

III.3 Mouillabilité de la surface à refroidir

L'importance de la microstructure de surface est en partie due aux effets de mouillabilité de surface. Les angles de contact en progression et en recul sont importants tout au long de la courbe d'ébullition. La densité initiale du site de nucléation est déterminée en partie par la capacité du liquide à piéger les noyaux vapeur / gaz dans la microstructure de la surface en ébullition. Les fluides très mouillants tels que le R-113 et le FC-72 peuvent réduire le nombre de sites de nucléation et conduire à de grands circuits de surchauffe en ébullition. Cet effet est régi par l'angle de contact en progression. L'angle d'avancement est à nouveau important lors du remouillage des surfaces sèches, car les bulles se détachent de la surface en ébullition [73].

L'angle de contact en retrait est important pendant la période de croissance des bulles, car la vapeur éloigne le liquide pour créer une zone sèche plus grande. Avec un angle de contact plus petit, un coin de liquide plus fin est créé entre le réchauffeur et l'interface bulle-vapeur, ce qui favorise l'évaporation. L'angle de contact en recul peut également jouer un rôle important dans la détermination de la survenue du CHF, qui peut se produire lorsque la vapeur recouvre la surface en raison du refoulement du liquide.

On sait que les oxydes métalliques en particulier améliorent le CHF en augmentant la mouillabilité de la surface [74] [75]. Tachibana *et al.* [74] ont testé plus de 400 plaques métalliques dans une piscine à eau saturée bouillante à la pression atmosphérique. Ils ont chauffé les plaques jusqu'à leur destruction physique et ont découvert que l'aluminium avait un CHF beaucoup plus élevé en raison d'un film d'oxyde qui s'est développé peu après le début de l'ébullition et s'est étendu pendant toute l'expérience. En outre, l'acier inoxydable revêtu d'aluminium présentait une amélioration similaire. Ils pensaient que cette hausse du CHF était due à la « bonne affinité » de l'oxyde pour l'eau. Liaw et Dhir [75] ont mesuré le CHF sur une surface verticale de cuivre dans un bassin d'eau saturée à 1 atm. Ils ont systématiquement réduit l'angle de contact statique en chauffant la surface de cuivre à l'air pour créer un oxyde thermique. En faisant varier la température maximale et la durée pendant laquelle la surface a été chauffée, l'angle de contact a été réduit de 90 ° à 14 °. Il a été observé que le CHF augmente d'environ 90% avec la diminution de l'angle de contact.

IV. Paramètres affectant le refroidissement par pulvérisation

De nombreux paramètres importants contrôlent le transfert de chaleur lors du refroidissement par pulvérisation (Tab. II.2).

Tableau II.2 Paramètres importants affectant le refroidissement par pulvérisation [43].

Propriétés du spray	Taille et distribution des gouttelettes
	Flux des gouttelettes
	Vitesse et distribution des gouttelettes
	Flux massique & distribution
	Angle de pulvérisation
Propriétés du fluide	Conductivité thermique du liquide
	Tension superficielle du liquide
	Chaleur spécifique du liquide
	La chaleur latente de vaporisation
Caractéristiques de la surface refroidie	Surchauffe
	Conductivité thermique
	Finition et état de surface
Propriétés de l'environnement	Sous-refroidissement
	Noyaux étrangers
	La gravité
	Densité de gaz ambiant
	Viscosité du gaz ambiant

L'un des plus grands défis de l'étude du refroidissement par pulvérisation est l'incapacité de contrôler ses paramètres d'une manière indépendante et précise. Par exemple, le flux massique peut être augmenté en augmentant la pression différentielle dans une buse de pression. Cependant, cette augmentation de pression affecte fortement la rupture des gouttelettes, elle modifie aussi, complètement la taille, le nombre et la vitesse des gouttelettes.

IV.1 Positionnement de la buse

Les performances de refroidissement peuvent être influencées par le changement de la position du spray. Il y a deux paramètres de positionnement importants (Fig. II.10) : la distance surface-buse H (distance entre la pointe de la buse et la surface d'impact) et l'angle d'inclinaison θ (angle entre l'axe de pulvérisation et la normale à la surface) [76].

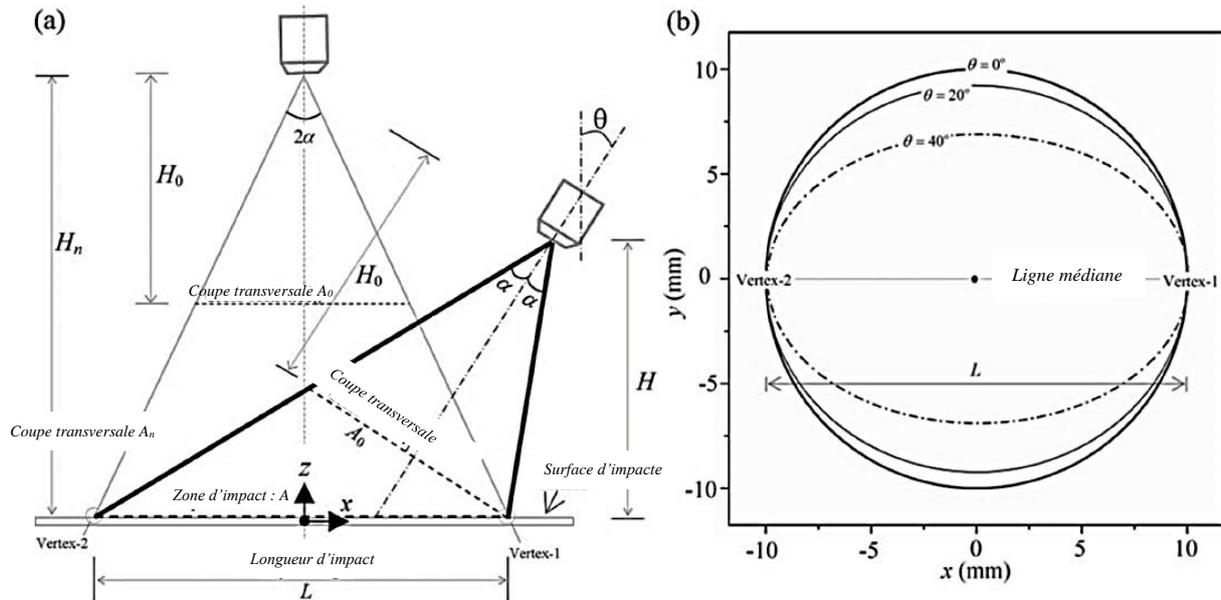


Fig. II.10 (a) La géométrie 2D se trouve sur le plan central (plan z-x) du cône perpendiculaire à la surface d'impact (plan x-y). Le positionnement de la buse est déterminé par l'angle d'inclinaison θ et la hauteur de pulvérisation H . H_n est la hauteur de pulvérisation requise par impact normal pour couvrir une longueur d'impact L donnée. b) Zone d'impact à longueur d'impact constante L formée par le jet incliné selon différents angles θ [76].

