



Étude de la désorption des solvants organiques volatils sur charbon actif

Study on desorption of volatile organic solvents on activated charcoal

Maître de Conférences Maria GHEORGHE*

Professeur Maria POPESCU*

Assistante Cristina BARBULEA*

RÉSUMÉ

Cette étude présente le procédé de désorption des solvants organiques volatils adsorbés sur trois types de charbons actifs hydrophobes roumains, ayant pour nom commercial R-CAFS, AD3 et SORBENT 1, en régimes statique et dynamique. La désorption a été réalisée à l'air chaud pour obtenir la régénération du charbon et la récupération des solvants organiques volatils. Les solvants organiques volatils étudiés sont utilisés pour la fabrication du diluant le plus employé pour la peinture des véhicules automobiles, dénommé D506. Les charbons actifs utilisés sont des adsorbants spécifiques des solvants organiques, qui ont été sélectionnés à partir d'une série de sept charbons actifs roumains en fonction de leur capacité maximale d'adsorption (CMA) par rapport aux composés organiques étudiés.

ABSTRACT

This study describes the process and the results obtained with desorption of organic solvents on activated charcoal, under static and dynamic conditions. For the purpose of static charcoal regenerating conditions, adsorption capacity under static conditions was determined by thermal analysis, and under dynamic conditions, by means of a specially designed laboratory device. In agreement with the data resulted from thermal analysis, different desorption efficiencies for the three charcoals were obtained.

1. Introduction

Le traitement de l'air pollué par des solvants organiques volatils émis dans l'atmosphère, dans les processus industriels de peinture, vernissage, dégraissage et nettoyage chimique à sec est réalisé par différents procédés.

L'adsorption sur le charbon actif présente l'avantage de permettre le traitement des atmosphères polluées par des solvants organiques volatils à faibles concentrations.

Une capacité d'absorption élevée est un critère essentiel d'efficacité des filtres utilisés pour purifier les atmosphères industrielles polluées par des solvants. Cette condition est nécessaire mais non suffisante car il est également important que dans une perspective de récupération de solvant, le rendement de désorption soit élevé et constant dans le temps. On peut effectuer ainsi un nombre

de cycles importants avec une bonne efficacité de récupération.

La régénération du charbon actif, qui permet la réutilisation immédiate du filtre, peut être réalisée par voies thermique, chimique et biologique. La régénération thermique, la plus utilisée, peut être effectuée par chauffage direct et par chauffage oxydant dans des fours à vapeur d'eau, ou à l'eau chaude, au gaz chaud (air ou gaz inerte) par infrarouge, par effet Joule direct, par induction électromagnétique [1,2].

La récupération des solvants peut être réalisée par l'extraction aux solvants, extraction au fluide supercritique, condensation, décantation, distillation, en fonction de la nature des solvants organiques volatils et du fluide de désorption.

Pour la réalisation de la condensation, le courant de gaz incondensable, chargé par des solvants organiques volatils, est mené à une pression et à une température où la pression partielle des composants dépasse leur pression de saturation.

La condensation peut être effectuée à température et pression ambiantes, ou à température et/ou pression élevées.

* Laboratoire de Chimie des Polluants, Faculté d'Installation, Université Technique de Construction de Bucarest, Bd Pache Protopopescu, N° 66, sector 2, 73 232, Roumanie.

Ce travail présente le procédé de désorption des solvants organiques volatils adsorbés par trois types de charbons actifs roumains, dénommés R-CAFS, AD3 et SORBENT 1, en régimes statique et dynamique. En régime statique, la désorption a été étudiée par l'analyse thermique des charbons actifs saturés. La désorption en régime dynamique a été analysée à l'aide d'une installation de laboratoire à air chaud et la récupération des solvants organiques volatils a été réalisée à température et pression atmosphérique réduites.

2. Matériel et méthodes

Les solvants organiques volatils étudiés sont utilisés pour la fabrication de D506, diluant le plus utilisé pour la peinture des véhicules automobiles.

La composition du diluant a été présentée dans une étude antérieure [3].

Les charbons actifs utilisés sont hydrophobes et ont été sélectionnés à partir d'une série de sept charbons actifs roumains en fonction de leur capacité maximale d'adsorption (CMA) par rapport aux composés organiques étudiés.

