

Absorption

1. PRINCIPE

L'absorption correspond au lavage du gaz par une solution liquide, souvent aqueuse. Cette opération permet de transférer les polluants de la phase gaz vers la phase liquide.

L'absorption repose sur l'équilibre physique qui existe lorsqu'on met en contact une phase gazeuse contenant une substance donnée et une phase liquide dans laquelle cette substance est soluble.

Le choix du liquide de lavage conditionnera la quantité de matière transférable de la phase gazeuse vers la phase liquide. En effet, si le composé à transférer ne subit aucune modification, le processus est une simple absorption physique basée sur la solubilité du composé dans la phase liquide. Toutefois, l'équilibre pourra être totalement déplacé si l'on ajoute au liquide considéré des réactifs chimiques qui fixent ou détruisent le polluant.

Le transfert des polluants sera lié à la fois aux mécanismes diffusionnels et aux mécanismes réactionnels. Pour la cinétique du transfert, c'est le mécanisme le plus lent (ici le mécanisme diffusionnel) qui est déterminant.

Afin d'accroître le rendement de l'opération, il sera possible d'agir sur les paramètres qui régissent la diffusion comme la température, la surface de contact gaz/liquide ou le temps de contact. Dans le cas d'un lavage avec réaction chimique, plus la réaction chimique sera rapide, plus le transfert sera accéléré.

1.1 La température

La solubilité augmente quand la température diminue. Il y aura donc tout intérêt à travailler à température aussi basse que possible. Il faut, de plus, tenir compte du fait que l'absorption est un phénomène exothermique et que la chaleur produite devra être dissipée.

1.2 La surface de contact

En augmentant la surface de contact entre le gaz et le liquide, on augmente les possibilités d'échange entre les deux phases. Pour un contacteur gaz/liquide, il sera donc important d'avoir une grande aire interfaciale (ou aire spécifique).

1.3 Le temps de contact

Le temps de contact doit être suffisant pour permettre le transfert du polluant de la phase gaz vers la phase liquide. Il est directement fonction du rendement d'épuration recherché et il conditionne en partie le dimensionnement de l'absorbeur.

1.4 La réaction chimique

L'adjonction d'un réactif dans la solution de lavage a un double objectif :

- éliminer le polluant de la phase liquide et donc augmenter le transfert vers cette phase,
- régénérer en continu la solution de lavage.

2. LIQUIDES DE LAVAGE

Le principal critère de choix est la solubilité des polluants dans le liquide. L'eau est le liquide de lavage le plus couramment utilisé. Cependant, pour les produits peu ou non solubles dans l'eau, le lavage à l'aide d'huiles organiques a été développé. Lorsqu'on doit traiter un mélange de composés organiques volatils (COV), le choix du liquide sera fait en fonction de l'objectif recherché : niveau de rendement global, rendement élevé sur une espèce particulière, piégeage sélectif d'un composé...

2.1 Caractéristiques du liquide de lavage

Le liquide d'absorption doit répondre à un certain nombre de caractéristiques. Il doit avoir une faible pression de vapeur à la température de travail pour limiter les pertes par évaporation. Il aura également une viscosité la plus faible possible et sera de préférence non toxique, ininflammable et de faible coût. Il devra enfin posséder un pouvoir mouillant élevé pour bien se disperser sur les garnissages des colonnes de lavage.

Propriétés du liquide de lavage	Faible	Fort
Solubilité du polluant		
Volatilité		
Inertie (matériaux)		
Viscosité		
Toxicité		
Inflammabilité		
Stabilité chimique		
Coût		

► Principaux liquides de lavage

Aqueux

- eau
- + acides (H_2SO_4 , HCl)
- + bases (NaOH, KOH)
- + cosolvant (glycols...)
- + réactifs oxydants (péroxyde d'hydrogène, acide hypochloreux...)
- + réactifs réducteurs (bisulfite de sodium...)

Organiques

- hydrocarbures saturés
- dérivés de l'éthylène glycol
- éthanolamines
- huiles de silicone

2.2 Régénération du liquide

Lorsqu'on utilise une huile organique, ce liquide est généralement assez coûteux et il est alors nécessaire de le déconcentrer en continu pour pouvoir le réinjecter dans le process. Pour l'eau, les contraintes environnementales imposent également de diminuer la consommation et les rejets et il est donc nécessaire de procéder à un recyclage du liquide utilisé. La facilité de déconcentration et de recyclage du liquide devient alors un paramètre important du bilan économique de l'opération. Cette déconcentration s'effectue, selon les cas, par distillation, strippage¹, extraction liquide/liquide ou liquide/solide. Le choix d'une technique nécessite une étude de génie chimique complète.