Géométriquement, l'impact de pulvérisation sur une surface est un cône de pulvérisation isolé par la surface d'impact. En mode de pulvérisation normal, le changement de distance entre la surface et la buse provoque le changement de la zone couverte par pulvérisation (voir longueur d'impact L sur la figure II.10a), le flux volumétrique local et le flux de film ainsi que le refroidissement local correspondant. Dans une surface d'environ 1 cm^2 , Mudawar et Estes [64] ont constaté que le maximum de CHF est atteint à l'aide d'une distance optimale entre la surface et la buse et aussi lorsque l'empreinte de pulvérisation est exactement enfermée dans la surface de refroidissement.

IV.1.1 Influence de l'angle d'inclinaison

Certains chercheurs se sont intéressés aux effets de l'inclinaison de la pulvérisation sur les performances de transfert de chaleur. La zone d'impact est circulaire pour un impact normal $\theta=0^\circ$ et elliptique pour un impact de pulvérisation incliné $0^\circ < \theta < (90^\circ - \alpha)$. L'angle d'inclinaison

est limité à $90^\circ - \alpha$. Sinon, aucune pulvérisation ne tombe sur le substrat refroidi. Dans les tests expérimentaux, la zone d'impact, la surface et la zone de chauffage sont généralement concentriques et le centre est situé à $(x, y) = (0, 0)$ (voir Figure II.10b). En outre, la longueur d'impact L reste la même pour étudier l'influence de l'inclinaison sur le refroidissement. Silk *et al.* [77] ont comparé les performances de refroidissement d'un impact à trois inclinaisons à un impact normal sur une surface améliorée. Il a été constaté à la fois sur la surface plane et sur la surface améliorée que le flux de chaleur augmente avec l'augmentation de l'angle de pulvérisation jusqu'à $\theta = 15^\circ$. Cependant, lorsque $\theta > 15^\circ$, la performance du flux thermique change peu avec l'incertitude expérimentale. L'amélioration du refroidissement par pulvérisation inclinée est attribuée à un meilleur drainage du liquide grâce à l'élimination de la zone de stagnation qui apparaît au centre lors d'un impact de pulvérisation normal. Wang *et al.* [78] ont trouvé que l'inclinaison de la buse de pulvérisation pourrait améliorer le transfert de chaleur si une distance optimale de la surface de l'orifice était trouvée. Cependant, Visaria et Mudawar [79] ont indiqué que l'angle d'inclinaison avait un impact minimal sur les régions monophasées ou biphasées de la courbe d'ébullition.

L'augmentation de l'angle d'inclinaison diminue même le CHF et le maximum est toujours atteint avec le spray normal sur la surface refroidie. Rybicki et Mudawar [80] ont utilisé des buses de pulvérisation orientées vers le haut et vers le bas pour évaluer leurs effets sur les performances de refroidissement. Les résultats expérimentaux ont montré que l'orientation de la pulvérisation n'avait aucun effet mesurable sur les performances de refroidissement global dans les régimes monophasés et biphasés. Cheng *et al.* [81] ont constaté que l'angle d'inclinaison aggraverait le transfert de chaleur lorsque l'empreinte de pulvérisation est plus petite que la surface chauffée. Par conséquent, les conclusions de ces études sur l'inclinaison de la pulvérisation sont contradictoires.

La conclusion contradictoire de l'inclinaison de la pulvérisation est motivée par trois raisons. L'une concerne le positionnement différent de la buse. Comme illustré à la figure II.10, deux paramètres clés, la distance de pulvérisation et l'angle d'inclinaison, déterminent le positionnement de la buse. Cependant, à un certain angle d'inclinaison, certaines études [77] ont appliqué une distance de pulvérisation constante, tandis que d'autres [73, 74, 75] ont ajusté la distance pour une longueur d'impact constante. Une autre raison est liée à l'hypothèse d'une conduction unidimensionnelle en régime stationnaire à travers la surface chauffante pour le calcul du flux de chaleur en surface. Un impact de pulvérisation incliné provoque une différence de température considérable sur la surface refroidie (Fig. II.11). Par conséquent, la conduction

radiale doit être prise en compte pour le refroidissement par pulvérisation inclinée. La dernière raison provient du lieu de mesure de la température de surface. Différents emplacements radiaux fournissent des mesures de température différentes en raison de la différence de température significative dans le refroidissement par pulvérisation incliné.

Pour obtenir la distribution de la température de surface en pulvérisation inclinée, certains chercheurs ont étudié le transfert de chaleur local en remplaçant la cartouche chauffante par une plaque chauffante à couche mince recouverte par pulvérisation cathodique, ce qui permet la thermographie infrarouge pour la mesure de la température [82], [83], [84]. Toutes ces études ont révélé une différence de température significative sur la surface refroidie pour le refroidissement par pulvérisation inclinée (un exemple de la figure II.11b1). Gao et Li [85] ont comparé la distribution de la vitesse d'impact des gouttelettes et du coefficient de transfert de chaleur le long de la ligne médiane pour l'impact normal et l'impact de pulvérisation incliné (fig. II.11a2 et b2).

La vitesse d'impact a été capturée par un système de vélocimétrie par imagerie stéréoscopique et par particules. La ligne de tendance du coefficient de transfert de chaleur et de la vitesse des gouttelettes montre une corrélation claire. Dans les deux cas, les emplacements de la vitesse maximale des gouttelettes coïncident avec ceux du coefficient de transfert de chaleur le plus élevé. L'étude ultérieure de Gao et Li [82] a indiqué que le refroidissement global montre une légère diminution pour un faible angle d'inclinaison et une amélioration pour de grands angles d'inclinaison. Sur le plan central du cône de pulvérisation, l'amélioration et la diminution de la performance de refroidissement local concordent généralement avec l'augmentation et la diminution du flux de pulvérisation.

Le réchauffeur à film mince n'est pas fiable pour une température de surface supérieure au point d'ébullition et les expériences sont testées dans une région monophasée. C'est la limitation du réchauffeur à film mince, et le réchauffeur robuste pour le test d'ébullition est nécessaire pour une étude future.

