# Modélisation de la désorption *in situ* par effet joule de COV sur tissu de charbon actif

## *Modelisation of the desorption* in situ *by joule effect of VOC on activated carbon fibers*

M. LE BOT (*), A. BOUZAZA (**), G. MARTIN(**)

**RÉSUMÉ**

**La réduction des composés organiques volatils par adsorption sur charbon actif est largement utilisée. Pour la viabilité du procédé, la régénération de l'adsorbant est nécessaire. L'utilisation de l'effet Joule permet une bonne régénération du support. La concentration émise pendant la phase de désorption dépend de la température atteinte par le support et du taux de gaz en mouvement. Utilisant un simple modèle d'équilibre, nous corrélons le taux de désorption avec les paramètres de désorption (température et taux de flux de gaz). Le modèle est basé sur la présomption que les phases d'adsorption et de désorption soient considérées en équilibre chimique. Les constantes cinétiques sont relatives à la température et au taux de gaz circulant. Les expériences confirment la prévision d'un modèle de désorption.**

***ABSTRACT***

*The reduction of the volatile organic compounds (VOC's) by adsorption onto activated carbon is largely used. For the viability of the process, the regeneration of the adsorbate is necessary. The use of the Joule effect allows a good regeneration of the support. The outlet concentration during the desorption phase depends on the temperature reached by the support and on the flow rate of the carrier gas. Using a simple equilibrium model, we correlate the desorption rate with the desorption parameters (temperature and gas flow rate). The model is based on the assumption that the adsorbed and desorbed phases are considered as a chemical equilibrium. The kinetic constants are related to the temperature and carrier gas flow rate. The experiments confirm the prediction of the desorption model.*

### Introduction

L'augmentation sans cesse croissante des rejets gazeux liés aux activités humaines induit des déséquilibres écologiques de l'atmosphère. Les manifestations les plus médiatisées qui en résultent sont les pluies acides, l'effet de serre, et le trou dans la couche d'ozone. On peut citer aussi la formation de l'ozone troposphérique qui peut constituer une menace pour le monde vivant (1). Cet ozone troposphérique est formé via des mécanismes complexes, à partir de deux précurseurs majeurs : les oxydes d'azote et les COV (2).

Face à la menace de ces déséquilibres, une conscience écologique s'est développée, appuyée par la volonté des pouvoirs publics de limiter les rejets.

Deux voies principales existent pour réduire les émissions de COV dans l'atmosphère : les détruire ou les récupérer. Dans les deux cas, les procédés de réduction seront d'autant plus efficaces que le gaz à traiter sera concentré.

C'est dans cette optique de concentration que s'inscrit ce travail. Un procédé d'épuration de gaz chargés en COV basé sur l'adsorption sur tissu de charbon actif, avec régénération des toiles par effet Joule a été développé (3). Ces nouveaux matériaux adsorbants peuvent s'avérer très efficace aussi bien dans le traitement de l'eau que de l'air (4, 5 et 6). Par exemple, leurs propriétés intrinsèques, en l'occurrence leur conductibilité, peuvent être utilisées pour les régénérer. En effet, leur simple mise sous tension génère un courant électrique qui, par effet Joule, augmente la température au sein du réacteur. La société SOCREMATIC détient la licence exclusive de ce procédé breveté (7, 8).

L'énergie électrique apportée au sein du réacteur rompt les interactions tissu-composé créées lors de l'adsorption, et favorise donc la désorption. En jouant sur la température et le rapport

(*) *Société ACTITEX, 16,rue Trezel, 92300 Levallois.*
(**) *Laboratoire CNGE, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, Avenue du Général Leclerc, 35700 Rennes-Beaulieu.*

des débits d'adsorption et de désorption, il est possible d'obtenir un gaz plus ou moins concentré en sortie de réacteur (3).

La faisabilité d'un tel procédé ayant été prouvée (9, 10, 11 et 12), nous nous sommes plus particulièrement intéressé à l'influence des températures et débits de désorption sur les profils et taux de désorptions.

Un modèle reliant le taux de régénération en fonction du temps aux paramètres de la désorption (Température, Vitesse) est proposé. L'objectif est de prévoir les conditions de mise en oeuvre d'un banc fonctionnant en régénération.

## Matériel et méthodes

### Le matériau

L'exemple de matériau objet de cette présentation est le tissu Picatis 900 dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 1.

### Le solvant

Divers solvants ont été testés (3). L'étude présentée concerne le styrène. Le produit liquide est pur à 99 %, et est fourni par la société Prolabo. Il est stabilisé par 0,001 % de tert-butyl-4 pyrocatéchol. Toutefois, dans la phase gazeuse, seul le styrène est présent.

### Le banc d'essais

Le montage de l'unité pilote (fig. 1) permet plusieurs phases de manipulations :

- Réglage de la concentration d'entrée lors de l'adsorption (Mise hors circuit du pilote)
- Adsorption.
- Désorption en circuit ouvert ou fermé.

Le tableau 2 donne la position des vannes lors des différentes phases de manipulation.

Tableau 1.
Caractéristiques des tissus testés.
*Activated Carbon Fibers Characteristics*

| Nom | Aspect | Origine | Epaisseur (mm) | Grammage ($g.m^{-2}$) | Répartition poreuse (% vol) | | Aire massique ($m^2.g^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | micro | méso | |
| PICATIS 900 | fibres tissées | polyacrylo-nitrile | 0,5-0,6 | 168 | 93 | 7 | 1 330 |

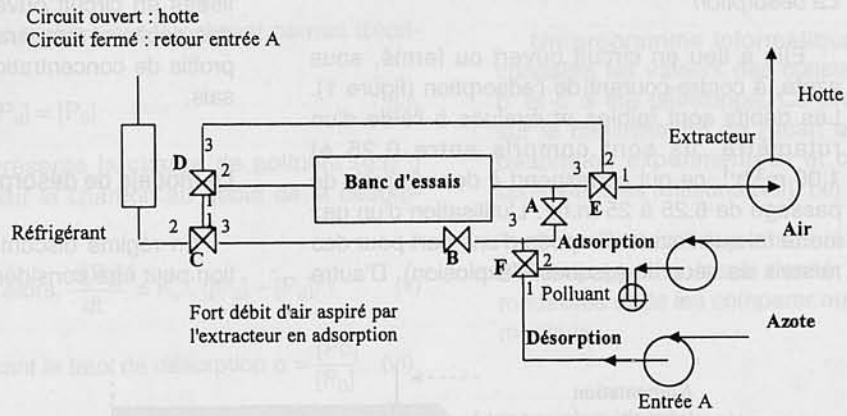


Figure 1.
Montage du banc d'essais.
*Experimental Set-up*

Tableau 2.
Positions des vannes lors des différentes phases.
*Gauges position during different manipulation steps*

| Vanne / Phase | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Réglage de la concentration d'entrée en adsorption | Fermée | Ouverte | Position 1-3 | Position 1-3 | Position 1-2 | Position 1-2 |
| Adsorption | Fermée | Ouverte | Position 1-3 | Position 1-2 | Position 1-3 | Position 2-3 |
| Désorption | Ouverte | Fermée | Position 1-2 | Position 1-2 | Position 1-2 | Position 1-3 |

*Mise en œuvre des tissus à l'intérieur du banc d'essais*

Le tissu de charbon actif est plié en accordéon sur un support. Le support de nom commercial « Abestolyte » est un matériau thermiquement stable et électriquement isolant. L'ensemble support-tissu de charbon actif est placé dans un réacteur en acier inoxydable. Cet ensemble est séparé des parois du réacteur par une couche d'isolant thermique et électrique. Le pilote est représenté à la figure 2. La surface totale des toiles est de 1 $m^2$ (24 épaisseurs séparées de 0,02 m). Ce qui représente une masse d'environ 200 grammes de charbon actif. La section du pilote est de 0,04$m^2$ (0,2 m × 0,2 m).

*L'adsorption*

Les forts débits sont obtenus à l'aide d'un ventilateur qui fonctionne en aspiration. Ils sont évalués à l'aide d'un vélomètre. Lors des essais, pour des raisons de commodité, le débit d'adsorption est fixé à 20 $m^3.h^{-1}$ ce qui correspond à une vitesse de 500 $m.h^{-1}$. Cette vitesse relativement faible comparée à celles utilisées sur site, n'influe pas sur le modèle de désorption. Le paramètre important étant la capacité à partir de laquelle on commence la régénération.

*La désorption*

Elle a lieu en circuit ouvert ou fermé, sous azote, à contre-courant de l'adsorption (figure 1). Les débits sont faibles et évalués à l'aide d'un rotamètre. Ils sont compris entre 0,25 et 1,00 $m^3.h^{-1}$, ce qui correspond à des vitesses de passage de 6,25 à 25 $m.h^{-1}$. L'utilisation d'un gaz inerte tel que l'azote s'impose d'une part pour des raisons de sécurité (risques d'explosion). D'autre part, en présence d'azote la désorption n'entraîne pas une dégradation des molécules récupérées.

*L'échauffement*

L'échauffement du tissu est réalisé, par effet Joule, par sa mise sous tension. La température est contrôlée en différents points de la toile par des thermocouples de type K. La régulation de la puissance appliquée au système est effectuée à l'aide d'une tension variable et d'un contrôleur de puissance asservi à la température sur le tissu. Pour des raisons de commodité (tension et intensité usuelles), les toiles sont divisées en 4 groupes montés en parallèle.

**La méthode d'analyse**

Les concentrations en styrène sont déterminées par chromatographie en phase gazeuse. La colonne utilisée est un film capillaire (RSL 300). La colonne a une longueur de 30 mètres, et un diamètre interne de 0,32 millimètre.

La détection se fait par ionisation de flamme (FID) dans les conditions opératoires suivantes :

– gaz vecteur : Azote (2 bars)

– températures : four : 70 °C; injecteur : 150 °C; détecteur : 150 °C.

Au cours des essais, les désorptions sont réalisées en circuit ouvert afin d'étudier l'influence des débits et températures de désorption sur les profils de concentration à la sortie du banc d'essais.

## Le modèle de désorption

En régime discontinu, le processus d'adsorption peut être considéré comme un équilibre entre

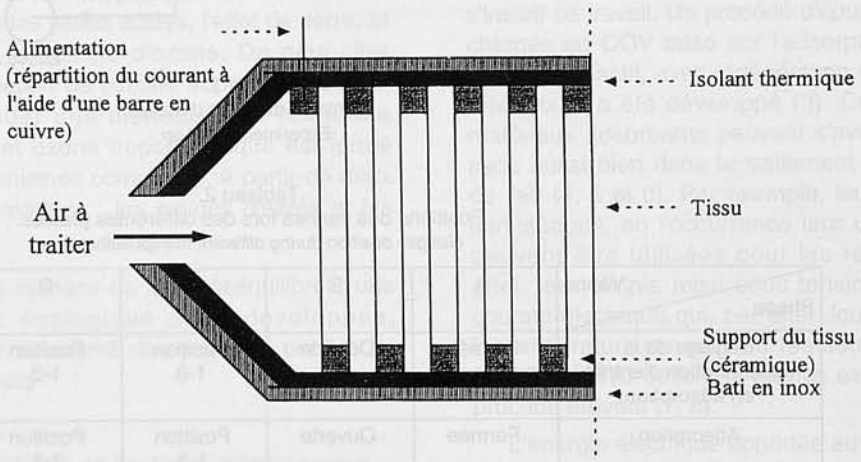


Figure 2.
Schéma du banc d'essais.
*Experimental Set-up*

les phases adsorbée et désorbée et régie par l'équation :

$$P_a \rightleftharpoons P_d + \Gamma \qquad \text{(i)}$$

Dans cet équilibre $P_a$, $P_d$ et $\Gamma$ symbolisent respectivement le polluant à l'état adsorbé et désorbé et les sites d'adsorption.

Le modèle présenté est basé sur les équations de BOHARTS-ADAMS (13) et de THOMAS (14). Il suppose une adsorption monocouche et correspond à un équilibre thermodynamique d'adsorption-désorption.

A partir de l'équation (i), la vitesse d'apparition de $P_d$ s'écrit :

$$\frac{d[P_d]}{dt} = K_v \cdot [P_a]^{n_r} - K_v \cdot [P_d]^{n_r} \cdot [\Gamma] \qquad \text{(ii)}$$

Les constantes $K_v$, $K_{v'}$, $n_r$ et $n_{r'}$ sont respectivement les constantes de vitesse et les ordres des réactions de désorption et d'adsorption .

$[P_a]$ et $[P_d]$ représentent respectivement les masses de polluant adsorbé et désorbé ramenées à celle de charbon ($g.g^{-1}$).

Aux températures élevées, l'adsorption est négligeable devant la désorption, d'où

$$\frac{d[P_d]}{dt} = K_v \cdot [P_a]^{n_r} \qquad \text{(iii)}$$

Un bilan matière sur le polluant permet d'écrire :

$$[P_a] + [P_d] = [P_0] \qquad \text{(iv)}$$

où $P_0$ représente la charge de polluant ($g.g^{-1}$) présente sur le charbon au début de la désorption.

Il vient alors, $\frac{d[P_d]}{dt} = K_v \cdot ([P_0] - [P_d])^{n_r}$ (v)

En posant le taux de désorption $\alpha = \frac{[Pd]}{[P_0]}$ (vi)

La relation (v) se transforme en :

$$\frac{d\alpha}{dt} = K_v.(1 - \alpha)^{n_r} \qquad \text{(vii)}$$

La résolution de cette équation différentielle donne :

$$\alpha\,(t) = 1 - [K_v.t.(n_r-1) + 1]^{1/(1-n_r)} \text{ avec } n_r \neq 1 \qquad \text{(viii)}$$

Dans le cas plus général, où la désorption a lieu en régime continu, le balayage du réacteur par le gaz vecteur déplace continuellement l'équilibre de désorption-adsorption dans le sens de la désorption. Ceci conforte l'hypothèse faite lors de l'établissement de l'équation (iii), où l'adsorption était négligée aux températures élevées.

Dans ce cas, on peut écrire :

$$\frac{d\alpha}{dt} = K_v(u).[(1 - \alpha)^{n_r(u)}] \qquad \text{(ix)}$$

Cette démarche est différente de celle adoptée par BAUDU (15) qui a étudié les cinétiques de désorption en régime de convection libre. Il considérait le débit de désorption suffisamment faible pour qu'il n'intervienne pas sur la cinétique de désorption.

Dans notre cas, dans la gamme de débit et de température étudiée, une équation sous la forme :

$$\frac{d\alpha}{dt} = K_{vapp}.(1 - \alpha)^{n_{rapp}} \text{ a été retenue} \qquad \text{(X)}$$

avec $K_{vapp}$ et $n_{rapp}$ des paramètres apparents dépendants de la vitesse.

Pour tenir compte de l'effet de la vitesse du gaz vecteur, on utilise des lois semi-empiriques du type :

$$n_{rapp} = n_{r0} + a'.u \qquad \text{(xi)}$$

$$K_{vapp} = K_{vo}\, e^{-b'/T} + c'.u \qquad \text{(xii)}$$

$K_{vapp}$ étant une constante cinétique, pour tenir compte de l'effet de la température, une relation de type Arrhenius est proposée.

$n_{r0}$ et $K_{v0}$ sont respectivement l'ordre de la réaction et la constante de vitesse de désorption à débit nul. a', b' et c' sont des constantes.

Un programme informatique permettant de connaître les valeurs des constantes a', $n_{r0}$, $K_{v0}$, b' et c' a été développé. Ce programme repose sur la minimisation de l'écart entre les taux de désorption expérimentaux et ceux obtenus en combinant les relations (viii), (xi) et (xii).

Connaissant ces constantes il est possible d'obtenir, pour un essai donné, les couples ($\alpha$;t) modélisés et de les comparer aux couples expérimentaux.

## Résultats et discussion

### Résultats

Une série de sept adsorption-désorption a été réalisée. Toutes les adsorptions se sont déroulées dans des conditions expérimentales identiques. Par contre, les désorptions ont été menées en faisant varier soit le débit soit la température.

Les tableaux 3 et 4 ainsi que les figures 3 et 4 résument les conditions expérimentales et les résultats obtenus lors de ces essais.

Tableau 3.
Conditions expérimentales des adsorptions.
*Experimental conditions of the adsorptions*

| Adsorption n° | Flux (g/h) | Conc. entrée ($mg.m^{-3}$) | Débit ($m^3.h^{-1}$) | Quantité absorbée (g) | % adsorption à 6 heures |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6,63 | 330 | 20,1 | 18,6 | 46,7 |
| 2 | 6,79 | 332 | 20,5 | 18,85 | 46,3 |
| 3 | 6,67 | 331 | 20,1 | 18,3 | 45,8 |
| 4 | 6,50 | 333 | 19,5 | 19,3 | 49,6 |
| 5 | 6,67 | 330 | 20,2 | 18,8 | 47,0 |
| 6 | 6,42 | 291 | 22,1 | 18,5 | 46,8 |
| 7 | 6,50 | 285 | 22,8 | 19,4 | 49,7 |

Tableau 4.
Conditions et résultats des désorptions.
*Results and Conditions of the desorptions*

| Désorption n° | Débit ($l/h^{-1}$) | Température (°C) | Quantité désorbée (g) | Conc. max. ($g.m^{-3}$) | % désorption à 3 heures |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 250 | 160 | 10,4 | 69,0 | 55,8 |
| 2 | 500 | 160 | 14,2 | 71,9 | 75,3 |
| 3 | 750 | 160 | 15,4 | 61,2 | 84,3 |
| 4 | 1 000 | 160 | 18,3 | 43,1 | 95,0 |
| 5 | 750 | 100 | 11,3 | 61,1 | 60,2 |
| 6 | 750 | 130 | 12,2 | 58,3 | 65,8 |
| 7 | 750 | 190 | 18,7 | 66,4 | 96,2 |

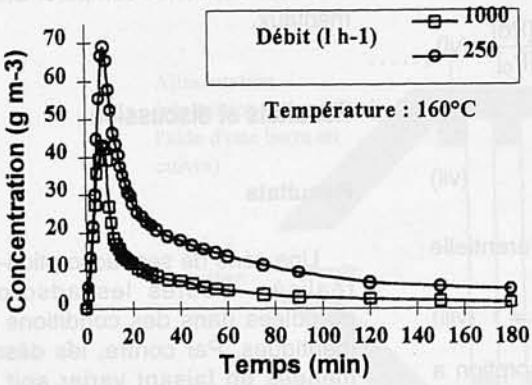


Figure 3.
Influence du débit de désorption (T=160°C).
*Effect of the desorption flow*

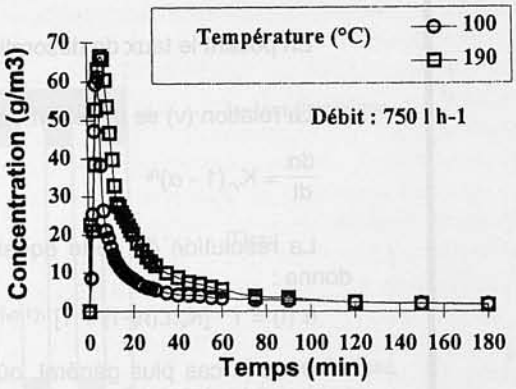


Figure 4.
Influence de la température de désorption.
*Effect of the desorption temperature*

N.B. : Pour des raisons de clarté, uniquement deux profils de concentration ont été représentés sur les figures 3 et 4.

Au vu de ces résultats, on peut en tirer certaines observations concernant les influences respectives du débit et de la température.

### Influence du débit

Le débit de désorption influe énormément sur la quantité de polluant désorbé à un temps donné (Figure 3 et 5). Plus il est élevé, plus cette quantité est grande. Cela prouve qu'à l'intérieur du réacteur, le régime est du type diffusion-convection forcée. Le gaz vecteur en extrayant les molécules désorbées, déplace l'équilibre d'adsorption-désorption dans le sens de la désorption et tend à augmenter la quantité de solvant désorbé.

Le débit de désorption influe aussi sur la concentration de traîne et sur la concentration maximale (Figure 3). Son augmentation provoque une dilution des flux de sortie. Toutefois, la baisse de la concentration maximale n'est observée que pour des débits supérieurs à 500 $l.h^{-1}$ (tableau 4).

Ainsi, un compromis doit être réalisé sur le débit de désorption. Il doit être suffisamment élevé pour obtenir une désorption rapide et la plus complète possible, mais pas trop pour garantir une concentration en sortie suffisante en vue d'une condensation en aval du composé, si nécessaire.

### Influence de la température

La température influe sur la quantité de styrène désorbé. Plus la température est élevée, plus le taux de désorption à un temps donné est élevé (figure 4 et 6). L'augmentation de la température accroît l'énergie apportée au sein du réacteur et permet donc de rompre une quantité plus importante de liaisons réversibles tissu-solvant créées lors de l'adsorption.

Une température de désorption comprise entre 100 et 190 °C n'influe pas sur la concentration maximale obtenue. Par contre elle influe sur la concentration de traîne (figure 4). Cette dernière augmente lorsque la température est élevée, facilitant une condensation ultérieure.

Par conséquent du point de vue taux de régénération et condensation, l'intérêt est d'avoir une température de désorption élevée. Mais, cette température ne devra pas excéder 200 °C, afin d'éviter une dégradation des constituants du banc d'essais et du styrène.

### La modélisation

A partir du modèle présenté auparavant (équations (viii); (ix); (xi) et (xii)), le taux de désorption va être relié à la température et à la vitesse et ceci en fonction du temps.

De plus, le modèle proposé va permettre d'accéder aux constantes apparentes telles que l'ordre de la réaction de désorption $n_{rapp}$, et la constante de vitesse de désorption $K_{vapp}$.

*Détermination des constantes* $\alpha$, $n_{r0}$, $K_{v0}$, b *et* c :

Pour chaque essai, sont pris en compte les couples (a, t) expérimentaux avec t valant 0, 15, 30, 60, 90, 120 et 180 minutes.

La minimisation des écarts entre les couples expérimentaux ($\alpha$;t) et modélisés ($\alpha'$;t) conduit aux relations suivantes :

$$n_{rapp} = 4{,}09 - 1{,}01\ 10^{-1}.u \qquad \text{(xiii)}$$

$$K_{vapp} = 1{,}83\ 10^{+6}\ e^{-8098/T} + 6{,}01\ 10^{-4}.u \qquad \text{(xiv)}$$

avec $u(m.h^{-1})$; T(K) et $K_{vapp}$ $(min^{-1})$.

L'écart est donné par la relation suivante :

$$\text{Ecart} = \sum_{i=1}^{N} (\alpha\,(t) - \alpha'\,(t))^2 \qquad \text{(xv)}$$

Le pourcentage d'erreur modèle-expérience, sur un essai spécifique, est estimé selon RITTER J.A. (16) par la relation suivante :

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N} |\,(\alpha\,(t) - \alpha'\,(t)\,|}{\alpha\,(t)} \qquad \text{(xvi)}$$

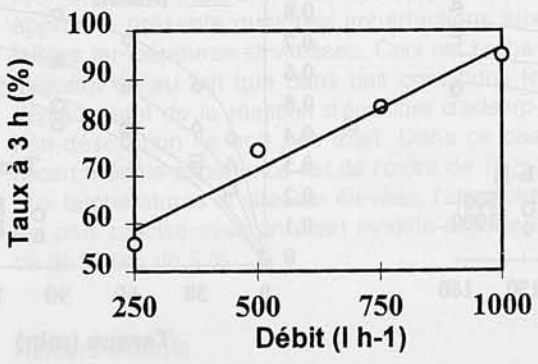


Figure 5.
Influence du débit sur le taux de désorption
(T = 160°C)
*Desorption rate vs desorption flow*

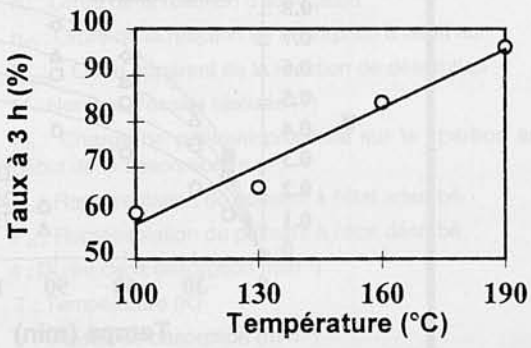


Figure 6.
Effet de la température sur le taux de désorption.
(Débit = 750 $l.h^{-1}$)
*Desorption rate vs temperature*

Sur l'ensemble des essais, le pourcentage d'erreur global du modèle est donné par (16) :

$$\frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left[\frac{1}{N}\cdot\frac{\sum_{i=1}^{N}|(\alpha(t)-\alpha'(t)|}{\alpha(t)}\right] \qquad \text{(xvii)}$$

avec $\alpha'(t)$ = taux de désorption calculé d'après la relation (viii) avec les valeurs de $K_{vapp}$ et $n_{rapp}$ issues des relations (xiii) et (xiv).

N et M représentent respectivement le nombre de points expérimentaux par essais et le nombre d'essais réalisés.

Le tableau 5 regroupe les couples ($n_{rapp}$, $K_{vapp}$) vérifiant au mieux la relation (viii) pour chacun des essais, ainsi que les différents pourcentages d'erreur.

*Comparaison modèle-expérience*

La comparaison du modèle avec l'expérience se fait en confrontant les courbes de désorption [a = f(t)] expérimentales et celles issues du modèle (figures 7 et 8).

Il apparaît sur ces figures que le modèle accuse des imperfections aux faibles débits (< 500 l.h$^{-1}$) et aux faibles températures (< 130 °C), et pour des durées de désorption dépassant 2 heures. Ceci est visible en traçant les courbes donnant les pourcentages d'erreur obtenus sur chacun des essais en fonction du débit et de la température (figures 9 et 10).

Une des hypothèses de base du modèle est que l'équilibre d'adsorption-désorption est déplacé totalement dans le sens de la désorption sous l'effet de la température et de la vitesse. Or cette hypothèse est d'autant moins vérifiée que la température et le débit de désorption sont faibles.

Cependant, malgré ces imperfections, le modèle donne une approche globale relativement satisfaisante de la réalité. En effet, le pourcentage d'erreur global est de 8 %. Ainsi, le modèle permet de prévoir les quantités désorbées en fonction du temps et ceci à partir d'une température et d'un débit donnés. Les conditions optimales de fonctionnement peuvent donc être déterminées, à priori, en jouant sur le débit et la température de désorption, en réalisant un com-

Tableau 5.
Obtention des couples ($n_{rapp}$, $K_{vapp}$) et des pourcentages d'erreur.
*($n_{rapp}$, $K_{vapp}$) values for different experiments*

| Essai n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | global |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Débit (l.h$^{-1}$) | 250 | 500 | 750 | 1 000 | 750 | 750 | 750 | |
| Vitesse (m.h$^{-1}$) | 6,25 | 12,50 | 18,75 | 25,00 | 18,75 | 18,75 | 18,75 | |
| T (°C) | 160 | 160 | 160 | 160 | 100 | 130 | 190 | |
| $n_{rapp}$ | 3,46 | 2,83 | 2,20 | 1,58 | 2,20 | 2,20 | 2,20 | |
| $K_{vapp}$ ($10^{-2}$ min$^{-1}$) | 1,76 | 2,14 | 2,51 | 2,89 | 1,20 | 1,47 | 5,79 | |
| Ecart × $10^2$ | 1,51 | 1,35 | 0,88 | 0,49 | 1,78 | 1,02 | 0,98 | |
| % Erreur | 14,5 | 7,6 | 5,4 | 4,9 | 11,8 | 8,5 | 4,2 | 7,9 |

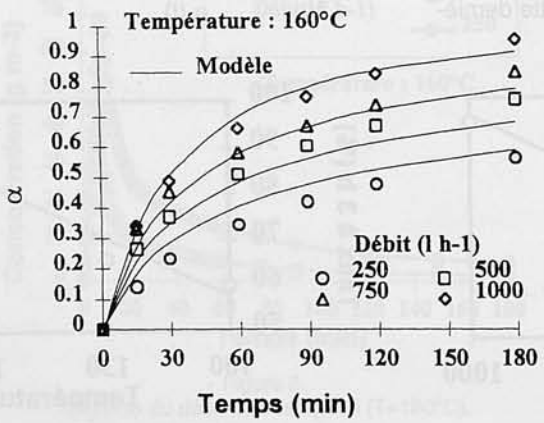


Figure 7.
Courbes de désorption expérimentales et modélisées obtenues à 160 °C.
*Experimental and modelised desorption curves*

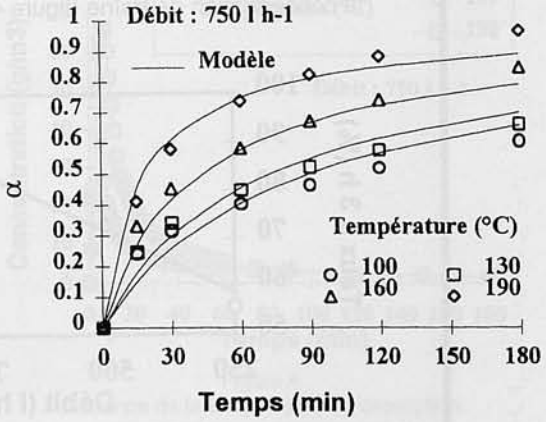


Figure 8.
Courbes de désorption expérimentales et modélisées obtenues à 750 l.h$^{-1}$.
*Experimental and modelised desorption curves*

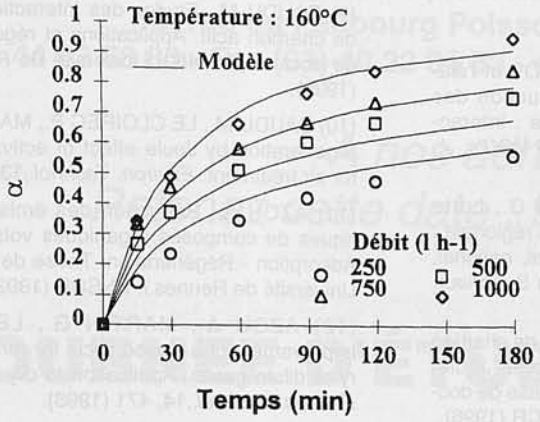


Figure 9.
Variation de l'écart modèle-expérience en fonction du débit.
*Model-experiments difference vs desorption flow*

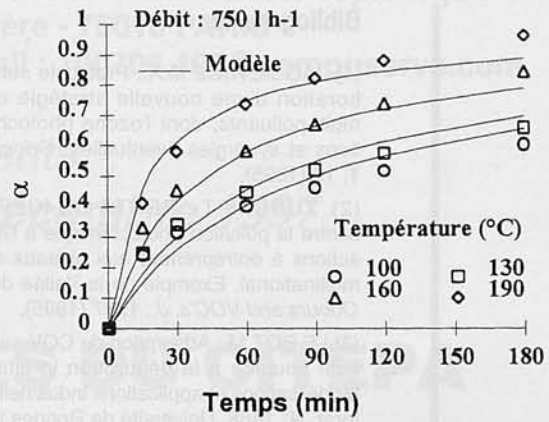


Figure 10.
Variation de l'écart modèle-expérience en fonction de la température.
*Model-experiments difference vs temperature*

promis concentration-quantité désorbée-consommation électrique.

***Remarque :*** A débit nul, l'expression de $K_{vapp}$ avec la température (relation xii) permet d'accéder à l'énergie de désorption. En effet, en supposant une loi de type Arrhénius (9), on peut écrire :

$K_{vapp.} = K_{v0}\ e^{-b'/T} = K_{v0}\ e^{-(Edes/R.T)}$ qui conduit à $E_{des}$ = 67 kJ/mol.

On retrouve la valeur de l'énergie de désorption évaluée lors d'une étude menée sur les interactions styrène-tissu (3).

## Conclusion

Les profils de concentration lors de la phase de régénération d'un banc de charbon actif peuvent être approchés par un modèle simple. Ce modèle cinétique permet de prédire les taux de désorption en fonction du temps. Pour cela la constante de vitesse et l'ordre de la réaction de désorption ont été reliés à la vitesse du gaz vecteur et à la température de désorption. Cette approche présente quelques imperfections aux faibles températures et vitesses. Ceci est probablement dû au fait que dans ces conditions le déplacement de la réaction d'équilibre d'adsorption-désorption ne soit pas total. Dans ce cas l'écart modèle-expérience est de l'ordre de 15 %. Aux températures et vitesses élevées, l'approche est plus précise avec un écart modèle-expérience de l'ordre de 5 %.

## Remerciements

Nous tenons à remercier la société Socrematic ainsi que l'Ademe pour leur contribution à cette étude.

## Mots-clés

Activated carbon fibers - Adsorption - Desorption - Desorption kinetic model

## Notations

$[P_a]$ : Masse de polluant adsorbé amenée à celle de charbon (g g$^{-1}$)

$[P_d]$ : Masse de polluant désorbé amenée à celle de charbon (g g$^{-1}$)

a' : Constante de l'équation (xi) (h m$^{-1}$)

b' : Constante de l'équation (xi) (K)

c' : Constante de l'équation (xi) (h m$^{-1}$)

$K_v$ : Constance de vitesse de la désorption (min$^{-1}$)

$K_v'$ : Constance de vitesse de l'adsorption (min$^{-1}$)

$K_{v0}$ : Constante de vitesse de désorption à débit nul (min$^{-1}$)

$K_{vapp}$ : Constante de vitesse apparente de désorption (min$^{-1}$)

N : Nombre de points expérimentaux pour un essai donné (7)

$n_r$ : Ordre de la réaction de désorption

$n_r'$ : Ordre de la réaction d'adsorption

$n_{r0}$ : Ordre de la réaction de désorption à débit nul

$n_{rapp}$ : Ordre apparent de la réaction de désorption

M : Nombre d'essais réalisés (7)

$P_0$ : Charge de polluant présente sur le charbon au début de la désorption (g g$^{-1}$)

$P_a$ : Représentation du polluant à l'état adsorbé

$P_d$ : Représentation du polluant à l'état désorbé

t : Durée de la désorption (min$^{-1}$)

T : Température (K)

u : Vitesse de désorption (m h$^{-1}$)

$\Gamma$ : Représentation d'un site d'adsorption

$\alpha$ : Taux de désorption expérimental

$\alpha'$ : Taux de désorption issu du modèle

## Bibliographie


(1) JAGUIEWICZ M.A., Protocole sur les COV et l'élaboration d'une nouvelle stratégie de réduction des multi-polluants, dont l'ozone photochimique : interactions et synergies éventuelles. *Odours and VOC's. J.*, **1,** 16 (1995).

(2) ZUNDEL T., RENTZ O., KIPPELEN C., Lutte contre la pollution photochimique à l'échelle régionale : actions à entreprendre aux niveaux régional, national, multinational. Exemple de la Vallée du Rhin Supérieur. *Odours and VOC's. J.*, **1,** 17.(1995).

(3) LE BOT M., Adsorption de COV sur tissu de charbon actif couplée à la désorption in situ par effet Joule. Modélisations et applications industrielles. Thèse de doctorat, N° 1468, Université de Rennes I. ENSCR (1996).

(4) SUZUKI M., Application of fiber adsorbents in water treatment. *Water Sci. Technol.*, **23,** 1649 (1991).

(5) SUZUKI M., Activated carbon fiber : fundamentals and applications. *Carbon,* **32,** 577 (1994).

(6) LE CLOIREC P., The adsorption onto fibrous activated carbon - Applications to water and air treatments. *Am. Chem. Soc.* New Orleans, **41,** 379 (1996).

(7) et (8). BAUDU M., LE CLOIREC P., MARTIN G., Dispositif de traitement de fluide au moyen d'une structure d'adsorption à couches superposées espacées, et régénération par effet Joule. Brevet FR 90-03923 et brevet EP 91-460043 (1990 et 1991).

(9) BAUDU M., Etudes des interactions solutés-fibres de charbon actif. Applications et régénérations. Thèse de doctorat, N° 480, Université de Rennes I. ENSCR (1990).

(10) BAUDU M., LE CLOIREC P., MARTIN G., Thermal regeneration by Joule effect of activated carbon used for air treatment. *Environ. Technol.*,**13,** 423 (1992).

(11) AZOU A., Réduction des émissions atmosphériques de composés organiques volatils. Absorption - Adsorption - Régénération. Thèse de doctorat, N° 723, Université de Rennes I. ENSCR (1992).

(12) AZOU A., MARTIN G., LE CLOIREC P., Improvement of a closed cycle for removal and recovery of dilute gases. Application to dry cleaning industry. *Environ. Technol.*,**14,** 471 (1993).

