elle comprend un grand nombre de mesures (débits, températures, analyses des matières, gaz et combustibles) sur une période continue, la plus longue possible, pour obtenir des résultats fiables. Le bilan thermique donne une image instantanée du fonctionnement de l'installation par l'évaluation et la quantification des différents postes. La comparaison des bilans permet de suivre les progrès de fonctionnement et les améliorations techniques, ou de localiser les causes d'anomalies et de dérives.

BIMOLECULAIRE

voir: Réaction bimoléculaire.

BIOMASSE

(angl. biomass) Matière vivante, animale ou végétale, présente à la surface du globe, aussi bien sur les terres émergées (biomasse terrestre) que dans les océans (biomasse marine). La biomasse terrestre végétale peut être utilisée pour la production d'énergie par combustion, soit directement, soit indirectement (production de charbon de bois par carbonisation de la biomasse, production de gaz combustible par transformation biochimique de la biomasse, par exemple).

BIREFRINGENCE

BITUME

Les bitumes regroupent l'ensemble des produits organiques naturels riches en carbone et en hydrogène, fusibles, combustibles et solubles dans le sulfure de carbone. Ils comprennent les huiles brutes (pétrole), les asphaltes et les asphaltites. On y ajoute les produits analogues obtenus par pyrogénation de matières organiques naturelles (schistes bitumineux). L'usage tend à exclure le pétrole pour réserver le nom de bitume aux produits noirs, solides ou pâteux. En géologie, le terme de bitume représente les goudrons émis au cours de la houillification, qui sont ensuite condensés, généralement dans des cavités ou des fissures. **voir:** Asphalte, charbon.

BLEVE

acronyme de Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion : explosion de vapeur en expansion à partir de liquide en ébullition [appl. risques industriels] Ce terme concerne principalement des explosions non confinées. Lorsqu'un combustible liquide, en contact avec l'air environnant, par exemple à la suite d'une fuite, se trouve dans les conditions d'ébullition, les vapeurs mélangées à l'air peuvent constituer un mélange (nuage) non uniforme explosible. Si explosion il y a, le processus peut être une déflagration ou parfois une détonation. Il y a formation d'une boule de feu et d'une onde de souffle plus ou moins intense.

BLOCAGE THERMIQUE

(angl. thermal chocking) Phénomène lié au fait qu'il est thermodynamiquement impossible, à section constante, d'apporter au fluide plus d'énergie que celle qui amène les gaz brûlés à la vitesse du son. En régime subsonique, l'apport d'énergie accélère l'écoulement, mais en régime supersonique, il le ralentit. En régime subsonique, un excès de chaleur bloque l'écoulement vers l'aval et un train d'ondes de compression remonte l'écoulement pour en modifier les conditions initiales. Il est alors nécessaire, par exemple dans le cas d'un turboréacteur avec réchauffe, de mettre en place une tuyère d'éjection à section variable. **équiv:** limite sonique.

BLOW-OFF

voir: Décrochage.

BLOW-OUT

voir: Soufflage.

BLUFF BODY

mots anglais signifiant corps non profilé Obstacle placé dans un écoulement créant un blocage important ainsi qu'un effet de culot afin de servir de stabilisateur ou d'accroche-flamme. Ce terme s'applique également dans le cas d'une flamme de diffusion stabilisée en sortie d'un tube se terminant par un élargissement brusque, afin d'engendrer une zone de recirculation. **voir:** Stabilisateur.

BML

initiales des physiciens anglais et américains K.N.C. Bray, Moss et P. Libby **voir:** Modèle BML.

BOLTZMANN

nom du physicien autrichien Ludwig Boltzmann (1844-1906), l'un des créateurs de la théorie cinétique des gaz

BOUSSINESQ

nom du mécanicien français Valentin Boussinesq (1842-1929) **voir:** Approximation de Boussinesq.

BRAI

(angl. pitch) *mot d'origine gauloise, issu de la forme probable bracu : boue* Résidu de la pyrolyse d'un matériau organique ou de la distillation d'un goudron. Il est solide à température ordinaire et est composé d'un mélange complexe d'hydrocarbures aromatiques et hétérocycliques qui conduit à une large bande de température de ramollissement plutôt qu'à un point de fusion défini. Malgré ce fait, le point de ramollissement peut être défini avec précision en utilisant certaines méthodes spécifiques. Quand ils sont refroidis depuis l'état liquide, les brais se solidifient sans cristalliser. Le brai de houille est le résidu de la distillation ou du traitement thermique du goudron de houille. Le brai de pétrole est le résidu du traitement thermique et de la distillation de fractions de pétrole.

BRANCHEMENT

voir: Ramification.

BRAY-MOSS-LIBBY

noms des physiciens anglais et américains K.N.C. Bray, Moss et P. Libby **voir:** Modèle BML.

BROUILLARD

(angl. spray) Jet diphasique de gaz et de gouttes de liquide. Un différentiel de vitesse peut exister entre les deux phases. Il est souvent dû au dispositif utilisé pour la pulvérisation. Si ce différentiel de vitesse est trop élevé, il conduit à l'éclatement des gouttes par les forces aérodynamiques. C'est le mécanisme d'atomisation secondaire. **voir:** Goutte, pulvérisation.

BRULEUR

[appl. combustion industrielle] Ensemble des éléments qui assurent l'introduction du ou des combustibles et des airs primaires associés. Le brûleur peut également être appelé tuyère dans certaines industries (technologie cimentière, par exemple). **voir:** Air primaire.

BRULEUR A AIR SOUFFLE

[appl. combustion industrielle] Brûleur à prémélange dans lequel l'air de combustion est amené sous pression à l'aide d'un ventilateur. Lorsque le ventilateur, les vannes de régulation et de sécurité et la tête de combustion sont intégrés dans un seul carter, le brûleur est dit monobloc.

BRULEUR A BAS NOx

(angl. low NOx burner) Brûleur conçu pour minimiser l'émission d'oxydes d'azote NOx dans les fumées. Sont en général considérés comme brûleurs à bas NOx les brûleurs dont le facteur d'émission est inférieur à la réglementation la plus sévère du moment. A titre d'exemple, en 1993, pour les chaudières à gaz destinées aux applications des secteurs domestique et tertiaire, les brûleurs produisant moins de 80 ppm NOx/Nm^3 de fumées sèches à 3 % d'oxygène sont considérés comme bas NOx. Cette limite évolue régulièrement en fonction de la réglementation et des progrès techniques.

BRULEUR A FLAMME PLATE

(angl. flat flame burner) Dispositif permettant la stabilisation d'une flamme de prémélange dans un écoulement laminaire unidimensionnel. Ces brûleurs sont généralement constitués d'un poreux ou d'une plaque percée de nombreux trous de petits diamètres et sont maintenus à température constante par un circuit de refroidissement.

BRULEUR A INDUCTION ATMOSPHERIQUE

[appl. brûleur à gaz] Brûleur à prémélange dans lequel l'air ambiant est mélangé avec le combustible grâce à l'entraînement par un jet gazeux de combustible issu d'une buse à orifice calibré. C'est le principal mode de fonctionnement des brûleurs à gaz dans les applications domestiques.

BRULEUR A MELANGE AU NEZ

(angl. non premixed burner) [appl. utilisation industrielle du gaz] Brûleur pour lequel les deux fluides, comburant et combustible, sont admis séparément au nez du brûleur. Ce type de brûleur est principalement utilisé dans les fours et les chaudières industrielles, où la combustion est celle de flammes de diffusion turbulentes. La combustion est le plus souvent stabilisée par la présence d'une zone de recirculation engendrée par l'effet de sillage d'un obstacle ou la dépression due à la mise en rotation de l'air de combustion ainsi que par le fort confinement de la zone de mélange grâce à l'adjonction d'un ouvreau. S'oppose à brûleur à mélange préalable. **équiv:** brûleur à alimentations air-gaz séparées, brûleur à mélange à la tête. **voir:** Brûleur à mélange préalable, flamme de diffusion, ouvreau.

BRULEUR A MELANGE PREALABLE

(angl. premixed burner) [appl. utilisation domestique du gaz] Brûleur alimenté par un mélange homogène d'un gaz comburant et d'un gaz combustible. Dans les brûleurs domestiques, le prémélange peut être total (stoechiométrie ou excès d'air) ou partiel (défaut d'air). Dans ce dernier cas le complément d'air à apporter pour terminer la combustion est appelé air secondaire. L'écoulement peut être laminaire (brûleur de cuisinière, chaudière domestique) ou turbulent (brûleur industriel). S'oppose à brûleur à mélange au nez. **équiv:** brûleur à prémélange. **voir:** Brûleur à mélange au nez, flamme de prémélange.

BRULEUR AUTORECUPERATEUR

[appl. industrie, applications haute température] Brûleur dans lequel une partie de la chaleur sensible des fumées est récupérée pour préchauffer l'air de combustion.

BRULEUR JET

(angl. jet burner) [appl. utilisation du gaz dans l'industrie] Brûleur où la vitesse de sortie des produits de combustion est importante, de l'ordre d'une à quelques centaines de mètres par seconde. Avec ce type de brûleurs, l'échange de chaleur avec le milieu ambiant est très rapide et se fait essentiellement par convection. Ils permettent à la fois d'effectuer des opérations de chauffage rapide et, grâce au brassage intense de l'atmosphère des enceintes où ils sont mis en oeuvre, d'éviter les surchauffes locales.

BRULEUR LAMINAIRE PREMELANGE

voir: Bec Bunsen, bec Mecker.

BRULEUR RADIANT

(angl. radiant burner) Brûleur où une partie importante du transfert de chaleur vers le produit à chauffer

s'effectue par transfert radiatif. Les brûleurs radiants sont d'une grande diversité et sont utilisés dans un très large domaine d'applications pour le chauffage des locaux ou dans les fours industriels. Ils ont en commun une conception permettant de porter à haute température une surface constituée en général d'une substance réfractaire, dont le rayonnement sera utilisé pour chauffer des produits ou une enceinte thermique.

BRULEUR REGENERATIF

[appl. industrie, applications haute température] Brûleur auquel est associé un récupérateur de chaleur constitué par une masse céramique destinée à stocker et restituer de la chaleur sensible des fumées.

BUNSEN

nom du physico-chimiste allemand Robert Bunsen (1811-1899) Entre autres inventions, Robert Bunsen a imaginé le brûleur qui porte son nom et a créé avec Gustav Kirchhoff l'analyse spectrale. On lui doit également les premières mesures de la vitesse normale de propagation des flammes par la méthode du retour de flamme et la détermination des pressions développées dans les explosions gazeuses et des températures adiabatiques de la flamme. **voir:** Bec Bunsen.

BURKE-SHUMAN

voir: Modèle de Burke-Shuman.

C

CALEFACTION

(angl. film boiling) Présence d'un film de vapeur, engendré par ébullition nucléée (vaporisation par formation de bulles de vapeur), entre une paroi chaude et un fluide qui est soit un liquide, soit un mélange diphasique de liquide et de vapeur, cette présence se traduisant par un mauvais transfert de chaleur entre la paroi et le fluide.

CALOPORTEUR

(angl. coolant) Se dit d'un fluide transportant de l'énergie thermique d'un système à un autre pour en évacuer la chaleur. **équiv:** réfrigérant.

CALORIE

du latin calor : chaleur Unité d'énergie sous forme thermique (symbole cal) dont l'utilisation est prohibée en France depuis le 1er janvier 1978. L'unité d'énergie du système SI est le joule (symbole J). La calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1 g d'un corps dont la chaleur massique est égale à celle de l'eau à 15°C sous la pression atmosphérique normale. 1 cal = 4,1855 J. **voir:** Joule.

CARBON BLACK

voir: Noir de carbone.

CARBONE

du latin carbo : charbon (angl. carbon) (all. Kohle, Kohlenstoff) Elément de numéro atomique 6 et de masse atomique 12,01115 (98,9 % d'isotope 12 et 1,1 % d'isotope 13 dans le carbone naturel. Il se présente sous deux formes cristallines allotropiques, le diamant et le graphite. Les variétés dites amorphes sont formées de microcristaux qui ont plus ou moins la structure du graphite. Le carbone est relativement peu abondant sur notre Terre, où il ne forme que 0,2 % de la croûte terrestre. Mais que feraient les spécialistes de la combustion sans lui ?

CARBONE CONRADSON

Le résidu Conradson se dose sur les produits pétroliers peu volatils (norme NF-T60-116). Le principe consiste à brûler les effluents volatils lorsqu'ils se forment, tout en pyrolysant le résidu sous atmosphère non inerte (creuset fermé sous air). Le résidu correspond au coke, dont la masse est rapportée à celle de départ.

CARBONE FIXE

(angl. fixed carbon) *du latin carbo : charbon* [appl. combustion du charbon et des combustibles solides] Désigne la fraction de combustible solide non dévolatilisé résultant de l'essai de dévolatilisation défini par une norme ASTM. Dans le cas de matériaux naturels comme les charbons, il convient de corriger la valeur obtenue expérimentalement du taux de cendres (af : ash free basis) et du taux d'humidité (daf : dry ash free basis). Cf = 1 - taux de cendres - indice de matières volatiles. **voir:** Dévolatilisation, indice de matières volatiles, taux de cendres.

CARBONE PYROLYTIQUE

Le carbone pyrolytique est un matériau carboné obtenu par dépôt chimique à partir de la phase vapeur (DCPV) entre 1000 et 2100 K. L'expression carbone pyrolytique ne désigne pas la grande variété de matériaux carbonés obtenus par dégradation thermique (thermolyse, pyrolyse) des composés organiques quand ils n'ont pas été obtenus par DCPV. Pyrocarbone, qui est un synonyme de carbone pyrolytique, est une marque commerciale qui ne doit pas être utilisée comme nom commun.

CARBONE TOTAL

[appl. combustion du gaz] (unité: m3 de CO2/m3 de gaz) Le dioxyde de carbone total ou carbone total est le volume du dioxyde de carbone produit par la combustion complète de l'unité de volume de gaz.

CARBONISAT

(angl. char) Produit de carbonisation de composé organique naturel ou synthétique qui, au cours de sa carbonisation, n'est pas passé par un état fluide. L'absence de phase liquide fait que le carbonisat conserve fréquemment la forme du précurseur, bien que de taille plus petite. **voir:** Carbonisation.

CARBONISATION

(angl. charring) Formation d'un résidu carboné plus ou moins pur par réaction de pyrolyse ou au cours d'une combustion incomplète. Comme pour toute réaction pyrolytique, la carbonisation est un processus complexe où prennent place concurremment déshydrogénation, condensation, transfert d'hydrogène, isomérisation... Le processus diffère de la houillification par sa

cinétique qui est de plusieurs ordres de grandeur plus rapide. La température finale de pyrolyse régit le degré de carbonisation et le contenu résiduel en éléments autres que le carbone. Ainsi la fraction massique de carbone dans un matériau organique carbonisé peut atteindre ou dépasser 90 % à 1200 K, elle est généralement supérieure à 99 % à 1600 K.

CARBURANT

(angl. fuel) (all. Brennstoff) *dérivé de carbure, sous-entendu carbure d'hydrogène, nom ancien pour hydrocarbure* Dans sa signification ancienne et classique, un carburant est un combustible constitué par des molécules carbonées. On considère plutôt maintenant qu'un carburant est un combustible destiné à l'alimentation d'une machine thermique, qu'il soit ou non carboné (par exemple, un carburant pour fusée).

CARBUREACTEUR

(angl. jet fuel) [appl. carburants] Terme normalisé français désignant un combustible pour moteur à réaction. **voir:** Kérosène.

CARNEAU

ancienne forme de créneau [appl. technologie industrielle] Conduit de section importante dans lequel les gaz circulent.

CARS

Coherent Anti-Stokes Raman Scattering : diffusion Raman anti-Stokes cohérente (DRASC) **voir:** Diffusion Raman Anti-Stokes Cohérente.

CATALYSE

(angl. catalysis) Accélération ou modification d'une réaction chimique sous l'effet d'une espèce chimique, le catalyseur, pouvant agir en dose infime et qui se retrouve inaltérée à la fin de la réaction.

CATALYSEUR

[appl. cinétique chimique] Composé qui, introduit en petite quantité avec les réactifs, accélère fortement une réaction chimique et se retrouve pratiquement inchangé en fin de réaction.

CATERGOL

(angl. catergol) [appl. propulsion] Monergol dont la réaction exothermique exige la présence d'un catalyseur. **voir:** Monergol.

CELERITE

(angl. celerity) *du latin celer : rapide* [appl. ondes] Vitesse de propagation d'une onde, n'impliquant pas nécessairement le transport de matière.

CELERITE DE FLAMME

voir: Vitesse de flamme.

CELLULE DE DETONATION

(angl. detonation cell) [appl. structure cellulaire de la détonation] La structure de la zone qui constitue le processus de détonation est tridimensionnelle. Elle est constituée par des assemblages plus ou moins organisés, plus ou moins étendus dans l'espace d'ondes de choc et de zones de réaction. Les intersections des ondes de choc sont des lieux de fortes surpressions dont on peut suivre les déplacements par la technique des traces sur un dépôt de suie. Ces traces, lorsqu'elles sont bien organisées (notion de stabilité de la détonation), ont des formes semblables (cellules), dont les dimensions vont d'une fraction de millimètre à une dizaine de centimètres. Les cellules de détonation constituent des paramètres dynamiques importants de la détonation et peuvent caractériser un système détonant.

CELSIUS

nom du physicien et astronome suédois Anders Celsius (1701-1744), qui a créé l'échelle thermométrique centésimale **voir:** Température Celsius.

CENDRE

[appl. combustion du charbon et de combustibles solides] Résidu inorganique de matières minérales obtenu par combustion complète du charbon ou d'un autre combustible solide. Il contient surtout de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer et de la chaux. **voir:** Taux de cendres.

CENOSPHERE

(angl. cenosphere) *du grec kénos : vide, et sphaira : sphère* [appl. fours, chaudières] Particule de matière carbonée incomplètement brûlée présente dans les fumées issues de flammes de charbon, de coke ou de fuel lourd, et provenant de la pyrolyse des grains de charbon ou de coke ou des gouttes de fuel lourd. Cette particule est généralement de forme quasi-sphérique, plus ou moins creuse ou poreuse, et présente un diamètre de quelques microns à plusieurs centaines de microns.

CENTRE ACTIF

(angl. active centre) [appl. cinétique chimique] Espèce chimique de courte durée de vie formée au cours d'une réaction et dont la réactivité est plus grande que celle des réactifs de départ. Ce sont généralement des atomes, radicaux libres, ions ou molécules intermédiaires jouant un rôle essentiel dans la propagation, la ramification ou la rupture des chaînes. **voir:** Réaction en chaînes.

CHAINE

du latin cadena, même sens **voir:** Longueur de chaîne, longueur moyenne de chaîne, réaction en chaînes, réaction en chaînes linéaires, réaction en chaînes ramifiées, réaction en chaînes à ramification directe, réaction en chaînes à ramification indirecte.

CHAINE PYROTECHNIQUE

(angl. pyrotechnic chain) [appl. propulsion] Suite d'équipements chargés d'assurer diverses fonctions pyrotechniques : allumage, séparation, destruction...

CHALEUR DE COMBUSTION

[appl. thermochimie] (unité: comme toute chaleur, la chaleur de combustion doit s'exprimer en joule ou kilojoule (J ou kJ), la chaleur molaire en kJ/mol, la chaleur massique en kJ/g) Chaleur dégagée par la combustion de 1 mole ou 1 g de combustible. Sa valeur dépend du comburant et de l'état initial du mélange (température et pression). La chaleur de combustion à une température et sous une pression données est la quantité de chaleur totale dégagée lorsqu'une masse donnée de substance combustible est oxydée complètement, les produits initiaux et finals étant pris dans le même état physique et dans les mêmes conditions de température et de pression.
La chaleur de combustion est donnée par la différence des chaleurs de formation du système des réactifs et des chaleurs de formation du système des produits. Les chaleurs de combustion trouvées dans les tables sont souvent des chaleurs molaires, à 20°C et sous une atmosphère, les produits finals de la combustion étant H_2O liquide et CO_2 gazeux.

CHALEUR DE REACTION

[appl. thermochimie] Soit une réaction, L'effet thermique Q accompagnant cette réaction, à pression constante, s'appelle la chaleur de réaction à pression constante. La définition de l'enthalpie permet d'écrire la relation : $\delta Q = -dH + VdP$. Si $dP = 0$, alors $\delta Q = -dH$. En intégrant entre les états initial et final, $Q = -\Delta H$, enthalpie de la réaction. La chaleur de réaction est positive pour les réactions exothermiques. **voir:** Enthalpie.

CHAMBRE DE COMBUSTION

(angl. combustion chamber, burner) (all. Verbrennungskammer) [appl. turbines terrestres ou aéronautiques, moteurs à combustion interne, moteurs fusées] Partie d'un engin où s'effectuent les opérations de préparation du mélange combustible (injection, mélange du carburant et du comburant...), la réaction de combustion sous la forme d'une flamme confinée stabilisée et éventuellement la dilution des gaz brûlés.
Définition française normalisée dans le cadre de la propulsion et des techniques spatiales : enceinte dans laquelle se produit une réaction chimique entre les ergols. **équiv:** foyer, générateur de gaz chauds. **voir:** Ergol.

CHAMP DE TURBULENCE

(angl. turbulence field) Répartition en espace des grandeurs statistiques définissant la turbulence du gaz. Par exemple, dans un champ de turbulence isotrope (pratiquement engendré en aval d'une grille, et appelé aussi turbulence de grille), les grandeurs statistiques sont invariantes par rotation : tous les tenseurs, dont le tenseur de Reynolds, sont diagonaux.

CHAMP DE VITESSE

voir: Champ dynamique.

CHAMP DYNAMIQUE

(angl. velocity field) Répartition en espace du vecteur vitesse d'écoulement $u\,(x, y, z)$(vitesse moyenne en général). **équiv:** champ de vitesse. **voir:** Modèle de champ.

CHAMP SCALAIRE

(angl. scalar field) Répartition en espace d'une grandeur scalaire (c'est à dire qui ne soit ni vectorielle, ni tensorielle d'ordre supérieur à 1), comme la température, l'enthalpie, une fraction massique... On parle ainsi de champ de température pour désigner la répartition en espace de la température $T\,(x, y, z)$ à un instant donné.

CHAPMAN-JOUGUET

noms des physiciens anglais D.L. Chapman (1869-1958) et français E. Jouguet (1871-1943) auxquels est associée une condition de stabilité de l'onde de détonation **voir:** Condition de Chapman-Jouguet.

CHARBON

(angl. coal) (all. Kohle, Steinkohle) *du latin carbo, même sens* Les charbons sont des roches sédimentaires organodétritiques. Ils proviennent de plantes très variées : végétaux supérieurs, fougères à l'origine des charbons dits humiques, spores et algues à l'origine des charbons dits sapropéliques. Lors de l'enfouissement de la matière organique, celle-ci subit un traitement thermique, appelé houillification. La matière organique libère alors de l'eau, du gaz carbonique et des hydrocarbures, tandis que le résidu s'enrichit en carbone : la teneur en carbone est supérieure à 77 % dans les houilles, à 92 % dans les anthracites et approche les 100 % dans les peranthracites. La houillification est donc une carbonisation à basse température, généralement inférieure à 100-200°C pendant des durées de quelques centaines de millions à plus d'un milliard d'années. On appelle rang de houillification le degré de maturation thermique naturel. On le mesure à l'aide du taux de carbone fixe ou du taux de matières volatiles (décroissant avec le rang), ou

encore par la mesure du pouvoir réflecteur d'un constituant spécifique du charbon, la vitrinite (PRV). Dans certaines conditions de métamorphisme, où l'influence de la pression s'ajoute à celle de la température, on peut obtenir du graphite naturel.
Les lignites (C < 77 %) et les charbons flambants (C = 77-85 %) sont des charbons de rang bas. Ils restent solides au cours d'une carbonisation industrielle ou de laboratoire. Les grains de carbonisat ainsi obtenus sont très poreux et microporeux. Ce sont de bons précurseurs pour l'obtention de charbons actifs. Ils sont également souvent destinés à la combustion (charbons dits vapeurs). Ces carbonisats sont des carbones non graphitisables. Ils restent microporeux, même après un traitement thermique à 3000°C.
Les charbons à coke ou charbons gras sont des charbons de rang moyen (C = 85-90 %) passant au cours de la carbonisation industrielle (vitesse de pyrolyse de l'ordre de 5deg./min) par un stade plastique plus ou moins développé entre 400 et 500°C, et donnant un coke compact à 1000°C. Au cours de cette carbonisation, appelée cokéfaction, les charbons perdent la plupart de leurs matières volatiles (phénomène de dévolatilisation) et s'enrichissent en carbone. Ces charbons sont notamment utilisés pour la fabrication des cokes sidérurgiques.
Les anthracites sont des charbons de haut rang (C > 92 %), restant solides au cours de la carbonisation. Certains d'entre eux peuvent graphitiser plus ou moins complètement lors d'un traitement thermique à 3000°C. Les anthracites sont notamment utilisés pour la fabrication d'électrodes pour l'électrolyse de l'aluminium. **voir:** Carbonisat, dévolatilisation.

CHARBON ACTIF

Un charbon actif est un matériau carboné poreux qui a été activé afin d'accroître sa porosité. L'activation peut être physique (gazéification partielle du carbonisat avec des gaz oxydants tels que la vapeur d'eau ou le dioxyde de carbone), ou chimique (ajouts d'additifs tels que le chlorure de zinc ou l'acide phosphorique, pendant ou après la carbonisation). Les charbons actifs ont une grande capacité d'adsorption et sont utilisés pour la purification de liquides et de gaz.

CHARBON DE BOIS

Terme traditionnel pour un carbonisat de bois et de certains matériaux organiques naturels. Outre les utilisations domestiques, le charbon de bois est toujours utilisé dans de nombreux domaines tels que la métallurgie des métaux ferreux, la poudre à canon, la médecine ou l'industrie des peintures. **voir:** Carbonisat.

CHARBON PULVERISE

(angl. pulverised fuel) Désigne la nature et la forme pulvérulente du produit injecté. Recouvre un ensemble de qualités de pulvérisation caractérisées par une grandeur faisant état de la distribution granulométrique. **voir:** Granulométrie.

CHARGE CALORIFIQUE

(angl. fire load) [appl. feu, incendie] Somme des énergies calorifiques (exprimées en joules) pouvant être dégagées par la combustion complète de tous les matériaux contenus dans un espace, y compris éventuellement les revêtements de sol et de parois de cet espace. On peut définir une charge calorifique par unité de surface ou densité de charge calorifique (J/m^2).

CHAUDIERE

(angl. boiler) [appl. chauffage des fluides liquides ou gazeux] Dispositif de chauffe indirecte constitué d'un ensemble d'échangeurs et d'équipements annexes permettant de transférer l'énergie thermique fournie par un combustible ou une source de chaleur à un fluide caloporteur. Ce fluide peut être liquide (eau, huile, métaux ou sels fondus...) ou gazeux (air, vapeur saturée ou surchauffée...) Dans les chaudières classiques les échanges se font essentiellement par rayonnement et convection côté gaz et par conduction et convection côté fluide caloporteur.

CHAUFFE DIRECTE

(angl. direct heating) [appl. chauffe dans l'industrie] Procédé de chauffage industriel dans lequel les produits de combustion sont directement en contact avec la substance (gaz, liquide ou solide) à chauffer. Le transfert thermique se fait par rayonnement, conduction et convection. L'inconvénient du chauffage direct provient des transferts de matière possibles entre les produits de combustion et la substance à chauffer (par exemple acidification due à la dissolution du CO^2 lors du chauffage de l'eau par combustion submergée). **voir:** Chauffe indirecte, combustion submergée.

CHAUFFE INDIRECTE

(angl. indirect heating) [appl. chauffe dans l'industrie] Procédé de chauffage dans lequel les produits de combustion ne sont pas directement en contact avec la substance à chauffer. Le transfert thermique se fait par l'intermédiaire d'un échangeur. Les chaudières et les tubes radiants sont des exemples de dispositifs utilisant la chauffe indirecte. **voir:** Chaudière, chauffe directe.

CHEMIN REACTIONNEL

[appl. cinétique chimique] Dans un processus élémentaire, ensemble des différentes positions des atomes lors du passage effectif des réactifs aux produits. Il correspond au chemin nécessitant le minimum d'énergie pour passer des réactifs aux produits.

CHEMISE ANTI-SCREECH

(angl. anti-screech lining) *de l'anglais screech : cri aigu, crissement* [appl. turboréacteurs] Elément de structure, de forme généralement tubulaire et ondulée, placé à l'intérieur des foyers de réchauffe pour éliminer

les instabilités de combustion haute fréquence qui pourraient s'y produire. **voir:** Réchauffe.

CHIMIE HETEROGENE

voir: Hétérogène.

CHIMILUMINESCENCE

(angl. chemiluminescence) *contraction de chimie et luminescence* [appl. identification d'espèces excitées dans un milieu réactif] Processus d'émission lumineuse dû à la relaxation radiative spontanée d'espèces chimiquement créées sur des états excités. Le coefficient de probabilité d'émission est la fréquence (s^{-1}) d'émission de photons par une molécule excitée. Le rendement spécifique de chimiluminescence (hélas très difficilement quantifiable) serait l'énergie lumineuse émise rapportée à la chaleur de réaction. En combustion les meilleurs rendements de chimiluminescence sont ceux des espèces CH^*, $C_2^\bullet$ et OH^*.
Pour une espèce donnée, l'intensité émise est proportionnelle à la fraction de concentration chimiquement excitée, qui n'est généralement pas en rapport d'équilibre avec la concentration spécifique totale. Cette concentration totale doit être mesurée par des méthodes (absorption, fluorescence, Raman) qui échantillonnent la population sur l'état fondamental. **équiv:** émission propre spécifique. **voir:** Emission spontanée, spectroscopie.

CHIMIONISATION

(angl. chemi-ionization) *contraction de chimie et ionisation* Réaction chimique dont l'un des produits est un ion. Dans les flammes d'hydrocarbures, l'ion primaire CHO^+ est formé par une réaction de chimionisation : $CH + O \rightarrow CHO^+ + e^-$. Cette réaction se produit dans le front de flamme. Elle conduit à une concentration en espèces chargées très nettement supérieure à ce que pourrait donner l'ionisation thermique.

CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

(angl. gas chromatography) *du grec khrôma : couleur, et graphein : écrire* [appl. identification et dosage des espèces moléculaires dans une combustion] Méthode d'analyse physique permettant le dosage des différents constituants d'un mélange de gaz ou de liquides après entraînement dans le chromatographe par un gaz vecteur (souvent l'hélium) et séparation par passage à travers une colonne remplie ou revêtue d'une substance adsorbante (solide poreux ou film liquide). Après séparation, les différents constituants du mélange sont détectés (et dosés) par des détecteurs utilisant diverses propriétés physiques comme la conductivité thermique (détecteur à catharomètre), la variation des propriétés électriques d'une flamme (détecteur à ionisation de flamme) ou la capture d'électrons par les différentes espèces moléculaires séparées (détecteur par capture d'électrons). L'identification des constituants du mélange se fait en principe en comparant la position dans le temps des signaux correspondants avec celle des pics de substances pures dans les mêmes conditions d'analyse (égalité des durées de rétention). Elle peut nécessiter le recours à des techniques spectrométriques (couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse ou CPG-SM).

CINETIQUE CHIMIQUE

(angl. chemical kinetics) *du grec kinêsis : mouvement, et de l'arabe al kîmiyâ : art de la transmutation des métaux* La cinétique chimique traite de l'évolution dans le temps des systèmes dans lesquels s'effectuent des réactions chimiques. Cette évolution peut être décrite soit par les propriétés macroscopiques qui sont exprimées en fonction du temps (cinétique formelle), soit par les espèces chimiques qui se forment et (ou) disparaissent simultanément ou successivement (mécanismes réactionnels). La notion centrale de la cinétique chimique est celle de vitesse de réaction. Elle vise à décrire la modification de la composition chimique du système au cours du temps. Elle intervient donc aussi bien en cinétique formelle que dans les mécanismes réactionnels. **voir:** Vitesse de réaction.

CISAILLEMENT TURBULENT

voir: Tensions de Reynolds.

CJ

initiales de Chapman et Jouguet, souvent utilisées par les détoniciens pour les cas où la condition Chapman-Jouguet est respectée **voir:** Chapman-Jouguet, condition de Chapman-Jouguet.

CLAPEYRON

nom du mathématicien et physicien français Emile Clapeyron (1799-1864) Le diagramme de représentation des états d'un fluide par le graphe pression = f(volume) à température donnée, et permettant de décrire des familles d'isothermes est dû à Clapeyron. On lui doit également la loi de Clausius-Clapeyron relative aux variations de pression et température lors d'un changement de phase. **voir:** Loi de Clausius-Clapeyron.

CLASSE D'UN FEU

(angl. class of fire) [appl. feu, incendie] Les spécialistes du feu et de l'extinction des feux ont l'habitude de classer les feux en quatre classes selon la nature du combustible. La classe du feu détermine la stratégie de lutte contre le feu et le choix des moyens extincteurs qui pourront être mis en oeuvre. La classe A est relative aux solides comme le bois, le papier, les textiles..., pour lesquels l'eau, les mousses et les poudres chimiques sèches sont préconisées. La classe B est celle des liquides combustibles (essences, alcools, huiles...), pour lesquels les extincteurs à CO_2 ou à bromure de méthyle (dans

certains cas) et les poudres chimiques sèches sont appropriés. La classe C est celle des feux d'origine électrique, pour lesquels les extincteurs à CO_2, à bromure de méthyle ou à tétrachlorure de carbone, les poudres chimiques sèches sont adaptés. Enfin les feux de classe D sont les feux de métaux (Al, Mg, Zn, Na...), pour lesquels seules des poudres spéciales sont efficaces. **voir:** Extinction, poudre extinctrice.

CLAUSIUS

nom du thermodynamicien allemand Rudolph Clausius (1822-1888) **voir:** Loi de Clausius-Clapeyron.

CLINKER

mot anglais signifiant scories [appl. technologie cimentière] Résultat de la cuisson à environ 1450°C dans les fours de cimenterie du mélange de calcaire (environ 80 %) et d'argile (environ 20 %) finement broyé, appelé le cru. En zone de cuisson, les composants apportés par le cru (SiO_2, CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3) se combinent et forment des minéraux nouveaux ayant des propriétés hydrauliques (silicate tricalcique appelé conventionnellement C_3S, silicate bicalcique C_2S, aluminate tricalcique C_3A, aluminoferrite tétracalcique C_4AF). A la sortie du four, le clinker se présente sous la forme de granules poreux de couleur gris sombre.

CLINKERISATION

du mot anglais clinker : scories [appl. technologie cimentière] Transformation du cru en clinker sous l'action de la chaleur vers 1450°C dans les fours de cimenterie. Elle regroupe plusieurs étapes aux limites mal définies, dépendant en particulier des composants mineurs contenus dans le cru (Na_2O, K_2O, S, MgO) : formation d'aluminate tricalcique et d'aluminoferrite tétracalcique (notations conventionnelles C_3A et C_4AF) vers 1350°C, formation de silicate bicalcique C_2S à partir de 1330°C se combinant au delà de 1420°C avec CaO restant pour former le silicate tricalcique C_3S. Les réactions de clinkérisation sont essentiellement des réactions en phase solide, facilitées par la présence d'une phase liquide (20 à 25 % de la masse).

CLIQUETIS

(angl. knock) (all. Knopf) *de l'ancien français cliquer : faire du bruit* [appl. moteurs à allumage commandé] Le cliquetis est avant tout un phénomène de combustion anormale dans les moteurs à allumage commandé, perceptible extérieurement par un bruit métallique venant du moteur. Il résulte de l'apparition d'ondes de choc dans la chambre de combustion, très probablement initiées par une auto-inflammation dans les gaz non encore brûlés (gaz frais, *end gas* en anglais). Ce phénomène n'est pas une détonation, au sens strict du mot, mais s'y apparente, ce qui explique l'appellation de *detonation* dans l'usage anglo-saxon. Ce phénomène est destructeur, surtout à haut régime moteur, et doit être évité par la conception du moteur (limitation du taux de compression et de l'avance à allumage) et par le choix d'un carburant ayant un indice d'octane suffisant. Le cliquetis est le plus souvent évalué à l'oreille, ce qui permet de le qualifier de manière subjective. On parle de cliquetis naissant lorsque, en modifiant un paramètre (avance à l'allumage par exemple), on perçoit les premiers indices du cliquetis. Des méthodes plus objectives, basées par exemple sur l'analyse des fluctuations de la pression dans le cylindre du moteur, permettent de définir des intensités de cliquetis. **voir:** Auto-inflammation, détonation, indice d'octane.

CNT

initiales de coefficient négatif de température **voir:** Coefficient négatif de température.

COAGULATION

voir: Agglomération.

COALESCENCE

voir: Agglomération.

CODE DE CALCUL

(angl. computer code) Programme informatique permettant la simulation d'un processus physique. Un code de calcul résulte de plusieurs démarches successives : hypothèses de modélisation, conduisant généralement à un système d'équations différentielles, algorithme de résolution de ces équations, codage informatique de cet algorithme. Chacun des trois niveaux de cette démarche est source d'approximations ou de possibilités d'erreurs. C'est pourquoi la démarche de validation d'un code de calcul est fondamentale. Aujourd'hui, les codes de calcul industrialisés comprennent généralement un préprocesseur permettant de rentrer les données du calcul (maillage...) et un post-processeur permettant le tracé graphique des résultats. **équiv:** logiciel de calcul.

COEFFICIENT DE BLOCAGE

(angl. blocking number) Critère géométrique qui est le rapport entre la surface ouverte des conduits d'injection de combustible et d'air et la surface morte séparant les deux conduits.

COEFFICIENT DE DIFFUSION

(angl. scattering coefficient) (unité: m⁻¹) Coefficient caractérisant les propriétés de diffusion d'un nuage de particules (suies, aérosols) et donnant le taux de diffusion du flux lumineux par unité de longueur. La théorie de Mie permet le calcul dans le cas de sphères diffusantes. $K_{diff} = \frac{dI}{I\,dL}$, avec I = flux lumineux, et L = longueur. **voir:** Coefficient d'extinction, équation de transfert.

COEFFICIENT DE TRAINEE

(angl. drag coefficient) (unité: nombre sans dimension) La traînée est la projection dans la direction de l'écoulement incident de l'effort exercé par un écoulement sur un obstacle. Elle s'exprime à partir de la surface S de l'obstacle projetée sur un plan orthogonal à l'écoulement incident, ou maître couple, de la densité du gaz , de la vitesse de l'écoulement incident V, et d'un coefficient de traînée, noté C_D ou C_X, qui dépend de la forme de l'obstacle et du nombre de Reynolds : $F_T = \frac{1}{2} V^2 S\, C_D$
Dans le cas d'une sphère, le coefficient de traînée est donné, en fonction du nombre de Reynolds construit sur le diamètre d de la sphère, par $C_D = \frac{24}{Re}\left(1 + 0.15\, Re^{0.687}\right)$ pour $Re < 1000$, et par $C_D = 0.44$ pour $Re > 1000$, le nombre de Reynolds étant défini comme $Re = \frac{\rho V d}{\mu}$. **voir:** Nombre de Reynolds.

COEFFICIENT D'EXTINCTION

(angl. extinction coefficient) (unité:

$$m^-1$$

) Coefficient caractérisant les propriétés d'absorption et de diffusion d'un nuage de particules (suies, aérosols), et donnant le taux d'absorption et de diffusion par unité de longueur : le facteur de transmission étant $exp\,(-K_{ext}L)$ pour une couche homogène de longueur L), le coefficient d'extinction est $K_{ext} = K_{abs} + K_{diff}$, avec K_{abs} coefficient d'absorption et K_{diff} coefficient de diffusion.
$K_{ext} = \frac{1}{I}\frac{dI}{dL}$ avec I flux lumineux, et L longueur. **voir:** Coefficient de diffusion, équation de transfert, facteur de transmission.

COEFFICIENT NEGATIF DE TEMPERATURE

(angl. negative temperature coefficient (NTC)) [appl. cinétique chimique] Expression généralement utilisée pour indiquer que la vitesse globale d'évolution d'un système décroît quand la température augmente. Ce phénomène est une caractéristique de l'oxydation des hydrocarbures. Il se produit dans un intervalle de température variable, compris entre 600 et 800 K, qui dépend de la nature, de la composition et de la pression du mélange. Il marque la transition entre les mécanismes d'oxydation de basse et de haute température. Il est généralement associé à la disparition du phénomène de flamme froide. Dans la zone du CNT, les délais d'auto-inflammation augmentent avec la température.

COGNEMENT

(angl. knock) (all. Knopf) [appl. moteur Diesel, indice de cétane] On dit qu'il y a cognement lorsque le bruit de combustion émis par un moteur Diesel paraît anormalement élevé. Le bruit de combustion résulte de l'auto-inflammation du gazole après son injection dans la chambre de combustion. Celle-ci a lieu au bout d'un temps appelé délai d'auto-inflammation. Plus ce délai est long, plus le volume de mélange air-carburant dans lequel l'auto-inflammation se produit est grand et plus importante est l'énergie libérée brutalement au moment de l'auto-inflammation. Un cognement excessif engendre l'usure plus rapide du moteur. L'usage d'un carburant ayant un indice de cétane suffisamment élevé permet de maintenir le cognement dans les limites acceptables.

COINCEMENT

(angl. quenching) *du latin cuneus : coin* [appl. flamme laminaire, sécurité] Arrêt de la propagation d'une flamme par suite de pertes thermiques à la paroi. **voir:** Distance de coincement.

COKE

(angl. coke) (all. koks) Solide à haute teneur en carbone, de structure non graphitique, produit par pyrolyse d'un matériau organique (charbon) qui est passé au moins en partie par un stade plastique (état liquide ou cristal liquide) pendant le processus de carbonisation. Le carbone non graphitique obtenu est de type graphitisable. D'un point de vue structural, le terme coke caractérise donc l'état de carbone graphitisable avant le début de la graphitisation. La teneur en carbone des cokes obtenus à 1000°C varie de 95 à 99 % selon les composés organiques précurseurs. Les teneurs les plus faibles correspondent généralement à des précurseurs riches en oxygène ou en soufre. Le coke peut contenir de la matière minérale. Le coke se distingue du carbonisat (*char* en anglais), terme qui définit un résidu solide de pyrolyse sans passage par une phase plastique. **voir:** Carbonisation, semi-coke.

COKE CRU

voir: Coke vert.

COKE DE PETROLE

Sous-produit du raffinage du pétrole obtenu après cracking du résidu sous vide. C'est une substance solide, plus dure que le charbon, composée essentiellement de carbone et généralement de 2 à 10 % de soufre. Son PCI est de l'ordre de 29000 à 36000 kJ/kg. Il peut comprendre de 5 à 15 % de matières volatiles et est pauvre en cendres. Il peut être utilisé comme combustible industriel, par exemple en cimenterie.

COKE VERT

(angl. green coke) Le coke vert est le produit solide primaire issu de la carbonisation au dessous de 630°C de fractions d'hydro carbures à haut point d'ébullition. Il contient des fractions de matières susceptibles d'être rejetées comme volatiles lors d'un traitement thermique ultérieur jusqu'à environ 1300°C. Cette fraction de masse se situe dans le cas du coke vert entre 4 et 15 % et dépend en particulier de la vitesse de chauffage. **équiv:** coke cru. **voir:** Carbonisation, coke, matières volatiles.

COL

(angl. throat) [appl. propulsion] Partie rétrécie d'une tuyère au plan de raccordement du convergent et du divergent (définition française normalisée).

COLLISIONS

Les collisions sont des chocs qui impliquent des atomes, des radicaux ou des molécules dans toutes les combinaisons possibles deux à deux. L'énergie de collision est la somme de l'énergie de translation relative des partenaires de collision et de leur énergie interne. Cette dernière est la somme de leur énergie rotationnelle, vibrationnelle et électronique. Une collision élastique ne modifie ni la structure chimique des partenaires de collision ni la distribution d'énergie sur leurs différents degrés de liberté. Une collision inélastique ne modifie pas la structure chimique des partenaires de collision mais modifie la distribution d'énergie sur leurs différents degrés de liberté par transfert d'énergie entre partenaires. La relaxation collisionnelle, qui dans un milieu réactionnel tend à établir une distribution d'énergie thermique de Maxwell-Boltzmann sur les degrés de liberté des espèces présentes, se fait par des collisions inélastiques.
Une collision réactive correspond à la destruction de la structure chimique des partenaires initiaux, appelés réactifs, qui engendre l'apparition de nouvelles espèces chimiques, appelées produits. La collision réactive peut consister en un échange d'atome ou de groupe d'atomes ($A+BC \rightarrow AB+C$), une dissociation ($M+AB \rightarrow M+A+B$) ou une isomérisation ($M+ABC \rightarrow M+ACB$). Une réaction élémentaire est l'ensemble des collisions réactives du même type.

COMBURANT

Espèce chimique généralement constituée d'atomes fortement électronégatifs, ou dans laquelle ces atomes prédominent, et qui est susceptible de donner lieu à une combustion en réagissant avec un combustible. Les atomes les plus électronégatifs sont les atomes légers des familles situées le plus à droite du tableau périodique (O, F, Cl, Br...). **voir:** Combustion, combustible.

COMBUSTIBLE

(angl. fuel (nom), combustible (adjectif)) Espèce chimique généralement constituée d'atomes faiblement électronégatifs, ou dans laquelle ces atomes prédominent, et qui est susceptible de donner lieu à une combustion en réagissant avec un comburant. Ces atomes se situent à gauche de l'azote dans le tableau périodique (H, C, B, métaux comme Al, Mg, Li...). P et As, qui se trouvent dans la même colonne que l'azote, se comportent comme des combustibles. Alors que l'azote moléculaire joue le plus souvent le rôle d'un constituant inerte, N et S occupent dans la classification périodique des positions limites entre le domaine des atomes prédominant dans les comburants et celui des atomes prédominant dans les combustibles. Suivant les conditions de température et de pression et suivant la nature du coréactif, ils peuvent se comporter, à l'état élémentaire ou dans des combinaisons, soit comme comburants soit comme combustibles.
Adjectif : susceptible de brûler. **voir:** Combustion, comburant.

COMBUSTION

(angl. combustion, burning) (all. Verbrennung) *du latin combustio, même sens* Réaction chimique globalement et généralement fortement exothermique, autonome, susceptible de s'accélérer brutalement et d'être accompagnée d'émission de rayonnements.
Une combustion peut être lente (phase du processus qui précède l'éventuelle accélération brutale de la réaction) ou vive (phase du processus débutant avec l'accélération brutale et caractérisée par une vitesse réactionnelle élevée). Selon les conditions de confinement, le dégagement de chaleur de la réaction de combustion peut conduire à une expansion rapide du milieu réactionnel ou à une forte augmentation de pression. L'émission de rayonnements se situe généralement, au moins en partie, dans le visible, le proche UV et le proche IR. L'accélération brutale caractéristique de la combustion vive peut conduire à la formation d'une flamme. On peut aussi observer l'émission de fumée avec ou sans incandescence. Une combustion peut libérer des espèces chargées : électrons, ions positifs ou négatifs. Une combustion réalise donc une conversion d'énergie chimique potentielle en énergie thermique, mécanique, rayonnante, électrique. Cette conversion peut être utilisée, directement ou indirectement, pour le chauffage, la propulsion, la production d'électricité.
Dans le sens usuel, la combustion est la réaction entre un combustible et l'oxygène pur, l'oxygène dilué (air) ou une espèce chimique riche en oxygène (ozone, peroxyde d'hydrogène, acide nitrique). On appelle aussi combustions des réactions très exothermiques entre divers combustibles et des comburants partiellement oxygénés (F_2O, Cl_2O, ClO_2) ou non oxygénés (F, Cl, Br, composés riches en F ou en Cl, comme ClF_3). Des décompositions très exothermiques d'espèces chimiques endothermiques (acétylène, hydrazine, ozone, bioxyde de chlore, azotures, trichlorure d'azote) peuvent aussi être appelées combustions.
Dans le domaine de la propulsion, la normalisation française définit la combustion comme la réaction chimique exoénergétique entre un réducteur et l'oxygène ou un autre corps électronégatif. **voir:** Comburant, combustible, flamme, incandescence.

COMBUSTION AEROBIE

du grec aèr : air, et bios : vie [appl. turbines terrestres ou aéronautiques, moteurs à combustion interne] Combustion s'effectuant avec l'oxygène de l'air comme comburant.

COMBUSTION CATALYTIQUE

(angl. catalytic combustion) Combustion ayant lieu sans flamme, grâce à l'action d'un catalyseur.

COMBUSTION EROSIVE

(angl. erosive burning) (all. erosiver Abbrand) [appl. propergols, moteurs fusées] Combustion accélérée d'un propergol solide due à l'action de l'écoulement des gaz parallèlement à sa surface de combustion. Ce phénomène résulte de l'intensification, par la turbulence de l'écoulement, du flux de chaleur transmis de la flamme du propergol vers sa surface de combustion. **voir:** Propergol solide.

COMBUSTION EXTERNE

[appl. propulsion] Combustion d'un bloc de poudre qui s'effectue par des cannelures longitudinales ménagées à sa périphérie, le long de la paroi du propulseur.

COMBUSTION FRONTALE

[appl. propulsion] Combustion d'un bloc de poudre qui ne s'effectue que par la tranche libre de celui-ci.

COMBUSTION INCANDESCENTE

(angl. glowing combustion) Combustion d'un matériau en phase solide sans flamme mais avec émission de lumière émanant de la zone de combustion.

COMBUSTION INCOMPLETE

voir: Combustion partielle.

COMBUSTION INTERNE

[appl. propulsion] Combustion d'un bloc de poudre qui s'effectue le long d'un canal axial ménagé dans celui-ci.

COMBUSTION LENTE

(angl. slow oxidation, oxidation) (all. langsame Verbrennung, Oxidierung, Oxidation) [appl. réaction d'oxydation à basse température] Cas des solides : réaction d'oxydation en régime cinétique, se faisant avec une élévation modérée de la température de surface du solide. Sur le plan du bilan thermique, on se trouve au point stable de basse température défini dans la théorie thermique de l'inflammation de Semenov. **équiv:** oxydation.

COMBUSTION MENAGEE

Combustion menée dans des conditions de défaut de comburant telles qu'elle se produit de façon intermédiaire entre une combustion normale et une pyrolyse. L'exemple le plus important est celui de la fabrication industrielle d'acétylène par combustion ménagée d'hydrocarbures et d'oxygène. L'utilisation de mélanges riches permet de produire des quantités d'acétylène d'autant plus importantes que le mélange est riche, tant que ce mélange reste dans ses limites d'inflammabilité. On peut d'ailleurs déplacer ces limites vers des mélanges encore plus riches, donc une production d'acétylène plus importante, en préchauffant le mélange, à condition de rester à une température inférieure à la température d'auto-inflammation (attention aux explosions !). Le procédé industriel, qui ne peut éviter la formation de suie, compte tenu de la richesse des mélanges utilisés, s'accompagne d'une trempe des produits pour éviter la dissociation de l'acétylène à haute température en carbone et hydrogène. Faute de cette trempe, on produirait essentiellement du noir de carbone. **équiv:** pyrolyse oxydante. **voir:** Noir de carbone.

COMBUSTION NEUTRE

[appl. combustion industrielle] Combustion effectuée avec la quantité d'oxygène exactement et théoriquement nécessaire pour oxyder complètement le combustible. S'oppose à combustion oxydante, avec un excès d'air, et à combustion réductrice, avec un défaut d'air.

COMBUSTION OXYDANTE

[appl. combustion industrielle] Combustion effectuée avec un excès de comburant (excès d'air). Par exemple, en technologie cimentière, la combustion complète est effectuée avec un excès d'air de l'ordre de 10 %.

COMBUSTION PARTIELLE

Comme dans toute réaction chimique, si le combustible ou le comburant est en excès, le réactif en excès n'est pas complètement consommé. Il subit donc une combustion partielle. Le caractère partiel de la combustion a aussi d'autres causes : il peut provenir des équilibres chimiques à haute température dans les produits, qui peuvent expliquer la présence en fin de réaction de certains réactifs initiaux (même avec le mélange stoechiométrique) ou, dans le cas de la combustion des hydrocarbures, de produits tels que CO, H_2, C_2H_2,... Les produits de combustion partielle ou incomplète sont favorisés par une trempe (refroidissement rapide) des produits issus de la flamme, par exemple par pulvérisation d'eau. Dans les écoulements instationnaires, une combustion partielle peut résulter des modifications locales de transport induites par des gradients. En régime très turbulent (grands nombres de Damköhler), la combustion devient partielle si le temps de réaction n'est plus négligeable devant le temps de mélange (ou l'inverse du gradient de vitesse). De tels régimes peuvent provoquer des suréquilibres pour des espèces intermédiaires dont le temps de recombinaison est très supérieur au temps de formation. **équiv:** combustion incomplète.