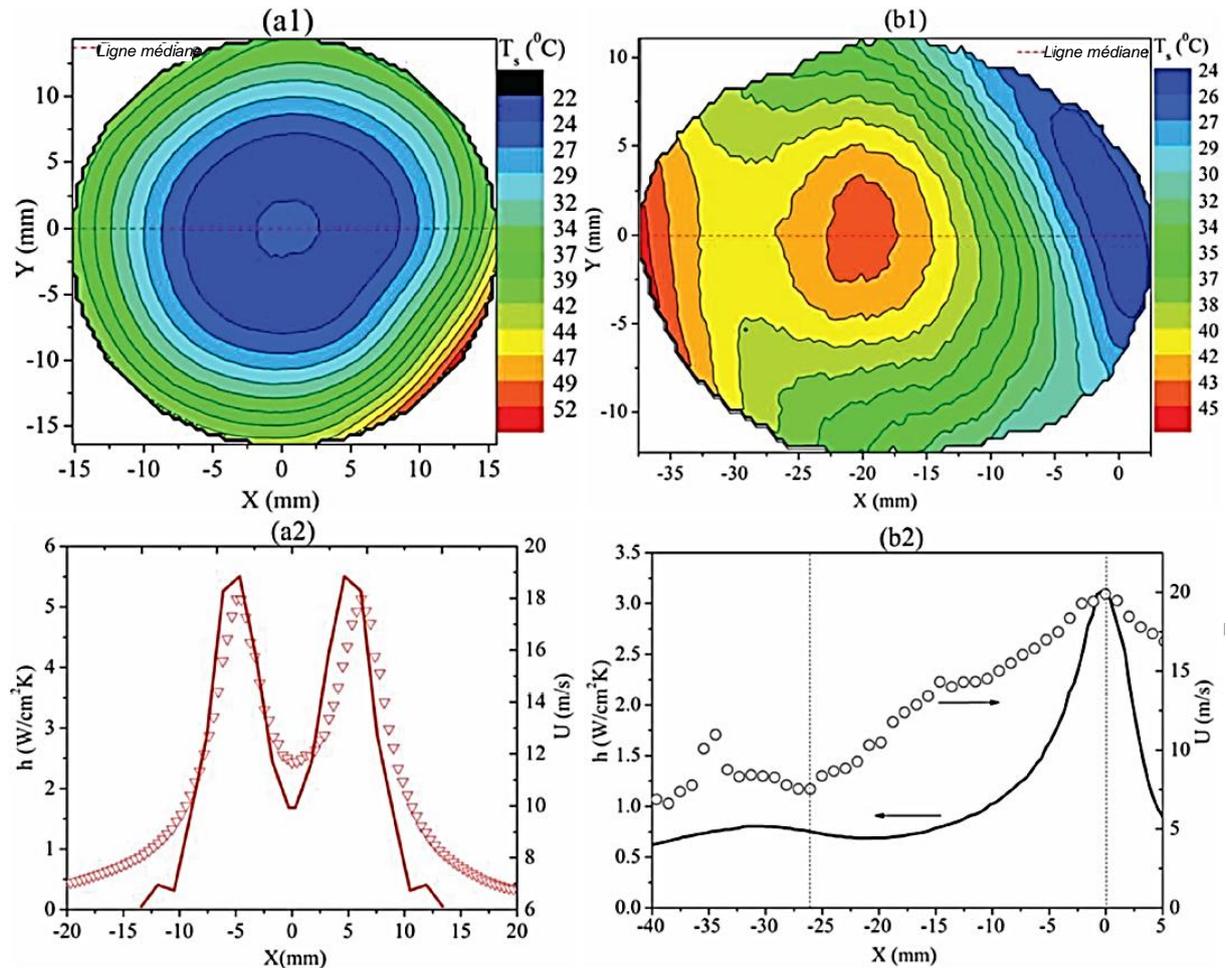


Fig. II.11 La distribution de la température de surface locale pour l'impact normal (a1) et l'inclinaison affecte avec $\theta = 30^\circ$ (b1). La vitesse des gouttelettes locales et le coefficient de transfert de chaleur local correspondant sont tracés le long de la ligne médiane en (a2) et (b2) [76].

IV.1.2 Influence de la hauteur de pulvérisation

Plusieurs études ont été réalisées sur ce paramètre. Trois hauteurs de pulvérisation ont été testées pour le refroidissement de cylindre de laminage. Les buses ont été rapprochées et éloignées de la surface du cylindre, comme indiqué schématiquement à la figure II.12. Des distances de 50 mm, 100 mm et 200 mm ont été utilisées. Des buses à jet plat avec un angle de pulvérisation de 60° ont été utilisées pour les tests. La figure II.13 montre la répartition du spray sur la surface du cylindre. La figure II.13 montre la répartition du refroidissement pour trois hauteurs de pulvérisation. Le résultat le plus surprenant est que les valeurs maximales de HTC ont été déterminées sur une distance de 100 mm, ce qui n'est ni la hauteur minimale ni la hauteur maximale de pulvérisation [86].

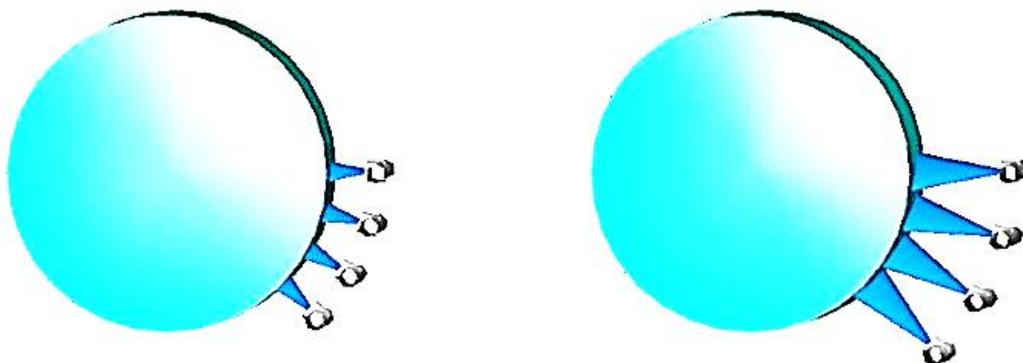


Fig. II.12 Schéma de positionnement des buses pour les tests utilisant différentes hauteurs de pulvérisation.

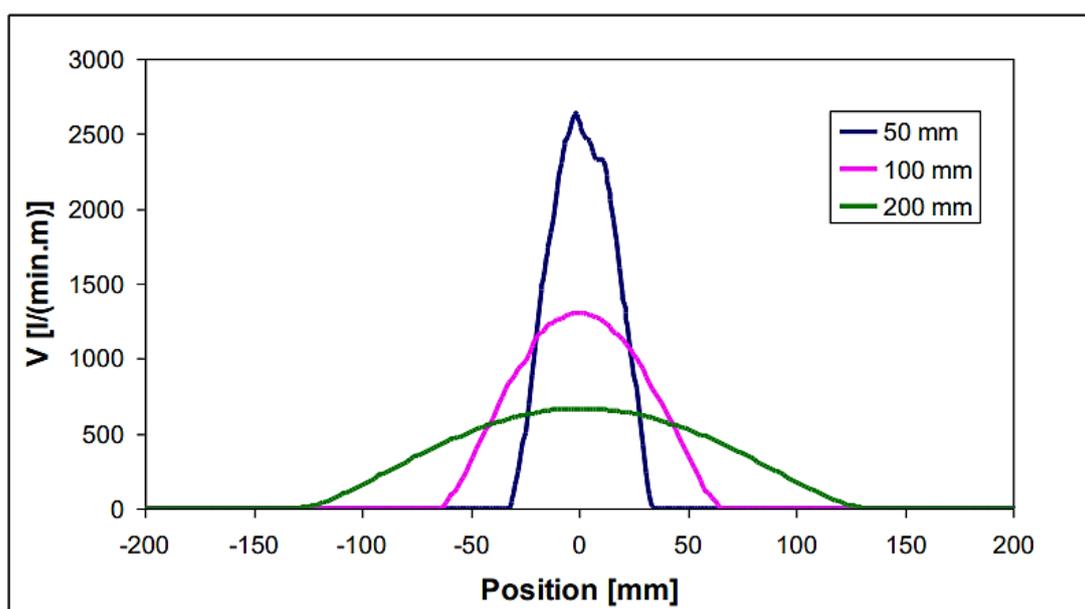


Fig. II.13 Répartition de l'impact de l'eau sur la longueur du rouleau pour trois hauteurs de pulvérisation.

