

La sécurisation des machines à solvants alternatifs

Les machines de nettoyage à sec mettant en œuvre les solvants qui constituent des alternatives possibles au perchloréthylène en nettoyage à sec, tiennent bien évidemment compte de leurs caractéristiques. Comme nos lecteurs ont déjà pu le lire à plusieurs reprises, il s'agit de solvants classés «combustibles», ce qui signifie qu'officiellement, en termes de classification de dangers, ils ne sont pas considérés comme «inflammables». Cependant, comme chacun le sait maintenant, ces solvants se caractérisent notamment par un Point d'Éclair (PE) et une Limite Inférieure d'Explosivité (LIE). C'est pourquoi, durant le cycle de nettoyage effectué par la machine, deux phases de fonctionnement donnent lieu à un mélange air chaud/vapeurs de solvant, qui implique des dispositifs de sécurité prévus par des normes de construction, ainsi qu'un calibrage de certains facteurs ou paramètres, qui résulte de l'étude de la machine et d'une analyse de risque réalisées par le fabricant. En préalable à l'article sur la notion d'ATEX (cf. page 20), rappelons ici comment ces machines sont sécurisées.

Il convient tout d'abord de rappeler quelques notions

► **Risque** : probabilité qu'un évènement causant des dommages, en relation avec un danger existant, se produise.

► **Danger** : cause capable de provoquer des dommages.

► **Accident** : évènement engendré par un danger non maîtrisé ou insuffisamment maîtrisé.

► **Maîtrise du danger** : la maîtrise du danger amoindrit le risque et donc la probabilité que l'accident ne survienne.

► **Quel est le danger particulier que présentent les machines à solvants alternatifs ?** : il s'agit de la formation possible d'un mélange avec l'air, de vapeurs de solvant combustible, lequel mélange peut devenir explosif dans certaines conditions.

Or, les machines de nettoyage à sec sont étudiées et conçues pour maîtriser le danger en faisant en sorte que de telles conditions ne soient pas réunies et ce, pour que le risque résiduel (ou la probabilité qu'un accident ne survienne) soit nul. Les normes de construction, l'étude de la machine et l'analyse des risques effectuées par le fabricant, les mesures prises en conséquences par ce dernier, répondent à cette nécessité. L'auto certification CE des machines faite par le fabricant en atteste et la marque NF permet de le vérifier.

Caractéristiques des solvants alternatifs actuels

Tableau 1	Solvants alternatifs (combustibles)				
	Solvon	Soltrol	Solvon K4	D5	Rynex 3E
Point d'éclair (°C)	62	>61	62	77	93
Volatilité* (pression de vapeur à 20°C) (Pascal - Pa)	40	60	79	20	40
LIE (vol.%)**	0,6	0,6	0,63	0,7	1,7

Solvon et Soltrol : hydrocarbures d'origine purement pétrolière (appelés KWL)

D5 : décaméthylcyclopentasiloxane (dérivé d'hydrocarbure siliconé)

K4 : Solvon K4 ou dibutoxyméthane (hydrocarbure oxygéné)

Rynex 3E : DPGtBE ou éther de glycol propylénique

Définitions

Point d'éclair : température minimale pour laquelle la concentration des vapeurs de solvant émises est suffisante pour s'enflammer au contact d'une flamme ou d'un point chaud (dans les conditions normalisées).

Pression de vapeur : caractérise la capacité d'un solvant à s'évaporer (volatilité, formation de vapeurs). La pression de vapeur varie en fonction de la température. Elle est ici donnée pour 20°C.

LIE (définition) : concentration en vapeurs de solvants, exprimée en % du volume d'air, à partir de laquelle le mélange vapeurs/air devient explosif (c'est-à-dire, peut exploser si sa température atteint ou dépasse le point d'éclair).

Il existe un lien direct entre Pression de vapeur et Concentration. De plus, la pression de vapeur d'un solvant donné varie avec la température (cf. *graphe ci-contre*). Par exemple, pour le D5 (le solvant le moins volatil), sur certaines fiches de données de sécurité, la pression de vapeur donnée est de 26,6 Pascal à 20°C et de 33,3 Pascal à 23°C.

Dans une machine de nettoyage à sec se trouve l'un des solvants mentionnés dans le tableau 1. Même s'ils sont considérés comme des Composés Organiques Volatils (COV), il s'agit de solvants peu volatils, non classés «inflammables», mais classés «combustibles».

Le danger existe toutefois potentiellement pendant le séchage : la température est élevée, proche du point d'éclair ou supérieure selon le solvant employé. De plus, selon les caractéristiques du solvant, la température de l'air circulant dans le tunnel de séchage se situe en effet entre 65°C et 95°C.

