

# «Lucerne 2000», une usine «déchets-énergie» avec un nouveau système de purification des gaz brûlés

**A la suite de la promulgation de la nouvelle législation suisse concernant la pollution de l'air, les exploitants de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Lucerne ont lancé un appel d'offres pour des équipements capables de respecter les limites d'émission plus rigoureuses. A cette époque, l'usine possédait trois lignes d'incinération et était équipée de filtres électrostatiques et de laveurs à un étage. On envisageait d'équiper les nouvelles installations de laveurs de filtres électrostatiques humides et d'étages Denox à catalyseurs sélectifs. ABB Fläkt Industri a alors soumis une offre qui proposait une unité de filsorption en lieu et place des filtres électrostatiques humides. L'évaluation qui fit suite a montré que cette unité présentait de nombreux avantages et le soumissionnaire reçut la commande en mai 1993. Après une mise en service et les essais de performances exécutés avec succès, la nouvelle installation conforme à l'ordonnance sur la protection de l'air travaille en permanence depuis août 1996. Les nouveaux équipements ont montré qu'ils constituent une solution de prix avantage aux problèmes de la régulation de la pollution de l'air dans les usines dites déchets-énergie.**

**L**'UIOM «déchets-énergie» de Lucerne fut construite en 1971 avec deux lignes d'incinération, chacune avec une capacité de 3–4 t/h. Dans les années 80 une troisième ligne fut construite et les premières deux lignes furent modernisées, en particulier par l'adjonction de filtres électrostatiques plus grands et d'un laveur à un étage. Après son traitement, l'eau provenant du laveur est menée dans un cours d'eau du voisinage.

Les chaudières travaillent avec une pression de 35 bar et une température de 370 °C et fournissent leur vapeur à un turbogénérateur de 5 MW. Celui-ci alimente

l'électricité produite dans le réseau local. En complément, de l'eau chaude est fournie à un hôpital situé à quelques kilomètres de l'UIOM.

**Arthur Schnieper**

KVA Lucerne

**Kurt B. Carlsson**

ABB Fläkt Industri

L'installation travaille en continu, avec de courtes interruptions pour le nettoyage des chaudières et un arrêt prolongé pour les révisions annuelles. Son combustible est formé d'ordures ménagères et en partie de déchets industriels, d'une puissance calorifique de 10–12 MJ/kg. La capacité annuelle de l'usine d'incinération atteint 84 000 t de déchets.

L'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair 91) est entrée en vigueur en 1991. Il devint alors nécessaire d'installer un nouveau système de purification des gaz brûlés, afin de pouvoir respecter les exigences plus strictes.

## Evaluation et nouveau système de purification des gaz brûlés

Les spécifications publiées se présentaient comme suit:

- Echangeur de chaleur gaz/gaz autour des laveurs
- Laveurs à deux étages
- Filtres électrostatiques humides
- Ventilateurs de tirage par aspiration
- Echangeurs de chaleur gaz/gaz autour de l'unité Denox SCR
- Chauffage final avec du gaz naturel comme combustible
- Réduction catalytique sélective du NO<sub>x</sub> avec de l'ammoniaque (procédé SCR)

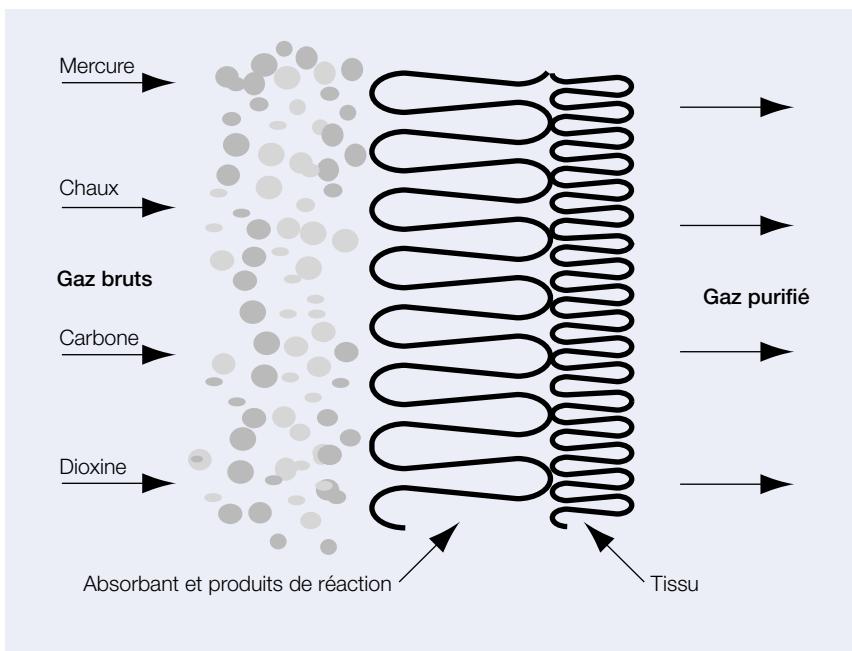
Dans son offre, ABB Fläkt Industri proposa d'installer une unité de filsorption en lieu et place du filtre électrostatique. La désignation filsorption de ce procédé provient de la réunion des termes 'filtration' et 'adsorption'. Elle implique des réactions complexes entre les impuretés des gaz brûlés et des adjuvants fins sur le tissu des filtres à manches 2.

