

## SYNTHESE TECHNIQUE

# ETUDE COMPARATIVE SUR LES CHARBONS ACTIFS

**LU Jinyan**

E-mail: [lu@engref.fr](mailto:lu@engref.fr)

Février 2005

**ENGREF Centre de Montpellier**  
B.P.44494 –  
34093 MONTPELLIER CEDEX 5  
Tél. (33) 4 67 04 71 00  
Fax (33) 4 67 04 71 01

**OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU – SNIDE**  
15, rue Edouard Chamberland  
87065 LIMOGES Cedex  
Tél (33) 5 55 11 47 47  
Fax (33) 5 55 11 47 48

## **RESUME**

Le charbon actif est un matériel connu pour sa forte capacité d'adsorption et s'applique à plusieurs domaines industriels. Ses caractéristiques et son efficacité dépendent du matériau constitutif. Le choix d'un charbon actif adapté à l'usage pour lequel il est destiné est fondamental pour sa performance.

L'industrie du charbon actif a tendance de se délocaliser de l'Amérique en Asie du sud, notamment en Chine. La plupart des fabricants de charbon actif ont actuellement un approvisionnement en Chine. Un fort développement de l'industrie chinoise du charbon actif est envisageable dans les années à venir.

## **MOTS CLES**

charbon actif (CA), charbon actif en grain (CAG), charbon actif en poudre (CAP), matériau constitutif, porosité, adsorption, surface spécifique, résistance mécanique, densité, régénération, traitement de l'eau

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>GENERALITE SUR LES CHARBONS ACTIFS</b> .....	<b>4</b>
O QU'EST-CE QUE LE CHARBON ACTIF?.....	4
Définition.....	4
Matériaux constitutifs .....	4
Propriétés .....	4
Formes .....	5
O COMMENT SONT-ILS FABRIQUES ?.....	6
O COMMENT FONCTIONNENT-ILS ?.....	6
O COMMENT SONT-IL REGENERES ? .....	7
<b>DOMAINE D'APPLICATION ET LEUR PERFORMANCE</b> .....	<b>8</b>
O TRAITEMENT DES EAUX .....	8
O TRAITEMENT DE L'AIR.....	9
O AGRO-ALIMENTAIRE .....	9
O CHIMIE, PETROCHIMIE.....	10
O AUTRES .....	10
<b>ASPECTS REGLEMENTAIRES</b> .....	<b>10</b>
<b>REFERENCE DES CHARBONS ACTIFS DISPONIBLES SUR LE MARCHE FRANÇAIS ET LE CHOIX D'UN CHARBON ACTIF</b> .....	<b>11</b>
O DES CHARBONS ACTIFS UTILISES EN FRANCE.....	11
O LES CRITERES DE CHOIX DU CHARBON ACTIF POUR UN CLIENT .....	11
<b>PERSPECTIVE</b> .....	<b>12</b>
O LES INNOVATIONS.....	12
O LE DEVELOPPEMENT DU MARCHE DU CHARBON ACTIF:EXEMPLE DE LA CHINE	12
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>13</b>

## INTRODUCTION

Le charbon actif est connu pour le traitement de l'eau depuis 2000 ans. Il a été commercialisé au début du XX<sup>ème</sup> siècle pour la décoloration du sucre principalement. Dès 1930, il est utilisé dans le traitement de l'eau pour supprimer l'odeur et le goût. A cette époque, il n'était disponible que sous forme de charbon actif en poudre. Le charbon actif en grain a vu le jour durant la première guerre mondiale : il était utilisé dans les masques à gaz.

Par la suite, l'utilisation du charbon actif s'est répandue ; il est actuellement principalement utilisé pour :

- le traitement de l'eau ;
- la purification de l'air ;
- la pharmacie ;
- l'exploitation minière etc.

## GENERALITE SUR LES CHARBONS ACTIFS

### O QU'EST-CE QUE LE CHARBON ACTIF ?

#### Définition

Le charbon actif est un squelette carboné qui, par oxydation ménagée, a acquis une intense porosité. Sa structure est voisine de celle du graphite. Elle se présente sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone ordonnés en hexagones réguliers.

#### Matériaux constitutifs

Le charbon actif peut être produit à partir de nombreux matériaux contenant du carbone. Le plus souvent, on utilise la houille, le bois, la noix de coco, ou la lignite pour des raisons économiques. On distingue le charbon actif végétal et le charbon actif minéral en fonction du matériau d'origine.

#### Propriétés

Un certain nombre de paramètres permettent de caractériser un charbon actif et de déterminer ses conditions d'utilisation. Ils sont détaillés ci-dessous.

- Le volume poreux et la taille des pores -- Selon la classification IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), les tailles de pores sont réparties en 3 classes:

Micropore < 1nm (1nm=10<sup>-9</sup> m)  
Mesopore 1 – 25 nm  
Macropore > 25nm

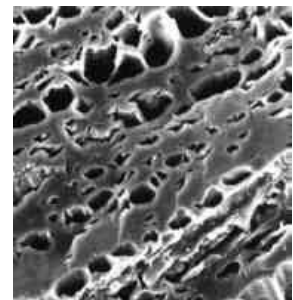


Figure 1. Exemple de pores du charbon actif

Le volume poreux total des charbons actifs est de 0,5 à 1 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> (50 à 70% en volume).

- La surface spécifique -- Elle correspond à la surface des pores. Le volume poreux étant important, la surface développée est énorme : de 500 à 1500 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>. Ce sont essentiellement les micropores et mésopores qui créent de la surface. La capacité d'adsorption est proportionnelle à la surface.
- La taille des grains -- Elle conditionne la vitesse d'adsorption (plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide) et la perte de charge à travers le lit.

- La dureté -- Elle représente la résistance au tassement, à la friction et aux vibrations pendant la phase de lavage.
- La densité – Plus le charbon est activé, plus il est léger. La densité indique le niveau d'activation du charbon actif. Elle conditionne l'efficacité des traitements et c'est également un élément déterminant de son prix. La densité du charbon actif utilisé pour le traitement de l'eau est en général comprise entre 0.20 et 0.55 g/cm<sup>3</sup>. L'expérience montre que quand la densité est supérieure à 0.35 g/cm<sup>3</sup>, le lit du charbon actif fonctionne mieux. (RICHARD Y., 1970s)
- Indice d'iode -- La performance du charbon actif est évaluée par sa capacité d'adsorption de l'iode, prise comme substance de référence. L'indice est proportionnel au nombre de micropores. Plus il est grand, meilleur est le niveau d'activation et donc meilleure sera la capacité d'adsorption.
- La teneur en cendres – Elle est importante car elle peut gêner la mise en place du charbon. La teneur en cendres du charbon actif appliqué au traitement de l'eau devra être la plus basse possible, surtout si l'eau est dure, et en aucun cas, dépasser 10%. (RICHARD Y., 1970s)

### Formes

Le charbon actif est principalement disponible sous deux formes différentes : en **poudre** ou en **grain**.

- **Charbon actif en poudre (CAP)** -- Le charbon actif en poudre prend la forme de grains de taille comprise entre 10 et 50 µm. Sous cette forme, il s'utilise souvent pour le traitement de l'eau et du gaz. Dans le premier cas, il est généralement utilisé en combinaison avec un traitement clarificateur pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau. (Lenntech, 2004)
- **Charbon actif en grain (CAG)** – La forme du CAG est irrégulière et sa taille est comprise entre 0.2 – 5 mm. Il est majoritairement utilisé pour l'élimination des micros polluants organiques et de la matière organique des eaux, mais il est également appliqué au traitement des gaz. Les caractéristiques physiques du CAG varient considérablement selon les matériaux constitutifs et le mode de fabrication.

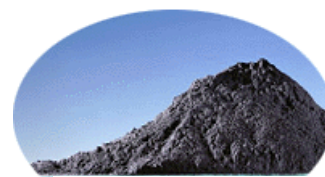


Figure 2: charbon actif en poudre



Figure 3: charbon actif en grain

Le tableau 1 ci-dessous donne les avantages et inconvénients des CAP en comparaison avec les CAG :

#### Avantages

- Le CAP coûte moins cher que le CAG ;

#### Inconvénients

- Le CAP ne peut pas être régénéré ;

- Des quantités supplémentaires de CAP peuvent être rajoutées en cas de pointes de pollution accidentelles ou temporaires ;
- L'adsorption est rapide dans la mesure où une grande partie de la surface de contact est directement disponible.
- Une quantité très importante de CAP est nécessaire pour enlever toutes les traces d'impureté ;
- La concentration maximum applicable est limitée à 80 mg/L.