La caractérisation des charbons et la méthodologie de détermination de la capacité maximale d'adsorption ont été présentées antérieurement [2]. La désorption en régime statique a été étudiée par l'analyse thermique à l'aide d'un appareil d'analyse thermique système Paulik-Paulik-Erdey,

qui a permis de déterminer la température de désorption et, de même, l'estimation du nombre de cycles d'absorption-désorption où le charbon actif peut être utilisé. Les granules de charbon actif ont été saturés au solvant, jusqu'à masse constante en éliminant l'excès, par insufflation d'air à la température ambiante. Afin de réaliser à l'intérieur du four un bon contact entre les granules de charbon, saturés au solvant, et l'air chaud, des plaques en platine ont été utilisées.

Le programme de chauffage a été mené aux vitesses de 10 et 5 °C/min et aux sensibilités suivantes : TG 200-1 000 mg, DTA-1/10 et DTG-1/5.

La désorption en régime dynamique a été effectuée en entraînant les solvants organiques volatils à l'air chaud dans une installation de laboratoire. A l'aide de celle-ci on a déterminé le rendement de désorption en fonction du temps de désorption, de la température et de la vitesse de l'air chaud dans la couche d'adsorbant, en établissant ainsi les paramètres de régénération du charbon actif (Figure 1).

La désorption des composés organiques a été effectuée à la température de 20 °C et aux températures voisines des points d'ébullition des composés du diluant utilisé pour les résines alchido-mélaniniques.

L'installation de laboratoire permet l'étude de la récupération des solvants organiques volatils par condensation à une température dans l'intervalle de + 2 à + 5 °C et à la pression atmosphérique, dans un condenseur à serpentins.

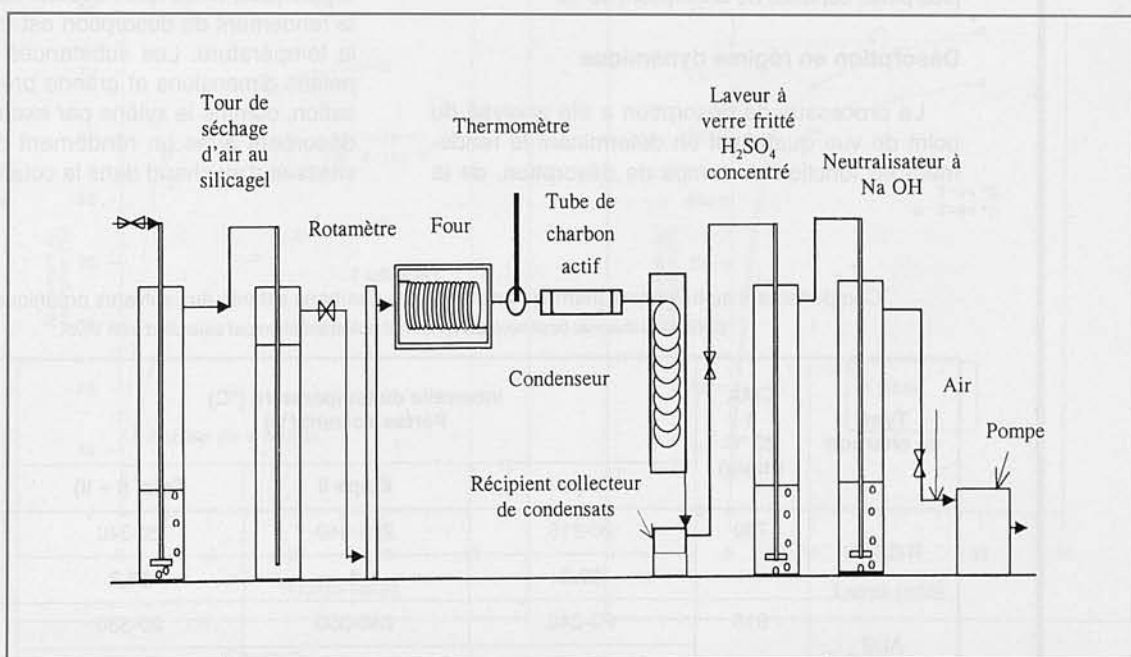


Figure 1.