COMBUSTION PULSATOIRE

(angl. pulse combustion) Processus de combustion instationnaire dans lequel le dégagement de chaleur oscille de façon périodique. La combustion pulsatoire est obtenue par un couplage résonnant de la combustion et des modes acoustiques du système.

COMBUSTION REDUCTRICE

[appl. combustion industrielle] Combustion effectuée avec une quantité d'air insuffisante pour donner des produits complètement oxydés.

COMBUSTION SPONTANEE

(angl. spontaneous combustion) [appl. feu, incendie] Combustion résultant d'un auto-échauffement sans apport extérieur de chaleur. **voir:** Allumage spontané, auto-échauffement.

COMBUSTION SUBMERGEE

(angl. submerged combustion) [appl. chauffage des liquides] Procédé direct de chauffage des liquides par barbotage des produits finals de la combustion dans le liquide à chauffer. **voir:** Chauffe directe.

COMBUSTION SUPERSONIQUE

Combustion dans un écoulement amont supersonique.

COMBUSTION TURBULENTE

Combustion dans un écoulement turbulent. Interaction de cet écoulement avec la combustion.

COMBUSTION VIVE

Synonyme de combustion au sens classique du terme (combustion avec flamme). S'oppose à oxydation lente, combustion lente et combustion incandescente. **voir:** Combustion, combustion incandescente.

COMPLEXE ACTIVE

Configuration critique que doit atteindre le complexe transitoirement formé lors de la collision pour que cette dernière soit réactive. Cette configuration hypothétique, intermédiaire entre réactifs et produits, correspond au maximum d'énergie potentielle le long du chemin réactionnel. **équiv:** état de transition. **voir:** Chemin réactionnel, collisions.

COMPORTEMENT AU FEU

(angl. burning behaviour) [appl. feu, incendie] Ce terme désigne tous les changements physiques et chimiques qui interviennent lorsqu'un matériau ou un produit est exposé à une source d'allumage. **voir:** Réaction au feu, résistance au feu.

COMPORTEMENT THERMOFUSIBLE

(angl. melting behaviour) [appl. comportement au feu des matériaux] Phénomènes accompagnant le ramollissement d'un matériau sous l'influence d'un apport de chaleur (y compris la rétraction, la formation de gouttes, la combustion de matières fondues...).

COMPOSE ORGANIQUE VOLATIL

[appl. polluants de la combustion] Molécule contenant des atomes de carbone et d'hydrogène (alcane, alcène, alcyne, aromatique), et éventuellement de l'oxygène (alcool, aldéhyde...) ou d'autres éléments et dont la tension de vapeur est assez élevée et la réactive suffisante pour participer, en association avec les oxydes d'azote, à la pollution photochimique de l'atmosphère. La combustion fournit environ 50 % de la quantité annuelle de COV émise dans l'atmosphère.

COMPOSITION CHIMIQUE

L'état d'une phase isolée dans laquelle a lieu une transformation chimique est défini lorsque l'on connait la pression P, la température T et la composition chimique en tous points. Si le volume est V et la masse totale m, et si les différents constituants chimiques sont notés A_i, la composition chimique (que l'on supposera ici uniforme dans tout le volume) peut être décrite de plusieurs manières :
- par le nombre de moles n_i des constituantsA_i,
- les masses $m_i = n_i\, M_i$ (où M_i est la masse molaire du constituant A_i) des constituants,
- les concentrations molaires volumiques $C_i = \frac{n_i}{V}$,
- les concentrations molaires massiques $C'_i = \frac{n_i}{m}$,
- les fractions molaires $X_i = \frac{n_i}{n}$ avec $n = \sum n_i$,
- les fractions massiques $Y_i = \frac{m_i}{m}$,
- les masses volumiques partielles $\rho_i = \frac{m_i}{V}$,
- ou encore dans une phase gazeuse les pressions partielles $p_i = X_i\, p = C_i\, RT$.

Dans les cas où on considère que les réactions chimiques mettent en jeu des transformations de molécules (cinétique chimique, génie chimique), on utilise généralement les grandeurs molaires. Là où la réaction chimique se superpose à l'écoulement (aérothermochimie), on utilise ordinairement des grandeurs massiques.

COMPRESSION

voir: Taux de compression.

CONCENTRATION

(angl. concentration) (unité: m⁻³) Dans un mélange, la concentration d'un certain constituant désigne le nombre de moles de ce constituant par unité de volume du mélange.

CONDENSATION

voir: Nucléation.

CONDITION DE CHAPMAN-JOUGUET

(angl. Chapman-Jouguet condition) *du nom des deux physiciens anglais D.L. Chapman (1869-1958) et français E. Jouguet (1871-1943)* [appl. stabilité de l'onde de détonation] Cette condition est souvent appelée condition CJ, d'après les initiales de Chapman et Jouguet. Sur l'adiabatique dynamique de combustion (courbe de Crussard), parmi tous les états possibles représentant une détonation ou une déflagration, les points correspondant aux valeurs extrêmes minimums des célérités de propagation (points de contact de la droite de Rayleigh tangente à l'adiabatique) conduisent à la condition CJ : $u_0^2 = D - u^2 = a^2$. La vitesse relative u_0^2 des produits de combustion par rapport au front d'onde de célérité D est égale à la célérité locale du son. Cette condition peut être considérée comme une conséquence de la permanence du processus de discontinuité (onde réactive) que constitue la détonation ou la déflagration plane. Dans le cas d'une détonation, la condition CJ correspond à la production maximale d'entropie induisant une solution stable en fin de combustion (vitesse sonique). La définition est plus délicate pour une déflagration, car elle correspond à une production minimale d'entropie qui induit une solution instable en fin de combustion. Les points CJ présentent plusieurs autres propriétés thermodynamiques.

CONDUCTION

(angl. conduction) La conduction thermique est le phénomène de transfert de chaleur apparaissant dans un milieu matériel, provoqué par des mécanismes microscopiques et en l'absence de mouvements macroscopiques internes. La loi phénoménologique de Fourier $\overrightarrow{\phi} = -\lambda\overrightarrow{\nabla T}$ (ϕ densité de flux de chaleur, λ conductivité thermique, T température) régit les échange de chaleur par conduction. La conductivité thermique, scalaire en milieu isotrope, tenseur autrement, ne dépend que de la pression et de la température locales. L'équation locale de la chaleur se réduit en régime permanent et sans source à une équation de Laplace pour la température. En régime variable dans le temps apparaît la diffusivité thermique $\frac{\lambda}{c}$ qui caractérise l'aptitude du milieu à réduire par conduction les inhomogénéités de température.

CONFINEMENT

(angl. confinement) Une explosion peut être plus ou moins confinée : confinement nul (explosion en espace libre), confinement rigide parfait (explosion à volume constant), confinement partiel (déformable, avec évents, réactif...). Le type de confinement constitue une condition à la frontière du système explosible et importe beaucoup quant à l'histoire du processus d'explosion.
Ce même terme désigne dans le domaine de la sûreté nucléaire le maintien des matières radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé et l'ensemble des dispositions prises pour assurer ce maintien.

CONRADSON

voir: Carbone Conradson.

CONSOMMATION CALORIFIQUE

[appl. technologie industrielle] Energie globale consommée sous forme thermique nécessaire à la production de l'unité de masse du produit (par exemple de clinker en technologie cimentière).

CONSTANTE DE VITESSE

[appl. cinétique chimique] Lorsqu'une réaction possède un ordre par rapport aux réactifs A, B, ..., la loi de vitesse s'écrit $r = k\ [A]^{\alpha}\ [B]^{\beta} \ldots$ La constante de proportionnalité k s'appelle constante de vitesse (ou encore vitesse spécifique). Elle ne dépend pas des concentrations $[A]$, $[B]$,... au cours de l'évolution du système.
voir: Loi de vitesse, ordre réactionnel.

CONTRAINTES

voir: Tenseur des contraintes.

CONTRASTE DE PHASE

voir: Strioscopie.

CONVECTION

(angl. convection) Mode de transfert dans les milieux continus qui se produit uniquement au sein des fluides en mouvement et qui résulte d'un transport par les vitesses moyennes. La convection thermique (ou massique) englobe souvent les deux mécanismes de conduction et de transfert par le champ de vitesse. Elle est soit forcée (lorsque le mouvement du fluide résulte de causes mécaniques indépendantes de la thermique), soit libre ou naturelle quand des inhomogénéités du champ de température associées à un champ de forces massiques créent l'écoulement, soit encore mixte. Dans le cas d'un transfert entre un fluide et une surface solide ou liquide, une relation linéaire entre flux pariétal et différence de températures (ou de concentration) est introduite : $\phi = h\,(T_P - T)$, où h est le coefficient d'échange convectif, T_P la température de paroi et T la température de référence dans le fluide. s'exprime sous forme conductive à la paroi et se calcule en pratique à partir du champ des températures par l'intermédiaire de h. L'analyse dimensionnelle de la physique des transferts convectifs définit les nombres sans dimension des lois adimensionnelles d'échanges de chaleur convectifs.
voir: Nombre de Lewis, Nombre de Nusselt, Nombre de Prandtl, Nombre de Reynolds, Nombre de Schmidt.

CONVERGENCE NUMERIQUE

(angl. numerical convergence) La qualité d'un schéma numérique est basée sur sa convergence. La convergence est vérifiée en s'assurant d'une part de la consistance et d'autre part de la stabilité. La consistance du schéma

est garantie lorsque l'erreur de troncature R tend vers zéro pour des pas de discrétisation d'espace et de temps tendant eux-mêmes vers zéro. L'erreur de troncature est définie par $R = L_T - L_P$ où L_T représente l'écriture du schéma discrétisé dont les termes dérivées sont remplacés par leur développement en série de Taylor et L_P représente l'opérateur aux dérivées partielles. La condition de stabilité permet aux erreurs d'arrondi de ne pas s'amplifier au fur et à mesure de la progression du calcul. **voir:** Diffusion numérique.

CONVERGENT

(angl. convergent) [appl. propulsion] Partie amont d'une tuyère destinée à augmenter la vitesse des gaz.

COORDONNEE DE REACTION

Si, dans une réaction élémentaire, un seul paramètre définit le chemin réactionnel, on l'appelle coordonnée de réaction. C'est donc l'abscisse curviligne le long du chemin réactionnel. **voir:** Chemin réactionnel.

COUPE-FLAMME

voir: Arrete-flamme.

COUPLAGE

[appl. cinétique chimique] Phénomène se produisant lorsque des réactions à stoechiométries indépendantes sont cependant reliées cinétiquement par l'intervention de centres actifs communs. **voir:** Centre actif.

COURANT

nom du mathématicien R. Courant **voir:** Nombre de Courant.

COURANT DE SATURATION

(angl. saturation current) [appl. étude des propriétés électriques des flammes] La méthode du courant de saturation consiste à appliquer une différence de potentiel entre un brûleur à flamme plate et une plaque métallique placée au dessus. Les ions positifs et les électrons de la flamme se déplacent en sens inverse. Si le champ électrique est suffisamment intense, tous les ions et tous les électrons de la flamme sont extraits de la zone de réaction aussi vite qu'ils sont formés et on obtient un courant de saturation qui est une mesure directe de la vitesse de production des ions.

COURBE D'ENERGIE POTENTIELLE

Courbe représentant, pour une réaction élémentaire, l'énergie potentielle en fonction de la coordonnée de réaction. **voir:** Chemin réactionnel, coordonnée de réaction.

COURBE TEMPERATURE-TEMPS NORMALISEE

(angl. standardized temperature-time curve) [appl. feu, incendie] Variation par rapport au temps de la température suivant une méthode spécifiée pendant l'essai de résistance au feu normalisé. La fonction de variation est : $T - T_0 = 345\,log\,(8t + 1)$, où t est le temps exprimé en minutes, T la température du four au temps t en degrés Celsius, T_0 la température initiale du four également en degrés Celsius.

COV

initiales de composé organique volatil **voir:** Composé organique volatil.

CRAQUAGE

(angl. cracking) [appl. raffinage] Procédé thermique ou catalytique visant à accroître la proportion relative des composants légers d'une huile par modification de la structure chimique de ses constituants. Cette opération se fait dans un craqueur (définitions normalisées). Le craquage en présence d'hydrogène est l'hydrocraquage (dans un hydrocraqueur), en présence de vapeur d'eau est le vapocraquage (dans un vapocraqueur).

CREOSOTE

du grec kréas : chair, et sôzein : conserver [appl. combustion du charbon et du bois] Liquide incolore plus ou moins huileux extrait (par distillation) du goudron résidu de pyrolyse ou d'oxydation incomplète du bois. Il est constitué essentiellement d'un mélange d'hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques fortement oxygénés comprenant en particulier des fonctions phénol, crésol et acide aromatique. Ce produit peut être employé comme désinfectant et comme agent de conservation du bois, grâce à ses propriétés fongicides et bactéricides. Il est par ailleurs carcinogène.

CRITERE DE STABILITE

(angl. stability criteria) **voir:** Convergence numérique, diffusion numérique, nombre de Courant.

CROCCO

voir: Transformation de Crocco.

CROISSANCE DE SURFACE

(angl. surface growth) (all. Oberflächenwachstum) [appl. formation des suies] Lorsque le premier noyau de suie s'est formé, il a une masse d'environ 2000 u.m.a. De nombreux processus interviennent ensuite qui conduisent à l'augmentation de la taille de la suie. La croissance de surface consiste en la condensation à la surface de la suie d'espèces gazeuses présentes dans le milieu. L'acétylène est souvent considéré comme le représentant de ces espèces chimiques. Des molécules plus

lourdes peuvent aussi réagir du fait de la forte réactivité de surface de la suie lorsqu'elle est jeune. **voir:** Nucléation, suie.

CRUSSARD

nom du physicien français Charles Crussard (1876-1953) **voir:** Equation de Crussard.

CUISSON

du latin coctio, même sens [appl. technologie cimentière] Opération thermique de transformation du cru (matières premières préparées de façon appropriée) en clinker. Ensemble des phénomènes physiques et chimiques accompagnant cette opération. **voir:** Clinker, clinkérisation.

CYCLONE

du grec kuklos : cercle (angl. cyclone) (all. Zyklon) Appareil conico-cylindrique utilisé pour extraire des gouttes et des particules d'un écoulement gazeux au moyen de la force centrifuge. Le gaz entre tangentiellement et les forces d'inertie entraînent les particules vers la paroi extérieure, où elles glissent vers le bas de l'appareil, tandis que le gaz purifié est éjecté à travers l'orifice cylindrique de sortie en haut de l'appareil. A pression atmosphérique, la vitesse du gaz à l'entrée se situe couramment entre 6 et 20 m/s. Des vitesses plus grandes conduisent à des efficacités moindres. Il existe un diamètre de coupure en dessous duquel les particules ne sont plus séparées.

D

DALTON

nom du physicien et chimiste anglais John Dalton (1766-1844) Dalton a découvert en 1804 la composition exacte du méthane (gaz des marais) et de l'éthylène (appelé alors gaz oléfiant, obtenu par réaction de l'acide sulfurique sur l'éthanol). Il a découvert indépendamment de Gay-Lussac la loi de dilatation des gaz en fonction de la température, dite loi de Gay-Lussac. On lui doit également la loi sur les pressions partielles des mélanges gazeux, la loi sur la mesure des teneurs en vapeur d'eau d'un courant gazeux humide et la loi sur les proportions multiples, qui est à la base de l'écriture des réactions chimiques.

DANGER D'INCENDIE

(angl. fire hazard) [appl. feu, incendie] Possibilité de pertes de vie, blessures et dégâts matériels que représente un incendie. **équiv:** risques du feu.

DAVY

nom du chimiste et physicien anglais Humphrey Davy (1778-1829) En plus de découvertes comme les premiers métaux alcalins (Na et K) et les propriétés hilarantes du protoxyde d'azote, on doit à Davy de nombreux travaux s'apparentant au domaine de la combustion : existence de limites d'inflammabilité (application aux mélanges méthane/ air), existence d'une énergie minimale nécessaire à l'allumage d'un mélange inflammable, phénomène d'extinction de flammes par des gaz inertes et des parois solides, effet catalytique du platine divisé sur l'oxydation des mélanges gazeux. On lui doit en outre la lampe de sûreté anti-grisou, dite lampe de Davy.

DDT

initiales pour deflagration-detonation transition : transition déflagration-détonation **voir:** Transition déflagration-détonation.

DEBIT CALORIFIQUE

(angl. heat release rate, rate of heat release) [appl. feu, incendie] Energie calorifique dégagée par unité de temps par un matériau pendant sa combustion, dans des conditions d'essai spécifiées (J/s).

DECARBONATATION

voir: Décarboxylation.

DECARBONYLATION

Réaction conduisant à l'élimination de l'oxyde de carbone CO.

DECARBOXYLATION

Réaction conduisant à l'élimination de l'anhydride carbonique CO_2. En milieu industriel on dit aussi décarbonatation, dans le cas de la décomposition d'un carbonate avec élimination de CO_2.

DECOMPOSITION THERMIQUE

voir: Pyrolyse.

DECROCHAGE

(angl. blow-off) [appl. déstabilisation de flammes] Phénomène de déstabilisation d'une flamme (prémélangée ou non) qui quitte vers l'aval sa position d'équilibre statique apparent au nez du brûleur lorsque sa vitesse de propagation devient trop faible devant la vitesse de l'écoulement.
Lors de ce mouvement certaines flammes peuvent trouver en aval une position d'équilibre turbulent. Inversement de telles flammes suspendues en aval peuvent se raccrocher au brûleur si on réduit la vitesse de l'écoulement, mais la vitesse pour laquelle ces flammes se raccrochent est inférieure à la vitesse pour laquelle elles avaient décroché. **voir:** Flamme suspendue.

DEFAUT D'AIR.

(angl. rich mixture) [appl. industrie du gaz, des brûleurs et chaudières] Situation où la quantité de comburant disponible est insuffisante pour oxyder tout le combustible. Cette situation correspond à un mélange carburant/combustible de richesse supérieure à 1. **équiv:** mélange riche. **voir:** Richesse.

DEFLAGRATION

(angl. deflagration) Mode de propagation autonome subsonique de la réaction dans un milieu combustible (idéalement prémélangé) grâce à son couplage avec les mécanismes de transport de chaleur et de matière. Les relations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie impliquent entre les variables à l'état initial (indices i) et final (indices f) les relations :

$$\frac{P_f - P_i}{1/\rho_f - 1/\rho_i} = -m^2$$

et :

$$\frac{U_f}{U_i} = \frac{?_i}{?_f}$$

, où P est la pression, $1/\rho$ est le volume spécifique (inverse de la masse volumique), m est le débit massique par unité de surface et U la vitesse des gaz par rapport à la zone réactionnelle. Le mode de déflagration est caractérisé par une diminution de la pression et de la masse volumique en même temps qu'une accélération des gaz traversant la zone de réaction. **équiv:** flamme, propagation subsonique. **voir:** Détonation, explosion, flamme.

DEFLECTOSCOPIE

voir: Ombroscopie.

DEFLEXION

voir: Réfraction.

DEGRE D'AVANCEMENT

[appl. cinétique chimique] Pour une réaction isolée admettant une seule équation stoechiométrique du type a1A1 + a2A2 + ... amAm b1B1 + b2B2 + ... bnBn, où les Am et les Bn sont respectivement les m réactifs et les n produits et am et bn les coefficients stoechiométriques affectant ces composés, le degré d'avancement de Jouguet-Dedonder est tel que dnA1/a1 = ... = dnAm/am = ... = dnBn/bn = d.
voir: Avancement de réaction.

DELAI D'ALLUMAGE

[appl. propulsion] Définition française normalisée : temps qui s'écoule entre l'injection d'ergols ou de combustibles et l'inflammation de ceux-ci. Il est déterminé, dans la pratique, par une mesure photométrique.
Synonyme : délai d'inflammation.

DELAI D'AUTO-INFLAMMATION

(angl. ignition delay) [appl. cinétique chimique, combustion dans les moteurs, problèmes de sécurité] Temps nécessaire pour qu'un mélange donné à température et pression données puisse s'enflammer de façon autonome (sans aucun apport externe). Ce délai correspond à la durée nécessaire pour que les espèces radicalaires nécessaires à la propagation chimique de la réaction aient atteint une concentration suffisante. Comme la vitesse réactionnelle des étapes de ramification qui accroissent la concentration des radicaux est très sensible à la température (énergies d'activation élevées), le délai d'auto-inflammation à pression donnée est généralement diminué de façon non linéaire par une augmentation de la température. Toutefois, dans le diagramme P-V d'inflammabilité, des anomalies peuvent apparaître à basse pression (péninsule à long délai) et à haute pression (flammes froides). La connaissance de ces délais revêt une importance essentielle pour le fonctionnement de nombreux dispositifs et notamment dans les moteurs à combustion interne.
Dans le moteur Diesel, le carburant est injecté dans la chambre lorsque la pression y est suffisamment élevée pour que l'auto-inflammation du mélange se produise à la température de fonctionnement. Il est donc nécessaire que le délai d'auto-inflammation soit compatible avec la durée du cycle de compression. Dans le cas du moteur à essence ou moteur à déflagration interne, l'allumage du mélange est localement réalisé par l'étincelle et la flamme se propage par déflagration dans le mélange. Pour que ce régime de combustion soit maîtrisé, il est nécessaire que, malgré la montée en pression dans la chambre, le mélange ne s'auto-enflamme pas avant d'être atteint par l'onde de déflagration. Dans le cas contraire, on observe de fortes surpressions transitoires (cliquetis), qui perturbent le cycle et détériorent le dispositif mécanique. Dans ces moteurs, il faut donc utiliser des mélanges à longs délais (communément mais improprement appelés anti-détonants) caractérisés par un indice d'octane élevé. Dans certains cas (statoréacteurs à combustion supersonique), au contraire, des délais extrêmement courts sont recherchés. La détermination expérimentale d'un délai d'auto-inflammation s'effectue généralement dans un tube à choc ou dans une machine à compression rapide.
voir: Auto-inflammation.

DELAI D'INFLAMMATION

Intervalle de temps qu'il faut à un système pour que s'y produise l'inflammation, à partir du moment où il a été rendu inflammable.
voir: Délai d'allumage, délai d'auto-inflammation.

DENSITE OPTIQUE

voir: Epaisseur optique.

DETONABILITE

voir: Explosibilité.

DETONATION

(angl. detonation) (all. Detonation) *du latin tonare : tonner* [appl. pyrotechnie, sécurité industrielle] Propagation plus ou moins autonome d'une zone de combustion couplée à un complexe d'ondes de choc qui la précède, se faisant avec une vitesse supérieure à la célérité du son par rapport au milieu réactif. Le mode de détonation est caractérisé par une augmentation de la pression et de la masse volumique en même temps qu'une décélération des gaz par rapport à la zone réactionnelle qu'ils traversent. Les relations et équations de Rankine-Hugoniot impliquent que dans ce mode (P > 0, > 0) la vitesse de propagation de la zone réactionnelle doive être supersonique par rapport aux gaz frais. Dans une détonation, la combustion procède par auto-inflammation du mélange comprimé par l'onde de choc

associée.
voir: Explosion.

DETONATION AUTO-ENTRETENUE

voir: Détonation autonome.

DETONATION AUTONOME

(angl. self-sustained detonation) Une détonation est dite autonome lorsque les caractéristiques de sa propagation deviennent indépendantes du processus d'amorçage. **équiv:** détonation auto-entretenue.

DETONATION CRITIQUE

(angl. critical detonation) Détonation autonome stable dont les caractéristiques sont celles de Chapman-Jouguet (CJ). On dit parfois détonation idéale.

DETONATION CONVERGENTE

(angl. converging detonation) Détonation dont l'aire du front d'onde est décroissante.

DETONATION CYLINDRIQUE

(angl. cylindrical detonation) Détonation dont la surface du front d'onde est à symétrie partiellement ou totalement cylindrique.

DETONATION DIVERGENTE

(angl. diverging detonation) Détonation dont l'aire du front d'onde est croissante.

DETONATION FAIBLE

(angl. weak detonation) Détonation dont le point représentatif sur l'adiabatique dynamique est situé sur la partie inférieure au point critique Chapman-Jouguet (CJ) ($p < pCJ$).
voir: Equation de Crussard.

DETONATION FORTE

(angl. strong detonation, overdriven detonation) Détonation dont le point représentatif sur l'adiabatique dynamique est situé sur la partie supérieure au point critique C.J. ($p > pCJ$). Une telle détonation est souvent observée dès sa formation.
voir: Equation de Crussard.

DETONATION GALOPANTE

(angl. galoping detonation) La détonation d'un système réactif a une naissance, une vie et une mort. Pour certaines conditions initiales (pression, température, dilution en inerte...) ou certaines conditions aux limites (nature, géométrie d'un confinement tubulaire), les caractéristiques de la propagation de la détonation sont cycliques : une fois créée, la détonation décélère et s'atténue jusqu'à se détruire pour donner lieu à la dualité onde de choc-onde de détonation fortement dissociées, puis on observe une accélération de l'ensemble jusqu'à une recréation du processus de détonation et ainsi de suite. Dans les tubes confinant un milieu gazeux, le cycle peut s'étaler sur plusieurs mètres. La détonation galopante est observée en particulier dans les tubes souples. Elle est très instable.
voir: Détonation marginale.

DETONATION HELICOIDALE

(angl. helicoïdal detonation, spinning detonation) Se dit de la détonation marginale (système gazeux) se propageant dans un tube à section circulaire uniforme. La structure tridimensionnelle du front d'onde est quasi permanente mais animée d'un mouvement de rotation autour de l'axe longitudinal du tube (notion d'hélice). Sa célérité "moyenne" est très inférieure à la célérité Chapman-Jouguet (CJ). Elle correspond au cas extrême où la structure cellulaire se réduirait à une cellule dont la largeur serait du même ordre de grandeur que le diamètre du tube.
voir: Cellule de détonation, détonation marginale.

DETONATION IDEALE

voir: Détonation critique.

DETONATION MARGINALE

(angl. marginal detonation) Détonation parfois observée lorsque le système réactif est très dilué par un inerte ou un inhibiteur. Elle est alors très instable et ses caractéristiques moyennes sont très inférieures aux valeurs calculées Chapman-Jouguet (CJ). La détonation hélicoïdale (système gazeux) est une détonation marginale.
voir: Détonation hélicoïdale.

DETONATION PLANE

(angl. plane detonation) Détonation dont la surface du front d'onde est plane.

DETONATION SPHERIQUE

(angl. spherical detonation) Détonation dont la surface du front d'onde est à symétrie totalement ou partiellement sphérique.

DETONIQUE

(angl. detonics) *du latin tonare : tonner* Science ayant pour objet la détonation.

DEVELOPPEMENT ASYMPTOTIQUE

(angl. asymptotic expansion) Soit une fonction F(,P) (d'un petit paramètre et d'autres quantités (des coordonnées par exemple) notées collectivement P. Soient

par ailleurs N fonctions 1(), ...,N(), dites "de jauge", vérifiant n() » n+1() à la limite 0. On appelle développement asymptotique (D.A.) de F(,P), à la limite 0, à l'ordre N et pour P fixé, toute expression de la forme n()Fn(P) pour n variant de 1 à N, et telle que sa différence à F(,P) soit négligeable devant N() lorsque tend vers zéro. Ainsi 0,5.Log - Log p - ()1/2/p est un D.A. (à l'ordre 3) de - Log (1 + p/()1/2) à la limite 0 et pour p 0 fixé. Ici 1 = Log , 2 = 1, 3 = ()1/2. Dans la couche limite, définie sur cet exemple par X = p/()1/2 fixé, on obtient un autre D.A., ici réduit à un terme - Log(1+X), pour 0 et X fixé. La description d'une fonction F peut donc nécessiter plusieurs D.A., suivant les valeurs de P. En général, pour petit mais non nul, l'écart relatif entre F(,P) et un D.A. décroît lorsque N augmente jusqu'à un ordre optimal, dépendant de , pour recroître ensuite.
Remarque : malgré sa prononciation, le mot asymptotique ne s'écrit qu'avec un "s".

DEVIATION

voir: Réfraction.

DEVOLATILISATION

[appl. pyrolyse du charbon et des combustibles solides] Au cours d'un traitement thermique, soit naturel (houillification), soit dans un four (carbonisation), les composés organiques perdent des matières volatiles, d'abord de l'eau et du dioxyde de carbone, des hydrocarbures liquides puis gazeux, ensuite de l'oxyde de carbone et enfin de l'hydrogène. Ce processus s'appelle la dévolatilisation. La température de dévolatilisation et l'amplitude du phénomène dépendent du composé organique de départ. Ainsi, pour des charbons de rang croissant, la dévolatilisation se produit à température de plus en plus élevée. Pour des anthracites, il n'y a pratiquement plus que du méthane et de l'hydrogène dans les matières volatiles, celles-ci s'échappant au delà de 500°C.
voir: Rang d'un charbon.

DIAGNOSTIC

(angl. diagnostic) *du grec diagnôsis : discernement* Moyen d'investigation pour caractériser les paramètres d'une flamme tels que température, vitesse, concentration des réactifs et produits, granulométrie des particules liquides (gouttelettes de carburant) ou solides (grains de charbon, suies...), pour repérer les zones de réaction et les fronts de flamme, reconnaître le régime de combustion... Ce terme s'emploie plutôt dans le contexte d'études fondamentales de la combustion, visant à mieux comprendre les phénomènes mis en jeu. Ces diagnostics peuvent faire appel à des moyens de mesure par sondes (prélèvement, thermocouples à court temps de réponse...) ou à des méthodes optiques.
voir: Diagnostic optique, prélèvement.

DIAGNOSTIC OPTIQUE

(angl. optical diagnostic) Type de diagnostic basé sur l'utilisation de phénomènes optiques afin de réunir au mieux et simultanément (si possible) les qualités de non perturbation du milieu et de bonne résolution spatiale et temporelle, en principe vérifiées par les méthodes optiques. Les techniques traditionnelles de visualisation telles que strioscopie et ombroscopie en font partie. Les diagnostics optiques utilisent la plupart du temps des techniques laser. Les principes des diagnostics les plus couramment employés en combustion sont présentés dans chaque définition.
voir: Diffusion Raman, diffusion Rayleigh, DRASC, émission, fluorescence, fluorescence induite par laser, ombroscopie, strioscopie, thermographie infrarouge, tomographie laser, vélocimétrie.

DIAGRAMME D'ARRHENIUS

[appl. cinétique chimique] L'équation d'Arrhenius étant de la forme k = A exp(-E/RT), ou encore en utilisant l'écriture logarithmique Logk = LogA - E/RT, le graphe de Logk en fonction de 1/T est appelé le diagramme d'Arrhenius. Il est généralement linéaire sur un certain domaine de valeurs de la variable. Les caractéristiques de la droite ainsi obtenue permettent de déterminer, à partir des mesures expérimentales, les deux paramètres de l'équation d'Arrhenius. Son ordonnée à l'origine est LogA, d'où la valeur du facteur préexponentiel, et sa pente permet de calculer E/R, donc E, la valeur de l'énergie d'activation.
voir: Energie d'activation, équation d'Arrhenius, facteur préexponentiel.

DIAGRAMME D'AUTO-INFLAMMATION

Dans le plan (T en abscisses, P en ordonnées), les mélanges H2/O2 et CO/O2 présentent un diagramme des limites d'auto-inflammation en "S inversé". Pour toute une gamme de températures, ces systèmes présentent trois pressions limites d'auto-inflammation successives : en augmentant progressivement la pression, on franchit successivement une limite entre une zone sans auto-inflammation et une zone d'auto-inflammation, puis une limite vers une zone sans auto-inflammation et enfin à plus haute pression une limite vers une nouvelle zone d'auto-inflammation.
Les mélanges hydrocarbures/O2/N2 peuvent également être caractérisés par un diagramme d'auto-inflammation, dont la forme est assez complexe, mais qui présente deux domaines particuliers. A basse pression et haute température, le diagramme présente une forme en "S inversé" du même type que celle observée avec les mélanges H2/O2 et CO/O2, c'est-à-dire présentant trois pressions limites successives. A haute pression et basse température, le diagramme est à l'inverse caractérisé par une zone de pressions où existent trois températures limites successives. Cette zone peut être de plus complétée par une péninsule (vers les pressions

inférieures) délimitant une zone caractérisée par l'existence de flammes froides. Au sein de cette péninsule, on peut éventuellement distinguer selon les conditions (nature de l'hydrocarbure, composition du mélange) des limites entre des zones où on observe une, deux ou plusieurs flammes froides successives.
voir: Flamme froide.

DIAGRAMME LT

[appl. technologie industrielle] Graphique sur lequel sont portées en abscisse les longueurs d'un four ou d'un échangeur et en ordonnées les températures de la matière et des gaz. Il permet de localiser dans les installations industrielles les emplacements où s'effectuent les différentes réactions.

DIAMETRE CRITIQUE

voir: Rayon critique.

DIERGOL

(angl. bipropellant) *contraction de di : deux, et ergol* [appl. propergols, moteurs fusées] Propergol liquide composé d'un ergol combustible et d'un ergol comburant. Exemple : propergol liquide non stockable constitué d'hydrogène liquide et d'oxygène liquide.
équiv: biergol. **voir:** Ergol, propergol liquide.

DIFFERENCES FINIES

(angl. finite differencies) Technique de discrétisation, pouvant être explicite ou implicite, des équations différentielles de mécanique des fluides, basée sur les propriétés des développements de Taylor et sur l'application directe de la définition des dérivées. La discrétisation spatiale peut se faire en utilisant des dérivées centrées ou décentrées à droite ou à gauche, tandis que la discrétisation temporelle peut se faire sur un ou plusieurs niveaux de temps. Ces méthodes sont simples à mettre en oeuvre mais sont restrictives sur la précision et la stabilité.
voir: Convergence numérique, éléments finis, maillage, nombre de Courant, volumes finis.

DIFFRACTOSCOPIE

voir: Strioscopie.

DIFFUSION

(angl. diffusion) [appl. transport laminaire ou turbulent de matière ou de chaleur] Phénomène de transport relatif, dans un milieu non uniforme, qui tend à réduire les gradients. La vitesse de diffusion massique d'une espèce i est définie par rapport au mouvement d'ensemble du fluide : Wi = Vi - <v>, où la vitesse d'ensemble <v> est pondérée par les fractions massiques spécifiques Yi. Le flux massique diffusé est Ji = iWi, où i = Yi est la masse volumique de l'espèce i considérée, avec les relations de conservation Yi = 1 et Ji = 0. D'après la loi de Fick, dans un mélange binaire (A,B), le flux massique de diffusion de l'espèce A est relié au gradient YA de sa fraction massique par la diffusivité DAB du couple (A,B) selon la relation linéaire : JA = - DABYA.
Ce comportement est similaire à celui du transport de quantité de mouvement par contrainte visqueuse (loi de Newton) et à celui du transport d'énergie thermique par conduction (loi de Fourier) qui est aussi appelé diffusion thermique dans les fluides (la diffusivité thermique est reliée à la conductivité par = /Cp). Cette analogie entre la diffusion de la matière et la conduction de la chaleur explique les difficultés rencontrées pour mettre en évidence le rôle essentiel de la diffusion des radicaux dans la propagation des flammes de prémélange par rapport à l'analyse purement thermique de Mallard et Le Chatelier. La similitude entre les transports de matière et d'énergie thermique est quantifiée par le nombre adimensionnel de Lewis, Le = /D = /Dcp, qui rapporte le taux de conduction thermique au taux de diffusion de masse. En combustion, de nombreuses analyses sont simplifiées lorsque Le = 1.
D'après la théorie cinétique des gaz, la diffusivité moléculaire, ou coefficient de diffusion laminaire, s'exprime comme le produit de la vitesse d'agitation des molécules par leur libre parcours moyen D = ul/3. Dans un gaz parfait la diffusivité croît donc avec la température comme T3/2 et décroît avec la pression comme 1/P. L'introduction du formalisme diffusif dans l'équation de continuité des espèces conduit à l'expression de Shvab-Zel'dovich exprimant le taux de production massique A d'une espèce A : A = (YA/t) + VYA - (DYA), où apparaissent successivement les termes de croissance, de convection et de diffusion.
Dans les écoulements turbulents incompressibles, la décomposition de Reynolds des variables ($v = v_{moy} + v'$, $Y = Y_{moy} + Y'$) appliquée à cette équation de continuité fait apparaître dans la convection moyenne un terme de corrélation croisée en (v'Y'). Suivant le formalisme utilisé par Boussinesq pour le transport de quantité de mouvement (viscosité turbulente), ce terme de corrélation est inséré dans la partie diffusive moyenne en introduisant une diffusivité turbulente DT telle que v'Y' = - DTY. Par analogie avec la théorie cinétique des gaz, la diffusivité turbulente, alors dite diffusivité tourbillonnaire, peut s'exprimer comme le produit de la fluctuation de vitesse par le libre parcours moyen des tourbillons qui est fourni par l'échelle temporelle de la turbulence. D'une manière générale (en régime laminaire ou turbulent), les grandeurs intervenant dans ces analyses ne sont pas isotropes et les diffusivités sont des tenseurs.
Dans les milieux réactifs non prémélangés, les structures de combustion sont qualifiées de flammes de diffusion laminaires ou turbulentes. Bien que la diffusion des radicaux joue aussi un rôle important dans la propagation des flammes de prémélange, cette dénomination de flamme de diffusion souligne le rôle indispensable à la combustion de la diffusion laminaire ou turbulente des espèces qui régit le mélange entre combustible et comburant. Néanmoins cette dénomination est moins justifiée, voire ambiguë, dans les milieux à basse pression où l'ac-

croissement de la diffusivité et la baisse conjointe de la réactivité donnent lieu à un régime de combustion de type prémélangé.
voir: Modèle thermique de flamme.

DIFFUSION DE LA LUMIERE

Terme général pour décrire la réémission de la lumière par la matière soumise à un rayonnement. La diffusion Rayleigh est associée à la diffusion par les molécules constituant un milieu transparent. Le bleu du ciel est dû à la diffusion Rayleigh. L'intensité diffusée dépend de la nature et de la densité du milieu. Cette propriété est mise à profit pour obtenir des mesures de température. La diffusion de Mie est associée à la diffusion par des particules matérielles dont les dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde de la lumière (0,5 m(pour la lumière visible) ou supérieures à celle-ci. On peut également dans ce cas employer le terme de diffraction. L'intensité diffusée est beaucoup plus importante que dans le cas de la diffusion Rayleigh. La diffusion par un brouillard est un exemple de diffusion de Mie. Les applications en combustion sont la vélocimétrie laser et la tomographie laser.
voir: Diffusion Rayleigh, tomographie laser, vélocimétrie laser.

DIFFUSION DE MIE

(angl. Mie scattering) [appl. optique, diagnostic] Régime de diffusion de la lumière par la matière, dans le cas où le diamètre des particules diffusantes est supérieur à la longueur d'onde du rayonnement. Mis à part l'effet Doppler, le rayonnement est diffusé sans changement de longueur d'onde. La section efficace de la diffusion de Mie dépend de nombreux paramètres (angles, polarisation, longueur d'onde, indice, forme, diamètre...). Elle croît avec le diamètre d des particules comme dn où n atteint 2 pour les grosses particules opaques.
voir: Extinction, section efficace.

DIFFUSION MULTIPLE

(angl. multiple scattering) Dans le calcul du transfert de rayonnement dans un milieu contenant des particules diffusantes, la diffusion multiple intervient quand de l'énergie lumineuse diffusée par une particule est recollectée et diffusée par une autre particule.
voir: Coefficient de diffusion, équation de transfert, extinction.

DIFFUSION NUMERIQUE

(angl. numerical diffusion) [appl. calcul numérique en thermique et mécanique des fluides, donc en combustion] Diffusion parasite qui provient de l'erreur de discrétisation des termes de transport-convection des équations de Navier-Stokes, de transport des espèces et de l'énergie.
Elle est d'autant plus importante que le maillage de calcul est plus grossier. L'utilisateur d'un code de calcul doit prendre garde à ce phénomène, car les codes industrialisés proposent en général des méthodes robustes mais très diffusives, avec des méthodes peu diffusives mais sujettes à des problèmes d'instabilités numériques. Pour limiter la diffusion numérique, il faut utiliser un schéma de discrétisation précis et raffiner le maillage.
Un critère important de qualité des résultats d'un code est la discrétisation en espace des termes convectifs. La discrétisation de ce terme est en effet génératrice de diffusion numérique et d'instabilités du schéma. Les discrétisations centrées sont génératrices d'instabilités. La discrétisation décentrée amont simple est stable et robuste, mais extrêmement diffusive : elle introduit un coefficient de diffusion artificiel égal, en monodimensionnel, à u.dx/2, où u est le module de la vitesse et x le pas en espace. Le résultat est donc très sensible au raffinement du maillage : raffiner permet de diminuer la diffusion numérique. Les meilleures méthodes sont les méthodes décentrées amont d'ordre élevé, comme les méthodes de type "QUICK" ou les méthodes lagrangiennes (caractéristiques). L'interpolation quadratique (QUICK et variantes) est très en vogue mais elle présente l'inconvénient d'être coûteuse dès lors que l'on a à traiter un grand nombre d'inconnues. La méthode des caractéristiques avec interpolation d'ordre élevé est de très bonne qualité vis à vis de la diffusion numérique et présente par rapport à QUICK l'avantage que le temps calcul dépend très peu du nombre d'inconnues transportées. Elle n'est cependant pas conservative et sa programmation est compliquée.
voir: Maillage.

DIFFUSION RAMAN

(angl. Raman scattering) *de Chandrasekhara V. Raman, nom d'un physicien indien (1888-1970), prix Nobel de physique en 1930* [appl. mesure d'espèces moléculaires et de température] Diffusion quasi-instantanée d'un rayonnement dont les fréquences optiques sont spectralement décalées par rapport à celle du rayonnement incident. Les décalages spectraux sont égaux aux fréquences d'oscillation caractéristiques des molécules diffusantes. L'intensité de cette faible diffusion spontanée est considérablement amplifiée lorsque le champ électromagnétique incident est composé de deux rayonnements dont l'écart de fréquence est accordé sur un mode d'oscillation de la molécule. La diffusion Raman est alors émise de façon cohérente dans une direction déterminée (diffusion Raman cohérente). Le décalage spectral Raman (/c en cm-1) peut être négatif (composante Stokes) ou positif (composante anti-Stokes).
voir: Diffusion, diffusion Raman anti-Stokes cohérente, diffusion Raman spontanée.

DIFFUSION RAMAN ANTI-STOKES COHERENTE

Diagnostic optique, dérivé de la diffusion Raman spontanée, mettant en oeuvre deux rayonnements (appelés pompe et stokes) dont la différence de fréquence est accordée sur une fréquence caractéristique de vibration

ou de rotation d'une molécule du milieu à sonder. Par une interaction non linéaire, un rayonnement cohérent est émis dans la zone de focalisation des faisceaux laser excitateurs, à une longueur d'onde inférieure à celle du laser de pompe (d'où le nom anti-Stokes). Le spectre de ce rayonnement est la signature de la molécule sondée : température (forme du spectre par la distribution de population sur les différents niveaux d'énergie) et concentration (intensité du spectre par sa proportionnalité au carré de la densité numérique de la molécule). L'intensité et la cohérence du rayonnement émis rendent cette technique applicable dans des flammes lumineuses. Elle ne souffre pas des interférences avec des fluorescences d'hydrocarbures comme en diffusion Raman. La thermométrie DRASC basée sur l'azote est d'usage relativement courant, y compris sur des dispositifs industriels.
voir: Diagnostic optique, diffusion Raman, diffusion Raman spontanée.

DIFFUSION RAMAN SPONTANEE

(angl. spontaneous Raman scattering) [appl. mesure locale de concentrations et de la température] Rayonnement émis instantanément lors de l'interaction d'un rayonnement laser incident avec des molécules à moment dipolaire non nul. Ce processus existe quelle que soit la fréquence incidente. Le spectre Raman est composé de raies Stokes et anti-Stokes, de fréquences respectives - k et + k, k étant une fréquence caractéristique de la rotation ou de la vibration de la molécule. L'intensité émise est proportionnelle à la densité et à la section efficace de diffusion Raman de l'espèce diffusante. Cette section efficace varie avec la section efficace de diffusion Rayleigh. L'analyse du spectre Raman conduit à la détermination de la concentration d'espèces majoritaires et de la température de milieux en combustion.
voir: Diffusion Raman, diffusion Raman anti-Stokes cohérente, diffusion Rayleigh.

DIFFUSION RAYLEIGH

(angl. Rayleigh scattering) *de J.W. Strutt, lord Rayleigh, nom d'un physicien anglais (1842-1919), prix Nobel de physique en 1904* [appl. optique, diagnostic] Régime de diffusion élastique (c'est-à-dire sans absorption) de la lumière, dans le cas où le diamètre des particules diffusantes (telles que des molécules) est inférieur à la longueur d'onde du rayonnement. Mis à part l'effet Doppler, le rayonnement émis est diffusé sans changement de longueur d'onde. L'intensité du rayonnement diffusé est obtenue en sommant les intensités réémises par les molécules considérées comme des dipôles rendus incohérents par l'agitation du milieu. L'efficacité de la diffusion est alors proportionnelle à la puissance quatrième de la fréquence optique (-4) et au carré de la réfractivité R du milieu. Cette réfractivité (R = (n-1)/N où n est l'indice de réfraction et N la concentration moléculaire volumique) est une constante (loi de Gladstone) qui est proportionnelle au volume de la molécule. La section efficace de la diffusion Rayleigh étant très inférieure à celle de la diffusion de Mie, la diffusion Rayleigh ne peut pas être détectée si le milieu contient des particules (suies, poussières...).
voir: Section efficace.

DIFFUSIVITE TURBULENTE

(angl. eddy diffusivity) [appl. mécanique des fluides, combustion turbulente] (unité: m^2 s^{-1}) Hypothèse de modélisation permettant d'écrire de façon approchée le flux turbulent de quantité de chaleur. Ce dernier est supposé aligné avec le gradient de température moyenne. L'opposé de la constante de proportionnalité est appelé diffusivité turbulente. Notation habituelle : K_T.
$\overline{u_i'T'} = -K_T \left(\frac{\partial u_i'}{\partial \xi_i}\right)$ **voir:** Modèle k-epsilon.

DISPERSION

DISSIPATION

(angl. dissipation) [appl. écoulements turbulents, combustion turbulente] (unité: m^2) Puissance par unité de masse dissipée par frottement visqueux dans les petites structures du mouvement turbulent. Notation usuelle : . La dissipation apparaît dans l'écriture de l'équation de bilan d'énergie cinétique turbulente, avec l'expression $= \frac{\partial u_j'}{\partial x_j}\frac{\partial u_j'}{\partial x_i}$ (avec sommation sur i et j), où u_j' est la viscosité cinématique.
s^{-3}. **voir:** Modèle k-epsilon.

DISSIPATION SCALAIRE

(angl. dissipation)

DISSYMETRIE

(angl. skewness factor) S = (u3)/(u2)3/2 est une expression sans dimension du moment du 3ème ordre de la fluctuation de vitesse dans une direction) Le coefficient de dissymétrie (u3/2 représente aussi la valeur moyenne du transfert de l'énergie cinétique u2/2 due à la composante u et pour l'unité de masse. S est nul pour une distribution de densité de probabilité symétrique. Une valeur non nulle de S peut être le reflet de structures organisées de géométries non régulières dans un écoulement. Dans une conduite, sur l'axe, Su = - 0,4, Sv = Sw = 0. En bordure de couche limite, Su peut être voisin de l'unité.

DISTANCE DE COINCEMENT

(angl. quenching distance) [appl. flamme laminaire, sécurité] Taille maximale de la maille ou diamètre maximal du tube conduisant au coincement d'une flamme. La première application connue fut la lampe de mineur de Davy au 19ème siècle, où la flamme est confinée à l'intérieur d'une enceinte en grille à maille fine.

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE

(angl. particle size distribution) (all. Dispersitätsverteilung) Représentation, sous forme de table ou de graphique, de la répartition des mesures caractéristiques géométriques ou massiques des particules composant un produit pulvérulent ou granulaire. **voir:** Granulométrie.

DIVERGENT

(angl. divergent) [appl. propulsion] Partie d'une tuyère en aval du col, destinée à détendre les gaz.

DOMAINE DE DEFLAGRATION

Ensemble des valeurs des variables du système combustible telles que la déflagration soit possible dans les conditions données de confinement. Le domaine de déflagration est limité par les limites de déflagration.
La spécification pratique du domaine et des limites de déflagration par une surface (ou ligne) de discontinuité physique implique en toute rigueur celle du mode d'apport de l'énergie, en quantité et en durée, celle du confinement du système combustible (adiabatique, isotherme) et celle de la façon dont est détectée l'accélération de la réaction (nature, sensibilité, fiabilité du détecteur). Le confinement du système combustible est plus spécialement à considérer dans le cas de systèmes prémélangés lorsque l'on s'intéresse aux limites de propagation autonome de la déflagration. **équiv:** domaine d'inflammabilité, limites d'inflammabilité.

DOMAINE DE DETONABILITE

voir: Domaine de détonation.

DOMAINE DE DETONATION

Ensemble des valeurs des variables du système combustible telles que la détonation soit possible dans les conditions données de confinement. Le domaine de détonation est limité par les limites de détonation.
La spécification pratique du domaine et des limites de détonation par une surface (ou ligne) de discontinuité physique implique en toute rigueur celle du mode d'apport de l'énergie, en quantité et en durée, celle du confinement du système combustible (adiabatique, isotherme) et celle de la façon dont est détectée l'accélération de la réaction (nature, sensibilité, fiabilité du détecteur). Le confinement du système combustible est plus spécialement à considérer dans le cas de systèmes prémélangés lorsque l'on s'intéresse aux limites de propagation autonome de la détonation.

DOMAINE D'INFLAMMABILITE

voir: Domaine de déflagration.

DOMAINE D'INFLAMMATION

Ensemble des valeurs des variables du système combustible telles que l'inflammation se produise dans des conditions données de confinement. Le domaine d'inflammation est limité par les températures, pressions et compositions limites d'inflammation. **voir:** Système combustible, inflammation.

DOPPLER

nom du physicien autrichien Christian Doppler (1803-1853) Doppler a mis en évidence la variation de hauteur du son perçu par un observateur lorsque la source se déplace par rapport à cet observateur. Ce résultat a été étendu par H. Fizeau aux ondes lumineuses. **voir:** Effet Doppler-Fizeau, Fizeau.

DRASC

(angl. CARS (Coherent Anti Stokes Raman Scattering)) *acronyme de Diffusion Raman Anti-Stokes Cohérente* **voir:** Diffusion Raman anti-Stokes cohérente.

DROITE DE RAYLEIGH

(angl. Rayleigh line) *du nom du physicien anglais John Strutt, lord Rayleigh (1842- 1919), prix Nobel de physique en 1904* [appl. flamme laminaire, détonation, ondes de choc] Droite qui, dans le diagramme de Clapeyron (p, 1/),(constitue l'un des lieux géométriques du point représentatif de l'état thermodynamique des gaz brûlés. Sa pente négative est proportionnelle au carré de la vitesse de propagation de l'onde de combustion.
voir: Hyperbole d'Hugoniot.

DSC

initiales pour Differential Scanning Calorimetry : analyse calorimétrique différentielle **voir:** Analyse calorimétrique différentielle.

DTA

initiales pour Differential Thermal Analysis : analyse thermique différentielle **voir:** Analyse thermique différentielle.

DUREE DE FLAMME RESIDUELLE

voir: Durée de persistance de flamme.

DUREE DE PERSISTANCE DE FLAMME

(angl. afterflame time, duration of flame) [appl. feu, incendie] Durée pendant laquelle un matériau continue à flamber dans des conditions d'essai spécifiées, après retrait de la source d'allumage. **équiv:** durée de flamme résiduelle.

DUREE DE PROPAGATION DE FLAMME

(angl. flame spread time) Temps que met une flamme à se propager sur une distance ou sur une surface spécifiée d'un matériau en combustion dans des conditions d'essai spécifiées.