1. *Strippage* : cette opération est réalisée dans une colonne et consiste à inverser les conditions de l'absorption afin de désorber le gaz dissous dans le liquide par transfert de ce gaz dans un autre gaz moins soluble dans ce liquide.

3. INSTALLATIONS

L'application du principe d'absorption repose sur la mise en contact de la phase gazeuse et de la phase liquide dans un « contacteur gaz-liquide ». Cette mise en contact sera d'autant plus efficace que la surface d'échange sera importante.

Il existe plusieurs types de contacteurs gaz-liquide. Les absorbeurs les plus couramment utilisés sont les colonnes à garnissage, fonctionnant à contre-courant, les colonnes à plateaux, les colonnes à pulvérisation, les laveurs Venturi ou les mélangeurs statiques.

3.1 Colonne à garnissage

Le gaz et le liquide circulent en général à contre-courant. Le liquide s'écoule par gravité sur un garnissage en formant un film de grande surface. La taille et le matériau du garnissage sont très divers. Le débit de liquide doit être suffisant pour assurer le mouillage uniforme du garnissage, tout en évitant l'engorgement de la colonne (saturation en liquide).

► Garnissages classiques

Formes

Anneaux
de Rashig, Pall...
Selles
de Berl, Intalox
Tellerettes

Matériaux

Métal
Céramique
Polypropylène

3.2 Colonne à plateaux

Ce type d'absorbeur ne fonctionne qu'à contre-courant. À l'intérieur de la colonne, des plateaux percés d'orifices et placés en quinconce permettent le passage du gaz. Le liquide s'écoule par gravité sur ces plateaux en formant une couche liquide à travers laquelle les bulles de gaz se dispersent.

Ces colonnes trouvent leur application dans les domaines de débit de liquide où la colonne à garnissage ne peut pas être utilisée ou pour des diamètres de colonne (D_c) supérieurs à 1,5 m.

D'un coût plus élevé (sauf pour $D_c > 1,5$ m), cette colonne présente d'autres désavantages : formation de mousses, pertes de charge importantes, nécessité d'un grand volume de liquide...

3.3 Colonne à pulvérisation

Le liquide est ici pulvérisé, sous forme de gouttelettes, en tête d'une colonne vide dans laquelle circule à contre-courant le gaz à traiter. En fonction de leur taille, les gouttelettes vont soit descendre au pied de la colonne, soit être entraînées par le flux gazeux. Dans ce dernier cas, elles devront être récupérées par un dévésiculateur. Le système fonctionne donc en régime mixte contre-courant et co-courant.

Un compromis sera à rechercher car l'efficacité de ce type de contacteur est fonction de deux paramètres opératoires concurrents. Il faut en effet veiller à conserver une surface d'échange importante (gouttelettes les plus fines possible) tout en privilégiant le régime à contre-courant (gouttelettes descendantes), qui s'avère plus efficace si l'absorption est de nature physique.

Ce procédé est utilisé lorsque la résistance au transfert est entièrement dans le film gazeux (composés très solubles en phase liquide). L'intérêt de cette technique se situe au niveau des pertes de charge extrêmement faibles et des temps de résidence relativement longs (quelques secondes).

Une des limites du procédé est la tendance des gouttes à coalescer, ce qui réduit considérablement la surface d'échange.

3.4 Laveur Venturi

Pour le laveur de type Venturi classique, l'énergie est fournie au gaz qui pulvérise le liquide ajouté au col de l'appareil par une ou plusieurs buses. Dans le type éjecteur, l'énergie est fournie au liquide qui, en se pulvérisant, entraîne et lave le gaz à traiter.

Ce système permet d'obtenir une aire interfaciale importante, mais le temps de contact entre les phases est faible et le fonctionnement se fait à co-courant. De plus, l'énergie à fournir est importante et les pertes de charge sont élevées. Ce type d'appareil sera surtout utilisé pour le dépoussiérage ou lors d'opérations impliquant une réaction chimique rapide.

3.5 Mélangeurs statiques

Ce sont des contacteurs directement placés dans les canalisations. Ils permettent d'obtenir des aires d'échange très élevées en contrepartie de pertes de charge importantes.

Encore peu répandus lorsque la phase continue est un gaz, ils peuvent être utilisés pour une installation très compacte en présence d'une réaction chimique rapide.