Schéma de l'installation de laboratoire conçue pour la régénération du charbon actif et la récupération des solvants organiques volatils.

The laboratory device for the activated charcoal regeneration and VOS Recovery.

3. Résultats et discussion

Désorption en régime statique

La courbe d'analyse thermique pour le charbon actif R-CAFS, saturé au diluant étudié, est présentée dans la figure 2. On distingue trois intervalles principaux de perte de masse, tels que :

- 20-200 °C : désorption des composés organiques. Dans cet intervalle de température on individualise deux étapes de désorption, délimitées par la volatilité de deux groupes de composés, le groupe des alcools et des cétones, et celui des esters ;
- 200-350 °C : auto-allumage des solvants organiques volatils, marqué par le pic spécifique à l'exothermicité du processus sur la courbe DTA ;
- 350-500 °C : combustion du charbon et de la partie rémanente des solvants organiques volatils des pores de l'adsorbant.

Les résultats quantitatifs obtenus par l'analyse thermique sont présentés dans le tableau 1.

On observe des valeurs différentes de pertes de solvant tant dans l'intervalle 20-200 °C que dans celui où le solvant rémanent dans le charbon brûle en même temps que celui-ci.

On remarque le comportement différent de ces trois types de charbons sélectionnés dans les deux processus d'adsorption et de désorption. Le charbon actif SORBENT 1 a la plus grande capacité d'adsorption par rapport aux composés du diluant étudié, 740 mg diluant/g de charbon, mais en échange il a la plus petite capacité de désorption, 46 %.

Désorption en régime dynamique

Le processus de désorption a été analysé du point de vue quantitatif en déterminant le rendement en fonction du temps de désorption, de la

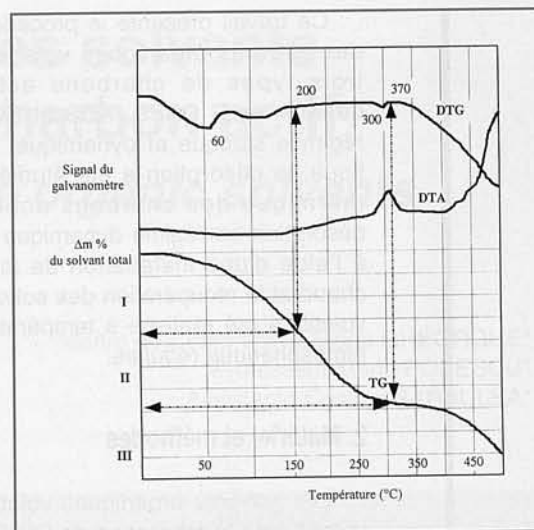


Figure 2.

Courbe d'analyse thermique de l'intervalle de température de 20 à 500 °C pour le charbon R-CAFS saturé au diluant D506. Thermal analysis curve of an activated charcoal type R-CAFS saturated by D506 diluant.

température et de la vitesse de l'air chaud dans la couche de charbon. Dans l'installation de laboratoire, les paramètres de la couche de charbon du tube en verre ont été maintenus constants (diamètre intérieur : 7 mm ; longueur : 12 cm).

Le tableau 2, page suivante, présente des données concernant la désorption des composés du diluant D506 dans l'installation conçue, sur le charbon AD3.

On observe que pour les grandes molécules organiques, telles que l'acétate de butyle (8,44 Å), le rendement de désorption est très influencé par la température. Les substances organiques aux petites dimensions et grande pression de vaporisation, comme le xylène par exemple (6,62 Å), se désorbent avec un rendement élevé aux fortes vitesses d'air chaud dans la couche de charbon.

Tableau 1.

Comportement au traitement thermique contrôlé des charbons saturés aux solvants organiques volatils. Controlled thermal treatment behaviour of activated charcoal saturated with VOS.