L'expérience avec une hauteur de pulvérisation de 50 mm montre ce qui suit : si la buse est très proche de la surface, les valeurs de HTC ne sont pas les plus élevées. Cette constatation peut s'expliquer par l'existence d'une grande quantité d'eau dans la zone d'impact qui empêche le jet d'atteindre la surface à haute énergie en raison de la pulvérisation mettant en contact un bassin d'eau. Etant donné que cette conclusion n'était pas attendue, l'effet de la pulvérisation à partir de hauteurs de pulvérisation rapprochées devrait être étudié. La chaleur totale extraite est la plus grande pour la hauteur de pulvérisation la plus éloignée [86].

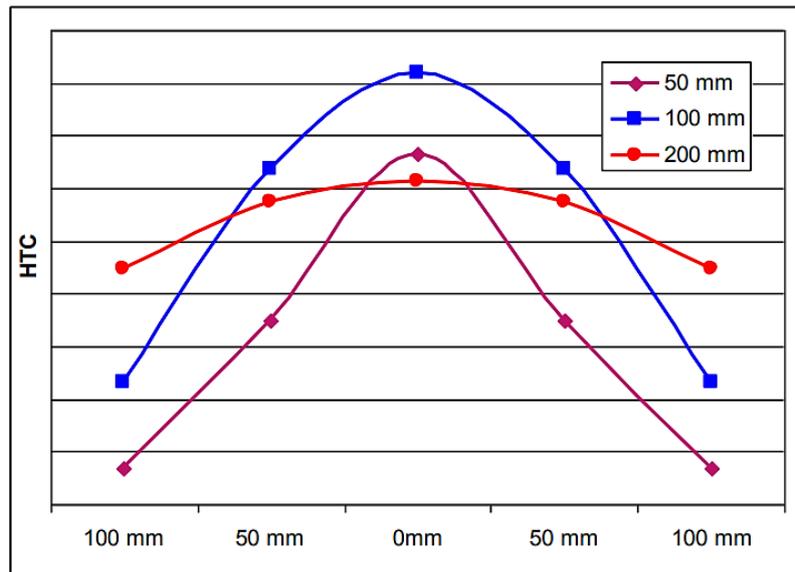


Fig. II.14 Coefficient de transfert de chaleur (HTC) pour trois hauteurs de pulvérisation [86].

La Figure II.14 montre l'effet de la distance de pulvérisation (5–50 mm) sur la température de surface en fonction du temps pour quatre pressions, 100 kPa, 50 kPa, 10 kPa et 1 kPa. Comme le montre la figure, la température de surface subit d'abord une diminution rapide dès que les gouttelettes de basse température viennent frapper la surface, résultant d'un fort transfert de chaleur par convection et de l'évaporation. Elle est suivie d'une lente diminution sur une longue période pendant laquelle le film liquide s'est formé à la surface et une température de surface minimale (T_{\min}) a été atteinte à un certain moment. Le transfert de chaleur est probablement dominé par la conduction thermique pendant cette période en raison de la faible conductivité thermique du film liquide. Le temps de séjour du film liquide est beaucoup plus long que la durée de la projection, et l'évaporation continue du film liquide a maintenu la température de surface basse pendant une longue période [87]. Il commence à reprendre la température initiale lorsque le film liquide s'est complètement évaporé. Il est à noter que la distance de pulvérisation a un impact significatif sur la T_{\min} à 100 kPa, ce qui a permis d'obtenir la valeur la plus basse de $52,6^{\circ}\text{C}$ à une distance de 30 mm. Bien que T_{\min} diminue à environ $58,9^{\circ}\text{C}$ et à $79,8^{\circ}\text{C}$ à 30 mm lorsque la pression est réduite à 50 et 10 kPa, la distance de pulvérisation montre un effet relativement faible sur la T_{\min} , qui ne semble pas différer pour des distances variées sauf pour les distances les plus éloignées de 50 mm. On peut également voir que la température de surface change à peine pendant une longue période, une fois T_{\min} atteinte pour une pression de 10 kPa. En abaissant davantage la pression (1 kPa), T_{\min} décroît continuellement jusqu'à 97°C à 5 mm; Cependant, les longues distances de pulvérisation de 40 et 50 mm ne peuvent pas réduire considérablement la température de surface. Par ailleurs, la distance de pulvérisation

affecte différemment l'ampleur de la diminution de la température de surface (dT/dt) lors de la période de refroidissement initiale. Aux pressions relativement élevées de 100 kPa et 50 kPa, aucune divergence évidente de dT/dt n'est observée sauf à la plus grande distance de 50 mm. Cependant, cette réduction rapide prend beaucoup plus de temps pour une distance de pulvérisation supplémentaire lorsque la contre-pression de pulvérisation ne dépasse pas 10 kPa [88].