DUREE DE VIE

(angl. average lifetime) [appl. cinétique chimique] La durée de vie d'une centre actif X, au sein d'un milieu réactif, est définie comme le rapport de la concentration $[X]$ de ce centre à sa vitesse de disparition. Elle a les dimensions d'un temps. Cette notion permet de définir une échelle simple de réactivité. Pour une série de réactions élémentaires d'une espèce centre actif X avec différentes molécules A_i de concentrations $[A_i]$, de constantes de vitesse k_i, la durée de vie de ce centre s'exprime par $\tau = [\sum k_i A_i]^{-1}$. **voir:** Centre actif.

DUREE D'INCANDESCENCE RESIDUELLE

(angl. afterglow time, duration of afterglow) [appl. feu, incendie] Période pendant laquelle l'incandescence persiste sur un matériau, dans des conditions d'essai spécifiées, après retrait de la source d'allumage ou après disparition des flammes.

E

ECHANGEUR

[appl. technologie industrielle] Dispositif ou ensemble d'appareils destiné à permettre la récupération et la transmission de la chaleur entre la matière et les gaz. On distingue différents types de tels dispositifs : échangeur à co-courant où l'échange thermique s'effectue pendant le parcours dans le même sens de la matière et des gaz (carneau d'entrée des cyclones par exemple), échangeur à courants croisés où l'échange thermique s'effectue pendant la traversée de la couche de matière par les gaz, matière et gaz se déplaçant dans deux directions perpendiculaires (par exemple grille Lepol, refroidisseur Fuller), échangeur à contre-courant où l'échange thermique s'effectue pendant le déplacement en sens inverse de la matière et des gaz (par exemple refroidisseur rotatif, refroidisseur planétaire). Ce dernier type d'échangeur est le moins performant car l'écart de température entre matière et gaz reste toujours faible de l'entrée à la sortie de l'échangeur.

ECHELLE DE KOLMOGOROV

voir: Echelle de turbulence.

ECHELLE DE TURBULENCE

(angl. scale of turbulence) Les échelles de turbulence sont temporelles, ou spatiales ou spatiotemporelles. Dans les deux premiers cas elles précisent les temps et les longueurs physiques représentatives localement de la turbulence, et dans le dernier cas elles précisent la mémoire de la turbulence. Les grandes échelles (L) ou échelles intégrales sont généralement calculées à partir de coefficients réduits de corrélation (R) : L = Rdx entre 0 et . Les plus petites échelles ou échelles de Kolmogorov rencontrées en turbulence sont déduites des spectres d'énergie cinétique et de la dissipation de la chaleur. L'hypothèse de Taylor /t = U(/x) permet de passer des échelles de temps aux échelles de longueur. En turbulence homogène et isotrope, des relations faisant intervenir le nombre de Reynolds de la turbulence u'L/ lient petites et grandes échelles. Près des parois les échelles décroissent. Ces échelles de turbulence, par leurs valeurs relatives vis à vis de celles des flammes, jouent un rôle essentiel dans la définition des régimes de combustion.

ECHELLE SPATIALE

voir: Echelle de turbulence.

ECHELLE TEMPORELLE

voir: Echelle de turbulence.

ECOULEMENT

(angl. flow) Déplacement ou mouvement relatif de fluides (gaz ou liquides) sous l'action de forces extérieures normales ou tangentielles. Il relève de la mécanique des milieux continus et déformables. Un écoulement est newtonien lorsque les contraintes et les vitesses de déformation sont linéairement dépendantes. Le coefficient de proportionnalité est la viscosité dynamique , constante pour un fluide à l'échelle macroscopique. L'étude de ces lois de comportement est la rhéologie. Différents types de régimes s'observent dans les écoulements de fluides : laminaire ou turbulent, subsonique ou supersonique. Les équations régissant les écoulements sont celles de conservation de la matière, de la dynamique et de la thermodynamique. La masse volumique y joue un rôle central. Des écoulements sont en équilibre lorsqu'ils conservent la même structure ou les mêmes propriétés réduites à différentes positions ou sections droites.
voir: Ecoulement laminaire, écoulement turbulent.

ECOULEMENT A PHASE DISPERSEE

(angl. dispersed flow) **équiv:** écoulement à inclusions dispersées. **voir:** Ecoulement diphasique.

ECOULEMENT DIPHASIQUE

(angl. two-phase flow) [appl. combustion de liquides ou solides, génie chimique] Ecoulement présentant deux phases non miscibles ayant des caractéristiques dynamiques non identiques. Exemple : écoulement d'eau avec des bulles de gaz ou avec des particules de sédiment, écoulement de gaz avec des particules ou des gouttes de liquide.
voir: Lit fluidisé, modèle eulérien, modèle lagrangien.

ECOULEMENT HELICOIDAL

(angl. swirl) Ce terme désigne un écoulement animé d'un mouvement hélicoïdal. De tels écoulements sont souvent utilisés pour stabiliser la flamme dans les brûleurs industriels. Ils sont caractérisés par le nombre de swirl (sans dimension), qui est le rapport entre le débit axial de quantité de mouvement en rotation G et le produit du débit axial de quantité de mouvement axiale Gx et du rayon hydraulique équivalent de la canalisation d'éjection Rh : S = G/(Rh.Gx).

ECOULEMENT LAMINAIRE

(angl. laminar flow) Régime d'écoulement organisé, prédictible, déterministe, entièrement calculable (en théorie) par les équations de Navier-Stokes associées à des conditions aux limites et initiales. Il s'observe pour des valeurs du nombre de Reynolds inférieures à une valeur critique. En régime laminaire les filets fluides sont parallèles et les transferts transversaux sont régis par des mécanismes diffusionnels à l'échelle moléculaire. La transition est le passage du régime laminaire au régime turbulent.

ECOULEMENT PARFAITEMENT AGITE

(angl. well stirred flow, mixed flow) [appl. mécanique des fluides, génie chimique]
Définition en mécanique des fluides. L'écoulement parfaitement agité modélise un écoulement turbulent limite où le rôle des tourbillons est primordial par rapport à celui de la vitesse globale de l'écoulement. Dans un volume V où circule un débit volumique q (est supposé constant), toute fraction du fluide qui entre dans le volume est supposée immédiatement mélangée. En pratique ce cas est obtenu si les réactifs sont mélangés au milieu réactionnel en un temps infiniment court et si la recirculation interne permanente au sein du réacteur est telle que le temps mis par une molécule pour aller d'un point quelconque du réacteur à un autre est infiniment petit devant le temps de séjour. En tout point du volume V, les grandeurs caractéristiques comme la température T, la concentration CA du composant A... sont donc les mêmes, à l'intérieur du volume comme en sortie. On ne peut définir dans ce cas limite ni vitesse ni flux de matière ou de chaleur à travers une surface quelconque passant à l'intérieur de V. On ne peut définir que le temps de séjour t = V/q.
Définition en génie des procédés. Un écoulement est parfaitement agité, qu'il soit laminaire ou turbulent, s'il existe un processus physique quelconque, spontané ou provoqué, qui égalise en tout point les variables d'état du mélange (concentration, température...) en un temps très court devant le temps de séjour moyen dans l'appareil (il y a lieu de parler plutôt de temps de séjour moyen, car il y a de fait une distribution exponentielle de temps de séjour et tous les temps de séjour sont possibles de zéro à l'infini). L'état du mélange en sortie est alors le même que celui qui règne à l'intérieur de l'appareil : la discontinuité a lieu à l'entrée. On introduit le temps de passage = V/qo, qo étant le débit à l'entrée dans des conditions standards, qui peut être différent du temps de séjour moyen si le débit varie suite à des effets thermiques ou à des réactions chimiques.
équiv: écoulement parfaitement mélangé, ou mieux macromélangé, car le mélange peut rester imparfait à l'échelle moléculaire (on parle alors de ségrégation partielle due à un micromélange imparfait). **voir:** Ecoulement piston, réacteur agité.

ECOULEMENT PISTON

(angl. plug flow, piston flow) [appl. mécanique des fluides, génie chimique]
Définition en mécanique des fluides. L'écoulement piston modélise un écoulement turbulent limite où la vitesse globale est primordiale par rapport aux tourbillons qui ne font qu'assurer l'homogénéité transversale de la veine fluide. Il est caractérisé par une progression du fluide en tranches parallèles et indépendantes, sans échange de matière, la diffusion axiale étant négligeable, à la manière d'un piston dans un cylindre. Dans ce cas, les variables d'état (concentrations, température...) sont constantes dans toute section droite normale à l'écoulement, sauf éventuellement à la périphérie de la veine fluide dans une couche assez mince pour que l'effet de cette couche sur l'expression des différents flux soit négligeable, et ne dépendent que d'un seul paramètre d'espace mesuré normalement au sens de l'écoulement. En pratique, l'hypothèse de l'écoulement piston correspond généralement au cas de réacteurs tubulaires avec écoulement très turbulent ou contenant un garnissage. Si la réaction chimique a une thermicité élevée, l'hypothèse d'une température constante dans une section droite du réacteur devient peu réaliste, mais on peut encore utiliser la représentation de l'écoulement piston en raisonnant sur les grandeurs moyennes dans une section droite. En présence de gradients de température le long du réacteur, cette simplification devient difficile à maintenir et des modèles à deux dimensions doivent être retenus.
Définition en génie chimique. L'écoulement piston est réalisé lorsqu'il existe des processus de dispersion radiale suffisamment efficaces pour que le profil radial des variables d'état puisse être considéré comme plat. On l'approche effectivement dans le cas d'un écoulement très turbulent ou dans un garnissage solide régulier. L'hypothèse de l'écoulement piston est moins facilement réalisée dans le cas d'une réaction très exothermique, parce que le transfert radial de chaleur devient limitant. Avec un transfert efficace, le profil de température peut cependant rester plat. On peut noter que l'écoulement piston n'implique pas une géométrie de type tubulaire. Il existe par exemple des réacteurs à lit fixe à écoulement radial dans lesquels le fluide progresse par couches radiales concentriques sans se mélanger, qui peuvent être assimilés à des réacteurs pistons bien que la section offerte au fluide ne soit pas constante.
voir: Ecoulement parfaitement agité, réacteur piston.

ECOULEMENT TURBULENT

(angl. turbulent flow) [appl. mécanique des fluides, combustion turbulente] Ecoulement présentant un caractère apparemment désordonné caractérisé par des fluctuations de vitesse réparties selon un spectre fréquentiel étendu. Par opposition un écoulement laminaire est un écoulement non turbulent, régulier. L'apparition de la turbulence est observée au delà d'une certaine valeur critique du nombre de Reynolds. **voir:** Modèle de turbulence aux tensions de Reynolds, modèle k-epsilon, nombre de Reynolds.

EFFET CHEMINEE

(angl. chimney effect) [appl. feu, incendie] Mouvement ascensionnel de la fumée et des gaz chauds issus d'un feu ou d'un incendie, provoqué par des courants de convection à l'intérieur d'une enceinte verticale.

EFFET DE MACH

(angl. Mach effect) *du nom du physicien autrichien Ernst Mach (1838-1916), qui mit en évidence le rôle de la vitesse du son en aérodynamique* [appl. combustion supersonique] Choc droit affectant une partie d'un écoulement supersonique, engendré par l'interaction d'ondes de choc obliques.

EFFET DE PAROI

[appl. cinétique chimique] Inhibition ou accélération exercée par les parois d'un réacteur sur le développement d'une réaction en chaînes. L'action inhibitrice des parois est attribuée à l'intervention de processus hétérogènes de rupture de chaînes, suite à l'adsorption aux parois de radicaux libres se transformant ultérieurement en produits moléculaires. Dans les réactions d'oxydation et de combustion d'espèces hydrocarbonées, les radicaux peroxydiques de type $RO_2^{\cdot}$ et $HO_2^{\cdot}$ se montrent particulièrement sensibles à la nature de la paroi du réacteur et contribuent, dans le domaine de basse température, à l'intervention de processus hétérogènes de rupture de chaînes. L'action accélératrice des parois, plus rarement observée, est due à l'existence de processus hétérogènes initiant de nouvelles chaînes par création à la paroi de nouveaux centres actifs. **voir:** Initiation, réaction en chaînes, rupture.

EFFET DE SERRE

du latin serrare : fermer avec une barre Phénomène de réchauffement lié à l'interaction du système Terre et du rayonnement solaire : le flux lumineux arrivant directement du soleil (centré sur une longueur d'onde de 0,6 m) est en partie réémis vers l'espace par la surface terrestre dans le domaine de l'infrarouge (à des longueurs d'onde voisines de 10 m). Ce rayonnement est partiellement absorbé par un certain nombre de constituants minoritaires de l'atmosphère (vapeur d'eau, gaz carbonique, méthane, ozone, oxyde nitreux, chlorofluorocarbures). Renvoyé vers le sol, ce rayonnement contribue alors au réchauffement de la surface terrestre. L'effet de serre, dit additionnel, est dû à l'augmentation des concentrations atmosphériques des constituants minoritaires autres que la vapeur d'eau. La part relative à cet effet de serre additionnel est actuellement de l'ordre de 50 % pour CO2, 15 % pour CH4 et 5 % pour N2O. Ces trois constituants sont directement émis par la combustion sous ses différentes applications, à des taux respectifs moyens estimés de 80 %, 8 % et 3 %. L'ozone, polluant secondaire de la combustion, a une part évaluée actuellement à 18 % dans l'effet de serre additionnel.

EFFET DOPPLER-FIZEAU

[appl. rayonnement, diagnostics] Décalage spectral apparent induit par le mouvement relatif de la source de vibration par rapport à l'observateur. Le décalage est donné par = - k.V, où k est le vecteur d'onde du rayonnement émis (k = n/) et V le vecteur vitesse de la source observée. Cet effet est utilisé en vélocimétrie - dite vélocimétrie Doppler - où chaque particule de vitesse V> attaquée sous deux incidences différentes n1 et n2 par une même vibration diffuse deux rayonnements spectralement décalés (= V(n1-n2)/) dont l'interférence provoque une modulation mesurable de l'intensité diffusée. La fréquence de cette modulation est proportionnelle à la vitesse de la particule selon la direction n1-n2 déterminée par les faisceaux incidents. La phase de cette modulation dépend de l'angle d'observation et du diamètre des particules diffusantes lorsqu'elles sont sphériques. La mesure du déphasage de modulation du rayonnement observé sous des angles différents permet alors de déduire le diamètre de la particule diffusante (granulométrie phase-Doppler).
L'agitation moléculaire d'un gaz produit un élargissement Doppler du rayonnement émis ou absorbé selon une distribution gaussienne dont la largeur croît avec la vitesse moyenne d'agitation et donc avec la température du milieu : = 2(kT/m)1/2 /c.
voir: Vélocimétrie, vélocimétrie laser.

EFFET MIRAGE

voir: Ombroscopie.

EFFICACITE DE COMBUSTION

(angl. combustion efficiency) Rapport d'un paramètre mesuré à la valeur théorique de ce paramètre calculé dans des conditions hypothétiques données. Contrairement au rendement de combustion, l'efficacité de combustion pour un paramètre donné peut être supérieur à l'unité (cas des espèces en super-équilibre...).
voir: Rendement de combustion.

EFFLUENTS DE COMBUSTION

voir: Gaz brûlés.

EGA

initiales pour evolved gas analysis : analyse des gaz émanents **voir:** Analyse des gaz émanents.

EJECTEUR

(angl. ejector) [appl. propulsion] Ensemble de la tuyère et de la chambre de combustion avec son injecteur.

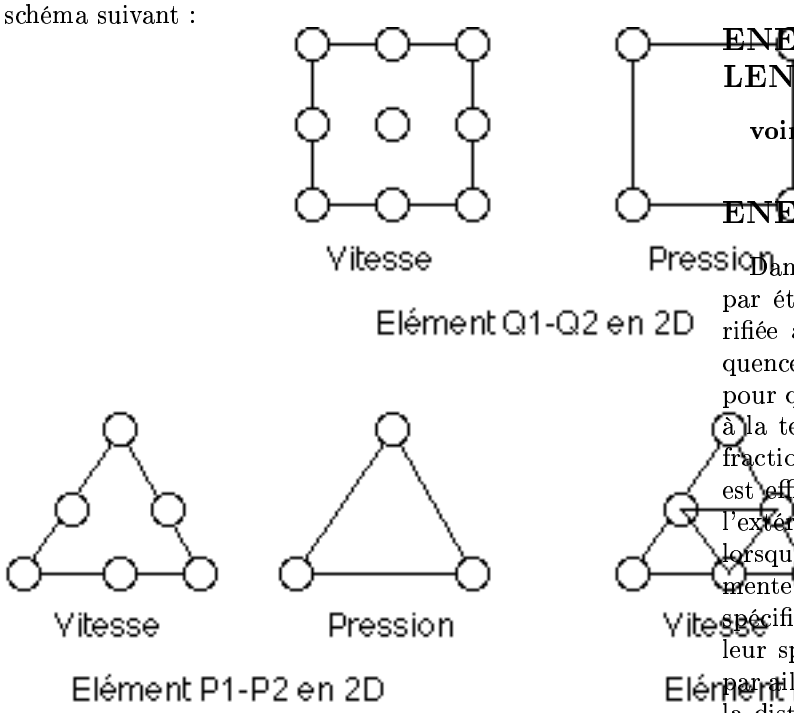
ELECTROFILTRE

[appl. technologie industrielle] Appareil de dépoussiérage des gaz, composé d'électrodes d'émission négatives

(80-110 kV) et de captation positives. Le principe de fonctionnement consiste à charger négativement les particules en suspension dans le gaz. Elles sont alors attirées sur les électrodes positives réceptrices. Les poussières ainsi captées sont récupérées par frappage. Cet appareil est généralement situé sur le trajet des gaz issus des fours et des broyeurs. Son rendement est excellent, de l'ordre de 99 % lorsque les gaz sont bien conditionnés (humidité et température). **équiv:** filtre électrostatique.

ELEMENTS FINIS

(angl. finite elements) [appl. calcul numérique en thermique et mécanique des fluides, donc en combustion] Les méthodes numériques en éléments finis reposent en général sur des formulations variationnelles des équations différentielles. Les inconnues sont représentées grâce à des fonctions de base, qui sont des polynômes d'interpolation définis élément par élément. La force des méthodes aux éléments finis est de s'adapter naturellement à des maillages non structurés et donc de bien convenir pour les problèmes où la géométrie est compliquée. En bidimensionnel, les principaux types d'éléments finis rencontrés sont représentés sur le schéma suivant :



Les éléments triangulaires (ou l'équivalent en tridimensionnel : les tétraèdres) sont les plus commodes pour réaliser des raffinements de maillages locaux, qui sont souvent nécessaires pour limiter la diffusion numérique. Ils sont les plus utilisés dans les logiciels français (P1-isoP2 à pression continue). **voir:** Diffusion numérique, maillage, volumes finis.

EMBRASEMENT ECLAIR

(angl. flash over) [appl. feu, incendie] Passage brusque à l'état de combustion généralisée en surface de l'ensemble des matériaux combustibles dans un espace fermé. **équiv:** embrasement généralisé.

EMBRASEMENT GENERALISE

voir: Embrasement éclair.

EMISSION

EMISSION PROPRE SPECIFIQUE

voir: Chimiluminescence.

EMISSION SPONTANEE

EMISSIVITE

(angl. emissivity) L'émissivité caractérise les propriétés radiatives d'un corps (gaz, suies, nuage de particules). C'est le rapport du flux d'énergie émise $L^e_{\lambda T}$ par le corps à celui émis par le corps noir à la même température et à la même longueur d'onde. Si les flux sont directionnels ou hémisphériques, l'émissivité est dite directionnelle ou hémisphérique. L'émissivité totale intègre tout le spectre des longueurs d'onde.
$\varepsilon_{\lambda T} = \frac{L^e_{\lambda T}}{L^0_{\lambda T}}$, avec $L^0_{\lambda T}$ flux du corps noir. **équiv:** facteur d'émission.

ENERGIE CINETIQUE TURBULENTE

voir: Energie turbulente.

ENERGIE CRITIQUE D'ALLUMAGE

Dans le cas de l'allumage d'un mélange inflammable par étincelle électrique, on peut faire l'hypothèse, vérifiée approximativement, que l'allumage est la conséquence de la libération d'assez d'énergie par l'étincelle pour que, dans le volume critique, le mélange soit porté à la température de flamme Tf. Par ailleurs seule une fraction de l'énergie totale E libérée pendant le temps est efficace pour l'allumage, la fraction (1-) diffusant à l'extérieur du volume critique vc. La fraction diminue lorsque la diffusivité D = /Cp augmente et lorsque augmente: Ec = E(D,) = vcCp(Tf - Ti), où est la masse spécifique du mélange, Cp sa capacité thermique (chaleur spécifique) et Ti sa température initiale. Il existe par ailleurs une relation empirique souvent vérifiée entre la distance de coincement dc et la valeur minimum de l'énergie critique d'allumage : (Ec)min = K dc2.
voir: Volume critique d'allumage.

ENERGIE CRITIQUE DE PREDETONATION

ENERGIE CRITIQUE DE DETONATION

(angl. critical energy of detonation) Energie spécifique minimum nécessaire à la création de la détonation d'un système réactif donné. Elle est dépendante de la symétrie considérée : plane (J/m2), cylindrique (J/m)

et sphérique (J). Elle est très délicate à évaluer en raison de la diversité des procédés d'apport d'énergie (étincelle électrique, fil explosé, charge d'explosif condensé, focalisation laser...). dont les "rendements" énergétiques sont très mal connus. Pour les gaz (symétrie sphérique), elle peut varier de quelques dixièmes de joules (hydrocarbure/oxygène) à quelques mégajoules (hydrocarbure/air). La notion d'énergie critique de détonation est très importante pour toute démarche sécuritaire.

ENERGIE D'ACTIVATION

Si l'on considère un ensemble de collisions, identiques quant aux partenaires de collision, et telles que leur distribution d'énergie vérifie une loi de Maxwell-Boltzmann définissant la température T de cet ensemble, si l'énergie moyenne de toutes ces collisions, quelle qu'en soit la nature, est notée <(T)> et si l'énergie moyenne des seules collisions réactives est notée <(T)>, l'énergie d'activation d'Arrhenius est égale à leur différence : A(T) = <(T)> - <(T)>. En première approximation, cette énergie d'activation est l'énergie standard de la réaction de formation du complexe activé à partir des réactifs.
voir: Collisions.

ENERGIE D'ACTIVATION D'ARRHENIUS

Energie d'activation empirique déduite de l'équation d'Arrhenius. Dans le cas d'une réaction élémentaire, elle est très voisine de l'énergie d'activation vraie de cette réaction.
voir: Equation d'Arrhenius.

ENERGIE DE LIAISON

[appl. thermodynamique] (angl. bond dissociation energy BDE) L'énergie de liaison, ou plus précisément l'énergie de dissociation de liaison , peut se définir, lors de la dissociation d'une espèce AB par rupture d'une liaison covalente $AB \rightleftarrows A^{\cdot} + B^{\cdot}$, $A^{\cdot}$ et $B^{\cdot}$ étant des atomes ou radicaux, par la variation d'enthalpie standard Hdeg. de cette réaction. La mesure de Hdeg. correspond à la mesure de l'énergie de liaison, ou plus précisément à l'énergie de dissociation de la liaison AB.

ENERGIE LIBRE

[appl. thermodynamique] (unité: comme toute énergie, l'énergie libre a pour unité le joule (J), avec ses multiples et sous-multiples) L'énergie libre de Helmholtz, appelée parfois énergie libre, est définie par la relation F = U - TS, dont l'expression différentielle est dF = dU - d(TS) = TdS - PdV - d(TS) = - PdV - SdT (U est l'énergie interne du système, T la température, P la pression, V le volume et S l'entropie). L'énergie libre de Gibbs, appelée parfois enthalpie libre, est définie par la relation G = H - TS, où H est l'enthalpie, et peut encore s'exprimer par G = U + PV - TS = F + PV. Son expression différentielle est dG = - SdT + VdP. La fonction G jouit d'une propriété remarquable : sa valeur reste en effet constante au cours du changement d'état d'un corps pur (un tel changement est isotherme, d'où dT = 0, et isobare, d'où dP = 0).
Pour un système ouvert, à masse et composition chimique variables, on doit introduire les potentiels chimiques.
L'énergie libre de Helmholtz s'écrit alors F = - PV + i ini, ou dF = -SdT - PdV + i idni. L'énergie libre de Gibbs devient G = i ini, et dG = - SdT + VdP + i idni.
voir: Enthalpie, potentiel chimique.

ENERGIE TURBULENTE

(angl. turbulent kinetic energy) [appl. mécanique des fluides] (unité: m² s⁻²) Energie cinétique par unité de masse des fluctuations de vitesse dans un écoulement turbulent. C'est la moitié de la trace du tenseur de Reynolds. Notation usuelle : k ou q2. Si u' représente les fluctuations de vitesse, k = 1/2.u'iu'i, avec sommation sur i = 1 à 3. **équiv:** énergie cinétique turbulente. **voir:** Modèle k-epsilon.

ENRICHISSEUR

(angl. choke) *mot québécois* Définition française normalisée : dispositif d'aide au démarrage à froid d'un moteur à étincelles (le mot anglais starter désigne en réalité le démarreur et ne doit pas être employé dans ce sens).

ENSEMENCEMENT

(angl. seeding) [appl. marquage d'écoulement, vélocimétrie] Procédé par lequel on tente de marquer fidèlement la densité et la vitesse d'un fluide par apport d'éléments (particules, molécules). Les caractéristiques particulières du marqueur (diffusion de la lumière, réactivité chimique...) permettent alors de sonder l'état dynamique (vitesse) ou scalaire (fraction de mélange, densité, degré d'avancement d'une réaction...) de l'écoulement. **voir:** Vélocimétrie.

ENTHALPIE

(angl. enthalpy) *du grec enthalpein : chauffer* [appl. thermodynamique] (unité: comme toute énergie, l'enthalpie s'exprime en joules (J), avec ses multiples et sous-multiples) L'enthalpie est une fonction d'état (c'est à dire qui s'exprime en fonction des variables macroscopiques caractérisant un état d'équilibre d'un système thermodynamique) définie par la relation H = U + PV, où U est l'énergie interne d'un système soumis à un milieu extérieur à pression P et V le volume (la variation d'énergie interne dU est elle-même la somme du travail dW effectué par les forces intérieures du système et de la chaleur dQ transférée au milieu extérieur : dU = dW + dQ). L'entropie étant par ailleurs définie par le rapport dS = dQ/T, on peut remplacer dQ par TdS dans l'égalité précédente. Le travail échangé avec le milieu extérieur se réduisant au travail des forces de pression, dW = - PdV. D'où dH = - PdV + TdS +

d(PV) = - PdV + TdS + PdV + VdP = TdS + VdP. Pour une transformation isobare, dH se réduit à TdS.
La variation d'enthalpie d'un système évoluant à pression constante entre deux températures peut être due à des changements d'état (vaporisation, fusion...), à des réactions chimiques (formation, combustion...), au mélange. En l'absence de ces divers phénomènes, la variation d'enthalpie entre deux températures est appelée enthalpie sensible.
Dans le cas d'un système ouvert, à masse et composition chimique variables, la fonction U, donc la fonction enthalpie H, dépend en plus des variables S, T et V, des potentiels chimiques. D'où H = TS + iini, et dH = TdS + VdP + iidni. **voir:** Enthalpie de combustion, enthalpie de formation, enthalpie sensible, potentiel chimique.

ENTHALPIE D'ACTIVATION

[appl. cinétique chimique] Dans une étape élémentaire, c'est en première approximation l'enthalpie standard de la réaction de formation du complexe activé à partir des réactifs.

ENTHALPIE DE COMBUSTION

[appl. thermochimie] La combustion étant une réaction particulière, l'enthalpie de combustion peut se calculer comme une enthalpie de réaction à partir des enthalpies de formation à l'état standard des produits et des réactifs, et, dans le cas d'un calcul à une température T différente de la température de référence 298 K, de leurs capacités thermiques molaires et éventuellement de leurs enthalpies de changement d'état. Le calcul d'une enthalpie de combustion nécessite donc un bilan chimique, c'est à dire la connaissance des quantités des produits formés et des réactifs mis en oeuvre.
Les enthalpies de combustion peuvent être mesurées directement à partir d'essais dans des bombes calorimétriques, qui permettent la mesure des énergies internes de combustion à volume constant. On peut en déduire les enthalpies de combustion. **voir:** Enthalpie, enthalpie de réaction.

ENTHALPIE DE FORMATION

[appl. thermochimie] Par convention, l'enthalpie de formation d'un élément pur sous sa forme stable dans les conditions de référence ou conditions standards (298 K et 105 Pa, soit 1 atm) est nulle. Il en est ainsi, par exemple, de l'oxygène diatomique O2 ou du carbone graphite, mais ni de l'oxygène monoatomique, ni du carbone diamant. L'enthalpie de formation d'un composé ou d'un élément sous une forme non stable est la quantité de chaleur mise en jeu, c'est à dire dégagée ou absorbée, à pression constante lorsque ce composé ou élément sous forme non stable est formé à partir de ses éléments sous forme stable. L'enthalpie de formation du composé AaBb est donc égale à l'enthalpie de la réaction a A + b B AaBb . Une telle enthalpie de réaction, donc de formation du composé AaBb, peut être mesurée. Elle figure généralement dans les diverses tables thermodynamiques (JANAF par exemple) recensant les grandeurs thermodynamiques connues (mesurées ou évaluées) des composés. **voir:** Enthalpie, enthalpie de réaction.

ENTHALPIE DE REACTION

[appl. thermochimie] L'enthalpie de la réaction $aA + bB \rightarrow cC + dD$ est égale à $\Delta_R H = (cH_C + dH_D) - (aH_A + bH_B)$ où H_A et H_B sont les enthalpies molaires des réactifs A et B, et H_C et H_D les enthalpies molaires des produits C et D. En se plaçant dans les conditions standards, soit à 298 K et sous 10^5 Pa, l'enthalpie de la réaction peut s'écrire $\Delta_R H^0 = (cH_C^0 + dH_D^0) - (aH_A^0 + bH_B^0)$, où H_i^0 est l'enthalpie de formation du composé i dans les conditions standards. Ces enthalpies de formation sont nulles par convention si le composé i est un élément se présentant sous forme stable dans les conditions standards. Dans le cas contraire, elles peuvent être obtenues dans les différentes tables de grandeurs thermodynamiques (JANAF par exemple).
Le calcul d'une enthalpie de réaction à une température T différente de 298 K s'effectue à partir de l'enthalpie de réaction dans les conditions standards et des capacités thermiques des produits et réactifs, et si nécessaire des enthalpies de changement d'état de certains des produits ou réactifs. Si l'on reprend la réaction a A + b B c C + d D, son enthalpie de réaction à la température T s'écrit HT,R = Hdeg.R + 298T. ((cCp,C + dCp,D) - (aCp,A + bCp,B))dT, où les Cp,i sont les capacités thermiques molaires à pression constante des produits ou des réactifs (cette formulation suppose qu'aucun des produits et réactifs ne change d'état entre 298 K et T). La définition devient plus complexe, voire ambiguë, lorsque les températures des différentes espèces sont différentes. **voir:** Enthalpie, enthalpie de formation, thermochimie.

ENTHALPIE LIBRE

voir: Energie libre.

ENTHALPIE SENSIBLE

[appl. thermodynamique] L'enthalpie sensible est la variation d'enthalpie d'un système évoluant à pression constante entre deux températures T1 et T2, et ne subissant ni changement d'état, ni réaction chimique, ni mélange. Elle est fonction de la capacité thermique Cp et de la différence de température T2 -T1 : H = HT2 - HT1 = Cp (T2 - T1) en supposant que la capacité thermique est constante dans l'intervalle de température considéré.

ENTROPIE D'ACTIVATION

[appl. cinétique chimique] Dans une étape élémentaire, il s'agit en première approximation de l'entropie standard de la réaction de formation du complexe activé à partir des réactifs. Cette grandeur est reliée au facteur préexponentiel d'Arrhenius du processus.

EPAISSEUR DE FLAMME

(angl. flame thickness) Distance séparant dans une zone de combustion d'une flamme de prémélange laminaire les réactifs frais des produits brûlés. Dans le cas général des combustions à haute énergie d'activation, on distingue l'épaisseur P de la zone de préchauffage purement conductive et l'épaisseur R de la zone réactive exothermique adjacente. Dans la zone de préchauffage où les flux thermiques convectés et diffusés s'équilibrent, la température décroît exponentiellement de la température d'inflammation Ti à la température T0 des gaz frais sur l'épaisseur P = K/SL où K est la diffusivité thermique. D'après l'analyse du modèle thermique de flamme, dû à Mallard et Le Chatelier, l'épaisseur de la zone réactive est R = (K/SL).((TF- Ti)/(Ti - T0)), de sorte que le rapport entre ces deux épaisseurs est R/P = (TF - Ti)/(Ti - T0). L'une et l'autre de ces épaisseurs diminuent comme K avec la pression ambiante en 1/P. On voit ainsi l'intérêt présenté par les expériences de combustion à basse pression où la dilatation homogène de la flamme permet de mieux résoudre les profils de la température et des différentes espèces. **voir:** Flamme de prémélange, modèle thermique de flamme.

EPAISSEUR OPTIQUE

(angl. optical depth) [appl. propagation de rayonnement] L'épaisseur optique est un nombre adimensionnel, $e = \int_A^B K_\nu dl$, qui mesure l'inverse de la transmission d'énergie lumineuse entre deux sections A et B d'un faisceau.
$e = \ln\left(\frac{I_A}{I_B}\right)$. Exprimé en logarithme décimal, ce nombre est appelé densité optique. Le coefficient d'absorption (ou d'extinction) est l'épaisseur optique par unité de longueur parcourue.
En régime de faible intensité où la population excitée reste relativement faible, l'aire d'une raie d'absorption Kd est proportionnelle à la population absorbante sur l'épaisseur considérée. En régime de forte intensité où la population excitée n'est plus négligeable (émission stimulée non négligeable), l'absorption diminue progressivement avec l'intensité incidente (absorption saturée). **équiv:** densité optique, longueur d'extinction, turbidité. **voir:** Absorption, extinction.

EQUATION D'ARRHENIUS

du nom de Svante Arrhenius, savant suédois (1859-1927), prix Nobel de chimie en 1903 [appl. cinétique chimique] Relation de paramétrage permettant de rendre compte de l'évolution expérimentale d'une constante de vitesse k en fonction de la température. Proposée sous forme différentielle par Arrhenius en 1889, sur la base de développements thermodynamiques appliqués par Van't Hoff à une réaction équilibrée, l'équation d'Arrhenius s'écrit : dLognk/dT = EA/RT2 où EA désigne l'énergie d'activation d'Arrhenius (exprimée en J/mol), encore appelée énergie d'activation expérimentale, apparente ou globale. R symbolise la constante des gaz parfaits (en J.mol-1.K-1). Sous sa forme intégrée, l'équation d'Arrhenius devient : k = A exp(-EA/RT) ou k = A exp(-B/T), en posant EA/R = B. A et EA (et par suite B) sont des paramètres supposés indépendants de la température. A est appelé facteur pré-exponentiel ou encore facteur de fréquence dans le cas des réactions de premier ordre. A s'exprime dans les mêmes unités que la constante de vitesse k. B, exprimé en kelvins, représente la température d'activation de la réaction.
De manière générale, les données expérimentales k = f(T) sont considérées comme vérifiant l'équation d'Arrhenius aux incertitudes expérimentales près, lorsque Lognk varie linéairement avec l'inverse de la température. Le coefficient directeur de la droite obtenue, égal à -EA/R, permet de déterminer l'énergie d'activation EA, et l'ordonnée à l'origine, égale à LognA, le facteur pré-exponentiel. L'expérience montre que, pour la majorité des réactions étudiées dans un domaine relativement restreint de température (quelques centaines de degrés, mais parfois beaucoup plus), les différentes valeurs de k déterminées en fonction de la température sont correctement paramétrées par l'équation d'Arrhenius avec les deux paramètres A et EA supposés indépendants de la température. Par contre, pour des domaines de température beaucoup plus larges (couvrant au moins 1000 K), l'équation d'Arrhenius à deux paramètres n'est généralement plus vérifiée. On dit alors que les réactions étudiées présentent un "comportement non-Arrhenius". Une équation à trois paramètres (A, n et E0) indépendants de la température est alors nécessaire pour rendre compte de la courbure observée en portant Lognk = f(1/T). Cette nouvelle loi de paramétrage est appelée "loi d'Arrhenius modifiée" : k = A Tn exp(-E0/RT) où n est un coefficient régissant la variation du facteur pré-exponentiel avec la température et E0 l'énergie d'activation (vraie) du processus. Cette loi est conforme aux différentes théories proposées pour prédire les constantes de vitesse bimoléculaires (théorie des collisions, théorie du complexe activé...). Son expression, d'un caractère plus général que la relation initialement proposée par Arrhenius, permet de définir les différents paramètres de k dans les banques de données cinétiques utilisées en modélisation.

EQUATION DE CRUSSARD

(angl. Crussard equation) *du nom du physicien français Charles Crussard (1876-1953)* Relation formelle identique à l'équation de Hugoniot, mais relative à un milieu chimiquement réactif siège d'une onde de discontinuité réactive. Elle définit l'adiabatique dynamique de combustion ou adiabatique de Crussard. Sa représentation dans le plan (p,1/) ne passe pas par le point (1). Ses points (2) dans le plan (p,1/) sont représentatifs soit du processus de déflagration (partie inférieure p2<p1) soit du processus de détonation (partie supérieure 2 >1). **voir:** Onde de détonation.

EQUATION DE HUGONIOT

(angl. Hugoniot equation) *du nom du mathématicien et physicien français Henri Hugoniot (1851-1887)* En milieu considéré comme chimiquement inerte, les trois relations de conservation (masse, quantité de mouvement, énergie) exprimées à l'aide des grandeurs thermomécaniques de part (1) et d'autre (2) d'une surface de discontinuité (onde de choc) conduisent à une relation, dite équation de Hugoniot, de la forme : H1(p1,1) - H2(p2,2) + (1/1 + 1/2)(p2-p1)/2 = 0, liant p2 et 2, H étant l'enthalpie. Cette relation définit l'adiabatique dynamique de choc ou adiabatique de Hugoniot. Sa représentation dans le plan (p,1/) passe par le point (1). **voir:** Onde de choc.

EQUATION DE TRANSFERT

(angl. radiative transfer equation) [appl. étude du transport et des échanges d'énergie lumineuse] Equation permettant de calculer les variations de luminance dans une direction et dans un milieu absorbant, émissif et diffusant.
dI/d = - kextJ, avec kext = coefficient d'extinction (m-1), = profondeur optique (m-1) dans la direction observée, J = terme source incluant l'absorption, l'émission propre et le flux lumineux recollecté par diffusion (diffusion multiple). **voir:** Coefficient d'extinction.

EQUATIONS DE NAVIER-STOKES

(angl. Navier-Stokes equations) *du nom des physiciens Navier et Stokes* [appl. mécanique des fluides] Equations qui traduisent le principe fondamental de la dynamique pour le mouvement d'un fluide : du/dt + u.grad (u) = 1/.div(T) + g (où T désigne le tenseur des contraintes).
voir: Tenseur des contraintes.

EQUILIBRE CHIMIQUE

[appl. thermochimie] Pour qu'une réaction ait lieu spontanément à température et pression constantes, l'énergie libre de Gibbs du système doit diminuer au cours de la transformation. Si la variation d'énergie libre est nulle, la transformation est réversible. Le critère de possibilité thermodynamique d'une réaction à T et P constantes est donc : G 0. On en déduit le calcul de la composition d'un système chimique à température et pression constantes en minimisant l'énergie libre de Gibbs totale de ce système. Dans le cas d'un système contenant des espèces gazeuses idéales et des espèces condensées avec des activités données, l'énergie libre de Gibbs totale s'écrit :

$$\frac{G}{RT} = \sum_i n_i \left(\frac{\mu_i^0}{RT} + \ln(P) + \ln(x_i) \right) + \sum_j n_j \left(\frac{\mu_j^0}{RT} + \ln(a_j) \right)$$

où n_i est le nombre de moles du composé gazeux i, n_j est le nombre de moles du composé condensé j, deg. est le potentiel chimique standard des composés gazeux ou condensés, P la pression, T la température, x_i la fraction molaire du composé i et a_i l'activité du composé condensé j. Des méthodes automatiques permettent de minimiser G en cherchant l'ensemble des valeurs appropriées de n_i et n_j par approximations successives.
Des calculs identiques peuvent être effectués à température et volume constants, la fonction G devant dans ce cas être remplacée par la fonction F, énergie libre de Helmholtz. **voir:** Activité, énergie libre, potentiel chimique.

EQUIVALENT TNT

(angl. TNT equivalent) *TNT : initiales de trinitrotoluène* (unité: kg de TNT par kg de produit) La comparaison de l'énergie massique d'un explosif à celle du TNT peut définir un équivalent TNT. Plus généralement les effets d'une explosion quelconque (énergie libérée inconnue) peuvent être comparés à ceux d'une explosion de TNT pour laquelle on dispose de diagrammes de référence. Par exemple la comparaison d'une même amplitude du pic de suppression de l'onde de souffle ou bien la comparaison d'un même type de dommage mécanique (courbe isodommage, bris d'un type particulier de vitrage) permet d'assimiler l'explosion inconnue à celle équivalente d'une charge déterminée de TNT. Cette équivalence est très utilisée en analyse de sûreté.

ERGOL

(angl. propellant) *du grec ergon : travail* [appl. propergols, moteurs fusées] Substance chimique employée seule (monergol) pour fournir de l'énergie ou susceptible d'entrer dans la composition d'un mélange propulsif. Constituant, soit comburant, soit combustible, d'un propergol. Exemples : fluor, fluorures d'halogènes et d'azote, composés fluorocarbonés, oxygène, peroxyde d'hydrogène, oxydes d'azote, nitrates, esters nitriques, composés organiques nitrés, oxydes de chlore, perchlorates, hydrogène, métaux, ammoniac et dérivés, hydrazine et dérivés, azotures et dérivés, hydrures métalliques, boranes et dérivés, composés hydrocarbonés, liants et polymères, composés organo-métalliques. **voir:** Diergol, propergol, propergol liquide, propergol solide.

ESPECE CHARGEE

[appl. propriétés électriques des flammes] Appellation générale pour désigner les ions positifs, les ions négatifs et les électrons dans un milieu ionisé, en particulier une flamme. **voir:** Ion.

ESPECE CHIMIQUE MAJORITAIRE

(angl. major species) Produit principal (final ou intermédiaire) de la combustion. **équiv:** produit majeur. **voir:** Espèce chimique minoritaire, produit final, produit intermédiaire.

ESPECE CHIMIQUE MINORITAIRE

(angl. minor species) Produit de la combustion dont la concentration reste faible (il s'agit généralement d'un produit intermédiaire). Les espèces chimiques minoritaires ne s'accumulent pas soit parce que leur vitesse de formation est petite, soit parce que leur vitesse de consommation est grande. Dans le premier cas, elles sont formées par des réactions secondaires ayant un rôle peu important dans le processus de combustion. Dans le second cas, au contraire, il s'agit d'espèces très réactives qui prennent une part importante dans le processus de combustion. **équiv:** produit mineur. **voir:** Espèce chimique majoritaire, produit final, produit intermédiaire.

ESPECE EXCITEE

du latin excitare : mettre en mouvement L'émission de lumière qui caractérise une flamme est la manifestation de la production d'espèces intermédiaires (radicaux) présentes à l'état excité par suite de réactions chimiques (phénomène de chimiluminescence). L'émission lumineuse d'une flamme est en effet supérieure à celle qu'aurait le gaz dans des conditions purement thermiques en respectant les lois de l'équilibre thermodynamique. L'analyse spectrographique des émissions lumineuses révèle la présence de bandes dont la structure rotationelle et la répartition d'intensité des séries de bandes montre effectivement un écart par rapport à l'équilibre thermodynamique. Les flammes d'hydrocarbures sont caractérisées essentiellement par les bandes des radicaux électroniquement excités C2*, CH* et OH*. Pour une même flamme, le spectre évolue au travers du front de flamme : les maximums d'intensité de C2* et CH* se situent en amont par rapport au maximum d'intensité de OH*. L'intensité des émissions dépend de la concentration en espèces émettrices correspondantes. Les réactions de chimiluminescence les plus probables pour ces trois types de radicaux excités sont : CH + O2 CO + OH*, C2 + OH CH* + CO, 2 CH C2* + H2. Les bandes OH* sont situées entre 260 et 350 nm, la plus intense étant située à 306,4 nm. Elles apparaissent dans toutes les flammes ou H et O sont présents. Les bandes O2* sont situées entre 300 et 400 nm, les plus intenses à 337 et 351,7 nm. Elles ne sont observées que dans les flammes très chaudes avec un excès d'oxygène. Les bandes C2* se situent entre 450 et 600 nm, et les plus intenses à 473,7 et 516,5 nm. Elles sont observées dans toutes les flammes de composés organiques, ainsi que les bandes CH* à 314,3, 390 et surtout 431,4 nm. Les bandes CN* apparaissent dans le rouge (633,2 nm) et dans le violet (388,3 nm), que l'azote provienne de la molécule du combustible ou du comburant. Les flammes froides émettent le spectre de bandes caractéristiques du formaldéhyde à 395,2 et 423 nm. **voir:** Chimiluminescence, flamme froide.

ESSAI EN VRAIE GRANDEUR

[appl. incendie, feux de bâtiments] La maquettisation globale des phénomènes du feu se heurte à une difficulté de taille : pour conserver sur la maquette le même poids relatif de ces phénomènes qu'à l'échelle 1 (par exemple un bâtiment), et donc pour qu'on soit capable d'extrapoler à cette échelle 1 des constats effectués sur la maquette, il faudrait garder constants beaucoup de nombres de similitude. Par exemple pour conserver le nombre de Grashof, il faudrait maintenir constant le produit P2L3 (pression et L dimension caractéristique), ce qui est difficile. L'étude de feux en grandeur réelle, où l'on reproduirait dans le détail un vaste ensemble de situations possibles, est évidemment trop coûteuse pour être abordée systématiquement. Un essai en grandeur réelle "vraie" porte en fait couramment sur l'examen des manifestations physiques (et de leurs conséquences sous l'angle de la sécurité) d'une partie seulement des manifestations du système d'interactions qu'est le feu de bâtiment. L'essai en vraie grandeur désigne ainsi une expérience, peu fréquente, où l'instrumentation est limitée, destinée à mettre en évidence des points importants pour l'acquisition de connaissances nouvelles, ou à éprouver des constats issus de connaissances tirées d'essais de petite échelle. Les dimensions peuvent être celles du monde réel (tout un bâtiment par exemple) ou plus souvent celles que l'on pense suffisantes pour représenter les conditions courantes d'utilisation d'un produit dans le monde réel (évaluation par exemple de l'effet isolant d'un matériau de protection thermique d'une poutre sur une éprouvette de 1 m de long : on parlera alors de semi-grandeur). L'expression d'essai en vraie grandeur est utilisée dans plusieurs contextes : étude d'une situation de danger donnée, essais d'inflammabilité et de combustibilité (les essais de petite taille ne suffisent pas pour représenter le comportement d'un produit lors d'un feu réel, les sollicitations thermiques dépendant de la combustion simultanée d'autres objets, des dimensions du local, de la ventilation... ; les essais en vraie grandeur sont réalisés pour servir de références à ces essais de petite taille ou pour évaluer directement les dangers d'une situation réaliste), validation de modèles. On oppose l'essai de vraie grandeur à l'essai de petite taille, destiné à une pratique abondante pour recueillir facilement des informations (tests normalisés ou non), et à l'expérience de laboratoire sur petit échantillon où l'on maîtrise bien les conditions expérimentales et où les mesures peuvent mettre en oeuvre des moyens très fins. Ces dernières expériences ont pour but d'enrichir les connaissances ou d'évaluer et améliorer une théorie ou un modèle. L'analyse scientifique des phénomènes prépondérants, voire l'avis d'un expert, permet de réaliser les expériences de laboratoire dans des conditions représentatives du feu dans le monde réel. Le constat de l'insuffisance d'un essai de petite taille ou d'une expérience de laboratoire conduit à effectuer un essai en vraie grandeur.

ESSENCE

(angl. gasoline, petrol) (all. Benzin) [appl. moteurs à allumage commandé, raffinage] Carburant issu du raffinage du pétrole, répondant à des spécifications de volatilité, d'indice d'octane, de masse volumique qui permettent son utilisation dans les moteurs à allumage com-

mandé. Les indices d'octane "recherche" (RON) courants en Europe sont 92 (essence ordinaire), 95 (Eurosuper), 97 (supercarburant plombé) et 98 ("super-plus"). La présence de plomb dans l'essence provient de l'ajout de plomb tétraéthyle en faibles quantités pour atteindre les valeurs spécifiées d'indice d'octane sans rendre plus sévères les procédés de raffinage. **voir:** Carburant, indice d'octane.

ETAGEMENT

(angl. reburning (étagement du combustible), air-staging ou, pour les foyers de chaudières, over fire air (étagement de l'air)) L'étagement consiste à introduire de façon fractionnée dans le brûleur soit le combustible (étagement du combustible), soit l'air (étagement de l'air), en vue de réduire les émissions de NOx.

ETAT D'EQUILIBRE

(angl. equilibrium state) [appl. thermodynamique] Un état d'équilibre est un état stationnaire particulier, correspondant à l'extremum d'un certain potentiel, comme par exemple l'énergie libre de Helmholtz à température et volume constants. Les deux termes état d'équilibre et état stationnaire ne sont donc pas interchangeables. **voir:** Equilibre chimique, état stationnaire.

ETAT DE TRANSITION

voir: Complexe activé.

ETAT QUASI-STATIONNAIRE

(angl. steady-state) [appl. modélisation en cinétique chimique, réduction de mécanismes] L'approximation de l'état quasi-stationnaire de concentration, proposée par Bodenstein en 1913, s'applique aux espèces intermédiaires à courte durée de vie (radicaux libres en particulier, très réactifs et dont la concentration dans le milieu reste très faible, à cause de cette grande réactivité), pour lesquelles on écrit que les concentrations ne varient pas de manière sensible après une certaine période d'induction, et que par conséquent les vitesses de formation et de consommation sont égales. D'un point de vue formel, l'approximation de l'état quasi-stationnaire revient à écrire que la dérivée première par rapport au temps de la concentration des radicaux libres est nulle. Cette approximation s'applique plus particulièrement aux porteurs de chaînes dans les réactions à chaîne droite ou dans les réactions à chaîne ramifiée à faible facteur de ramification. Par extension elle peut être appliquée aux espèces dont la vitesse d'évolution est petite devant la vitesse de formation. **voir:** Mécanisme réduit, radical libre, réaction en chaînes.

ETAT STATIONNAIRE

(angl. stationary state) Est stationnaire un état invariable au cours du temps. Si l'on considère un mélange réactionnel, sa composition est stationnaire si les dérivées des concentrations ou fractions molaires par rapport au temps sont nulles, quelle que soit l'espèce considérée. L'état stationnaire ne doit pas être confondu avec l'état d'équilibre. **voir:** Etat d'équilibre.

ETIREMENT

(angl. strain) Dans un écoulement, déformation du fluide due aux forces appliquées. Par exemple, dans un écoulement à point d'arrêt, le fluide est soumis à un étirement parallèle au plan d'arrêt. **voir:** Flamme étirée.

EULER

nom du mathématicien suisse Leonhard Euler (1707-1783) **voir:** Eulérien, modèle eulérien.

EULERIEN

(angl. eulerian) *du nom du mathématicien suisse Leonhard Euler (1707-1783)* Le point de vue eulérien en mécanique des milieux continus consiste à observer le mouvement dans un repère fixe, non lié au milieu en mouvement. Dans la modélisation des écoulements diphasiques, un modèle eulérien utilise deux jeux d'équations différentielles presque symétriques, un pour chaque phase. **voir:** Modèle eulérien.

EVAPORATION

(angl. evaporation) L'évaporation est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux. Ce changement de phase ne peut se faire que lorsque les conditions thermodynamiques permettent la cohabitation des deux états. Il faut donc que la pression et la température soient inférieures aux valeurs critiques. Ce changement d'état a lieu à l'interface des deux phases. Si on veut augmenter la vitesse de l'évaporation, il faut donc augmenter le rapport surface/volume de la phase liquide. C'est pourquoi en général, dans les applications, le combustible liquide est pulvérisé. **voir:** Pulvérisation.

