

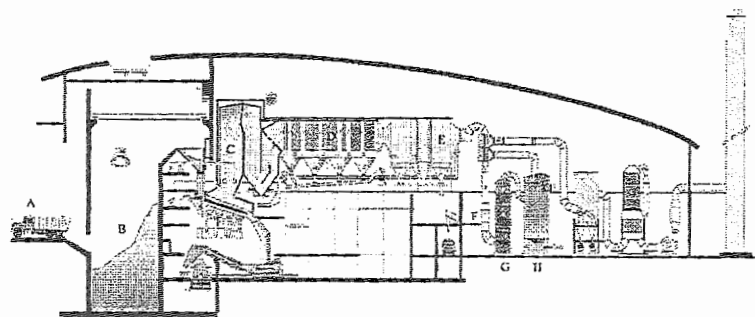
**BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL  
INDUSTRIES DE PROCÉDÉS**

**SESSION 2005**

**ÉPREUVE E1-A1  
ÉTUDE D'UN PROCÉDÉ INDUSTRIEL**

**DOSSIER RESSOURCE**

**DURÉE : 3H**



**COEFFICIENT : 3**

**SOMMAIRE**

**Ce Dossier (hors page de garde) comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8**

## L'INCINÉRATION DE RÉSIDUS URBAINS

### 1 PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ :

Les résidus urbains, autrement appelés déchets ménagers, sont divers et variés.

Une enquête menée sur le canton de Genève montre que la composition moyenne des déchets ménagers en 2002 est :

| <i>Quantités de déchets ménagers jetées annuellement par chaque habitant du canton de Genève</i> |               |              |
|--|---------------|--------------|
| Fraction   | kg/(hab.an)   | %            |
| Métaux ferreux   | 3.41          | 1.46         |
| Métaux non ferreux   | 1.87          | 0.80         |
| Canettes en aluminium  | 0.52          | 0.22         |
| <b>Total emballages métalliques</b>  | <b>5.80</b>   | <b>2.48</b>  |
| Verre  | 18.82         | 8.08         |
| Papier non recyclable  | 18.83         | 8.08         |
| Papier recyclable  | 32.76         | 14.06        |
| Carton   | 10.67         | 4.58         |
| <b>Total papier et carton</b>  | <b>81.08</b>  | <b>34.80</b> |
| Minéraux   | 13.06         | 5.61         |
| Produits naturels organiques   | 2.78          | 1.19         |
| Déchets de cuisine   | 57.03         | 24.48        |
| Déchets de jardin  | 14.12         | 6.06         |
| Textiles   | 3.91          | 1.68         |
| Récipients en plastiques   | 3.14          | 1.35         |
| Bouteilles en PET  | 2.78          | 1.19         |
| Autres plastiques  | 22.89         | 9.83         |
| Emballages composites  | 6.82          | 2.93         |
| Matériels électrique et électronique   | 0.86          | 0.37         |
| Piles  | 0.1           | 0.04         |
| Autres matériaux composites  | 7.41          | 3.18         |
| Couches bébé   | 8.51          | 3.67         |
| Déchets spéciaux   | 0.44          | 0.19         |
| Reste  | 2.22          | 0.95         |
| <b>Total autres</b>  | <b>146.12</b> | <b>62.72</b> |
| <b>Total</b>   | <b>233.00</b> | <b>100</b>   |

