

Référent : Service SEET – Direction DPED
ADEME (Angers)

TRAITEMENT PAR CONDENSATION

Juillet 2014

Les polluants concernés par la technique de traitement biologique sont les composés odorants et les Composés Organiques Volatils (COV) non odorants.

1. Qu'est-ce que le traitement par condensation ?

Le procédé consiste à transformer le ou les composés organiques volatils en liquide par abaissement de la température, puis à le récupérer. Il est ensuite traité en vue de sa réutilisation ou de sa destruction.

Les lois d'équilibre thermodynamique entre les différentes phases solide, liquide ou gazeuse, sous lesquelles peut se présenter une substance, se traduisent par un diagramme pression partielle/température.

La pression partielle décroît en fonction de la température en suivant l'équation d'Antoine :

$$\ln P = A - B / (T+C)$$

Les coefficients A, B, et C sont identifiés grâce aux données communiquées par l'utilisateur pour les réactifs spécifiques ou les données de la littérature pour les produits courants.

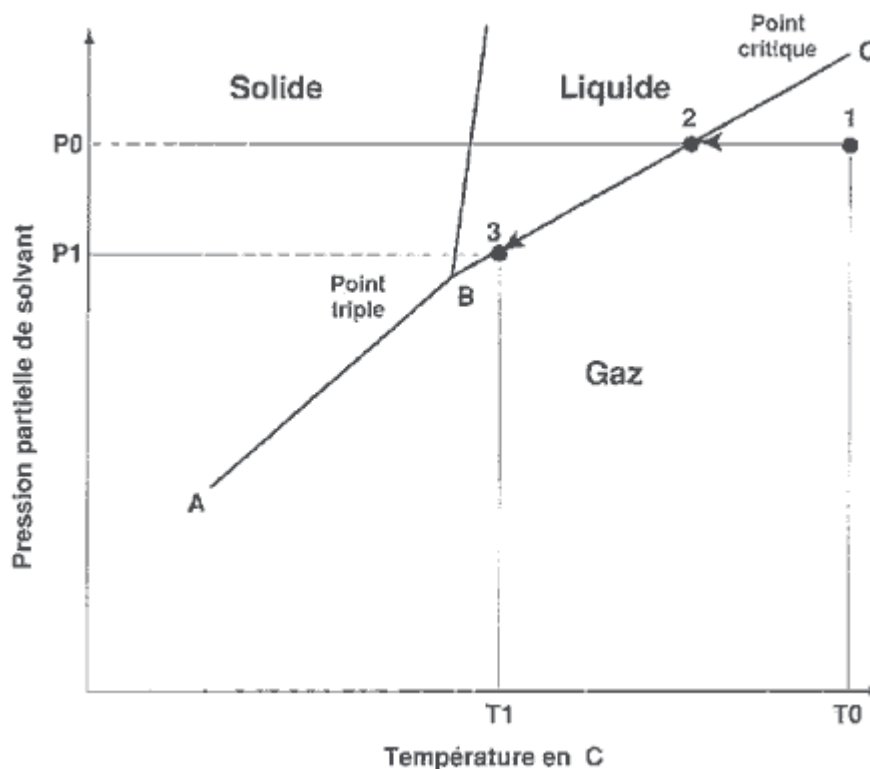


Figure 1 : Diagramme de pression partielle en fonction de la température

Le système n'est pas sélectif. Toute substance présente dans l'effluent à une concentration supérieure à sa concentration de saturation à la température considérée sera partiellement condensée : on récupérera donc un mélange.

$$Cs = Ps/P$$

Ps : pression de saturation

P : pression totale (souvent égale à la pression atmosphérique)

Dans le cas d'un mélange, la température à atteindre est déterminée en fonction des caractéristiques du COV le plus volatil.

Elle est souvent inférieure à 0°C (-20 à -80°C dans un grand nombre de cas). La condensation s'effectue donc de manière multi-étagée ; le ou les premiers étages étant destinés à pré-refroidir l'effluent et à éliminer l'eau et les COV les moins volatils, le dernier étage à condenser les COV les plus volatils.

2. Les différentes sources de froid

Selon les domaines de température à atteindre, les différentes sources de froid utilisées peuvent être :

- l'eau ou l'air à des températures opératoires de 10 à 20° C, lorsque l'effluent à traiter présente une température élevée (pré-refroidissement),
- l'eau saline ou autre fluide peu frigopporteur. Dans ce cas, la condensation peut être précédée d'une compression à un ou plusieurs étages, qui permet de réduire de manière assez conséquente le niveau de température à atteindre,
- la réfrigération mécanique qui permet l'obtention de températures comprises entre 0 à - 30 C,
- les fluides cryogéniques, essentiellement l'azote liquide mais également le dioxyde de carbone liquide, qui permettent d'atteindre des températures jusqu'à -140°C.