EXCES D'AIR

(angl. lean mixture) [appl. industrie du gaz, des brûleurs et chaudières] Situation où la quantité de comburant disponible est supérieure à la quantité nécessaire pour oxyder tout le combustible. Cette situation correspond à un mélange carburant/combustible de richesse inférieure à 1. Dans l'industrie il est parfois nécessaire d'être en excès d'air pour être sûr de brûler complètement et rapidement tout le combustible. Par exemple, en technologie cimentière, on vise un excès d'air de l'ordre de 10 %. **équiv:** mélange pauvre. **voir:** Richesse.

EXIGENCE EN OCTANE

(angl. octane requirement) [appl. carburants, moteur à allumage commandé] L'exigence en octane d'un moteur est l'indice d'octane minimum du carburant qu'il

consomme, tel qu'il fonctionne sans apparition de cliquetis. Elle est déterminée avec des carburants de référence (mélange binaire iso-octane/n-heptane). L'exigence en octane d'un moteur évolue avec l'âge du moteur. Elle augmente avant de se stabiliser après 10 ou 20 000 km, mais dépend de la qualité du carburant utilisé. **voir:** Cliquetis, indice d'octane.

EXPLOSIBILITE

(angl. explosivity, detonability) [appl. pyrotechnie, sécurité industrielle, énergétique] Se dit surtout d'une substance susceptible d'exploser (explosion chimique principalement) sous l'action d'un initiateur donné (échauffement, choc, flamme, rayonnement...). **équiv:** aptitude à l'explosion, sensibilité à l'explosion.

EXPLOSIF

(angl. high explosive) (all. Sprengstoff) Corps ou mélange dont la propriété essentielle est de pouvoir réagir selon un régime de détonation stable et qui est utilisé pour les effets de cette détonation, soit à des fins civiles (mines, carrières, travaux publics, travail des métaux), soit à des fins militaires (grenades, obus, têtes de roquettes ou de missiles). On distingue, quant à l'emploi, les explosifs d'amorçage, de relais ou de chargement. On distingue, quant à la sensibilité, les explosifs primaires ou secondaires. On distingue, quant à l'état physique, les explosifs solides, liquides, gazeux et les bouillies explosives. On distingue enfin, quant à la composition, les explosifs nitratés, chloratés, nitrés et les explosifs composites.

EXPLOSION

(angl. explosion, bursting) (all. Explosion) [appl. moteur, pyrotechnie, sécurité industrielle, énergétique] Libération soudaine d'énergie plus ou moins confinée, plus ou moins maîtrisée, avec ou sans conséquences externes. L'explosion peut donner lieu à une onde de pression (onde de souffle), à une boule de feu. Dans le cas de l'explosion chimique, le processus de libération d'énergie peut être une déflagration ou une détonation. **voir:** Détonation.

EXPLOSION CHIMIQUE

(angl. chemical explosion) Explosion liée à une libération soudaine d'énergie par réaction chimique. Le système réactif peut être solide, liquide ou gazeux.

EXPLOSION DE POUSSIERES

(angl. dust explosion) Les poussières (charbon, amidon, produits chimiques, textiles, métaux...) en fines particules en suspension dans l'air constituent des milieux explosibles d'autant plus dangereux que ces particules peuvent s'électriser. Le processus d'explosion est rarement une détonation. Ces explosions sont prises en compte en analyse des risques industriels.

EXPLOSION DE VAPEURS

(angl. vapour cloud explosion (VCE)) Ce terme concerne l'explosion de nuages de gaz ou de vapeurs dans une enceinte. Par exemple l'explosion de vapeurs d'essence dans un réservoir. L'abréviation VCE est utilisée en analyse des risques industriels.

EXPLOSION DE VAPEURS NON CONFINEES

(angl. unconfined vapour cloud explosion (UVCE)) Ce terme concerne l'explosion de nuages de gaz ou vapeurs dans l'atmosphère. A la suite d'une fuite par exemple (rupture d'un réservoir de stockage), la diffusion d'un combustible dans l'air peut créer un nuage explosible. L'abréviation UVCE est utilisée en analyse des risques industriels.

EXPLOSION DIPHASIQUE

(angl. two-phase explosion) Ce terme concerne l'explosion d'un milieu constitué de deux phases différentes : solide-gaz (explosion de poussières) ou liquide-gaz (aérosols, mousses). **voir:** Explosion de poussières.

EXPLOSION D'UN FIL

(angl. exploding wire) Sous l'effet de la décharge rapide d'une grande quantité d'énergie électrique dans un fil métallique fin, celui-ci explose. Il est vaporisé et un plasma gazeux engendre une onde de choc dont les caractéristiques sont analogues à celles observées lors de l'explosion d'un système réactif. Ce phénomène peut être utilisé comme source d'énergie pour amorcer un explosif.

EXPLOSION PHYSIQUE

voir: Explosion thermique.

EXPLOSION THERMIQUE

(angl. physical explosion, thermal explosion) Phénomène d'explosion lié à la libération d'énergie (sans réaction chimique) par changement de phase (déséquilibre thermodynamique). Ce phénomène générateur d'une onde de choc, analogue à celle d'une explosion chimique, apparaît par exemple lors de la trempe (solide proche de la fusion rapidement immergé dans un liquide froid). **équiv:** explosion physique.

EXTINCTION

(angl. extinction, quenching) (all. Auslöschen) [appl. suppression de la flamme,optique, diagnostic,propulsion] (1) Arrêt naturel ou provoqué de la combustion vive. L'approche pratique de l'extinction d'une flamme conduit à distinguer sept stratégies d'extinction : isoler le combustible, isoler l'oxydant, refroidir le combustible condensé, refroidir ou diluer la phase gazeuse, inhiber la réaction chimique de façon homogène,

inhiber la réaction chimique de façon hétérogène, souffler la flamme. L'utilisation des moyens classiques d'extinction d'un feu revient à suivre une ou plusieurs des stratégies précédentes. Par exemple l'utilisation de l'eau peut isoler le combustible, si celui-ci est recouvert d'une couche d'eau, refroidir le combustible, inhiber la réaction en phase homogène. (2) Atténuation de la puissance d'un faisceau due à la diffusion du rayonnement par le milieu. Dans le cas d'un milieu pas trop dense où la diffusion multiple est négligeable, l'atténuation est décrite, comme l'absorption, par la loi de Beer-Lambert où le coefficient k est appelé coefficient d'extinction. (3) Définition française normalisée : arrêt de la combustion d'un propulseur, qui se produit par épuisement d'au moins un des ergols, par commande ou accidentellement. **voir:** Coincement, distance de coincement, Absorption, diffusion, loi de Beer-Lambert, section efficace.

F

FACTEUR D'ABSORPTION

voir: Absorptivité.

FACTEUR D'AIR

[appl. conduite des installations de combustion, conception des brûleurs et fours] Rapport entre le volume d'air réellement introduit et le volume d'air stoechiométrique. **équiv:** taux d'aération. **voir:** Richesse.

FACTEUR D'ARRHENIUS

FACTEUR DE FREQUENCE

équiv: facteur préexponentiel. **voir:** Equation d'Arrhenius.

FACTEUR DE MULTIPLICATION

[appl. cinétique chimique] Nombre de centres actifs créés par un seul centre actif lorsqu'une séquence fermée est effectuée. **voir:** Centre actif, réaction en chaînes, séquence fermée.

FACTEUR DE RAMIFICATION

voir: réaction en chaines ramifiées.

FACTEUR DE TRANSMISSION

voir: Transmiticité.

FACTEUR PREEXPONENTIEL

équiv: facteur de fréquence. **voir:** Equation d'Arrhenius.

FACTEUR STERIQUE

du grec stéréos : solide [appl. cinétique chimique] Probabilité que deux partenaires (atomes, radicaux, molécules) se présentent dans une collision de façon que les atomes ou groupes d'atomes devant réagir se trouvent face à face. En règle générale, le facteur stérique sera d'autant plus petit que les partenaires réactionnels sont plus complexes.

FAISCEAU MOLECULAIRE

Jet de détente de particules (molécules, radicaux ou atomes) dont le libre parcours moyen est bien supérieur à la plus petite dimension de l'orifice à travers laquelle est réalisée la détente (nombre de Knudsen Kn » 1). En pratique, les jets moléculaires peuvent être réalisés soit par effusion à travers un orifice très étroit à partir d'une enceinte où les gaz sont quasiment au repos, soit à partir d'un jet de détente libre supersonique. L'intérêt du faisceau moléculaire est de permettre le transfert d'un échantillon gazeux prélevé à partir d'un milieu réactif (une flamme, par exemple) à une technique d'analyse appropriée (en général un spectromètre de masse) en préservant la nature et la composition de toutes les espèces présentes dans l'échantillon. La mise en oeuvre d'un faisceau moléculaire permet également de figer certains degrés de liberté des particules appartenant au faisceau.

FALL-OFF

verbe anglais signifiant baisser, ralentir, sans équivalent français dans le domaine de la cinétique chimique [appl. cinétique chimique] La zone du fall-off est le domaine de pression (ou grandeur équivalente) définissant la transition entre les valeurs limites de basse et haute pression (ko et k respectivement) d'une constante de vitesse unimoléculaire (kuni). Dans ce domaine, kuni peut dépendre fortement de la pression et la réaction n'admet pas d'ordre. Plusieurs théories ont été proposées pour rendre compte des courbes de fall-off (théorie RRKM, formalisme de Troe, par exemple). **voir:** Réaction unimoléculaire.

FEU

(angl. fire) (all. Feuer) *du latin focus : foyer, feu* Terme général et peu précis, pratiquement synonyme de flamme, mais correspondant à un système ayant déjà un certain volume. Sous toutes ses formes le feu implique la réaction chimique entre les espèces combustibles et l'oxygène de l'air. Le feu est une oxydation rapide auto-entretenue qui s'accompagne de libération de chaleur et d'émission lumineuse. Il entre dans la catégorie des flammes dites de diffusion. L'apparition du feu est liée à la combinaison appropriée de trois éléments essentiels : le combustible, l'oxygène de l'air et la chaleur (le "triangle du feu").

FEU COUVANT

(angl. smouldering) [appl. feu, incendie] Combustion lente d'un matériau, sans flamme ni émission visible de lumière, et généralement révélée par une élévation de la température ou par émission de fumée (ou les deux à la fois). Il correspond à une oxydation lente auto-entretenue de gaz combustibles, accompagnée

d'une faible libération d'énergie. Le feu couvant se caractérise par la décomposition du matériau considéré, un fort dégagement de fumée et une incandescence locale due à la réaction entre le résidu solide et l'oxygène de l'air.

FEU D'ARTIFICE

Composition pyrotechnique de divertissement. Une partie est à base de poudre destinée à la propulsion de la fusée, l'autre partie, qui n'est enflammée qu'à la hauteur convenable, contient le mélange détonant ou le mélange à flamme éclairante, généralement colorée grâce à des additifs minéraux : dérivés de strontium ou lithium pour le rouge, de cuivre ou de baryum pour le vert, de sodium pour le jaune, de fer pour le blanc, de zinc ou de cuivre pour le bleu.

FEU DE NAPPE

(angl. pool fire) [appl. feu, incendie] Feu à base horizontale correspondant originellement à la combustion d'un combustible liquide répandu sur une surface plane. Par extension feu sur toute surface combustible horizontale (brûleur plan avec injection de gaz, surface liquide ou solide).

FEU GREGEOIS

de l'ancien français grézois : grec [appl. histoire des techniques] Mélanges inflammables et incendiaires composés essentiellement de soufre, de salpêtre et d'un liant organique gras ou résineux (huile, naphte, goudron, résine, poix...). Ces compositions, originaires d'Extrême-Orient, ont atteint Byzance vers la fin du 7ème siècle de notre ère, mais n'ont été utilisées en Occident qu'aux 14ème et 15ème siècles, lors de sièges ou de combats maritimes.

FEU MIXTE

(angl. combined fire) [appl. feu, incendie] Feu qui caractérise la combustion d'un liquide combustible dispersé dans l'air combiné avec un feu en nappe.

FEU PULVERISE

(angl. spray fire, mist fire) [appl. feu, incendie] Feu qui caractérise la combustion d'un liquide combustible dispersé comme une suspension de gouttes dans l'air. Ce type de feu est observé dans le cas de fuite de matière combustible liquide et peut se combiner avec un feu de nappe. Dans ce cas, il devient un feu mixte.

FFT

initiales des mots anglais fast Fourier transform : transformée de Fourier rapide **voir:** Transformée de Fourier rapide.

FIGEAGE

FICK

nom du physiologiste allemand Adolf Eugen Fick (1829-1901) **voir:** Loi de Fick.

FIL

initiales de fluorescence induite par laser **voir:** Fluorescence induite par laser.

FIL CHAUD

(angl. hot wire) Technique de mesure de vitesse d'un écoulement. Un fil mince (ou film), dont la résistance varie avec la température, est chauffé par effet Joule. Placé dans un écoulement, il est refroidi par convection, d'autant plus que la vitesse du fluide est élevée. Deux modes de fonctionnement sont employés. Le plus simple est d'alimenter le fil avec un courant électrique constant. Lorsqu'il est refroidi par l'écoulement, sa résistance, et donc la tension à ses bornes, varie. Le second mode consiste, grâce à un pont de Wheastone, à maintenir constante la résistance, et donc la température du fil. Le courant électrique d'alimentation et la tension à ses bornes varient avec la vitesse de l'écoulement. Ce mode, plus complexe techniquement, a l'avantage de s'affranchir de l'inertie thermique du fil. Le fil chaud permet de relier la vitesse de l'écoulement V à la tension U à ses bornes. Il nécessite un étalonnage, généralement basé sur la loi de King : V = A (U - U0)n, où U0 est la tension pour une vitesse nulle et A et n deux constantes à déterminer. Cette méthode de mesure a l'avantage d'être simple à mettre en oeuvre et d'être relativement peu coûteuse jusqu'à des fréquences très élevées. Par contre elle est inutilisable en combustion (tenue du fil), n'est pas sensible au signe de la vitesse et tend à intégrer plusieurs composantes du vecteur vitesse. Des sondes à deux ou trois fils pour les mesures multicomposantes sont disponibles.

FILTRE ELECTROSTATIQUE

voir: Electrofiltre.

FIOUL

voir: Fuel domestique, fuel lourd.

FIZEAU

nom du physicien français Hippolyte Fizeau (1819-1896) H. Fizeau a effectué la première mesure directe de la vitesse de la lumière et a étendu au cas des ondes lumineuses le résultat mis en évidence par Doppler pour les ondes sonores selon lequel la fréquence de l'onde perçue par un observateur varie en fonction de la vitesse de déplacement de la source par rapport à lui. L'effet Doppler-Fizeau, utilisé fréquemment en vélocimétrie laser, se réduit souvent en effet Doppler.

FLAMME

(angl. flame) (all. Flamme) Au sens large, structure spatio-temporelle où s'effectue la combustion vive avec, en général, une concentration importante de radicaux dont une fraction excitée peut émettre un rayonnement (chimiluminescence). Certains radicaux à faible vitesse de recombinaison (OH) peuvent persister par diffusion au delà du front de flamme vers les gaz brûlés. Dans un sens plus restreint, flamme est synonyme de déflagration.
Une flamme est un milieu réactionnel gazeux (les liquides et solides doivent en général être gazéifiés avant de brûler), hautement énergétique et de volume limité, où se produisent et se soutiennent mutuellement des réactions chimiques, des phénomènes de diffusion d'espèces chimiques et de chaleur, ainsi que des émissions lumineuses.
équiv: déflagration, structure de combustion vive. **voir:** Incandescence.

FLAMME CONFINEE

Dans les cas pratiques (réacteur, four, moteur...), le confinement de la flamme dû aux parois solides provoque des pertes de chaleur et des recombinaisons hétérogènes de radicaux libres. La flamme est dite alors confinée ou non-adiabatique.

FLAMME DE DIFFUSION

(angl. diffusion flame) Structure de combustion où le mélange des réactifs initialement séparés s'effectue par diffusion (laminaire ou turbulente) et détermine la zone de réaction. D'un côté de la flamme arrive le combustible, de l'autre le comburant, et les produits de combustion sont diffusés de part et d'autre. Exemple caractéristique : la flamme d'un briquet à gaz ou essence, ou la flamme d'une bougie. La majorité des flammes de liquides et de solides sont des flammes de diffusion.

FLAMME DE PREMELANGE

(angl. premixed flame) (all. vorgemischte Flamme) Structure réactive se propageant par déflagration dans un milieu combustible où combustible et comburant sont préalablement mélangés. Exemple caractéristique : flamme de bec Bunsen. La zone de flamme sépare le mélange de gaz frais des gaz brûlés. Lorsque cette zone de flamme est très mince, elle est appelée front de flamme. **voir:** Front de flamme.

FLAMME EN DEUX STADES

Une flamme en deux stades correspond à une auto-inflammation en deux étapes, la première possédant les caractéristiques et les propriétés d'une flamme froide et précédant l'inflammation proprement dite. Des délais 1 et 2, respectivement pour la flamme froide et l'inflammation, peuvent être définis. Le phénomène peut être observé en appareillage statique de laboratoire, en brûleur à flamme plate ou en machine à compression rapide. Son rôle dans le phénomène de cliquetis a été l'objet de nombreuses études et discussions.

FLAMME ETIREE

(angl. strained flame) Flamme soumise à des contraintes créant localement des gradients ayant pour effet d'étirer la flamme. **voir:** Etirement.

FLAMME FROIDE

Le phénomène de flamme froide, observé pour la première fois par Emeleus en 1929, se produit à relativement basse température (250 à 400°C environ) lors de l'oxydation de substances organiques (alcanes, cyclanes, esters, éthers, cétones...). Il se manifeste par une brusque et transitoire accélération de la vitesse de la réaction, accompagnée d'une faible émission lumineuse bleuâtre présentant les bandes caractéristiques du formaldéhyde. Les autres caractéristiques de ce phénomène sont une relativement longue période d'induction, une consommation limitée (contrairement à une flamme proprement dite) du réactif organique soumis à oxydation, une élévation transitoire de température, de l'ordre de 30 à 200°C, accompagnée en réacteur fermé d'une élévation de pression. Une flamme froide peut être unique, mais le phénomène peut se répéter plusieurs fois s'il reste suffisamment de réactifs (flammes froides multiples).

FLAMME LAMINAIRE

(angl. laminar flame) (all. laminare Flamme) Structure réactive interagissant (avec ou sans propagation apparente) avec des écoulements laminaires ou un milieu au repos.

FLAMMELETTE

(angl. flamelet) [appl. combustion turbulente] Structure de flamme élémentaire de référence que l'on fait intervenir pour décrire la combustion turbulente. Localement les caractéristiques moyennes de la flamme turbulente peuvent alors s'exprimer en fonction statistique du passage (combustion prémélangée) ou de la position relative (combustion non prémélangée) de ces flammelettes. Dans le cas de la combustion d'un prémélange, la structure de flammelette est décrite en fonction du degré d'avancement de la réaction qui varie de façon généralement raide (signaux "télégraphiques") de 0 à 1. Dans le cas de la combustion non prémélangée, la structure de flammelette est décrite en fonction de la fraction de mélange qui varie elle aussi de 0 à 1, mais de manière beaucoup moins raide.
L'utilisation statistique de ces paramètres conditionnels (le degré d'avancement ou la fraction de mélange) ne se justifie que si la durée de vie ou l'épaisseur des flammelettes invoquées est inférieure aux échelles de la turbulence. Cette condition est généralement sans ambiguïté dans les flammes de prémélange où l'épaisseur de flammelette est bien définie, mais elle est très délicate dans

les flammes non prémélangées où l'épaisseur de flammelette n'est compatible avec les échelles turbulentes que dans des régions et régimes particuliers. Le caractère universel d'une flammelette doit souvent être modulé par un paramètre de non-adiabaticité, son taux d'étirement par contrainte de cisaillement, qui épaissit et atténue sa structure parfois même jusqu'à l'extinction. **voir:** Fraction de mélange, modèle de Burke-Shuman.

FLAMME OXYDANTE

voir: Flamme pauvre.

FLAMME PAUVRE

Flamme avec un excès de comburant. Sa richesse est donc inférieure à 1. **équiv:** flamme oxydante. **voir:** Richesse.

FLAMME PERSISTANTE

(angl. afterflame) [appl. feu, incendie] Persistance de la flamme sur un matériau après retrait de la source d'allumage. Elle peut être caractérisée par une durée de persistance de flamme, ou durée de flamme résisuelle, dans des conditions d'essais normalisés. **équiv:** flamme résiduelle.

FLAMME PILOTE

Flamme auxiliaire permettant d'étendre le domaine de stabilité de combustion d'un brûleur par un apport local de chaleur et de radicaux en évitant les fortes perturbations aérodynamiques d'un accroche-flamme solide.

FLAMME PLATE

(angl. flat flame) Flamme de prémélange stabilisée dans un écoulement laminaire unidimensionnel. L'intérêt de cette configuration est sa simplicité, puisque (au moins en principe) il n'y a qu'une seule coordonnée à considérer (distance au brûleur ou distance par rapport au front de flamme) tant expérimentalement qu'en modélisation. **voir:** Brûleur à flamme plate.

FLAMME PLISSEE

La structure de l'écoulement, jointe à des instabilités du front de flamme, organise une combustion qui a la forme d'un tissu plus ou moins plissé et d'épaisseur constante.

FLAMME PRIMAIRE

(angl. fizz zone) [appl. propergols, moteurs fusées] Zone de réaction des produits gazeux les plus réactifs lors de la combustion d'un propergol homogène. Cette zone résulte principalement des réactions entre le NO2 et des aldéhydes. **voir:** Propergol homogène.

FLAMME REDUCTRICE

voir: Flamme riche.

FLAMME RESIDUELLE

voir: Flamme persistante.

FLAMME RICHE

Flamme avec un excès de combustible. Sa richesse est donc supérieure à 1. **équiv:** flamme réductrice. **voir:** Richesse.

FLAMME SECONDAIRE

[appl. propergols, moteurs fusées] Zone finale de réaction des produits gazeux issus de la combustion d'un propergol homogène, dans laquelle se produit principalement la réduction du NO. **voir:** Propergol homogène.

FLAMME STABILISEE

Une flamme stationnaire est dite stabilisée par rapport à un référentiel donné lorsque sa vitesse spatiale par rapport à ce référentiel est nulle. En termes plus courants, une flamme stabilisée reste en permanence au même endroit, souvent accrochée à l'extrémité d'un tube ou d'un brûleur.

FLAMME STATIONNAIRE

Structure réactive pour laquelle les valeurs ainsi que les gradients (ou leur valeur moyenne, dans le cas des flammes turbulentes) des concentrations, de la pression et de la température, dans la zone de combustion, ne varient pas dans le temps dans un référentiel lié à celle-ci.

FLAMME SUSPENDUE

(angl. lifted flame) Flamme notablement décrochée en aval du brûleur, ayant trouvé des conditions locales d'écoulement (et de richesse dans le cas des combustions non prémélangées) qui permettent sa stabilisation. Dans un écoulement libre ces conditions peuvent être réalisées par le couplage entre la turbulence et la vitesse de flamme ou de réaction. La stabilisation suspendue se produit alors, là où la vitesse moyenne de l'écoulement est égale à la vitesse de flamme turbulente, dans la mesure où le temps de séjour (ou de mélange) des réactifs est compatible avec le temps de réaction. **voir:** Décrochage, soufflage.

FLAMME TURBULENTE

(angl. turbulent flame) (all. turbulente Flamme) Structure réactive interagissant avec des écoulements turbulents.

FLASH BACK

voir: Retour de flamme.

FLASH OVER

voir: Embrasement éclair.

FLUCTUATION DE TEMPERATURE

(angl. temperature fluctuation) [appl. mécanique des fluides, combustion turbulente] Dans un écoulement turbulent, il est usuel d'écrire que la température est la somme de deux termes : une température moyenne et une fluctuation par rapport à cette moyenne. C'est cette fluctuation qui est appelée fluctuation de température. Elle est par définition de moyenne nulle.

FLUCTUATION DE VITESSE

(angl. velocity fluctuation) [appl. mécanique des fluides, combustion turbulente] Dans un écoulement turbulent, il est usuel d'écrire que la vitesse est la somme de deux termes : une vitesse moyenne et une fluctuation par rapport à cette moyenne. C'est cette fluctuation qui est appelée fluctuation de vitesse. Elle est par définition de moyenne nulle.

FLUORESCENCE

(angl. fluorescence) *contraction de fluor et luminescence* [appl. mesure ou visualisation d'espèces chimiques] Processus d'émission lumineuse (UV-visible) lors de la relaxation radiative spontanée d'une espèce excitée par absorption d'un rayonnement incident. Le rayonnement réémis à la longueur d'onde d'excitation est appelé fluorescence de résonance. Toutefois, selon le principe de Stokes, la fluorescence est souvent émise à des longueurs d'onde supérieures à celle du rayonnement d'excitation. Le coefficient de probabilité d'émission A est la fréquence d'émission de photons par une molécule excitée. C'est l'inverse de la durée de vie "radiative" de l'état excité.
En régime d'excitation linéaire (pompage faible) où le coefficient d'absorption ne dépend pas de l'intensité incidente, le rendement de fluorescence, ou facteur de Stern-Volmer, est défini par le rapport de l'énergie lumineuse réémise à l'énergie incidente absorbée. Q étant la fréquence des relaxations non radiatives (quenching par collisions...), ce rendement peut alors s'exprimer par le rapport A/(A+Q). A rendement constant (Q = constante), l'intensité de la fluorescence localement émise est proportionnelle à l'intensité incidente absorbée et donc aussi à la population absorbante locale (population sur l'état intérieur de la transition).
En régime d'excitation intense où la fréquence des transitions de pompage (absorption et émission stimulée) n'est plus négligeable devant celle des relaxations spontanées (quenching collisionnel et émission de fluorescence), le coefficient d'absorption et le rendement de fluorescence diminuent progressivement avec l'intensité incidente et la fluorescence tend vers la saturation. **équiv:** photoluminescence, phosphorescence (avec délai). **voir:** Absorption.

FLUORESCENCE INDUITE PAR LASER

La fluorescence, réémission de lumière par un milieu avec changement de longueur d'onde (au contraire de la diffusion Rayleigh ou de la diffusion de Mie pour lesquelles le changement est nul ou très petit, changement dû à l'effet Doppler en diffusion de Mie), peut être induite par excitation du milieu par un rayonnement laser à une fréquence, en général dans le domaine UV, égale à une fréquence de résonance électronique spécifique de radicaux qu'il est ainsi possible d'identifier et de mesurer au sein d'un milieu réactif (les radicaux OH par exemple). L'utilisation d'un plan laser permet d'obtenir des cartographies instantanées des concentrations de ces radicaux. Il est également possible d'obtenir les champs de température. **voir:** Fluorescence, plan laser.

FLUX LUMINEUX

FOUR

(angl. furnace) *du latin furnus, même sens* Enceinte thermique servant à chauffer ou cuire des matériaux ou des produits alimentaires.

FOYER

(angl. firebox) *du latin focus, même sens* Enceinte où se développe une flamme. Les foyers peuvent être à parois chaudes ou froides. Dans le premier cas les parois sont constituées de produits réfractaires, dans le second cas les parois sont des échangeurs de chaleur dans lesquels circule un fluide caloporteur.

FOYER PULSATOIRE

(angl. pulse combustor) Foyer dans lequel on entretient une combustion pulsatoire. Les foyers pulsatoires sont utilisés pour intensifier la combustion et les transferts thermiques, ainsi que pour diminuer le niveau de pollution. Ils comprennent généralement une chambre, alimentée en gaz combustible au moyen de valves mécaniques ou aérodynamiques, et un tube de résonnance. **voir:** Combustion pulsatoire.

FRACTION DE MELANGE

(angl. mixture fraction) [appl. mélange de deux écoulements] Scalaire conservé adimensionnel et normalisé caractérisant un mélange binaire. La fraction de mélange notée Z ou vaut 1 dans l'écoulement combustible et 0 dans l'écoulement oxydant. La fraction de mélange représente la fraction massique locale de fluide issue de l'écoulement combustible. Par suite, tout scalaire conservé Q peut s'écrire Q = Q1Z + Q2(1 - Z), où Q1 et Q2 sont les valeurs de Q dans les écoulements combustible (indice 1) et oxydant (indice 2) respectivement. Dans le cas simple d'une flamme de diffusion pure où l'écoulement combustible ne contient pas d'oxydant et l'écoulement oxydant ne contient pas de combustible, la fraction de mélange stoechiométrique vaut Zs = (1 +

(YF(1)OWO/YO(2)F WF))-1, où YF(1) et YO(2) sont les fractions massiques de combustible et d'oxydant dans les écoulements (1) et (2) respectivement. La valeur de Zs est généralement très faible dans les jets de combustibles non dilués (pour le système H2/air, Zs ≅ 0,027). Dans un jet non réactif, il faut noter que c'est le volume spécifique 1/, et non pas la masse volumique, qui est conservé, de sorte que 1/ = Z/1 + (1 - Z)2.
D'un point de vue statistique, la fraction de mélange est la probabilité que l'élément fluide local provienne de l'écoulement primaire. L'élément de fluide ainsi défini est l'élément massique et, plus précisément, la fraction de mélange est la probabilité pour que la quantité de mouvement locale soit celle du fluide local issu de l'écoulement primaire. Ainsi, contrairement à l'intuition, pour réaliser une mesure de vitesse dans la zone de développement proche d'une flamme de diffusion turbulente, il est préférable (comme Zs«1) de n'ensemencer que le fluide oxydant plutôt que le jet de combustible.

FRONT DE FLAMME

(angl. flame front, combustion wave) (all. Flammenfront) Au sens large, zone de combustion de la déflagration. Au sens strict, surface délimitant la zone de combustion du côté des réactifs, définie à l'aide d'une valeur particulière du gradient d'une variable d'état (par exemple température ou concentration). Cette zone critique est notamment caractérisée par l'émission de chimiluminescence des premiers radicaux formés dans des états excités : CH dans le bleu, OH dans le proche ultraviolet. Le radical OH persiste par diffusion dans les gaz brûlés, mais à ce degré d'avancement de la réaction il est déjà retombé sur son état fondamental et n'émet plus. **équiv:** zone de combustion.

FRONT DE FLAMME PLISSE

Surface définie par la zone de combustion ayant une forme plissée.

FROUDE

nom du physicien britannique William Froude (1810-1879 **voir:** Nombre de Froude, nombre de Froude réduit.

FUEL DOMESTIQUE

(angl. heating fuel) (all. Heizöl) *de l'anglais fuel-oil, lui-même issu du vieux français fuelle : combustible* [appl. chauffage domestique, raffinage] Combustible issu du raffinage du pétrole répondant à des spécifications de carbone Conradson, indice de cétane, teneur en soufre et viscosité qui permettent son usage sans préchauffage dans les installations de chauffage. Ce produit est plutôt destiné aux petites installations. **équiv:** fioul domestique, mazout. **voir:** Carbone Conradson, indice de cétane.

FUEL LOURD

(angl. heavy oil-fuel, residual fuel) (all. Rückständsöl) *de l'anglais fuel-oil, lui-même issu du vieux français fuelle : combustible* [appl. chauffe industrielle, chauffage urbain, raffinage] Combustible issu du raffinage du pétrole répondant à des spécifications de teneur en soufre et viscosité qui permettent son usage avec préchauffage vers 130°C dans les installations de chauffage. Ce produit est plutôt destiné aux installations de chauffe industrielles : chaudières, fours de procédés... **équiv:** fioul lourd, fuel résiduel.

FUEL NO

voir: NO combustible.

FUMEE

(angl. smoke) (all. Rauch) *du latin fumare : fumer* Ensemble visible des particules solides et liquides en suspension dans les gaz résultant d'une combustion ou d'une pyrolyse. La fumée correspond donc à des produits de combustion qui se voient. Ils comprennent souvent des produits de combustion incomplète comme des suies et presque toujours des gouttelettes d'eau.

G

GALOPING

mot issu de l'expression anglaise galoping detonation **voir:** Détonation galopante.

GAZ BRULES

(angl. burnt gases, combustion products) (all. Abgas) Désigne les gaz à la sortie, l'échappement, d'une chambre de combustion, d'un four, de la zone de réaction d'une flamme.
Pour une combustion d'hydrocarbures dans l'air, les gaz brûlés sont majoritairement constitués d'azote, de CO2, et d'H2O et minoritairement d'oxygène et de polluants (CO, NOx, hydrocarbures imbrûlés, suies...). **équiv:** produits de combustion. **voir:** Polluant.

GAZEIFICATION

(angl. gasification) (all. Vergasung) Transformation thermique d'un solide combustible (charbon, coke, tourbe, bois...) en présence d'un composé gazeux (O2, air, CO2, vapeur d'eau...). Le but de la gazéification est généralement de convertir le solide en vue de l'obtention d'un mélange gazeux combustible. Elle se distingue donc de la pyrolyse, opération thermique s'effectuant en l'absence de gaz réagissant avec le solide, et de la combustion dans laquelle la plus grande partie du carbone contenu dans le solide est transformée en CO2. **voir:** Pyrolyse.

GAZ NATUREL

(angl. natural gas) Mélange gazeux combustible issu d'un gisement naturel. Le gaz naturel, dont la composition varie considérablement d'un gisement à l'autre, est principalement composé de méthane, puis d'éthane, de propane, de butane, et de faibles quantités d'hydrocarbures en C5 ou supérieurs. Aux hydrocarbures peuvent être associés de l'azote, de l'hélium, du CO2 et H2S. Les gaz naturels commercialisés sont traités de manière à être débarrassés de l'hydrogène sulfuré (H2S) et, de façon à permettre leur compression pour le transport, de l'eau et d'une partie du CO2 qu'ils peuvent contenir.

GAZOLE

(angl. diesel fuel) (all. Diesel Kraftstoff) *francisation de l'anglais gas-oil* [appl. moteurs Diesel, raffinage] Carburant issu du raffinage du pétrole, répondant à des spécifications de masse volumique, teneur en soufre, viscosité, indice de cétane, point de trouble et température de filtrabilité qui permettent son utilisation dans les moteurs Diesel. **voir:** Carburant, indice de cétane.

GIBBS

nom du physicien américain Willard Gibbs (1839-1903) **voir:** Energie libre.

GOUTTE

(angl. drop) *du latin gutta, même sens* Une goutte est un volume de liquide isolé dont la cohésion est assurée par les forces de tension superficielle. En l'absence de sollicitation extérieure, les gouttes ont une forme sphérique. Elles peuvent être déformées par la gravité ou les forces aérodynamiques. Dans ce dernier cas on définit le nombre de Weber We = 2rg(Vp-Vg)2/, où r est le rayon de la goutte, g la masse volumique du gaz, la tension superficielle et (Vp-Vg) le différentiel de vitesse entre phase gazeuse et liquide. Si We»20, on peut considérer les gouttes comme sphériques. Dans le cas de gouttes sphériques isolées, on peut démontrer que l'évaporation ou la combustion suivent la loi dite du "D^2". Cette loi énonce que le carré du diamètre D évolue linéairement en fonction du temps : $D^2 = D_0^2 - vt$, où v est une constante qui dépend des caractéristiques thermophysiques ainsi que des conditions (pressions, températures, fractions massiques...) loin de la goutte. Lorsque les gouttes ne sont pas sphériques et isolées, différentes corrélations sont proposées dans la littérature afin de se ramener à une expression similaire (corrélation de Ranz-Marshall par exemple). **voir:** Aérosol, spray.

GRANULOMETRIE

(angl. particle size analysis) (all. Dispersitätanalyse) Mesure des dimensions et détermination de la forme des particules d'un produit pulvérulent ou granulaire. Les résultats obtenus peuvent s'exprimer, par exemple, en indiquant que x % du produit "passent" ou sont supérieurs à une dimension donnée (60 % passent 80 m, 80 % sont supérieurs à 2 mm). **équiv:** analyse granulométrique, tamisage.

H

HALETEMENT

voir: Instabilité de combustion.

HAP

(angl. PAH) **voir:** Hydrocarbure aromatique polycyclique.

HELMHOLTZ

nom du physicien et physiologiste allemand Hermann von Helmholtz (1821-1894) **voir:** Energie libre.

HETEROGENE

(angl. heterogeneous) Adjectif désignant les réactions chimiques qui se produisent par interaction de réactifs existant sous des phases gazeuses et condensées, par opposition aux réactions chimiques homogènes se produisant uniquement en phase gazeuse ou en phase liquide.

HOPKINSON

nom du mécanicien anglais B. Hopkinson (1874-1918) **voir:** Loi de Hopkinson.

HOUILLIFICATION

voir: Charbon.

HUGONIOT

nom du mathématicien et physicien français Henri Hugoniot (1851-1887) **voir:** Equation de Hugoniot.

HYDROCARBURE AROMATIQUE POLYCYCLIQUE

(angl. polycyclic aromatic hydrocarbon) (all. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) [appl. formation des suies] Les HAP sont des hydrocarbures polyaromatiques condensés ayant un effet toxique sur les êtres vivants. Cet effet est le plus souvent basé sur l'activité mutagène très importante de ces espèces chimiques lorsqu'elles sont oxydées par un organisme vivant. Ils sont souvent mesurés en se basant sur l'analyse du benzo(a)pyrène, bien que ce composé ne soit pas le HAP le plus important dans les émissions polluantes. Les HAP s'adsorbent en général sur les suies (cas des moteurs Diesel), ce qui facilite leur dispersion dans l'atmosphère.
voir: Suie.

HYDROGENE TOTAL

voir: Vapeur d'eau totale.

HYPERBOLE D'HUGONIOT

(angl. Hugoniot curve) *du nom du mathématicien et physicien français Henri Hugoniot (1851-1887)* [appl. flamme laminaire, détonation, onde de choc] Hyperbole qui, dans le diagramme de Clapeyron (p, 1/), constitue l'un des lieux géométriques du point représentatif de l'état des gaz brûlés. Sa position est liée au dégagement de chaleur dans l'onde de combustion.
voir: Droite de Rayleigh, équation de Hugoniot.

HYPERGOL

(angl. hypergol) [appl. propergol] Propergol dont les ergols réagissent spontanément entre eux. Termes dérivés : hypergolique, hypergolicité. **équiv:** système hypergolique.

I

IGNIFUGATION

(angl. fire retardance, flame retardant treatment) *du latin ignis : feu, et fugare : faire fuir* [appl. réaction au feu des matériaux] Procédé visant à supprimer, réduire ou retarder sensiblement l'inflammation ou la propagation des flammes, soit par addition d'une substance (substance ignifuge ou ignifugeant ou ignifuge) à un matériau, soit par modification de ce matériau, soit par traitement appliqué à ce matériau.

IGNIFUGEANT

(angl. fire retardant) [appl. réaction au feu des matériaux] Utilisé comme substantif, le mot désigne une substance ajoutée à un matériau pour supprimer, réduire ou retarder sensiblement la combustion d'un matériau. Utilisé comme adjectif, le mot qualifie un traitement appliqué à un matériau pour obtenir les mêmes effets.

IGNITION

du latin ignis : feu Ce mot signifie en français l'état d'un corps en cours de combustion : un corps en ignition est un corps en train de brûler. Le même mot en anglais est pratiquement synonyme d'inflammation. C'est donc abusivement que le mot ignition est employé en français pour désigner soit l'inflammation (phénomène de naissance d'une flamme) soit l'allumage (action de mise en oeuvre d'une source d'inflammation).

IMAGE THERMIQUE

[appl. diagnostics] Image obtenue dans le domaine spectral infrarouge (longueurs d'onde de 2 à 15 m en pratique). La technique de prise de vue diffère essentiellement des techniques utilisées dans le domaine visible par la nature des composants optiques qui doivent être transparents et par celle des détecteurs sensibles dans ce domaine. **voir:** Thermographie infrarouge.

IMBRULES

Produits de combustion n'ayant pas subi une oxydation complète. Il peut s'agir, dans le cas de produits gazeux, d'aldéhydes, donnant aux gaz issus de la combustion une odeur particulière. Il peut également s'agir, dans le cas de combustibles condensés, de cénosphères ou de particules imbrûlées (combustible trop grossier ou mal pulvérisé par exemple). Pour une installation industrielle, la présence d'imbrûlés se traduit généralement par un taux d'oxyde de carbone trop élevé, signe d'un mauvais rendement global de combustion, d'une augmentation de la consommation calorifique, voire de risques d'explosions. **voir:** Cénosphère, consommation calorifique.

IMPULSION

En mécanique, produit de l'intensité d'une force par le temps d'application de cette force.

IMPULSION AXIALE

[appl. combustion industrielle] Quantité de mouvement axial apporté par l'air primaire. Cette quantité a une influence sur la longueur de la flamme. **voir:** Air primaire.

IMPULSION SPECIFIQUE

(angl. specific impulse) (all. spezifischer Impuls) [appl. combustion industrielle] (unité: l'impulsion spécifique est homogène à un temps et s'exprime en secondes, la valeur de l'impulsion spécifique dépend de la nature du moteur et des ergols, pour les moteurs fusées, on retient typiquement 450 s pour un moteur H_2O_2, 350 s pour UDMH/N_2O_2 et 300 s pour les propergols solides) (1) L'impulsion spécifique est le temps pendant lequel un moteur-fusée peut assurer au niveau de la mer une poussée égale à un kilogramme-force par kilogramme de propergol consommé. Pour un moteur donné, l'impulsion spécifique du propergol est le rapport de la poussée délivrée au débit-poids du propergol ou encore au rapport de la poussée F au produit du débit massique Q injecté dans la chambre de combustion par l'accélération de la pesanteur au niveau du sol g0 : Isp = F/Qg0. On parle d'impulsion spécifique instantanée si l'on considère un instant donné du fonctionnement du moteur, d'impulsion spécifique moyenne si l'on intègre l'impulsion spécifique instantanée sur la durée totale de combustion du propergol, d'impulsion spécifique moyenne standard lorsque l'on fixe, de plus, les conditions précises de fonctionnement du moteur de manière à pouvoir comparer différentes compositions de propergols entre elles, toutes choses étant égales par ailleurs. Dans ce dernier cas, on définit en pratique un moteur "standard" : rapport de détente du moteur fixé à 70 en France (68 aux Etats-Unis), utilisation d'une tuyère adaptée à la pression ambiante au sol, utilisation d'un divergent de forme conique dont le demi-angle au sommet est égal à 15deg.. (2) Grandeur qui permet de comparer l'impulsion axiale des brûleurs développant des puissances thermiques différentes. C'est le rapport de l'impulsion axiale par la

puissance thermique. L'impulsion spécifique a une influence sur la consommation calorifique et sur la longueur de la flamme. **voir:** Impulsion axiale.

INCANDESCENCE

(angl. glowing) *du latin incandescere : être en feu* [appl. combustion des solides] Au sens général, émission de lumière produite par un corps chauffé intensément. Elle peut donc se produire avec ou sans combustion. Dans le cas d'un emploi au sens de la combustion, le mot désigne un mode possible de combustion des solides, où une réaction très exothermique et sans flamme se produit à la surface du solide. Ce type de combustion par incandescence se rencontre pour le coke ou le charbon de bois.

INCANDESCENCE RESIDUELLE

(angl. afterglow) [appl. feu, incendie] Combustion avec incandescence d'un matériau persistant après la disparition des flammes ou, s'il n'y a pas de flammes, après retrait de la source d'allumage. Elle peut être caractérisée par une durée d'incandescence résiduelle.

INCENDIE

(angl. fire) (all. Brand, Feuersbrunst) *du latin incendium, même sens* Combustion ou feu non contrôlé par l'homme d'une quantité importante de matière gazeuse, liquide ou solide : réservoir de pétrole, forêt, habitation...

INCINERATION

du latin incineratio, même sens, de cinis : cendre Action de réduire un solide ou un liquide à ses seuls composés non volatils (cendres) par la combustion. Le mot s'applique généralement au traitement d'élimination des ordures ménagères ou de déchets industriels par combustion, permettant de diminuer le volume des résidus, d'éliminer leur toxicité, d'utiliser la chaleur de combustion pour aseptiser les déchets (déchets hospitaliers) et si possible de récupérer de la chaleur. Outre les résidus solides, l'incinération des déchets produit des gaz de combustion polluants : oxydes de soufre et d'azote, composés halogénés, hydrocarbures... Une installation industrielle comprend généralement un four tournant dans lequel les déchets repassent jusqu'à leur complet traitement (un brûleur apporte les calories nécessaires au maintien de la température à une valeur optimale, de l'ordre de 650°C), un système de combustion complémentaire vers 1200°C (voire plus) des gaz dégagés, des unités de refroidissement, dépoussiérage et traitement des gaz et des fumées par lavage et neutralisation avant rejet dans l'atmosphère. L'incinération des déchets est régie par un cadre normatif et législatif assez strict. Cependant face à l'accroissement de la production des déchets, l'incinération est une technique qui connait actuellement un fort développement. Le lecteur philosophe notera que le même mot désigne également un rite funéraire. **voir:** Cendre, fumée.

INCOMBUSTIBLE

(angl. non-combustible) Incapable de brûler dans des conditions d'essai spécifiées.

INDICE DE CETANE

(angl. cetane index) (all. Cetan Zahl) [appl. moteur Diesel, gazole] L'indice de cétane sert à apprécier l'aptitude à l'auto-inflammation d'un gazole. Comme pour l'indice d'octane, il se détermine dans un moteur particulier, appelé moteur CFR, dont le taux de compression est variable et qui est équipé d'un délai-mètre qui détermine l'intervalle de temps entre le début de l'injection (levée d'aiguille de l'injecteur) et le début de combustion à partir de l'enregistrement de pression cylindre. Le moteur étant alimenté avec le gazole à évaluer, on fixe l'avance d'injection à 13deg. vilebrequin avant le point mort haut du piston, et on fait varier le taux de compression de façon à amener le début de combustion au point mort haut. Puis, sans modifier le taux de compression, on alimente le moteur avec un mélange binaire de n-hexadécane (C16H34), appelé également cétane, et d'-méthyl-naphtalène, dont la composition est modifiée de manière à amener le début de combustion au point mort haut. L'indice de cétane est le pourcentage de cétane du mélange pour lequel cette condition est obtenue. A côté de cette mesure, il existe aussi un indice de cétane calculé à partir de données analytiques du gazole, et qui est plus ou moins bien corrélé avec la mesure. **voir:** Auto-inflammation, indice d'octane.

INDICE DE CONSTRUCTION

[appl. propulsion] Indice utilisé en France : rapport entre la masse de la structure d'un étage de fusée et la masse des ergols, r = (masse initiale - masse d'ergols consommée)/masse d'ergols consommée. La masse initiale est par exemple la masse au moment du départ. **voir:** Indice de structure.

INDICE DE MATIERES VOLATILES

(angl. volatil matter index) [appl. combustion du charbon] Cet indice désigne la fraction de matière organique finale volatilisée suivant les conditions de tests normalisés (la norme ISO recommande un simple creuset placé dans un four préchauffé à 900°C et un séjour de 3 min à température finale de 900 +/- 10°C ; le creuset doit être muni d'un couvercle bien ajusté afin d'éviter toute combustion partielle du résidu de coke). Dans le cas des charbons, comme lors de la détermination du carbone fixe, la perte de masse est rapportée soit au composé organique sec, soit au composé organique sec à 105°C, soit au composé organique sec et décendré. On parle alors de "M.V. sur sec" ou de "M.V. sur M.O.P." (matière organique pure). Il s'exprime par le rapport entre la perte de masse de l'échantillon après traitement

et la masse initiale, généralement en %. **voir:** Carbone fixe.

INDICE D'EMISSION

(angl. emission index) [appl. pollution produite par les installations industrielles, chambres de combustion et fours] Rapport de la quantité de polluants émis par une chambre de combustion au combustible brûlé. (unité: g/kg)

INDICE DE STRUCTURE

(angl. structural ratio) [appl. propulsion] Indice utilisé aux Etats-Unis : rapport entre la masse de la structure d'un étage de fusée et la masse initiale, r = (masse initiale - masse d'ergols consommée)/masse initiale. La masse initiale est par exemple la masse au moment du départ. **voir:** Indice de construction.

INDICE DE WOBBE

(angl. Wobbe index) [appl. utilisation domestique du gaz] Cet indice est utilisé, dans les applications domestiques du gaz, pour déterminer les pressions d'alimentation à appliquer à un injecteur pour conserver la puissance pour des pressions variables. C'est le rapport entre le pouvoir calorifique supérieur du gaz et la racine carrée de la densité par rapport à l'air.
W = PCS.d-0,5. (unité: kWh/m3) **voir:** Interchangeabilité, pouvoir calorifique.

INDICE D'OCTANE

(angl. octane number) (all. Oktan Zahl) [appl. moteurs, carburants] L'indice d'octane sert à apprécier la qualité de résistance au cliquetis d'une essence. Il se détermine dans un moteur particulier, appelé moteur CFR, dont le taux de compression est variable. On détermine dans un premier temps le taux de compression du moteur alimenté avec le carburant à évaluer, pour lequel on observe le cliquetis naissant. Puis, sans modifier le taux de compression, on alimente le moteur avec un mélange binaire iso-octane/n-heptane, dont on fait varier la composition en iso-octane jusqu'à apparition du cliquetis naissant. L'indice d'octane est défini comme le taux d'iso-octane du mélange binaire qui provoque l'apparition du cliquetis naissant. On peut choisir deux conditions de fonctionnement du moteur, qui correspondent à deux indices d'octane : l'indice d'octane recherche (RON, pour Research Octane Number) mesuré à 600 tours/min, et l'indice d'octane moteur (MON, pour Motor Octane Number) à 900 tours/min. **voir:** Cliquetis, indice de cétane.

INDICE D'OXYGENE

(angl. oxygen index, limiting oxygen index (LOI)) [appl. réaction au feu des matériaux] L'indice d'oxygène est la concentration minimale d'oxygène dans un mélange ascendant d'oxygène et d'azote qui permet d'entretenir la combustion avec flamme d'un matériau compact et rigide dans des conditions d'essai spécifiées : n = 100.(O2)/((O2)+(N2)). Une norme précise les caractéristiques de l'appareillage d'essai (dimensions, vitesse d'écoulement des gaz, emplacement et caractéristiques de la flamme pilote servant à l'inflammation du matériau...), de l'éprouvette (longueur 70 à 150 mm, largeur 6,5 mm, épaisseur 3 mm) et du processus d'essai : on procède pour chaque matériau étudié par une série d'essais avec des concentrations décroissantes d'oxygène jusqu'à atteindre la concentration minimale. La reproductibilité et la précision de la méthode en font un outil très utilisé pour le classement des matériaux, en particulier des polymères, vis à vis de leur réaction au feu. Des appareils modifiés permettent de mesurer des indices d'oxygène pour des combustibles liquides ou dont l'absence de rigidité ne permet pas l'essai dans les conditions de la méthode normale.

INDUCTEUR

[appl. cinétique chimique] Composé, introduit dans le milieu réactionnel, dont le but est de fournir des centres actifs plus facilement qu'à partir des réactifs. Il accélère la réaction en question au prix de sa disparition. **équiv:** amorceur.

INDUCTION

[appl. cinétique chimique] Introduction dans un milieu réactionnel d'un composé, dans le but de former des centres actifs par une initiation plus facile qu'à partir des réactifs.

INFLAMMABILITE

(angl. flammability) Au sens large, caractéristique de la facilité relative avec laquelle un matériau ou un système chimique peut être enflammé et soutenir la combustion. Au sens restreint utilisé dans les études relatives à la réaction au feu des matériaux, désigne l'aptitude d'un matériau ou d'un produit à brûler avec flammes dans des conditions d'essai spécifiées.

INFLAMMATION

(angl. ignition) (all. Entzündung) Phase d'accélération de la réaction, conduisant à la combustion vive, initiée par un apport d'énergie au système ou (et) par une mise en contact des réactifs. Dans certains cas l'inflammation est désignée par le terme "auto-inflammation". Ce terme est étymologiquement impropre puisque l'inflammation est toujours provoquée.

INFLAMMATION SPONTANEE

voir: Auto-inflammation.

INHIBITEUR

(angl. inhibitor) (all. Hemmstoff) *du latin inhibere : retenir, arrêter* [appl. propergols] (1) Substance ralentissant ou empêchant le déroulement d'une réaction chimique : plomb tétraéthyle à effet "antidétonant" dans les mélanges d'hydrocarbures, chlorure de méthyle dans les flammes d'hydrocarbures, K2SO4 dans les flammes de méthane...
(2) Matériau adhésif recouvrant certaines parties de la surface d'un bloc de propergol solide de façon à maîtriser la combustion de celui-ci. Exemple : vernis à base de matières plastiques recouvrant les propergols homogènes. **voir:** Propergol solide, réaction en chaînes.