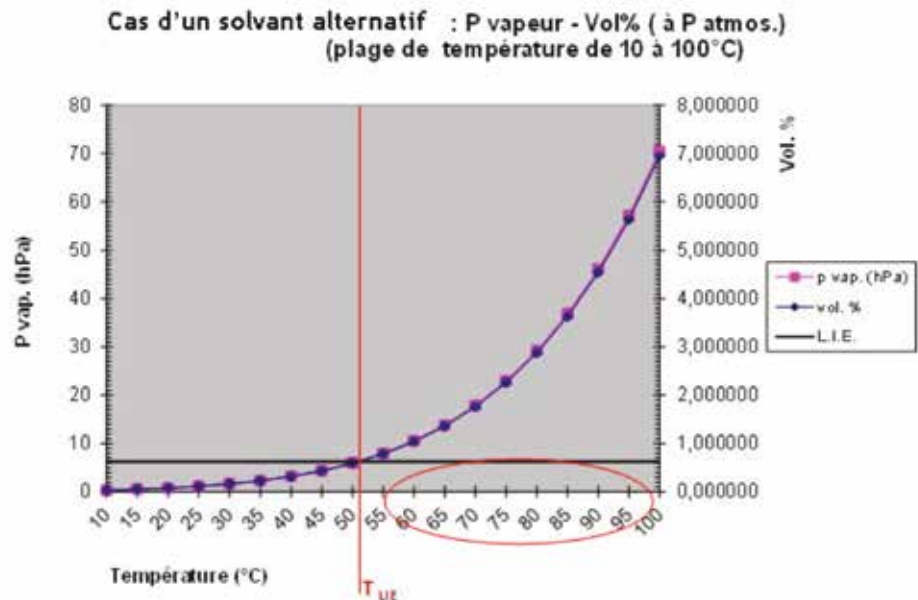
Le graphe 1 représente **en rose**, l'évolution de la pression de vapeur, **à saturation**, en fonction de la température, sur une plage de températures allant de 10 à 100°C (pression donnée ici en hectopascal ; notée hPa = unité de pression ; 1hPa = 100 Pa : 1Pa = 1 Newton/m²) : **échelle de gauche**.

En violet, il s'agit de l'évolution de la concentration en vapeur de solvant exprimée en %, **à saturation**, en fonction de la température : **échelle de droite**.

Saturation : impossibilité de concentrer l'air davantage en vapeurs de solvant et ce, pour chaque valeur de température.

Sur ce graphe, on peut noter :

↳ pour les températures basses, à 20°C par exemple, on retrouve en partie basse de l'échelle de gauche, la zone des valeurs de pression de vapeur données dans le tableau 1 : de 20 à 79 Pa ;



↳ au-delà de 50°C environ, la pression de vapeur augmente nettement sur ce graphe, de même que la concentration en vapeurs de solvant, intimement liée ;
 ↳ la LIE est représentée par une ligne horizontale noire : elle se situe à 0,63 % ;
 ↳ dans le cas du solvant correspondant à ce graphe, **à saturation**, la LIE est atteinte dès 51°C (représentée par la verticale rouge TLIE).

Pour les différents solvants alternatifs, la zone des températures utilisées (tous solvants confondus) en machine lors du séchage, se situe dans **l'ovale rouge**.

Sur ce graphique et dans cette zone, on note que plus la température de l'air est élevée, plus la probabilité d'obtenir une concentration supérieure à la LIE est importante. En effet, plus les températures sont élevées, plus l'air a la capacité à se charger en vapeurs de solvant, jusqu'à saturation. Or, ces valeurs de température constituent un paramètre essentiel pour le séchage. On ne peut imaginer sécher «à froid».

Pour chacun des solvants du tableau 1, une température minimum de séchage est programmée, mais elle ne doit pas excéder un certain niveau de température, défini pour chaque solvant.

N.B. : dans une machine de nettoyage à sec, **la saturation n'est pas atteinte par l'évaporation du solvant**. La saturation est cependant provoquée par la batterie froide de la pompe à chaleur, mais dans ce cas, en pratiquant une baisse importante et brusque de la température du flux d'air chargé en vapeurs, afin de condenser le solvant et le réutiliser.

A partir de ces éléments, les machines sont conçues et réglées pour que les concentrations en vapeurs de solvant demeurent en dessous de la LIE, et même nettement en dessous de la LIE, et pour que la machine opère toujours à l'intérieur d'une zone de sécurité de fonctionnement.

↳ Paramètres définissant la zone de sécurité de fonctionnement

Tout d'abord il faut comprendre que le graphe 1 correspond à un **système statique** et ne fait que traduire, pour l'un des solvants du tableau 1, un phénomène général. Mais, en disposant de tels graphes pour chacun des solvants, les fabricants identifient aisément la zone de sécurité de fonctionnement.