3. Quelles sont les différentes configurations ?

On distingue 3 grandes familles de techniques :

3.1. Condensation à contact direct avec le fluide de refroidissement

Le fluide de refroidissement est mis en contact directement avec l'effluent gazeux ; soit sous forme finement pulvérisé ; soit dans un contacteur gaz-liquide à garnissage ou à plateaux. Le fluide de refroidissement mis en œuvre est souvent le condensat du mélange à traiter, ou le d'azote liquide.

Ce procédé met ainsi en œuvre simultanément la condensation et l'absorption. Le dimensionnement de l'appareillage et la définition des conditions opératoires devront donc prendre en compte à la fois les conditions de transfert thermique entre les fluides et les conditions d'équilibre d'absorption et de transfert de masse.

Les COV sont condensés sous forme de gouttelettes ou de particules solides. Le principal avantage de cette condensation directe est de limiter les risques de bouchage dû au givrage, du fait que les particules solides sont en suspension dans la phase liquide et peuvent être éliminées.

3.2. Condensation à contact indirect avec le fluide de refroidissement

L'échange de chaleur entre le fluide réfrigérant et l'effluent s'effectue à travers une surface, sans contact direct. Les types d'échangeurs utilisés sont très variés : à plaques, tubulaires ou à spirale. Le choix est notamment fonction du débit à traiter et des risques de cristallisation. Les équipements les plus répandus sont les échangeurs multitubulaires où la condensation s'effectue par film sur la surface externe des tubes.

A priori, le fonctionnement le plus favorable correspond à :

- une circulation du fluide froid à contre-courant de l'effluent,
- un écoulement par gravité du condensat. De nombreux modèles permettent de calculer les caractéristiques de l'échangeur le mieux adapté au problème à traiter.

Quand la température à atteindre dans le condensateur est supérieure au point triple du COV, il est préférable d'utiliser la puissance frigorifique du fluide de refroidissement de façon directe, en mettant en œuvre un fluide caloporteur intermédiaire.

3.3. Condensation à contact indirect avec fluide caloporteur intermédiaire

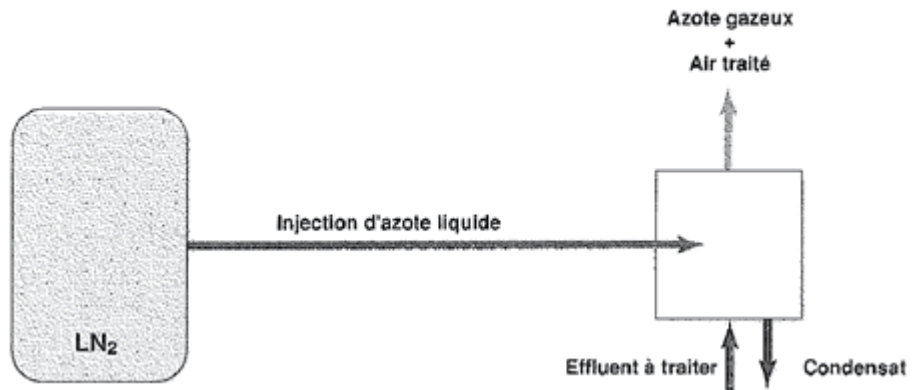
Le fluide caloporteur est refroidi dans un échangeur vaporisant l'azote liquide, puis transféré vers le condenseur de COV par une pompe de circulation.

L'adjonction de ce fluide caloporteur intermédiaire entre le circuit d'azote liquide et l'effluent à traiter permet d'assurer une température plus uniforme à l'intérieur du condenseur.

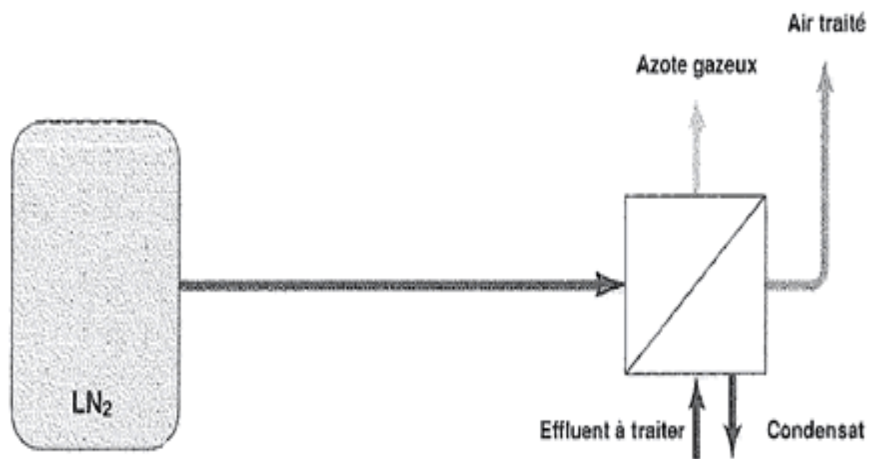
La température opératoire peut être mieux définie et régulée, indépendamment de la charge de l'appareil et évite la formation de givre en cas de variation de débit ou de composition de l'effluent à traiter. On évite ainsi de dimensionner l'appareil sur le débit de pointe d'émission.