INHIBITION

[appl. cinétique chimique] Réduction de la vitesse d'une réaction chimique. Dans le cas de réactions radicalaires en chaînes (pyrolyses, oxydations, auto-inflammations), l'inhibition peut être obtenue par addition d'une substance appelée inhibiteur réagissant avec les porteurs de chaînes pour provoquer des processus de rupture. L'élimination de porteurs de chaînes en résultant conduit à une réduction de la vitesse de réaction. L'inhibition peut être homogène ou hétérogène. Des inhibitions quasi-complètes ont pu être observées dans le cas de réactions en chaînes longues (influence d'alcènes sur des pyrolyses d'alcanes par exemple). Lorsque l'inhibition est due à une substance formée par la réaction elle-même, on utilise le terme d'auto-inhibition. L'influence d'inhibiteurs sur une réaction permet souvent d'obtenir des informations sur la nature du mécanisme. Le terme de "catalyse négative" est parfois employé.

ININFLAMMABLE

(angl. non-flammable) Non susceptible de s'enflammer dans des conditions d'essai spécifiées.

INITIATION

(angl. initiation) *du latin initiare : commencer* [appl. cinétique chimique] Processus élémentaire assurant la création initiale des centres actifs dans une réaction en chaînes. Exemple : ROOR' RO. + R'O.. L'initiation des chaînes peut être de nature thermique, photochimique etc. **équiv:** amorçage. **voir:** Réaction élémentaire, réaction en chaînes.

INJECTEUR

(angl. injector) [appl. combustion dans les systèmes pratiques, propulsion] Organe réalisant la pulvérisation et l'homogénéisation du combustible (des ergols liquides dans le cas d'un moteur-fusée) à l'intérieur de la chambre de combustion.

INJECTEUR A PREVAPORISATION

[appl. chambres de combustion industrielles] Combinaison d'un injecteur mécanique et d'une canne, alimentée en air, en vue d'assurer prévaporisation et prémélange du combustible.

INJECTEUR MECANIQUE

(angl. mechanical injector) (all. mechanische Einspritzer) [appl. chambres de combustion aéronautiques, moteurs diesel] Injecteur de carburant liquide où la pulvérisation est assurée grâce à la pression d'injection (contrairement aux effets aérodynamiques utilisés dans le concept de l'injecteur tourbillonnaire).

INJECTEUR TOURBILLONNAIRE

(angl. swirler) Dispositif d'injection d'air et de carburant dans un four ou une chambre de combustion, mettant en rotation les nappes fluides pour assurer vaporisation du carburant et prémélange partiel.

INJECTION DIRECTE

Méthode d'introduction du carburant dans les moteurs à combustion interne et à piston. Sur les moteurs Diesel, l'injection ne se fait pas dans les tubulures d'admission. Le carburant est injecté sous forme liquide soit dans une préchambre soit directement (d'où le nom d'injection directe) dans la chambre de combustion.

INJECTION INDIRECTE

Méthode d'introduction du carburant dans les moteurs à combustion interne et à piston. Sur les moteurs à allumage commandé, l'injection est indirecte et se fait en dehors de la chambre de combustion dans le collecteur, soit en un seul point, soit juste en amont de la soupape d'admission (multipoint).

INSTABILITE DE COMBUSTION

(angl. combustion instability) [appl. propulsion] Fluctuations observées dans les foyers, engendrant des fluctuations de pression. Ces instabilités doivent avoir des causes coordinatrices.
Définitions françaises normalisées. Halètement (angl. chuffing) : instabilité de combustion d'un moteur-fusée à poudre caractérisée par l'extinction et le réallumage avec une période de l'ordre de la seconde. Ronflement (angl. chugging) : instabilité de combustion d'une fréquence de l'ordre de 100 Hz.

INSTABILITE POGO

(angl. pogo instability) *analogie avec un jeu d'enfant POGO* [appl. fusées à propergol liquide] Processus d'instabilité faisant intervenir un couplage entre la combustion dans un système de propulsion et les vibrations de la structure. On rencontre ce type d'instabilités en particulier dans les fusées à propergol liquide. Les oscillations de combustion produisent une oscillation de la poussée qui excite les modes propres de vibration de la structure ce qui a pour conséquence de moduler les

débits masse d'ergols. L'amplitude de l'oscillation peut alors augmenter et atteindre des niveaux très élevés et dans certains cas produire une destruction du propulseur.

INTENSITE DE TURBULENCE

(angl. turbulence intensity) La décomposition de Reynolds exprime toute propriété physique U en une moyenne $\overline{u}$ et une fluctuation u' centrée au moyen d'opérateurs statistiques ou temporels. Pour la vitesse en régime turbulent, la fluctuation est une variable aléatoire de densité de probabilité $p(u)$. Son moment d'ordre 2 ou variance peut être calculé $\overline{u^2} = \int_{-\inf}^{+\inf} u^2 p(u) du$. L'intensité de la turbulence dans une direction $\sqrt{\overline{u^2}}/\overline{u}$ est un indicateur de l'agitation turbulente par rapport au champ cinématique moyen. L'énergie cinétique de la turbulence est égale à $\frac{(u^2+v^2+w^2)}{2}$ par unité de masse. Typiquement l'intensité de turbulence dans des écoulements varie de 2 à 30 %.

INTERCHANGEABILITE

[appl. utilisation du gaz] Terme relatif à la distribution du gaz et à la compatibilité des appareils utilisant le gaz avec le combustible fourni. En fonction des approvisionnements, la composition chimique du gaz n'est pas rigoureusement constante et varie dans des limites plus ou moins grandes. L'interchangeabilité caractérise les limites de composition et propriétés des gaz permettant d'assurer un fonctionnement satisfaisant des appareils d'utilisation des gaz. Elle peut être totale si la modification apportée au gaz n'a aucune incidence sur le fonctionnement de l'appareil d'utilisation, elle est plus généralement approchée. Il existe trois grandes classes de gaz : le gaz naturel, le gaz de ville et le gaz de pétrole liquéfié. L'interchangeabilité ne peut se poser qu'au sein d'une même famille de ces gaz. Elle est caractérisée par la définition d'indices dont la détermination résulte de la constatation suivante : si deux gaz différents conduisent à la même hauteur de cône bleu et à la même pression de soufflage des flammes sur un brûleur de référence, ils se comportent pratiquement de façon identique sur tous les appareils d'utilisation en ce qui concerne la stabilité des flammes. On distingue des indices principaux, comme l'indice de Wobbe relatif au pouvoir calorifique du gaz et à sa densité par rapport à l'air, et des indices secondaires permettant par exemple de caractériser l'apparition de pointes jaunes au sein du cône bleu de la flamme de gaz ou encore le charbonnement des veilleuses.
voir: Indice de Wobbe.

ION

(angl. ion) *du grec ienai : aller* [appl. propriétés électriques des flammes] Atome, molécule ou fragment de molécule porteur d'une ou de plusieurs charges positives ou négatives. Dans une flamme l'ion primaire CHO+ produit par le phénomène de chimionisation réagit très rapidement avec les espèces neutres de la flamme pour donner de nombreux ions secondaires. Le plus abondant est généralement H3O+ qui est formé par transfert de proton : CHO+ + H2O H3O+ + CO. Certains ions de type CxHy+ se forment d'autant plus facilement que le mélange combustible est plus riche. On trouve également des ions correspondant à la formule CxHyOz+. Les ions négatifs OH-, O- et O2- sont formés par attachement électronique. Les ions négatifs de type CxHyOz- résultent généralement de l'addition d'un ion négatif à une molécule neutre : CH2O + OH- CH3O2- . L'identification des ions positifs et négatifs dans une flamme se fait par spectrométrie de masse. **voir:** Chimionisation, ionisation.

IONISATION

(angl. ionization) *du grec ienai : aller* [appl. propriétés électriques des flammes] Le terme d'ionisation recouvre les processus par lesquels une espèce neutre peut donner un ion positif ou négatif. Dans les flammes, deux catégories d'ions positifs peuvent être considérées : les ions d'origine thermique produits essentiellement par ensemencement des gaz combustibles avec des éléments à faible potentiel d'ionisation (alcalins), les ions issus du processus d'ionisation. Les ions négatifs sont formés par attachement électronique : e- + A A-, e- + AB AB-, e- +AB A- + B.
voir: Chimionisation.

J

JET

(angl. jet) [appl. propulsion] Définition française normalisée : écoulement de fluide par un orifice ou une tuyère qui produit un effet propulsif.

JOUGUET

nom du physicien français E. Jouguet (1871-1943), dont les travaux associés à ceux de D.L. Chapman ont conduit à mettre en évidence une condition de stabilité de l'onde de détonation **voir:** Condition de Chapman-Jouguet.

JOULE

K

KELVIN

du nom du physicien britannique William Thomson, lord Kelvin (1824-1907). Le kelvin (symbole K) est l'unité SI de température thermodynamique. Le kelvin est la fraction 1/273,16 de la température du point triple de l'eau. Le même nom et le même symbole sont utilisés pour exprimer un intervalle de température.
voir: Température Celsius.

KEROSENE

(angl. kerosene) (all. Kerosin) *du grec kèros : cire.* [appl. moteurs d'avion, raffinage] Carburant issu du raffinage du pétrole répondant à des spécifications de distillation, point de cristallisation, point de fumées et teneur en soufre qui permettent son usage dans les moteurs d'avion. **équiv:** carburéacteur.

k-epsilon

voir: Modèle k-epsilon.

KNUDSEN

nom du physicien danois Martin Knudsen (1871-1949), qui a établi les lois cinétiques des gaz raréfiés.
voir: Nombre de Knudsen.

L

LAGRANGE

nom du mathématicien et astronome français Louis Lagrange (1736-1813) **voir:** Lagrangien.

LAGRANGIEN

(angl. lagrangian) *du nom du comte Louis Lagrange, mathématicien et astronome français (1736-1813)* Le point de vue lagrangien en mécanique des milieux continus consiste à observer le mouvement dans un repère qui suit ce mouvement. Dans la modélisation des écoulements diphasiques (écoulements dispersés), un modèle lagrangien utilise les équations de Navier-Stokes pour la phase continue et un suivi de mouvement d'un certain nombre d'inclusions représentant la phase dispersée.
voir: Modèle lagrangien.

LAMINAIRE

(angl. laminar) *du latin lamina : lame* Se dit d'un écoulement régulier, non turbulent.
voir: Turbulent.

LAPLACE

nom du mathématicien, astronome et physicien français Pierre Simon de Laplace (1749- 1827) Parmi de multiples contributions scientifiques (opérateur laplacien, transformation de Laplace, lois en électrostatique et électromagnétisme...), Laplace a établi la loi de compression adiabatique des gaz parfaits.
voir: Loi de compression adiabatique.

LCO

initiales pour Light Cycle Oil [appl. raffinage] Ces initiales anglaises, sans équivalent français, désignent un produit liquide très aromatique issu des unités de craquage catalytique, utilisé comme composant du fuel lourd et du fuel domestique.

LE CHATELIER

nom du chimiste et métallurgiste français Henry Le Châtelier (1850-1936), pionnier de l'analyse thermique et des équilibres chimiques H. Le Châtelier a été l'un des pionniers de l'étude scientifique de la combustion. Il a en particulier étudié de 1878 à 1882, avec E. Mallard, les mélanges explosifs (notamment le grisou) et a été le premier à enregistrer par photographie l'onde explosive. Il a établi en 1884 la loi sur les équilibres chimiques qui porte son nom.
voir: Loi de Le Châtelier, méthode statique.

LIF

initiales pour Laser Induced Fluorescence : fluorescence induite par laser (FIL) **voir:** Fluorescence induite par laser.

LIFT-OFF

voir: Flamme suspendue.

LIGHT CYCLE OIL

voir: LCO.

LIMITE D'AUTO-INFLAMMATION

(angl. self ignition limit) Dans le cas d'un mélange gazeux inflammable, courbe qui sépare le diagramme pression-température en deux domaines : d'un côté de la courbe il y a auto-inflammation, de l'autre non. Pour chaque composition du mélange existent une limite d'auto-inflammation différente, donc un domaine différent d'auto-inflammation.

LIMITES DE DEFLAGRATION

(angl. flammability limits, inflammation limits, deflagration limits, flame limits) (all. Zündgrenzen) Ensemble des valeurs des variables du système combustible limitant le domaine de déflagration.
Les théories explicatives de l'existence de limites de déflagration sont basées sur trois types de phénomènes, qui peuvent jouer isolément ou simultanément. Il peut y avoir instabilité du phénomène de déflagration, soit par insuffisance momentanée de l'apport thermique de la zone de réaction considérée comme source de chaleur pour l'échauffement des tranches voisines de gaz frais, ou à cause d'instabilités aérodynamiques. Un autre type d'interprétation est basé sur le fait que, aux limites de déflagration, les petites valeurs de la vitesse de réaction (dont dépend la vitesse de dégagement de chaleur) n'arrivent plus à compenser les pertes thermiques par rayonnement et par conductivité des parois. Enfin la propagation n'est possible que si la probabilité de rupture de chaîne est inférieure à la probabilité de ramification et que si le bilan thermique effectué en tenant compte de la probabilité des différentes réactions et de leur thermicité est positif.
équiv: limites d'inflammabilité. **voir:** Domaine de déflagration.

LIMITES DE DETONABILITE

voir: Limites de détonation.

LIMITES DE DETONATION

(angl. limits of detonability, detonation limits) (all. Detonationsgrenzen) Ensemble des valeurs des variables du système combustible limitant le domaine de détonation.
équiv: limites de détonabilité. **voir:** Domaine de détonation.

LIMITES D'INFLAMMABILITE

voir: Limites de déflagration.

LIT FIXE

(angl. fixed bed) (all. Festbett, Schüttschicht) [appl. combustion de particules solides (charbon) ou traitement chimique de produits pulvérulents] Couche d'un matériau sous forme de particules (combustible, catalyseur, adsorbant, résine échangeuse d'ions...) qui reste stationnaire quand le fluide passe à travers elle.

LIT FLUIDISE

(angl. fluidized bed) [appl. combustion de particules solides (charbon) ou traitement chimique de produits pulvérulents] Un lit fluidisé est constitué d'un ensemble de particules solides traversé de bas en haut par un fluide dont le débit est tel que le frottement du fluide sur les grains équilibre leur poids. Les particules sont mises en mouvement et subissent de nombreuses interactions, mais leur mouvement barycentrique moyen est nul. Suivant la taille des particules et la densité du fluide, on observe une fluidisation homogène (exemple liquide-solide) ou hétérogène (exemple gaz-solide fin). Dans ce dernier cas, le lit fluidisé est diphasique, constitué d'une phase dense et d'une phase bulles. Au delà d'un certain débit de fluide, on assiste à l'entraînement du lit. Le solide peut être séparé du fluide en tête de colonne par un cyclone et recyclé à la base : c'est le lit fluidisé circulant, qui reste relativement dense avec de nombreuses interactions. Avec des débits plus importants et une densité de particules plus faibles, on a un lit transporté, assez proche de l'écoulement piston, avec une moyenne de glissement de la phase solide par rapport à la phase gazeuse. On parle aussi de transport pneumatique.

voir: Ecoulement diphasique.

LIT FLUIDISE CIRCULANT

voir: Lit fluidisé.

LITHERGOL

(angl. hybrid propellant) (all. hybrid Treibstoff) [appl. propergols, moteurs fusées] Propergol dont l'un des constituants est stocké à l'état solide dans la chambre de combustion, les autres constituants étant injectés séparément à l'état liquide. Exemples : oxydes d'azote-plexiglas, oxygène liquide-caoutchouc butyl. Propergol contenant des particules solides dans un liquide. Ce type de propergol permet d'obtenir des performances balistiques plus élevées que les propergols solides, ainsi qu'une plus grande souplesse d'utilisation, tout en simplifiant au maximum les problèmes de mise en oeuvre des liquides. Cette formule séduisante n'a pas conduit jusqu'à présent à des réalisations industrielles en France. Des études amont sont cependant conduites de manière à valider le concept propulsif associé.
équiv: propergol hybride. **voir:** Propergol.

LIT TRANSPORTE

voir: Lit fluidisé.

LOI D'ARRHENIUS

voir: Equation d'Arrhenius.

LOI DE BEER-LAMBERT

du nom du physicien allemand August Beer (1825-1863) et du physicien français Lambert [appl. absorption du rayonnement] Loi selon laquelle le gradient axial relatif de la puissance d'un faisceau est une constante, k (en m-1), caractéristique du milieu absorbant appelée coefficient monochromatique d'absorption. Pour une fréquence optique donnée, I/I = - k. Cette loi n'est valable qu'en régime de faible excitation où le phénomène inverse d'émission stimulée est négligeable, sinon k diminue quand I croît et l'absorption est dite saturée. Dans le cas d'un milieu homogène (k = constante), la puissance du faisceau décroît exponentiellement avec la distance x de propagation : Ix = I0 exp(-kx). Considérant la propagation de l'onde, le coefficient d'absorption est lié à l'existence d'une partie imaginaire n' dans l'indice de réfraction du milieu, k = 4n'/c. **voir:** Absorption, épaisseur optique, extinction, section efficace.

LOI DE CLAUSIUS-CLAPEYRON

du nom des physiciens allemand Rudolph Clausius (1822-1888) et français Emile Clapeyron (1799-1864) La loi de Clausius-Clapeyron exprime la variation de pression en fonction de la température lors d'une transition de phase : $\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T\Delta V}$

LOI DE COMPRESSION ADIABATIQUE

Loi due à Laplace et relative aux gaz parfaits : $PV^{\gamma} = C^{ste}$ où γ est le rapport des capacités calorifiques massiques à pression constante C_p et à volume constant C_v.

LOI DE FICK

du nom du physiologiste allemand Adolf Eugen Fick (1829-1901) [appl. -Pv/x] Application au cas de la

matière d'une loi générale du premier ordre (applicable également à la chaleur et à la quantité de mouvement) qui indique que le flux d'une quantité transférée dans une direction donnée x est le produit de la diffusivité par le gradient de potentiel d'une propriété volumique Pv : x = Le signe - signifie que le transfert s'effectue dans le sens des potentiels décroissants. Si Pv représente une concentration de matière C, on obtient la loi de Fick. **voir:** Diffusion.

LOI DE HOPKINSON

(angl. Hopkinson's scaling law) *du nom du mécanicien anglais Hopkinson (1874-1918)* [appl. détonique] Conformément au théorème Pi de Buckingham et à partir d'une analyse dimensionnelle des groupements sans dimension des caractéristiques des ondes de souffle, Hopkinson a développé la notion de similitude en fonction de la distance réduite R/E1/3 où E est l'énergie libérée par la détonation. Pour tenir compte des modifications des conditions initiales (p0, T0), Sachs a élargi les conditions de cette similitude. Cette similitude ne peut être mise en oeuvre que si l'onde de souffle est une onde de choc. Elle permet la simulation à échelle réduite et est fréquemment utilisée en analyse de risques.

LOI DE LE CHATELIER

du nom de Henry Le Châtelier (1850-1936), chimiste et métallurgiste français Etablie en 1884, la loi de Le Châtelier prévoit que, si l'on modifie les conditions imposées à un système initialement en équilibre stable, ce dernier évolue dans le sens qui tend à le ramener dans son état initial.

LOI DE VAN'T HOFF

du nom de J.H. Van't Hoff, savant néerlandais (1852-1911), lauréat du premier prix Nobel de chimie en 1901 [appl. cinétique chimique] La relation exprimant que la vitesse d'une réaction chimique est égale au produit d'une constante k et des concentrations des différents réactifs , ..., chacune étant affectée d'un exposant a, b..., appelé ordre partiel de la réaction par rapport au réactif considéré, $v = k.C_1^0.C_2^0...$, a été suggérée par Van't Hoff (en 1884) comme pouvant être la forme générale de toute loi de vitesse. D'où le nom de loi de Van't Hoff souvent donné à cette relation. La somme des ordres partiels a + b +... est appelée ordre total ou, plus simplement, ordre de la réaction. On sait que l'évolution de nombreuses réactions composées (ou complexes) ne peut être décrite par une équation unique de la forme proposée par la loi de Van't Hoff. **voir:** Ordre global, ordre partiel.

LOI DE VITESSE

[appl. cinétique chimique] Fonction mathématique reliant la vitesse de réaction aux différents paramètres du milieu : concentrations, température... Cette fonction ne dépend que de la réaction et du milieu envisagés et est indépendante du type de réacteur utilisé pour la mettre en oeuvre. On distingue la loi de vitesse initiale et la loi de vitesse courante. **voir:** Vitesse courante, vitesse initiale, vitesse de réaction.

LONGUEUR DE CHAINE

[appl. cinétique chimique] Nombre total de centres actifs régénérés à partir d'un centre actif de même nature au cours du développement d'une réaction en chaînes linéaires. C'est aussi le nombre total de maillons (ou séquences fermées) engendrées à partir d'un seul centre actif. La longueur de chaîne dépend de l'importance relative de la vitesse de régénération du centre actif porteur de chaîne et de sa vitesse de disparition.

LONGUEUR DE FLAMME

(angl. flame length) [appl. DT U0d0(0/st)1/2] Distance sur l'axe de l'écoulement depuis l'injecteur au delà de laquelle la combustion cesse faute de combustible. Cette longueur L peut être facilement estimée en supposant que la réaction, beaucoup plus rapide que le mélange diffusif des réactifs, n'a lieu qu'en proportion stoechiométrique sur la surface Z(h, r,) = Zs qui se referme sur l'axe à la hauteur h = L. En configuration axisymétrique, le débit massique de combustible injecté, 0U0 $\sigma_0/4$, doit donc se trouver en proportion Zs/(1-Zs) avec le débit massique d'air entraîné par diffusion à travers la surface stoechiométrique, stD Z=Zs Jds, où J = (1-Z). Cette surface étant grossièrement décrite par un cylindre de hauteur l à l'intérieur duquel la fraction de mélange décroît régulièrement de Z = 1 sur l'axe à Z = Zs sur l'interface, on obtient Z=Zs (1-Zs)L, et donc L 0 σ_0U0/stDZs.
En régime de diffusion laminaire où la diffusivité D est une constante, la longueur de flamme est proportionnelle au débit de combustible injecté. En augmentant la vitesse d'injection, l'écoulement atteint (en commençant par l'aval) un régime turbulent où la diffusivité tourbillonnaire croît avec l'échelle et la vitesse turbulente La longueur de la flamme de diffusion turbulente se stabilise alors à une valeur LT = d0(0/st)1/2/Zs indépendante de la vitesse d'injection. En continuant d'augmenter la vitesse d'injection, l'hypothèse d'une combustion beaucoup plus rapide que le mélange turbulent n'est plus vérifiée (en commençant par l'amont) et la flamme de diffusion décroche de l'orifice (décrochage ou lift-off). Lors de ce décrochage, la flamme peut néanmoins retrouver dans le champ turbulent aval des situations qui permettent sa stabilisation (flammes suspendues). **voir:** Décrochage, diffusion, flamme de diffusion, flamme suspendue, fraction de mélange.

LONGUEUR DE MELANGE

(angl. mixing length, Prantdl's mixing length) [appl. modélisation de la turbulence] Le modèle de longueur de mélange est l'un des plus simples pour modéliser la turbulence. Il consiste à supposer que l'échelle de longueur des grandes structures turbulentes est connue (longueur de mélange L) et que les fluctuations de vitesse sont

grosso modo proportionnelles à L ainsi qu'au gradient de vitesse moyenne. L'expression la plus générale du modèle de longueur de mélange s'obtient par dégénérescence du modèle k- en posant que la production est égale à la dissipation dans le bilan d'énergie turbulente, et en supposant connue la longueur de mélange : $L = k1,5/$. Ce modèle est surtout utilisé dans les couches limites, où il revient à exprimer la viscosité turbulente par $T = L^2 \frac{U}{y}$. A proximité de la paroi (jusqu'à 20 % du diamètre pour un écoulement en tuyauterie), on peut supposer que la longueur de mélange varie linéairement avec la distance à la paroi : $L = y$, avec 0,4, constante de Karman. Cette expression permet de retrouver la loi du profil de vitesse logarithmique dans la couche limite.
voir: Modèle k-epsilon, viscosité turbulente.

LONGUEUR DE PREDETONATION

(angl. predetonation length, predetonation distance, critical radius) [appl. détonique] Pour un système explosible donné, à partir du point d'apport d'énergie, la longueur de prédétonation est la longueur (ou le rayon selon la symétrie de propagation) nécessaire à la formation de la détonation. Si l'énergie d'amorçage E_c est critique, la longueur (ou distance) de prédétonation est minimum. Pour les détonations cylindriques ou sphériques, le rayon critique R_c est un paramètre important, caractéristique du système détonant. Il est lié à l'énergie critique et à la dimension cellulaire c. Dans le cas de la propagation dans un tube (système gazeux), cette longueur est fortement dépendante du confinement. Il est possible de la réduire notablement en disposant une spirale (spirale de Shtelkine) sur la périphérie intérieure du tube, son rôle étant de favoriser la turbulence dans la zone de prédétonation. **voir:** Energie critique de prédétonation.

LONGUEUR MOYENNE DE CHAINE

[appl. cinétique chimique] Grandeur statistique définissant le nombre moyen de centres régénérés à partir d'un centre actif de même nature au cours du développement d'une réaction en chaînes linéaires. C'est aussi le nombre moyen de maillons (ou séquences fermées) engendrés à partir d'un seul centre actif. Sur le plan statistique, la longueur moyenne de chaîne représente l'espérance mathématique de la variable aléatoire définissant le nombre de maillons (ou de centre actifs de même nature) créés à partir d'un centre actif. Dans le cas des chaînes longues, la longueur moyenne d'une chaîne peut être assimilée à l'inverse de la probabilité qu'a le porteur de chaînes pour la rompre.

LUMINANCE

M

MACH

nom du physicien autrichien Ernst Mach (1838-1916), qui mit en évidence le rôle de la vitesse du son en aérodynamique **voir:** Effet de Mach, nombre de Mach.

MACHINE A COMPRESSION RAPIDE

(angl. rapid compression machine) Appareillage permettant de porter dans une chambre de combustion un mélange gazeux inflammable à une température et une pression données en un temps relativement court (10-100 ms). Le mélange est comprimé par un piston qui est arrêté rapidement en fin de course et qui est maintenu dans cette position pour éviter les phénomènes de rebond. Différents dispositifs ont été proposés. Ces machines sont généralement utilisées pour mesurer à haute pression des délais d'auto-inflammation de l'ordre de 1 à 60 ms dans une gamme de température allant de 600 à 900 K, c'est-à-dire dans la zone du coefficient négatif de température des hydrocarbures. Associées à des techniques de diagnostic permettant l'identification des produits, ces machines peuvent également contribuer à l'obtention de données nécessaires à l'élaboration et au test de mécanismes chimiques conduisant à l'autoinflammation.

MACROSIMULATION

voir: Simulation des grandes structures turbulentes.

MAGNETOHYDRODYNAMIQUE

Etude des écoulements des fluides électriquement conducteurs en présence d'un champ magnétique. Applications nombreuses en astrophysique, fusion thermonucléaire contrôlée, propulsion ionique et conversion d'énergie. **équiv:** MHD (initiales des composants du mot).

MAILLAGE

(angl. grid) [appl. résolution des équations différentielles en calcul numérique scientifique] En calcul numérique scientifique nécessitant la résolution d'équations différentielles, une discrétisation dans l'espace et le temps est nécessaire. Le maillage de calcul est la discrétisation dans l'espace : c'est l'ensemble des noeuds, c'est à dire des points où sont calculées les inconnues.
Les types principaux de maillages sont les maillages structurés ou non structurés. Les maillages structurés, en général utilisés pour des discrétisations en volumes ou différences finies, peuvent être rectilignes ou curvilignes. Les maillages non structurés peuvent être constitués d'assemblages de briques ou de tétraèdres (ou, en deux dimensions, de quadrangles et de triangles). Ils sont le plus souvent utilisés dans le cas des méthodes en éléments finis.
Le maillage demande à être affiné dans les zones où les gradients sont importants (front, flamme, choc, couches cisaillées), pour limiter la diffusion numérique. Il est généralement nécessaire de vérifier que le maillage utilisé est assez raffiné pour la précision recherchée : la solution obtenue doit être indépendante du maillage. **équiv:** grille de calcul. **voir:** Diffusion numérique, éléments finis, volumes finis.

MALLARD

nom de l'ingénieur des Mines et cristallographe français Ernest Mallard (1833- 1894) Il a été l'un des pionniers des études scientifiques sur la combustion : mémoire de 1875 sur la vitesse de propagation de l'inflammation dans un mélange d'air et de grisou, mémoire de 1883 avec Henry Le Châtelier sur les limites de déflagration des mélanges gazeux explosifs. **voir:** Méthode statique, modèle thermique de flamme.

MATERIAU PYROPHORIQUE

voir: Pyrophore.

MATIERES VOLATILES

[appl. combustion du charbon] Produits gazeux, condensables ou non, qui sont émis par les composés organiques au cours de la carbonisation, naturelle ou dans un four. Les matières volatiles condensables, hormis l'eau, représentent le goudron (2 à 4 % lors de la cokéfaction des charbons à coke). Le résidu de distillation à 350-380°C est le brai. Selon le rang d'un charbon, sa teneur en matières volatiles peut décroître de plus de 40 % à moins de 10 %. Dans un coke, le taux de matières volatiles résiduelles est de quelques pour cent, et pratiquement nul pour des cokes obtenus à 2 000°C. **voir:** Indice de matières volatiles, rang d'un charbon.

MAZOUT

voir: Fuel domestique.

MECANISME

du grec mècanikè : art de construire une machine Dans le sens général, un mécanisme est un assemblage

d'organes en vue du fonctionnement d'une machine. Au sens restreint de la cinétique chimique, le mécanisme s'apparente à un modèle, c'est-à-dire à un ensemble d'équations chimiques sensé représenter le phénomène chimique dans son ensemble. **voir:** Mécanisme réactionnel.

MECANISME DETAILLE

(angl. detailed mechanism) [appl. modélisation cinétique de la combustion] Mécanisme réactionnel ne comprenant que des processus élémentaires (ou supposés tels) et incluant toutes les espèces chimiques (molécules, atomes et radicaux libres) susceptibles de prendre part au processus réactionnel global. **équiv:** modèle cinétique détaillé. **voir:** Mécanisme réactionnel, mécanisme réduit, radical libre.

MECANISME DE ZEL'DOVICH

voir: NO thermique.

MECANISME GLOBAL

voir: Modèle cinétique global.

MECANISME QUASI-GLOBAL

voir: Modèle cinétique quasi-global.

MECANISME REACTIONNEL

(angl. reaction mechanism) [appl. modélisation cinétique de la combustion] Ensemble des réactions chimiques utilisées pour décrire un processus chimique (combustion, pyrolyse...). Dans l'absolu, un mécanisme réactionnel est constitué de toutes les réactions élémentaires impliquées dans le processus chimique. **équiv:** modèle cinétique. **voir:** Mécanisme détaillé, mécanisme réduit.

MECANISME REDUIT

(angl. reduced mechanism) [appl. modélisation cinétique de la combustion] Mécanisme réactionnel simplifié obtenu à partir d'un mécanisme détaillé après élimination des espèces chimiques minoritaires et non-significatives et des réactions dont la vitesse est négligeable ou qui ne sont pas déterminantes. Le recours à de tels mécanismes réduits s'impose généralement si l'on veut tenir compte de la cinétique chimique dans la modélisation complète de la combustion : compte tenu de leur taille et des temps de calcul qu'ils imposent, les mécanismes détaillés sont inutilisables dans les codes de calcul industriels. L'hypothèse de l'état quasi-stationnaire de concentration pour un certain nombre d'espèces chimiques et l'hypothèse de l'équilibre partiel pour certaines réactions (c'est à dire que l'on considère que certaines réactions particulières sont équilibrées) peuvent également être utilisées pour obtenir un mécanisme réduit. Dans le cas d'espèces voisines (par exemple les cinq radicaux décyles intervenant dans la combustion ou la pyrolyse du décane), on peut encore remplacer les réactions de chacune de ces espèces par les réactions d'une seule des espèces, considérée comme représentative des autres. **équiv:** modèle cinétique simplifié. **voir:** Etat quasi-stationnaire, mécanisme détaillé, mécanisme réactionnel, réaction déterminante.

MECANISME SEMI-GLOBAL

voir: Modèle cinétique quasi-global.

MELANGE STOECHIOMETRIQUE

du grec stoicheion : élément, et métron : mesure [appl. chimie de la combustion] Mélange correspondant à la consommation totale du combustible et du comburant, et à la formation des produits dans leur état d'oxydation le plus avancé. La combustion d'hydrocarbures dans l'air ou l'oxygène produit CO2 et H2O. La réaction stoéchiométrique n'est qu'une représentation globale de ce qui se produit en réalité.
Les quantités respectives de combustible et de comburant dans un mélange stoechiométrique peuvent être représentées de différentes manières. On peut ainsi utiliser la fraction molaire de l'un des deux constituants, sous forme fractionnaire ou de pourcentage, ou le rapport combustible/comburant en nombre de moles, en volume ou en masse. On choisit l'une ou l'autre de ces représentations selon les situations.

P

(angl. asymptotic method) Procédé analytique de résolution de problèmes comportant un petit paramètre (l'inverse d'un nombre de Reynolds par exemple) où les solutions sont recherchées sous forme de développements asymptotiques (D.A.) à la limite formelle 0. Outre la longueur des calculs, souvent appréciables, les difficultés de mise en oeuvre sont que les fonctions de jauge et la dépendance en de l'ordre optimal sont inconnues a priori et qu'il faut souvent plusieurs D.A. pour atteindre une description complète de la solution : ainsi l'écoulement autour d'un obstacle à la limite = 1/Re 0 des grands nombres de Reynolds est différent suivant que le point où on le détermine est dans la couche limite (à une distance d'ordre 1/2 de l'obstacle) ou pas. Deux D.A. d'une même fonction dans les couches adjacentes sont mis en correspondance par raccordement (matching), c'est-à-dire par identification dans une zone "tampon".
Lorsqu'un problème comporte plusieurs petits paramètres, et ' par exemple, la méthode asymptotique requiert de préciser leur importance relative. On est ainsi amené à considérer une double limite particulière (distinguished limit) 0 et ' 0, selon laquelle un paramètre de similitude (exemple C = '/2/3) est maintenu fixe. En combustion un petit paramètre très utilisé est l'inverse = 1/Ze du nombre de Zel'dovich Ze, c'est-à-dire du rapport entre une température caractéristique d'un milieu en réaction et la température d'activation d'une réaction chimique s'y déroulant. Le groupement le = Ze (Le

- 1), reliant le nombre de Zel'dovich Ze » 1 et le nombre de Lewis Le 1 du combustible, est un important paramètre de similitude qui contrôle en partie la stabilité des flammes. **voir:** Développement asymptotique.

METHODE DE MALLARD ET LE CHATELIER

du nom des deux savants français Ernest Mallard (1833-1894) et Henry Le Châtelier (1850-1936), pionniers de l'étude scientifique de la combustion, dans les années 1880 **voir:** Méthode statique.

METHODE DU PYROMETRE

voir: Méthode statique.

METHODE STATIQUE

[appl. cinétique chimique à basse température] Méthode d'étude d'un système chimique en phase gazeuse qui consiste à introduire le mélange réactif à étudier dans un réacteur fermé et préalablement vidé, situé dans un four électrique. L'évolution du mélange en fonction du temps peut être suivie par enregistrement en continu de la température et de la pression dans le réacteur, par enregistrement des phénomènes lumineux et par l'analyse des gaz après prélèvement. Compte tenu du temps nécessaire pour que le mélange atteigne l'équilibre de pression et de température, cette technique n'est applicable que pour des temps de réaction de l'ordre de quelques dizaines de seconde ou supérieurs. Elle est donc surtout applicable à l'étude des oxydations lentes et à la détermination des températures et délais d'auto-inflammation assez longs. **équiv:** méthode de Mallard et Le Chatelier, méthode du pyromètre.

MODELE

du latin modulus : mesure Représentation mathématique (entité mathématique, équation, ensemble d'équations) d'un phénomène physique.

MODELE A DEUX FLUIDES

voir: Modèle eulérien.

MODELE BML

du nom des physiciens Bray, Moss et Libby Le modèle BML, auquel le nom de M. Champion est souvent ajouté et qui devient dans ce cas le modèle BMCL, permet le calcul des écoulements réactifs turbulents en régime de prémélange dans les cas où on peut les considérer comme des ensembles statistiques de flammes locales d'épaisseurs négligeables devant les échelles caractéristiques de la turbulence (flammelettes). Cette hypothèse correspond à la limite des grands nombres de Damköhler turbulents Da. On définit alors une fonction densité de probabilité (PDF en anglais) de la variable d'avancement de la combustion telle que la probabilité de trouver une flammelette, en un point donné de l'écoulement, et à un instant donné, est d'ordre 1/Da. L'utilisation de cette fonction conduit alors d'une part à une expression explicite du taux de production chimique moyen et d'autre part à des expressions des transports turbulents, spécifiques des écoulements réactifs. L'application de cette méthode probabiliste au calcul d'une flamme plate turbulente a permis en particulier de modéliser le mécanisme de production d'énergie cinétique turbulente par la flamme. **voir:** Flammelette.

MODELE CINETIQUE

voir: Mécanisme réactionnel.

MODELE CINETIQUE DETAILLE

voir: Mécanisme détaillé.

MODELE CINETIQUE GLOBAL

(angl. global mechanism) [appl. modélisation cinétique de la combustion] Mécanisme réactionnel incluant les réactifs et un petit nombre de produits reliés par une ou quelques réactions écrites sous forme de réactions chimiques globales. Les expressions cinétiques déduites d'un tel mécanisme font intervenir des constantes globales généralement écrites sous forme d'Arrhenius, mais qui sont en fait la combinaison d'un grand nombre de constantes de vitesse de réactions élémentaires. **voir:** Mécanisme détaillé, mécanisme réduit, modèle cinétique global, réaction globale.

MODELE CINETIQUE QUASI-GLOBAL

(angl. quasi-global mechanism) [appl. modélisation cinétique de la combustion] Terme utilisé par Edelman et Fortune (1969) pour désigner un mécanisme réactionnel incluant à la fois des réactions chimiques globales et des réactions élémentaires. La version initiale d'Edelman et Fortune, améliorée depuis, consistait en une étape globale d'oxydation partielle d'un hydrocarbure en H2 et CO, suivie d'un modèle plus détaillé (neuf réactions élémentaires) décrivant l'oxydation de CO et H2. Un tel modèle présente l'avantage de permettre le calcul assez précis de la température et de la composition des gaz brûlés. Il a l'inconvénient, en particulier, de mal représenter les premières étapes de la combustion et de ne pas prendre en compte les hydrocarbures intermédiaires. **équiv:** modèle cinétique semi-global. **voir:** Mécanisme détaillé, mécanisme réduit, modèle cinétique global, réaction globale.

MODELE CINETIQUE SEMI-GLOBAL

voir: Modèle cinétique quasi-global.

MODELE CINETIQUE SIMPLIFIE

voir: Mécanisme réduit.

MODELE DE BURKE-SHUMAN

[appl. T - T(1)]/[Tad - T(1)] Analyse, proposée en 1928, d'une flamme de diffusion dans le cas où la réaction est décrite par un schéma global irréversible et beaucoup plus rapide que la vitesse de mélange (grand nombre de Damköhler). Dans ces conditions extrêmes, la coexistence instantanée du combustible et de l'oxydant est impossible. Comme la réaction nécessite la présence instantanée des deux réactifs, le taux de réaction instantané est nul sauf sur la surface stoechiométrique (cf scalaire conservé, fraction de mélange) Z = Zs, où les fractions massiques des réactifs tendent vers 0, alors que l'enthalpie sensible et la fraction massique de produit tendent vers leur maximum (niveaux adiabatiques). A chaque instant l'espace est donc divisé en deux régions, de part et d'autre de la surface stoechiométrique, où les fractions massiques et l'enthalpie sensible sont des scalaires conservés qui varient linéairement avec la fraction de mélange. Du côté pauvre, Z < Zs ; YF = 0, YO/YO(2) = Z/Zs Du côté riche, Z > Zs ; YO = 0, YF/YF(1) = (1 - Z)/(1 - Zs)
Au delà de cette analyse, Burke et Shuman ont prévu la forme de la surface réactive, Z(r,h) = Zs, en coordonnées cylindriques dans un tube alimenté par deux écoulements coaxiaux de combustible (au centre) et d'oxydant de même vitesse où la vitesse radiale et la diffusion axiale étaient négligeables. En fonction des couples réactifs (valeur de Zs) et des diamètres relatifs des canaux, ils ont décrit la forme des flammes selon deux types principaux, les flammes surventilées qui se referment sur l'axe, et les flammes sous-ventilées qui atteignent les parois du tube. Cependant les résultats de cette approche ne peuvent pas s'appliquer de façon générale aux flammes de diffusion turbulente soumises à l'étirement. **voir:** Flammelette, fraction de mélange, scalaire conservé.

MODELE DE CHAMP

[appl. modélisation de la combustion] Modèle de combustion dans lequel une modélisation détaillée de la structure spatiale de la combustion est recherchée. Les inconnues sont les champs de vitesse, de température... Dans un modèle de champ, les vitesses, températures... sont des fonctions des coordonnées d'espace x, y, z et sont obtenues par résolution approchée d'équations différentielles. Par opposition le modèle de zone suppose la température constante par grandes zones et prend en compte des équations de bilan zone par zone. **voir:** Code de calcul, maillage.

MODELE DE TURBULENCE AUX TENSIONS DE REYNOLDS

(angl. Reynolds stress turbulence model, second moment closure) Le modèle de turbulence aux tensions de Reynolds consiste à ne pas faire l'hypothèse de viscosité turbulente, retenue pour exprimer les tensions de Reynolds dans le modèle de turbulence k-ε, mais à résoudre des équations de transport pour chaque composante du tenseur de Reynolds.
Les équations à résoudre ainsi que le choix des constantes de fermeture ne sont pas aussi "standards" que pour le modèle k-ε. Elles donnent encore lieu à des travaux de recherche. **équiv:** modèle de turbulence au second ordre, modèle Rij-. **voir:** Modèle k-epsilon, moyennes de Favre, tensions de Reynolds.

MODELE DE ZONE

[appl. modélisation de la combustion] **voir:** Modèle de champ.

MODELE EULERIEN

(angl. Eulerian modelling) [appl. calcul numérique en écoulement diphasique, combustion de liquides, de solides pulvérulents, en lit fluidisé] Le point de vue eulérien en mécanique des milieux continus est celui qui consiste à se placer dans un repère fixe et à observer les déformations du milieu. Les mouvements des deux phases en présence (gaz-liquide, gaz-solide) sont décrits par un système d'équations différentielles qui privilégie peu ou ne privilégie pas l'une des phases par rapport à l'autre. On résoud ainsi deux équations de bilan de masse, deux équations de bilan de quantité de mouvement, deux équations de bilan d'énergie...
Par rapport à la modélisation lagrangienne, le traitement des situations de fort couplage entre phases est facilement traité, les transitoires sont facilement calculés, l'extension aux lits fluidisés est possible, le mode d'emploi pour un utilisateur est plus facile. Par contre, la prise en compte de granulométries étendues est malaisée.
Le système d'équations type est le suivant, où l'indice k prend les valeurs 1 ou 2 pour l'une ou l'autre des phases, α désigne le taux de présence de chaque phase,ρ, U et H sont respectivement la masse volumique moyenne, la vitesse moyenne et l'enthalpie moyenne de chaque phase, et P la pression moyenne de la phase continue. Γ, F et Π représentent des termes d'échange de masse, quantité de mouvement, énergie entre phases, qu'il faut modéliser, en général à partir de l'analyse du comportement d'une inclusion isolée. Les termes entre crochets $< ... >$ sont des corrélations entre fluctuations qui tiennent compte notamment des fluctuations turbulentes. T_{ij} est le tenseur des contraintes visqueuses et T est le vecteur de flux conductif de quantité de chaleur, construits à partir des vitesse et température moyennes des deux phases. g est la gravité.

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k}{\partial t} + \frac{\partial \alpha_k \rho_k U_{k,j}}{\partial t} = \Gamma_k$$

$$\frac{\partial U_{k,i}}{\partial t} + U_{k,j}\frac{\partial U_{k,i}}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_k}\frac{\partial P_k}{\partial x_i} + \frac{1}{\alpha_k \rho_k}\frac{\partial \alpha_k T_{k,ij}}{\partial x_j} + g_i - \frac{1}{\alpha_k \rho_k}\frac{\langle \rho U_i^{"} U_j^{"} \rangle}{\partial x_j}$$

$$\alpha_k \rho_k \frac{\partial H_k}{\partial t} + \alpha_k \rho_k U_{k,j}\frac{\partial H_k}{\partial H_k} = div\left(\frac{\lambda}{\alpha_k}\overrightarrow{\alpha_k T_k}\right) - \frac{\partial \langle \rho U_j^{"} h_j^{"} \rangle}{\partial x_j} + \Pi_k - H_k$$

équiv: modèle à deux fluides. **voir:** Modèle lagrangien.

MODELE GLOBAL

voir: Modèle cinétique global.

MODELE K-EPSILON

(angl. k-ε model) [appl. calcul numérique d'un écoulement turbulent] Modèle de turbulence le plus utilisé en pratique, dû à Launder et Spalding (1974). Il consiste à introduire dans les équations de Navier-Stokes moyennées (ou équations de Reynolds) une viscosité turbulente pour modéliser les tensions de Reynolds et une diffusivité turbulente pour représenter les flux turbulents de masse et de quantité de chaleur. Cette viscosité est calculée à partir de deux grandeurs : l'énergie turbulente par unité de masse k et la dissipation par unité de masse . Ces deux grandeurs sont obtenues chacune par résolution d'une équation de transport. **équiv:** modèle à deux équations de transport.

MODELE LAGRANGIEN

(angl. Lagrangian modelling) [appl. calcul numérique en écoulement diphasique, combustion de liquides, de solides pulvérulents] Le point de vue lagrangien en mécanique des milieux continus est celui qui consiste à se placer dans un référentiel lié au milieu pour observer les déformations du milieu. Pour décrire les mouvements des deux phases en présence (gaz-liquide, gaz-solide), on dissymétrise les deux phases. La phase continue est décrite par les équations habituelles de la mécanique des fluides, avec modèle de turbulence. La phase dispersée est décrite par la simulation du comportement d'un certain nombre de "particules" discrètes dont on suit les trajectoires et les bilans énergétiques.
Pour représenter correctement la dispersion turbulente des particules, il faut simuler des fluctuations de vitesse du gaz porteur par des tirages aléatoires de fluctuations de vitesse satisfaisant à des corrélations définies par le modèle de turbulence de la phase continue. Pour pouvoir faire des statistiques, il faut simuler ainsi un grand nombre de particules.
Par rapport à la modélisation eulérienne, l'introduction des termes d'échange entre phases est très naturelle, la prise en compte de granulométries étendues est facile. En revanche, la mise en oeuvre du processus de génération stochastique des fluctuations de vitesse et le traitement statistique des résultats peuvent être lourds et l'extension vers des situations de fort couplage entre phases ou vers les lits fluidisés est difficile.
L'équation de base est celle du bilan de quantité de mouvement d'une inclusion, où l'indice 2 se rapporte à la vitesse ou à la masse volumique de l'inclusion, l'indice 1 à la phase continue. $\overrightarrow{V_r}$ est la vitesse relative de l'inclusion par rapport au fluide qui occuperait la même position géométrique en l'absence de l'inclusion. Une force correspondant à l'historique des mouvements de la particule, appelée force de Basset, a été négligée ici. V est le volume de l'inclusion.

$$\rho_2 V \frac{d\overrightarrow{U_2}}{dt} = V\left(\rho_2 - \rho_1\right)\overrightarrow{g} - \frac{1}{2}\rho_1 C_D S_D \overrightarrow{V_r}\left|V_r\right| - V\overrightarrow{\bigtriangledown P^*} - rho_1 V C_i \frac{d\overrightarrow{V_r}}{dt} + \overrightarrow{F_P}$$

avec : g gravité, C_D trainée, P^* pression, ? masse ajoutée, $\overrightarrow{F_P}$ portance **équiv:** lacher de particules. **voir:** Modèle eulérien, modèle k-epsilon.

MODELE QUASI-GLOBAL

voir: Modèle cinétique quasi-global.

MODELE REDUIT

voir: Mécanisme réduit.

MODELE SEMI-GLOBAL

voir: Modèle cinétique quasi-global.

MODELE SIMPLIFIE

voir: Mécanisme réduit.

MODELE SQUELETTIQUE

(angl. skeletal model) Expression surtout utilisée en anglais, équivalente à mécanisme réduit. **voir:** Mécanisme réduit.

MODELE THERMIQUE DE FLAMME

Modèle dû à Mallard et Le Chatelier (1883). Analyse thermique d'une flamme plane laminaire se propageant par conduction dans un prémélange. La célérité constante SL (par rapport aux gaz frais) de l'onde de déflagration étant largement subsonique, la pression est pratiquement constante et donc le flux massique U = 0SL. La flamme est divisée en trois zones : la zone de préchauffage où la température des gaz croît progressivement de T0 à la température d'inflammation Ti uniquement par conduction thermique en provenance de la zone réactive adjacente, la zone de réaction exothermique (le front de flamme) de faible épaisseur R où la température croît linéairement de Ti à TF (l'énergie d'activation de la réaction étant assez élevée, la température d'inflammation est assez proche de la température finale TF), la zone de gaz brûlés où les réactifs sont épuisés et les gaz brûlés sont laissés à la température TF qui reste constante.
Le bilan énergétique dans la zone de préchauffage impose l'équilibre entre le flux thermique conduit depuis la zone réactive, (TF - Ti)/R, et le taux d'accroissement de l'enthalpie dans la zone de préchauffage, UCp(Ti - T0). On en déduit la célérité de l'onde de déflagration : SL = U0 = (/0Cp).((TF - Ti)/(Ti - T0)).(L'épaisseur réactive R étant reliée au taux de réaction par R = Ui/ TFSL/T0, la vitesse de flamme s'écrit SL = ((/0Cp).(TF - Ti)/(Ti - T0).(T0/TF).)1/2.
Pour une réaction chimique du deuxième ordre, le taux de réaction croît linéairement avec la pression. Comme la diffusivité thermique /0Cp décroît comme 1/P, la vitesse de flamme est indépendante de la pression ambiante. Cependant l'épaisseur du front de flamme varie

comme 1/P.
Bien qu'elle ait fourni des résultats très importants sur l'influence globale de la température et de la pression sur la vitesse et l'épaisseur de la flamme, cette analyse est limitée car elle ne prend pas en compte le rôle complémentaire et couplé des espèces radicalaires de la zone réactive qui diffusent vers les gaz frais. **voir:** Déflagration, flamme de prémélange.

MOLECULARITE

[appl. réaction chimique] Nombre d'entités moléculaires réactionnelles impliquées dans l'acte chimique microscopique correspondant à une réaction élémentaire. Les réactions de molécularité un, deux ou trois sont respectivement qualifiées de monomoléculaires (ou unimoléculaires), de bimoléculaires ou de trimoléculaires.

MON

initiales pour Motor Octane Number : indice d'octane moteur **voir:** Indice d'octane.

MONERGOL

(angl. monopropellant) [appl. propulsion] Propergol composé d'un seul ergol. Exemples : peroxyde d'hydrogène, hydrazine. **voir:** Ergol.

MONOMOLECULAIRE

voir: Réaction unimoléculaire.

MOTEUR

du latin movere : mouvoir Appareil transformant une énergie non directement utilisable (énergie chimique, thermique, hydraulique...) en énergie mécanique sous forme directement utilisable, permettant l'entraînement de machines ou de véhicules.

MOTEUR A ALLUMAGE COMMANDE

(angl. knock) correspond au départ à une auto-inflammation non contrôlée d'une partie du mélange carburant-air résultant d'un accroissement de température par compression par les gaz déjà brûlés) (all. Otto-Motor) Définition française normalisée : moteur à allumage commandé fonctionnant suivant le cycle de Beau de Rochas (note : il s'agit d'un terme générique pour désigner, par opposition au moteur Diesel, des moteurs fonctionnant à l'essence, à l'alcool, aux gaz de pétrole liquéfiés...).
Le carburant (essence, supercarburant) et l'air sont mélangés avant leur injection dans le cylindre. Pour des conditions normales, l'inflammation est provoquée un peu avant la fin de la compression par décharge électrique entre les deux électrodes d'une bougie. Une flamme de prémélange et turbulente se propage jusqu'à atteindre les parois. La durée de combustion reste comprise entre 30 et 90deg. de rotation du vilebrequin. Du fait, entre autres, des variables d'écoulement et de concentrations au voisinage de la bougie existent d'importantes variations de pression d'un cycle à un autre. Deux types de combustions anormales sont observés. Le cliquetis (L'allumage par parois chaudes, soupapes surchauffées ou bougies défectueuses, perturbe également la combustion normale. **équiv:** moteur à étincelles, moteur à essence. **voir:** Cliquetis, moteur à combustion interne.