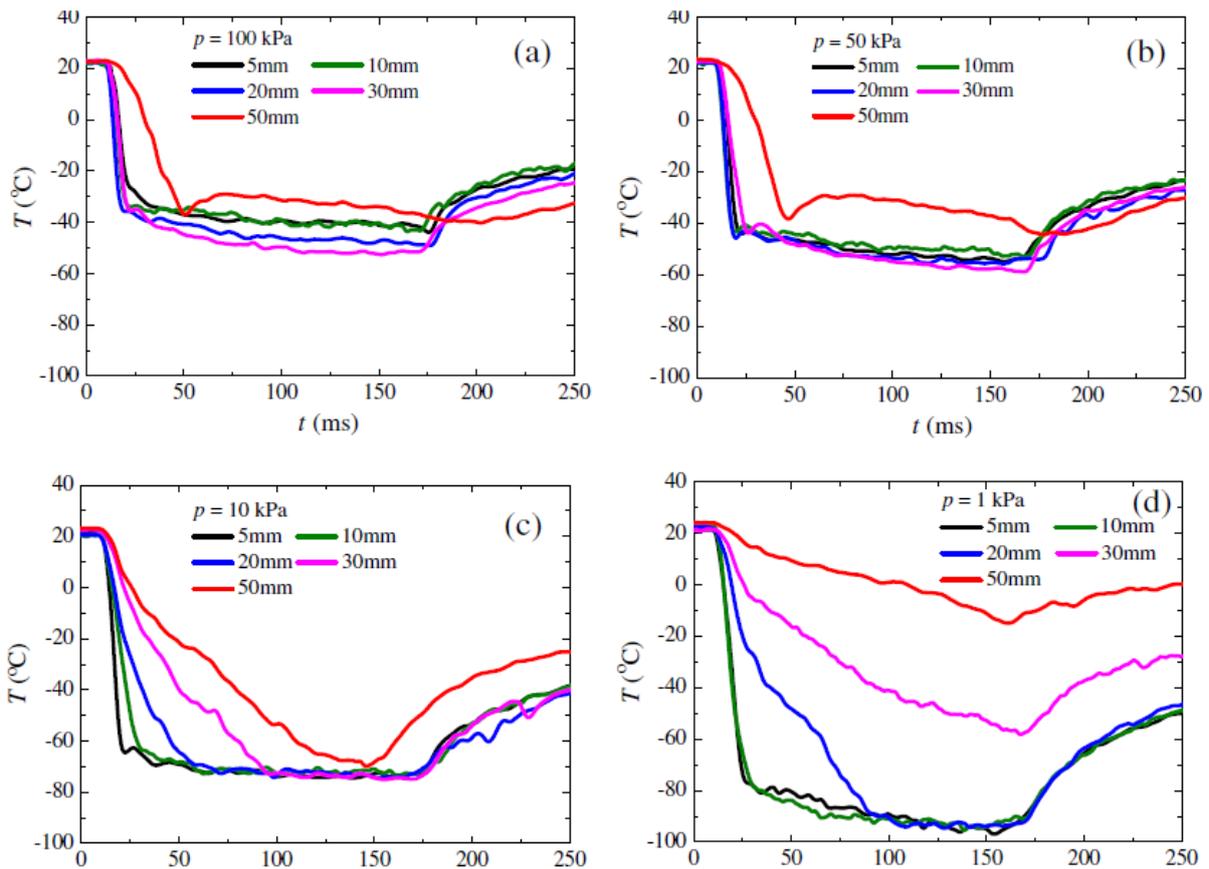


Fig. II.15 Effet de la distance de pulvérisation sur la température de surface en fonction du temps à différentes pressions : (a) $p = 100$ kPa, (b) $p = 50$ kPa, (c) $p = 10$ kPa et (d) $p = 1$ kPa; toute la durée de la poussée est de 50 ms [88].

L'effet de la distance de pulvérisation sur le flux thermique de surface en fonction du temps est illustré dans la figure II.16 pour quatre pressions, 100 kPa, 50 kPa, 10 kPa et 1 kPa. Le flux de chaleur augmente d'abord rapidement jusqu'à une valeur maximale de q_{\max} , puis commence à diminuer pendant le temps de résistance du film liquide jusqu'à zéro. On remarque également que la distance de pulvérisation conduit à des performances différentes en termes de flux de chaleur à différentes pressions. À des pressions élevées de 100 kPa et 50 kPa, le flux de chaleur présente des pics élevés car la distance de pulvérisation est inférieure à 50 mm. Les valeurs les plus élevées de q_{\max} sont 368 et 428 kW/m^2 qui apparaissent à 20 mm, avec des valeurs

inférieures à 320 et 375 kW/m² apparaissant à 30 et 40 mm respectivement. Le flux de chaleur maximal peut encore être augmenté à 522 et 540 kW / m² en abaissant la pression à 10 et 1 kPa, uniquement à des distances courtes de 5 mm.

IV.1 Influence de la pression et du débit de pulvérisation

Les processus de conception et d'optimisation du refroidissement des cylindres de laminage ont été étudiés. Des buses à jet plat avec un angle de pulvérisation de 60 ° ont été utilisées pour quatre expériences. La pression a été augmentée en quatre étapes : 2, 5, 8 et 12 bars. La configuration de pulvérisation est représentée schématiquement à la Fig. II.12. La distribution d'eau (angle de pulvérisation) n'est pas affectée par la pression [86]. La figure II.16 montre que l'intensité de refroidissement augmente avec la pression mais que la distribution de HTC sur la surface refroidie n'est pas affectée par la pression.

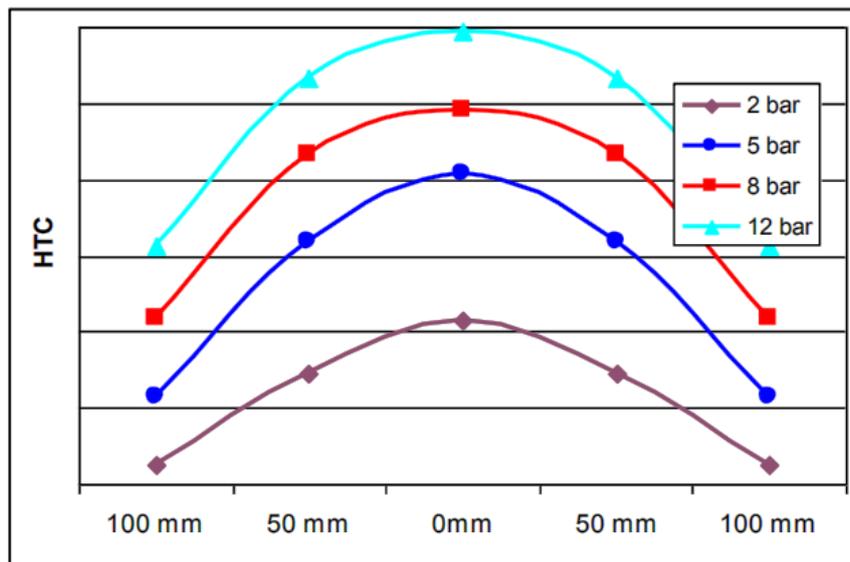


Fig. II.16 Coefficient de transfert de chaleur (HTC) pour les mesures utilisant une pression croissante [86].

Le débit augmente avec la racine carrée de la pression. Une dépendance linéaire peut être observée entre le HTC et le débit, comme indiqué sur la figure II.17. Cette dernière présente les valeurs moyennes du coefficient de transfert de chaleur pour trois positions sur la surface du cylindre, par rapport à l'axe de la buse.

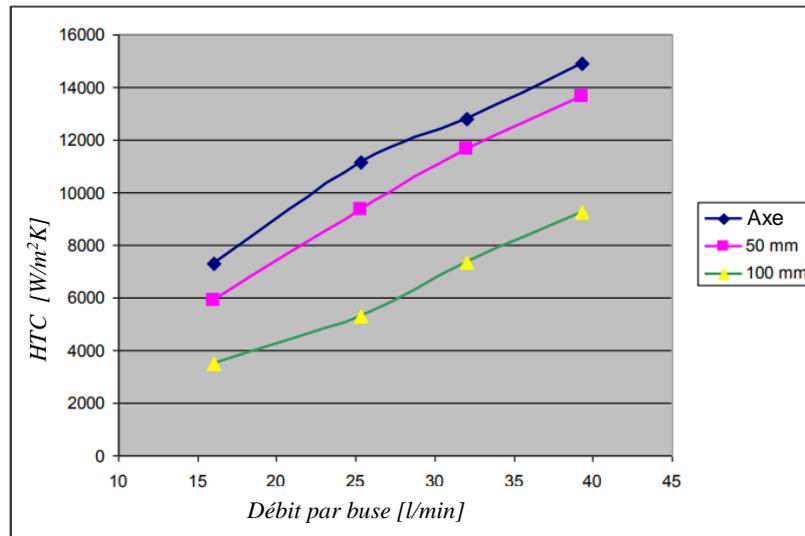


Fig. II.17 Valeurs moyennes du coefficient de transfert de chaleur en fonction du débit.

