

Introduction :

Depuis quelques années l'intérêt industriel pour les plasmas thermiques va grandissant et le nombre d'applications développées est sans cesse croissant. Les plasmas thermiques, de par leurs propriétés spécifiques, à savoir une forte enthalpie, la présence de nombreuses espèces excitées et ionisées, une pression voisine de la pression atmosphérique, sont présents dans de nombreux systèmes, procédés et configurations. La majorité des études sur les plasmas thermiques est motivée par leurs applications industrielles actuelles et potentielles telles que le traitement métallurgique (soudure, réchauffage de bains métalliques, métallurgie extractive...) et le traitement ou l'élimination des déchets toxiques, les lampes et les disjoncteurs. Parmi les différentes technologies existantes, auxquelles s'est intéressée la communauté des plasmas thermiques ; on peut citer :

Les applications de découpe : L'arc est en interaction avec un matériau conducteur que l'on veut couper et qui sert d'anode.

La projection par plasma qui prend de plus en plus d'ampleur : Son principe consiste à injecter dans un plasma des métaux ou matériaux céramiques sous forme de poudres qui sont fondues et accélérées durant leur séjour dans le jet avant de venir « s'écraser » sur un substrat préalablement préparé. Ce procédé comporte quatre éléments principaux : la génération de la source thermique, l'injection de particules, les transferts thermique et dynamique du plasma vers les particules, puis la formation du dépôt sur le substrat.

Depuis les années 80, la technique de traitement des particules par plasma thermique est en plein essor dans bon nombre de domaines comme : l'aéronautique, le nucléaire, la mécanique ou le domaine médical. Pour le revêtement, les applications sont nombreuses et portent essentiellement sur des traitements protecteurs contre l'usure (réparation ou reconstruction

locales de zones usées, usure due à l'abrasion, l'érosion ou au frottement) et contre la chaleur (due aux gaz corrosifs, à l'érosion des électrodes, aux métaux fondus ou aux atmosphères oxydantes). Nous retrouvons également beaucoup de revêtements à propriétés électriques comme les blindages radiofréquences, les dépôts diélectriques et ceux assurant une bonne conductivité du matériau traité.

La plupart des traitements des particules par plasma dépendent fortement de la capacité du plasma à améliorer les transferts thermiques et à conduire le courant. L'application d'un gradient de concentration, d'un gradient de vitesse, de température ou de potentiel modifie le milieu par l'apparition d'un courant de particules, d'une pression, d'un flux de chaleur ou d'un courant électrique.

Malheureusement, ces technologies nécessitent la connaissance d'un grand nombre de paramètres liés aux transferts de chaleur et de quantité de mouvement entre les particules et le plasma (débits, puissance, injection des poudres, nature du plasma...).

La maîtrise des effets de la présence de l'arc va jouer directement sur les caractéristiques du plasma proche de la matière à traiter et donc sur le transfert d'énergie entre elle et le plasma (les caractéristiques du plasma conditionnent l'état thermodynamique des particules : au travers entre autre de l'énergie transmise par le gaz à ces dernières).

Dans la majorité des applications utilisant le traitement des particules par plasma, on estime que la qualité et la maturité du procédé peuvent être influencées par plus de 50 paramètres. De plus, comprendre les phénomènes intervenant lors du traitement des particules par plasma demande une vaste étude (création de l'arc, l'injection des particules, propriétés de l'interaction particule/plasma, la géométrie du milieu, modification de l'écoulement du plasma due aux injections...).

La thématique « transfert d'énergie, interaction avec un matériau » est transversale à chacune des configurations citées ci-dessus et finalement commune à la plupart des systèmes, procédés et mécanismes. Cette thématique trouve son intérêt de par les progrès faits dans la description et à la compréhension des mécanismes au sein du plasma ; ainsi il s'agit non plus d'étudier simplement le milieu plasma, mais plutôt le système dans sa globalité.

Mon sujet de magister fait partie de cette thématique où plusieurs travaux sont réalisés sur la configuration d'arc, ils sont divisés en différents groupes suivant un ordre chronologique voire les insuffisances des modèles utilisés :