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

(angl. equivalent ratio) est le principal paramètre conditionnant la combustion dans les moteurs) Système produisant de l'énergie mécanique à partir de l'énergie chimique dégagée par la combustion d'un carburant à l'intérieur d'un volume fermé. En pratique la combustion est réalisée dans un cylindre entre le piston et la culasse. La transformation énergétique dépend des cycles thermodynamiques réalisés sur une (moteur deux temps) ou deux rotations (moteur quatre temps) du vilebrequin déplaçant le piston. Les principales caractéristiques des moteurs sont : performance, gamme de fonctionnement, consommation spécifique en carburant, pollutions émises, bruit, coûts, durabilité. La richesse (**voir:** Richesse.

MOTEUR A COMPRESSION

voir: Moteur Diesel.

MOTEUR A ESSENCE

voir: Moteur à allumage commandé.

MOTEUR A ETINCELLES

voir: Moteur à allumage commandé.

MOTEUR ANAEROBIE

[appl. propulsion] Propulseur n'utilisant pas l'air dans la production du flux propulsif. Exemple : moteur-fusée.

MOTEUR DIESEL

(angl. compression ignition engine) L'air seul est admis en début de cycle. Le carburant est injecté sous forme initiale de jet liquide vers la fin du cycle de compression, alors que l'air admis a été fortement chauffé par compression. Le carburant liquide s'atomise dynamiquement en fines gouttelettes, se vaporise et sa vapeur se mélange avec l'air. La température d'auto-inflammation étant dépassée, la combustion apparaît et se propage dans tout le jet de gouttelettes. Le début de combustion dépend d'un délai physique d'obtention d'un mélange localement stoechiométrique et d'un délai chimique lié à la cinétique chimique. La combustion est hétérogène et non permanente. Pour faciliter les mélanges, l'air admis a une structure organisée, le plus souvent de type

rotation proche de celle d'un solide (écoulement hélicoïdal ou swirl). **équiv:** moteur à compression. **voir:** Ecoulement hélicoïdal, moteur à combustion interne.

MOTEUR FUSEE

(angl. rocket engine) [appl. propulsion] Propulseur à réaction, emportant le comburant et le combustible nécessaires à son fonctionnement, notamment dans le vide spatial. Le moteur fusée crée une force par éjection d'une partie de sa masse initiale. Des gaz portés à haute pression et haute température sont accélérés à travers une tuyère convergente-divergente, engendrant ainsi une poussée. L'apport énergétique nécessaire à l'élévation de pression peut être dû à une réaction chimique du type combustion mais aussi à d'autres processus (réaction thermonucléaire, phénomènes magnétohydrodynamiques...) Dans le premier cas, deux types de moteurs sont à considérer. Les réactifs (ergols) peuvent être stockés sous forme liquide à l'extérieur de la chambre de combustion : ce sont les moteurs fusées à propergol liquide. Les réactifs peuvent également être présents dès le départ sous forme solide dans la chambre de combustion : ce sont les moteurs fusées à propergol solide ou "à poudre". Le caractère anaérobie des moteurs fusées les rend particulièrement aptes à la propulsion à haute vitesse et extra-atmosphérique. On peut noter qu'il s'agit d'un des plus anciens types de moteurs, puisqu'il a été inventé en Chine vers le 9ème siècle de notre ère. **voir:** Autopropulsion, ergol, impulsion spécifique, propergol, propulsion, statoréacteur, turboréacteur.

MOYENNES DE FAVRE

(angl. Favre average, density-weighted average, mass-weighted average) *du nom du mécanicien des fluides A. Favre* [appl. analyse des écoulements turbulents à masse volumique variable] Cette moyenne pondérée par la masse a été introduite par A. Favre pour prendre en compte la nature inertielle des différents phénomènes qui interagissent en mécanique des fluides. L'écriture des équations de conservation est considérablement simplifiée par l'usage de cette moyenne pondérée avec laquelle de nombreux termes de corrélation ne sont plus apparents. Expérimentalement cette procédure est bien adaptée aux techniques de mesure par tube de Pitot ou par fils, qui détectent effectivement des flux massiques. Des techniques optiques donnent accès aux mesures conventionnelles (moyenne de Reynolds).
La moyenne de Favre d'une grandeur G s'exprime par $\tilde{G} = \frac{\rho \bar{G}}{\bar{\rho}}$, où est la masse volumique et où la barre horizontale désigne la moyenne statistique classique de Reynolds (moyenne d'ensemble), qui tend vers la moyenne temporelle si le phénomène est permanent. En explicitant $G = \bar{G} + G'$ où G' est la fluctuation par rapport à la moyenne de Reynolds, on obtient la relation $\tilde{G} = \bar{G} + \frac{\rho' \bar{G}'}{\bar{\rho}}$. Des différences importantes peuvent être observées entre les deux types de moyenne. Notamment les moyennes de Favre de la température ou de la vitesse sont inférieures aux moyennes de Reynolds correspondantes dans les zones de forte turbulence (et surtout d'intermittence) traversées par des déflagrations pour lesquelles les termes de corrélation $\rho' \bar{T}'$ et $\rho' \bar{V}'$ sont négatifs. On note en général G" la fluctuation de G par rapport à sa moyenne de Favre : $G" = G - \tilde{G}$. Ainsi, contrairement à la fluctuation de Reynolds ($\bar{G}' = 0$ par définition), la moyenne statistique de G" n'est pas nulle($\bar{G}" = -\frac{\rho' \bar{G}'}{\bar{\rho}}$). **équiv:** moyenne pondérée par la masse volumique. **voir:** Simulation directe, modèle k-epsilon.

MOYENNE PONDEREE PAR LA MASSE VOLUMIQUE

voir: Moyennes de Favre.

N

NAVIER

nom de l'ingénieur français Henri Navier (1785-1836) H. Navier a établi une théorie générale de l'élasticité et a étudié l'écoulement des liquides dans les tuyaux. Les équations fondamentales de la mécanique des fluides portent son nom. **voir:** Equations de Navier-Stokes.

NO COMBUSTIBLE

(angl. fuel NO) Oxyde d'azote formé lors de la combustion d'un corps, généralement organique, contenant de l'azote dans sa structure moléculaire ou dans la structure moléculaire de l'un de ses constituants (amines, nitriles, pyridines...). L'énergie de liaison de l'atome N dans ces différentes structures moléculaires ne dépasse pas 630 kJ/mol environ, alors qu'elle atteint 945 kJ/mol pour l'azote moléculaire N2. On peut en déduire que le NO combustible doit être formé plus facilement que le NO issu de l'azote moléculaire. Le mécanisme de formation du NO combustible semble être le suivant. Le corps azoté se transforme dans le front de flamme en dérivés azotés secondaires par réaction avec les radicaux hydrocarbonés présents dans cette zone. Ces réactions peuvent aboutir à des atomes N et former ensuite du NO par le même mécanisme que celui du NO thermique. Corps azoté, dérivés azotés secondaires, atomes N peuvent être oxydés directement en NO par réaction avec une espèce contenant de l'oxygène : O, O2, OH... De façon compétitive, ils peuvent réagir eux-mêmes avec NO et former de l'azote. Les différences d'énergies d'activation entre ces deux types de processus est faible, inférieures à 40 kJ/mol. La température aura donc peu d'influence pour orienter vers l'un ou l'autre de ces processus. Par contre la richese a une grande influence. En mélange pauvre les corps azotés se transformeront préférentiellement en NO. En mélange riche le défaut d'oxygène dans la flamme tendra à favoriser la formation d'azote. **équiv:** NO du fuel. **voir:** NO précoce, NO thermique, oxydes d'azote.

NOIR DE CARBONE

(angl. carbon black) Le noir de carbone, souvent nommé par son équivalent anglais carbon black, est un matériau carboné colloïdal fabriqué industriellement, qui se présente sous forme de sphères et d'agrégats de ces sphères et dont les dimensions sont généralement inférieures à 10 à 1000 nm (les mêmes dimensions sont observées pour les noirs de carbone trouvés dans les sédiments organiques). Le processus industriel de fabrication consiste en une décomposition thermique (incluant la détonation) ou une combustion incomplète de composés contenant carbone et hydrogène (hydrocarbures gazeux). Pour des raisons historiques, le noir de carbone a parfois été considéré, à tort, comme une forme de suie. Si la suie est formée dans des conditions non contrôlées, il n'en est pas de même pour le noir de carbone. En outre, noir de carbone et suie se distinguent par leur taux de goudrons, de cendres et d'impuretés.

NOMBRE DE CFL

initiales de Courant, Friedrich et Levy **voir:** Nombre de Courant.

NOMBRE DE COURANT

(angl. Courant number ou CFL number) *du nom du mathématicien R. Courant* [appl. calcul numérique en mécanique des fluides] Le nombre de Courant Nc est la mise sous forme adimensionnelle du pas de discrétisation en temps utilisé pour la résolution numérique des équations différentielles en mécanique des fluides.
La stabilité d'un schéma de discrétisation en temps s'exprime souvent en terme de valeur du nombre de Courant à ne pas dépasser. Pour l'utilisateur d'un logiciel de calcul d'écoulement, le nombre de Courant est un indicateur adimensionnel de la valeur du pas de temps.
Nc = C t/x, où t est le pas de temps, x est le pas du maillage dans l'espace, C est soit la célérité acoustique (cas des algorithmes issus des écoulements compressibles ou qui utilisent une compression artificielle : on parle alors de nombre de Courant de propagation), soit la vitesse du fluide (cas des algorithmes dérivés des méthodes pour les écoulements incompressibles : on parle alors de nombre de Courant de convection). **équiv:** nombre de CFL (Courant-Friedrich-Levy). **voir:** Diffusion numérique, maillage.

NOMBRE DE FROUDE

(angl. Froude number) *du nom du physicien britannique William Froude (1810-1879)* Nombre adimensionnel construit à partir de la vitesse V, de la dimension caractéristique d et de l'accélération de la pesanteur g. Il est généralement utilisé pour quantifier l'influence relative des forces de gravité. $F = \frac{V}{/} gd^0.5$.

NOMBRE DE FROUDE REDUIT

(angl. reduced Froude number, densimetric Froude number) [appl. écoulements de convection mixte]

Nombre de Froude dans lequel la gravité g est remplacée par la gravité réduite de la poussée d'Archimède, à partir de deux densités caractéristiques et o : Fr = V/(gd(-o)/)0,5. Ce nombre est sans dimension. **voir:** Nombre de Froude.

NOMBRE DE GRASHOF

(angl. Grashof number) [appl. écoulements de convection naturelle] Ce nombre adimensionnel est une combinaison du nombre de Reynolds et du nombre de Froude réduit. Il est utilisé dans l'étude de la convection naturelle, quand il n'existe pas d'échelle de vitesse significative permettant de construire le nombre de Reynolds et le nombre de Froude réduit. $Gr = \left(\frac{Re}{Fr}\right)^2$. **voir:** Nombre de Froude réduit, nombre de Reynolds.

NOMBRE DE KNUDSEN

du nom du physicien danois Martin Knudsen (1871-1949), qui a établi les lois cinétiques des gaz raréfiés Rapport du libre parcours moyen des molécules à la plus grande dimension de l'obstacle. Lorsque ce nombre n'est plus négligeable devant 1, on est en présence d'un gaz raréfié où la mécanique des fluides obéit à d'autres lois que les lois classiques.

NOMBRE DE LEWIS

(angl. Lewis number)

NOMBRE DE MACH

NOMBRE DE NUSSELT

(angl. Nusselt number) Nu = hL/. Groupement sans dimension du coefficient d'échange convectif h, d'une échelle de longueur caractéristique L et de la conductivité thermique du fluide . Il intervient dans la caractérisation énergétique des transferts de chaleur entre une surface solide ou liquide et un fluide monophasique ou polyphasique en mouvement. En convection forcée, il est lié au nombre de Reynolds et au nombre de Prandtl. Il précise l'importance relative du flux de chaleur réellement transmis par convection vis-à-vis d'un flux de chaleur conductif de référence pour le problème. Son expression est formellement identique à celle du nombre de Biot intervenant en conduction instationnaire mais qui fait intervenir une conductivité de solide. La détermination du nombre de Nusselt en fonction des caractéristiques dynamiques et physiques du fluide et des caractéristiques géométriques des parois est un problème central de la thermique et de la combustion. Les méthodes numériques prévisionnelles sont de plus en plus utilisées. Des analogies entre transferts de chaleur, de masse et de quantité de mouvement sont souvent employées.

NOMBRE DE PECLET

(angl. Péclet number) Pe = VLCp/ = Re.Pr, avec masse volumique, conductivité thermique, Cp chaleur spécifique, V échelle de vitesse du fluide, L échelle de longueur, Re nombre de Reynolds et Pr nombre de Prandtl. Groupement sans dimension, caractéristique, pour les transferts convectifs en milieu fluide, de l'importance relative d'un flux convectif pur vis-à-vis d'un flux convectif de référence. Il joue le même rôle de paramètre dans l'équation d'énergie que le nombre de Reynolds dans l'équation de Navier-Stokes. Il est relié au nombre de Stanton St ou de Margoulis par St = Nu/Pe, où Nu est le nombre de Nusselt. **voir:** Convection.

NOMBRE DE PRANDTL

(angl. Prandtl number) *du nom du physicien allemand Ludwig Prandtl (1875-1953), spécialiste de mécanique des fluides* Nombre sans dimension, rapport de la viscosité cinématique à la diffusivité thermique.

NOMBRE DE REYNOLDS

(angl. Reynolds number) Re = VL/, avec masse volumique, V échelle de vitesse, L échelle de longueur et viscosité dynamique. Groupement sans dimension qui caractérise dans un écoulement le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité qui s'exercent sur l'unité de volume d'un fluide newtonien. Pour des nombres de Reynolds égaux, les équations de Navier-Stokes adimensionnalisées ont une même solution. Le nombre de Reynolds est un paramètre clé contrôlant la stabilité des écoulements. Sa valeur fixe le type de régime d'écoulement rencontré. Au-dessous d'une valeur critique de Re, un écoulement est toujours en régime laminaire. Au-dessus de cette valeur critique, un régime turbulent peut se développer. La valeur du nombre de Reynolds critique dépend de la géométrie (interne ou externe) de l'écoulement et des arbitraires liés au choix des échelles caractéristiques : 2 200 en conduite en utilisant le diamètre et la vitesse de débit, autour de 105 en couche limite sur plaque plane en utilisant la longueur comme distance.

NOMBRE DE SCHMIDT

(angl. Schmidt number) Nombre sans dimension, rapport de la viscosité cinématique au coefficient de diffusion moléculaire d'une espèce.

NOMBRE DE STOKES

NOMBRE DE SWIRL

voir: Swirl.

NO PRECOCE

(angl. prompt NO) Dans le front de flamme, l'azote moléculaire est susceptible de réagir avec les différentes espèces hydrocarbonées présentes, pour former des dérivés azoto-carbonés susceptibles d'être oxydés en NO (de la même façon que dans le cas du mécanisme du NO combustible). Dans la mesure où ce mécanisme de formation de NO fait intervenir l'azote moléculaire en amont du mécanisme de formation du NO thermique

(mécanisme de Zel'dovich), il a été appelé mécanisme du NO précoce. **voir:** NO combustible, NO thermique, oxydes d'azote.

NO THERMIQUE

Dans la région des produits de combustion, la formation de NO est régie par un mécanisme dont les principales réactions sont : $O + N_2 \rightleftarrows N + NO$ et $N + O_2 \rightleftarrows O + NO$. On peut rajouter également $N + OH \rightleftarrows NO + H$ en mélange riche. La vitesse de formation de NO par ce mécanisme à partir de l'azote moléculaire, dit mécanisme de Zel'dovich, dépend très fortement de la température : on peut admettre que l'énergie d'activation de la formation de NO par ce mécanisme est de l'ordre de 560 kJ/mol. Plus près du front de flamme, là où la concentration en atomes O est supérieure à la valeur à l'équilibre, l'expression cinétique est différente et l'énergie cinétique est plus faible. Dans le front de flamme lui-même, ce mécanisme existe aussi, mais un autre mécanisme s'y ajoute, dit mécanisme du NO précoce. **voir:** NO combustible, NO précoce, oxydes d'azote.

NOx

voir: NO combustible, NO précoce, NO thermique, oxydes d'azote.

NUCLEATION

du latin nucleus : noyau (angl. nucleation, particle inception) (all. Nucleation, Kernbildung) **équiv:** condensation. [appl. formation des suies] La nucléation est le premier processus mis en jeu lors de la formation des suies. C'est la condensation par un processus en général radicalaire d'hydrocarbures pour former un noyau ayant une masse de l'ordre de 2 000 u.m.a. Ce mécanisme est en général très rapide et a lieu dans la zone la plus riche de la flamme. Le nombre de noyaux formés est très élevé et diminue ensuite par agglomération (coagulation et coalescence). **voir:** Agglomération, suie.

O

OMBROSCOPIE

(angl. shadowscopy) *du latin umbra : ombre* [appl. diagnostic optique] Visualisation des gradients transverses de l'indice du milieu traversé. Le faisceau incident est globalement dévié par les gradients transverses moyens. La structure du faisceau transmis est modifiée par les inhomogénéités de ces gradients. L'éclairement relatif sur l'ombre portée est proportionnel à la dérivée seconde des gradients transverses de la densité traversée (m-2). L'ombroscopie est une des techniques les plus simples de visualisation. Les modulations de l'éclairement d'un écran, dues aux variations de l'indice (causées par des variations de densité, elles-mêmes dues à des variations de pression ou de température) peuvent être interprétées comme l'intersection de caustiques, et, dans certaines conditions, peuvent conduire à des résultats quantitatifs. **équiv:** déflectoscopie, effet mirage.

V.

trioscopie.

ONDE ACOUSTIQUE

voir: Onde sonore.

ONDE DE CHOC

(angl. shock wave) [appl. détonique] Surface de discontinuité des grandeurs thermomécaniques dans un milieu gazeux ou condensé considéré comme inerte chimiquement. Par rapport au milieu dans lequel elle se propage, l'onde de choc est caractérisée par une célérité supersonique et une surpression. Connaissant l'état initial (1), toutes les caractéristiques de l'état choqué (2) peuvent être déduites des lois de conservation à travers la discontinuité à condition d'introduire une grandeur complémentaire (par exemple la célérité, la surpression...). Elle est créée par un apport d'énergie (piston, explosion). Elle peut être droite (orthogonale à sa direction de propagation) ou oblique (inclinée par rapport à sa direction de propagation) sans pour cela être obligatoirement plane.
voir: Equation de Hugoniot.

ONDE DE CHOC INCIDENTE

(angl. incident shock wave) [appl. détonique] Onde de choc se propageant librement avant toute interaction avec un autre milieu.
voir: Onde de choc, onde de choc réfléchie, onde de choc transmise.

ONDE DE CHOC REFLECHIE

(angl. reflected shock wave) [appl. détonique] Lors d'une interaction d'une onde de choc incidente avec un milieu différent du milieu initial (solide ou gazeux), une onde réfléchie apparaît. La réflexion peut être normale ou oblique. Dans ce dernier cas, lorsque l'onde de choc rencontre un milieu solide, selon son intensité et son angle d'incidence, la réflexion peut être régulière ou de Mach (formation d'un point triple, onde de Mach ou onde en . Dans des cas simples, des lois analytiques ou semi-empiriques permettent de prévoir les caractéristiques de l'onde réfléchie.
voir: Onde de choc, onde de choc incidente, onde de choc transmise.

ONDE DE CHOC TRANSMISE

(angl. transmitted shock wave) [appl. détonique] Lors de l'interaction d'une onde de choc incidente avec un milieu différent du milieu initial (solide ou gazeux), une onde transmise se propage dans le second milieu. Ses caractéristiques et éventuellement son obliquité sont dépendantes du rapport des impédances mécaniques des deux milieux.
voir: Onde de choc, onde de choc incidente, onde de choc réfléchie.

ONDE DE DETONATION

(angl. detonation wave) [appl. détonique] Surface de discontinuité des grandeurs thermomécaniques dans un milieu gazeux ou condensé considéré comme chimiquement réactif. Par rapport au milieu dans lequel elle se propage, l'onde de détonation est caractérisée par une célérité supersonique et une surpression. Connaissant l'état initial (1), toutes les caractéristiques de l'état des produits de détonation peuvent être déduites des lois de conservation à travers la discontinuité (branche supérieure, $2 > 1$, de l'adiabatique dynamique de Crussard). Un régime particulier de propagation (détonation critique) est défini à l'aide de la condition de Chapman-Jouguet (notion de stabilité). Elle peut être droite (orthogonale à sa direction de propagation) ou oblique (inclinée par rapport à sa direction de propagation) sans pour cela être obligatoirement plane. La structure de l'onde de détonation peut aussi être envisagée comme l'intime association d'une onde de choc et d'une zone de réaction chimique immédiatement en aval. L'état choqué correspond alors au pic ZND. La détonation ne peut se maintenir que si l'apport d'énergie lié à la transformation chimique du milieu réactif est suffisamment rapide.

Les valeurs du rapport p2/p1 des pressions est de l'ordre de quelques dizaines pour les gaz et de quelques 105 pour les explosifs condensés.
voir: Condition de Chapman-Jouguet, détonation, équation de Crussard, pic ZND.

ONDE DE SOUFFLE

(angl. blast wave) [appl. détonique] Onde de pression engendrée par une explosion dans le milieu environnant. Lors d'une explosion chimique, ses caractéristiques sont liées au processus d'explosion : déflagration ou détonation. Dans le premier cas, l'onde est pratiquement sonique et l'écart de pression par rapport à la pression ambiante, d'abord positif, devient négatif. Les impulsions, correspondant à chacune des phases, sont de même ordre de grandeur. Dans le second cas, l'onde de souffle est une onde de choc supersonique qui s'atténue rapidement. La surpression positive présente un front très raide (pic de surpression) suivi d'une forte décroissance et d'une partie négative étalée. Dans ce même cas, des lois de similitude peuvent être mises en évidence, liant les effets semblables de détonations différentes. Les ondes de souffle ont des conséquences importantes sur les humains et les structures. Leurs effets mécaniques sont pris en compte lors d'une démarche sécuritaire.
voir: Loi de Hopkinson.

ONDE SONORE

(angl. sound wave) L'onde sonore est une perturbation de faible amplitude (dP/P«1) se déplaçant avec une célérité a telle que a = P/ avec = (H/U)S, où P est la pression, la masse volumique, H l'enthalpie, U l'énergie interne et S l'entropie, le coefficient étant le coefficient polytropique ou la dérivée (H/U) le long d'une isentropique. **équiv:** onde acoustique, vitesse du son.

OPACITE

(angl. opacity) [appl. feu, incendie] L'opacité d'une fumée est le rapport I/T du flux lumineux incident I au flux lumineux transmis T à travers la fumée dans des conditions d'essai spécifiées. La densité optique de la fumée est le logarithme décimal de l'opacité log(I/T).
voir: Epaisseur optique.

ORDRE GLOBAL

[appl. cinétique chimique] Somme des ordres partiels affectant les réactifs déterminants d'un réaction. Selon l'avancement de la réaction, on définit un ordre global courant (à avancement quelconque) ou un ordre global initial (à avancement nul).
voir: Ordre partiel.

ORDRE PARTIEL

[appl. cinétique chimique] Grandeur purement expérimentale régissant la loi de dépendance d'une vitesse de réaction en fonction des concentrations des réactifs. Pour une réaction admettant une équation stoechiométrique du type a1A1 +... aiAi ...+ amAm b1B1 +... bjBj ...+ bnBn, où les composés Ai symbolisent les réactifs et les composés Bj les produits formés et où ai et bj représentent les coefficients stoechiométriques respectifs des espèces Ai et Bj, la loi de Guldberg et Waage s'écrit r = k.(Ai)1...(Ai)i...(Am)m. k définit la constante de vitesse de la réaction pour un avancement quelconque de la réaction. Cette loi, qui fournit la relation de dépendance de la vitesse courante r d'une réaction avec les concentrations courantes (Ai) des réactifs, permet de définir les ordres partiels courants i par rapport aux réactifs correspondants. Ce sont des grandeurs expérimentales admettant des valeurs a priori quelconques. A l'exception des réactions élémentaires, pour lesquelles on a i = ai, les ordres partiels de réaction sont en général différents des coefficients stoechiométriques affectant les réactifs correspondants. Si la réaction étudiée relève d'un mécanisme complexe, la valeur des ordres partiels peut dépendre de l'avancement de la réaction. A avancement nul, la vitesse initiale r0 de réaction s'exprime en fonction des concentrations initiales (Ai)0 des réactifs et devient alors r0 = k0.(A1)1,0...(Ai)i,0...(Am)m,0. i,0 définit l'ordre partiel de la réaction par rapport au réactif Ai. Comme i, i,0 est une grandeur expérimentale a priori différente de ai.

ORDRE REACTIONNEL

[appl. cinétique chimique] Une réaction est d'ordre par rapport à un constituant si la vitesse est proportionnelle à la concentration de ce constituant élevée à la puissance . On distingue les ordres initiaux 0, relatifs à la vitesse initiale r0, et les ordres courants (ou encore ordres au cours du temps) relatifs à la vitesse courante r.
voir: Vitesse courante, vitesse initiale.

OUVREAU

(angl. quarl) [appl. application de la combustion dans l'industrie] Partie d'un brûleur réalisée en matériau réfractaire, située au débouché du comburant et du combustible, confinant l'écoulement dans cette zone. Les brûleurs à mélange au nez sont toujours munis d'un ouvreau qui favorise la stabilisation de la combustion. En jouant sur la géométrie de l'ouvreau, on peut modifier la forme et la structure de la flamme.
voir: Brûleur à mélange au nez.

OXYDANT

voir: Pauvre.

OXYDATION

voir: Combustion lente.

OXYDATION LENTE

voir: Combustion lente.

OXYDES D'AZOTE

(angl. nitrogen oxides) [appl. polluants de la combustion] Composés constitués d'azote et d'oxygène dont les principaux sont l'oxyde nitrique (NO), le dioxyde d'azote (NO_2) et l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N_2O), ce dernier étant généralement considéré à part car il présente une durée de vie beaucoup plus grande (125 ans). Produits par des processus biologiques ou par la combustion, ils sont émis dans l'atmosphère où ils participent de façon importante à différents mécanismes photochimiques (pollution photo-oxydante dans la basse atmosphère, diminution de l'ozone stratosphérique). La part de la combustion dans les émissions annuelles globales d'oxydes d'azote est de l'ordre de 70 % (45 % et 25 % seraient dus respectivement à la combustion des combustibles fossiles et de la biomasse).
NO et NO_2 sont regroupés sous le terme NOx, mais c'est le premier qui prédomine largement. Les calculs d'équilibre thermodynamique dans les gaz brûlés montrent d'ailleurs que la concentration en NO_2 devrait être pratiquement négligeable devant celle de NO. Dans le cas des moteurs à allumage commandé, ce résultat est à peu près atteint, sauf pour un fonctionnement prolongé au ralenti. Il n'en est pas de même pour les moteurs Diesel, en particulier à faible charge, où 30 % des NOx peuvent être sous la forme NO_2. Le NO formé pourrait être converti en NO_2 par des réactions du type NO + HO_2 -> NO_2 +OH. Normalement NO_2 formé se reconvertit en NO par NO_2 + O -> NO + O_2. Mais le NO_2 peut rester en concentrations élevées si le mélange le contenant subit une trempe par contact avec des gaz froids.
Le protoxyde d'azote N_2O se forme principalement à partir des intermédiaires NH et NCO lorsqu'ils réagissent avec NO : NCO + NO N_2O + CO et NH + NO -> N_2O + H. Inversement N2O réagit aves les atomes H selon N_2O + H -> NH + NO (réaction inverse de la précédente) et N_2O + H -> N_2 + OH. Normalement la production de N_2O dans les moteurs reste faible (3 à 8 ppm en volume), mais la mise en oeuvre de pots catalytiques dans de mauvaises conditions (à froid ou avec des catalyseurs vieillis) conduit à des taux beaucoup plus élevés. N_2O est également produit dans les systèmes de combustion à relativement basse température (combustions en lit fluidisé par exemple). N_2O est un polluant peu actif dans la troposphère à cause de sa faible réactivité. Mais compte tenu de sa durée de vie élevée, il intervient surtout dans la chimie atmosphérique stratosphérique.

OXYDES DE SOUFRE

(angl. sulfur oxides) [appl. polluants de la combustion] Composés constitués de soufre et d'oxygène dont le principal, SO_2, a une double source, naturelle (activité volcanique) et humaine (combustion des combustibles fossiles). Les réactions multiphasiques de SO_2 dans l'atmosphère conduisent à la formation de sulfates et d'acide sulfurique participant aux dépôts acides dans la troposphère. Ils contribuent également à la formation de couches d'aérosols sulfatés de la stratosphère. On estime actuellement que 85 % du SO_2 atmosphérique a son origine dans la combustion des combustibles fossiles.

OZONE

(angl. ozone) [appl. polluants de la combustion] Molécule d'oxygène triatomique (O3), aux propriétés fortement oxydantes, formée par la réaction de recombinaison d'un atome d'oxygène et d'une molécule d'oxygène (O + O2 + M O3 + M). Dans l'atmosphère terrestre, l'ozone est présent majoritairement (environ 90%) dans la stratosphère, vers 25 km d'altitude, où il forme la "couche d'ozone". Par sa forte absorption dans la région spectrale 220-330 nm, l'ozone empêche le rayonement ultraviolet d'atteindre la surface terrestre. Il contribue également à l'équilibre thermique de l'atmosphère (gaz à effet de serre). Dans la basse atmosphère, l'ozone est un polluant formé par des processus photochimiques complexes : l'augmentation globale de ses précurseurs (composés organiques volatils et oxydes d'azote) contribue à l'accroissement de la capacité oxydante de l'atmosphère.

P

PAH

initiales des mots anglais poly-aromatic hydrocarbon **voir:** Hydrocarbure aromatique polycyclique.

PAROI

(angl. wall) Les flammes se propageant près de parois, froides par rapport à la flamme, peuvent subir un double effet, perte de chaleur par transfert d'énergie par conduction vers la paroi et perte de radicaux libres par recombinaison sur la paroi. Ces deux effets peuvent conduire à l'extinction de la flamme (coincement). **voir:** Coincement, effet de paroi.

PARTICULE

(angl. particle, particulate) (all. Teilchen, Partikel) *du latin particula, même sens* Ce mot englobe l'ensemble des solides qui peuvent être émis dans les fumées lors d'une combustion. Elles sont divisées en deux groupes : les imbrûlés, formés de particules à forte teneur en carbone (suies, cénosphères, créosotes), et les matières minérales émises sous la forme de cendres volantes. **voir:** Cénosphère, créosote, suie.

PAUVRE

(angl. lean) (all. sauerstoffreich, mager) Caractérise une combustion avec excès de comburant (richesse < 1). **équiv:** oxydant.

PECLET

nom du physicien français Jean Claude Péclet (1793-1857) **voir:** Nombre de Péclet.

PENINSULE

du latin poene : presque, et insula : île **voir:** Diagramme d'auto-inflammation.

PERIODE D'INDUCTION

(angl. induction period) [appl. cinétique chimique] Période initiale d'évolution d'un système chimique. Pour une réaction en chaînes, c'est la période au cours de laquelle seule la concentration des radicaux varie, celle des réactifs restant pratiquement constante. En combustion, c'est la période qui précède l'auto-inflammation. On peut dire également que la période d'induction est le temps pendant lequel l'avancement d'une réaction reste en dessous de la limite expérimentale de détection. **voir:** Délai d'auto-inflammation, ramification, réaction en chaînes.

PERTES CALORIFIQUES

[appl. combustion industrielle] Les pertes calorifiques sont toutes les déperditions de chaleur qui, sur une ligne industrielle, se dissipent vers l'extérieur. Elles comprennent les échanges vers l'extérieur à partir des parois, les imbrûlés gazeux, la chaleur sensible des produits sortant du système (fumées, poussières, refroidisseur...). Toutes ces pertes sont comptabilisées dans le bilan thermique. A titre d'exemple, sur une ligne de cuisson dans l'industrie cimentière, on estime que, pour une consommation calorifique de l'ordre de 3500 kJ/kg de clinker (four de 1500 tonnes/jour, longueur de 70 m, avec précalcinateur), la moitié est affectée à la chaleur nécessaire théoriquement au traitement proprement dit et l'autre moitié aux pertes.

PHLOGISTIQUE

du grec phlogistikos : qui brûle, combustible [appl. histoire des sciences] Théorie développée par le chimiste allemand Georg Ernst Stahl (1660-1734), reprenant les idées de son maître Johann Becher (1635-1682), et qui a servi de cadre d'interprétation du feu jusqu'à la fin du 18ème siècle. Selon cette théorie, le phlogistique est un principe idéal du feu ou un fluide particulier contenu dans tous les corps et s'en échappant lors de leur combustion. Le résidu de la combustion n'est autre que du combustible déphlogistiqué. Par exemple l'oxydation d'un métal à chaud peut s'interpréter par la mise en mouvement par l'air des particules de phlogistique, qui finissent par s'échapper (la flamme est attribuée à l'envol rapide du phlogistique). Le résidu déphlogistiqué (l'oxyde métallique dans le cas de l'oxydation d'un métal) peut être revivifié par le charbon, qui contient une très forte proportion de phlogistique (la meilleure preuve étant qu'il brûle en laissant très peu de résidus). La théorie phlogistique a été admise par beaucoup, tant parmi les chimistes que parmi les physiciens, au même titre que d'autres phénomènes récemment admis et tout aussi immatériels, comme l'électricité ou le magnétisme. La théorie du phlogistique a été abandonnée lorsque Lavoisier, tirant les leçons de ses propres expériences et de celles menées par d'autres chimistes (Scheele, Priestley, Cavendish), a montré que, dans la combustion d'un corps simple, il y a fixation d'oxygène sur le corps en expérience (donc augmentation de poids), alors que la théorie du phlogistique supposait une diminution du poids pendant la combustion.

PHOSPHORESCENCE

voir: Fluorescence.

PHOTOCHIMIE

(angl. photochemistry) Réactions chimiques induites par le rayonnement en dehors des effets secondaires dus à l'échauffement. A l'inverse, la chimiluminescence est l'émission de rayonnement induite par des réactions chimiques. **voir:** Chimiluminescence.

PHOTOLUMINESCENCE

voir: Fluorescence.

PIC ZND

(angl. ZND spike) *ZND : initiales des noms des physiciens russe Y. Zel'dovich (1914-1987), et allemands J. von Neumann (1903-1957) et W. Döring* [appl. détonique] Du nom des trois scientifiques qui, pratiquement simultanément et indépendamment, ont mis en évidence un maximum de pression qui est supérieur à la pression Chapman-Jouguet (CJ) dans la structure de la détonation. Celle-ci est alors envisagée comme la succession d'une compression (onde de choc) suivie d'une combustion. La valeur du pic ZND est environ deux fois pCJ. **voir:** Onde de détonation.

PLAN LASER

[appl. diagnostic optique] Eclairement d'une zone de l'espace de faible épaisseur devant les deux autres dimensions, obtenu en élargissant un faisceau laser par un système afocal de deux lentilles cylindriques. Il est ainsi possible de visualiser des lignes de courant par photographie du déplacement de particules, éventuellement de déterminer des champs de vitesse par suivi de particule, et de visualiser des lignes d'émission. La tomographie laser, technique spécifique à la combustion, utilise un plan laser. La fluorescence induite par laser peut également utiliser le plan laser. **voir:** Fluorescence induite par laser, tomographie laser.

PLOMB TETRAETHYLE

(angl. tetraethyl lead) [appl. essence] Le plomb tétraéthyle est un composé organo-métallique, de formule brute Pb(C2H5)4, qui, ajouté à l'essence en quantité très faible (de l'ordre de quelques dizaines de centigrammes par litre) en relève l'indice d'octane de plusieurs points. Etant incompatible avec l'usage des pots catalytiques (du fait de leur empoisonnement), ce produit est amené à disparaître complètement des essences commercialisées. **voir:** Cliquetis, indice d'octane.

POINT D'ECLAIR

(angl. flash point) **voir:** Point de feu.

POINT DE FEU

(angl. fire point) [appl. feu] Les hydrocarbures liquides, les produits pétroliers en particulier, dégagent à leur surface, avant même d'avoir atteint leur température d'ébullition, des vapeurs combustibles, susceptibles de prendre feu en présence d'une source d'inflammation (étincelle, flamme pilote). Le point de feu ou le point d'éclair de l'hydrocarbure ou du mélange d'hydrocarbures est la température minimale à laquelle un liquide soumis à une petite flamme appliquée à sa surface dans des conditions spécifiées s'enflamme et continue à brûler pendant une période donnée. Le produit à tester est chauffé lentement et à vitesse d'élévation de température constante dans des appareils spécifiques. Une petite flamme pilote est dirigée vers les vapeurs au dessus de la surface du liquide à intervalles réguliers, jusqu'à provoquer leur inflammation, la température atteinte par le liquide étant le point de feu. **équiv:** point d'éclair.

POLLUANT

Substance présente à une concentration supérieure à celle existant naturellement, cette augmentation résultant essentiellement de l'activité humaine et altérant l'environnement. **voir:** Effet de serre, oxydes d'azote, oxydes de soufre, ozone.

POSTCOMBUSTION

(angl. secondary combustion) [appl. moteurs fusées, moteurs aéronautiques] Combustion s'effectuant à l'arrière d'un engin entre les produits de combustion réducteurs s'échappant de la tuyère et l'air environnant. **équiv:** réchauffe.

POTENTIEL CALORIFIQUE

(angl. calorific potential) [appl. feu, incendie] Energie calorifique totale par unité de masse (J/kg) qui peut être dégagée par la combustion complète d'un matériau.

POTENTIEL CHIMIQUE

[appl. thermodynamique] Dans le cas de systèmes ouverts, à masse et composition chimique variables, les fonctions thermodynamiques d'état, énergie interne, enthalpie, énergie libre de Helmholtz ou de Gibbs, ne peuvent plus s'exprimer seulement en fonction des variables S, T et V, respectivement entropie, température et volume. Il faut en effet introduire les potentiels chimiques i des différents composants i du système. Les dérivées partielles de la fonction énergie interne U à S, V et $n_j \neq n_i$ constants, où n_i est le nombre de moles de l'espèce i et n_j le nombre de moles des espèces j autres que i, sont appelées potentiels chimiques du constituant i dans la phase homogène qui forme le système : i = (U/ni)S, V,$n_j \neq n_i$.
Si le système formé de plusieurs phases et de plusieurs constituants est en équilibre thermodynamique, le potentiel chimique i d'un constituant i a la même valeur

dans toutes les phases. On montre par ailleurs que le potentiel chimique i d'un constituant i dans un milieu homogène est égal à son enthalpie spécifique molaire dans ce même mélange. **voir:** Energie libre, enthalpie.

POUDRE

voir: Propergol solide.

POUDRE EXTINCTRICE

L'extinction d'un feu peut être obtenue par la mise en oeuvre de différentes stratégies (séparation du combustible et du comburant, refroidissement, inhibition homogène ou hétérogène, dilution de la phase gazeuse comburante, soufflage). Parmi les moyens pratiques existants, l'une des voies possibles est l'utilisation de poudres extinctrices. Celles-ci, suivant leur composition et la classe du feu, agissent selon certaines des stratégies précédemment évoquées. Elles peuvent par exemple avoir un rôle inhibiteur (bicarbonates de sodium ou de potassium) ou étouffer le feu en recouvrant le solide en feu d'une couche d'un composé minéral fondant à basse température (borax). Les poudres extinctrices, selon leurs domaine d'application, sont dites BC si elles conviennent pour les feux de classes B et C, ou ABC ou encore polyvalentes ou universelles, si elles conviennent pour les feux des trois classes A, B et C, représentant la quasi-totalité des feux courants. Les poudres extinctrices sont généralement composées de mélanges de composés minéraux (bicarbonates, carbonates, phosphates...) et d'additifs divers (stéarates, silicones, amidon, minéraux inertes...) pour faciliter leur écoulement et éviter l'absorption d'eau et la prise en masse à l'intérieur de l'appareil extincteur (les deux phénomènes étant d'ailleurs liés). La granulométrie de la poudre extinctrice joue également un rôle important et doit représenter un compromis entre des surfaces spécifiques élevées et les difficultés d'écoulement et de conservation de poudres trop fines. Des granulométries de 10 à 100 m et des surfaces spécifiques de l'ordre de 2 à 3000 cm2/g sont généralement satisfaisantes. Les poudres BC ou ABC ne peuvent pas être utilisées sur les feux de métaux (classe D). La réactivité des métaux dans les conditions d'un feu avec la plupart des substances utilisées dans ces poudres les rend inefficaces, voire nuisibles. Les feux de métaux imposent le recours à des poudres spéciales, plus ou moins spécifiques de chaque métal, et en particulier de son état solide (Mg, Ti, Al) ou liquide (Na, K, NaK). Le carbonate de sodium Na2CO3 et la borine B2O3 sont à la base de nombreuses compositions. **voir:** Classe d'un feu, extinction.

POUSSEE

(angl. thrust) [appl. propulsion] Force destinée à produire l'accélération du mouvement d'une fusée, ou force de propulsion développée par un moteur à réaction.

POUSSIERE

de l'ancien français pous, lui-même issu du latin pulvis, même sens [appl. combustion industrielle] Particule de matière fine et légère en suspension dans les gaz. Le taux de rejet de poussières dans l'atmosphère est réglementairement limité. Une technique d'élimination dans les gaz est l'électrofiltration. **voir:** Electrofiltre.

POUVOIR CALORIFIQUE

(angl. heating power, calorific value) (all. Heizwert, Brennwert) [appl. thermochimie] Le pouvoir calorifique d'un combustible à la température T est égal à la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète sous pression atmosphérique normale de l'unité de quantité de ce combustible (pouvoir calorifique massique pour l'unité de masse, volumique pour l'unité de volume ou molaire pour une mole), les éléments nécessaires à la combustion et les produits de la réaction étant pris dans les mêmes conditions de pression et de température.
On distingue le pouvoir calorifique supérieur, noté PCS, où l'eau formée pendant la combustion est condensée à la température T, et le pouvoir calorifique inférieur, noté PCI, où l'eau formée par la combustion est considérée à l'état gazeux à la température T. En technologie cimentière par exemple, c'est la valeur du PCI qui est considérée, les cheminées évacuant toujours les fumées à plus de 100°C. Le PCI et le PCS sont liés par la relation $PCS = PCI + \frac{m}{M} H_v^0$, où m est la masse d'eau formée, rapportée à l'unité de volume de gaz sec, M la masse molaire de l'eau égale à 18,014 g et $H_v^0(T)$ l'enthalpie de vaporisation de l'eau à la température T (45,07 kJ/mol à 0°C). On considère généralement le pouvoir calorifique à 0°C (273,15 K), mais la différence entre cette valeur et le pouvoir calorifique à la température T est généralement négligée dans les déterminations industrielles, car elle est de l'ordre de grandeur des erreurs de mesure par les méthodes usuelles ou inférieure à elles.

Unités

: le pouvoir calorifique doit s'exprimer en J ou kJ par g, m^3 ou mol.

POUVOIR CALORIFIQUE INFERIEUR

voir: Pouvoir calorifique.

POUVOIR CALORIFIQUE SUPERIEUR

voir: Pouvoir calorifique.

POUVOIR COMBURIVORE

voir: Air stoechiométrique.

POUVOIR FUMIGENE

[appl. combustion du gaz] (unité: m3 de produits de combustion/m3 de gaz) Le pouvoir fumigène est le volume, ramené aux conditions normales, des produits de combustion complète sans excès d'air, de l'unité de volume (généralement 1 m3) de gaz, c'est à dire de 1 m3 de gaz associé à l'air stoechiométrique. On distingue le pouvoir fumigène humide où l'eau produite par la combustion est à l'état de vapeur (c'est le volume qui est réellement à évacuer, sauf dans le cas d'appareils tels que les générateurs à condensation) et le pouvoir fumigène sec où l'eau produite est supposée condensée. Pour tous les gaz combustibles distribués couramment, le pouvoir fumigène humide est un peu supérieur (un peu plus de 10 %) à l'air stoechiométrique. **voir:** Air stoechiométrique.

PRANDTL

nom du spécialiste allemand de mécanique des fluides Ludwig Prandtl (1875-1953) **voir:** Nombre de Prandtl.

PRECURSEUR DE SUIE

(angl. soot precursor) (all. Russvorläufer) [appl. formation des suies] Les précurseurs des suies sont des espèces radicalaires aromatiques qui se condensent pour former les premiers noyaux par le processus de nucléation. Certaines espèces ioniques peuvent aussi se condenser par des processus similaires pour former des suies, mais ce phénomène semble moins important que le mécanisme radicalaire. **voir:** Nucléation, suie.

PRELEVEMENT

(angl. sampling) [appl. diagnostic] Captation, dans un écoulement en réaction, d'un échantillon au moyen d'une sonde, de technologie refroidie ou en matériau réfractaire comme le quartz, en vue d'une analyse en temps réel ou différé, au moyen de techniques comme spectrométrie de masse, chromatographie en phase gazeuse, chimiluminescence, ionisation de flamme, absorption... Les sondes de prélèvement sont conçues avec le souci d'assurer un figeage efficace de la réaction chimique par une baisse rapide de la température et de la pression de l'échantillon au cours de son transit entre le point de prélèvement et l'analyseur (refroidissement à l'huile, à l'eau, détente supersonique...). En dehors d'éventuels problèmes de figeage, l'utilisation de sondes matérielles peut perturber la zone sondée (distorsion de l'écoulement, puits thermique, effet catalytique, voire accroche-flamme). **voir:** Figeage, trempe.

PREMELANGE

voir: Flamme de prémélange.

PREMIER ORDRE

(angl. first order) [appl. cinétique chimique] Une réaction du premier ordre est une réaction simple du type A produits, admettant un ordre global égal à 1. Sa vitesse est de la forme r = k(A), où k représente la constante de vitesse de la réaction. **équiv:** ordre 1. **voir:** Ordre global.

PRESSION

du latin pressare : presser Grandeur définie comme le quotient d'une force par la surface sur laquelle elle s'exerce. L'unité SI de pression est le pascal (symbole Pa) : pression uniforme qui, agissant sur une surface plane de 1 m2, exerce perpendiculairement à cette surface une force totale de 1 newton (1 Pa = 1 N/m2). Comme le pascal est une unité petite, le nom bar (symbole bar) peut être donné à 105 Pa. L'atmosphère normale (symbole atm) vaut 101325 Pa. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une unité du système SI, son emploi est toléré temporairement, compte tenu des usages existants. Autre unité à ranger au magasin des antiquités : le torr (unité de pression correspondant à une hauteur de 1 mm de mercure normal). 1 torr = 133,32 Pa.

PRINCIPE DES CONCENTRATIONS PARTIELLES STATIONNAIRES

(angl. principle of partial stationary states) [appl. cinétique chimique] Ce principe, appelé aussi principe des concentrations partielles stationnaires de Semenov (PCPSS), s'apparente au principe des concentrations quasi-stationnaires de Bodenstein pour lequel vitesse de formation et vitesse de disparition des centres actifs sont considérées comme sensiblement identiques. En effet, dans le cadre de l'application du PCPSS, tous les centres actifs sauf un sont considérés comme étant dans un état quasi-stationnaire. Ce principe s'applique par exemple aux réactions en chaînes à ramification directe ou indirecte où tous les centres actifs peuvent être considérés dans un état quasi-stationnaire à l'exception de celui qui est à l'origine de la ramification des chaînes. **voir:** Centre actif, état quasi-stationnaire.

PRODUIT

[appl. chimie de la combustion] Espèce chimique formée par une réaction chimique.

PRODUIT FINAL

[appl. chimie de la combustion] Espèce résultant d'une combustion, thermodynamiquement stable et comportant généralement des liaisons fortes.
Les liaisons fortes existant dans les produits finals d'une combustion peuvent être soit essentiellement covalentes, soit présenter un caractère ionique important (CO, CO2, H2O, HF, oxydes métalliques). La nature et les proportions des produits finals peuvent dépendre des proportions initiales du combustible et du comburant, ainsi que des valeurs initiales de la pression et de la température.

Les produits finals de combustion sont souvent définis pour la réaction s'effectuant à pression et température constantes et égales aux valeurs initiales. Ils peuvent aussi être définis à l'équilibre thermodynamique atteint à la température maximale, adiabatique, obtenue dans les conditions imposées au système. Les produits finals comportent alors en général, en plus des espèces stables, citées plus haut, des atomes, des radicaux libres, des ions ou des molécules instables dans les conditions ordinaires, ces différentes espèces pouvant se trouver dans des états excités. **voir:** Produit intermédiaire.

PRODUIT INTERMEDIAIRE

(angl. intermediate product) [appl. chimie de la combustion] Produit formé au cours des premières étapes de la combustion et consommé au cours des étapes suivantes. Si la combustion a lieu en milieu riche, les produits intermédiaires qui se sont accumulés au cours des premières phases de la combustion (comme par exemple le monoxyde de carbone et divers hydrocarbures) ne sont pas consommés totalement dans les phases ultérieures de la combustion, par suite d'un défaut d'oxygène. Les produits de combustion peuvent donc comprendre, outre les produits finals, des produits intermédiaires "imbrûlés".

PRODUITS DE COMBUSTION

voir: Gaz brûlés.

PROFILS

de l'ancien français porfiler : border Représentation schématique de l'évolution d'une grandeur comme la température ou la concentration d'une espèce (réactif, produit, radical intermédiaire) en fonction du paramètre distance par rapport à un référentiel donné, par exemple le plan de sortie du brûleur. On parlera de profil de température, de profil de concentration de telle espèce. La représentation des profils permet de visualiser les gradients de température et de concentration des espèces et de les situer entre eux et par rapport au front de flamme. L'un des buts de la modélisation cinétique est de reproduire par le calcul des formes de profils identiques aux formes des profils expérimentaux.

PROMOTEUR

[appl. cinétique chimique] Un promoteur est une substance qui, sans avoir elle-même d'action catalytique, est susceptible d'accroître l'activité d'un catalyseur. Cette définition est souvent élargie au cas d'une substance capable d'augmenter la vitesse d'une réaction par opposition au terme inhibiteur. On parle, par exemple, d'un effet promoteur d'additifs sur les délais d'auto-inflammation. C'est ainsi que, dans certains ouvrages, on considère les additifs procétane comme des promoteurs.

PROMPT NO

voir: NO précoce.

PROPAGATION

(angl. propagation) [appl. cinétique chimique] Ensemble des réactions élémentaires formant la séquence fermée assurant le développement linéaire des chaînes, en régénérant les centres actifs et formant des produits stables. Exemple : dans la pyrolyse de l'éthane, la propagation est assurée par la séquence des deux réactions $H^\bullet + C_2H_6 \rightarrow H_2 + C_2H_5^\bullet$ et $C_2H_5^\bullet \rightarrow C2H4 + H^\bullet$, chaque séquence fermée regénérant les centres actifs et produisant H_2 et C_2H_4. **voir:** Réaction élémentaire, réaction en chaînes.

PROPAGATION DE FLAMME

(angl. flame spread) [appl. réaction au feu des matériaux] Progression d'un front de flamme à la surface d'un matériau.

PROPAGATION DE LA DETONATION

(angl. detonation propagation) [appl. détonique] La propagation d'une détonation est principalement caractérisée par l'évolution de sa célérité. Cette dernière peut être très stable (uniforme à +/- 0,2 % près) sur de grandes distances, comme très instable pour les détonations galopantes. Lorsque la propagation est stable, la détonation est dite critique et sa célérité est voisine de celle calculée par Chapman-Jouguet. Dès sa création, une détonation est souvent une détonation supercritique (onde forte) dont la célérité est décroissante vers la valeur de l'onde critique. Parfois la célérité critique de l'onde stable est atteinte par valeurs inférieures (onde subcritique). **voir:** Cellule de détonation, détonation galopante, détonation marginale, onde de détonation.