Celle-ci correspond aux concentrations en vapeurs de solvant qui se situent en dessous de la ligne horizontale noire qui représente la LIE.

Pour sa part, le circuit de séchage d'une machine de nettoyage à sec est un **système dynamique** : circulation d'air, évolution de la température, condensation continue des vapeurs de solvants, ... Par conséquent, plusieurs paramètres sont disponibles pour mettre en œuvre une combinaison de facteurs qui permette de rester dans la zone de sécurité de fonctionnement, avec une concentration en vapeurs de solvants qui demeure nettement en dessous de la LIE, en permanence.

1. Pas de température de séchage excessive. Une sonde de température de sécurité permet de ne pas dépasser un certain niveau de température défini par le fabricant, pour un solvant donné.

2. Un volume de circuit d'air suffisant, étudié pour bénéficier d'une dilution suffisante des vapeurs de solvant engendrées par le séchage, même à chargement maximum.

3. Un débit d'air suffisamment élevé en permanence :

► pour homogénéiser la concentration à l'intérieur de l'enceinte de séchage et éviter des surconcentrations dans certaines zones, même à chargement maximum ;
► pour favoriser le phénomène de condensation des vapeurs de solvant sur la batterie froide et que cette condensation corresponde à un flux de solvant condensé suffisant, afin d'éviter les surconcentrations en vapeurs de solvant.

4. Une pompe à chaleur correctement dimensionnée et conçue pour être performante afin d'obtenir une condensation efficace des vapeurs de solvant générées par le séchage (éviter

une accumulation de vapeurs de solvant à l'intérieur du circuit de séchage).

5. Absence totale de point chaud dans le tunnel de séchage : pas de réchauffeur électrique (comme c'est souvent le cas dans une machine au perchloréthylène), mais un échangeur «vapeur d'eau/air en circulation», la vapeur d'eau étant produite par la chaudière du distillateur ou une chaudière spécifique.

6. Un essorage efficace, permettant de limiter la quantité de solvant à évaporer au séchage.

Ces paramètres et modes de fonctionnement sont définis par le fabricant, en usine, pour chaque type de machine et chaque solvant et ne doivent pas être modifiés. Respecter cette zone de sécurité de fonctionnement évite que d'autres facteurs «déclenchant», aient un effet indésirable. Facteurs possibles : électricité statique, étincelles éventuelles si présence d'éléments métalliques dans le tambour (boutons, ...).

► Optimiser le temps de séchage ?

Avec les solvants alternatifs, il est clair que les temps de séchage sont plus longs qu'avec du perchloréthylène. Mais l'optimisation du temps de séchage est l'affaire du fabricant, dès la conception des machines. Par conséquent, il est exclu de modifier certains paramètres au-delà des valeurs prévues par le fabricant ;

D'autres actions liées à **l'utilisation et à l'entretien** sont possibles ou doivent être mises en œuvre, selon le cas :

► prévoir une machine d'une capacité de chargement suffisante, ce qui permet d'autant plus facilement de la charger de façon réduite en cas d'articles épais, difficiles à sécher ;

► entretenir la pompe à chaleur : pas de fuite, vérification de la charge en fluide frigorigène, propreté des batteries chaudes et froides ;

► nettoyage fréquent des filtres du circuit d'air.

► Autres points importants



L'inflammation d'un combustible (mélange vapeurs de solvant/air, en l'occurrence) est rendu possible par la présence de deux autres éléments :

► un comburant : l'oxygène de l'air (présent à raison de 21% dans l'air) ;

► la chaleur.

Dans une machine de nettoyage à sec, ces trois éléments sont présents. Mais il existe des machines à inertage à l'azote.

INERTAGE : pour sécuriser les machines, l'inertage consiste à réduire le pourcentage d'oxygène de l'air pour que le comburant ne soit plus suffisamment présent et que les conditions d'inflammabilité ne soit pas réunies. Mais, il existe deux modes d'inertage bien différents : l'inertage du procédé de nettoyage à sec lui-même, et l'inertage d'urgence.

L'inertage du procédé

Le cycle de nettoyage complet (lavage + séchage) s'effectue sous atmosphère inerte. La cuve où se trouve le tambour et le circuit de séchage est d'abord mise

sous vide partiel, puis le retour à pression atmosphérique est assuré par une injection d'azote, produit in situ.