L'avantage de la filsorption par rapport aux filtres électrostatiques humides WESP (Wet Electrostatic Precipitator) réside dans le fait qu'elle sépare presque complètement non seulement les particules solides les plus fines, mais aussi de nombreuses substances gazeuses. Celles-ci sont séparées par des réactions chimiques, par absorption et par adsorption, dans le tourneau du filtre. Ce dernier est formé d'adjuvants, de produits de réaction et de particules du procédé d'incinération. L'utilisation d'adjuvants finement broyés fournit une très grande surface de contact.



**«Lucerne 2000», l'UIOM «déchets-énergie» avec son nouveau système de purification des gaz brûlés d'ABB Fläkt**

**Principe de la filsorption. Des réactions complexes se déroulent sur les manches du filtre, entre les impuretés contenues dans les gaz brûlés et les adjuvants finement broyés.**



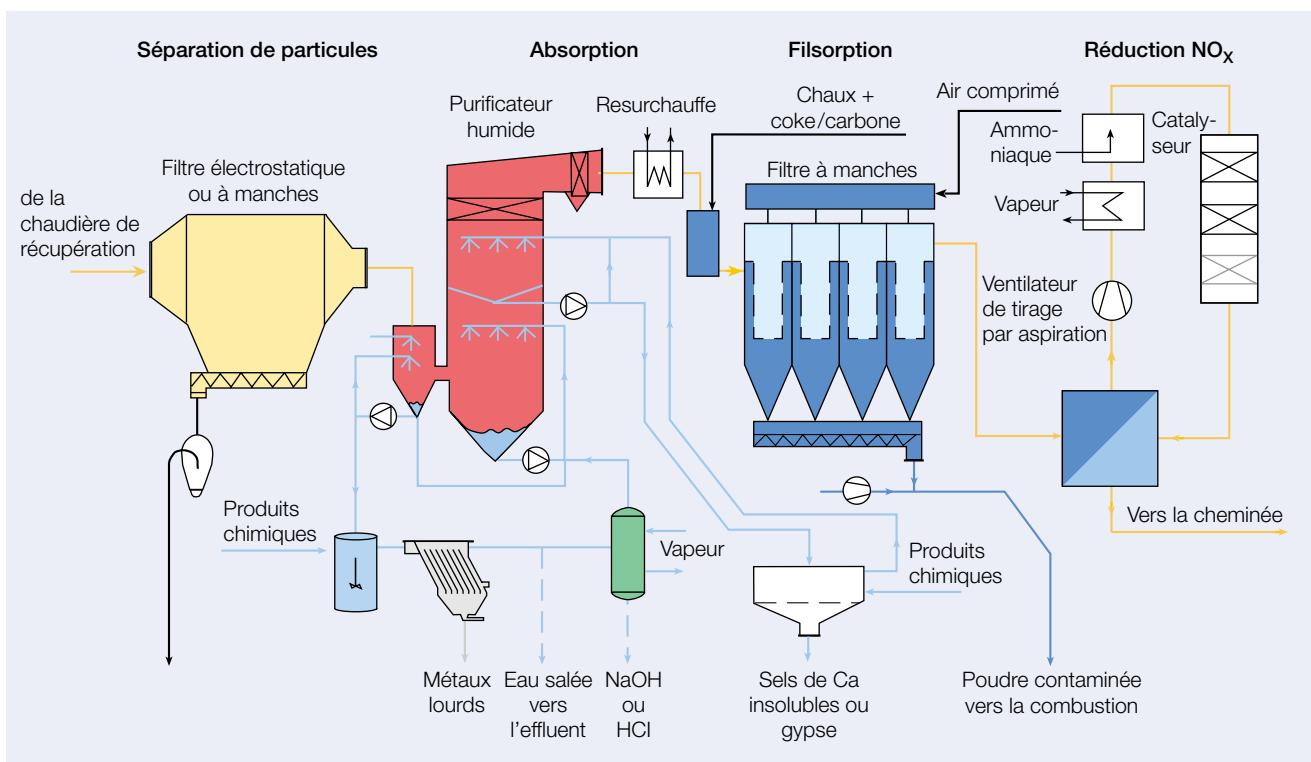
Le procédé est particulièrement efficace pour l'élimination de trioxyde de soufre ( $\text{SO}_3$ ). Etant donné qu'on n'a pratiquement pas de  $\text{SO}_3$  en aval de l'unité de filsorption, des sels d'ammonium ne peuvent pas se former, même à basse température. Cela permet d'exploiter le catalyseur à une température basse de seulement 235–240 °C. Ce faisant, on peut utiliser la vapeur propre de l'installation pour réchauffer les gaz brûlés à leur température finale avant l'injection d'ammoniaque, ce qui est moins cher que l'utilisation d'un combustible d'appoint, tel que le gaz naturel prévu. Etant donné que pratiquement toutes les particules solides sont extraites – la majorité d'entre elles dans le tourneau du filtre – il n'est normalement pas nécessaire de nettoyer le catalyseur et l'échangeur de chaleur. Le principe de fonctionnement du concept de purification totale développé par ABB Fläkt est illustré dans 3.