Tableau 1: comparaison entre CAP et CAG (Lenntech, 2004)

Il existe un troisième type de CA appelé **charbon actif extrudé**. Il prend la forme de cylindre et sa taille est comprise entre 0.8 et 5 mm. Il est plutôt utilisé pour traiter les gaz. Sa structure permet de limiter les pertes de charge lors du passage du gaz à travers le lit. Il contient peu de poussières et possède une forte résistance mécanique. (Chemviron, 2004)

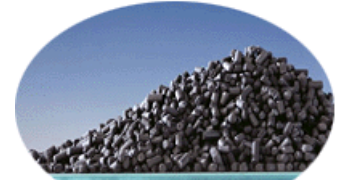
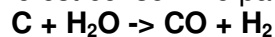


Figure 4: charbon actif extrudé

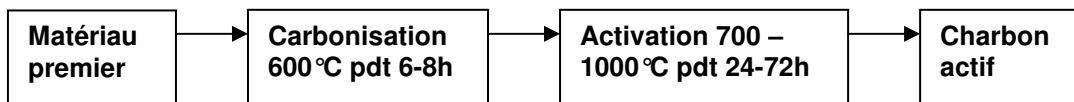
### O COMMENT SONT-ILS FABRIQUES ?

En fonction de la nature du matériau constitutif, de la forme physique du produit désiré et des caractéristiques souhaitées, deux procédés sont appliqués pour la fabrication de charbon actif.

**Procédé physique** : Ce procédé est scindé en deux étapes distinctes. Le matériau premier est d'abord carbonisé à une température d'environ 600 °C pendant 6 à 8 h. Il est ensuite activé par oxydation ménagée à haute température (700 à 1000 °C). Au cours de cette seconde étape, il est mis en présence d'un mélange faiblement oxydant de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone pendant 24 à 72 h. Le carbone est consommé par la réaction :



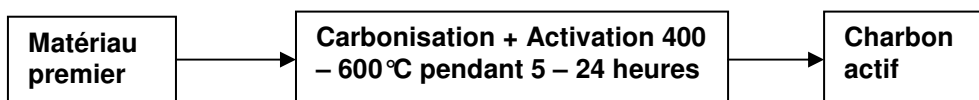
Le procédé est décrit sur le schéma ci-dessous :



Le procédé physique se caractérise par un faible rendement global. (RAVARINI P., 2004)

**Procédé chimique** : La carbonisation et l'activation sont réalisées simultanément entre 400 et 600 °C en présence d'acide phosphorique ou de chlorure de zinc. Précisons que ce dernier est interdit pour les applications agro-alimentaires. Ces agents interviennent comme catalyseurs d'oxydation et permettent à la fois le développement de la microporosité et de la mésoporosité par élargissement du diamètre des pores.

Le procédé est décrit sur le schéma ci-dessous :



La fabrication selon ces deux procédés s'achève par des opérations de granulations, de tamisage et de conditionnement.

En général, les charbons actifs à base de bois sont activés par le procédé chimique, et ceux à base de noix de coco et de houille par le procédé physique.

### O COMMENT FONCTIONNENT-ILS ?

Le mécanisme principal de fonctionnement est l'adsorption engendrée par des forces dites « London Dispersion Forces » (Chemviron, 2004). Ce mécanisme est également appelé physico-sorption.

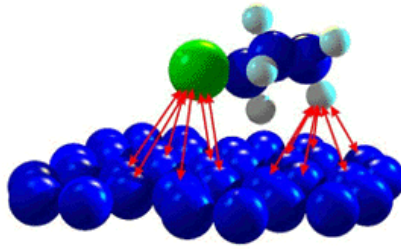


Figure 5: London Dispersion Forces

Le principe de l'adsorption repose sur l'accumulation à la surface ou à l'intérieur du charbon (dans les pores) des molécules contenues dans l'eau ou dans l'air à traiter. Ceci est possible grâce aux interactions physiques et chimiques entre la surface du charbon et les molécules à adsorber.

L'adsorption peut être décomposée en quatre étapes (Lenntech, 2004):

1. Transfert de la particule (phénomène très rapide)
2. Déplacement de l'eau jusqu'à être au contact du charbon (rapide)
3. Diffusion à l'intérieur du charbon sous l'influence du gradient de concentration (étape assez lente)
4. Adsorption dans un micropore (très rapide)

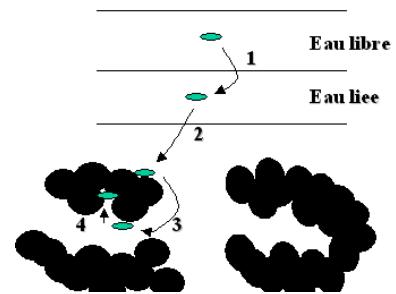


Figure 6: Adsorption du charbon actif

La capacité d'adsorption d'un matériau dépend, entre autres, de sa surface interne. Celle du charbon actif est très grande (entre 500 et 1500 m<sup>2</sup>/g) ce qui le rend idéal pour cet usage.

Le niveau d'activité de l'adsorption dépend également de la concentration et la polarité des polluants à traiter dans l'eau, de la température (Lenntech, 2004) et du type de charbon utilisé.

### O COMMENT SONT-IL REGENERES ?

Le charbon actif est un produit relativement coûteux, mais il présente l'avantage de pouvoir être régénéré. Il existe quatre méthodes de régénération :

**Régénération à la vapeur** -- Cette méthode est réservée à la régénération des charbons actifs qui ont simplement adsorbé des produits très volatils. Cependant, le traitement à la vapeur peut être utile pour désinfecter le charbon (Lenntech, 2004) et déboucher la surface des grains.

**Régénération thermique** -- Cette méthode est une pyrolyse qui permet de brûler les matières organiques absorbées par les charbons actifs. Dans le but d'éviter d'enflammer le charbon, il est porté à une température suffisante (entre 500 et 1000°C, aux alentours de 800 °C) au sein d'une atmosphère contrôlée dans laquelle les polluants vont se volatiliser. En raison de son efficacité, c'est la méthode de régénération la plus largement utilisée. Cependant le procédé est très coûteux car il nécessite l'achat de fours, et son rendement en masse est faible avec des pertes de l'ordre de 7 à 10 %. L'utilisation de fours électriques permet de réduire ces pertes.

**Régénération chimique** -- Elle est basée sur le pouvoir dissolvant qu'ont divers réactifs chimiques vis-à-vis des matières organiques saturant le charbon. Le procédé est utilisé à une température de 100 °C et avec un pH élevé. L'avantage de cette méthode réside dans la minimisation des pertes de charbons (environ 1%) (Lenntech, 2004). Elle peut aussi être appliquée à des charbons non régénérables thermiquement. Ce type de régénération est particulièrement intéressant pour les charbons utilisés dans le traitement des effluents industriels. Par contre, il ne semble pas très intéressant pour les eaux potables en raison des

traces de solvant qui subsistent et qui peuvent donner à l'eau une légère saveur. (RICHARD Y., 1970s)

**Régénération biologique** -- Elle utilise la capacité épuratoire de la vie microbienne installée à l'intérieur du charbon. Celle-ci peut éventuellement être stimulée par aération et addition de substances nutritives. Ce procédé reste cependant d'un intérêt limité car il n'est utilisable que pour des charbons saturés en substances biodégradables, ce qui est rarement le cas en eau potable. Par ailleurs, une bonne partie des produits de la biodégradation restent adsorbés sur le charbon et il faut, après un certain nombre de régénérations biologiques, passer de toutes manières par une réactivation efficace. (Y.RICHARD, 1970s) Cette méthode de régénération n'a pas encore été appliquée à l'échelle industrielle.

Le choix d'un charbon régénérable est dicté par des considérations économiques. Il est actuellement difficile de détruire le charbon après utilisation. A l'avenir, la majeure partie du charbon utilisé pour traiter les eaux potables pourra être régénérée grâce au développement de la technologie de régénération. Actuellement, seul le CAG est régénérable car le CAP est difficile à récupérer après chaque utilisation. En général, la régénération du charbon actif est réalisée par les fabricants. Si les volumes de charbon sont suffisants, il est intéressant pour les utilisateurs de réaliser la régénération sur place qui permettra de réduire les coûts liés au transport.

La régénération du charbon actif peut permettre d'économiser jusqu'à 50% du coût global du charbon. (EPA, 2000) Les matériaux régénérés sont souvent moins chers que les nouveaux, mais ils nécessitent l'utilisation d'équipements supplémentaires.