Mzad *et al.* [89] ont étudié et examiné l'effet de la pression sur le refroidissement d'une plaque d'alliage béryllium-cuivre à 815 °C. La température en fonction du temps à la surface du métal est prédite avec une pression de pulvérisation croissante de 1 à 4 bars (Fig. II.18). Les courbes de température obtenues présentent le même profil ; une baisse rapide de température à cause de l'augmentation de la pression. Les profils de température pour 3 et 4 bar sont similaires en ce qui concerne le chevauchement de leurs courbes. Néanmoins, les graphiques montrent que de grandes quantités de chaleur pourraient être extraites pendant les 10 premières secondes, ce qui explique la chute brutale de la température de surface.

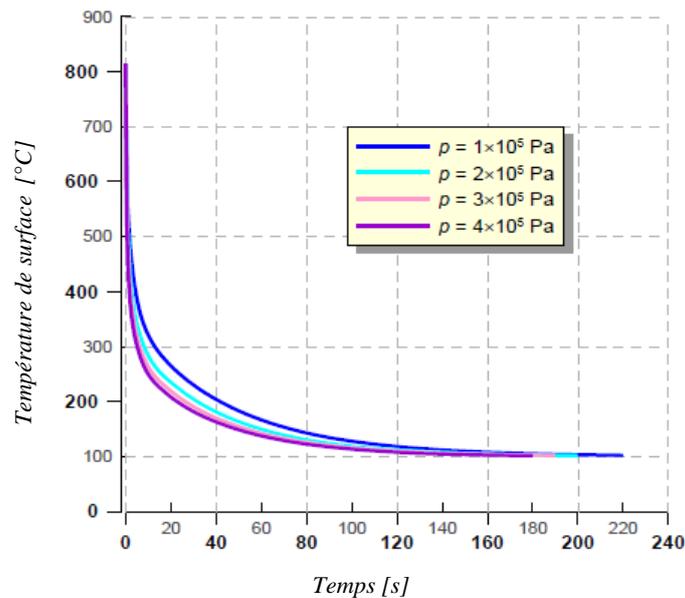


Fig. II.18 Evolution de la température pour quatre pressions différentes [89].

À $t = 40$ s, la température de surface atteint $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, correspondant à la pression la plus basse. En même temps, des valeurs de température plus basses sont enregistrées pour des pressions de 2 à 4 bars. À partir de cet instant, le ralentissement de la chute de température est remarquable en raison de l'approche de la température de saturation en eau. En bref, le temps de refroidissement a été réduit à 45 secondes pour une pression plus élevée, ce qui est important dans l'industrie. Cependant, lorsque les courbes se chevauchent, il n'est pas nécessaire de continuer à augmenter la pression. Une pression de 3 bars assure un refroidissement optimal pour cette application [89].

La figure II.19 montre une comparaison des coefficients de transfert de chaleur pour différentes pressions de pulvérisation. Il est évident que le coefficient de transfert de chaleur (HTC) augmente avec l'augmentation de la pression de l'eau. Une augmentation de la pression de l'eau entraîne également une augmentation de la densité de l'impact de l'eau [90]. Par conséquent les flux thermiques maximaux correspondent aux coefficients maximaux de transfert thermique. Évidemment, cela se produit au début du processus de refroidissement lorsque la différence de température est maximale. En fait, les gouttelettes d'eau se vaporisent instantanément pour créer une couche limite qui empêche l'eau de mouiller la surface.

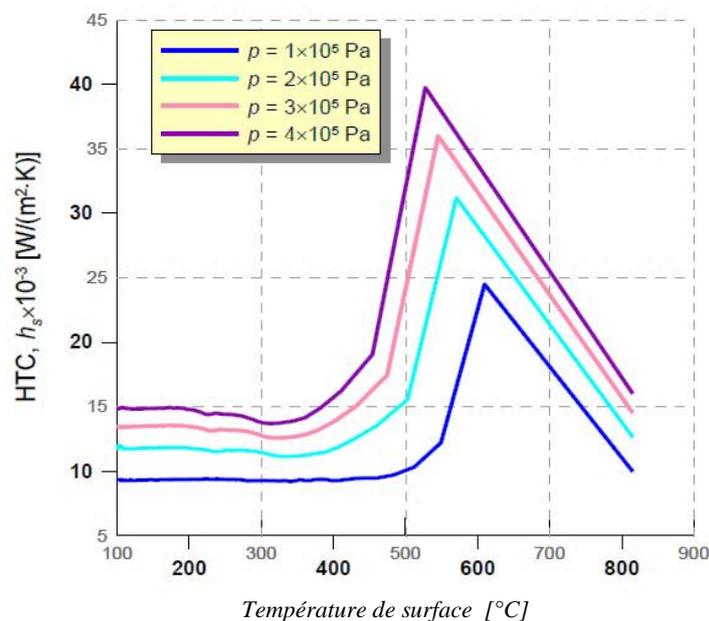


Fig. II.19 Influence de la pression de pulvérisation sur le coefficient de transfert de chaleur et la température de surface [89].

Le coefficient de transfert de chaleur est influencé par de nombreux paramètres tels que la pression de l'eau, la distance de la buse, la densité de l'impact de l'eau et la température de l'eau. En effet, pour une pression d'eau de 1 bar, la stabilisation de HTC commence à une température de surface de 500 ° C, alors que cette stabilisation se produit à 350 ° C pour une pression d'eau de 4 bars [89].

IV.2 Influence de l'angle de pulvérisation

L'influence de l'angle de pulvérisation des buses à jet plat a été étudiée [86]. Trois groupes de buses à jet plat ont été utilisés. Toutes les buses ont des débits identiques, mais chaque type utilise un angle de pulvérisation différent. Des angles de pulvérisation de 30 °, 60 ° et 120 ° ont été utilisés. Les autres paramètres de refroidissement sont les suivants : hauteur de pulvérisation de 100 mm, pression de 5 bars, débit par buse de 25 l/min (à 5 bars), vitesse circonférentielle de 1 m/s. La distribution du spray le long du cylindre refroidi est illustrée par la Figure II.20.