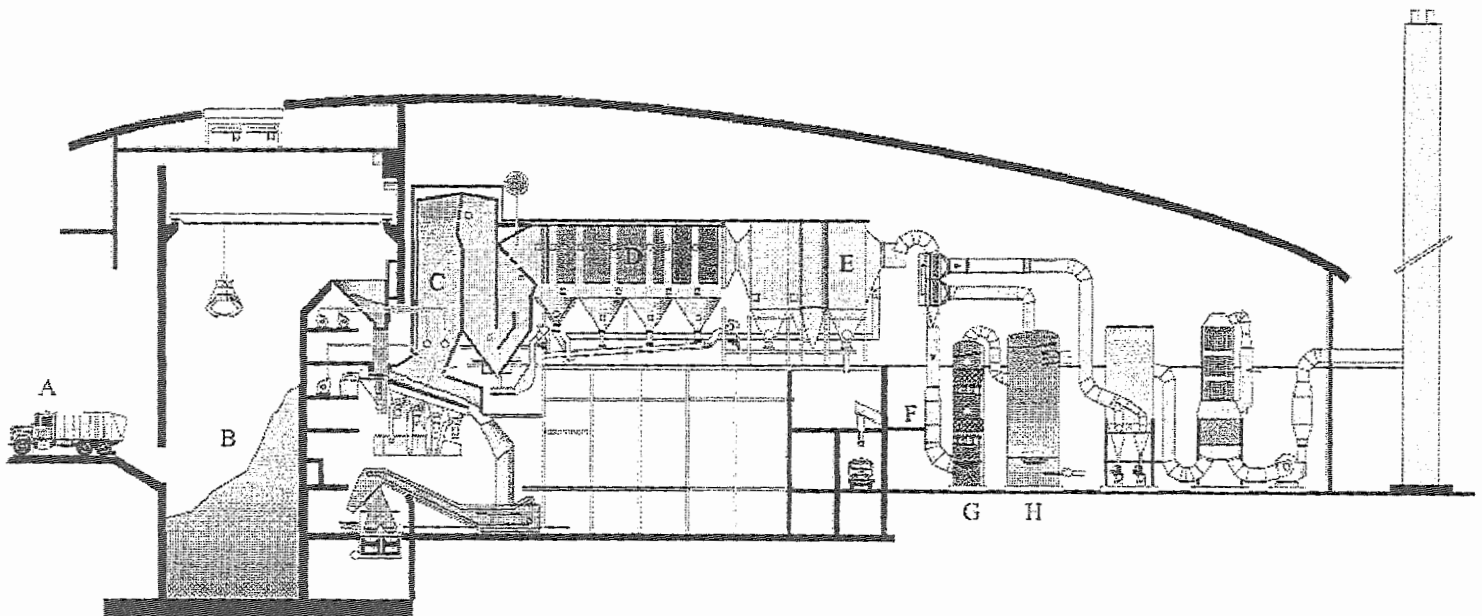
La grande diversité des matières composant les déchets urbains rend le traitement difficile. Il est donc nécessaire de mettre en place un tri des résidus, afin de recycler la plus grande partie et d'incinérer ce qui ne peut être recyclé.

Pour simplifier la suite de l'étude du procédé nous pourrions considérer que les déchets ménagers ont la composition suivante :

|              |                  | % massique | Masse molaire (g/mol) |
|--------------|------------------|------------|-----------------------|
| Carbone      | C                | 24.00      | 12                    |
| Di Hydrogène | H <sub>2</sub>   | 3.00       | 2                     |
| Di Oxygène   | O <sub>2</sub>   | 17.60      | 32                    |
| Di Azote     | N <sub>2</sub>   | 0.60       | 28                    |
| Soufre       | S                | 0.09       | 32                    |
| Di Chlore    | Cl <sub>2</sub>  | 2.04       | 71                    |
| Eau          | H <sub>2</sub> O | 28.14      | 18                    |
| Inertes      | ---              | 24.53      | ---                   |
| <b>Total</b> |                  | <b>100</b> | <b>---</b>            |

### SYNOPTIQUE

Le synoptique de contrôle de l'installation d'incinération des ordures ménagères est le suivant :



- A : camion de collecte et de compactage
- B : zone de décomposition
- C : incinérateur d'ordures
- D : électrofiltre
- E : cyclonage
- F : quench
- G / H : tours de lavage

### 1. Arrivée des ordures

Les déchets ménagers sont collectés et compactés dans les bennes de camions à ordures. Les camions sont pesés à l'entrée et à la sortie de l'entreprise d'incinération. Les déchets sont transportés vers l'incinérateur et déversés dans une gigantesque fosse.

### 2. Fosse à déchets

La fosse est suffisamment grande pour pouvoir alimenter l'incinérateur pendant plusieurs jours. Dedans, les déchets alimentaires et autres déchets organiques se décomposent.

C'est de cette décomposition, que provient l'odeur, que l'on peut souvent sentir aux alentours de certains sites d'incinération. Pour éviter que les odeurs des déchets ne sortent de l'installation, la fosse à ordures est parfois mise sous dépression.

L'air de combustion est aspiré au dessus de la fosse, ce qui permet de détruire les odeurs. Des aérosols biologiques, des microbes et de la poussière sont également générés, lors des déversements.

### 3. Grues de chargement

L'incinérateur est alimenté par un pont roulant et une grue qui permet de prendre les déchets ménagers et de les introduire dans l'incinérateur.

### 4. Trémie d'alimentation

Elle alimente le fourneau en déchets à un rythme contrôlé, sauf quand elle s'obstrue ou que les dames (pilons) tombent en panne, ce qui provoque une mauvaise combustion.

Dans ce cas, des niveaux de dioxines cancérigènes plus élevés que la normale sont également susceptibles d'être générés.

### 5. Grille de l'incinérateur

On a recours à des températures d'au moins 850°C, pour essayer d'empêcher la formation de gaz polluants. Le choix de cette température est un compromis.

Des températures élevées entraînent la formation d'oxydes d'azote, des températures basses de monoxydes de carbone et de dioxines.

Principales réactions au niveau de l'incinération :

✗ Combustion du carbone :



✗ L'acide chlorhydrique (HCl) se forme à partir du chlore contenu dans les déchets (PVC) et des vapeurs issues de l'incinération. La formation apparaît au environ de 200 °C.



✖ Les oxydes de soufre ( $\text{SO}_x$ ) : famille de composés  $\text{SO}_2$  et  $\text{SO}_3$ .

⚡ à partir de 250 °C, le soufre contenu dans les déchets est oxydé en  $\text{SO}_2$  par l'oxygène de l'air de combustion :



⚡ à partir de 300 °C, il y a formation de  $\text{SO}_3$  par oxydation du  $\text{SO}_2$ .



D'autres réactions impliquant l'azote de l'air ont lieu lors de la combustion. En effet, cet azote se combine avec l'oxygène pour donner des  $\text{NO}_x$  : ce que l'on appelle les dioxydes d'azote, mais également l'hydrogène et l'oxygène à ces températures donnent de l'eau, mais afin de simplifier l'étude nous ne tiendrons pas compte ici de ces réactions.

## 6. Chaudières

Les gaz à haute température du fourneau sont utilisés pour générer de la vapeur afin de produire de l'électricité ou distribuer de la chaleur.

## 7. Mâchefers

30% à 35% de ce qui est brûlé se retrouve sous forme de résidus solides récupérés dans la partie inférieure du four. Ces résidus, qui restent dans la grille de l'incinérateur, les mâchefers, sont riches en métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le mercure, l'arsenic ou le chrome. Dans la plupart des cas, les mâchefers sont envoyés vers une autre décharge.

Les mâchefers peuvent être recyclés par des entreprises, qui les mélangent à des matériaux puis s'en servent pour la construction de routes ou mêmes de logements.

## 8. Traitement des effluents gazeux

À la sortie de l'incinérateur, il est nécessaire d'épurer les fumées afin de permettre leurs rejets dans l'atmosphère.

Le principe du procédé humide est de capter les polluants en favorisant un contact intime entre les gaz et une solution de lavage elle-même pulvérisée à l'intérieur d'un laveur.

✖ Système de dépoussiérage :

Pour éviter les problèmes d'encrassement dans le système de lavage, les gaz doivent être préalablement dépoussiérés. Le dépoussiérage n'ayant, dans ce cas, aucune fonction de neutralisation, il est courant d'utiliser un électrofiltre.

✖ Cyclonage :

Les poussières résiduelles sont récupérées avant les tours de lavage. L'ensemble des poussières de l'électrofiltre et du cyclone sont envoyées dans le parc à cendres.

## ✘ Refroidissement :

Avant de neutraliser par lavage, les gaz issus de l'électrofiltre doivent être préalablement saturés.

La saturation s'effectue dans un conduit « quench » à l'intérieur duquel est pulvérisée une grande quantité d'eau. Une partie de cette eau s'évapore immédiatement, ce qui a pour effet immédiat, outre la saturation des gaz, d'abaisser la température des fumées aux alentours de 65 °C.

## ✘ Tours de lavage :

## ✘ Étage « acide »

Solution de lavage : eau.

La solution est injectée dans le laveur en partie haute de l'étage acide et rencontre les gaz ascendants à contre courant. Lors du refroidissement par contact avec l'eau se produit l'absorption des polluants tels que HCl, de même que certains métaux lourds.

## ✘ Étage « basique »

Solution de lavage : NaOH.

Le réactif utilisé est de la soude qui présente une bonne capacité de captation du SO<sub>2</sub>, ainsi qu'une bonne solubilité dans l'eau.

A la sortie de ce deuxième étage les gaz sont envoyés à la cheminée.

## 2 DONNÉES :

TABLEAU ENTHALPIE DE L'EAU À P=50 BARS EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

| t<br>(°C) | H<br>(kJ/kg) |   | t<br>(°C) | H<br>(kJ/kg) |   |
|-----------|--------------|---|-----------|--------------|---|
| 0         | 5.05         | ↗ | 200       | 853.79       | ↗ |
| 10        | 46.85        |   | 210       | 898.74       |   |
| 20        | 88.52        |   | 220       | 944.25       |   |
| 30        | 130.22       |   | 230       | 990.43       |   |
| 40        | 171.92       |   | 240       | 1037.40      |   |
| 50        | 213.63       |   | 250       | 1085.30      |   |
| 60        | 255.34       |   | 260       | 1134.33      | ↘ |
| 70        | 297.07       |   | 270       | 2818.2       | ↗ |
| 80        | 338.87       |   | 280       | 2855.9       |   |
| 90        | 380.75       |   | 290       | 2890.8       |   |
| 100       | 422.75       |   | 300       | 2923.5       |   |
| 110       | 464.88       |   | 310       | 2954.5       |   |
| 120       | 507.16       |   | 320       | 2924.3       |   |
| 130       | 549.61       |   | 330       | 3012.9       |   |
| 140       | 592.26       |   | 340       | 3040.7       |   |
| 150       | 635.12       |   | 350       | 3067.7       |   |
| 160       | 678.22       |   | 360       | 3094.1       |   |
| 170       | 721.59       |   | 370       | 3120.1       |   |
| 180       | 765.28       |   | 380       | 3145.5       |   |
| 190       | 809.33       | ↘ | 390       | 3170.7       | ↘ |

|   |
|---|
| <b>FICHE PRODUIT DES OXYDES DE SOUFRE</b> |
|---|

Préambule : Nm<sup>3</sup> signifie normaux m<sup>3</sup>, ce qui veut dire que les débits gazeux ont été mesurés dans les conditions normales de pression (P = 101 325 Pa) et de température (T = 0 °C) (CNTP). Dans ces conditions, 1 mole occupe 22,4 litres.

### OXYDES DE SOUFRE (SO<sub>x</sub>)

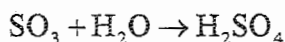
- **FAMILLE DE COMPOSÉS**

- SO<sub>2</sub> : Dioxyde de soufre (anhydride sulfureux)
- SO<sub>3</sub> : Trioxyde de soufre (anhydride sulfurique)
- L'appellation SO<sub>x</sub>, regroupe le mélange de SO<sub>2</sub> et SO<sub>3</sub>, mais lors de la combustion, le SO<sub>2</sub> est produit en quantité plus importante que le SO<sub>3</sub>, (respectivement de l'ordre de 90 % contre 10 %).

- **CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES**

- **Dioxyde de soufre :**

- le SO<sub>2</sub> est gazeux dans les conditions normales de température et de pression (0°C, 1 atm),
- c'est un gaz incolore qui est facilement décelable (à partir de 3 ppm) de par son odeur piquante et irritante,
- masse molaire : 64 g/mol,
- température de solidification : - 75 °C,
- température d'ébullition : - 10 °C,
- tension de vapeur : 500 kPa à 32,1 °C,
- il est soluble dans un grand nombre de composés, ainsi que dans l'eau,
- en présence d'ultraviolet, le SO<sub>2</sub> est transformé en SO<sub>3</sub>, qui, au contact de la vapeur d'eau forme de l'acide sulfurique :



Nota : l'acide sulfurique possède une forte affinité avec l'eau de sorte que le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> formé est très corrosif vis-à-vis de l'acier mais également des plastiques.