On peut utiliser différents adjuvants finement broyés. L'adjuvant utilisé le plus fréquemment est un mélange de chaux hydratée et de charbon/coke. On s'en sert également à Lucerne. Les avantages de ce mélange s'énumèrent comme suit:

- La chaux hydratée retient les gaz acides, y compris le  $\text{SO}_3$  qui subsiste après le laveur.
- La poudre fine de charbon/coke adsorbe et吸吸 les hydrocarbures chlorés, les dioxines et les métaux lourds gazeux, en particulier le mercure.
- Le tourneau du filtre (formé essentiellement d'adjuvants) est très efficace lors de l'élimination des particules microscopiques. Etant donné que la plupart des métaux lourds volatils (Pb, Cd, etc.) adhèrent aux particules retenues, les émissions de ces éléments toxiques sont pratiquement nulles.

La poudre fine de charbon/coke est inflammable, si elle n'est pas manipulée avec précaution. Le risque est minimisé par le mélange avec un matériau inerte, par ex. de la chaux hydratée, et par la conception spéciale de l'étage de filsorption.

En plus des avantages techniques de la solution à filsorption, les frais globaux du système de purification APC (Air Pollution Control) 4 installé à Lucerne étaient

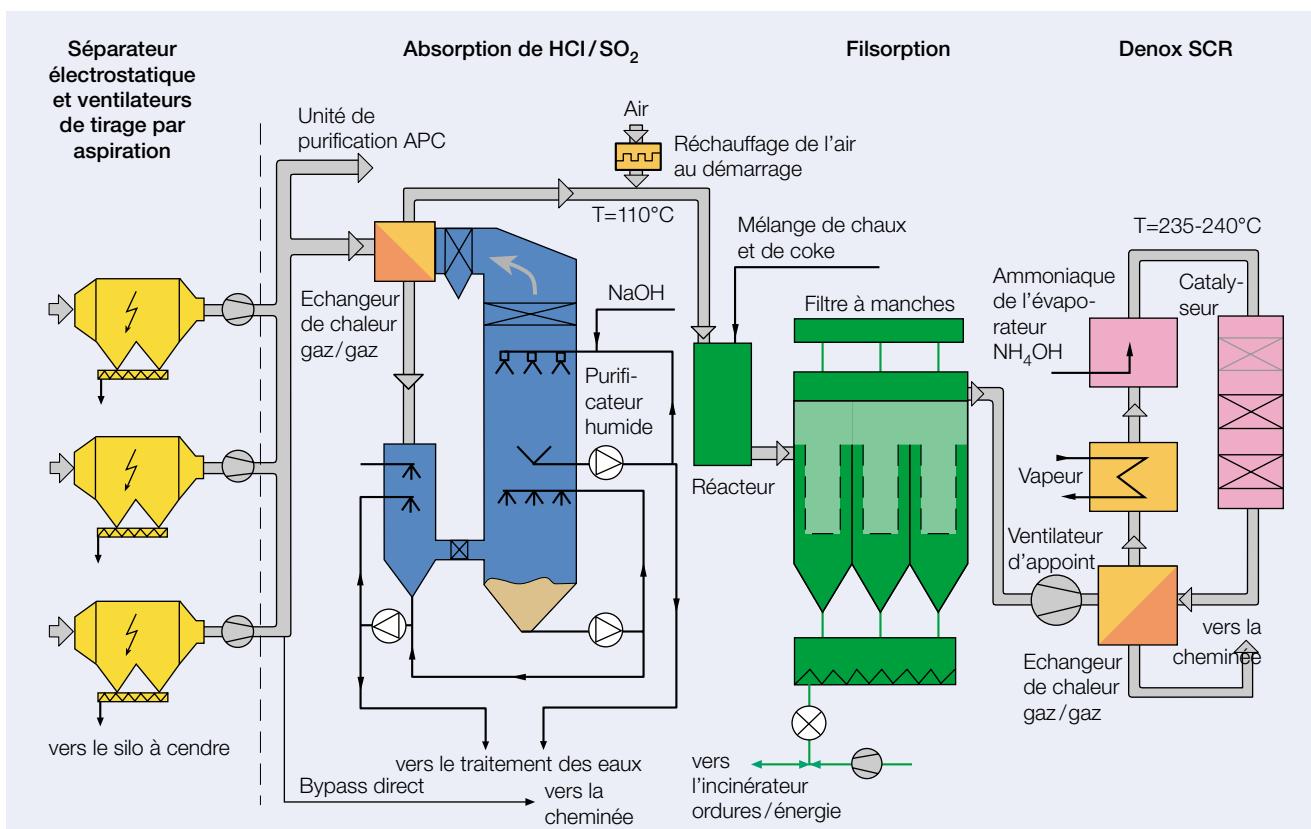


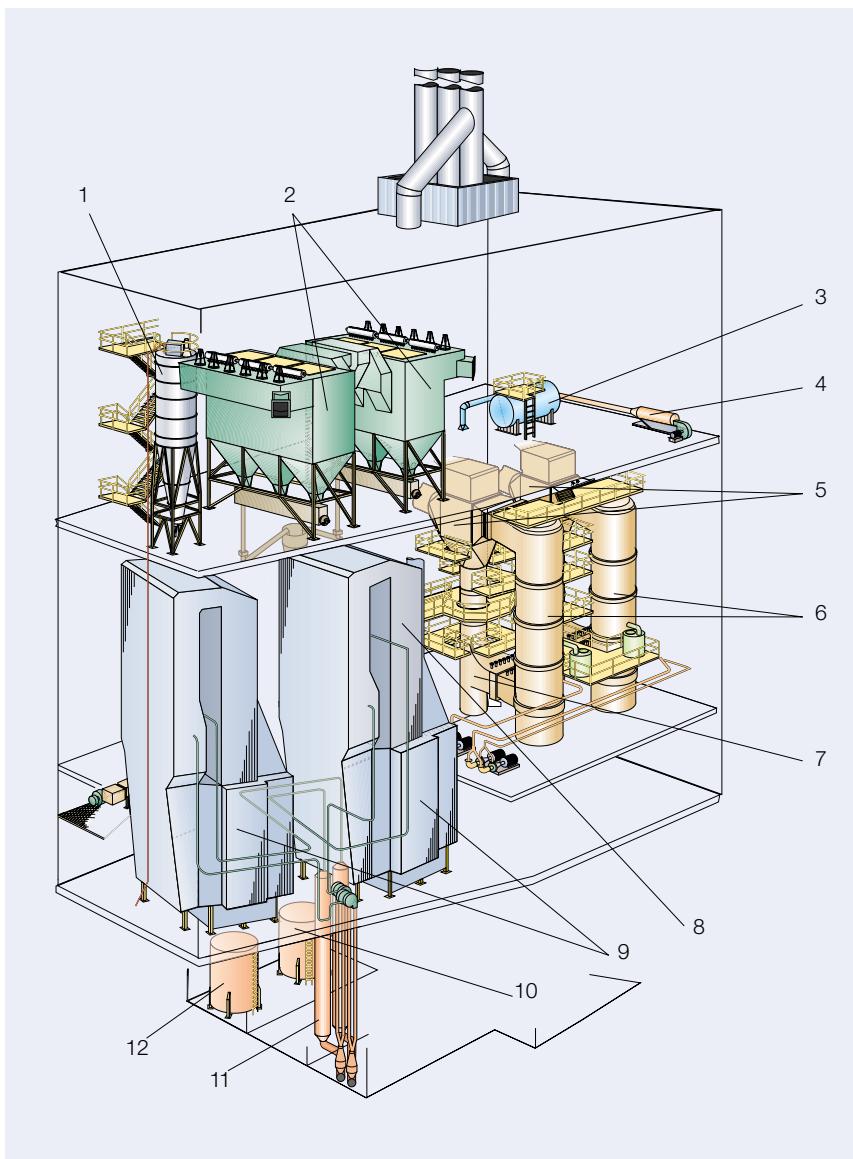
Concept de la purification totale TCP d'ABB Fläkt

3

Représentation schématique du système de purification des gaz brûlés installé dans l'UIOM «déchets-énergie» de Lucerne, Suisse

4





**La nouvelle installation de purification des gaz brûlés APC de Lucerne**

**5**

- 1 Silo à chaux et à coke
- 2 Filtre à manches
- 3 Réservoir à eau de secours
- 4 Chauffage
- 5 Échangeurs de chaleur gaz/gaz
- 6 Laveur

- 7 Quench
- 8 Catalyseur
- 9 Échangeur de chaleur gaz/gaz
- 10 Réservoir à NaOH
- 11 Evaporateur à ammoniaque
- 12 Réservoir à ammoniaque

également plus bas que ceux impliqués par les autres solutions avec des filtres électrostatiques humides. Les économies de frais ont été évaluées comme suit:

- Les frais d'installation sont plus bas en raison du laveur moins cher et dont la mission consiste à éliminer uniquement le HCl et le SO<sub>2</sub>, et de l'unité Denox SCR plus avantageuse et qui travaille à plus basse température.

- Les frais d'exploitation sont plus bas à cause de la perte de charge plus faible à travers le laveur (du type à atomisation ouverte), des échangeurs de chaleur plus petit autour de l'unité Denox SCR, et des frais de chauffage final plus bas, en relation avec l'utilisation de vapeur au lieu de gaz naturel.

Et non pas en dernier lieu, de meilleures garanties d'émission ont pu être offertes avec la solution à filsorption qu'avec les filtres électrostatiques humides.

### **Système de purification des gaz brûlés APC**

Les caractéristiques du système de purification APC s'énumèrent comme suit:

- Filtres électrostatiques et ventilateurs de tirage par aspiration pour chaque chaudière d'incinération. La pression dans les chaudières est réglée individuellement par leur propre ventilateur de tirage.
- Les gaz brûlés passent de chacun des ventilateurs de tirage dans une gaine commune vers les deux nouveaux systèmes APC identiques.

Chacun des deux nouveaux systèmes APC **4**, **5** de Lucerne comprend les éléments suivants:

- Un échangeur de chaleur gaz/gaz en téflon qui transmet la chaleur à l'entrée du laveur vers la sortie de celui-ci. Le filtre humide **6** possède un étage quench (pour le refroidissement rapide) et un procédé de purification à deux étages – un étage acide, principalement pour l'élimination de HCl, et un étage neutre pour l'absorption de SO<sub>2</sub>. Un pare-gouttes à deux étages à sa sortie assure une teneur en gouttelettes très faible.