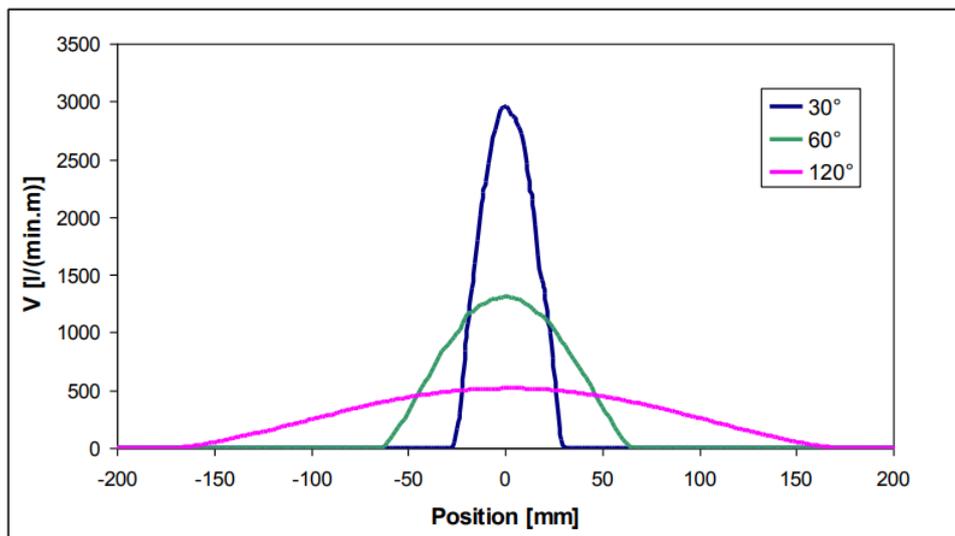


Fig. II.20 Répartition de l'impact de l'eau sur la longueur du cylindre pour trois angles de pulvérisation [86].

La figure II.21 montre les valeurs moyennes du coefficient de transfert de chaleur sur la longueur de la surface. Il est évident que les buses avec un angle de pulvérisation étroit atteignent des valeurs de HTC plus élevées dans la position de l'axe de la buse. Les Figures II.20 et II.21 fournissent des informations intéressantes : la densité d'impact de l'eau pour une buse à 30 ° est (dans la position de son axe) 6 fois supérieure à celle d'une buse à 120 °, mais l'intensité de refroidissement n'est supérieure que de 40%.

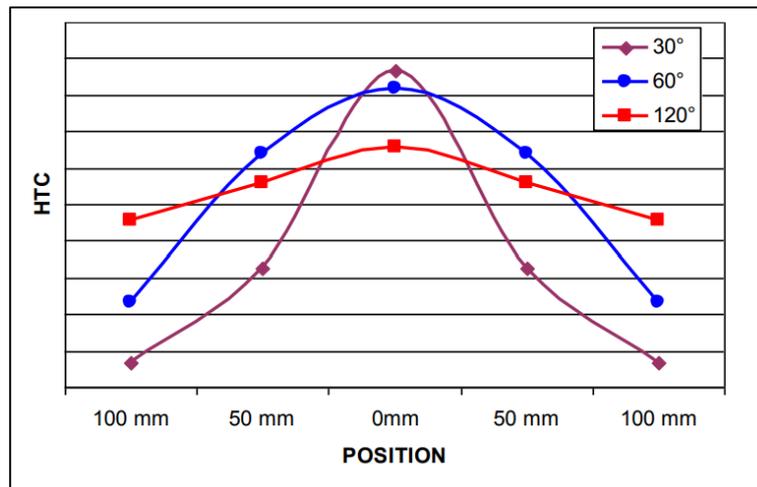


Fig. II.21 Valeurs moyennes du HTC sur la longueur du cylindre pour les tests de transfert de chaleur avec divers angles de pulvérisation [86].

L'effet de l'angle de pulvérisation sur le refroidissement d'une plaque en alliage d'aluminium extrudé a été étudié [91]. Un code commercial FVM, Fluent, a été utilisé pour calculer la distribution de la température dans la plaque d'aluminium refroidie. La figure II.22 montre la distribution du coefficient de transfert de chaleur sur la surface supérieure pour différents angles de pulvérisation. Il est clair que dans tous les cas le coefficient de transfert de chaleur le plus élevé se situe au point de stagnation de la pulvérisation (situé au point central de la surface supérieure). Plus on s'éloigne du point de stagnation, plus le coefficient de transfert de chaleur diminue globalement.

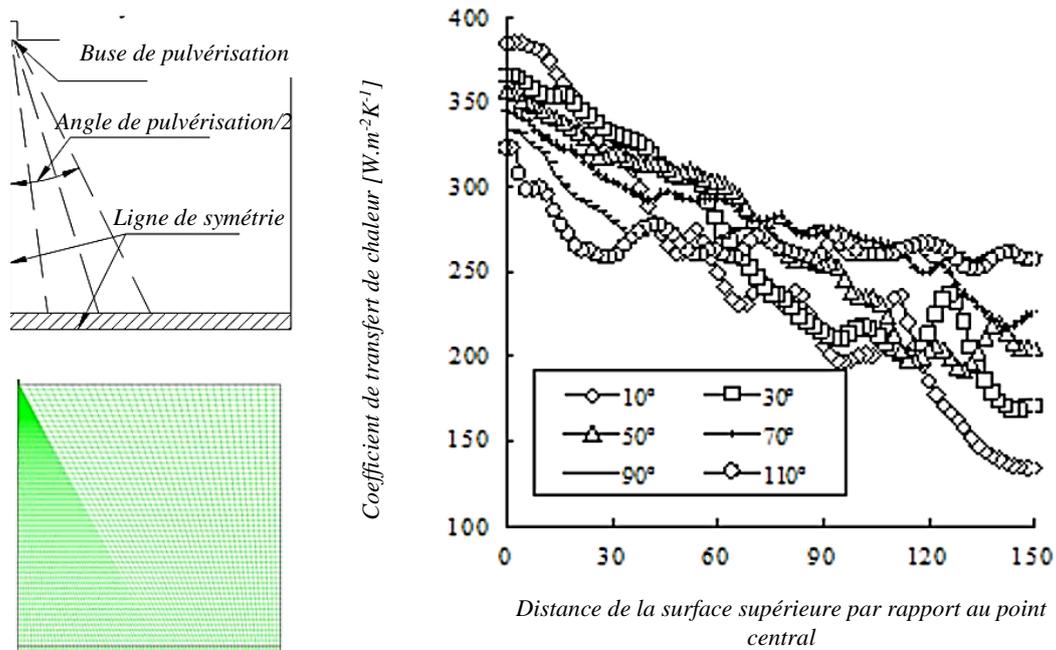


Fig. II.22 Distribution du coefficient de transfert de chaleur pour six différents angles de pulvérisation [91].

Le coefficient de transfert de chaleur est un facteur très important qui influence le changement de température. Il ressort donc des figures II.23 que plus l'angle de pulvérisation est grand, plus la répartition de la température de surface devient uniforme, et lorsque l'angle de pulvérisation est égal à environ 90°, la température moyenne de la surface atteint la valeur maximale. Ainsi, augmenter l'angle de pulvérisation peut contribuer dans une certaine mesure à l'uniformité et l'efficacité du refroidissement.

