

Optimisation de l'alimentation en gaz pour les lasers industriels



La coupe au laser des métaux et d'autres matériaux a connu une croissance rapide en raison de l'évolution de la puissance des lasers, des progrès dans l'automatisation du contrôle numérique par ordinateur et de la diminution des coûts. Les exigences en matière de gaz industriels pour les lasers ont aussi évolué rapidement. Cette brochure traite de l'intégration des lasers de production avec le système d'alimentation en gaz industriel.

Gaz de procédé et gaz d'assistance dans la coupe au laser des métaux

Selon le matériau à couper, le gaz de procédé ou le gaz d'assistance peut être l'air, l'oxygène ou un gaz inerte (azote ou argon). Chaque gaz fournit des résultats de production différents. Pour effectuer la coupe les lasers fonctionnant avec l'oxygène (O_2) combinent l'énergie du laser avec l'énergie exothermique de la réaction de l'oxygène (O_2) avec le métal. La surface coupée avec l' O_2 n'est pas aussi

propre qu'une surface coupée avec un gaz inerte. Lorsqu'un gaz inerte est utilisé comme gaz d'assistance, le laser fournit toute l'énergie nécessaire pour faire fondre le métal. Le rôle de l'azote (N_2) ou de l'argon est de dégager le matériau en fusion de la zone de coupe. Ces gaz rendent aussi la zone coupée inerte et facilitent le refroidissement de la surface jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment basse pour éviter l'oxydation. Il en résulte une surface propre et sans oxyde.

Champ d'application du fabricant d'équipement d'origine (OEM)

Il existe de nombreux fabricants de lasers et de systèmes de coupe au laser. Les exigences optimales du système dépendent de nombreux facteurs, notamment la précision dimensionnelle, la finition de la surface, la qualité des bords coupés, le type de matériau, l'épaisseur, les besoins de post-traitement, le temps de coupe global et la quantité de matériau à couper. En fonction de toutes ces données, le fabricant d'origine concevra un système de coupe au laser qui exigera généralement un gaz industriel (O_2 , N_2 , ou argon). Le fabricant d'origine définira également la pureté, le débit et la pression des gaz consommés dans le laser. L'objectif de cette brochure est de fournir des renseignements sur les systèmes d'alimentation et les gaz utilisés dans la coupe au laser.

Pureté

De nombreux fabricants de lasers d'origine font référence au degré de pureté des gaz utilisés, qui doit être en général de degré 5, ou 99,999. Le tableau suivant indique la pureté des divers degrés :

1 000 ppm = 0,1 % d'impureté = 99,9 % N ₂	Pureté 99,9
100 ppm = 0,01 % d'impureté = 99,99 % N ₂	Pureté 99,99
10 ppm = 0,001 % d'impureté = 99,999 % N ₂	Pureté 99,999

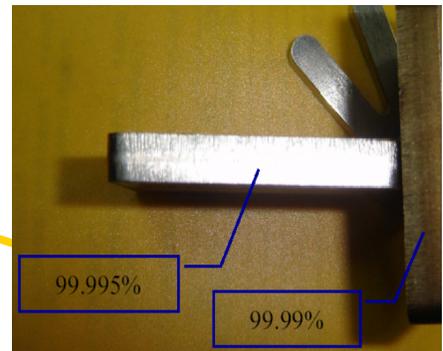
Souvent, il est plus important d'évaluer les niveaux d'impureté que la pureté globale. Les principales impuretés préoccupantes sont celles qui peuvent oxyder le matériau coupé, comme le niveau de ppm d'oxygène (O₂) et le niveau du point de rosée (humidité). La plupart des degrés de N₂ liquide industriel répondent au niveau de pureté de 99,999. Le point de rosée de N₂ gazeux provenant d'une alimentation en N₂ liquide est généralement inférieur à -90 °F (-68 °C) (<3 ppmv).

L'impact de la pureté de N₂ sur la propreté de la coupe au laser est illustré sur diverses pièces métalliques dans les figures 1 et 2. Une surface brillante et propre est obtenue uniquement avec une pureté de 99,995 % ou plus.