La perte de charge à travers le jet d'atomisation ouvert du laveur est très basse. La technologie appliquée est très fiable, étant fondée sur quelque 100 installations utilisées principalement pour la récupération d'énergie provenant d'ordures et de chaudières de récupération de soude.

- L'étage de filsorption **7** se trouve en aval du laveur. Vu qu'il s'agit d'un procédé sec, le gaz saturé du laveur doit être réchauffé. Un échangeur de chaleur utilisant la chaleur à l'entrée du laveur est monté sur celui-ci à cet effet. L'étage de filsorption comprend:
  - Un réacteur servant au mélange des adjuvants finement broyés avec les gaz brûlés.
  - Un filtre à manches de filsorption spécial servant à la filtration, à la

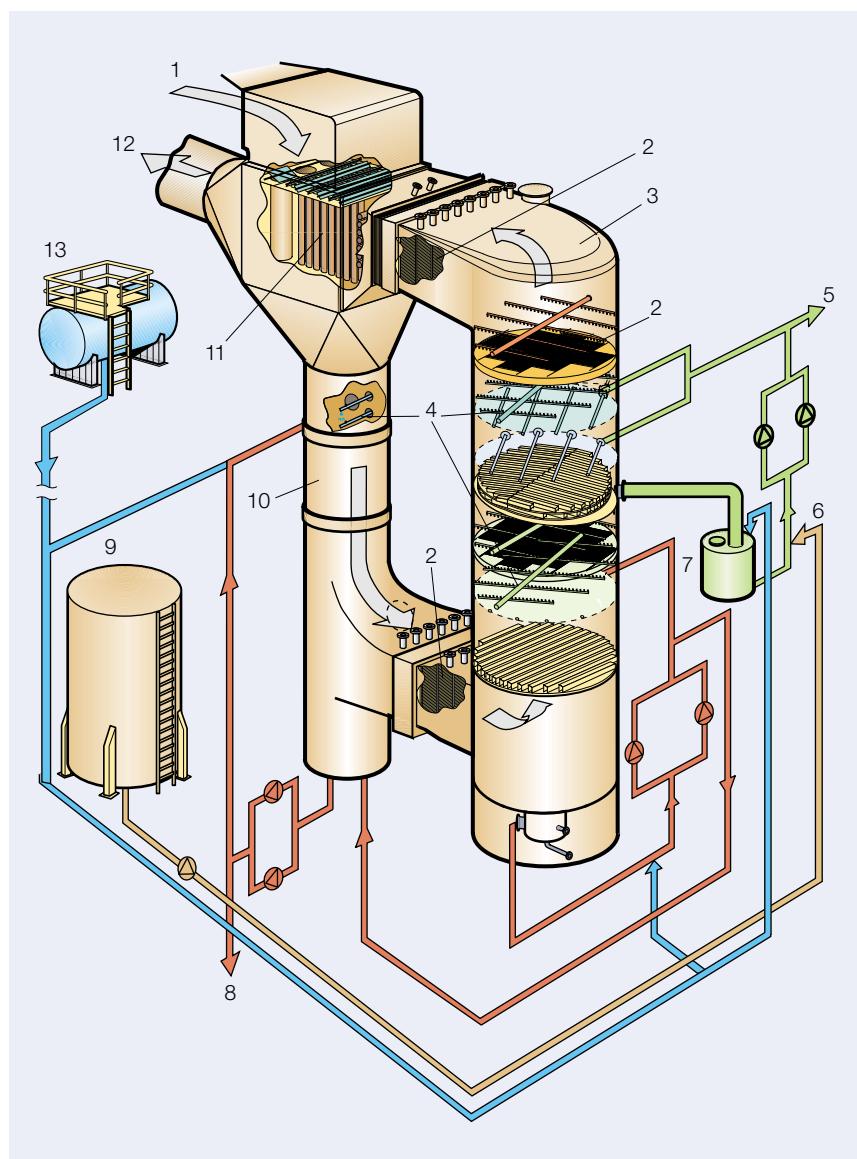
sorption et aux réactions chimiques. Ce filtre possède des conduites d'entrée verticales et des trémies très inclinées pour éviter les incrustations de poudre où un feu pourrait couver. Par des dispositifs d'entrée et de distribution spéciaux, la poussière et les impuretés des gaz brûlés sont réparties sur toute la surface du filtre. Chaque filtre à manches comprend trois chambres, avec des amortisseurs d'entrée et de sortie qui peuvent être inspectés individuellement en pleine exploitation de l'installation.

Le matériau des manches est formé de Dralon T (polyacrylonitrile). Les manches sont nettoyées rangée par rangée, depuis le côté des gaz purifiés, à l'aide de pulsations d'air commandées par des vannes à membrane rapides branchées sur un réservoir à air comprimé de 1-2 bar. L'inspection et le changement des manches s'effectuent également sur le côté des gaz purifiés **8**.

La poussière éliminée des manches par les pulsations est reprise par un transporteur à vis sans fin en dessous du filtre. Elle est menée vers un réservoir intermédiaire et transportée vers le four d'incinération. La température d'exploitation élevée qui règne dans le four détruit les matières organiques (par ex. les dioxydes), tandis que l'excès de chaux hydratée élimine une partie du SO<sub>2</sub>. Le mercure dégagé à la température élevée de la combustion est éliminé dans le laveur qui agit comme principale trappe à mercure.