Il est important de signaler toutefois que les régénérations successives dégradent le charbon actif jusqu'à atteindre le point d'équilibre. Ce point détermine la performance du système à long terme. Un charbon régénéré est mélangé à du charbon neuf à 10-20 % afin que ses caractéristiques soient proches de ce qu'elles étaient auparavant. Le nombre de régénérations doit être limité à moins de cinq, car le processus dégrade les propriétés du charbon qui, en particulier, peut devenir friable. (GEDO, 2004)

Le tableau ci-dessous liste les caractéristiques principales des charbons actifs constitués de différents matériaux :

Propriétés	CA de houille	CA du bois (CAP)	CA de noix de coco	CA de lignite
<b>Micropores (nombre)</b>	fort	faible	fort	moyen
<b>Macropores (nombre)</b>	moyen	fort	faible	fort
<b>Dureté</b>	forte	faible	forte	faible
<b>Densité</b>	0.48 g/cm <sup>3</sup>	0.35 g/ cm <sup>3</sup>	0.48 g/ cm <sup>3</sup>	0.4 g/ cm <sup>3</sup>
<b>Indice d'iode</b>	1000	1000	1100	600
<b>Teneur en cendres</b>	10%	5%	5%	20%
<b>Mode de fabrication</b>	physique	chimique	physique	physique
<b>Régénération</b>	bonne	non réalisable	bonne	mauvaise

Tableau 2 : caractéristiques principales des charbons actifs en fonction du matériau d'origine (Carbochem, 2004)

## DOMAINES D'APPLICATION ET PERFORMANCES

### O TRAITEMENT DES EAUX

On utilise le charbon actif pour traiter les eaux potables, les eaux usées, les eaux résiduelles industrielles, ainsi que les eaux de piscine, etc...

Selon les types d'eaux à traiter, le charbon actif est employé principalement de deux façons :

- en suspension, dans le cas du charbon actif en poudre,



- comme lit filtrant, dans le cas du charbon actif en grains.

Le charbon actif en poudre est souvent utilisé comme moyen très efficace de lutter contre les épisodes de pollutions accidentelles et saisonnières (algues toxiques, pesticides, couleur etc...) (PICA, 2004), alors que le charbon actif en grain est principalement appliqué dans les cas suivants :

- le traitement d'affinage ;
- le traitement par adsorption d'un polluant spécifique : pesticides, solvants chlorés, etc... ;
- la déchloration ;
- la réduction des goûts et des odeurs ;
- le support biologique : nitrification, déferrisation, démanganisation.

Les facteurs qui influencent l'activité du charbon actif dans le traitement de l'eau sont (Lenntech, 2004) :

- le type de composé à supprimer (les composés qui ont un poids moléculaire élevé et une faible solubilité sont mieux adsorbés) ;
- la concentration du composé à supprimer (plus la concentration est élevée, plus la consommation de charbon est grande) ;
- la présence d'autres composés organiques qui vont être en concurrence avec les sites d'adsorption disponibles ;
- le pH de l'eau (par exemple, les composés acides sont mieux adsorbés à pH faible) ;
- la température de l'eau.

Lors d'un traitement à l'échelle industrielle, on obtient de meilleures performances sur du charbon actif en grains que sur du charbon en poudre. (RAVARINI P., 2004.) On évite souvent le charbon actif en grain à base de noix de coco ou de bois pour privilégier celui à base de houille qui est moins cher.

### **O TRAITEMENT DE L'AIR**

Aujourd'hui, la réglementation environnementale devient de plus en plus stricte sur la qualité de l'air émis par les industries. Elles utilisent donc le charbon actif pour récupérer les solvants et les hydrocarbures volatils dans l'air. Le charbon actif est également utilisé pour la désodorisation de l'air. L'utilisation du charbon actif à base de noix de coco est assez répandue pour la purification de l'air.

Les facteurs qui influencent l'activité du charbon actif pour le traitement de l'air sont (Lenntech, 2004) :

- le type de composés à supprimer : en général, les composés ayant un grand poids moléculaire, une basse pression de vapeur saturante, un point de fusion élevé et un indice de réfraction élevé sont les mieux adsorbés ;
- la concentration : plus la concentration est élevée, plus la consommation de charbon est grande ;
- la température : plus la température est basse, meilleure est la capacité d'adsorption ;
- la pression : plus la pression est élevée, meilleure est la capacité d'adsorption ;
- l'humidité : plus l'humidité est faible, meilleure est la capacité d'adsorption.

### **O AGRO-ALIMENTAIRE**

Dans le secteur agro-alimentaire, le charbon actif est principalement utilisé pour décolorer et purifier des sirops de sucre et de glucose, des acides (citrique, tartrique et lactique), des huiles de table, des aromates alimentaires, des vins et vermouths etc...

## **O CHIMIE, PETROCHIMIE**

Le charbon actif est utilisé pour la purification de produits (chimiques, organiques et minéraux...), la désulfuration du gaz naturel et des hydrocarbures. Le charbon actif utilisé comme support de catalyseur devient de plus en plus répandu dans ce domaine. Pour ce type d'application, le charbon actif doit avoir une forte résistance mécanique.

## **O AUTRES**

- La force d'adsorption du charbon actif le rend intéressant pour purifier de nombreux produits pharmaceutiques (antibiotiques, vitamines, paracétamol...);
- Il est aussi largement utilisé dans l'exploitation minière pour la récupération d'or. L'utilisation du charbon actif facilite grandement l'extraction d'or quand sa teneur est faible (quelques ppm).
- Pendant la première guerre mondiale, le charbon actif était utilisé dans les masques à gaz. Aujourd'hui, la prolifération récente des armes chimiques entraîne le recours massif au charbon actif dans les équipements de protection.

## **ASPECTS REGLEMENTAIRES**

Plusieurs normes ou standards sur la vente et l'utilisation des charbons actifs existent : par exemple CEN, EurPh en Europe, NSF, NIOSH et USPh aux Etats-Unis. (PICA, 2004)

En France, conformément aux dispositions de l'article R\*.1321-48 du Code de la santé publique, l'utilisation de produits et procédés de traitement d'eau destinée à la consommation humaine est soumise à autorisation du Ministre chargé de la santé, prise après avis de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA). Un arrêté à paraître doit définir les conditions d'autorisation de ces produits et procédés de traitement.

Dans l'attente de l'élaboration de cet arrêté, la « Circulaire DG 5/VS 4 n°2000-166 du 28 mars 2000 relative aux produits de procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine » (Circulaire DG 5/VS 4, 2000) liste les produits et procédés de traitement d'eau autorisés. Parmi ces produits, figurent les charbons actifs.

Ainsi, l'utilisation de charbon actif, en poudre et en grains, est autorisée par le Ministère chargé de la santé pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine, sous réserve qu'il respecte les dispositions des normes NF EN 12915 et 12903. Si un industriel souhaite mettre sur le marché un CA non conforme à cette norme, il doit déposer une demande d'autorisation auprès du Ministère de la santé qui évaluera sa demande au cas par cas. Cette norme, réalisée par des industriels, porte essentiellement sur des critères de pureté des charbons mais ne porte pas sur la mesure de leur efficacité.

L'autorisation des CA repose sur l'engagement des industriels quant à la conformité de leurs produits à la norme autorisée. L'administration ne dispose pas de système de contrôle de la conformité des CA. Toutefois, les DDCCRF (Direction Départementale de la Consommation, de la Concurrence et de la Répression des Fraudes) et les douanes peuvent être amenées à les contrôler et ont le pouvoir de verbaliser en cas d'infraction, notamment pour publicité mensongère.

Les distributeurs d'eau souhaitant utiliser du CA peuvent être, quant à eux, amenés à définir des exigences de qualité encore plus strictes que celles définies réglementairement, via leur cahier des charges.

## REFERENCES DES CHARBONS ACTIFS DISPONIBLES SUR LE MARCHE FRANÇAIS ET CHOIX D'UN CHARBON ACTIF

### O LES CHARBONS ACTIFS UTILISES EN FRANCE

Entreprise	Origine	Matériaux constitutifs	Application principale	Commentaires
PICA	France	Noix de coco, houille, bois	Traitement de l'eau et de l'air	
CECA	France	Bois	Purification de liquide, séparation de gaz, récupération de solvant	
CARBOTEC	France		Eau, fumée, adsorption de COV <sup>1</sup>	Fabriqué en Indonésie et en Inde
SALVADIS	France	Noix de coco, charbon		Capacité de production 10000 t/an, prix de vente : 800 à 2000€/t
CHEMVIRON	USA	Charbon	Traitement de l'eau, purification de l'air, agro-alimentaire, protection personnelle	1 à 25€/kg
PENTEK	USA	Houille, noix de coco, bois		Produit en cartouche
NORIT	Hollande	Houille, noix de coco, bois	Traitement de l'eau, agro-alimentaire, récupération d'or, adsorption de gaz	
JACOBI	Angleterre	Houille, noix de coco, bois	Eau, air, chimie et exploitation minière	Fabriqué en Chine, en Malaisie ; tarif relativement faible
DESOTEC	Suisse	Houille, noix de coco, bois	Traitement de l'eau et de l'air, élimination de polluants organiques	Produit en Chine, contrôlé en Belgique. 1-3.5€/kg
NICHIAS	Japon	Bois, zéolithe		Spécial pour traitement de fumée, pas de fabricant français
SEIBU	Danemark	Bois, zéolithe		

Tableau 2: références des fabricants (Pollutech LYON, 2004)

En France, PICA, CECA, CHEMVIRON et NORIT sont les 4 marques assez connues par les traiteurs d'eau. JACOBI est une marque relativement récente, qui applique, pour le charbon actif destiné au traitement de l'eau potable, des tarifs plus faibles que ses concurrents.