PROPERGOL

(angl. propellant) (all. Treibstoff) *contraction de propulsion et ergol* [appl. moteurs fusées] Produit constitué d'un ou plusieurs ergols, séparés ou réunis, apte à fournir l'énergie nécessaire à la propulsion d'un moteur fusée ou d'un engin. Un propergol pourra être un monergol, un diergol ou un triergol selon qu'il sera constitué d'un, deux ou trois ergols. **voir:** Lithergol, propergol composite, propergol double base, propergol homogène, propergol liquide, propergol solide, semi-propergol.

PROPERGOL COMPOSITE

(angl. composite propellant) (all. composit Treibstoff) [appl. moteurs fusées] Propergol solide constitué par un mélange intime d'un liant plastique souvent combustible et de charges solides pulvérulentes.
En France, l'appellation d'un propergol composite comprend un préfixe désignant le liant (sulfu = polysulfure, plasto = chlorure de polyvinyle, sili = silicone, iso = polyuréthanne, buta = polybutadiène, nitra = liant nitré), une lettre désignant l'oxydant (l = NH4ClO4, p = KClO4, n = NH4NO3, m = hexogène ou octogène) et un suffixe désignant la charge métallique (ite = pas de

métal, ane = Al, abe = Be, èbe = B). Ainsi le butalane 68-20 est un propergol composite associant un liant polybutadiène (12 %) au perchlorate d'ammonium (68 %) et à l'aluminium (20 %). **voir:** Propergol solide.

PROPERGOL DOUBLE BASE

(angl. double base propellant) (all. doppelbasis Treibstoff) [appl. moteurs fusées] Propergol homogène contenant essentiellement deux bases énergétiques : la nitrocellulose et un nitrate organique liquide dont la fonction est de gélatiniser la nitrocellulose. En propulsion, l'emploi de ces propergols se limite aux petites et moyennes roquettes et aux étages de décollage et d'accélération des gros missiles. On parle alors de propergols SD (sans dissolvant) obtenus par extrusion, ou de propergols épictètes obtenus par moulage. Par contre l'emploi dans les canons de moyens et gros calibres de poudres double base extrudées (poudres GB en France) est très répandu, ainsi que dans les mortiers (balistites). **voir:** Propergol homogène, propergol solide.

PROPERGOL HOMOGENE

(angl. homogeneous propellant) (all. homogener Treibstoff) [appl. moteurs fusées] Propergol solide dont les constituants principaux forment une seule phase contenant les éléments oxydants et réducteurs. **voir:** Propergol solide.

PROPERGOL HYBRIDE

voir: Lithergol.

PROPERGOL LIQUIDE

(angl. liquid propellant) (all. flüssiger Treibstoff) [appl. moteurs fusées] Propergol dont les ergols sont utilisés à l'état liquide. **voir:** Ergol, propergol.

PROPERGOL MULTIBASE

(angl. multibase propellant) [appl. moteurs fusées] Propergol homogène constitué essentiellement de plusieurs bases énergétiques. En propulsion, il s'agit exclusivement de propergols double base constitués de nitrocellulose et de nitroglycérine (propergols SD ou Epictètes suivant le mode de mise en forme, respectivement par extrusion ou par coulée). Si une charge supplémentaire est ajoutée, on parle alors plutôt de propergol double base composite. Le terme multibase s'applique en fait exclusivement aux poudres pour armes à tubes et on parle alors de poudres multibase. Aux deux bases énergétiques principales que sont la nitrocellulose et la nitroglycérine, on ajoute un ou plusieurs autres esters nitriques ou dérivés nitrés ou nitraminés (exemple : nitroguanidine dans le cas le plus fréquent des poudres triple base).

PROPERGOL SOLIDE

(angl. solid propellant) (all. Festtreibstoff) [appl. moteurs fusées] Propergol dont les ergols, combinés ou mélangés, sont utilisés à l'état solide. **équiv:** poudre. **voir:** Ergol, propergol.

PROPRIETES ELECTRIQUES DES FLAMMES

Les flammes contenant des espèces chargées sont dotées de propriétés électriques. Elles présentent une certaine conductivité, phénomène lié au passage du courant entre deux électrodes plongées dans un gaz ionisé. C'est J.J. Thomson qui a proposé en premier une interprétation théorique. Les mesures basées sur la conductivité reposent sur le fait que la chute de potentiel obéit à la loi d'Ohm sur toute la longueur du front de flamme considéré à l'exception des espaces morts au voisinage des électrodes. Ces types de mesures permettent de déterminer la concentration globale en espèces chargées dans la zone de réaction d'une flamme.

PROPULSION

du latin propellere : pousser devant soi Action de pousser en avant un mobile. Production de forces assurant le déplacement d'un mobile. Au sens plus restreint, s'applique au déplacement dans l'atmosphère et dans l'espace d'aéronefs et fusées par réaction. Conformément au principe de la conservation de la quantité de mouvement, la propulsion de ces véhicules est réalisée par l'éjection à grande vitesse à l'arrière du véhicule d'une masse de matière. La masse éjectée par seconde et la vitesse d'éjection déterminent la force imprimée au véhicule, appelée poussée.

On peut a priori (compte tenu de nos connaissances actuelles) envisager quatre moyens d'éjection. La plus connue est celle qui est utilisée tant pour les avions à réaction que pour les fusées. C'est la propulsion chimique, où une réaction chimique (combustion d'hydrocarbures, réaction de propergols) permet d'éjecter des masses importantes à vitesse élevée (de l'ordre de 3 à 5 km/s). La propulsion électrique ou ionique consiste à charger des particules et à les accélérer par des dispositifs électrostatiques divers avant leur éjection à des vitesses qui peuvent atteindre 10 fois celles des propulseurs chimiques. Par contre la masse éjectée est très faible, et globalement les poussées que l'on peut espérer restent minimes. Si la propulsion électrique ou ionique ne peut être utilisée pour faire décoller des fusées, elle est envisagée comme moyen de correction de trajectoires dans l'espace. La propulsion nucléaire consiste à éjecter à grande vitesse un courant d'atomes H portés à haute température dans une pile atomique embarquée à bord de l'engin. Des vitesses d'éjection de l'ordre de 10 km/s sont possibles. L'avantage de la propulsion nucléaire est la longue durée de vie de la pile atomique. Mais les impératifs de sécurité et les difficultés technologiques qu'ils entraînent ont limité les études à des essais au sol. Enfin la propulsion photonique consiste à réfléchir les photons solaires arrivant sur le véhicule spatial au moyen d'un miroir fixé sur lui. La vitesse d'éjection est évidemment très séduisante : c'est la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Mais la masse éjectée est très faible, ne condui-

sant qu'à quelques dizaines de mg de poussée par cm2 de miroir... Ce mode de propulsion n'a pas dépassé le stade du projet futuriste. **voir:** Autopropulsion, propergol.

PSEUDO-PREMIER ORDRE

[appl. cinétique chimique] Une réaction du pseudo-premier ordre est une réaction simple d'ordre quelconque se comportant expérimentalement comme une réaction d'ordre global égal à 1. L'ordre observé correspond en fait à l'ordre partiel du réactif initial déterminant la cinétique de réaction. Les conditions du pseudo-premier ordre sont généralement réalisées en opérant avec des réactifs initiaux en concentration largement excédentaire par rapport à celle du réactif choisi pour suivre la réaction. **voir:** Ordre global, ordre partiel.

PULVERISATION

(angl. atomization) (all. Zerstaübung) *du latin pulvis : poudre* [appl. combustibles liquides] Dans un sens général, action de séparer un corps solide ou liquide en particules ou en gouttes. Dans le contexte de la combustion, la pulvérisation est l'opération par laquelle un combustible liquide est divisé en gouttelettes pour permettre son mélange avec l'air de combustion et sa vaporisation rapide. Le plus souvent, elle se pratique en faisant passer le liquide sous pression, avec ou sans mise en rotation préalable, avec ou sans prémélange avec un gaz (air pressurisé, vapeur) au travers d'un ou plusieurs orifices. La condition indispensable pour l'obtention d'une pulvérisation satisfaisante est que la viscosité du liquide soit suffisamment basse au niveau de l'orifice, ce qui conduit parfois à préchauffer le liquide (cas des fuels lourds). Par la poussée du jet pulvérisé, le dispositif de pulvérisation contribue aussi à la fonction très importante de mélange de l'air et du combustible. **équiv:** atomisation (par emprunt à l'anglais). **voir:** Goutte.

PYROLYSE

(angl. pyrolysis) (all. Entgasung) *du grec puros : feu, et luein : délier, défaire* Décomposition chimique irréversible provoquée par une simple élévation de température en l'absence d'oxygène. **équiv:** décomposition thermique. **voir:** Oxydation.

PYROLYSE OXYDANTE

voir: Combustion ménagée.

PYROMETRE A DISPARITION DE FILAMENT

(angl. pyrometer) *du grec puros : feu, et métron : mesure* [appl. mesure de la température de luminance d'une source] Lunette qui forme l'image de la source visée à côté d'un filament de tungstène étalonné dont on connaît la température de luminance en fonction du courant qui le traverse. L'image de la source et le filament sont observés et comparés à travers un oculaire muni d'un filtre spectral (généralement dans le rouge). L'observateur ajuste le courant dans le filament pour obtenir l'égalité des brillances (le filament "disparaît") et ainsi déterminer la température de luminance de la source. **voir:** Renversement des raies du sodium.

PYROPHORE

(angl. pyrophoric material) [appl. feu, incendie] *du grec pur : feu, et phorein : porter* Matériau susceptible de s'enflammer spontanément rapidement dès le contact avec l'air. **équiv:** matériau pyrophorique.

PYROTECHNIE

du grec pur : feu, et technè : art (angl. pyrotechnics) (all. Pyrotechnik) Au sens large : ensemble des connaissances acquises sur les phénomènes de combustion, de déflagration et de détonation, et ensemble des techniques propres à la fabrication, à la mise en oeuvre et à l'utilisation pratique des substances pouvant engendrer de tels phénomènes. Au sens restreint : ensemble des sciences et techniques utilisées dans l'étude et la fabrication des objets mettant en oeuvre des compositions déflagrantes (engins éclairants, traçants, fumigènes, incendiaires...) ou à combustion dirigée et contrôlée (retards pyrotechniques, cordeaux, mèches...), à l'exclusion de ceux ayant un rôle proprement propulsif.
En pratique, on tend aujourd'hui à utiliser le mot pyrotechnie dans son acception restreinte, en excluant de sa définition tout le domaine concernant la détonation (qui forme la détonique) et le domaine concernant la propulsion. La signification du mot rejoint alors fortement celle de son homologue anglais "pyrotechnics". Cependant le sens large est encore utilisé car de nombreux règlements de sécurité en vigueur rendent officiel son emploi. De plus certains objets particuliers (cordeaux détonants, amorces, détonateurs, relais d'amorçage), bien que relevant fondamentalement de la détonique, amènent à utiliser des techniques se rapprochant plutôt de la pyrotechnie prise dans son sens restreint et viennent donc naturellement s'y rattacher.

Q

QUASI-STATIONNARITE

voir: Etat quasi-stationnaire.

QUENCHING

mot anglais signifiant extinction **voir:** Coincement.

R

RADIANCE

RADICAL LIBRE

(angl. free radical) [appl. cinétique chimique] Espèce chimique possédant un ou plusieurs électrons non appariés. La présence d'électrons non appariés a pour conséquence la très grande réactivité d'un radical libre qui forme très facilement des liaisons stables avec des molécules ou d'autres radicaux libres selon des réactions en chaîne. Les radicaux libres jouent un rôle essentiel dans les réactions de combustion mais, à cause de leur très grande réactivité, leur concentration est très inférieure à celle des espèces moléculaires. Cette réactivité élevée tant en phase gazeuse que dans des processus hétérogènes entraîne leur faible durée de vie et empêche leur dosage par les méthodes classiques de prélèvement et d'analyse. Il faut faire appel aux techniques optiques d'analyse in situ ou à la méthode du prélèvement par faisceau moléculaire associée à la spectrométrie de masse. **voir:** Diagnostic optique, faisceau moléculaire, ramification, réaction élémentaire, réaction en chaînes.

RAMAN

nom du physicien indien Chandrasekhara Raman (1888-1970), prix Nobel de physique en 1930 **voir:** Diffusion Raman.

RAMIFICATION

(angl. branching) [appl. cinétique chimique] Processus chimique particulier à certaines réactions en chaînes, découvert par Semenov dans les années 1920, et qui consiste en une réaction formant plusieurs centres actifs (atomes ou radicaux libres) à partir d'un seul. Dans les réactions en chaînes ramifiées, on définit un facteur de ramification qui indique l'importance relative du processus de ramification par rapport aux autres processus où interviennent les centres actifs (initiation, propagation, rupture). Lorsque le facteur de ramification est positif, la multiplication des centres actifs conduit à l'explosion chimique. **équiv:** branchement (traduction littérale du terme anglais). **voir:** Explosion chimique, radical libre, réaction en chaînes.

RAMJET

mot anglais signifiant statoréacteur **voir:** Statoréacteur.

RANG D'UN CHARBON

Degré de houillification atteint par un charbon au cours de sa maturation géologique. D'un point de vue physico-chimique, l'élévation du rang d'un charbon est caractérisée par une augmentation du taux de carbone, avec corrélativement diminution du taux de matières volatiles, d'hydrogène et d'oxygène, et augmentation (jusqu'à un certain niveau seulement) du pouvoir calorifique. Ces évolutions s'accompagnent de modifications de l'aspect (couleur) et des propriétés optiques (pouvoir réflecteur, anisotropie) et mécaniques (dureté, résistance mécanique) du charbon. La détermination du rang d'un charbon se fait généralement sur l'un des composants du charbon, la vitrinite, en raison de son abondance, de la facilité avec laquelle elle peut être isolée et du fait que ses propriétés varient de façon continue au cours de la carbonisation. Suivant les cas, on peut déterminer le rang du charbon par la mesure du pouvoir calorifique depuis les tourbes jusqu'aux charbons de rang moyen, 85-90 % de carbone), du pouvoir réflecteur de la vitrinite (pour des taux de carbone allant de 75 % environ à 100 %), du taux de matières volatiles (pour des charbons au-dessus de 90 % de carbone, jusqu'au graphite), du taux d'hydrogène (de 92 % environ de taux de carbone à 100 %).

RANKINE-HUGONIOT

noms des deux physiciens écossais William Rankine (1820-1872) et français Henri Hugoniot (1851-1897) Noms associés, principalement dans les pays anglo-saxons, à l'adiabatique dynamique de combustion ou adiabatique de Crussard. **voir:** Equation de Crussard.

RAPPORT DE MELANGE

(angl. fuel air ratio (FAR) ou son inverse air fuel ratio (AFR), mixture fraction) (all. Mischungsverhältnis) [appl. flammes de diffusion et de prémélange, chambres de combustion] Rapport des fractions massiques locales de carburant et d'air. Dans des applications pratiques, on peut parler du rapport de mélange global pour une flamme ou une chambre de combustion. Il s'agit alors des rapports des débits de carburant et d'air. **voir:** Carburant, chambre de combustion, richesse.

RAPPORT VOLUMETRIQUE

voir: Taux de compression.

RAYLEIGH

nom du physicien anglais John Strutt, lord Rayleigh (1842- 1919), prix Nobel de physique en 1904 **voir:** Diffusion Rayleigh, droite de Rayleigh.

RAYON CRITIQUE

(angl. critical radius) Dans des conditions favorables de pression, température et composition chimique, un dépôt ponctuel d'énergie dans un milieu réactif gazeux prémélangé provoque l'allumage de ce mélange puis la formation d'un front de flamme sphérique. La condition pour que cette flamme se propage indéfiniment est que l'énergie déposée et le temps de dépôt de cette énergie soient suffisamment grands pour conduire le front de flamme au-delà d'un rayon critique rc, fonction des caractéristiques physico-chimiques du mélange. Pour un temps de dépôt donné, il existe donc une énergie minimale d'allumage conduisant à la propagation d'une flamme. On montre que ce rayon critique correspond à une solution stationnaire instable des équations de la flamme sphérique de prémélange. **voir:** Energie critique d'allumage, volume critique d'allumage.

RAYONNEMENT

REACTEUR

Au sens général, volume dans lequel se produit une réaction chimique. Dans ce sens une flamme est un réacteur. En un sens plus restreint, un réacteur est une enceinte où se produit une transformation chimique. Les réacteurs sont de caractéristiques très diverses selon leur formes, leurs dimensions, la nature des matériaux utilisés, l'alimentation (continue ou discontinue, phase homogène ou phases multiples), l'agitation, les parois isothermes ou adiabatiques...

REACTEUR AGITE

(angl. continuous flow stirred tank reactor (CFSTR)) Le réacteur continu agité est caractérisé par une composition et un état instantanés du mélange réactionnel parfaitement uniformes dans tout le volume qui lui est offert. Cette condition est remplie si les réactifs ajoutés sont mélangés dans un temps infiniment court et si la recirculation interne est telle que le temps mis par une molécule pour aller d'un point quelconque du réacteur à un autre est infiniment petit devant le temps de passage. Il en résulte que le courant de produits extraits du réacteur a la même composition instantanée que le mélange réactionnel. **équiv:** réacteur parfaitement agité, réacteur homogène. **voir:** Ecoulement parfaitement agité.

REACTEUR HOMOGENE

voir: Réacteur agité.

REACTEUR PARFAITEMENT AGITE

voir: Réacteur agité.

REACTEUR PISTON

Un réacteur piston se caractérise par l'écoulement du mélange réactionnel en régime piston. Une condition nécessaire et suffisante de l'écoulement piston est que toutes les particules entrant ensemble dans le réacteur aient le même temps de séjour dans le réacteur. En pratique, l'hypothèse de l'écoulement piston peut s'appliquer à des réacteurs tubulaires où l'écoulement est très turbulent (nombre de Reynolds élevé) ou à des réacteurs contenant un garnissage rendant les profils de température et de vitesse suffisamment plats. **voir:** Ecoulement piston.

REACTIF

(angl. reactant) Espèce chimique subissant une réaction chimique.

REACTION AU FEU

(angl. reaction to fire) [appl. feu, incendie] Comportement d'un matériau qui, dans des conditions d'essai spécifiées, alimente par sa propre décomposition un feu auquel il est exposé. Ne pas confondre avec résistance au feu. **voir:** Résistance au feu.

REACTION AUTOACCELEREE

voir: Réaction autocatalytique.

REACTION AUTOCATALYTIQUE

[appl. cinétique chimique] Réaction qui produit son propre catalyseur. **équiv:** réaction autoaccélérée.

REACTION BIMOLECULAIRE

(angl. bimolecular reaction) [appl. cinétique chimique] Réaction élémentaire mettant en jeu deux espèces initiales identiques ou différentes. L'ordre global est égal à 2. Les réactions bimoléculaires constituent la majorité des réactions élémentaires. **voir:** Ordre global, réaction élémentaire.

REACTION CATALYTIQUE

[appl. cinétique chimique] Réaction en séquence fermée où intervient un catalyseur ajouté.

REACTION CHIMIQUE

(angl. chemical reaction) Cette notion correspond à la notion de base de la chimie et traduit à la fois la transformation de la matière et la conservation des espèces. On la représente par une équation chimique du type aA + bB + ... = lL + mM + ..., A, B, ..., L, M, ... étant les symboles chimiques des espèces en présence (molécules, ions, radicaux, atomes). A, B, ... sont les réactifs, L, M, ... sont les produits. a, b, l, m, ... sont des nombres appelés coefficients stoechiométriques.

REACTION DETERMINANTE

(angl. determining reaction) [appl. cinétique chimique] Réaction chimique d'un mécanisme détaillé dont une variation donnée à la valeur de sa constante de vitesse a une influence sur les résultats des calculs effectués au cours de la modélisation du système chimique étudié. **voir:** Mécanisme réduit.

REACTION DIRECTE

(angl. direct reaction) [appl. cinétique chimique] S'applique à une réaction chimique réversible : la réaction directe est la réaction écrite dans le sens gauche-droite. **voir:** Réaction inverse.

REACTION ELEMENTAIRE

(angl. elementary reaction) [appl. cinétique chimique] Au sens strict, réaction chimique au cours de laquelle une seule liaison chimique est rompue et une seule est formée. Au sens courant, réaction dont l'équation stoechiométrique est supposée décrire l'acte réactionnel à l'échelle moléculaire. Il s'agit d'une transformation mettant en jeu 1, 2 ou 3 espèces moléculaires (molécules, radicaux, atomes) se caractérisant par un moindre changement de structure entre l'état initial et l'état final. Pour toute réaction élémentaire, l'ordre global est égal à la molécularité et à la stoechiométrie de la réaction. De même, l'ordre partiel par rapport à l'un des réactifs est assimilable à son coefficient stoechiométrique. Ces identités constituent une condition nécessaire mais non suffisante pour que la réaction soit élémentaire. **voir:** Ordre global, ordre partiel.

REACTION EN CHAINES

[appl. cinétique chimique] Réaction complexe à séquence fermée se caractérisant par la régénération d'espèces intermédiaires à très courte durée de vie appelées "centres actifs". Les centres actifs peuvent être de nature radicalaire, moléculaire, ionique... selon le type de phase dans laquelle s'effectue la réaction. Selon le comportement global de la réaction, on peut distinguer deux grandes catégories de réactions en chaînes : les réactions en chaînes linéaires (ou droites) et les réactions en chaînes ramifiées. La séquence fermée est représentée par la réaction globale symbolique : réactifs + 1 centre actif = produits + centres actifs. Le facteur est appelé facteur de multiplication. **voir:** Réaction en chaînes linéaires, réaction en chaînes ramifiées, séquence fermée.

REACTION EN CHAINES DROITES

voir: Réaction en chaînes linéaires.

REACTION EN CHAINES LINEAIRES

[appl. cinétique chimique] Réaction en chaînes dont le développement linéaire résulte d'une succession d'étapes au cours desquelles un centre actif réagit pour en donner un autre (facteur de multiplication égal à 1). Les mécanismes de réactions en chaînes linéaires comportent trois types d'étapes élémentaires : la ou les étapes d'initiation (ou d'amorçage) assurant la création initiale des centres actifs, la ou les étapes de propagation, responsables du développement linéaire des chaînes en régénérant un centre actif à partir d'un autre centre actif, la ou les étapes de rupture, rompant le développement des chaînes par la transformation des centres actifs en produits stables. **voir:** Initiation, propagation, rupture.

REACTION EN CHAINES RAMIFIEES

[appl. cinétique chimique] Réaction en chaînes se caractérisant par un développement auto-accéléré en fonction du temps qui, s'il n'est pas limité par la consommation des réactifs, peut conduire dans sa phase ultime à une explosion chimique. Les réactions en chaînes ramifiées se distinguent des réactions en chaînes linéaires par la présence supplémentaire d'un nouveau type d'étape dans leur mécanisme : l'étape de ramification. Une réaction en chaîne ramifiée peut donc être représentée par 3 réactions type :
R X initiation ki
R + X X + P ramification kp
X P terminaison kt
R, X et P désignent respectivement les réactifs, les centres actifs et les produits. ki, kp et kt sont les constantes de vitesse des réactions type. Au début de la réaction, on peut négliger la consommation des réactifs et écrire l'expression de vitesse d'évolution de la concentration des centres actifs :

$$\frac{d\,[X]}{dt} = k_i\,[R]_0 + [k_p\,[R]_0\,(\beta - 1) - k_t]\,.\,[X]$$

La vitesse de la réaction devient très rapidement négligeable et la concentration des centres actifs croît si l'expression : $\phi = k_p\,[R]_0\,(\beta - 1) - k_t$ est positive. β est le facteur de ramification de la réaction globale. Deux grandes catégories de réactions en chaînes ramifiées peuvent être définies selon la nature du composé à l'origine de la ramification des chaînes : les réactions en chaînes à ramification directe ou à ramification indirecte. **voir:** Réaction en chaînes à ramification directe, réaction en chaînes à ramification indirecte.

REACTION EN CHAINES A RAMIFICATION DIRECTE

[appl. cinétique chimique] Réaction en chaînes ramifiées dont le composé responsable de la multiplication des centres actifs est un composé à très courte durée de vie (radical, espèce excitée...). Seuls les mécanismes d'oxydation de H2 et de CO relèvent d'un mécanisme en chaînes à ramification directe.

REACTION EN CHAINES A RAMIFICATION INDIRECTE

[appl. cinétique chimique] Réaction en chaînes ramifiées dont le composé responsable de la multiplication des centres actifs est un composé à durée de vie relativement longue (peroxyde moléculaire). L'oxydation de toutes les espèces hydrocarbonées relève d'un mécanisme en chaînes à ramification indirecte.

REACTION GLOBALE

(angl. global reaction, overall reaction) [appl. cinétique chimique] Une réaction globale est une relation, écrite sous la même forme qu'une réaction élémentaire, entre les réactifs et les produits d'un processus chimique complexe, formé en fait d'une succession de plusieurs réactions élémentaires. La représentation correcte des quantités expérimentales respectives des réactifs et des produits conduit généralement à affecter aux différents corps intervenant dans l'écriture de la réaction globale des coefficients "stoechiométriques" décimaux. **voir:** Modèle cinétique global, modèle cinétique quasi-global, réaction élémentaire.

REACTION INVERSE

(angl. reverse reaction) [appl. cinétique chimique] S'applique à une réaction réversible : la réaction inverse est la réaction écrite dans le sens droite-gauche. **voir:** Réaction directe.

REACTION ION-MOLECULE

Réaction très rapide entre un ion et une molécule. Ce sont des réactions de cette nature qui conduisent, dans le cas des flammes, aux différents ions que l'on peut identifier. Les plus importantes sont les réactions de transfert de proton, les réactions d'échange de charges et les réactions d'association. **voir:** Chimionisation, ion, ionisation.

REACTION ISOLEE

[appl. cinétique chimique] Réaction qui peut être représentée par une seule équation stoechiométrique et dont le déroulement est alors caractérisé par un seul paramètre, appelé avancement de la réaction. On dit aussi réaction simple.

REACTION MONOMOLECULAIRE

voir: Réaction unimoléculaire.

REACTIONS COMPETITIVES

voir: Réactions parallèles.

REACTIONS CONSECUTIVES

voir: Réactions successives.

REACTIONS EN CASCADE

voir: Réactions successives.

REACTION SIMPLE

voir: Réaction isolée.

REACTIONS PARALLELES

[appl. cinétique chimique] Ensemble de réactions qui se produisent simultanément pour réaliser la transformation des réactifs en produits. **équiv:** réactions simultanées, réactions compétitives.

REACTIONS SIMULTANEES

voir: Réactions parallèles.

REACTIONS SUCCESSIVES

[appl. cinétique chimique] Suite de réactions mettant en jeu une ou des espèces intermédiaires entre les réactifs et les produits. Elle est représentée par le mécanisme symbolique : réactifs I1 I2 ... produits. I1, I2, ... sont des espèces intermédiaires. **équiv:** réactions consécutives, réactions en cascade.

REACTION TRIMOLECULAIRE

(angl. trimolecular reaction) [appl. cinétique chimique] Réaction élémentaire mettant en jeu trois espèces initiales. Ce sont généralement des réactions de recombinaison du type A + B + M AB + >M, où M est une molécule quelconque jouant le rôle de troisième corps, ou bien correspondant à des réactions du monoxyde d'azote (par exemple 2 NO + Cl2 2 NOCl). Les réactions trimoléculaires du type A + B + M se caractérisent par une constante de vitesse k évoluant avec la pression selon une courbe de fall-off. Aux pressions élevées la constante k tend vers une valeur limite k indépendante de la pression et la réaction est d'ordre 2. Aux pressions les plus basses, l'ordre global de la réaction tend vers 3 et la constante de vitesse tend vers sa valeur limite ko. Aux pressions intermédiaires, k dépend de la pression et la réaction n'admet pas d'ordre. **voir:** Fall-off, réaction élémentaire, troisième corps.

REACTION UNIMOLECULAIRE

(angl. unimolecular reaction) [appl. cinétique chimique] Réaction élémentaire ne mettant en jeu qu'une seule espèce initiale. Elle se caractérise par une constante de vitesse, appelée kuni, pouvant évoluer avec la pression selon une courbe de fall-off. Aux pressions élevées, la constante kuni tend vers une valeur limite k indépendante de la pression. Aux pressions inférieures, kuni dépend de la pression et la réaction n'admet pas d'ordre. Aux pressions les plus basses, l'ordre global de la réaction devient égal à 2 et kuni tend vers sa valeur

limite ko. En pratique l'étendue de la zone où kuni dépend de la pression (zone du fall-off) varie avec la complexité de l'espèce mise en jeu. Si le nombre d'atomes constituant l'espèce est important, la limite supérieure de kuni sera pratiquement toujours atteinte dans le domaine usuel des pressions (1 atm) et la réaction se comportera comme une réaction d'ordre 1. Par contre, si la réaction met en jeu une espèce bi-atomique, la réaction se comportera presque toujours comme une réaction d'ordre 2 (k ko)) **équiv:** réaction monomoléculaire. **voir:** Fall-off, ordre global, réaction élémentaire.

RECHAUFFE

(angl. reheat, afterburner) (all. Nachbrenner) [appl. aéronautique, turboréacteurs] Dispositif à l'aval de la turbine d'un turboréacteur, où l'oxygène en excès réagit avec du carburant injecté. Augmentation de la poussée d'un réacteur par injection de carburant en aval de la turbine. La flamme est stabilisée dans le canal de réchauffe par un accroche-flamme. **équiv:** postcombustion.

RECIRCULATION DES FUMEES

(angl. flue gas recirculation) [appl. brûleur bas NOx] Désigne le fait de réinjecter les fumées au niveau du brûleur pour produire une zone pauvre favorable au contrôle des émissions de NOx thermique et combustible.

RECOMBINAISON

[appl. réactions ion-molécule]
Le processus de recombinaison intervient dans la région des gaz brûlés entre les ions positifs et les électrons et entre les ions positifs et les ions négatifs. L'énergie dégagée est soit dissipée sous forme de rayonnement soit absorbée par un troisième corps, ou bien elle conduit à la dissociation de la molécule neutre. **voir:** Rupture.

REDUCTEUR

voir: Riche.

REFLEXIVITE

(angl. reflexivity) La réflexivité caractérise les propriétés radiatives d'un solide. C'est le rapport du flux d'énergie réfléchie $L^R_{\lambda T}$ par le solide à celui qui est reçu. Si les flux sont directionnels ou hémisphériques, la réflexivité sera dite directionnelle ou hémisphérique. La réflexivité totale intègre tout le spectre des longueurs d'onde.
$R_{\lambda T} = \frac{L^R_{\lambda T}}{L_{\lambda T}}$,avec $L_{\lambda T}$ flux incident. **équiv:** facteur de réflexion. **voir:** Flux lumineux, luminance.

REFORMULATION

(angl. reformulation) [appl. raffinage, carburant, moteurs] Modification apportée dans la formulation d'un carburant en raffinerie, pour qu'il satisfasse à des spécifications nouvelles sensées le rendre moins polluant à l'usage. Dans le cadre des essences, ces spécifications peuvent porter sur la tension de vapeur, les teneurs en oxygène, en aromatiques et en soufre, et la queue de distillation.

REFRACTAIRE

Matériau façonné (briques, tubes...) ou non façonné (bétons), résistant à de très hautes températures. En combustion industrielle, l'utilisation de revêtements réfractaires dans un four vise à isoler les enveloppes métalliques du contact de la flamme et à réduire les pertes calorifiques par ces enveloppes.

REFRACTION

(angl. refraction) *du latin refringere : plier, briser* [appl. propagation d'une onde] Déflection d'un rayon (ou de l'onde associée) lors du passage dans un milieu où la vitesse de propagation est différente. En optique, l'indice de réfraction d'un milieu rapporte la vitesse de propagation du rayonnement dans ce milieu à la vitesse de la lumière dans le vide : n = v/c = (/00)1/2 = (1 +)1/2, où est la susceptibilité du milieu. Cet indice peut varier avec la fréquence du rayonnement (dispersion), avec sa polarisation (biréfringence). Il peut aussi présenter une partie imaginaire (absorption). **équiv:** déflection, déviation. **voir:** Absorption, biréfringence, dispersion.

REFRACTOSCOPIE

voir: Strioscopie.

REFRIGERANT

voir: Caloporteur.

REFROIDISSEUR

[appl. combustion industrielle] Echangeur thermique placé en aval d'une installation de combustion industrielle et servant à refroidir les produits du traitement thermique et à récupérer une partie des calories de ces produits. On distingue plusieurs types de refroidisseurs : rotatifs (les plus anciens), à ballonnets, à grille continue, à mouvement alternatif.

REGIME

du latin regimen : action de diriger Manière dont se produisent certains phénomènes. Phénomène prépondérant dans l'évolution d'un système, par exemple régime cinétique ou diffusionnel, régime laminaire ou turbulent.

REGIME CINETIQUE

Régime caractérisé par une cinétique chimique plus lente que l'apport des espèces réactives par diffusion. C'est donc la cinétique chimique qui régit la vitesse d'évolution du système.

REGIME DIFFUSIONNEL

Régime caractérisé par un apport des espèces réactives par diffusion plus lent que la cinétique chimique. C'est donc la diffusion des espèces qui régit la vitesse d'évolution du système.

RENDEMENT DE COMBUSTION

(angl. combustion yield) (all. Ergiebigkeit) Rapport de la chaleur dégagée par la combustion à celle théoriquement disponible (pouvoir calorifique du combustible). Ce rendement est toujours inférieur à l'unité.

RENVERSEMENT DES RAIES DU SODIUM

(angl. line reversal temperature, brightness temperature) [appl. mesure optique de la température des gaz brûlés] Mesure spectroscopique de la température d'un milieu, basée sur la comparaison, à l'équilibre thermodynamique local, entre l'émission et l'absorption d'un gaz traceur (le sodium) en fonction de sa température de luminance (température d'excitation électronique). La luminance (ou brillance) d'une source est la puissance émise à la fréquence optique par unité de surface et unité d'angle solide (W.m-2.sr-1). Lorsqu'on forme l'image d'une source élémentaire, la luminance est conservée (conservation de l'étendue géométrique d'un faisceau optique). Néanmoins la luminance d'une épaisseur homogène L de gaz, qui prend en compte l'émission et l'auto-absorption sur cette épaisseur, s'écrit Bo(,T)(1(-exp(-KL)), où Bo(,T) est la luminance du corps noir à la température T pour la fréquence optique et K est le coefficient d'absorption des gaz. Cette relation ne s'applique qu'aux espèces dites "équilibrées" pour lesquelles la distribution des populations entre les niveaux d'énergie concernés n'est régie que par les collisions selon la statistique de Boltzmann, à l'exclusion de tout autre mécanisme. Les phénomènes de chimiluminescence étant prohibés, on utilise le plus souvent des traces d'un composé de sodium sur deux raies de résonance (1 = 589,0 nm et 2 = 589,6 nm) facilement observables au spectroscope.
Le milieu est simultanément illuminé dans l'axe d'observation par le rayonnement spectralement continu d'une source de référence (idéalement un corps noir) de luminance propre Br(,Tr), dont on forme l'image dans la zone d'étude, puis sur la fente d'entrée du spectroscope. On utilise généralement une lampe à filament de tungstène étalonnée, dont on connaît la température de luminance Tr en fonction du courant d'alimentation. En traversant les gaz brûlés, ce rayonnement continu est atténué par l'absorption du milieu (et en particulier par celle du sodium) selon la loi de Beer-Lambert en exp(-KL), de sorte que la luminance totale observée à travers le spectroscope s'écrit B() = Bo(,T)(1(- exp(-KL))(+ Br(,Tr)(exp(-KL). Si on ajuste le courant d'alimentation de la lampe pour que Br(,Tr) = Bo(,T), la luminance observée B() = Bo(,T) apparaît comme un spectre continu. Ce critère très sensible (+/- 10 K) de disparition des raies permet, via l'étalonnage de la lampe, de déterminer la température moyenne des gaz brûlés dans la zone observée. Si le courant dans le filament est trop faible, la présence de sodium se manifeste par une brillance accrue aux longueurs d'onde 1 et 2 de résonance. Si le courant est trop fort, on y observe au contraire des brillances atténuées.
La température ainsi mesurée dans les flammes est généralement inférieure à la température calculée ($\frac{\Delta T}{T} \cong 0.05$). Outre le défaut d'adiabaticité de la combustion (rayonnement...), cet écart peut être imputé au temps de mise à l'équilibre thermique du traceur et à de légères perturbations chimiques (chimiluminescences) des populations spectrales du sodium. Par ailleurs la méthode de mesure suppose que la température soit homogène dans le volume observé.
voir: Absorption, chimiluminescence, émission, luminance, température.

REPRESENTATION D'ARRHENIUS

voir: Diagramme d'Arrhenius.

RESIDU CHARBONNEUX

(angl. char) [appl. feu, incendie] Résidu noir de charbon résultant d'une pyrolyse ou d'une combustion incomplète.

RESISTANCE AU FEU

(angl. fire resistance) [appl. feu, incendie] Aptitude d'un élément de construction à conserver pendant une période déterminée la capacité portante, l'étanchéité ou l'isolation thermique requise. Cette résistance est évaluée au moyen d'essais de résistance au feu normalisés. Ne pas confondre avec réaction au feu. **voir:** Réaction au feu.

RETOUR DE FLAMME

(angl. flash back) Phénomène dû à la non stabilisation d'une flamme de prémélange qui quitte sa position d'équilibre statique apparent (par exemple le sommet d'un brûleur), à cause d'une vitesse d'écoulement des gaz frais trop faible par rapport à la vitesse fondamentale de la flamme. La flamme remonte alors le courant des gaz frais et pénètre dans le brûleur. Pour éviter que ce retour de flamme n'atteigne et ne détériore l'alimentation, on doit prévoir un dispositif anti-retour (grille ou poreux) qui arrête cette dangereuse propagation. **voir:** Arrete-flamme.

REYNOLDS

nom de l'ingénieur et physicien anglais Osborne Reynolds (1842-1912), spécialiste de la mécanique des fluides et pionnier de l'étude des écoulements turbulents.
voir: Nombre de Reynolds, tensions de Reynolds.

RICHE

(angl. rich) (all. sauerstoffarm, fett) Caractérise une combustion avec excès de carburant (richesse > 1). **équiv:** réducteur.

RICHESSE

(angl. equivalence ratio) [appl. réaction chimique] La richesse d'un mélange réactif (sous-entendu richesse en combustible) est un rapport adimensionnel de la quantité relative de combustible à cette même quantité relative dans le mélange stoechiométrique. Le mélange stoechiométrique correspond donc à la richesse 1. Différentes définitions sont utilisées, bien qu'elles ne soient pas toujours précisées. Soit la réaction FF + OO + DD produits, où F, O et D désignent respectivement le combustible, le comburant et le diluant. A la stoechiométrie, on a (XF/XO)s = F/O en termes de fraction molaire, ou (YF/YO)s = FWF/OWO en termes de fraction massique. La richesse est parfois définie sans considérer le diluant par R = (XF/XO)/(F/O) ou massiquement par R = (YF/YO)/(FWF/OWO). Elle peut être plus globalement définie par R = XF(F + O + D)/F ou massiquement par R = YF(FWF + OWO + DWD)/FWF.

RISQUE D'INCENDIE

(angl. fire risk) [appl. feu, incendie] Probabilité de pertes de vie, de blessures ou de dégâts matériels causés par un incendie, et probabilité pour que se déclare un incendie. Le risque d'incendie réunit la fréquence attendue de l'apparition de l'incendie et l'importance attendue du dommage une fois l'événement apparu.

RON

initiales pour Research Octane Number : indice d'octane recherche **voir:** Indice d'octane.

RONFLEMENT

voir: Instabilité de combustion.

RUPTURE

(angl. terminaison) [appl. cinétique chimique] Réaction élémentaire rompant le développement des chaînes par la transformation des centres actifs en produits stables. Exemple : CH3 + CH3 -> C2H6. Les réactions de rupture peuvent s'effectuer en phase homogène ou hétérogène, ou les deux à la fois. **voir:** Réaction élémentaire, réaction en chaînes.

S

SCALAIRE CONSERVE

(angl. conserved scalar) [appl. quantification du degré de mélange dans les flammes de diffusion] Quantité scalaire intensive de dimension q quelconque dont le taux de production (ou de consommation) WQ, en kg.q.m-3.s-1, est nul dans l'écoulement réactif. Quand les effets Dufour, Soret et de pression sont négligeables, l'équation de bilan (Shvab-Zel'dovich) pour la quantité Q conservée s'écrit : WQ = L(Q) = (.Q/t) + VQ - (DQ) = 0, où l'opérateur linéaire L rend compte des phénomènes d'accroissement, de convection et de diffusion dans l'ordre d'écriture (est la masse volumique). Une simplification très importante est obtenue si un coefficient de diffusion D unique peut être utilisé (cf nombre de Lewis). Dans ce cas, l'enthalpie totale du système est un scalaire conservé, de même les fractions massiques d'espèces non impliquées dans la réaction, telles que des molécules de diluant ou les atomes. L'opérateur L permet d'établir des relations linéaires entre les scalaires conservés, et notamment avec l'enthalpie dont la partie dite sensible croît avec la température (linéairement dans le cas idéal où les capacités thermiques massiques (chaleurs massiques) sont constantes).
Les fractions massiques des espèces moléculaires impliquées dans la combustion ne sont pas conservées, mais il est possible d'en effectuer des combinaisons linéaires appropriées, dites fonctions de couplage, pour construire des scalaires conservés. De telles combinaisons peuvent être très simplement obtenues si la réaction chimique globale est assez rapide devant la vitesse de mélange (grand nombre de Damköhler) pour être résumée en un schéma à une étape (FF + OO - PP, avec P <0), où les espèces majoritaires ont le temps d'être consommées ou produites dans les proportions de la stoechiométrie globale. Un taux de réaction moléculaire normalisé (en mol.m-3.s-1) peut alors être défini par *= L(YF/FWF) = L(YO/OWO) = L(YP/PWP), où les fractions massiques Yi sont divisées par les masses moléculaires Wi. Ainsi les fonctions de couplage ij = (Yi/iWi) - (Yj/jWj) qui satisfont L(ij) = 0 se comportent-elles comme des scalaires conservés dans les écoulements où Le = 1 et Da » 1. Des fonctions de couplage peuvent aussi être obtenues avec des espèces intermédiaires en utilisant les réactions élémentaires pertinentes ou les schémas réduits appropriés selon le domaine de richesse et de température.
Dans les écoulements réactifs à grand nombre de Damköhler, où les caractéristiques de mélange sont décrites de façon unique par celles d'un scalaire conservé, il est avantageux d'effectuer une transformation (cf. transformation de Crocco) des variables spatiales (x, y, z) en un système orthogonal de coordonnées (a, b, Q-Qs) tangentiellement attaché à la surface stoechiométrique Q(x, y, z) = Qs. Dans ce référentiel mobile (cf flammelette), l'expression du taux de réaction est alors très simplifiée : un scalaire A et ses gradients ne dépendant que du scalaire conservé Q, on obtient en régime stationnaire A = L(A(Q)) = D|Q|2 2A/Q2. Ainsi le taux de réaction à grand nombre de Damköhler est-il proportionnel au taux de dissipation du scalaire conservé et au terme chimique 2A/Q2. Ce terme chimique est généralement maximum à la stoechiométrie (Q(x, y, z) = Qs). Dans le cas extrême d'une réaction rapide et irréversible, il est nul partout sauf à la stoechiométrie (cf Burke-Shumann).
Dans le cas d'un mélange entre deux écoulements, on utilise souvent un scalaire conservé normalisé appelé fraction de mélange.
équiv: traceur de mélange. **voir:** Dissipation scalaire, flammelette, fraction de mélange, modèle de Burke-Shuman, transformation de Crocco.

SCENARIO D'INCENDIE

[appl. feu, incendie] L'acception courante renvoie plus à la mise en place d'un décor qu'à la description d'une histoire. Avant de réaliser une expérience en vraie grandeur, ou bien de lancer l'exécution d'un programme de calcul du développement d'un feu, il faut décrire le lieu de l'action (volume ou volumes impliqué(s), dimensions, nature des parois, ouvertures, ventilation mécanique ou non...), définir le premier foyer et donner des caractéristiques aux "acteurs" potentiels qui "entreront en scène" lorsqu'ils répondront aux sollicitations dont ils seront l'objet (objets et produits combustibles mobiliers ou immobiliers fixés au bâtiment). Le rôle de ces acteurs, qui n'est pas aisément prévisible a priori, dépendra de leurs caractéristiques et des conditions auxquelles ils seront soumis. Fixer le scénario nécessite ainsi de définir des conditions initiales et aux limites pour un ensemble de phénomènes qui s'enchaîneront, et qu'on a prévu d'observer. L'ensemble de ces choix et la définition des grandeurs à mesurer ou à calculer posent les données du scénario. L'objectif direct de la simulation expérimentale ou numérique découlant du scénario choisi est l'examen des signes du développement du feu et le constat des conséquences dangereuses : observation des événements marquants (allumages, percements, effondrements...) et mesure de l'évolution des grandeurs physiques. Après la simulation, le déroulement du scénario sera connu. On parlera alors de l'histoire du feu qui aura été simulé. Le spécialiste peut deviner quelle histoire aura lieu parmi plusieurs possibles : on confond ainsi quelquefois histoire

d'un feu (a posteriori) et scénario (a priori). Dans la pratique la définition d'un scénario peut être d'ampleur très variable, limitée à la description d'un flux radiatif sur une éprouvette ou bien portant sur un feu de bâtiment impliquant plusieurs foyers dans plusieurs pièces.

SCHLIEREN

voir: Strioscopie.

SCRAMJET

contraction de supersonic combustion ramjet **voir:** Statoréacteur à combustion supersonique.

SECOND ORDRE

(angl. second order) [appl. cinétique chimique] Une réaction du second ordre est une réaction simple du type A1 + A1 produits ou A1 + A2 produits admettant un ordre global égal à 2. Sa vitesse est de la forme r = k (A1)2 ou k(A1)(A2), k représentant la constante de vitesse de la réaction. V. Ordre global. **équiv:** ordre 2.

SECTION EFFICACE

(angl. cross section) [appl. collisions, diagnostics] Section (en m2) du tube de courant dans lequel une particule A doit se trouver pour interagir avec une particule B qui circule sur l'axe du tube. Cette section dépend de la nature des particules A et B (particules, molécules, photons...) et du type d'interaction considéré. Dans le cas où la particule B est un photon, la section efficace de l'interaction lumière-matière considérée rapporte la puissance émise à l'éclairement incident sur une particule. En régime d'excitation linéaire où la section efficace ne dépend pas de l'éclairement incident, la puissance lumineuse dP émise dans tout l'espace est reliée à la puissance du faisceau incident par la relation dP/P = NdL, où N est la concentration volumique de l'espèce impliquée et dL est la longueur sur l'axe optique du domaine d'interaction. Cette relation est à rapprocher de la loi de Beer-Lambert qui, de façon complémentaire, prévoit la perte de puissance du faisceau : dP/P = - kdL. Le rapport N/k de l'énergie émise à l'énergie perdue détermine le rendement de l'interaction lumière-matière. Dans le cas des interactions purement élastiques et donc instantanées (extinction pure et diffusion simple), le rendement vaut 1. Dans le cas des interactions résonantes (absorption puis fluorescence) le rendement est réduit par les collisions relaxantes non radiatives qui ont le temps d'intervenir.
voir: Absorption, diffusion, extinction, fluorescence, loi de Beer-Lambert.

SEMENOV

nom du chimiste russe Nikolaï Semenov (1896-1986), prix Nobel de chimie en 1956 pour ses recherches sur la cinétique chimique **voir:** Principe des concentrations partielles stationnaires.

SEMI-COKE

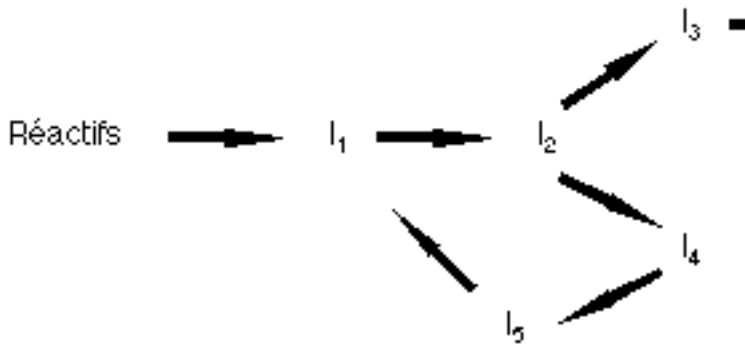
(angl. semi-coke) Le semi-coke est un coke vert produit à partir d'un précurseur carboné (résidu de pétrole, bitume, goudron, brai) par carbonisation à températures comprises entre le début de la fusion du charbon (environ 350°C) et la complète dévolatilisation. Pour les produits passant par un stade plastique au cours de leur carbonisation, le semi-coke correspond au solide obtenu au moment de la solidification complète (généralement vers 500-600°C). Lorsque le traitement est poursuivi jusqu'à 1000°C, on obtient le coke. Le semi-coke contient de 5 à 12 % de matières volatiles. **voir:** Carbonisation, coke vert, dévolatilisation, matières volatiles.

SEMI-PROPERGOL

[appl. moteurs fusées] Propergol solide sous-oxygéné destiné à former des gaz réducteurs pour une combustion aérobie. Exemple : aérolite, constitué d'un mélange de perchlorate d'ammonium et d'un liant hydrocarboné. Les semi-propergols suivent les mêmes règles d'appellation (en France) que les propergols composites, avec le préfixe aéro. **voir:** Combustion aérobie, propergol solide.

SEQUENCE FERMEE

[appl. cinétique chimique] Séquence réactionnelle formant une chaîne fermée. Exemple :



La séquence I1, I2, I3 est une séquence ouverte. La séquence I1, I2, I4, I5, I1 est une séquence fermée. **voir:** Séquence réactionnelle.

SEQUENCE OUVERTE

[appl. cinétique chimique] Séquence réactionnelle ne formant pas une chaîne fermée. **voir:** Séquence fermée, séquence réactionnelle.

SEQUENCE REACTIONNELLE

[appl. cinétique chimique] Ensemble de réactions élémentaires que l'on décide de considérer au sein d'un mécanisme réactionnel.

SIMILITUDE DE ZEL'DOVICH-NEUMANN

(angl. Zel'dovich-Neumann similitude) *du nom des deux physiciens russe Y. Zel'dovich (1914-1987) et allemand J. von Neumann (1903-1957)* [appl. détonique] L'analyse de l'écoulement des produits de détonation en aval du front d'onde peut conduire, sous certaines hypothèses simplificatrices, à la définition de solutions dites auto-semblables : pour une détonation permanente (célérité constante) les caractéristiques de l'écoulement ne dépendent que de la distance relative rapportée à la position du front d'onde. C'est la similitude de Zel'dovich-Neuman. Des diagrammes adimensionnels ont été établis pour les diverses symétries plane, cylindrique et sphérique. L'expérience montre que ce type de solution représente correctement les phénomènes physiques réels.

SIMULATION

du latin similis : semblable Représentation artificielle d'un phénomène sous forme expérimentale ou par le calcul, permettant d'étudier l'influence de certains états ou certaines conditions sur des phénomènes déterminés. On distingue les simulations analogiques, à partir de maquettes ou de dispositifs physiques, où les lois d'évolution sont sensées être analogues aux relations entre les variables mises en jeu dans le phénomène étudié, et les simulations numériques où les relations entre les variables sont exprimées sous forme d'opérations exploitables par le calcul. Le développement de la puissance de calcul des ordinateurs a donné un essor considérable à la simulation numérique.

SIMULATION DES GRANDES STRUCTURES TURBULENTES

(angl. sub-grid scale model)) [appl. calcul numérique en mécanique des fluides, thermique et combustion] Simulation "directe" des structures turbulentes de taille supérieure à une taille donnée (longueur d'onde de coupure) avec représentation des structures plus petites par un modèle de fermeture statistique.
Pour étudier des écoulements à grand nombre de Reynolds, on renonce à simuler directement les fluctuations de taille inférieure à la longueur d'onde de coupure (en gros, la taille du maillage). Il faut alors introduire un modèle (une fermeture) pour représenter l'effet des tourbillons de taille plus petite que la maille de calcul : c'est le modèle de sous-maille (Des précautions doivent être prises : maillage assez fin, notamment près des parois ou dans les couches de mélange, écoulements rentrant dans le domaine de calcul fluctuants, fluctuations réalistes (spectre, longueur de corrélation...). On peut réaliser des simulations de grandes structures en bidimensionnel, pour certaines grandes structures particulièrement simples (couches de mélange). Malgré son coût élevé, et contrairement à la simulation directe, la simulation des grandes structures turbulentes peut devenir un outil industriel dans les dix prochaines années. **équiv:** macrosimulation. **voir:** Maillage, simulation directe.