3.6 Choix d'un contacteur

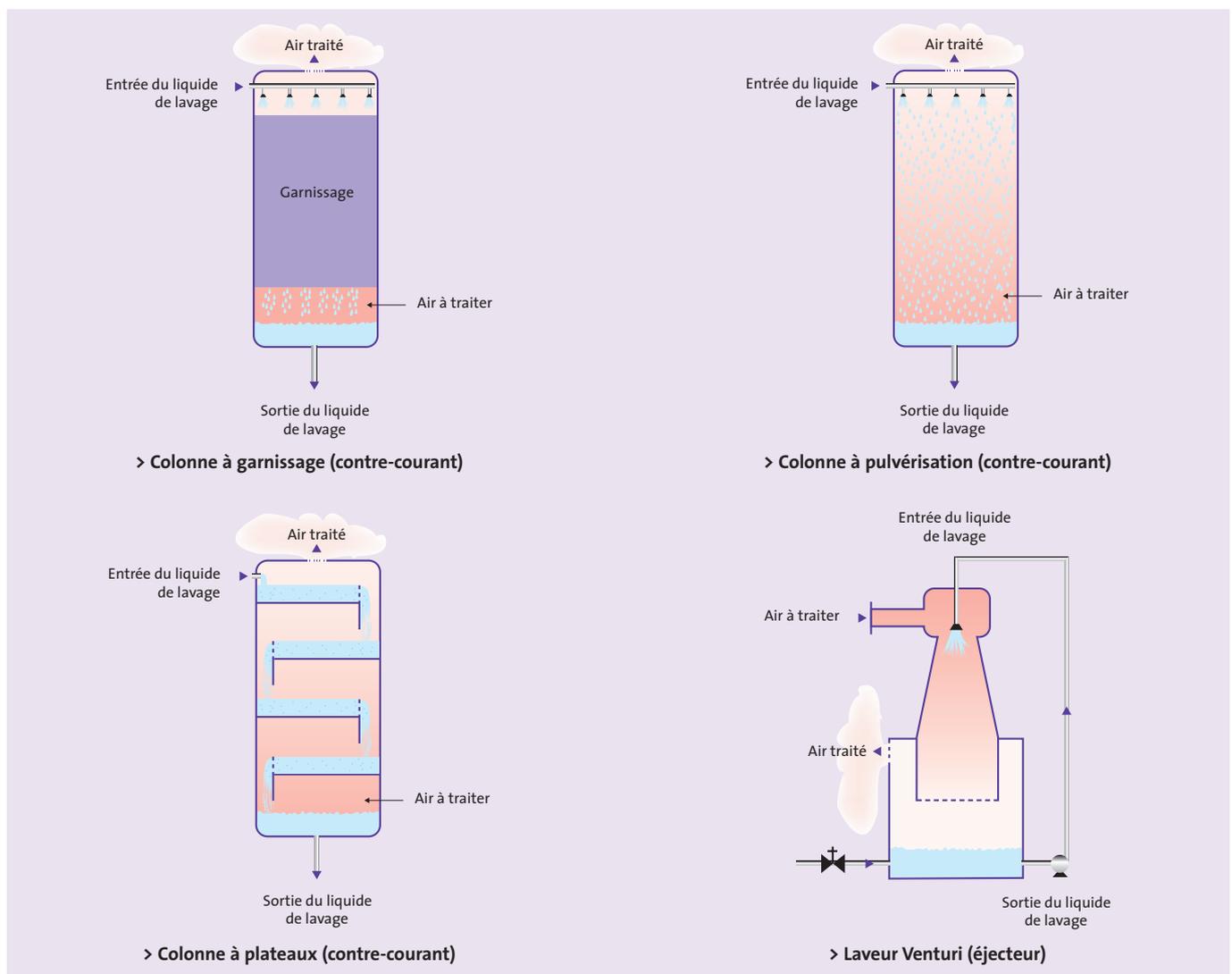
Le choix d'un type d'absorbeur dépend d'un grand nombre de critères et en particulier du régime d'absorption. Par exemple, les colonnes à pulvérisation et les laveurs Venturi ne seront utilisables que pour l'absorption avec réaction chimique très rapide. Pour l'absorption en régime physique, les colonnes à garnissage ou à plateaux seront plus adaptées.

4. APPLICATIONS

4.1 Avantages et inconvénients

L'absorption permet de répondre aux exigences réglementaires de rejet dans l'environnement. Elle peut, par ailleurs, permettre un traitement simultané des poussières et des polluants gazeux.

L'absorption physique (sans réaction chimique) est une technique non destructive. Elle permet, par la régénération du liquide, de recycler l'espèce polluante dans le procédé. Ceci représente à la fois un intérêt technique et économique.