Le prix du CA est en fonction du matériau constitutif et de l'application souhaitée. Il est difficile d'obtenir des données sur son prix. La plupart des fabricants et des utilisateurs ne souhaitent pas le communiquer par contrainte de la concurrence. En général, le charbon actif à base de houille coûte moins cher que celui à base de noix de coco et de bois.

En France, le charbon actif en grain destiné au traitement de l'eau coûte aux alentours de 450 – 550 €/m<sup>3</sup> en vrac, et 1000 €/m<sup>3</sup> en « bigbag » de 25 kg. Le charbon actif régénéré coûte deux fois moins cher qu'un CA neuf, environ 370 à 460 €/m<sup>3</sup>, y compris le transport. Quant au charbon actif en poudre, son prix est d'environ 850 €/T.

### O LES CRITERES DE CHOIX DU CHARBON ACTIF POUR UN CLIENT

Pour choisir un charbon actif, le client doit se baser sur une fiche technique standard fournie par le fabricant qui décrit toutes les caractéristiques principales de ce produit. Mais sur cette fiche, les paramètres principaux de différents produits destinés à une application donnée sont généralement peu différents entre eux.

Le client peut faire des essais pilotes dans son laboratoire. Il choisira un produit ayant des caractéristiques d'adsorption satisfaisantes, de granulométrie en accord avec ses spécifications, et de résistance mécanique conforme avec le procédé mis en œuvre. Par exemple, pour le CAG dans les filtres, la résistance à l'abrasion est un paramètre important pour permettre des lavages périodiques du filtre.

<sup>1</sup> COV : Composés organiques volatiles

## PERSPECTIVE

### O LES INNOVATIONS

En ce qui concerne l'innovation, deux tendances existent. L'une est d'inventer de nouveaux produits, ce qui se traduit par la recherche des nouveaux matériaux constitutifs ayant des nouvelles caractéristiques.

L'autre axe de progrès est d'optimiser la performance des produits existants. Par exemple, la technique d'imprégnation est très utilisée. L'imprégnation des charbons avec des métaux ou des sels minéraux permet d'obtenir une forte sélectivité et d'augmenter la capacité d'adsorption. L'imprégnation d'un métal spécial peut aussi faciliter le remplacement et la régénération du charbon actif saturé. Par exemple, un charbon actif imprégné de fer d'une manière spéciale, est soumis à un champ magnétique lors de la saturation. Ce champ permet d'extraire et remplacer le charbon chargé en polluant. Ce procédé évite les processus classiques de régénération qui sont en général fastidieux et coûteux. (CIRAD, 2004)

### O LE DEVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE DU CHARBON ACTIF : EXEMPLE DE LA CHINE

Dès les années 80, les grands fabricants ont eu tendance à délocaliser leurs usines de fabrication en Chine et dans les autres pays asiatiques, parce que les prix de la matière première et de la main-d'œuvre y sont faibles. Beaucoup de fabricants de charbon actif ont actuellement une source d'approvisionnement en Chine. Les produits sont ensuite analysés et contrôlés dans leur laboratoire pour assurer la qualité finale du produit.

L'industrie du charbon actif en Chine est répartie en 2 catégories : le charbon actif à base de bois dans le sud de la Chine notamment les provinces de Fujian et Jiangxi, et le charbon actif à base de houille dans le nord de la Chine, en particulier dans les provinces de Ningxia et Shanxi. La production de charbon de noix de coco dans les régions de Beijing, Hainan et Jiangsu est limitée aux alentours de 10 000 T/an du fait du manque de matière première.

Les produits chinois ne sont pas reconnus dans le monde, et il y a peu de retour sur leur efficacité. Toutefois, un fabricant chinois a fait observer que la qualité du charbon actif n'est pas stable dans sa durée de vie. Pour comparer l'efficacité des produits qui viennent de Chine et ceux fournis par un fabricant connu, il faut une étude à long terme sur la capacité d'adsorption.

Ces dernières années, la capacité de production du charbon actif de la Chine est de 200 000 T/an, dont 100 à 150 000T pour l'exportation, destinée principalement au Japon, aux Etats-Unis, à l'Asie Sud-est, et à l'Europe. En revanche, la Chine importe du charbon actif en quantité considérable du Japon, des Etats-Unis etc. Elle importe notamment les produits de haut niveau qu'elle n'est pas capable de fabriquer elle-même actuellement. Le tableau ci-dessous donne les principaux flux de charbon actif en Chine en 2004 (à la date d'août 2004)

Exportati on	Destination	Quantité (T)	Prix moyen (\$/T)	Importati on	Pays source	Quantité (T)	Prix moyen (\$/T)
	Japon	6968010	580.21		USA	129572	1489.69
USA	3372965	478.71	Japon	91664	7746.27		

	Corée	1937518	571.36		<b>France</b>	6825	3423.44
	Hollande	1904762	481.58		Total*	409876	3165.19
	<b>France</b>	469	439.23	*La quantité totale tient compte de la part destinée aux autres pays pour l'exportation ainsi que la part provenant des autres pays par l'importation.			
	Total*	20315771	527.06				

Tableau 3 : Exportation et Importation du charbon actif en Chine, 2004

L'Europe est un client important du charbon actif chinois, mais avec une politique de taxation élevée (relativement hostile qui taxe 323 €/T de produit importé), la part destinée à l'Europe est limitée aux alentours de 30 000 T/an. Et ce chiffre n'évoluera sans doute pas dans les années à venir si ce système de taxation se maintient (LI Delong, 2003).

Le prix du charbon actif sur le marché chinois intérieur varie beaucoup en fonction du matériau constitutif et de son application. Par exemple, le charbon actif de noix de coco dans l'application agro-alimentaire et pharmaceutique coûte entre 750 et 850 €/T ; celui pour la récupération d'or coûte entre 700 et 1 100 €/T ; et celui pour le traitement de l'eau potable varie entre 600 et 1 100 €/T. Si on achète une quantité importante de CA, une réduction de l'ordre de 40% est négociable. Le prix de l'exportation est confidentiel et n'est pas communiqué par les fabricants chinois.

## BIBLIOGRAPHIE

- HSE Environmental Engineering Consulting, [mis à jour en 2005]. Activated carbon. HSE, Xiamen, China. [en ligne], disponible sur : <[http://www.made-in-china.com/products/show/freemember/prod/jU4MzgyM/mic/Chemicals\\_Activated\\_Carbon.html](http://www.made-in-china.com/products/show/freemember/prod/jU4MzgyM/mic/Chemicals_Activated_Carbon.html)> [consulté le 10/11/2004]
- AMARA F., 2000, Mise en conformité des sites à non-conformités récurrentes en pesticides --Traitement des pesticides par adsorption sur charbon actif en grain. Rapport de stage. Montpellier, ENGREF. P14-18 et P 22
- BONNELYE V., MOLES J., 2004. Ingénieurs à Degremont, Paris. Entretien du 07/12/2004.
- Carbochem, 2004. Activated carbon 101[en ligne]. Disponible sur : <<http://www.carbochem.com> > [consulté le 20/11/2004]
- CECA. [mis à jour en 2004]. Charbons actifs [en ligne]. Disponible sur : <[http://www.ceca.fr/ceca/fr/elf\\_business\\_2.cfm?droite=solutions/produits/d\\_liste.cfm?type=produit](http://www.ceca.fr/ceca/fr/elf_business_2.cfm?droite=solutions/produits/d_liste.cfm?type=produit)> [consulté le 05/12/2004]
- CHEMIRON, [mis à jour en 2004]. Activated carbons.Chemiron, Feluy (Belgium) . [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.chemvironcarbon.com/carbon/activatedcarbon.htm>> [consulté le 15/12/2004]
- CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), 2004. Un charbon actif ferromagnétique contre la pollution. VIP Valorisation & Innovation en Partenariat. Sep 2004, N°1, P3. [en ligne]. Disponible sur: <[http://www.cirad.fr/fr/prest\\_produit/pdf/vip/vip1.pdf](http://www.cirad.fr/fr/prest_produit/pdf/vip/vip1.pdf)> (consulté en février 2005)
- Direction Générale de la Santé, Bureau de l'Eau, 2000. Circulaire DG 5/VS 4 n° 2000-166 du 28 mars 2000 relative aux produits de procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Paris, Ministère de la Santé [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.sante.gouv.fr/adm/dagpb/bo/2000/00-14/a0141021.htm>> [consulté le 25/11/2004]
- CPL Carbon Link, [mis à jour en 1998]. A global force in activated carbon technology [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.activated-carbon.com/carbon.html>>
- EPA, 2000. Granular Activated Carbon Absorption and Regeneration. EPA832-F-00-017, Wastewater Technology Fact Sheet. Sep.2000. [en ligne]. Disponible sur: [http://www.epa.gov/owm/mtb/carbon\\_absorption.pdf](http://www.epa.gov/owm/mtb/carbon_absorption.pdf) (consulté en février 2005)
- Gagnard O., technicien au CIRSEE SUEZ, Paris. Entretien du 19/11/2004.
- GEDO. [mis à jour en 2000] Traitement de l'eau, fiches conseil. Gedo, Marseilles. [en ligne]. Disponible sur: <http://www.gedo.fr/ficheconseil/traiteau/guidee.htm> [consulté le 10/11/2004]
- Glucina K., 2004, ingénieur au CIRSEE SUEZ, Paris. Entretien du 09/11/2004.
- Henning K.-D. et Schäfer S., 1992 . Impregnated activated carbon for environmental protection. Essen, Germany, CarboTech-Aktivkohlen [en ligne]. Disponible sur : <http://www.activated-carbon.com/enviro.html> < [consulté le 15/11/2004]
- HERAULT S., 2004. Ministère de la Santé, Montpellier. Entretien du 25/11/2004.

- JACOBI, [mis à jour en 2003]. Our carbons [en ligne]. Disponible sur : <[http://www.jacobi.net/code/our\\_products.asp](http://www.jacobi.net/code/our_products.asp)> [consulté le 20/12/2004]
  - JAMIN E., 2004. Responsable technique de l'usine d'incinération OCREAL, Lunel-viel. Entretien du 29/11/2004.
  - LENNTECH.[1] Adsorption/Charbon actif [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.lenntech.com/français/adsorption.htm>>;
- LENNTECH.[2] Charbon actif sous forme de poudre ou de grains [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.lenntech.com/français/charbonactif-grain-poudre.htm>>
- LENNTECH.[3] Régénération / Charbon actif [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.lenntech.com/français/charbonactif-regeneration.htm>> [consulté le 20/12/2004]
- LI Delong, 2003. L'analyse du marché chinois sur l'export du charbon actif [en ligne]. Disponible sur : <[http://www.ccc100.com/chs/Article\\_Print.asp?ArticleID=461](http://www.ccc100.com/chs/Article_Print.asp?ArticleID=461)> [consulté le 20/12/2004]
  - LOÏR J-L., 2004, Responsable de l'UPEP de Vigneux, SUEZ. Paris. Entretien du 20/11/2004.
  - NORIT Activated Carbon, Une introduction. Applications principales [en ligne]. Amersfoort, The Netherlands, Norit. Disponible sur : < <http://www.norit.fr/>> [consulté le 20/12/2004]
  - PICA. PICA ACTIVATED CARBONS: A MATTER OF SKILL, AN INDUSTRIAL COMPANY FOCUSED ON ACTIVATED CARBONS [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.picacarbon.com/indexeng.htm>> [consulté le 12/12/0/2004]
  - Pollutec LYON. 30/11/2004, visite des stands : CHEMVIRON, DESOTEC, JACOBI, Lab, LN industries SA, CTP air pollution control, Delta NEU, Aqua Tech, Europe Environnement, PENTEC (USA), Salvadis, Metaux et Chimie, Silex International
  - RAVARINI P., 2004. Traitement des eaux de consommation --Adsorption (Charbon Actif). In : Gestion de l'eau dans la collectivité. Support du cours, Montpellier, ENGREF.
  - RICHARD Y., FIESSINGER F., 1970. chapitre 1 " le choix du charbon " ; chapitre 3 "la régénération du charbon". In : la technologie du traitement des eaux potables par le charbon actif granulé, Techniques et sciences municipales, N°7,8,9 et 10.
  - ROSANO, 2004, SAUR France, usine de Vaugurières le bas, Montpellier. Entretien du 11/2004

## TECHNICAL SYNTHESIS

# A COMPARATIVE STUDY ON ACTIVATED CARBON

**Jinyan LU**

E-mail: [lu@engref.fr](mailto:lu@engref.fr)

February 2005

**ENGREF Centre de Montpellier**  
B.P.44494 –  
34093 MONTPELLIER CEDEX 5  
Tél. (33) 4 67 04 71 00  
Fax (33) 4 67 04 71 01

**OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU – SNIDE**  
15, rue Edouard Chamberland  
87065 LIMOGES Cedex  
Tél (33) 5 55 11 47 47  
Fax (33) 5 55 11 47 48



## **ABSTRACT**

Activated carbon is well known for its strong adsorptive capacity and is applied in many fields. Its properties and efficiency depend on the raw material. So the choice of an activated carbon adapted to certain applications is fundamental for its proper performance.

Within the carbon industry there is currently a tendency to relocate from America to southern Asia, especially China. Most of manufacturers of activated carbon now have a facility in China. In the near future, the Chinese carbon industry will see rapid development.

## **KEY WORDS**

activated carbon (AC), granular activated carbon (GAC), powder activated carbon (PAC), raw material, porosity, adsorption, special surface, mechanical resistance, density, regeneration , water treatment

## SUMMARY

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>GENERAL KNOWLEDGE ON ACTIVATED CARBON</b> .....	<b>4</b>
O WHAT IS ACTIVATED CARBON? .....	4
Definition.....	4
Raw materials .....	4
Properties .....	4
Forms .....	5
O HOW IS ACTIVATED CARBON MANUFACTURED? .....	6
O HOW DOES ACTIVATED CARBON FUNCTION? .....	6
O HOW IS ACTIVATED CARBON REGENERATED? .....	7
<b>APPLICATIONS AND PERFORMANCES</b> .....	<b>8</b>
O WATER TREATMENT .....	8
O AIR TREATMENT .....	9
O FOOD INDUSTRY .....	9
O CHEMISTRY AND PETROL CHEMISTRY .....	9
O OTHERS .....	9
<b>STANDARDS AND REGULATIONS ON ACTIVATED CARBON</b> .....	<b>9</b>
<b>ACTIVATED CARBON USED IN FRANCE AND CRITERIA FOR ITS CHOICE</b> .....	<b>10</b>
O ACTIVATED CARBON USED IN FRANCE .....	10
O HOW DO USERS CHOOSE THEIR ACTIVATED CARBON? .....	10
<b>PERSPECTIVE</b> .....	<b>10</b>
O INNOVATIONS .....	10
O THE DEVELOPMENT OF THE ACTIVATED CARBON INDUSTRY : CHINA – A CASE STUDY .....	11
<b>BIBLIOGRAPHY</b> .....	<b>12</b>

## INTRODUCTION

Activated Carbon has been famous in relation to water treatment for 2000 years. It was first produced commercially at the beginning of the 20th century and was mainly used to decolorize sugar. Then from 1930, it was used for water treatment to remove taste and odor. However, at that time, activated carbon was only available in powder form. Granular activated carbon was first developed as a consequence of the First World War, in relation to gas masks.

From then on, activated carbon has been used subsequently for:

- water treatment;
- air purification;
- pharmaceuticals;
- mining etc.

## GENERAL KNOWLEDGE ON ACTIVATED CARBON

### O WHAT IS ACTIVATED CARBON?

#### Definition

Activated carbon is a crude form of graphite, and has a random imperfect structure, which is highly porous. Activated carbon is in the form of piles of successive layers of regular hexagon carbon atoms.

#### Raw materials

Activated carbon can be produced from a variety of carbonaceous raw materials, the primary ones being coal, wood, coconut shells and lignite for economical reasons. According to the raw material, activated carbon is also distinguished as vegetal and mineral.

#### Properties

A variety of parameters are used to describe a certain activated carbon and characterize its performance. They are as follows:

- **Pore size distribution** -- The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) defines the pore size distribution as:

Micropore < 1nm (1nm=10<sup>-9</sup> m)  
Mesopore 1 – 25 nm  
Macropore > 25nm

The total pore size is between 0, 5 and 1 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> (between 50 and 70% in volume).

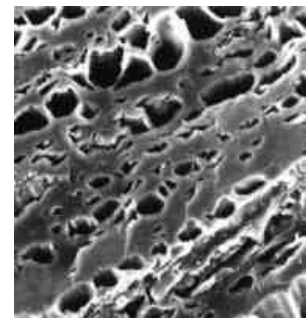


Figure 1: view of pore structure

- **Surface area** -- it is the extent of the pore surface developed within the matrix of the activated carbon. As the pore size is important, the surface area is correspondingly huge: between 500 and 1 500 m<sup>2</sup>/g. The surface area is mainly created by micropores and mesopores, the adsorptive ability of activated carbon is proportional to it.
- **Particle size distribution** – influences adsorption speed (the finer the particle size of an activated carbon, the better the access to the surface area and the faster the rate of adsorption kinetics) as well as the pressure drop across the carbon filtering bed.
- **Hardness** –indicates the mechanical resistance of activated carbon to attrition, and its ability to withstand frictional forces imposed by backwashing.

- **Bulk Density** – the more the carbon is activated, the lighter it be. Density is an indicator of activation level. It is a key factor for the use of GAC and it affects the overall cost of the purchase of activated carbon. Generally speaking, the density of the activated carbon for water treatment is between 0.20 and 0.55 g/cm<sup>3</sup>, and experience shows that when the density is more than 0.35 g/cm<sup>3</sup>, the activated carbon filters function better. (RICHARD Y., 1970s)
- **Iodine number** – this indicator gives a reference of carbon’s adsorptive capacity by measuring its ability to adsorb iodine molecules. It is proportional to the number of micropore content. The bigger the iodine number, the better the activation level and the stronger its adsorptive capacity.
- **Ash content** – is important because it may disturb the application of activated carbon. When activated carbon is used for water treatment, ash content has to be as small as possible, especially when the water is hard. It should not surpass 10% in any case. (RICHARD Y., 1970s)

### Forms

There are two main forms of activated carbon: powder activated carbon and granular activated carbon.

**Powder Activated Carbon (PAC)** – this is a pulverized carbon with a size predominantly between 10 and 50 μm. It is mainly used in water treatment as well as flue gas treatment. When it is applied in water treatment, it is always used in combination with a clarificator in order to increase the contact time between water and the carbon. (Lenntech, 2004)

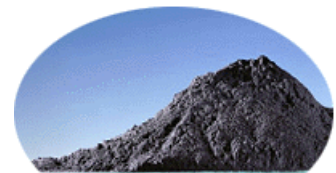


Figure 2: powder activated carbon

**Granular Activated Carbon (GAC)** – this is a kind of irregular shaped particles with sizes ranging from 0.2 to 5 mm. It’s used mainly to eliminate organic micro pollutants and organic materials polluted water. It’s also used in air treatment. The physical characteristics of GAC vary considerably according to its raw material and fabrication procedures.



Figure 3: granular activated carbon

This table shows the advantages and disadvantages of PAC compared with GAC:

<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAC is cheaper than GAC;</li> <li>• The use of PAC is flexible, supplementary quantities can be added when necessary;</li> <li>• Adsorption by PAC is rapid where large contact area is available;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAC cannot be regenerated ;</li> <li>• Large quantity of PAC is needed in order to remove all traces of impurity;</li> <li>• The concentration applicable of PAC is limited to 80 mg/L.</li> </ul>

Table 1: comparison between CAP and CAG (Lenntech, 2004)

There also exists **Pelleted Activated Carbon**, which is extruded and cylindrical shaped with diameters from 0.8 to 5 mm. It is mainly used for gas phase applications because it generates a low pressure drop when gas passes the filter bed. It has high mechanical strength and low dust content. (Chemviron, 2004)

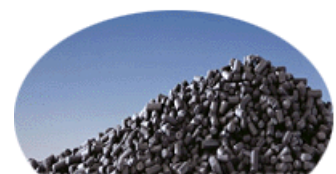


Figure 4: pelleted activated carbon

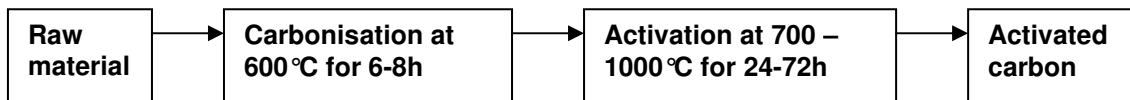
## O HOW IS ACTIVATED CARBON MANUFACTURED?

Depending on the nature and type of raw material available, the desired physical form of the activated carbon and the characteristics required for the intended application, two techniques are principally used by commercial production operations.

**Physical Activation:** This technique contains 2 steps. The raw material is at first carbonized at about 600 °C for between 6 and 8 hours. It is then activated at temperatures between 700 and 1100 °C in the presence of steam (composed of water vapor and CO<sub>2</sub>) for between 24 and 72 h. The reaction is known as the Water-Gas reaction:

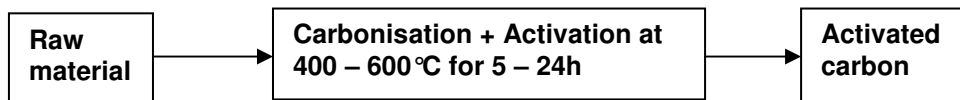


The procedure can be described as follows:



The yield of this technique is relatively weak.

**Chemical Activation:** in this procedure, carbonization and activation take place simultaneously at temperatures between 400 and 600°C. This technique needs the use of chemical agents, typically phosphoric acid (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) or zinc chloride (ZnCl<sub>2</sub>, forbidden in the food industry), as oxidation supporters. These agents can develop the micropores and mesopores by enlarging the pore size. The procedure is described as follows:



The resulted activated carbon of these techniques is graded, screened and de-dusted.

Generally speaking, the physical activation is used for the activation of coal and coconut shell raw material, while the chemical activation is convenient for the activation of wood based raw materials.

## O HOW DOES ACTIVATED CARBON FUNCTION?

It is the adsorptive force that makes activated carbon work. Adsorption is caused by London Dispersion Forces, a type of Van der Waals Force which exists between molecules. (Chemviron, 2004) It is also called physic-sorption.

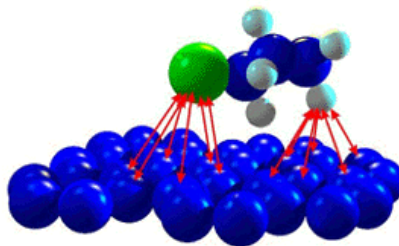
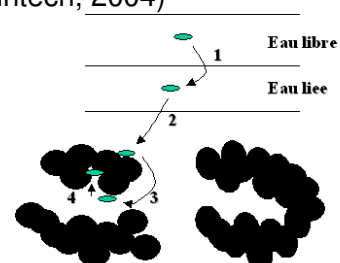


Figure 5: London Dispersion Forces

The mechanism of adsorption lies in the accumulation, on the surface or inside of carbon, of the pollutant molecules contained in the water or in the air. This is achieved by the physical or chemical interaction between the carbon surface and the pollutant molecules.

The adsorption procedure can be broken down into 4 steps: (Lenntech, 2004)

- Transfer of particle in water (rapid);



- Displacements from water to be in contact with carbon (rapid);
- Diffusion inside of carbon as a result of concentration gradient (slow);
- Adsorption into micropore (rapid).

Figure 6: adsorption procedure

The adsorptive ability of a carbon depends on its surface. Usually speaking, the carbon's surface is between 500 and 1500 m<sup>2</sup>/g, convenient for adsorption use.

This kind of adsorption also depends on the concentration and the polarity of the pollutant molecules in the water, the temperature (Lenntech, 2004) and the characters of carbon used.

### O HOW IS ACTIVATED CARBON REGENERATED?

Activated carbon is a valuable commodity that is capable of being recycled. Four methods are available to regenerate saturated carbon:

**Vapor regeneration** – this method is suitable for carbons that have been saturated with volatile pollutants. However, it is equally used to clean off carbon surface as well as to disinfect carbons. (Lenntech, 2004)

**Thermal regeneration** – the regeneration is achieved by pyrolysis or by burning the adsorbed organic materials on the surface of activated carbon. In order to avoid burning the carbon, this operation is carried out in a controlled atmosphere, with a temperature between 500 and 1000 °C so as to volatilize all the adsorbed pollutants and give back to the carbon its original characters. This is the most widely used method. However, thermal regeneration is expensive because it necessitates the purchase of furnaces; carbon loss is significant (as high as between 7 to 10%), but it can be reduced by the use of electrical furnaces.

**Chemical regeneration** – chemical agents are able to dissolve organic pollutants adsorbed by activated carbon. Based on this ability possessed by chemical agents, this procedure takes place at 100 °C with a high pH. The carbon loss can be minimized (about 1%). (Lenntech, 2004). This kind of regeneration can also be applied to carbons that cannot be regenerated by thermal methods and is especially suitable for carbons used in the treatment of industrial effluents. However, it doesn't seem convenient to regenerate the carbons used for potable water production, because it cannot completely remove all traces of solvent that will give a light taste to water. (RICHARD Y., 1970s)

**Biological regeneration** – it is based on the purification ability of the micro life living inside carbons. This ability can be stimulated by aeration or by adding nutritious substances. But this method is quite limited because it can only be applied to the carbons saturated with biodegradable substances, which is rarely the case in potable water production. Besides, a certain part of the biodegradation products remain adsorbed on the carbons, and more efficient regeneration is obliged at the end of several biological regenerations. (RICHARD Y., 1970s) Biological regeneration is not yet applied on an industrial scale.

The use of regenerated carbon is an issue of economical considerations. Nowadays, it's difficult to destroy saturated carbon. In the future, most activated carbon used in potable water production will be renewable with the development of regeneration technologies. At present, only the GAC is renewable because the PAC is difficult to collect after every application. Usually, regeneration is carried out by the manufacturers. But if the quantity is considerable, on-site regeneration will be cost effective because it reduces transport costs.

Carbon regeneration can save up to 50 % of carbon costs. Regenerated material is often less expensive than new adsorbent. But it usually requires additional equipment.

Nevertheless, repeated regeneration degrades the carbon particles until equilibrium is eventually reached providing predictable long-term system performance. Regenerated carbon is

usually mixed with 10 to 20% of new carbon so as to maintain its adsorptive characteristics. Activated carbon can be regenerated no more than five times because regeneration procedures degrade its quality, and make it fragile. (GEDO, 2004)

This table lists the principle characteristics of different activated carbons:

<b>Properties</b>	<b>AC of coal</b>	<b>AC of wood (PAC)</b>	<b>AC of coconut</b>	<b>AC of lignite</b>
<b>Micropores</b>	high	low	high	medium
<b>Macropores</b>	medium	high	low	high
<b>Hardness</b>	High	Low	High	Low
<b>Density</b>	0.48 g/cm <sup>3</sup>	0.35 g/ cm <sup>3</sup>	0.48 g/ cm <sup>3</sup>	0.4 g/ cm <sup>3</sup>
<b>Iodine number</b>	1000	1000	1100	600
<b>Ash content</b>	10%	5%	5%	20%
<b>fabrication</b>	physical	chemical	physical	physical
<b>Regeneration</b>	good	none	good	poor

Table 2: principal characteristics of different activated carbons

## **APPLICATIONS AND PERFORMANCES**

### **O WATER TREATMENT**

Activated carbon is widely used in the treatment of drinking water, wastewater, sewage water as well as swimming water, etc...

According to the type of water to be treated, activated carbon is mainly used in two different ways:

- By suspension, in this case powder activated carbon is used;
- As a filter bed, in this case granular activated carbon is used.

PAC is considered to be the best tool for combating the accidental pollution of water resources and seasonal pollution (algae toxins, pesticides, color, etc...). (PICA, 2004) Whereas GAC is typically used in the following cases:

- Water refineries
- Adsorption of a special pollutant as pesticide, chlorine solvent, etc...
- Dechloration
- Color and odor removal
- Biological support: nitrification, deionization, demanganization...

The efficiency of activated carbon in water treatment is influenced by (Lenntech, 2004):

- The type of contaminant (contaminant with heavy molecular weight and weak solubility is better eliminated);
- Pollutant concentration (the higher the concentration is, the more carbon is needed);
- Existence of other organic pollutants which vie for the available adsorption sites;
- Water pH (e.g. Acid composite is better adsorbed in a weak pH environment);
- Water temperature.

When activated carbon is applied on an industrial scale, GAC shows better results than PAC. (RAVARINI P., 2004.) Coal activated carbon is more effective than both coconut and wood because it is less expensive.

## **O AIR TREATMENT**

Nowadays, environmental regulations are becoming more and more stringent with industries, especially regarding their emissions into the atmosphere. So the latter use activated carbon to recuperate solvents and volatile hydrocarbons in the air. Activated carbon is equally used in air decolorization. Coconut based carbon is widely used in air purification.

The adsorptive efficiency of activated carbon in air treatment depends on (Lenntech, 2004):

- The type of contaminant (generally speaking, contaminant with heavy molecular weight, low vapor pressure, high fusion point and high refraction index is better adsorbed);
- Pollutant concentration (high concentration needs more activated carbon);
- Temperature ( adsorption is better when temperature is low);
- Pressure ( higher pressure results in better adsorption);
- Humidity (it has a negative effect on the adsorptive ability).

## **O FOOD INDUSTRY**

Activated carbon is at the heart of this sector. The production of sugar, acids (citric, tartaric and lactic), edible oil, food additives and wines etc require the use of activated carbon for it removes impurities, colors and odorous compounds and guarantees the taste and the purity of the end products.

## **O CHEMISTRY AND PETROL CHEMISTRY**

Activated carbon is used to purify chemical, organic and mineral products. It is also used for natural gas desulfuration and hydrocarbon purification. Catalyst support is another application of activated carbon which is becoming more and more widely used. For this purpose, activated carbon with very high hardness is required:

## **O OTHERS**

- Its strong adsorptive power makes activated carbon capable of purifying numerous pharmaceutical products such as antibiotics, vitamins, paracetamol...;
- Activated carbon is widely used in mining. It is pivotal in mining operations where the gold content in the ore is very low (less than a few ppm);
- Since the First World War, activated carbon has been used in masks for personal protection. Today the numerous chemical agents used in warfare and industrial sites necessitate the use of activated carbon at an even larger scale.

## **STANDARDS AND REGULATIONS ON ACTIVATED CARBON**

There are several standards and regulations concerning the sale and use of activated carbon: GEN and EurPh are applicable in Europe; NSF, NIOSH and USPh in America. (PICA, 2004)

In France, the use of activated carbon for water treatment is listed in a circular relating to products used for drinking water treatment. (Circulaire DG 5/VS 4, 2000). The Minister of Health authorizes the use of GAC and PAC to treat potable water, on the condition that they comply with the norm NF EN 12915. This norm, realized by industries, is essentially about the purity criteria of products but not the measurement of their efficiency. If an industry wants to commercialize an activated carbon not conforming to this norm, it has to ask the Minister for permission, and the latter will study the application on a case by case basis.

Authorisation on the use of carbon rests on the commitment of any industry. The civil service doesn't have any system to control the conformity of activated carbon. Nevertheless, the DDCCRF (departmental direction about consumption, competition and the suppression of fraud) and customers can be asked to check it when necessary. Customers who use activated carbon can further define their requirements on carbon's quality, which are usually much stricter than the norm cited above.



## ACTIVATED CARBON USED IN FRANCE AND CRITERIA FOR ITS CHOICE

### O ACTIVATED CARBON USED IN FRANCE

Company	Origin	Raw material	Main applications	commentary
PICA	France	Coconut, coal, wood	Water treatment and air treatment	
CECA	France	Wood	Liquid purification, gas separation, solvent recovery	
CARBOTEC	France		Water treatment, fume, VOC adsorption	Made in Indonesia and India
SALVADIS	France	coconut, coal		Production capacity of 10000 t/an, 800 to 2000 €/t
CHEMVIRO	USA	coal	Water treatment, air purification, food industry, personal protection	1 to 25€/kg
PENTEK	USA	Coconut, coal, wood		Product in cartouche
NORIT	Holland	Coconut, coal, wood	Water treatment, food industry, gold recovery, gas adsorption	
JACOBI	England	Coconut, coal, wood	Water and air treatment, chemistry, mining	Fabricated in China, Malaysia ; price relatively cheap
DESOTEC	Suisse	Coconut, coal, wood	Water and air treatment	Produced in China, controlled in Belgium. 1-3.5 €/kg
NICHIAS	Japan	wood, zeolite		Special for fume treatment, no manufacturer in France
SEIBU	Denis	Wood, zeolite		

Table 2: references of manufacturers (Pollutech LYON, 2004)

In France, PICA, CECA, CHEMVIRO and NORIT are four quite famous brands for the water treatment industry. JACOBI is a relatively new name compared to its rivals, it applies a relatively cheap price on activated carbon used for drinking water production.

The price of activated carbon varies with the raw material used and the desired application and it is difficult to acquire. Most manufacturers and users don't want to communicate their price because of competition. Normally speaking, coal based activated carbon is cheaper than that of coconut or wood.

In France, GAC for water treatment costs about 450 – 550 €/m<sup>3</sup> in bulk, and about 1000 €/m<sup>3</sup> in big bags of 25 kg. Regenerated carbon costs about half of the price of the new product, ranging from 370 to 460 €/m<sup>3</sup> when transport costs are added. As for PAC, it costs about 850 €/T.

### O HOW DO USERS CHOOSE THEIR ACTIVATED CARBON?

In order to choose an activated carbon, the client, according to his requirements, has to base himself on the standardized technical paper provided by the manufacturer, which describes the principle characteristics of the product. But usually, different carbons used for one application have similar parameters.

Customer does pilot tests of activated carbons in his laboratory in order to find the one which has satisfactory characteristics, whose size complies with his specifications and whose mechanical resistance is suitable for his procedures (e.g. in filter bed of GAC, the carbon has to be strong enough to withstand periodical backwash).

## PERSPECTIVE

### O INNOVATIONS

At present, innovation in the activated carbon sector concerns two categories. One is to invent new products by research on new raw materials which will bring in new characters.

The other innovation relies in the performance optimization of existing products. For example, impregnation technology is widely used. This kind of carbon has proven to be more efficient

than the normal one. Carbons impregnated with metals or mineral salts acquire a strong selective ability and adsorptive capacity. Efforts are also being made to facilitate after-use procedures. For example, a carbon with irons finely distributed on their internal surface is being devised. Once it is saturated, it's put into a magnetic field; regeneration is achieved by magnetic force. This procedure is simpler and more cost-effective. (CIRAD, 2004)

### O THE DEVELOPMENT OF THE ACTIVATED CARBON INDUSTRY: CHINA – A CASE STUDY

In the 1980s', instead of producing activated carbon themselves, the big carbon manufacturers tended to relocate their production facilities to China and other Asian countries. Because the raw materials and labor costs there are much cheaper. Many producers now have a source coming from China. Carbons produced in China are then analyzed and controlled in their own countries to check the final quality.

The Chinese activated carbon industry can be divided into 2 main types: one is wood based activated carbon - mainly produced in southern China, especially in the Fujian and Jiangxi provinces; the other is coal based carbon – and produced in the north of China, such as in the Ningxia and Shanxi provinces. Coconut based carbon essentially comes from Beijing, Hainan and Jiangsu. But its output is limited to about 10 000 t /year due to a lack of raw material.

These Chinese carbons still do not enjoy a good reputation in the world, so there is little feedback on their efficiency. However, a certain Chinese carbon has been tried and turned out to have no stable quality during its life span. In order to compare Chinese products with the more famous ones, a long-term study is needed relating to their adsorptive capacity.

During recent years, the Chinese market has a production capacity of 200 000 T/year, of which 100 000 to 150 000T is exported principally to Japan, America, Southeast Asia and Europe. On the other hand, China also imports a large quantity of carbon from Japan, America etc, these are high quality products which China is not yet capable of producing itself. Here is a table, which shows the Chinese imports and exports in 2004 (before August).

	Export			Import	Import		
	Destination	Quantity (T)	Average Price (\$/T)		Source	Quantity (T)	Average Price (\$/T)
	Japan	6968010	580.21		USA	129572	1489.69
	USA	3372965	478.71		Japan	91664	7746.27
	Korea	1937518	571.36		<b>France</b>	6825	3423.44
	Holland	1904762	481.58		Total*	409876	3165.19
	<b>France</b>	469	439.23	* Total quantity includes the parts destined to other countries for export or the parts from other countries for import.			
	Total*	20315771	527.06				

Table 3: Export and Import of activated carbon in China, 2004

Europe should be an important client of Chinese activated carbon, but with its somewhat hostile policy which taxes 323 €/T on imported product, the export quantity to Europe is limited to about 30 000 T/year. This quantity will remain in the near future. (LI Delong, 2003)

Carbon prices within the internal Chinese market vary considerably according to its raw material and application. For example, coconut based carbon for food industry and pharmaceutical use costs 750 to 850 €/T while that for gold recovery is between 700 and 1100 €/T, and that for water treatment costs 600 – 1 100 €/T. If a large quantity is ordered, a reduction of up to 40% is possible. As for export prices, these remain confidential and are not communicated by Chinese producers.

## BIBLIOGRAPHY

- HSE Environmental Engineering Consulting. [updated 2005]. Activated carbon. HSE, Xiamen, China. [online], available on: <<http://www.made-in-china.com/products/show/freemember/prod/jU4MzgyM/mic/Chemicals Activated Carbon.html>> [consulted on 10/11/2004]
- AMARA F., 2000, Mise en conformité des sites à non-conformités récurrentes en pesticides --Traitement des pesticides par adsorption sur charbon actif en grain. Internship report. Montpellier, ENGREF. P14-18 et P 22
- BONNELYE V., MOLES J., 2004. Engineer in Degremont, Paris. Interview on 07/12/2004.
- Carbochem, [updated 2004]. Activated carbon 101[online]. Available on: <<http://www.carbonchem.com> > [consulted on 20/11/2004]
- CECA. [Updated 2004]. Charbons actifs [online]. Available on: <[http://www.ceca.fr/ceca/fr/elf\\_business\\_2.cfm?droite=solutions/produits/d\\_liste.cfm?type=produit](http://www.ceca.fr/ceca/fr/elf_business_2.cfm?droite=solutions/produits/d_liste.cfm?type=produit)> [consulted on 05/12/2004]
- CHEMVIRON. [updated 2004]. Activated carbons [online]. Available on: <<http://www.chemvironcarbon.com/carbon/activatedcarbon.htm>> [consulted on 15/12/2004]
- CIRAD, 2004. Un charbon actif ferromagnétique contre la pollution. VIP Valorisation & Innovation en Partenariat. Sep 2004, N°1, P3. Available on: <[http://www.cirad.fr/fr/prest\\_produit/pdf/vip/vip1.pdf](http://www.cirad.fr/fr/prest_produit/pdf/vip/vip1.pdf)> (consulted in Feb. 2005)
- Direction Générale de la Santé, Bureau de l'Eau, 2000. Circulaire DG 5/VS 4 n° 2000-166 du 28 mars 2000 relative aux produits de procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine, Paris, ministère de la santé. [online]. Available on: <<http://www.sante.gouv.fr/adm/dagpb/bo/2000/00-14/a0141021.htm>> [consulted on 25/11/2004]
- CPL Carbon Link. [updated 1998]. A global force in activated carbon technology [online]. Available on: <<http://www.activated-carbon.com/carbon.html>>
- EPA, 2000. Granular Activated Carbon Absorption and Regeneration. EPA832-F-00-017, Wastewater Technology Fact Sheet. Sep.2000. [online]. Available on: [http://www.epa.gov/owm/mtb/carbon\\_absorption.pdf](http://www.epa.gov/owm/mtb/carbon_absorption.pdf) (consulted in Feb. 2005)
- Gagnard O., technician in CIRSEE SUEZ, Paris. Interview on 19/11/2004.
- GEDO. [updated 2000]. Traitement de l'eau, fiches conseil. Gedo, Marseilles. [online]. Available on: <http://www.gedo.fr/ficheconseil/traiteau/guidee.htm> [consulted on 10/11/2004]
- Glucina K., 2004, engineer in CIRSEE SUEZ, Paris. Interview on 09/11/2004.
- Henning K.-D. et Schäfer S., 1992 . Impregnated activated carbon for environmental protection. Essen, Germany, CarboTech-Aktivkohlen [online]. Available on: <http://www.activated-carbon.com/enviro.html> < [consulted on 15/11/2004]

- HERAULT S., 2004. Ministère de la Santé, Montpellier. Interview on 25/11/2004.
- JACOBI, [ updated 2004]. Our carbons [online]. Available on: <[http://www.jacobi.net/code/our\\_products.asp](http://www.jacobi.net/code/our_products.asp)> [consulted on 20/12/2004]
- JAMIN E., 2004. Responsable technique de l'usine d'incinération OCREAL, Lunel-viel. Interview on 29/11/2004.
- LENNTECH. [1]. Adsorption/Charbon actif [online]. Available on: <<http://www.Lenntech.com/français/adsorption.htm>>;
- LENNTECH. [2]. Charbon actif sous forme de poudre ou de grains [online]. Available on: <<http://www.Lenntech.com/français/charbonactif-grain-poudre.htm>>
- LENNTECH. [3]. Régénération / Charbon actif [online]. Available on: <<http://www.Lenntech.com/français/charbonactif-regeneration.htm>> [consulted on 20/12/24]
- LI Delong, 2003. Chinese market analysis on activated carbon export [online]. Available on: <[http://www.ccc100.com/chs/Article\\_Print.asp?ArticleID=461](http://www.ccc100.com/chs/Article_Print.asp?ArticleID=461)> [consulted on 20/12/2004]
- LOÏR J-L., 2004, chief of l'UPEP de Vigneux, SUEZ. Paris. Interview on 20/11/2004.
- NORIT Activated Carbon, 2004. Une introduction [online]; Applications principales [online]. Amersfoort, The Netherlands, Norit . Available on: < <http://www.norit.fr/>> [consulted on 20/12/2004]
- PICA. PICA ACTIVATED CARBONS: A MATTER OF SKILL, AN INDUSTRIAL COMPANY FOCUSED ON ACTIVATED CARBONS [online]. Available on: <<http://www.picacarbon.com/indexeng.htm>> [consulted on 12/12/0/2004]
- Pollutec LYON. 30/11/2004, visite des stands : CHEMVIRON, DESOTEC, JACOBI, Lab, LN industries SA, CTP air pollution control, Delta NEU, Aqua Tech, Europe Environnement, PENTEC (USA), Salvadis, Metaux et Chimie, Silex International
- RAVARINI P., 2004. Traitement des eaux de consommation --Adsorption (Charbon Actif). In : Gestion de l'eau dans la collectivité. Class support text, Montpellier, ENGREF.
- RICHARD Y., FIESSINGER F., 1970s. chapter 1 " le choix du charbon " ; chapter 3 "la régénération du charbon". In : la technologie du traitement des eaux potables par le charbon actif granulé. Techniques et sciences municipales, N°7,8,9 et 10.
- ROSANO, 2004, SAUR France, usine de Vaugurières le bas, Montpellier. Entretien du 11/2004.