SIMULATION DIRECTE

(angl. direct simulation (DS)) [appl. calcul numérique en mécanique des fluides et thermique, donc en combustion] Résolution tridimensionnelle de toutes les fluctuations turbulentes, en résolvant les équations telles qu'on peut les écrire pour calculer un écoulement laminaire, c'est-à-dire sans modèle de turbulence ni de combustion turbulente.
L'avantage de cette résolution est que l'on évite les erreurs dues à la formulation du modèle. Le problème est que le maillage doit être extrêmement fin, pour pouvoir représenter l'ensemble des fluctuations turbulentes, des grandes échelles aux plus petites (échelles de Kolmogorov). Le rapport des grandes échelles aux plus petites varie comme la puissance 3/4 du nombre de Reynolds. Le nombre de noeuds doit donc varier comme la puissance 9/4 du nombre de Reynolds. Ce n'est aujourd'hui possible (et très coûteux) que pour des nombres de Reynolds modérés ($<$3 000), encore proches de la transition, et pour des géométries simples, à condition que la méthode numérique soit très précise. Pour ces raisons, la simulation directe de turbulence reste actuellement un outil d'investigation théorique. **voir:** Maillage, simulation des grandes structures turbulentes.

SITE ACTIF

[appl. cinétique chimique, réactions hétérogènes] Groupe d'atomes, à la surface d'un solide (réactif lui-même ou simplement paroi d'un réacteur), responsable d'une activité catalytique.

SKEWNESS

voir: Dissymétrie.

SONDE DE LANGMUIR

(angl. Langmuir probe) [appl. étude des propriétés électriques des flammes] Pour étudier les propriétés électriques d'une flamme, on y introduit une sonde métallique et on fait varier le potentiel de cette sonde par rapport à celui d'une électrode de référence. On trace la courbe caractéristique de la variation de l'intensité du courant en fonction de cette différence de potentiel. Cette courbe permet d'obtenir la température électronique ainsi que les concentrations globales en ions positifs.

SOUFFLAGE

(angl. blow-out) Disparition soudaine d'une flamme suspendue ou parfois même d'une flamme encore accrochée lorsque, la vitesse de l'écoulement étant trop grande, les temps de séjour ou de mélange des réactifs deviennent partout incompatibles avec le temps de réaction chimique. **voir:** Flamme suspendue.

SOURCE D'ALLUMAGE

(angl. ignition source) [appl. feu, incendie] Source de chaleur utilisée pour allumer des matériaux ou des produits combustibles.

SO

voir: Oxydes de soufre.

SPECTRE VIBRATIONNEL

voir: Bande moléculaire.

SPECTROMETRIE DE MASSE

(angl. mass spectrometry) Technique d'analyse qui permet l'identification et le dosage d'espèces chimiques par formation d'ions qui sont séparés en fonction de leur masse. Pour l'analyse de mélanges complexes, on peut combiner cette technique avec la chromatographie en phase gazeuse : dans le couplage chromatographie-spectrométrie de masse, les différents constituants du mélange analysé sont séparés sur la colonne du chromatographe avant d'être introduits dans le spectromètre de masse qui permet leur identification. **voir:** Chromatographie en phase gazeuse.

SPECTROSCOPIE

(angl. spectroscopy) Analyse du spectre d'absorption ou d'émission d'un corps au moyen d'un instrument permettant de disperser en longueur d'onde le rayonnement lumineux.

SPECTROSCOPIE MOLECULAIRE

SPRAY

mot anglais signifiant embruns, brume **voir:** Brouillard.

STABILISATEUR

(angl. flame holder) [appl. chambres de combustion industrielles] Dispositif destiné à ralentir localement les gaz dans une chambre de combustion pour stabiliser une flamme.
Il s'agit de créer une zone de recirculation et de mélange entre gaz brûlés et gaz frais afin d'assurer une inflammation continue de ceux-ci et maintenir la flamme dans son domaine de stabilité. Ce dispositif peut être un obstacle matériel ou être créé aérodynamiquement par un agencement de jets (à contre-courant ou transversaux). Dans les deux cas, cette stabilisation est obtenue par un surcroît de perte de charge. **équiv:** accroche-flamme.

STAHL

nom du chimiste allemand Georg Ernst Stahl (1660-1734) qui a établi la théorie du phlogistique **voir:** Phlogistique.

STATOREACTEUR

(angl. ramjet) *du latin status : fixe, et réacteur* Moteur aérobie fournissant une poussée par éjection de gaz chauds. La compression de l'air se fait par le ralentissement de l'écoulement dans un canal divergent (en régime subsonique) ou convergent (en régime supersonique). La combustion est stabilisée en régime subsonique par un système d'accroche-flamme ou d'élargissement brusque. Les gaz brûlés sont ensuite réaccélérés dans une tuyère. Le principal avantage de ce moteur réside dans l'absence de pièces mobiles. Cette relative simplicité en fait un système très performant en terme d'impulsion spécifique à haute vitesse. Le principal inconvénient réside dans l'impossibilité de fonctionnement à vitesse nulle. Les engins à statoréacteur doivent donc être accélérés au départ par un autre moyen de propulsion. **voir:** Moteur fusée, turboréacteur.

STATOREACTEUR A COMBUSTION SUPERSONIQUE

(angl. scramjet) (all. Stausstrahltriebwerk mit Überschallverbrennung) [appl. moteurs aéronautiques] Statoréacteur dans lequel la combustion s'effectue dans un écoulement d'air supersonique. **voir:** Statoréacteur.

STOECHIOMETRIE

du grec stoicheion : élément, et metron : mesure Etude du rapport des quantités selon lesquelles les éléments se combinent entre eux lors des réactions chimiques. De façon plus restreinte et plus courante, rapport des proportions entre réactifs qui correspond à la réaction chimique (globale ou élémentaire) écrite sous la forme conventionnelle. **voir:** Mélange stoechiométrique.

STOKES

nom du mathématicien et physicien irlandais George Gabriel Stokes (1819-1903), spécialiste en optique et hydrodynamique **voir:** Diffusion Raman, diffusion Raman anti-Stokes cohérente, équations de Navier-Stokes, nombre de Stokes.

STRAIN

mot anglais signifiant effort, contrainte, étirement **voir:** Etirement.

STRIOSCOPIE

(angl. schlieren) (all. Schlieren Verfahren) *du latin stria : strie* [appl. visualisation de milieux optiquement inhomogènes] Visualisation des gradients transverses de l'indice d'un milieu. L'image du milieu est formée sur l'écran ou le récepteur par un système optique qui occulte, atténue ou déphase la partie non perturbée du rayonnement transmis. L'éclairement relatif sur l'image est généralement proportionnel au gradient transverse moyen de densité (m-1).

La technique permet de mettre en évidence des différences de chemin optique associées à des hétérogénéités du milieu traversé par un faisceau de lumière parallèle. Elle consiste en un filtrage spatial réalisé dans le plan de Fourier (plan focal d'une lentille située après le milieu étudié) obtenu soit par un simple écran opaque (strioscopie proprement dite), soit par un ensemble d'écrans colorés, soit par une lame introduisant un retard de phase de /2. Cette dernière technique, le contraste de phase, est beaucoup plus sensible que la simple strioscopie.
La strioscopie est particulièrement bien adaptée à la visualisation des ondes de choc. **équiv:** réfractoscopie, diffractoscopie, contraste de phase. **voir:** Ombroscopie.

STRUCTURE COHERENTE

voir: Structure turbulente.

STRUCTURE DE FLAMME

(angl. flame structure) Répartition des valeurs des paramètres de la flamme par rapport au profil de température. On inclut dans ce terme tous les aspects relatifs à la forme, l'épaisseur, l'orientation, la composition, la température et la position de la zone de réaction.

STRUCTURE TURBULENTE

(angl. turbulent structure, coherent structure) [appl. mécanique des fluides] Désigne, au sein d'un écoulement turbulent, une structure organisée ayant une certaine durée de vie. Exemples : structures en forme de fer à cheval observées à proximité des parois, tourbillons résultant de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz dans une couche de mélange. Ces structures peuvent être observées expérimentalement ou révélées par des simulations directes de turbulence. Ce sont les propriétés des grandes structures turbulentes en termes d'échelle de longueur et de vitesse caractéristiques qui sont utilisées dans les modèles comme le modèle k-ε (ou le modèle de longueur de mélange. **équiv:** structure cohérente.

SUIE

(angl. soot) (all. Russ) *mot d'origine gauloise, issu de la forme probable sudia : même sens* Les suies sont des particules de faible diamètre (environ 1 m)(se présentant sous la forme d'agrégats de sphères élémentaires ayant un diamètre de l'ordre de 10 à 50 nm. Elles se forment par condensation d'hydrocarbures dans les zones riches des flammes. La formation des suies est basée sur plusieurs processus (nucléation, agglomération, croissance de surface, oxydation) qui dépendent fortement des conditions expérimentales (nature du combustible, température, richesse...), ce qui rend ce phénomène difficilement quantifiable. Les suies conduisent dans les brûleurs à un encrassement. De plus les hydrocarbures ont tendance à s'adsorber sur leur surface : elles sont donc un facteur de dispersion pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). **voir:** Agglomération, hydrocarbure aromatique polycyclique, nucléation.

SUPERSONIQUE

(angl. supersonic) *du latin super : au dessus* Qualifie un écoulement ou un déplacement à vitesse supérieure à la vitesse du son. On tend à utiliser le mot hypersonique pour les vitesses supersoniques supérieures à Mach 5 ou 6 environ, réservant le mot supersonique aux vitesses intermédiaires.

SUPERSTATOREACTEUR

(angl. scramjet (supersonic combustion ramjet)) [appl. combustion supersonique] **équiv:** statoréacteur à combustion supersonique. **voir:** Statoréacteur à combustion supersonique.

SUSPENSION

(angl. lift-off) **voir:** Flamme suspendue.

SWIRL

mot anglais signifiant tourbillonner **voir:** Ecoulement hélicoïdal.

SYSTEME

(angl. system) [appl. cinétique chimique] La réaction chimique s'effectue dans un système (ou réacteur), c'est à dire dans un volume fini, par exemple celui d'un appareillage. Le reste de l'univers est appelé "extérieur". Le système (ou réacteur) est dit ouvert s'il échange de la matière avec l'extérieur, ou fermé dans le cas contraire.

SYSTEME COMBUSTIBLE

Système gazeux, liquide ou solide, homogène ou hétérogène, dont les constituants sont prémélangés ou non, et qui est susceptible d'être le siège d'une combustion. **équiv:** système initial, réactifs, mélange frais, mélange initial, gaz frais.

SYSTEME HYPERGOLIQUE

voir: Hypergol.

SYSTEME INFLAMMABLE

Système dont l'ensemble des valeurs des variables se trouve dans le domaine d'inflammation. **voir:** Domaine d'inflammation, inflammation.

SYSTEMES PRATIQUES

(angl. practical systems) Termes utilisés par les organisateurs des symposiums et conférences sur la combustion pour regrouper les contributions relatives à la mise en oeuvre de la combustion et des disciplines connexes (pyrolyse, détonique) dans des équipements industriels

comme les moteurs (à allumage commandé, Diesel, aéronautiques ou fusées), les fours et incinérateurs, les turbines, les générateurs MHD, les missiles, les armes et munitions...

T

TAMISAGE

voir: Granulométrie.

TAUX D'AERATION

voir: Facteur d'air.

TAUX DE CENDRES

[appl. combustion du charbon et des solides] Les cendres résultent de la pyrolyse des impuretés minérales des composés organiques. Elles représentent fréquemment de quelques pour cent à 10 % de la masse d'un charbon. Le taux de cendres est mesuré d'après la masse du résidu solide obtenu après combustion du composé organique dans les conditions suivantes : incinération à une température maximale de 815°C jusqu'à masse constante du résidu, l'enfournement étant fait à froid et la loi de chauffe étant de 30 min pour atteindre 500°C, puis 30 à 60 min pour 815°C.

TAUX DE COMPRESSION

(angl. compression ratio) [appl. moteurs] Le taux de compression est un rapport de volumes (et non pas de pressions). C'est le rapport entre les volumes dégagés au-dessus du piston lorsque celui-ci est au point mort bas et au point mort haut. La notion de taux de compression est utilisée pour l'analyse de la qualité des cycles thermodynamiques. Plus ce taux est élevé, meilleur est le rendement énergétique du moteur. Il est compris entre 8 et 12 pour les moteurs à allumage commandé (mais généralement limité à des valeurs voisines de 10 pour éviter l'apparition du cliquetis) et entre 12 et 24 pour les moteurs Diesel. **équiv:** rapport volumétrique. **voir:** Cliquetis.

TDD

initiales pour transition déflagration-détonation **voir:** Transition déflagration-détonation.

TEMPERATURE

TEMPERATURE CELSIUS

du nom du physicien et astronome suédois Anders Celsius (1701-1744), qui a créé l'échelle thermométrique centésimale La température Celsius t est définie par la différence t = T - T0 de deux températures thermodynamiques T et T0 avec T0 = 273,15 K. Elle s'exprime en degrés Celsius. L'unité degré Celsius est égale à l'unité kelvin : un intervalle de température peut donc s'exprimer soit en kelvins, soit en degrés Celsius. Le terme degré Celsius a été choisi pour désigner le degré de température SI, de préférence aux termes degré centigrade ou degré centésimal.

TEMPERATURE D'ACTIVATION

voir: Energie d'activation.

TEMPERATURE D'ALLUMAGE

(angl. ignition temperature) [appl. feu, incendie] Température minimale d'un matériau à laquelle peut être obtenue une combustion soutenue dans des conditions spécifiées.

TEMPERATURE D'AUTO-INFLAMMATION

(angl. ignition temperature) Température minimum d'inflammation spontanée qu'on obtient à pression donnée pour un mélange combustible-comburant. Il est possible de définir des températures d'auto-inflammation pour différentes pressions ou différentes compositions du mélange réactif (air ou oxygène pur, par exemple). **voir:** Auto-inflammation.

TEMPERATURE DE FLAMME

(angl. flame temperature) Température des gaz au sein de la zone de réaction intense dans un écoulement en combustion. La température de flamme peut être très différente de la température théorique de combustion, notamment du fait que la zone de réaction est hors équilibre. La température de flamme dépend de l'avancement chimique de la combustion et d'autres paramètres liés aux conditions aérodynamiques, thermiques et radiatives de l'écoulement.

TEMPERATURE D'INFLAMMATION

(angl. ignition temperature) Température à partir de laquelle peut s'enflammer un mélange d'air et de gaz, par compression ou au contact d'un corps chaud, en l'absence de phénomène de catalyse. Température à partir de laquelle un matériau solide commence à brûler, soit directement à l'état solide, soit par émission de gaz combustibles qui s'enflamment.

TEMPERATURE THEORIQUE DE COMBUSTION

Température maximale susceptible d'être obtenue par les gaz en fin de combustion. Elle se calcule en déterminant l'état final d'un mélange carburant/combustible pris initialement dans des proportions stoechiométriques et ayant subi une combustion adiabatique à pression constante.

TEMPS DE DEMI-REACTION

[appl. cinétique chimique] Temps nécessaire pour consommer la moitié du réactif minoritaire.

TEMPS DE RELAXATION

[appl. cinétique chimique] Temps pendant lequel la concentration d'une espèce donnée chute à la fraction 1/e de sa valeur initiale.

TENSEUR DES CONTRAINTES

(angl. stress tensor) [appl. mécanique des milieux continus] (unité: kg m⁻¹ s⁻² (homogène à une pression)) Représentation mathématique de l'état des contraintes au sein d'un milieu continu, c'est à dire des forces par unité de surface agissant entre volumes élémentaires. Si T<inf>ij</inf> (i et j varient de 1 à 3 pour les trois directions de l'espace) sont les composantes du tenseur des contraintes T, la force F exercée sur un élément de surface s de vecteur unitaire normal n a pour composantes : F<inf>i</inf> = T<inf>ijnjs</inf>.
Dans un fluide linéairement visqueux (fluide newtonien), approximation généralement retenue pour les gaz et la plupart des liquides, les composantes du tenseur des contraintes s'expriment à partir des composantes de la vitesse ui, de la pression p, de la viscosité dynamique , et d'un coefficient de seconde viscosité (ij est le symbole de Kronecker : égal à 1 si i = j, sinon égal à 0) : T<inf>ij</inf> = - p<inf>ij</inf> + (u<inf>i</inf>/x<inf>j</inf> + u<inf>j</inf> /x<inf>i</inf>) + div(u)<inf>ij</inf>.

TENSIONS DE REYNOLDS

(angl. Reynolds stresses) *du nom de Osborne Reynolds, physicien anglais (1842-1912), pionnier de l'étude des écoulements turbulents* [appl. description d'un écoulement turbulent à partir de moyennes statistiques] Les tensions de Reynolds sont les termes inconnus qui apparaissent lors du moyennage des équations de Navier-Stokes, que l'on choisisse une formulation en moyennes de Favre ou en moyennes classiques (aussi appelées parfois moyennes de Reynolds). Dans le modèle de turbulence k-ε, ces tensions de Reynolds sont exprimées par une hypothèse de viscosité turbulente. **équiv:** cisaillement turbulent. **voir:** Moyennes de Favre, modèle k-epsilon.

TERMINAISON

copie du terme anglais terminaison, signifiant rupture **voir:** Rupture.

THEORIE DES COLLISIONS

La constante de vitesse expérimentale d'Arrhenius s'exprime en fonction de la température T par : K(T) = A(T) exp(-A(T)/kT). A(T) est appelé facteur préexponentiel, A(T)(est l'énergie d'activation et k la constante de Maxwell-Boltzmann. La théorie des collisions fut la première à tenter de rendre compte de cette expression d'Arrhenius. Elle dérive de la théorie cinétique des gaz. Les partenaires de collision étant assimilés à des sphères rigides, elle conduit à l'expression suivante de la constante de vitesse : K(T) = Zdeg. (T)exp(-S/kT). Zdeg. est appelé "nombre de collision". C'est la fréquence de collision pour des concentrations unitaires de réactifs. S est l'énergie minimale de translation relative des partenaires de collision pour qu'elle soit réactive. Malheureusement la théorie ne permet pas de calculer S. On l'identifie à A(T), ce qui conduit à l'identification des termes préexponentiels, soit Zdeg.(T) = P A(T). P est appelé facteur stérique. **voir:** Facteur stérique.

THERMIE

du grec thermos : chaud Unité d'énergie (symbole th) dont l'utilisation en France est prohibée depuis le 1er janvier 1978. L'unité d'énergie du système SI est le joule (symbole J), avec ses multiples et sous-multiples. La thermie ou mégacalorie est égale à 106 calories.
1 th = 4,1855 MJ.

THERMIQUE

du grec thermos : chaud Branche de la physique qui traite des échanges de chaleur accompagnés ou non d'échanges de masse et de changements de phase. Les échanges de chaleur se classent en échanges par rayonnement, conduction et convection (naturelle ou forcée).

THERMOCHIMIE

du grec thermos : chaud, et de l'arabe al kîmiyâ : art de la transmutation des métaux Partie de la chimie qui traite des échanges calorifiques se produisant lors des réactions chimiques. S'y rattache la calorimétrie, science ayant pour objet la mesure de ces échanges calorifiques.

THERMODYNAMIQUE

du grec thermos : chaud, et dunamis : force Branche de la physique macroscopique qui traite des échanges d'énergie à l'intérieur d'un système (système isolé) ou entre un système et son environnement (système fermé s'il n'échange que de l'énergie, système ouvert s'il échange énergie et matière).

THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

[appl. diagnostics] Ensemble des techniques qui permettent d'obtenir et de traiter une image thermique dans le domaine spectral de l'infrarouge, soit pour des mesures de luminance, soit pour calculer des températures. **voir:** Image thermique.

THERMOGRAVIMETRIE

(angl. thermogravimetry (TG)) *mot composé à partir des racines grecques thermos : chaud, et métron : mesure, et latine gravis : lourd* [appl. cinétique hétérogène, stabilité thermique des matériaux] Association de la pesée continue de substances participant à une ou des réactions chimiques avec une variation linéaire de la température de ces substances en fonction du temps. Le cas limite où la variation de la température en fonction du temps est nulle est appelé thermogravimétrie isotherme. La courbe masse = f(temps ou température) est appelée thermogramme.
La thermogravimétrie constitue une méthode de mesure du degré d'avancement d'une réaction et permet de caractériser la vitesse des réactions hétérogènes de substances solides, du moment qu'elles s'accompagnent d'une variation de masse. La réaction peut avoir lieu en présence d'une circulation d'un gaz inerte (décomposition thermique, déshydratation) ou participant à la pyrolyse (pyrolyse oxydante, oxydation) ou à la réaction. On réserve le terme d'analyse thermogravimétrique (initiales ATG) aux cas de dégradation thermique (pyrolyse et oxydation).
Moyennant diverses précautions relatives aux caractéristiques du creuset contenant l'échantillon, à l'état de division de la substance étudiée, à la masse initiale de l'échantillon, à la vitesse de montée en température, à la vitesse de circulation des gaz, et à condition de corriger le thermogramme brut par le résultat d'un essai à blanc (sans échantillon) pour tenir compte de la variation de la poussée d'Archimède en fonction de la température, les thermogrammes permettent, au moyen de diverses méthodes d'interprétation ou de simulation, de déterminer les paramètres cinétiques (ordre, facteur préexponentiel, énergie d'activation) de la ou des réactions subies par l'échantillon. L'ATG est très employée pour l'étude de la dégradation thermique des matériaux. Elle contribue à en caractériser la cinétique et donc la vitesse de production de gaz combustibles susceptibles d'alimenter la combustion ou l'incendie.
L'ATG peut être couplée avec d'autres analyses thermiques, en particulier avec l'analyse thermique différentielle. **voir:** Analyse thermique différentielle.

THERMOPHORESE

(angl. thermophoresis) *du grec thermos : chaud, et phorein : porter* [appl. transport de matière] Phénomène de transport laminaire par lequel des particules (suies...) remontent un gradient de température.

TIRAGE

[appl. combustion industrielle] Action par laquelle on procure l'air nécessaire à la combustion. Ce rôle peut être assuré naturellement (par exemple le tirage naturel d'une cheminée) ou par un système d'aspiration des gaz issus du four.

TOMOGRAPHIE LASER

du grec tomè : coupure et graphein : écrire [appl. diagnostics] La tomographie laser en combustion est une technique de visualisation instantanée des fronts de flamme sous forme d'une coupe par un plan laser. Les gaz frais sont ensemencés de gouttelettes d'huile (environ 1 m de diamètre) qui se volatilisent à la traversée du front de flamme. Ainsi l'écoulement des gaz brûlés n'est pas visible, alors qu'au contraire les gaz frais sont rendus visibles grâce à la diffusion de la lumière par les gouttelettes. La frontière entre les deux zones des gaz frais et des gaz brûlés est donc une coupe instantanée du front de flamme. **voir:** Diffusion de la lumière, plan laser.

TRACEUR DE MELANGE

voir: Scalaire conservé.

TRANSFERT

(angl. transfer) Déplacement d'une grandeur scalaire (chaleur, masse d'un des constituants d'un mélange) ou vectorielle (quantité de mouvement) à l'intérieur d'un milieu généralement matériel. Le flux en résultant (quantité traversant une surface de contrôle fixe par unité de temps) est dû à des inhomogénéités spatiales de grandeurs intensives associées et se calcule au moyen des équations de conservation et des lois de la thermodynamique exprimées localement ou sous forme de bilan. Un transfert combiné désigne le cas où plusieurs mécanismes physiques agissent simultanément. **voir:** Conduction, convection, diffusion, rayonnement.

TRANSFORMATION DE CROCCO

[appl. analyse des structures de flammelettes] Transformation qui fait passer des coordonnées x, y, z du référentiel du laboratoire aux coordonnées -0, , où (x,y,z) = 0 est l'équation de la surface sur laquelle la grandeur conservée vaut 0. et sont les deux coordonnées spatiales complémentaires dans le plan tangent à la surface = 0. **voir:** Scalaire conservé.

TRANSFORMEE DE FOURIER RAPIDE

(angl. fast Fourier transform (FFT)) Il s'agit d'algorithmes optimisés pour le calcul rapide des transformées de Fourier. Très répandus, ces algorithmes sont disponibles dans toutes les bibliothèques de calcul et de traitement du signal et sont même implantés directement

sur des processeurs spécialisés pour le traitement de signaux. Très utilisés en raison de leurs performances en vitesse de calcul, ces algorithmes ne sont pas exempts de défauts dont il faut être conscients : résolution limitée par l'inverse de la durée de l'échantillon, faible stabilité statistique réclamant la moyenne de nombreux spectres pour assurer un bon résultat. Ils sont en particulier inadaptés au traitement de signaux courts.

TRANSITION DEFLAGRATION-DETONATION

(angl. deflagration-detonation transition (DDT)) [appl. détonique] Pour certaines conditions initiales d'un système explosible (état thermodynamique, confinement, processus d'amorçage...), la détonation n'est pas créée instantanément. Le processus d'amorçage engendre une déflagration, laquelle peut éventuellement s'accélérer et donner naissance à une détonation : c'est la transition déflagration-détonation.

TRANSMITICITE

(angl. transmiticity) La transmiticité caractérise les propriétés radiatives d'un corps (gaz, suies, nuage de particules). C'est le rapport du flux d'énergie transmise $L^1_{\lambda T}$ par le corps solide à celui qui est reçu. La transmission intègre tout le spectre des longueurs d'onde. $T_{\lambda T} = \frac{L^1_{\lambda T}}{L_{\lambda T}}$ avec $L_{\lambda T}$ flux incident. **équiv:** facteur de transmission. **voir:** Luminance, radiance, flux lumineux.

TRANSPORT

voir: Transfert.

TRANSPORT PNEUMATIQUE

équiv: lit transporté. **voir:** Lit fluidisé.

TREMPE

du latin temperare : tempérer Refroidissement brutal des produits d'une combustion ou d'un traitement thermique, de façon à figer leur composition ou leur structure telle qu'elle a été acquise à haute température.

TRIMOLECULAIRE

voir: Réaction trimoléculaire.

TROISIEME CORPS

(angl. third body) [appl. cinétique chimique] Espèce inerte intervenant à basse pression dans une réaction trimoléculaire pour évacuer l'excès d'énergie libérée lors de la recombinaison de deux espèces réactives. **voir:** Réaction trimoléculaire.

TUBE A CHOC

(angl. shock tube) [appl. détonique] Un tube à choc est un tube dans lequel est produite une onde de choc plane, susceptible d'élever brutalement la température et la pression d'un gaz. Une membrane sépare les deux compartiments d'un tube à choc : dans le compartiment dit basse pression se trouve le gaz à étudier, dans le compartiment dit haute pression on introduit un gaz "moteur" qui est généralement de l'hélium. Après rupture brutale de la membrane, le gaz moteur se détend rapidement vers la partie basse pression et joue le rôle d'un piston accéléré, ce qui a pour effet de porter instantanément le gaz à étudier à hautes température et pression. Il y a ainsi formation d'une onde de compression qui se propage en s'accélérant dans le gaz à étudier. Elle se transforme, après une distance égale à quelques diamètres de tube, en une surface de discontinuité appelée "onde de choc incidente", séparant les gaz frais des gaz choqués. Pendant ce temps, des ondes de détente se propagent en sens opposé dans le gaz moteur.
Lorsque les effets de viscosité et de conductivité thermique sont négligeables et dès qu'un régime stable est établi, l'onde de choc incidente progresse dans le gaz à étudier à vitesse supersonique, tandis que la "surface de contact" qui sépare le gaz moteur du gaz choqué se propage à vitesse subsonique. L'onde incidente se réfléchit à l'extrémité du tube à choc. Cette "onde de choc réfléchie" se propage dans le gaz préalablement chauffé par l'onde incidente, le portant à température et pression encore plus élevées. Les paramètres du gaz choqué par les ondes incidente et réfléchie peuvent être calculés à partir des conditions initiales du gaz à étudier et à partir de la mesure de la célérité de l'onde incidente.
Les températures et pressions atteintes dans un tube à choc peuvent être très élevées (plusieurs milliers de K et plusieurs milliers de kPa). Leurs valeurs dépendent des conditions initiales du gaz moteur et du rapport de pression de part et d'autre de la membrane au moment du choc. L'élévation de température et de pression se fait en des temps très courts, très inférieurs à la microseconde, et généralement de façon adiabatique. Le niveau de température et de pression élevées se maintient pendant plusieurs centaines de microsecondes.
Le premier tube à choc fut mis au point par Paul Vieille en 1899. Depuis lors de nombreuses recherches et applications ont été effectuées dans différents domaines : cinétique à haute température (où les réactions se font en l'absence d'effet de paroi), initiation de détonations, physique (pour la conversion d'une forme d'énergie en une autre, pour l'étude de molécules excitées et de leur relaxation, pour l'étude des plasmas...), astrophysique (pour l'étude à très haute température des bandes d'absorption ou d'émission des étoiles...).

TUBE DE RIJKE

(angl. Rijke tube) Tube ouvert généralement vertical, dans la moitié inférieure duquel on place une source de chaleur, flamme ou grille chauffante électrique, et qui entre en résonance.

TURBOREACTEUR

(angl. turbojet) Moteur aérobie fournissant une poussée par éjection de gaz chauds. La compression de l'air se fait partiellement par le ralentissement de l'air dans l'entrée d'air, principalement par l'intermédiaire d'un compresseur lui-même actionné par une turbine placée en aval de la chambre de combustion, où la flamme est stabilisée en régime subsonique. Les gaz brûlés sont ensuite réaccélérés dans une tuyère, avant laquelle l'oxygène en excès peut être consommé dans un dispositif de réchauffe par injection secondaire du combustible et stabilisation sur accroche-flamme. **voir:** Moteur fusée, statoréacteur.

TURBULENCE

(angl. turbulence) **voir:** Ecoulement turbulent.

TURBULENCE HOMOGENE

(angl. homogeneous turbulence) [appl. mécanique des fluides] Champ de turbulence présentant, à un instant donné, en chaque point les mêmes caractéristiques statistiques. Une turbulence homogène ne peut pas être statistiquement stationnaire. Il est très difficile de reproduire expérimentalement un champ de turbulence réellement homogène. De nombreux résultats sur les propriétés spectrales de la turbulence (par exemple relation entre le spectre d'énergie turbulente et le spectre de la dissipation) ne sont démontrés que dans l'hypothèse de turbulence homogène.

TURBULENCE ISOTROPE

(angl. isotropic turbulence) [appl. mécanique des fluides] Champ de turbulence dont les grandeurs statistiques sont invariantes par rotation. Dans ce cas, le tenseur de Reynolds est diagonal. Une turbulence isotrope est observée à quelque distance en aval d'une grille, au-delà de la zone très perturbée par le sillage des barreaux de la grille.

TURBULENT

voir: Turbulence, Ecoulement turbulent.

TUYERE

(angl. swivelling nozzle (orientable),centerbody nozzle (à noyau central), plug nozzle) [appl. propulsion] Conduit de section droite variable placé à la sortie d'un propulseur et servant à imposer à l'écoulement une augmentation de vitesse des gaz de combustion, à la sortie d'une chambre de combustion : éjection d'un moteur fusée, d'un statoréacteur ou d'un superstatoréacteur, d'un canal de réchauffe... La tuyère peut être à noyau central : elle comporte dans ce cas un corps central obturant plus ou moins l'orifice de sortie en vue d'améliorer les performances en modifiant le débit et la forme du jet. La tuyère peut également être orientable, articulée autour d'un axe ou au moyen d'une suspension à cardans en vue de permettre le pilotage d'une fusée en agissant sur l'axe de poussée.

TYPE DE FLAMME

[appl. classification de flammes industrielles] Le type de flamme est une classification de la forme de la partie visible de la flamme selon trois catégories. Type 1 : flamme longue. Type 2 : flamme courte percée suivant son axe. Type 3 : flamme courte en forme de boule. Ce classement a été défini et adopté par la Fondation de Recherche Internationale sur les Flammes (FRIF).

U

UNIMOLECULAIRE

voir: Réaction unimoléculaire.

UVCE

initiales des mots anglais unconfined vapour cloud explosion : explosion de vapeurs non confinées **voir:** Explosion de vapeurs non confinées.

V

VAN'T HOFF

nom du physicien néerlandais Jacobus Van't Hoff (1852-1911), premier lauréat du prix Nobel de chimie en 1901 **voir:** Loi de Van't Hoff.

VAPEUR D'EAU TOTALE

[appl. combustion du gaz] (unité: m3 de vapeur d'eau/m3 de gaz) La vapeur d'eau totale, également appelée hydrogène total, est le volume de la vapeur d'eau produite par la combustion complète de l'unité de volume de gaz.

VCE

initiales des mots anglais vapour cloud explosions : explosion de vapeurs **voir:** Explosion de vapeurs.

VECTEUR FLUX

(angl. flux vector) [appl. calcul du bilan énergétique dans un milieu rayonnant] (unité: W m⁻² m⁻¹) La divergence du vecteur flux représente les pertes ou les gains par rayonnement dans un bilan enthalpique local.

$$q = \int \int I(\eta) d\Omega$$

avec $d\Omega$ angle solide dans la direction η, $I(\eta)$ flux lumineux dans cette direction.
voir: Enthalpie, luminance.

VELOCIMETRIE

(angl. velocimetry) *du latin velox : rapide* [appl. mécanique des fluides] Mesure des vitesses de translation (d'un fluide). La plupart des méthodes optiques de vélocimétrie sont basées sur la mesure du décalage spectral Doppler = k.u, produit scalaire du vecteur d'onde (ou de la différence des vecteurs d'onde incident et diffusé) k par le vecteur vitesse de la particule considérée (s-1). Les autres méthodes (non optiques) utilisent le tube de Pitot ou les sondes à fil(s).
équiv: anémométrie (mesure de la vitesse du vent ou des gaz en mouvement). **voir:** Vélocimétrie laser.

VELOCIMETRIE DOPPLER

du nom du physicien autrichien Christian Doppler (1803-1853) **voir:** Vélocimétrie laser.

VELOCIMETRIE LASER

Technique non intrusive qui permet de mesurer avec précision la vitesse locale d'un écoulement. Un champ de franges d'interférences est réalisé à l'aide d'un laser au point de mesure. Lorsqu'une particule entraînée par l'écoulement traverse cette zone de feuillets lumineux équidistants, la lumière diffusée est modulée à une fréquence égale au nombre de franges traversées par seconde. Le signal lumineux est collecté puis détecté et traité afin d'obtenir cette fréquence, appelée fréquence Doppler, et la vitesse de la particule. Celle-ci est en général égale à la vitesse du fluide, ou très voisine d'elle, sauf exception (en particulier dans des milieux très turbulents à hautes fréquences). Cette fréquence observée peut également être interprétée comme la fréquence de battement entre les signaux diffusés par la particule correspondant aux deux faisceaux laser qui permettent de réaliser le champ d'interférence. En effet, pour chaque faisceau, le signal optique a une fréquence changée par effet Doppler. C'est la détection quadratique qui permet d'obtenir par différence la fréquence Doppler. **équiv:** anémométrie laser, vélocimétrie Doppler. **voir:** Diffusion de la lumière.

VIEILLE

nom de l'ingénieur du Service des Poudres Paul Vieille (1854-1934) Paul Vieille a inventé en 1878 la bombe calorimétrique, qu'il a utilisée ensuite avec Marcellin Berthelot pour étudier expérimentalement les explosions en vase clos. Il a découvert en 1881 l'onde explosive.

VISCOSITE CINEMATIQUE

(angl. kinematic viscosity) [appl. mécanique des fluides] (unité: m² s⁻¹) Viscosité dynamique divisée par la masse volumique. Notation usuelle : . **voir:** Tenseur des contraintes, viscosité dynamique.

VISCOSITE DYNAMIQUE

(angl. dynamic viscosity) [appl. mécanique des fluides] (unité: kg m⁻¹ s⁻¹) Coefficient de proportionnalité entre la contrainte et la vitesse de déformation, dans un fluide linéairement visqueux. Notation usuelle : . **voir:** Tenseur des contraintes.

VISCOSITE TURBULENTE

(angl. eddy viscosity) [appl. calcul numérique en mécanique des fluides et combustion turbulente] (unité: m² s⁻¹) Hypothèse de modélisation permettant d'écrire de façon approchée les tensions de Reynolds. Le tenseur de Reynolds est supposé avoir les mêmes directions principales que le tenseur des vitesses de déformation moyennes. L'opposé de la constante de proportionnalité est appelé viscosité turbulente. Notation habituelle : T.
L'expression des tensions de Reynolds Rij avec l'hypothèse de viscosité turbulente est de la forme Rij = u'iu'j = - T(ui/xj+uj/xi) + (2/3)(k+div(u))ij, où k = (1/2)u'iu'i, avec sommation sur i, est l'énergie turbulente. **voir:** Longueur de mélange, modèle k-epsilon.

VITESSE COURANTE

[appl. cinétique chimique] Vitesse instantanée à un temps t quelconque pendant le déroulement de la réaction.
voir: Vitesse de réaction.

VITESSE DE COMBUSTION

(angl. burning rate) [appl. propergols, moteurs fusées] Vitesse de propagation de la zone de réaction.
La vitesse de combustion peut être la vitesse linéaire et caractérise alors la longueur de matériau brûlée par unité de temps dans des conditions d'essai spécifiées, ou la vitesse massique qui caractérise la masse brûlée par unité de temps dans des conditions d'essai spécifiées.
Dans le cas d'un propergol homogène, vitesse de régression de la surface en combustion.

VITESSE DE COMBUSTION EN SURFACE

(angl. area burning rate) [appl. feu, incendie] Surface brûlée d'un matériau par unité de temps, dans des conditions d'essai spécifiées.

VITESSE DE CONSOMMATION D'UN REACTIF

[appl. cinétique chimique] La vitesse de consommation rA d'un réactif A, ou la vitesse de formation rL d'un produit L, peut être définie comme la quantité (en kg ou en mol) du corps considéré, détruite ou créée par unité de temps, quantité qui est généralement rapportée à une unité d'extensité dépendant du système considéré. rA et rL sont donc des débits spécifiques de transformation chimique. L'unité d'extensité dépend de la nature de la réaction. Pour une réaction homogène, le débit de transformation chimique est généralement rapporté à l'unité de volume de matière en cours de réaction. La vitesse s'exprime alors, par exemple, en mol.l-1.s-1. Pour une réaction hétérogène (se déroulant à une interface), le débit est généralement rapporté à l'unité d'aire d'interfaciale. La vitesse s'exprime alors, par exemple, en mol.cm-2.s-1.

VITESSE DE DEFLAGRATION

voir: Vitesse de flamme.

VITESSE DE DETONATION

(angl. detonation velocity) (all. Detonationsgeschwindigkeit) [appl. détonique] Vitesse de déplacement du système d'ondes de choc et (ou) de la zone de combustion de la détonation, par rapport à un référentiel donné, généralement lié aux réactifs ou au laboratoire. **équiv:** célérité de détonation.

VITESSE DE FLAMME

La vitesse spatiale de la flamme est la vitesse de déplacement d'un élément du front de flamme par rapport à un référentiel donné. S'agissant du déplacement d'un élément de surface du front de flamme, ce déplacement est généralement repéré suivant la normale à cette surface. La vitesse de propagation de la flamme est la vitesse de déplacement d'un élément du front de flamme par rapport aux réactifs.
En désignant par Vs la vitesse spatiale de la flamme et par V la vitesse de mouvement des réactifs au même point et définie par rapport au même référentiel, la vitesse de propagation de la flamme Vp est définie par l'expression Vp = Vs - V.
La vitesse normale de la flamme ou vitesse fondamentale est la projection de la vitesse de propagation de la flamme sur la normale à l'élément du front de flamme. En désignant le vecteur unitaire normal à l'élément du front de flamme par n, on obtient la vitesse fondamentale de la flamme par l'expression Vn = Vp.n **équiv:** vitesse de déflagration, célérité de flamme.

VITESSE DE FORMATION D'UN PRODUIT

voir: Vitesse de consommation d'un réactif.

VITESSE DE PROPAGATION DE FLAMME

(angl. flame spread rate) [appl. réaction au feu des matériaux] Distance parcourue par unité de temps par un front de flamme lors de sa progression à la surface d'un matériau en combustion.
voir: Vitesse de flamme.

VITESSE DE REACTION

(angl. reaction rate) [appl. cinétique chimique] Quantité de matière transformée par unité de temps et par unité d'une variable extensive appropriée au cours d'une réaction chimique. Selon le problème envisagé, la vitesse de réaction peut être rapportée à une unité de volume, de nombre de moles, de masse, de surface (pour une réaction hétérogène, par exemple)...
Si la réaction est représentée par une seule équation stoechiométrique (réaction isolée) aA + bB + ... = lL +

mM + ..., la loi des proportions définies implique que les différentes vitesses de consommation des réactifs ou de formation des produits ri sont proportionnelles aux coefficients stoechiométriques : rA/a = rB/b = ... = rL/l = rM/m = ... = r. Le facteur commun de proportionnalité est par définition la vitesse r de la réaction chimique. Contrairement aux vitesses rA, rB, ..., rL, rM, ..., la vitesse r n'est définie, comme les coefficients stoechiométriques, qu'à un coefficient multiplicatif près. Elle n'a de sens qu'après que l'on a écrit l'équation stoechiométrique. Si la transformation chimique globale ne peut être représentée qu'à l'aide de plusieurs équations stoechiométriques, il convient de définir autant de vitesses de réaction qu'il existe d'équations stoechiométriques.
Quel que soit le système, le bilan de matière pour un composant i quelconque s'écrit, pendant l'unité de temps : (quantité de i accumulée) = (quantité de i entrant) - (quantité de i sortant) + (quantité de i produit). Dans le cas simple du système fermé, les quantités de i entrant et sortant sont nulles. Si l'on exprime les quantités de i mises en jeu à chaque instant par des débits molaires, alors (débit molaire de production de i) = (débit molaire d'accumulation de i). En explicitant cette relation, par exemple dans le cas du produit L et pour un système fermé homogène, la vitesse rL étant donc la même en tous les points, le débit molaire de production de L est rLV, où V est le volume du système fermé (V n'est pas nécessairement constant dans le temps). Si nL représente le nombre de moles instantané de L, le débit d'accumulation de L s'écrit dnL/dt. D'où rL = (1/V)(dnL/dt). Pour le réactif A, on aurait de la même façon rA = - (1/V)(dnA/dt), car le débit molaire de production de A est - rAV, ou encore le débit molaire de consommation de A est rAV. rA et rL sont toutes deux positives. Si la réaction est représentée par une seule équation stoechiométrique, on obtient l'expression de la vitesse de réaction r (également positive) : r = - (1/a)(1/V)(dnA/dt) = ... = (1/l)(1/V)(dnL/dt) = ... Les expressions précédentes rA, rL et r ne sont utilisables que dans le cas d'un système fermé. Elles permettent la mesure de rA, rL et r, mais ne peuvent constituer des définitions de la vitesse dans le cas général. Si, de plus, le volume est constant au cours du temps, les expressions se simplifient en rL = dcL/dt, rA = dcA/dt, r = - (1/a)(dcA/dt) = ... = (1/l)(dcL/dt) = ..., ci étant la molarité de i dans le système, puisque ni = Vci si le système est homogène. L'expression précédente de r est celle généralement utilisée pour exprimer la vitesse de réaction dans un système fermé évoluant à volume constant.

VITESSE DE REGRESSION

(angl. linear burning rate) (all. Verbrennungsgeschwindigkeit) Vitesse macroscopique apparente de combustion d'un matériau quand on fait l'hypothèse que la progression du front de combustion se fait perpendiculairement à la surface de combustion de l'objet considéré (hypothèse de combustion par couches parallèles). Pour une matière explosible compacte (propergol homogène, poudre simple ou double base), la vitesse de régression du front de combustion est très voisine de sa vitesse de combustion intrinsèque, c'est à dire de la vitesse de propagation de la zone de réaction. Pour une matière explosible composite (propergol ou poudre composite), la vitesse de régression est supérieure à la vitesse de combustion intrinsèque, locale, de la matière, ce qui traduit une combustion dite "en volume". La vitesse de régression, comme la vitesse de combustion, varie sensiblement avec la pression et la température du milieu.

VITESSE DU SON

voir: Onde sonore.

VITESSE FONDAMENTALE DE FLAMME

Projection de la vitesse de propagation de la flamme sur la normale à l'élément de front de flamme.
voir: Vitesse de flamme.

VITESSE INITIALE

[appl. cinétique chimique] Vitesse de la réaction au tout début de celle-ci, c'est à dire à un moment où le milieu est pratiquement exempt des produits de la réaction.
voir: Vitesse de réaction.

VITESSE LINEAIRE DE COMBUSTION

(angl. linear burning rate) [appl. feu, incendie] Longueur du matériau brûlé par unité de temps, dans des conditions d'essai spécifiées (m/s).

VITESSE MASSIQUE DE COMBUSTION

(angl. mass burning rate) [appl. feu, incendie] Masse brûlée d'un matériau en combustion par unité de temps dans des conditions d'essai spécifiées (kg/s).

VITESSE NETTE

(angl. net rate) [appl. cinétique chimique] S'applique à une réaction chimique réversible : différence entre la vitesse de la réaction directe et celle de la réaction inverse.
voir: Réaction directe, réaction inverse.

VITESSE NORMALE DE FLAMME

voir: Vitesse de flamme.

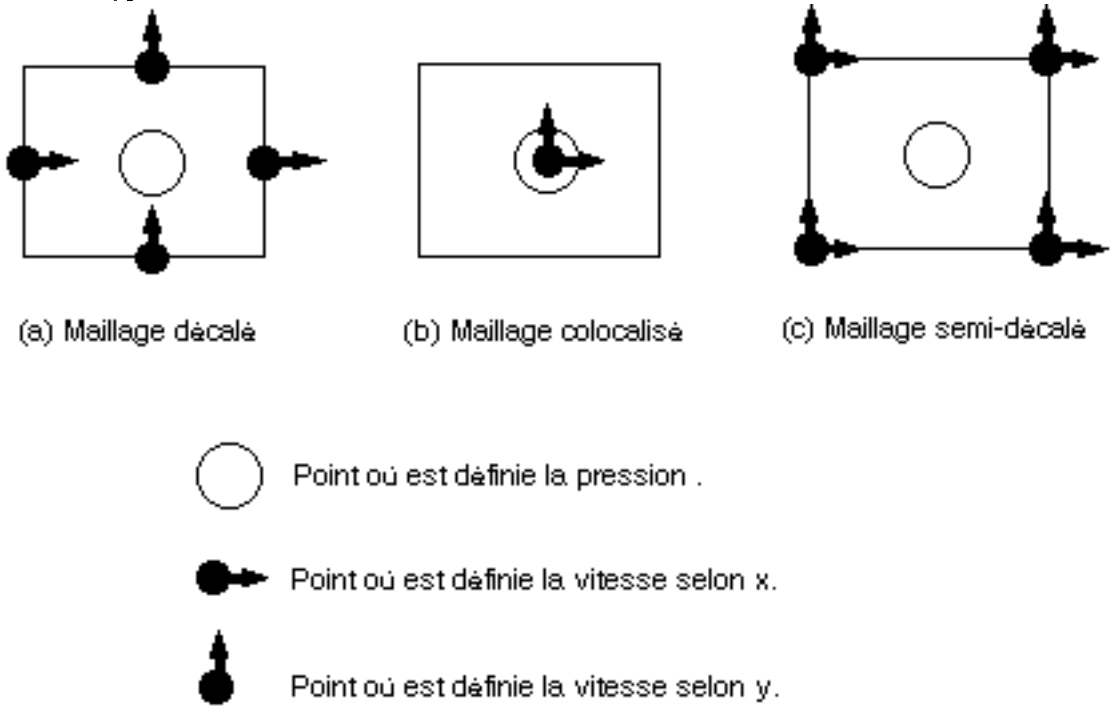
VOLUME CRITIQUE D'ALLUMAGE

Lorsqu'un mélange est allumé par une source de dimension réduite (une étincelle électrique, par exemple), une onde de combustion sphérique ou cylindrique est créée. A la fin de l'allumage (c'est-à-dire à la fin de

l'étincelle électrique), le rayon de cette onde est très petit et la vitesse d'augmentation du volume de la flamme est relativement d'autant plus grande que ce rayon initial est petit. Pour que l'onde de combustion soit stable et se propage sans apport supplémentaire d'énergie, les gaz frais doivent être portés à des conditions (température, concentration de radicaux) permettant leur réaction. Ceci n'est possible que si la vitesse d'accroissement du volume de la flamme est inférieure à la vitesse d'accroissement du volume des gaz brûlés. Cette condition détermine une valeur critique du volume de ces gaz brûlés, appelée volume critique ou minimal d'allumage.
Dans le cas d'une source ponctuelle, la flamme initiale a une forme sphérique. Le rayon critique d'allumage est rc = (1+20,5)e = 2,414 e, où e est l'épaisseur du front de flamme, et le volume critique d'allumage est vc = e3 (1+20,5)/3 = 10,11 e3.
Dans le cas où les électrodes sont assez écartées, la forme initiale de la flamme est voisine d'un cylindre dont la longueur est approximativement égale à l'écartement d des électrodes. On en déduit rc = e et vc = e2d.

VOLUMES FINIS

(angl. finite volume) [appl. calcul numérique en thermique et mécanique des fluides] Méthode de discrétisation qui repose sur des bilans de masse, de quantité de mouvement, d'énergie, sur des volumes de contrôle élémentaires qui sont définis par le maillage de calcul.Dans les méthodes aux volumes finis, on utilise en général des maillages structurés, qui peuvent être des trois types ci-dessous :



Historiquement, le maillage décalé a été le premier utilisé dans les méthodes aux volumes finis. Les autres maillages sont d'introduction plus récente. Ils permettent, plus facilement que le maillage décalé, de traiter des géométries où les parois ne sont pas parallèles aux axes de maillage (mailles tronquées aux parois ou maillages curvilignes). Récemment des méthodes de volumes finis sur des maillages non structurés (utilisés habituellement dans les méthodes aux éléments finis) ont été introduites, notamment pour les écoulements compressibles (méthodes MUSCL). **voir:** Maillage, diffusion numérique, éléments finis.

W

WEATHERING

mot anglais signifiant altération, désintégration, lorsqu'il concerne les roches et matériaux [appl. charbon] Appliqué au charbon, le weathering signifie altération physique, biologique et surtout chimique du charbon. Bien que ce terme soit utilisé généralement en anglais, il peut être considéré comme synonyme d'oxydation naturelle. Cette oxydation a des conséquences au plan de la sécurité, car elle peut conduire à l'auto-échauffement et à l'auto-inflammation de certains charbons riches en matières volatiles durant le transport ou le stockage. Au plan économique, elle peut entraîner une perte rapide (en quelques mois) de l'aptitude à la cokéfaction pour les charbons cokéfiables et une perte de pouvoir calorifique pour les autres charbons.

WOBBE

voir: Indice de Wobbe.

X

Y

Z

ZEL'DOVICH

nom du physicien russe Youri Zel'dovich (1914-1987) **voir:** Pic ZND, similitude de Zel'dovich-Neumann.

ZND

initiales des noms des physiciens russe Y. Zel'dovich (1914-1987), et allemands J. von Neumann (1903-1957) et W. Döring **voir:** Pic ZND.

ZONE DE COMBUSTION

voir: Front de flamme.

ZONE DE CUISSON

[appl. technologie cimentière] Zone du four où s'effectuent toutes les combinaisons entre les composants du cru pour former le clinker. Sa longueur est fonction du diamètre intérieur du four et du réglage de la flamme.

ZONE DE RECIRCULATION EXTERNE

(angl. external recirculation zone) Désigne la zone géométrique naturelle où des gaz sont recyclés vers la flamme en raison de l'impulsion du jet résultant de la divergence de l'écoulement des gaz de combustion.

ZONE DE RECIRCULATION INTERNE

(angl. internal recirculation zone) Désigne la zone géométrique où des gaz de combustion sont recyclés vers le point d'injection. Cet effet résulte de la mise en rotation d'une partie de l'air de combustion ou de l'interposition d'un obstacle.