Ce procédé est adapté à une gamme étendue de puissances frigorifiques (5 à 200 kW).

Utilisation directe



Utilisation indirecte



Utilisation indirecte avec fluide caloporteur

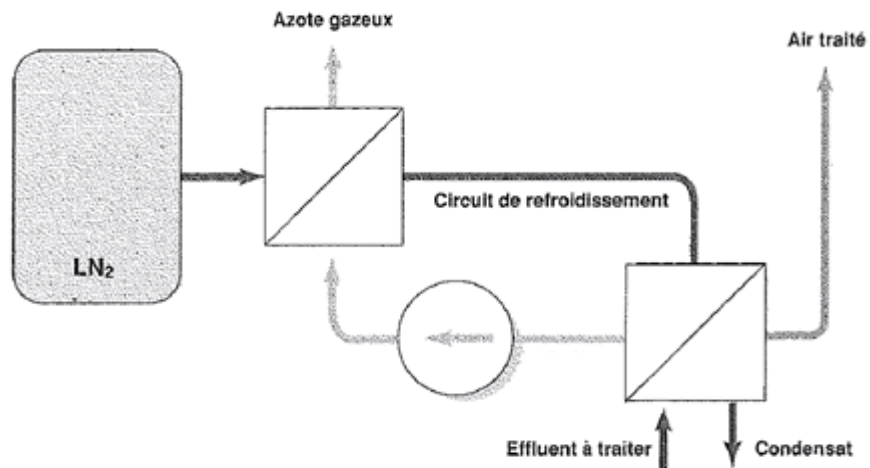


Figure 2 : Condensation cryogénique, rappel des différentes possibilités de mise en œuvre de l'azote liquide

4. Quelles sont les conditions opératoires et les performances ?

4.1. Performances

Le taux de récupération des solvants par condensation classique (froid mécanique) ne dépasse habituellement pas 80 à 90 %, mais peut être supérieur à 99 % dans le cas de la condensation cryogénique.

Un traitement final par adsorption peut être mis en place pour permettre de satisfaire les valeurs limites de rejet réglementaires.

L'entraînement de gouttelettes peut également nuire aux performances du système, la mise en place d'un dévésiculateur en aval du condenseur permet d'y remédier.

4.2. Limites d'utilisation, domaines d'application, coûts

4.2.1. Débits

Le procédé est applicable en principe quel que soit le débit. Les limites sont essentiellement de nature technologique (puissance de machines frigorifiques) et surtout économique (coût énergétique directement proportionnel au débit à traiter). En pratique, le procédé s'applique à des débits inférieurs à 2000 Nm³/h.

4.2.2. Concentration

La concentration en COV doit être supérieure à 10 g/m³, ou à 0,5 à 10 % en volume.

Sauf pour les systèmes à contact indirect avec fluide caloporteur intermédiaire, les fluctuations de débit et de concentration en sortie du procédé peuvent diminuer l'efficacité du traitement. Il est possible de réinjecter en amont de l'air épuré ou du gaz vecteur afin de stabiliser les flux de COV entrant dans les étages à basse température. Pour écrêter les pointes de concentration, une unité d'adsorption peut être placée en amont. La concentration en COV du gaz désorbé sera constante et plus élevée, ce qui est favorable à la condensation.

4.2.3. Composition de l'effluent

Ce procédé peut être appliqué à l'ensemble des composés organiques. Les particules ou aérosols peuvent se déposer sur les surfaces d'échange de l'étage de condensation et limiter ainsi les transferts thermiques. Les prétraitements adaptés (filtres, dévésiculateurs...) devront être mis en œuvre.

Enfin, la présence de vapeur d'eau constitue une contrainte importante pour la mise en œuvre du procédé pour de multiples raisons :

- givrage à la surface du condenseur entraînant une baisse de l'efficacité d'échange thermique et un risque de colmatage. Ce problème peut être résolu grâce :
 - à l'utilisation de deux condensateurs en parallèle fonctionnant alternativement en condensation et en dégivrage,
 - au surdimensionnement du condenseur.
- formation de produits corrosifs par hydrolyse de certains composés organiques volatils (par exemple les solvants chlorés), qui nécessitent la mise en œuvre de matériaux appropriés.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr