

Epuration des polluants gazeux de l'air par adsorption sur charbons actifs molécules odorantes et gaz toxiques

AIVC 11256

Dans le domaine de l'assainissement de l'air des ambiances de travail la technologie d'adsorption sur charbon actif permet de lutter efficacement contre les odeurs et les gaz toxiques.

Après un rappel des éléments clés à connaître sur le fonctionnement de ces systèmes, l'auteur décrit quelques exemples d'application vis-à-vis des odeurs et des gaz toxiques.

Jean-Michel VANHEE
Responsable marketing, Camfil,
Uniclima

Si 2 kg d'eau et 2 kg de nourriture solide suffisent à notre consommation quotidienne, ce sont chaque jour près de 15 kg d'air qui sont indispensables à notre vie ! Autant dire que l'air constitue de loin, notre premier aliment.

Malheureusement, à l'image du cheval de Troie, cet air introduit en douceur dans notre organisme tous les polluants qu'il contient. Nos quelque 300 millions d'alvéoles pulmonaires constituent pour ces polluants gazeux autant de portes grandes ouvertes vers notre circulation sanguine, donc au cœur même de notre organisme tout entier.

Notre exposition au milieu extérieur ne se résume pas aux malheureux 2 m² représentés par notre peau, mais aux 70 à 200 m² (la surface d'un court de tennis !) surface développée de notre appareil respiratoire.

Odeurs, solvants, COV, ozone, H₂S, SO₂, NOx : comment dans les ambiances de travail lutter efficacement contre tous ces poisons transportés par l'air ?

Deux mots sur les polluants gazeux

Les polluants gazeux sont assimilables à de tous petits objets en suspension dans l'air. Leur dimension se situe autour de quelques Ångström (Å), soit 0,0001 µm (1/10 000e de µm). Même les plus performants des filtres particulaires "absolus" (filtres HEPA/ULPA), sont incapables d'assurer une quelconque épuration à cette échelle. Rappelons que leur domaine d'action est celui des particules, soit au dessus de 0,01 µm.

Autre caractéristique : en dehors des applications industrielles de récupération de solvants sur un process ou de traitement à la source de rejets, les concentrations visées sont très faibles. C'est en particulier le cas des odeurs pour lesquelles le nez détecte des concentrations bien inférieures aux appareils de métrologie physico-chimique (tableau 1).

Tétrachlorure de carbone		
Ammoniac :	0,2	ppm
Chlore :	0,05	ppm
Odeurs de cuisine-frites	0,005	ppm
Hydrogène sulfuré :	8.10 ⁻⁵	ppm
Ozone :	8.10 ⁻⁶	ppm
Sulfures organiques :	4.10 ⁻⁶	ppm
Essences de vanille :		
Musc :		

Tableau 1. Exemples de seuils de perception olfactive.

Capture des polluants gazeux par adsorption

Les gaz, au contact d'une surface condensent. Ce phénomène est connu sous le nom d'adsorption. Cette propriété est mise au profit pour capturer les gaz en suspension dans l'air. Mais sitôt adsorbés, ils ne demandent qu'à quitter leur support par évaporation. Cet effet inverse s'appelle désorption.

Pour favoriser la capture, la surface disponible pour l'adsorption doit être très importante.

Avec des surfaces utiles supérieures à 1 000 m² par gramme, les charbons actifs grâce à leur structure microporeuse extrêmement développée, constituent des adsorbants idéaux offrant un maximum de surface dans un minimum d'encombrement.

Principales grandeurs caractéristiques des charbons actifs

Surface spécifique

Elle caractérise la surface d'échange d'un adsorbeur. Plus elle est grande, plus l'adsorbeur est adsorbant.

La surface spécifique du charbon actif s'énonce en m²/g : elle exprime la surface développée des pores d'un gramme de charbon considéré.

C'est l'opération "d'activation" qui rend accessible la surface développée de la structure microporeuse des grains de charbon et transforme un charbon banal en un "charbon actif". Ainsi on passe de 5 m²/g pour un charbon non activé à 600 à 2 000 m²/g pour un charbon activé.

A titre de comparaison, 1 g de média filtrant particulaire HEPA en fibre de verre offre une surface d'échange (surface développée des fibres constitutives du média) de l'ordre de 2,4 m², soit 300 à 900 fois moins.

Capacité d'adsorption (taux de saturation)

Lorsque la concentration d'un produit gazeux donné est la même en aval qu'en amont de l'adsorbeur, il est saturé. Il a atteint son "taux de saturation". Le "taux de saturation" correspond à la quantité maximale de ce produit que peut retenir l'adsorbant à la température et à l'humidité relative considérées.