Type de charbon	CMA à 20 °C (mg/g)	Intervalle de température (°C) Pertes solvant (%)			Solvant désorbé à > 350 °C (%)
		Étape I	Étape II	Total (I + II)	
R-CAFS	730	20-215	215-340	20-340	6,8
		89,2	4	93,2	
AD3	610	20-240	240-350	20-350	7,9
		86,6	5,5	92,1	
SORBENT1	740	20-220	220-350	20-350	46,1
		42,6	11,3	53,9	

Tableau 2.
Corrélation du rendement de désorption avec la température.
Correlation between desorption efficiency and temperature.

Composant	Température, d'ébullition (°C)	Rendement de désorption (%) à différentes température (°C)			Observations
		20	90	120	
Xylène	110	69	77	—	Après 30 minutes
Acétate de n-butyle	116	47	—	71	Après 30 minutes

Les figures 3 et 4 présentent les variations du rendement de désorption respectivement de l'acétate de butyle et du xylène, sur charbon AD3 en fonction de la température et de la vitesse d'air chaud.

La variation du rendement de désorption avec la température et la vitesse de l'air chaud diffère pour les substances organiques étudiées ; cette variation est fonction de la dimension et de la polarité des molécules, ainsi que de la dimension et de la forme des pores de l'adsorbant.

Le rendement maximal de désorption du solvant D506 du charbon actif, à une vitesse de l'air $v = 0,96$ m/s, varie dans des limites étroites, c'est-à-dire $\eta = 62-68$ %, à des températures de l'air, 120 °C ; puis le rendement augmente vers $\eta = 82$ %, à $T = 140$ °C (Figure 5).

4. Conclusion

Cette étude a suivi le comportement à la désorption de certains charbons actifs, de fabrication roumaine, sélectionnés lors d'une étude antérieure en fonction de leur capacité maximale d'adsorption (CMA).

La désorption a été étudiée dans des conditions statiques, par l'analyse thermique des charbons saturés avec le diluant concerné. Des valeurs différentes de pertes de solvant ont été observées dans l'intervalle 20-200 °C, et la présence de solvant rémanent dans le charbon a été notée, brûlant avec celui-ci à température élevée.

Les trois types de charbons actifs ont eu un comportement différent dans les deux processus, d'adsorption et de désorption. Le charbon actif

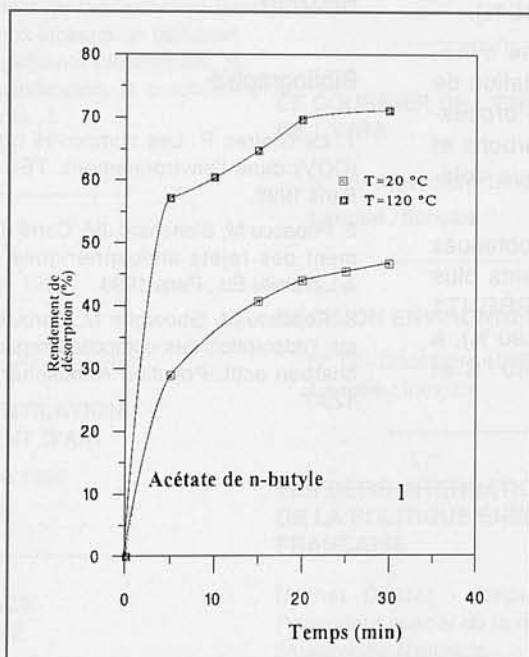


Figure 3.
Variation du rendement de désorption de l'acétate de butyle en fonction du temps pour deux niveaux de température d'air chaud.
Variation in butyl acetate desorption efficiency versus air temperature at constant air velocity.

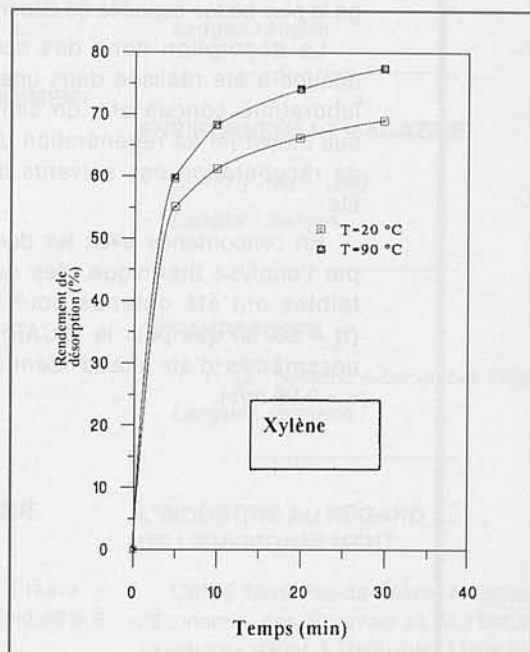


Figure 4.
Variation du rendement de désorption du xylène en fonction du temps pour deux niveaux de température d'air chaud.
Variation of xylene desorption versus air temperature at constant air velocity.