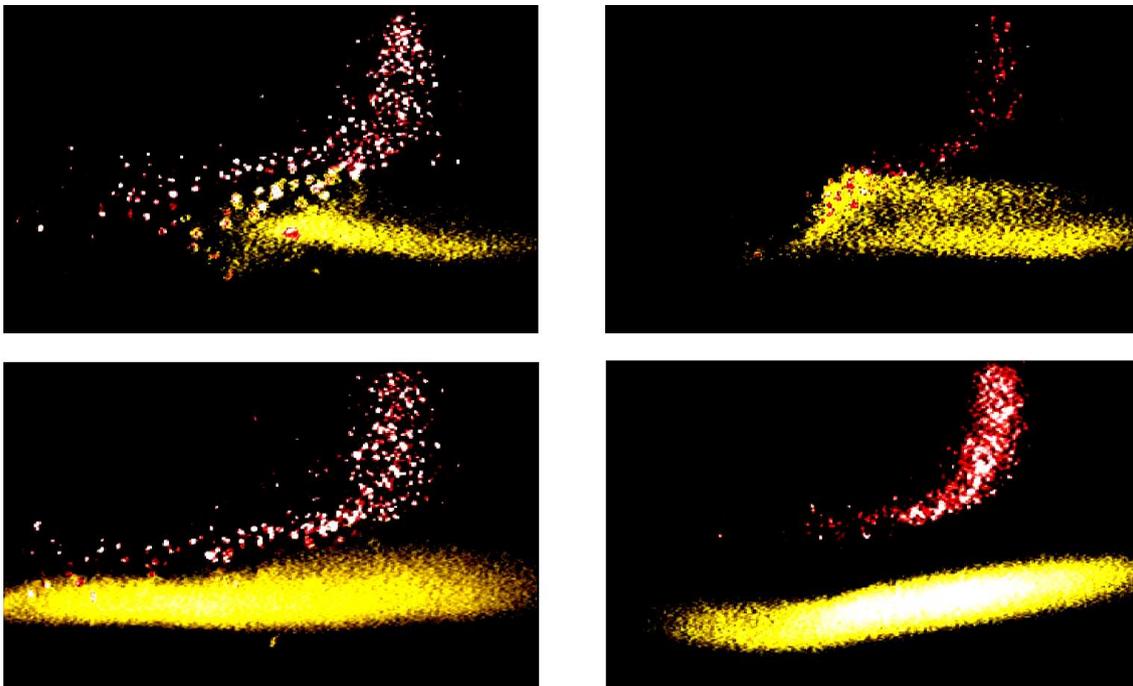
Un premier correspond à des modèles classiques où seul le comportement plasma est modélisé sans tenir compte des propriétés des particules injectées,

Un deuxième où l'interaction avec les particules injectées est décrite en terme de transfert thermique mais où l'aspect électrique n'est pas considéré (le passage du courant dans le domaine n'est pas résolu). La présence des vapeurs métalliques est admise par les grandeurs locales du modèle : coefficients de transport, propriétés thermodynamiques et radiatives,

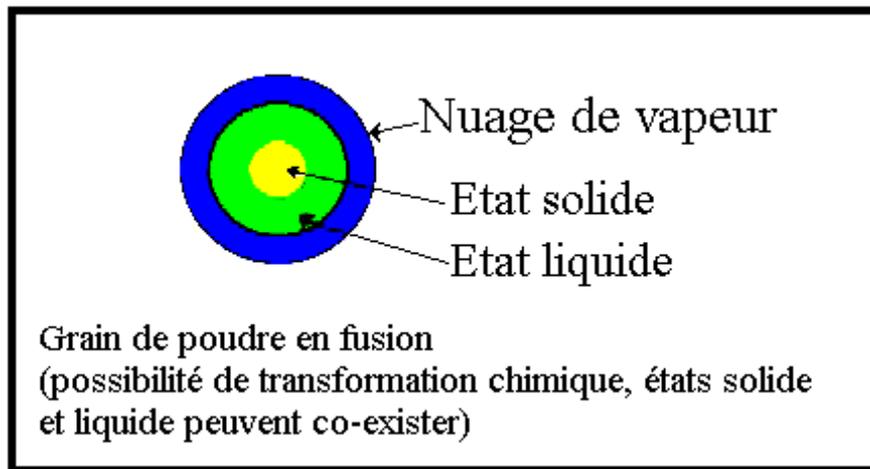
Enfin un troisième correspond à des modèles plus complets où le plasma et son interaction sont décrits en terme d'énergie mais aussi d'un point de vue électrique (la continuité du courant et sa propagation dans le milieu).

Aussi ce travail s'inscrit parmi les mécanismes thermique et dynamique de base qui gouvernent ce type de traitement de particules ; il a pour objectif : suivant les données : propriétés physiques et thermodynamiques du plasma et celles des particules injectées, de déterminer, à partir d'un bilan d'énergie

le champ de température du milieu plasma d'argon ou d'azote pur et en présence de vapeurs métalliques de cuivre. La difficulté essentielle consiste à contrôler et estimer le transfert d'énergie aboutissant à ce calcul. Pour cela, une bonne quantification des propriétés et des transferts d'énergie est nécessaire. Le processus passe donc par une meilleure connaissance du plasma, de son rayonnement et des propriétés thermodynamiques et de transport des particules dans celui-ci.



Figure(0- 1) : Injection de particules métalliques dans un jet de plasma



Figure(0-2) : Particule en traitement thermique par plasma

Dans cette étude qui consiste à déterminer le profil radial de la température d'un plasma pur ou en présence de poudre métallique pour un régime stationnaire et l'autre transitoire ; on a consacré le premier chapitre à des généralités sur l'histoire des plasmas et une description plus ou moins détaillée des décharges électriques.

Plus loin, la compréhension des milieux plasmas et la maîtrise des effets, et mécanismes qui accompagnent tout procédé, nous exige recours au deuxième chapitre qui décrit les phénomènes élémentaires, dits collisionnels et radiatifs responsables des transferts : de masse, de mouvement et d'énergie entre le plasma et particule.

Et donc, dans la mesure de concrétiser les différents axes à parcourir aboutissant aux résultats appropriés, le chapitre trois ; théoriquement et pratiquement présente l'outil de base pour tout calcul à effectuer dans un plasma en équilibre thermique, autrement dit les modèles : physique, théorique et mathématique et la méthode numérique relatives à la problématique en question.

Quant au dernier chapitre, est l'espace des résultats obtenus et les commentaires relatifs, discutant la méthode de résolution.

Et pour finir, une conclusion générale où il sera question la validité de cette méthode de diagnostic de la température utilisant l'équation de bilan d'énergie et les insuffisances réapparues du modèle.