Appareil	Usage	Pertes de charge et coûts énergétiques
Colonne à garnissage	<ul style="list-style-type: none"> • Appareillage le plus classique • Tous les usages 	Moyens
Colonne à plateaux	<ul style="list-style-type: none"> • Remplace la colonne garnie pour les diamètres élevés ou si le débit est trop faible pour mouiller le garnissage 	Moyens
Colonne à pulvérisation	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement des composés à très grande solubilité • Recommandé lorsqu'il y a une réaction chimique 	Faibles
Laveur Venturi	<ul style="list-style-type: none"> • Recommandé lorsqu'il y a une réaction chimique 	Élevés
Mélangeurs statiques	<ul style="list-style-type: none"> • Recommandé lorsqu'il y a une réaction chimique 	Élevés

Un des inconvénients de cette technique est la nécessité d'avoir des compétences particulières pour le fonctionnement et la maintenance de l'installation. De plus, le traitement de flux à haute température ne sera généralement pas possible, du fait du phénomène d'évaporation. Enfin, l'un des problèmes majeurs de ce procédé est qu'il repose sur un transfert de pollution de la phase gazeuse vers la phase liquide.

4.2 Domaine

D'un point de vue technique, les installations de lavage peuvent traiter des débits de 1 000 à 100 000 Nm³.h⁻¹ d'effluents, avec des concentrations de 2 à 50 g.Nm⁻³. Cependant, pour des raisons purement économiques, il est difficile de traiter les effluents faiblement pollués. De ce fait, la limite inférieure d'utilisation de ce procédé sera de l'ordre de 200 à 300 ppm.

4.3 Exemples

De nombreuses applications existent pour le traitement des odeurs (stations d'épuration, équarrissage...) et des solvants (pétrochimie, industrie des encres et peintures, industrie pharmaceutique...). Citons, par exemple, la récupération par lavage à l'huile du tétrahydrofurane dans le secteur de la fabrication de bandes magnétiques ou encore la récupération des BTX (Benzène Toluène Xylène) par absorption puis distillation dans les gaz de cokerie. Pour les stations d'épuration, le lavage acido-basique est couramment utilisé. Habituellement, deux ou trois laveurs sont utilisés en série. Le premier est un étage de traitement acide pour l'élimination des composés azotés, suivi d'un étage de traitement basique oxydant ou de traitement oxydant suivi d'un traitement basique pour les composés soufrés (SO₂, H₂S...).

5. RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

L'absorption est une technique bien connue. Si ses performances sont la plupart du temps satisfaisantes, la gestion de la récupération et du devenir des composés piégés et de la solution de lavage reste essentielle. Pour ces raisons, la recherche s'oriente vers le développement de procédés mixtes couplant deux ou plusieurs techniques afin de détruire ou de recycler le polluant.

Auteur : Stéphanie Marsteau, Département Ingénierie des Procédés
Mise en pages : Nicole Pellieux

5.1 Procédés mixtes

L'objectif est de développer des techniques qui permettent de conserver des performances de dépollution importantes tout en restant économiquement acceptables. Le couplage de l'absorption avec des procédés membranaires est en voie de développement. Cette technique permet à la fois de récupérer un polluant plus concentré, éventuellement valorisable, et de régénérer le liquide de lavage. Dans le cas de polluants non valorisables, la mise en œuvre de réactions catalysées au moment du lavage est une voie de recherche qui est également explorée.

5.2 Autres

Des travaux sont par ailleurs menés sur l'utilisation de mélangeurs statiques qui permettent d'obtenir des systèmes compacts avec une grande aire interfaciale gaz/liquide.

Des colonnes à gouttes transportées sont à l'étude. Ces contacteurs permettent d'effectuer le traitement simultané des gaz et des poussières et sont utilisés, par exemple, pour les fumées générées par combustion dans les unités d'incinération des ordures ménagères.

POUR EN SAVOIR PLUS

> Fournisseurs d'installations

BEFS PROKEM (Mulhouse)
Europe Environnement (Vieux-Thann)
KOCH GLITSCH (Arles)
KUHNI (Allschwil-Bale, Suisse)
MONSANTO Enviro-Chem Systems (Bruxelles)
SOCREMATI (Cergy-Pontoise)
SULZER Chemtec (Nanterre)

> Laboratoires de recherche

LSGC (ENSIC, Nancy), INSA (Lyon), INSA (Toulouse), ENSIACET (Toulouse)

BIBLIOGRAPHIE

- La réduction des émissions de composés organiques volatils dans l'industrie. Collection *Connaître pour agir*, ADEME, 1997.
- C. Roizard, G. Wild, J.-C. Charpentier – Absorption avec réaction chimique. *Les Techniques de l'ingénieur*, J 1079, 1997.
- P. A. Schweitzer – Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers. Section 3.2 et 3.3. Éditions McGraw Hill, 3^e édition, 1996.
- A. Laplanche – Les composés organiques volatils dans l'environnement. Chapitre 13. Éditions Lavoisier Tec & Doc, 1998.