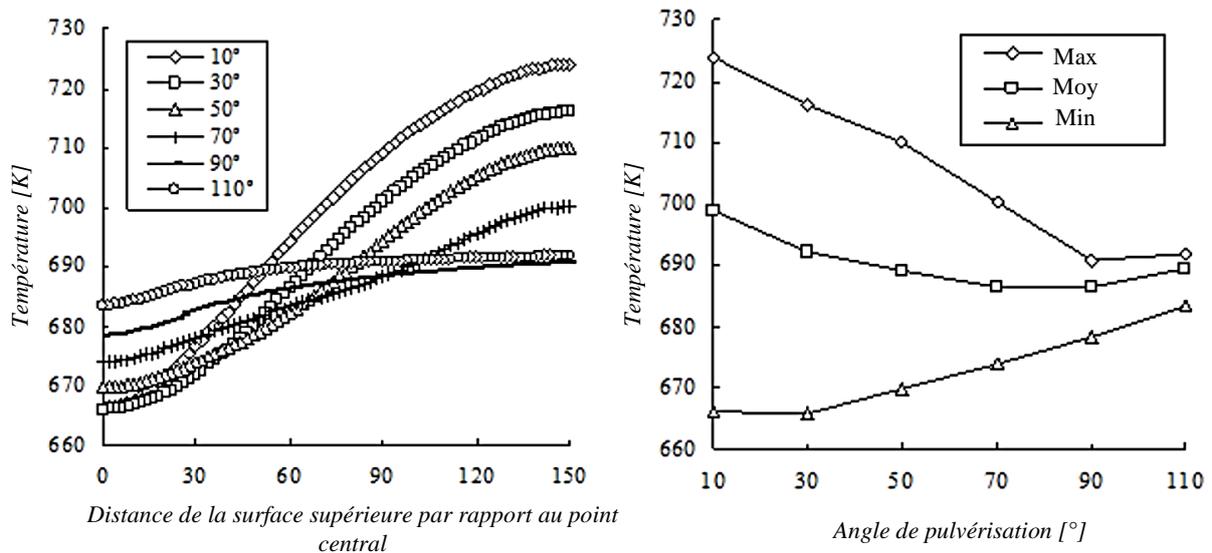


Fig. II.23 Répartition de la température de surface à différents angles de pulvérisation / relation entre les angles de pulvérisation et la répartition de la température de surface [91].

IV.3 Influence de l'espacement des buses de pulvérisation

Étant donné que les buses de pulvérisation peuvent être placées dans différentes positions ; trois positions ont été étudié pour la conception d'un système de refroidissement des cylindres de laminage. Des conditions identiques de pression, de type de buse et de hauteur de pulvérisation, ont été utilisé ; le seul paramètre variable étant "l'angle d'espacement des buses". Le positionnement des buses autour du cylindre est représenté sur la figure II.24 dont l'espacement des buses est de 7 °, 15 ° et 30 ° [86].

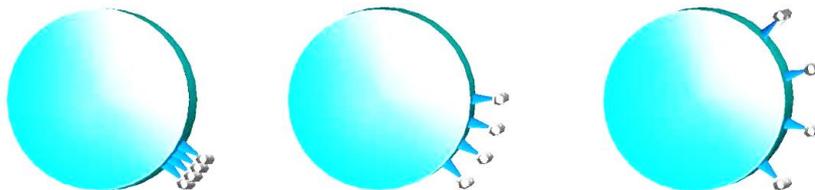


Fig. II.24 Schéma de configuration avec un espacement des buses de 7 °, 15 ° et 30 °.

La figure II.25 montre la distribution du coefficient de transfert de chaleur sur la surface refroidie. Les buses espacées de 7 ° et de 15 ° forment des pics élevés. Le pic le plus élevé correspond à l'expérience dont l'espacement est de 7 °, où la configuration de la buse crée un "point haute densité" d'eau sur la surface du cylindre. Les valeurs maximales de HTC sont : pour 7 ° environ 40 000 W/m²K, pour 15 ° environ 30 000 W/m²K et pour 30 ° environ 15 000 W/m²K. Les valeurs moyennes de HTC se trouvent dans la Figure II.26. L'espacement des buses de 15 ° semble être le plus efficace. Il convient de noter que l'efficacité du refroidissement ne dépend pas seulement des valeurs de HTC, mais également d'une combinaison des températures de surface et de HTC. Une distribution identique de ce dernier évacue beaucoup plus de chaleur lorsque les sprays sont proches de la sortie du cylindre de laminage où se trouvent les températures de surface les plus élevées [86].

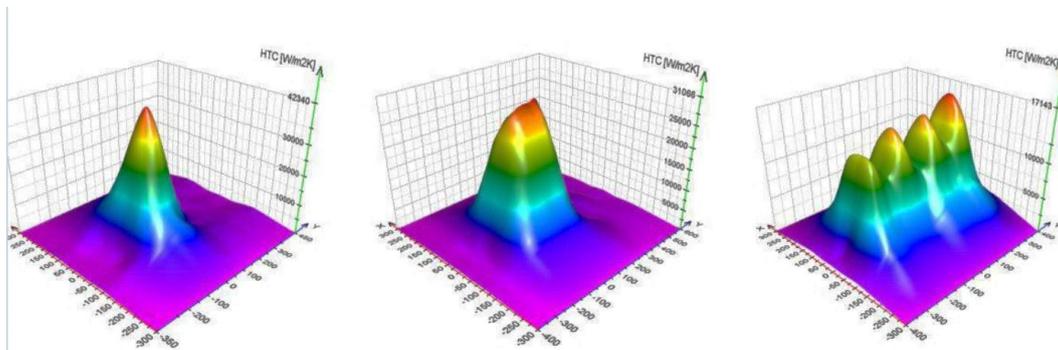


Fig. II.25 Distribution de l'intensité de refroidissement pour la configuration de pulvérisation de la Fig. II.24.

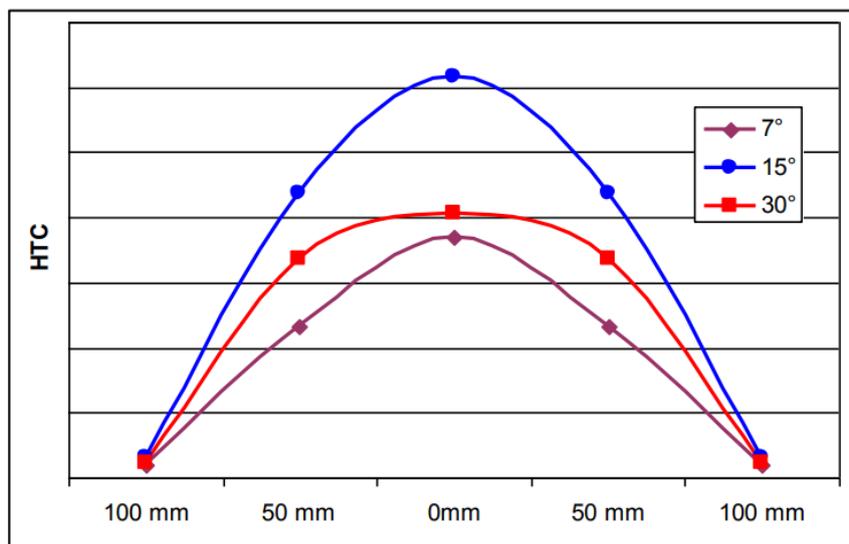


Fig. II.26 Coefficient de transfert de chaleur (HTC) pour trois espacements de buses différents autour du cylindre [86].