- Un ventilateur d'appoint qui transporte les gaz brûlés à travers le nouveau système APC se trouve en aval de l'étage de filsorption. Ce ventilateur travaille avec un rendement élevé, étant donné que le gaz sortant est sec, très propre et qu'il présente une température de seulement 110°C. Il est réglé de manière à assurer une pression d'amont constante dans les laveurs. Vu que le ventilateur est placé avant l'unité Denox SCR, cette partie du système APC travaille en surpression et doit donc être étanche aux gaz.

- Le catalyseur pour la réduction des



**Laveur installé dans l'UIOM de Lucerne**

**6**

- 1 Du filtre électrostatique
- 2 Pare-gouttes
- 3 Laveur
- 4 Buses
- 5 Epuration des eaux usées
- 6 NaOH
- 7 Réservoir intermédiaire

- 8 Vers la station d'épuration des eaux usées
- 9 Réservoir à NaOH
- 10 Quench
- 11 Echangeur de chaleur
- 12 Vers l'unité de filsorption
- 13 Réservoir à eau de secours

NO<sub>x</sub> **9**. Ce catalyseur travaille avec de l'ammoniaque à une température d'environ 240°C. A cet effet, les gaz brûlés provenant de la filsorption et du ventilateur d'appoint doivent d'abord être réchauffés. Cette opération s'effectue en deux étapes:

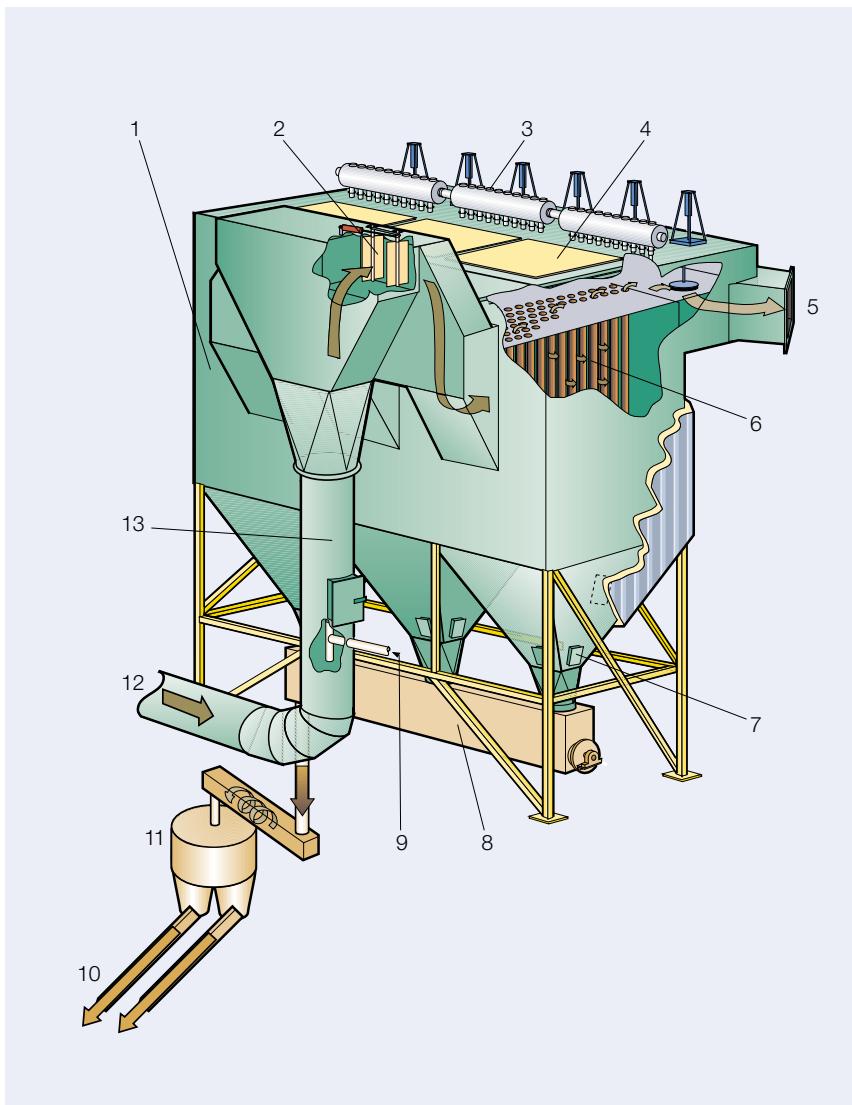
- Le gaz est premièrement réchauffé de 110 °C à 210–215 °C dans un

échangeur de chaleur gaz/gaz étanche aux gaz **10**. Le côté chaud de l'échangeur de chaleur est branché sur la sortie du catalyseur, avec une température d'entrée de 235–240 °C. Vu que ce gaz est très propre et sec, un nettoyage de l'échangeur de chaleur n'est normalement pas nécessaire.