- **Trioxyle de soufre :**

- Le SO<sub>3</sub> est le constituant essentiel responsable des phénomènes de corrosion par les SO<sub>x</sub>,
- C'est un composé instable ayant une plus grande réactivité que le SO<sub>2</sub>, son élimination apparaît donc plus facile.

- **SOURCES DE FORMATION DES OXYDES DE SOUFRE**

- pneus,
- plâtre,
- panneaux muraux,
- déchets de process industriels.

- **NORMES ADMISES**

- **Incinération de déchets dangereux :** (Directive européenne n° 94/67/CE du 16 décembre 1994 et Arrêté français du 10 octobre 1996)

Valeur limite de rejet pour le SO<sub>2</sub> : 50 mg/Nm<sup>3</sup> (moyenne journalière).

- **Installations d'incinération de résidus urbains :**

Valeur limite de rejet pour le SO<sub>2</sub> (moyenne journalière) :

- ❖ En France et en Suisse (Arrêté Européen du 25 janvier 1991) : 50 mg/Nm<sup>3</sup>
- ❖ En Allemagne (BimSch 17) : 50 mg/Nm<sup>3</sup>
- ❖ Aux Pays-Bas (Verbranden — Richtlijn) : 40 mg/Nm<sup>3</sup>

- **Projet de Directive Européenne pour l'incinération de déchets ménagers :**

Valeur limite de rejet pour le SO<sub>2</sub> : 50 mg/Nm<sup>3</sup> (moyenne journalière).

- **Valeurs limites de rejets relatives à la qualité de l'air pour le SO<sub>2</sub> :** (Directive 80/779/CEE du 30 août 1980 modifiée par la directive 89/427/CEE du 21 juin 1989)

Valeur guide à ne pas dépasser (*valeur destinée à prévenir les effets à plus long terme sur la santé ou l'environnement*) : 100 à 150 µg/m<sup>3</sup> (moyenne horaire).

Taux de la taxe parafiscale (Décret français du 3 mai 1995) : 28 €/t émise.

- **GAMME DE CONCENTRATIONS ÉMISES**

- En sortie de chaudière, pour une usine d'incinération d'ordures ménagères, les teneurs en SO<sub>x</sub> sont dans la gamme de 50 à 250 mg/Nm<sup>3</sup> avant traitement avec une grande variation dans le temps.
- Pour les unités d'incinération de déchets industriels, les concentrations peuvent être plus importantes jusqu'à 500 mg/Nm<sup>3</sup>.



• **EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT**

• **Effets sur l'homme :**

Le tableau suivant représente les effets de l'exposition au SO<sub>2</sub> :

| Concentration en dioxyde de soufre SO <sub>2</sub>   | Durée d'exposition          | Effets  |
|--|-----------------------------|---|
| 500 µg/m <sup>3</sup><br>(moyennes journalières)   | Plusieurs jours consécutifs | Augmentation de la mortalité et du nombre d'hospitalisations des personnes âgées présentant en particulier des symptômes cardio-vasculaires et des symptômes respiratoires graves |
| 250 µg/m <sup>3</sup><br>(moyennes journalières)   | Plusieurs jours consécutifs | Exacerbation de leurs symptômes chez des patients atteints de bronchite chronique.<br>Détérioration temporaire de leurs fonctions respiratoires chez des personnes sensibles.     |
| Légèrement inférieure à 250 µg/m <sup>3</sup><br>(moyennes journalières)   | 24 heures au moins          | Détérioration similaire des fonctions respiratoires.  |
| 100 µg/m <sup>3</sup><br>(moyenne arithmétique)  | Année                       | Aggravation de l'inflammation des voies respiratoires inférieures et diminution du débit respiratoire maximum chez les enfants  |
| Les recommandations de l' OMS pour la protection de la santé humaine sont :  |                             |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 µg/m<sup>3</sup> sur l'année ;</li> <li>• 350 µg/m<sup>3</sup> sur 1 heure.</li> </ul> |                             |   |

• **Effets sur le milieu :**

Les composés soufrés sont souvent associés au phénomène des pluies acides (dépérissement des forêts allemandes et acidification des lacs scandinaves) par transformation en acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et sulfureux (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).