Figure 1 : Comparaison des métaux identiques coupés avec de l'azote pur à 99,9 % et à 99,999 %



Figure 2 : Comparaison des métaux identiques coupés avec de l'azote pur à 99,99 % et à 99,995 %



La Tuyauterie

La tuyauterie doit être correctement sélectionnée pour gérer la pression maximale et le débit de pointe. Puisque le débit requis vers le laser varie selon l'épaisseur et le type de matériau à couper, il est extrêmement important de comprendre la gamme d'épaisseur à couper. Avec des débits élevés et des pressions d'alimentation initiales élevées, la taille de la canalisation est extrêmement importante en raison de préoccupations liées aux chutes de pression potentielles, particulièrement si la croissance de la production n'est pas prise en compte dans la conception initiale de la canalisation.

De plus, la canalisation et les composants de débit des lasers qui utilisent de l'oxygène (O_2) doivent être compatibles avec l'oxygène et nettoyés en vue du passage de ce gaz. L'équipement utilisé pour les services d'oxygène doit être nettoyé conformément aux directives strictes de l'industrie. Les spécifications les plus couramment utilisées dans l'industrie sont CGA G-4,1, NFPA 99 et ASTM G93. Le « nettoyage en vue du passage de l'oxygène » ou le « nettoyage en vue des services d'oxygène » signifie que toutes les particules et tous les résidus organiques sont éliminés de la surface de la canalisation et des composants. L'oxygène se combine facilement à de nombreux éléments pour former des composés appelés « oxydes ». Par exemple, l'oxyde de fer, ou la rouille, qui se forme sur le fer en présence d'oxygène et d'humidité.

Bien que l'oxygène lui-même soit ininflammable, les matières combustibles brûlent plus fortement en présence d'oxygène. Plus le pourcentage d'oxygène et la pression sont élevés, plus la combustion est forte et plus la température d'ignition est basse. Les matériaux qui ne s'enflamment pas normalement

dans l'air atmosphérique brûlent et peuvent même exploser dans un environnement riche en oxygène.

Capacité de débit

Le système de tuyauterie doit être conçu pour fournir le débit requis à la pression requise. Si le système de canalisation n'a pas la capacité de débit nécessaire, une chute de pression excessive se produira. Le système d'alimentation a une certaine pression initiale maximale et une capacité de débit. Lorsque le gaz passe dans la canalisation, sa pression ne peut que diminuer. L'objectif de la canalisation bien conçue est de réduire au minimum la chute de pression lors du passage du gaz et de fournir le débit de gaz requis à la pression minimale requise.

Le fabricant d'origine du laser spécifie une certaine pression minimale de gaz à l'entrée vers le laser dans des conditions de débit maximal. S'il y a de multiples lasers sur une même canalisation, le laser situé au point le plus éloigné du système d'alimentation est plus facilement privé de pression et de débit. Les chutes de pression peuvent être causées par un diamètre de tuyau inadéquat, une longueur de tuyau excessive, une canalisation sinueuse (p. ex., des coudes, des T, la réduction du diamètre du tuyau, etc.) ou des composants à faible capacité de débit (vannes d'isolement). La sélection

appropriée des composants de débit est une partie importante d'un réseau de canalisation bien conçu.

Le tableau 1 illustre l'impact de la taille des tuyaux sur la chute de pression dans trois tuyaux de tailles différentes à des débits de 1 000 à 6 000 pi^3 std/h. Dans cette évaluation, le gaz est de l'azote (N_2) avec une pression initiale de 450 psi et une longueur de tuyau de 250 pi. La chute de pression est la différence entre la pression d'entrée et la pression lorsque le gaz sort du tuyau. Un tuyau de 0,5 po de diamètre avec un débit de N_2 de 6 000 pi^3 std/h a une chute de pression de 40,44 $lb-po^2$. Cela signifie que la pression à l'extrémité du tuyau de 250 pi sera de (450 moins 40,44) = 409,56 psi. Si, au lieu de cela, la canalisation était de 1,5 po, la chute de pression serait de 0,207 $lb-po^2$ seulement, avec une pression en aval de (450 moins 0,207) = 449,8 psi.

Tableau 1 : Chute de pression ($lb-po^2$) dans un tuyau de série 80

Diamètre intérieur du tuyau, pouces	Débit (pi^3 std/h)					
	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
0,5	1,159	4,453	9,941	17,663	27,766	40,44
1	0,067	0,249	0,541	0,944	1,456	2,079
1,5	0,007	0,026	0,056	0,096	0,146	0,207

Exemple : Azote circulant dans un tuyau d'une longueur de 250 pi, pression d'entrée = 450 $lb-po^2$

Pression nominale

Les tuyaux de la canalisation doivent être conçus pour résister à la pression prévue. Les tableaux 2 et 3 indiquent respectivement les pressions de service nominales pour les tuyaux en cuivre de type K et les tuyaux en acier inoxydable soudés. La pression nominale varie énormément selon le diamètre et le matériau, particulièrement pour les tuyaux en cuivre de plus grand diamètre. Si une nouvelle canalisation est installée, il est recommandé de surdimensionner les tuyaux en ce qui concerne la capacité de débit et la pression nominale pour tenir compte de la croissance future de la production.