Cette quantité porte aussi le nom de "capacité d'adsorption". Elle s'exprime en grammes adsorbés du produit considéré pour 100 grammes de charbon actif sec (tableau 2).



Photo 1. Cellule à support mousse de polyuréthane chargé de mini-sphères de charbon actif imprégnées ou non : offrent l'avantage d'une faible perte de charge associée à une grande compacité, sans émission de "fines" de carbone (Opakcarb / Doc. Camfil).

Pour un gaz pur donné, une température donnée, une humidité relative donnée, une concentration amont connue, la capacité d'adsorption permet une évaluation théorique de la durée de vie d'un adsorbeur en fonction de la masse d'adsorbant mise en œuvre et du débit d'air traité.

Temps de contact

Le temps pendant lequel le gaz polluant est en contact avec l'adsorbant est déterminant : plus le temps de contact sera grand, plus l'efficacité et la capacité d'adsorption seront élevées.

Il se détermine par les rapports suivants :

$T_c \text{ (s)} = \text{épaisseur de couche (m)} / \text{vitesse de l'air (m/s)}$

Ou $T_c \text{ (s)} = \text{volume de charbon (m}^3\text{)} / \text{débit d'air (m}^3/\text{s)}$

Mise en œuvre et dimensionnement (exemples)

Action contre les odeurs non toxiques (physisorption)

Pour les cas des odeurs non toxiques, il s'agit avant tout de maintenir à l'intérieur des locaux pendant le temps d'occupation, un taux inférieur au seuil de perception olfactive. L'étage de charbon actif joue un

rôle d'amortisseur : adsorption des pics en période de concentrations supérieures au seuil de perception, désorption lente pendant les heures creuses. Un seul but : maintenir un niveau de confort olfactif.

Dans ce cas, le simple piégeage physique des molécules odorantes par adsorption est suffisant, ce qui n'est pas le cas des toxiques (cf. infra).

Le dimensionnement de l'étage d'adsorption est fonction de la nature chimique, de l'intensité et de la durée des phases de pollution.

Ainsi, vis-à-vis de pollutions où les odeurs sont en concentrations modérées, ce qui est typique des environnements de type urbain, d'aéroports ou de zones industrielles (odeurs de gaz d'échappement, kérone, hydrocarbures...), des solutions "légères" 7 kg pour 3600 m³/h donnent des résultats tout à fait satisfaisants.

Des cellules à média alvéolaire chargé en mini-sphères de charbon actif offrent ici l'avantage d'une faible perte de charge associée à la compacité sans émission de "fines" (photo 1).

En revanche, pour le traitement d'effluents assez fortement chargés, liés à un process bien identifié, on passe à des solutions d'adsorption "en lit fixe" sur charbon actif, mettant en œuvre des masses beaucoup plus conséquentes (50 kg / 3600 m³/h). L'air pollué traverse des épaisseurs de charbon de 15 à 25 mm, avec des temps de contact supérieurs à 0,1 seconde.

Une mise en œuvre des granulés de charbon actif en cartouches cylindriques à verrouillage baïonnette sur platine support permet d'atteindre les performances requises avec un encombrement réduit et une facilité de maintenance lors de changement des cartouches (photo 2).

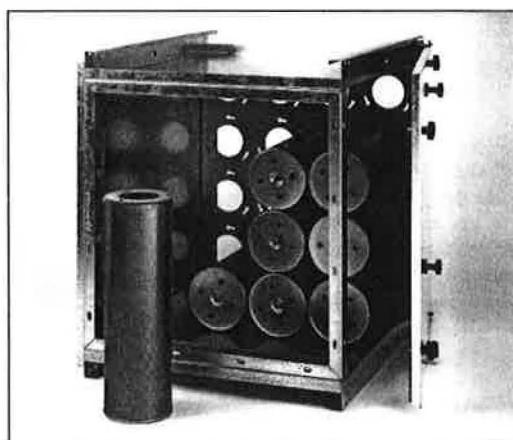


Photo 2. Mise en œuvre des granulés de charbon actif en cartouches cylindriques à verrouillage baïonnette : performances requises avec encombrement réduit et facilité de maintenance (Camcarb / Doc Camfil).

Action contre les polluants toxiques (chimisorption)

Dans ce cas, il paraît clair que les gaz adsorbés ne doivent en aucun cas être capables de quitter le filtre après leur capture. Afin d'éliminer ce risque de désorption, la surface d'adsorption est rendue chimiquement réactive. Ainsi, à l'intérieur du filtre

Tableau 2. Capacités d'adsorption de quelques produits courants.

Les gaz ou vapeurs présentant une masse moléculaire et une température d'ébullition élevées, sont généralement bien adsorbés par les carbons actifs. C'est pourquoi, les gaz rares de l'air ainsi par exemple que l'hydrogène sulfuré (masse moléculaire = 34 - Point d'ébullition : -33°C) sont très peu adsorbés alors que les hydrocarbures lourds, sont au contraire très bien piégés.

Le tableau donne, pour quelques produits courants, les capacités d'adsorption exprimées en pourcentage du poids de charbon actif après le code suivant :

4 : forte rétention = 25 à 30%

3 : rétention moyenne = 10 à 15%

2 : faible rétention = moins de 5%

1 : très faible rétention = moins de 1%

Les valeurs précédentes sont données pour un charbon actif standard à 30% d'indice de Benzène et ne sont valables que pour de faibles hygrométries.

Acetaldehyde 2	Chlorobutadiène 4	Kérosène 4
Acétate de butyle 4	Chloroforme 4	Mazout 2
Acétate d'éthyle 3	Chloronitropropane 4	Mercaptans 4
Acétone 3	Chloropicrine 4	Méthane 1
Acétylène 1	Chlorure d'éthyle 3	Monochlorobenzène 4
Acide acétique 4	Chlorure de méthyle 3	Naphtaline 4
Acide acrylique 4	Chlorure de méthylène 4	Nitrobenzène 4
Acide chlorhydrique 2	Chlorure de vinyle 3	Odeurs de cuisine 3
Acide fluorhydrique 1	Cyclohexane 4	Odeurs d'égoûts 3
Acide formique 3	Cyclohexanol 4	Odeurs d'hôpital 3
Acide lactique 4	Dibromoéthane 4	Odeurs animales 3
Acide sulfurique 4	Diéthylcétone 4	Oxyde d'éthylène 3
Acroleine 3	Diéthylamine 3	Ozone 1
Acrylate de méthyle 4	Dioxane 4	Parfums 4
Acrylonitrile 4	Essence 4	Perchloroéthylène 4
Alcool butylique 4	Ethane 1	Phénol 4
Alcool éthylique 4	Ether éthylique 3	Propylène 2
Alcool méthylique 3	Ether méthylique 3	Silicate d'éthyle 4
Alcool propylique 4	Ethylbenzène 4	Solvants divers 3
Ammoniac 1	Ethylène 1	Styrène monomère 4
Anhydride sulfureux 3	Formaldéhyde 2	Térbenthène 4
Benzène 4	Formol 1	Tétrachloréthane 4
Brome 4	Goudrons 4	Tétrachlorure de carbone 4
Bromure d'éthyle 3	Graisses brûlées 4	Toluène 4
Butadiène 3	Huiles (vapeurs d') 4	Trichloréthylène 4
Butane 2	Hydrogène 1	Urine 1
Chlore 3	Iode 4	Xylène 4
Chlorobenzène 4	Isoprène 3	

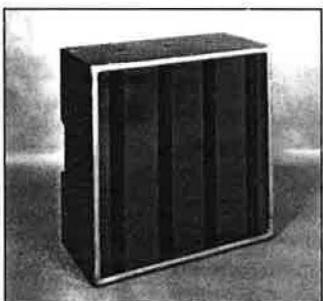


Photo 3. Filtre à charbon actif de type cellule à lit granulaire fixe (Piège à iode 1606-72 / Doc Camfil).

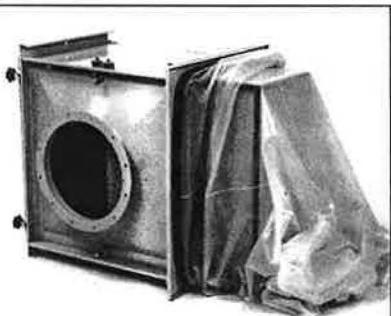


Photo 4. Haute sécurité : installation des filtres dans des caissons "à sas étanche" qui permettent la manipulation et l'évacuation des filtres contaminés sous sac plastique étanche (Doc. Camfil).

à charbon actif, il se passe une véritable réaction chimique qui transforme le gaz toxique en un ou plusieurs composés non toxiques et/ou non volatils. Il ne s'agit plus alors d'un simple piégeage réversible, mais d'une réelle élimination du polluant visé.

Ceci est obtenu par l'adjonction d'"imprégnants". Le choix des imprégnants est bien entendu fonction de la nature chimique du polluant dont on veut se débarrasser. Il existe des charbons spécialement traités pour les gaz acides (H_2S , SO_2 , NO_2 ...), pour les gaz alcalins (NH_4), pour l' ICH_3 , pour les vapeurs de mercure, pour le chlore, pour le formol et bien d'autres substances dont les gaz de combat tels que chloropicrine, cyanogènes, etc. !

Le dimensionnement de l'étage d'adsorption est fonction de la nature chimique des polluants, de leurs concentrations et de la durée de vie souhaitée.

Pour traiter les polluants classiques (SO_2 , NO_2 ...) de la pollution urbaine ou de zone industrielle dont les concentrations bien que dommageables pour la santé sont encore dans le registre "modérées", des solutions "légères", 7 kg de charbon actif pour 3600 m^3/h , avec une imprégnation contre les gaz acides s'avèrent en général appropriées. Des cellules à média chargé avec mini-sphères de charbon actif imprégnées offrent ici l'avantage d'une faible perte de charge associée à la compacité sans émission de "fines" (photo 1).

En revanche, pour le traitement d'effluents à fortes concentrations, liés à un process bien identifié, les solutions d'adsorption "en lit fixe" s'imposent. Elles mettent en œuvre des masses de charbon actif beaucoup plus conséquentes (> 50 kg / 3600 m^3/h).

L'air pollué traverse des épaisseurs de charbon de 15 à 25 mm, avec des temps de contact supérieurs à 0,1 seconde. Le choix du type d'imprégnant est crucial, et l'on peut associer en série dans le flux d'air à traiter plusieurs étages d'adsorption spécialisés.

Une mise en œuvre de granulés de charbon actif en cartouches cylindriques à verrouillage baïonnette sur platine support permet de répondre à un premier niveau d'exigence avec un encombrement réduit et une facilité de maintenance lors de changement des cartouches (photo 2).

Pour des niveaux de sécurité plus élevés, l'emploi de cellule à lit granulaire fixe (photo 3) est recommandé, et pour le traitement de gaz éminemment toxiques, leur installation dans des caissons de montage "à sas étanche" qui permettent la manipulation et l'évacuation des filtres contaminés sous sac plastique étanche (photo 4), est vivement recommandée.

Cas de l'ozone

Le traitement de l'ozone ne nécessite pas d'imprégnation particulière. Au contact du charbon actif, l'ozone se transforme par réaction chimique en gaz carbonique et oxygène. Le charbon actif n'a donc pas vis-à-

vis de l'ozone qu'une simple adsorption passive mais une action d'épuration par destruction du polluant.

Consignes générales

Protection par filtre particulaire

Dans un média fibreux utilisé en filtration particulaire, les particules captées viennent remplir les espaces interfibres et, tout en accroissant l'efficacité du filtre, elles augmentent sa perte de charge. Dans le charbon actif, les molécules diffusent à l'intérieur des pores et leur accumulation n'entrave pas la marche du flux gazeux : il ne se produit donc pratiquement pas d'accroissement de perte de charge à mesure que l'adsorbeur à charbon actif se sature.

La forte porosité caractéristique de la surface du charbon actif la rend extrêmement vulnérable à l'obstruction des pores par des particules solides de dimensions similaires ou plus grandes. Il y a donc lieu, pour une bonne exploitation du filtre à charbon (captation de molécules), de le protéger par un filtre particulaire à hautes performances, en particulier sur les particules de petite taille. Une efficacité de 85% opacimétrique (F7 selon EN 779) (85% sur 1 μm filtre propre) constitue un minimum.

Emplacement dans la chaîne de traitement d'air

L'efficacité d'adsorption et de réaction des imprégnants dépend de la température et de l'humidité relative de l'air porteur.

Ainsi, une élévation de température favorise la réaction chimique imprégnant/polluant gazeux mais favorise aussi la désorption ; une augmentation de l'humidité relative défavorise l'adsorption mais favorise la réaction chimique imprégnant/polluant gazeux.

En conclusion, il s'agit de trouver le meilleur équilibre de la balance température/humidité relative. D'une manière concrète, l'optimum se situe à une température ambiante de confort avec une humidité comprise entre 30 et 40 %.

D'une manière générale, il est préférable de placer l'étage d'adsorption sur un air stabilisé (c'est-à-dire qui ne dépend plus des fluctuations atmosphériques), donc après l'unité de conditionnement en température et après l'humidificateur si le point de consigne en humidité relative ne dépasse pas 40%.

Conclusion

Ce qu'il faut avant tout retenir, c'est que l'assainissement des ambiances par adsorption sur charbons actifs est une technologie qui fonctionne et qui est fiable.

Cependant sauf pour les problèmes d'odeurs usuels, il est toujours préférable de consulter un spécialiste pour savoir si, compte tenu des données dont on peut disposer, l'emploi du charbon actif est :

- possible techniquement
- économiquement acceptable.

BIBLIOGRAPHIE

- La Filtration de l'air de J. Y. RAUT (Editions parisviennes)
- Les Procédés d'adsorption de P. LE CLOIREC (Conférence IFFI/AFF)