(13) BOHART G., ADAMS E.N., Some aspect of the behaviour of charcoal with respect to chlorine. *J. Am. Chem. Soc.*, **42,** 543 (1920).

(14) THOMAS H.C., Heterogeneous ion exchange in a flowing system. *J. Am. Chem. Soc.*, **66,** 1664 (1939).

(15) AZOU A., MARTIN G., LE CLOIREC P., Modelisation of solvents desorption kinetic from activated carbon. *Pollution atmosphérique,* **Juillet-Septembre,** 19 (1992).

(16) RITTER J.A., YANG R.T., Equilibrium adsorption of multicomponent gas mixtures at elevated pressures. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **26,** 1679 (1987).



UGINE
ISBERGUES
DIVISION D'USINOR SACILOR

*Du bâtiment à la décoration...*
*De la maison aux industries les plus diverses...*

La beauté inaltérable de l'**INOX**

*Et vous ! avez-vous déjà pensé Inox ?*

**ISBERGUES : Fabrication de TOLES INOXYDABLES de TOLES MAGNETIQUES** (Industrie de la construction électrique) **et de TOLES INOXYDABLES ETAMEES** (toitures)

**Coordonnées du site** : BP 15 - 62330 ISBERGUES
Tél. 03 21 63 20 00 - Fax : 03 21 63 22 82

**CITEPA**

**Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique**
**10, rue du Faubourg Poissonnière - 75010 PARIS**
**Tél. (01) 44 83 68 83 - Fax (01) 40 22 04 83 - e-mail : 100706.407@compuserve.com**

*A nos adhérents*
*Retenez cette date : **9 décembre 1997***

# JOURNÉE D'ÉTUDES DU CITEPA

## 9 décembre 1997

## *sur le thème :* ACIDIFICATION

La Journée d'Etudes du CITEPA aura lieu le 9 décembre 1997 à l'Union Internationale des Chemins de Fer. Cette année, le thème retenu est l'**ACIDIFICATION**. Ce mot a l'air un peu rétro compte tenu des nouveaux types de pollution de l'air qui se manifestent depuis quelques années. En fait, ce mot est tout à fait d'actualité puisqu'il est directement lié :

- à la récente Communication de la Commission sur une **stratégie communautaire de lutte contre l'acidification** ;
- à la signature en 1994 du **Protocole d'Oslo** sur la réduction des émissions de $SO_2$ dans le cadre de la Convention de Genève ;
- à la préparation d'un nouveau **projet de directive** communautaire sur les **Grandes Installations de Combustion** ;
- à la **préparation d'une directive communautaire** sur la teneur en soufre dans les combustibles liquides et carburants ;
- à la **préparation de la directive fille** concernant la qualité de l'air par $SO_2$ et NOx ;
- à la préparation d'un **nouveau protocole multi-polluants et multi-effets**.

C'est la raison pour laquelle la journée sera basée sur la présentation et la discussion de deux aspects essentiels du problème :

- **aspect scientifique** du problème de l'Acidification/Eutrophisation (inventaires d'émission, modélisation du transfert atmosphérique, mesures des dépôts, définition des charges critiques et modélisation intégrée) (Participation de l'Ademe de l'IIASA et du CITEPA) ;
- **aspect politique et réglementaire** avec la participation de la Commission des Communautés Européennes, de l'UNECE, du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, du ministère de l'Industrie et des Industriels.

# JOURNÉE D'ÉTUDES DU CITEPA

## 9 décembre 1997

# L'ACIDIFICATION EST-ELLE ENCORE UN PROBLÈME MAJEUR DE POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ?

## Projet de programme

1. Présentation générale du problème : relations avec l'eutrophisation, la pollution photochimique, l'effet de serre et la pollution locale. Christian ELICHEGARAY (Ademe).
2. Charges critiques : définition, estimation, bases de données, zones agricoles. Anne PROBST (CNRS).
3. Stratégie communautaire de lutte contre l'acidification : Communication au Conseil et au Parlement européen. Patrick MURPHY (Commission Européenne-DGXI-D).
4. Autres actions communautaires. M.-D. MAILLET (Commission Européenne-DGXI-E1) :
   - Révision de la Directive sur les GIC,
   - Projet de Directives-filles sur la Qualité de l'air pour $SO_2$/NOx,
   - Révision de la Directive relative à la teneur en soufre de certains combustibles liquides.
5. Actions internationales : UNECE - Coopération avec la Commission Européenne, la Convention de Paris, l'OMI. M.-A. JAGUSIEWICZ (UNECE, Convention LRTAP).
6. Inventaires d'émission, contrôle, validation. J.-P. FONTELLE (CITEPA).
7. Modélisation du transfert de pollution à grande distance. Antoine LASSERRE-BIGORRY (Météo France).
8. Mesures des retombées.
9. Modélisation intégrée : modèle RAINS. M. LANDRIEUX (INERIS).

Intervention éventuelle de Mme la Ministre de l'Environnement.

10. Action du Ministère de l'Environnement. M.-P. GEIGER (DPPR).
11. Point de vue du Ministère de l'Industrie. J.-P. LETEURTROIS.
12. Point de vue du Ministère de l'Agriculture. M.-A. GRAMMONT (DERF).
13. Point de vue des industriels. CNPF, EDF, CDF, GDF, Construction automobile.
14. Conclusions.