Tableau 2 : Pression de service interne nominale (lb-po²)* pour un tuyau de cuivre (type K) à 100 °F (37,8 °C).

Taille nominale, pouces	Recuit	Étiré**
	S = 6 000 lb-po ²	S = 10 300lb-po ²
¼	1 074	1 850
⅜	1 130	1 946
½	891	1 534
⅝	736	1 266
¾	852	1 466
1	655	1 126
1¼	532	914
1½	494	850
2	435	747
2½	398	684
3	385	662
3½	366	628
4	360	618
5	345	592
6	346	595
8	369	634
10	369	634
12	370	635

*Basé sur la contrainte maximale admissible (S) en tension (lb-po²) pour 100 °F (37,8 °C).

**Lorsqu'on utilise le brasage ou le soudage pour joindre les tubes étirés, on doit utiliser la valeur d'état recuit nominale correspondante.

Source : Manuel des tubes en cuivre

Tableau 3 : Valeurs nominales de pression des tuyaux en acier inoxydable

Valeurs nominales de pression pour les tuyaux en acier inoxydable A312-TP316/316L sans soudure standard

Pression nominale (PSI)		
Taille du tuyau, pouces	Série du tuyau	Température : 100 °F (37,8 °C)
1	40	3 048
	80	4 213
	160	6 140
1 ½	40	2 257
	80	3 182
	160	4 619
2	40	1 902
	80	2 747
	160	4 499

Source : Engineeringtoolbox.com

Mélange de produits

La quantité de N₂ comme gaz d'assistance pour la coupe de l'acier inoxydable peut varier de plusieurs centaines de pi³ std/h pour les matériaux relativement minces (< 0,1 po) à plusieurs milliers de pi³ std/h pour > 0,5 po. Par conséquent, il est important de bien comprendre le temps de coupe qui sera associé à chaque degré et à chaque épaisseur. Une fois cela déterminé, la consommation mensuelle de gaz peut être calculée en multipliant le débit pour chaque matériau et chaque épaisseur par le nombre d'heures de coupe mensuelles. Cette donnée de consommation mensuelle peut être utilisée pour optimiser la taille du système d'alimentation en gaz industriels.

La figure 3 illustre les débits types de gaz pour divers matériaux et diverses épaisseurs, à l'aide d'un laser de 4 kW. Ces données soulignent l'importance de bien comprendre le mélange de produits lors du dimensionnement d'un système, car le débit de gaz d'assistance peut varier considérablement en fonction de l'épaisseur du matériau.

Modes d'alimentation en gaz industriels

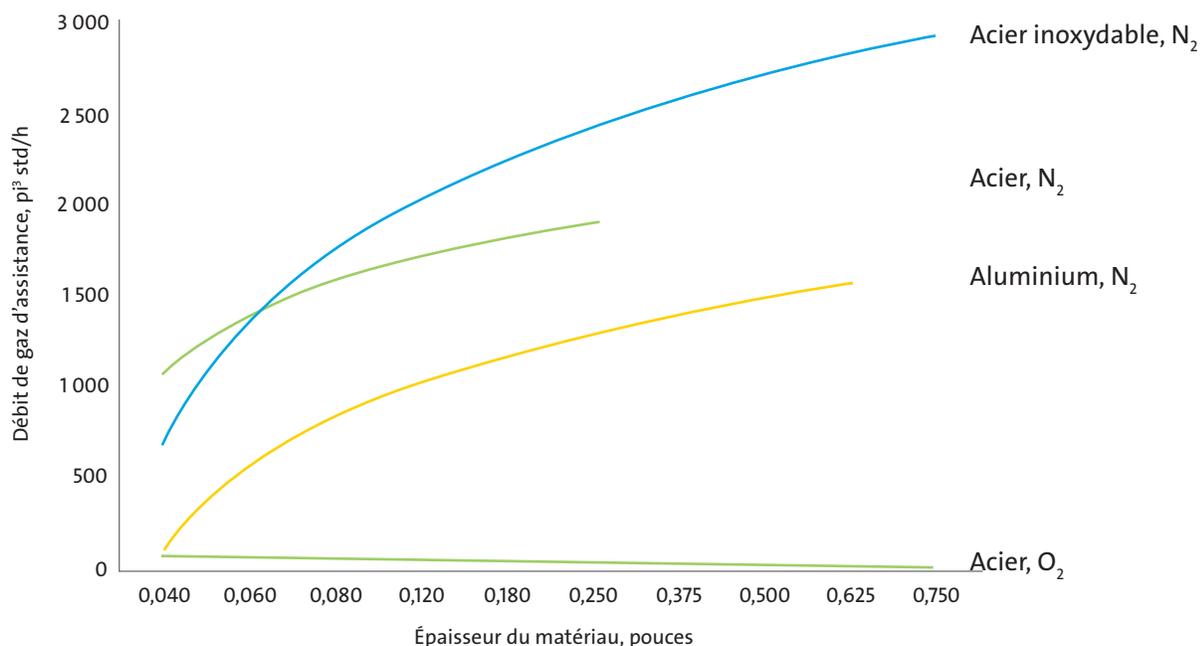
Il existe de nombreux modes d'alimentation en gaz. Celui qui correspond à une exigence spécifique est déterminé par la capacité du système d'alimentation à obtenir la pression, le débit et la capacité de stockage maximaux. Au fil des ans, les exigences en matière de débit et de pression du gaz d'assistance dans la coupe au laser se sont resserrées. Ainsi, la sélection du système d'alimentation en N₂ approprié est encore plus critique, car tous les systèmes d'alimentation en N₂ n'ont pas les mêmes capacités de pression et de débit. Tous les aspects d'un système d'alimentation en gaz industriel doivent être conçus de façon à assurer la sécurité, l'efficacité et le rendement du laser. Voici un résumé des principales options d'alimentation.

Bouteille – Il s'agit du mode d'alimentation le plus petit et le plus simple. Le gaz est à haute pression, mais la quantité de gaz emmagasinée est minimale. Une bouteille type contient environ 275 pi³ std à 2 200 psi.

Les bouteilles peuvent être raccordées ensemble pour fournir plus de volume.

Réservoir micro-vrac – Ce mode d'alimentation fournit de l'azote (N₂), de l'oxygène (O₂) ou de l'argon à partir d'un réservoir de liquide cryogénique relativement petit. Ces réservoirs sont de 230 litres (5 658 pi³ std) à 5 000 litres (123 000 pi³ std). Ces systèmes d'alimentation offrent une vaste gamme de capacités de pression. Certains offrent une capacité de pression de service maximale autorisée (PSMA) de 500 psi et peuvent fournir une canalisation avec une pression de 450 psi. Ces systèmes d'alimentation peuvent avoir une capacité de débit limitée; par conséquent, l'exigence de débit de pointe doit être comparée à la capacité de débit du système. Dans certains cas, il est recommandé d'utiliser deux réservoirs micro-vrac ou plus pour augmenter la capacité. L'utilisation de plus d'un réservoir peut faciliter l'alimentation continue de gaz de procédé pendant le remplissage des réservoirs. Un réservoir est en ligne pendant que l'autre est rempli.

Figure 3 : Débits typiques de gaz d'assistance par rapport à l'épaisseur pour divers matériaux et gaz; laser de 4 kW



Source : Trump Trulaser 2030, tel que cité dans Trump MASTERCutSheetFIBER.pdf

Réservoirs de vrac – il s'agit des réservoirs de gaz industriels classiques. Leur taille varie de 1 500 gallons (140 000 pi³ std de N₂) à plus de 11 000 gallons (1 024 210 pi³ std de N₂). La plupart de ces réservoirs sont dotés d'une PSMA de 250 psi, avec une pression de canalisation maximale d'environ 200 psi. Puisque cette pression est trop basse pour la plupart des lasers, il faut ajouter de l'équipement pour atteindre une pression d'alimentation plus élevée. Le plus populaire est le Chart Trifecta^{MD}. Le système Trifecta^{MD} prend le liquide du réservoir d'alimentation pour le mettre sous pression en vue du procédé. Le Trifecta^{MD} offre un débit et une pression élevés. Des pressions de canalisation aussi élevées que 550 psi sont disponibles pour l'azote (N₂).

Une autre solution consiste à utiliser le réservoir de vrac pour alimenter une pompe cryogénique, un vaporisateur haute pression et des tubes d'hydril gazeux pour fournir un système d'alimentation haute pression.