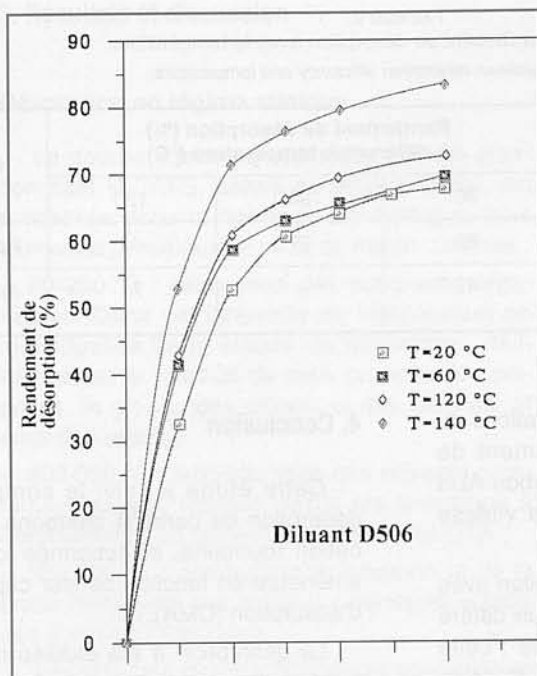


Figure 5.
Variation du rendement de désorption du diluant D506
sur charbon SORBENT1 en fonction du temps
à différents niveaux de température d'air chaud.
*Desorption efficiency variation of D506 diluant
on charcoal SORBENT1 versus hot air temperature.*

SORBENT 1, qui a la plus grande capacité d'adsorption par rapport aux composants du diluant étudié (740 mg diluant/g de charbon), a en échange la plus basse capacité de désorption (46 %).

La désorption dans des conditions dynamiques a été réalisée dans une installation de laboratoire conçue afin de simuler le processus industriel de régénération des charbons et de récupération des solvants organique volatils.

En concordance avec les données obtenues par l'analyse thermique, des rendements plus faibles ont été obtenus pour le SORBENT1 ($\eta = 80\%$) que pour le R-CAFS ($\eta = 90\%$), à paramètres d'air chaud identiques (40 °C et $v = 0,96\text{ m/s}$).

Les différences entre les deux méthodes d'analyse du processus de désorption, dans des conditions statiques et dynamiques, révèlent le rôle fondamental de la vitesse de l'air à côté de sa température.

La variation du rendement de désorption en fonction de la température et de la vitesse de l'air chaud diffère selon les solvants organiques étudiés ; elle est influencée autant par la dimension et la polarité des molécules de solvants organiques que par la dimension et la forme des pores de l'adsorbant.

Applications pratiques

À l'aide des données obtenues on a conçu un projet d'installation pilote qui réalise la dépollution des halls de peinture des ateliers d'automobiles, avec récupération des solvants organiques volatils et régénération du charbon.

Mots clés

Charbon actif. Solvants organiques volatils. Désorption. Conditions dynamiques. Régénération. Récupération.

Keywords

Activated charcoal. Volatile organic solvent. Desorption. Dynamic conditions. Regeneration. Recovery.

Bibliographie

1. Le Cloirec P. Les composés organiques volatils (COV) dans l'environnement. TEC & Lavoisier Éd., Paris 1998.
2. Popescu M, Blanchard JM, Carré J. Analyse et traitement des rejets atmosphériques industriels. TEC & Lavoisier Éd., Paris 1998.
3. Popescu M, Gheorghe M, Barbulea C. Recherches sur l'adsorption des composés organiques volatils sur charbon actif. Pollution Atmosphérique 1999 ; 161 : 123-7.