Le pourcentage d'oxygène passe de 21% à 4% environ, taux insuffisant pour qu'une inflammation ou une explosion se produise. On ne peut plus parler réellement de mélange vapeur de solvant/air comme précédemment, puisque l'air présent dans la machine est dénaturé. Ce type d'inertage consiste en une maîtrise interne du danger. Un seul fabricant a développé ce procédé, mais à l'heure actuelle, les machines ainsi équipées ne sont plus commercialisées en France.

L'inertage d'urgence

Il n'intervient pas lors du processus de nettoyage (lavage + séchage), comme le fait l'inertage du procédé. Il n'a donc pas la même fonction. Une bonbonne d'azote est placée aux côtés de la machine et est reliée au tunnel de séchage par un flexible, afin d'injecter de l'azote en cas d'urgence, de dysfonctionnement (l'azote remplacera rapidement l'air et le triangle du feu sera «altéré») :

↘ lorsque la température maximum tolérée (sonde de sécurité de température) est atteinte ;

↘ dans un cas extrême, l'inertage d'urgence permettra «d'étouffer» une inflammation à l'intérieur de la machine pour qu'elle n'ait pas de conséquence externe.

Le respect de la zone de sécurité de fonctionnement reste cependant essentiel puisqu'il s'agit, là aussi, d'une maîtrise interne du danger pour un risque résiduel nul.

Par ailleurs, la distillation est aussi sécurisée : vide partiel

La distillation de tels solvants souillés génère un mélange vapeur de solvant/air d'autant plus facilement que la température de distillation est d'un niveau élevé. Par conséquent, la distillation a

lieu sous vide partiel. Ce vide est obtenu par une pompe à vide qui agit sur le distillateur. Le vide partiel a pour effet de diminuer fortement la présence d'air et donc d'oxygène, de telle sorte que les conditions d'inflammabilité ne soient pas réunies (cf. *triangle du feu ci-contre*). En cas de dysfonctionnement, le dispositif de distillation étant sécurisé, il est stoppé.

↘ Spécifications et vérification des machines

Concernant la LIE, le référentiel NF (version applicable à partir du 01/03/2013) requiert le seuil suivant (précisé par l'INRS) : **concentration en vapeurs de solvant à l'intérieur du tunnel de séchage < 70% de la LIE** (un tel seuil permet de préciser la norme de construction ISO 8230-3). Concrètement, une sonde de température, dont le seuil de déclenchement est défini par le fabricant, assure la maîtrise de la concentration en vapeur de solvant. Cette SECURITE est redondante (deux sondes et deux circuits associés). Le fabricant effectue les contrôles suivants :

↘ mesures de concentration à l'intérieur du tunnel de séchage lors du fonctionnement de la machine, avec enregistrements, pour vérifier l'évolution de cette donnée par rapport à la LIE ;

↘ reproduction de ce type de mesures en générant des dysfonctionnements, afin de vérifier le comportement de cette même donnée et le déclenchement des sécurités (sonde de température, provocation de surchauffe, injection d'azote pour inertage d'urgence, panne ventilateur, ...).

Les dysfonctionnements générés lors de ces tests de vérification sont notamment les suivants : températures excessives, dysfonctionnement pompe à chaleur, arrêt ventilateur en relation avec plusieurs causes, ...

Dans le cadre de la certification NF des machines concernées, le résultat de ces contrôles est demandé au fabricant demandeur et examiné pour vérifier la conformité de la machine au référentiel NF, ainsi qu'aux normes de construction.

N.B. : les phénomènes physiques et dispositifs de sécurité, mentionnés dans cet article, sont connus de longue date par les fabricants de machines de nettoyage à sec. Ils mettent application les principes de sécurité correspondant lors de la conception des machines qu'ils proposent, sur la base d'une analyse de risque et des normes de construction en vigueur. De telles machines ont largement pénétré le marché allemand à partir des années 1990, compte tenu des contraintes réglementaires visant l'utilisation du perchloréthylène apparues à cette époque. Ces machines sont aussi utilisées dans de nombreux autres pays, comme par exemple aux USA.

↘ Le couple machine/solvant est aussi une notion importante

En effet, dans certain cas, pour une machine donnée dite «multi-solvants», le changement de solvant est une possibilité. Cette possibilité doit être confirmée par le fabricant de la machine ou un installateur/distributeur en relation avec ce fabricant. Les réglages de la machine doivent être revus et modifiés en conséquence. Ce type d'opération ne peut être réalisé par l'exploitant.

Dans un avenir proche, ce type de modification fera l'objet d'un verrouillage que seul un service compétent, en relation avec le fabricant de la machine, pourra désactiver pour opérer et ce, selon les consignes du fabricant.

En outre, un solvant doit être conforme à la définition qui en est donnée dans l'arrêté du 5/12/2012 (rubrique n° 2345 des ICPE), notamment : Point d'éclair > 60°C.