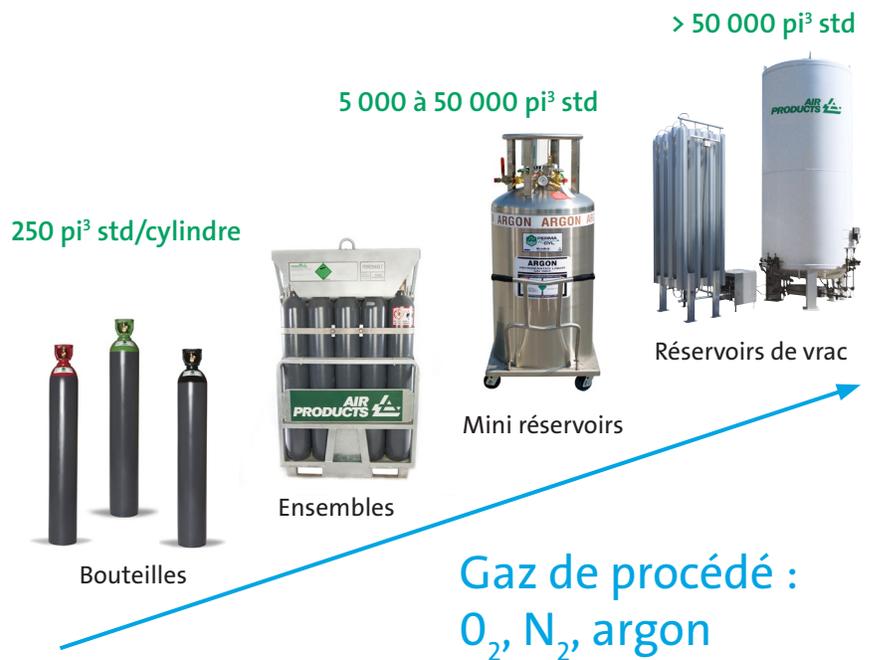
Réservoirs de vrac haute pression – Il existe également d'autres systèmes d'alimentation qui peuvent produire une pression et des débits élevés. Cela comprend les réservoirs de vrac haute pression. Ils peuvent fonctionner à une PSMA allant jusqu'à 600 psi. Ces réservoirs sont parfois dotés d'une pompe de mise à la terre cryogénique qui peut être remplie à partir de la remorque d'alimentation sans dépressuriser (ventiler) le réservoir et interrompre l'alimentation au point

d'utilisation. La pompe de mise à la terre permet au camion-citerne de livraison de surmonter la pression de fonctionnement du réservoir, ce qui permet une alimentation sans interruption en gaz haute pression vers le laser.

Le choix d'un système d'alimentation approprié dépend de la quantité d'utilisation (pi³ std/mois), du débit combiné de pointe (pi³ std/h), du calendrier de production (heures/mois de coupe) et de la pression de canalisation minimale. La croissance prévue des besoins en gaz devrait également être prise en compte dans cette évaluation.

Pour remplir le réservoir, il est important de tenir compte de la façon dont les réservoirs sont remplis et de savoir si le réservoir doit être dépressurisé ou non. La dépressurisation peut entraîner une perte d'alimentation en gaz pendant la procédure de remplissage. La ventilation du gaz pendant la dépressurisation du réservoir a également un coût économique, puisque le gaz qui est évacué est perdu. La ventilation se produit également pendant le transfert d'un contenant de liquide à un autre pendant le fonctionnement normal du système Trifecta^{MD}. Finalement, pour choisir le mode d'alimentation en gaz approprié, il faut déterminer si l'alimentation doit être continue ou non. Certains modes d'alimentation exigent que le réservoir soit dépressurisé pendant le remplissage. La figure 4 présente un aperçu des modes d'alimentation applicables en fonction des exigences en matière de capacité et de pression.

Figure 4 : Modes d'alimentation



A

Solution micro-vrac

- Réservoir micro-vrac très haute pression de 1 500 à 5 500 L
- Ensemble laser de 450 L



B

Réservoir de vrac à haute pression avec assistance micro-vrac

- Réservoir de vrac à haute pression de 1 500 à 6 000 gal
- Réservoir micro-vrac à très haute pression de 1 000 à 1 500 L



C

Réservoir de vrac à pression standard avec Trifecta^{MD}

- Réservoir de vrac de 9 000 gal
- Trifecta^{MD}