**Tableau 1:**

**Système APC de l'UIOM de Lucerne. Conditions à l'entrée, valeurs stipulées par la législation suisse et valeurs garanties par le concept de purification totale**

Concentration des éléments par m <sup>3</sup> (conditions normales, gaz sec, 11% O <sub>2</sub> )		Concentration normale/maximale à l'entrée du nouveau système APC	Emissions	
			Législation suisse	Valeurs garanties
Poussière	mg	35/50	10	2
(Zn+Pb) <sub>tot</sub>	mg	17/25	1	0,2
Cd <sub>tot</sub>	mg	0,5/1	0,1	0,01
Hg <sub>tot</sub>	mg	0,5/1	0,1	0,01
HCl	mg	1000/2000	20	1
SO <sub>2</sub>	mg	450/1000	50	10
HF	mg	10/30	2	0,2
NO <sub>x</sub>	mg	400/500	80	60
NH <sub>3</sub>	mg	—	—	5
Dioxines I – TEQ	ng	3/5	—	0,05



– Le réchauffage final des gaz brûlés en amont du catalyseur s'effectue dans le second échangeur de chaleur avec de la vapeur d'une température de 370 °C et une pression de 35 bar. Elle provient des chaudières des lignes d'incinération. Le condensat chaud est transformé en vapeur basse pression. L'ammoniaque est entreposée sous forme de solution aqueuse. Elle franchit un évaporateur avant d'être répartie régulièrement dans la gaine ascendante du catalyseur. Le catalyseur à deux étages est monté dans une gaine séparée. Les gaz brûlés y circulent de haut en bas. Pendant les arrêts de l'installation, le catalyseur

#### **Etage de filtorsorption de l'UIOM de Lucerne**

7

- 1 Filtre à manches
- 2 Amortisseurs d'entrée
- 3 Réservoir à air comprimé
- 4 Portes d'inspection
- 5 Vers le système Denox SCR
- 6 Manches du filtre
- 7 Trémie du filtre
- 8 Transporteur à vis sans fin
- 9 Injection de poudre de chaux et de coke
- 10 Vers le four d'incinération
- 11 Silo à résidus
- 12 Du laveur
- 13 Réacteur

seur est maintenu sec et chauffé avant le démarrage du procédé. Pendant ce démarrage, le flux des gaz encore froids passe dans la cheminée par un by-pass.

Les conditions de propreté extrêmes garantissent une durée de service prolongée du catalyseur et des échangeurs de chaleur.

L'espace disponible pour le nouveau système APC était très exigu. Il est monté dans un bâtiment haut de 40 m surmonté par trois nouvelles cheminées tubulaires.

### Aspects d'environnement

Avec les trois chaudières en service, on peut incinérer 11 à 13 t d'ordures ménagères par heure. Chacun des deux systèmes APC parallèles est dimensionné pour traiter 60 % du flux normal

**Tableau 2:  
Système APC de l'UIOM de Lucerne. Résultats des mesures d'émissions et valeurs garanties**

Elément	Ligne 1	Emissions Ligne 2	Garanties
Poussière	0,2	0,1	2
$(\text{Zn}+\text{Pb})_{\text{tot}}$	<0,001	<0,001	0,2
$\text{Cd}_{\text{tot}}$	<0,001	<0,001	0,01
$\text{Hg}_{\text{tot}}$	0,001	0,001	0,01
$\text{HCl}$	0,01	0,01	1
$\text{SO}_2$	2,0	0,8	10
HF	<0,01	<0,01	0,2
$\text{NO}_x$	60	60	60
$\text{NH}_3$	0,3	0,2	5
Dioxines I – TEQ	<0,01	<0,01	0,05

Toutes les concentrations sont indiquées en mg/Nm<sup>3</sup> pour du gaz sec, avec 11 % de O<sub>2</sub>, hormis pour les dioxines indiquées en ng. Les résultats sont des moyennes de 2 à 6 mesures.

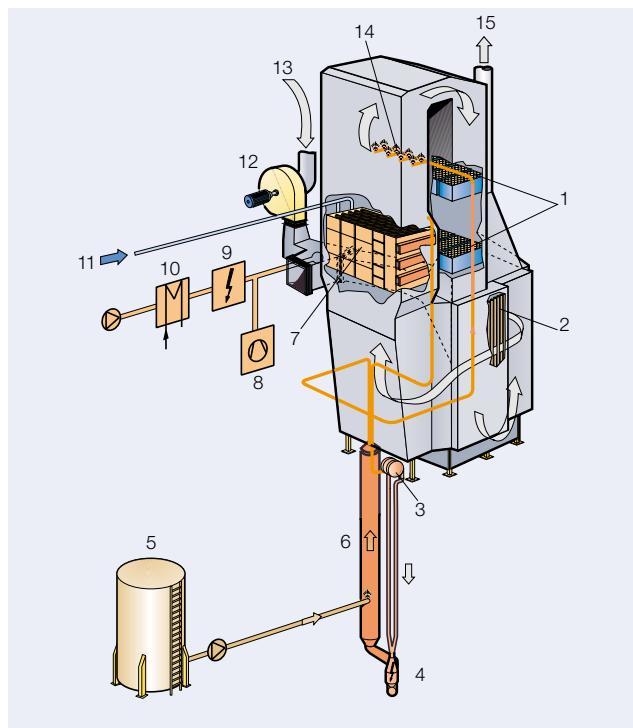
**Les manches du filtre peuvent être inspectées et remplacées depuis le côté des gaz purs.**

**Un mécanisme d'utilisation simple permet un changement rapide des manches.**

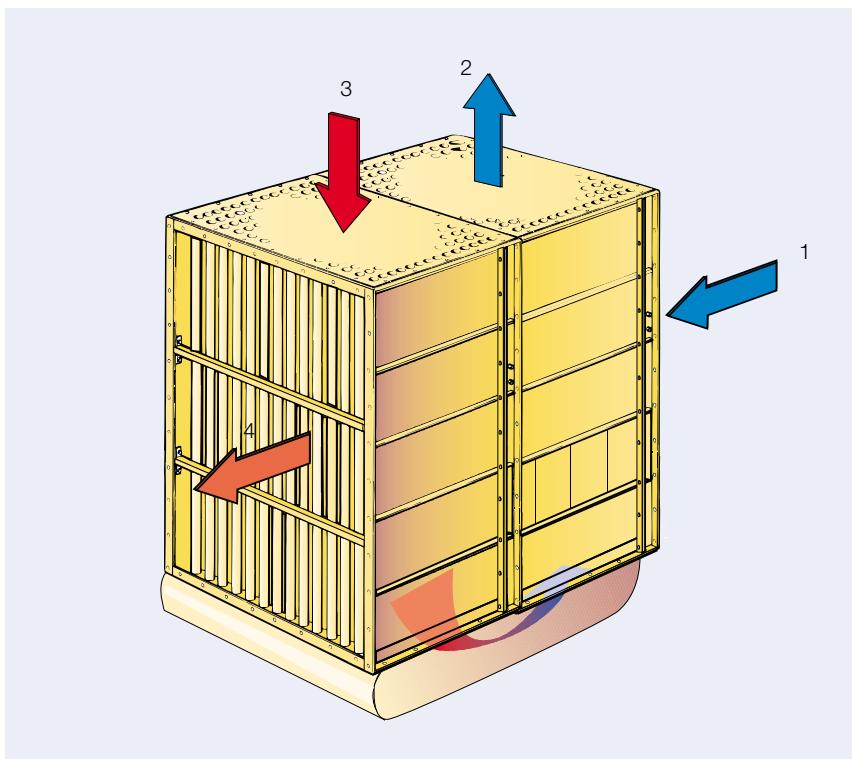


**8 Catalyseur avec échangeur de chaleur installé dans l'UIOM de Lucerne**

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1 Catalyseur                                 | 8 Dessiccateur                   |
| 2 Echangeur de chaleur gaz/gaz               | 9 Réchauffeur à air électrique   |
| 3 Ventilateur d'évaporation de $\text{NH}_3$ | 10 Réchauffeur à air à vapeur    |
| 4 Réchauffeur                                | 11 Vapeur                        |
| 5 Réservoir à eau ammoniacale                | 12 Ventilateur des gaz brûlés    |
| 6 Evaporateur                                | 13 De l'unité de filsorption     |
| 7 Réchauffage final                          | 14 Injection d'ammoniaque gazeux |
|  | 15 Vers la cheminée              |



**9**



**Echangeur de chaleur gaz-gaz Fläkt QGB pour le préchauffage du gaz qui franchit le catalyseur SCR**

10

1 Entrées des gaz brûlés  
2 Gaz purifiés vers la cheminée

3 Du catalyseur  
4 Gaz brûlés vers le catalyseur

d'environ 90'000 Nm<sup>3</sup>/h. Le tableau 1 résume les émissions lâchées dans l'atmosphère.

Des garanties ont également été données pour le flux des eaux usées et la concentration des impuretés contenues dans l'eau passant du laveur dans la station d'épuration de l'eau.

#### Mesures de garantie

Les mesures de garantie ont été effectuées en août 1996, avec des lignes d'incinération travaillant sous des conditions pratiquement normales. Les mesures furent effectuées conformément aux normes ISO ou VDI et ont montré que toutes les garanties concernant la consommation de produits chimiques sont respectées avec une bonne marge de sécurité.

La puissance électrique mesurée atteignait 400 kW, ou 35 kWh/t d'ordures incinérées, c'est-à-dire 60 % de la valeur garantie. Le débit des eaux usées du laveur et la teneur en impuretés qui s'y trou-

vent étaient plus faibles qu'estimés. Le tableau 2 montre le résultat des mesures d'émissions.

#### Expérience d'exploitation

Le système d'épuration APC a été démarré dans les délais prévus et travaille en permanence depuis lors. Quelques perfectionnements ont été apportés sur la base de l'expérience acquise. On a par exemple installé des éjecteurs pour le transport de la poussière à partir du réservoir intermédiaire, en dessous du filtre de filsorption, en direction des lignes d'incinération. De même, à l'origine, le débit de l'eau usée des laveurs était réglé en fonction de sa conductivité et variait trop fortement pour un traitement efficace de l'eau. Une modification y fut apportée. Les membranes de l'indicateur et du régulateur de niveau des quenches ont été remplacées par des membranes en tantale, un matériau qui supporte mieux l'atmosphère très agressive de ces unités.

Depuis sa mise en service, «Lucerne 2000» a prouvé qu'ils s'agit d'une solution très fiable et de haute rentabilité pour résoudre le problème de la pollution des usines d'incinération d'ordures ménagères produisant de l'énergie.

#### Bibliographie

- [1] Schnieper, A.: Optimierung von Rauchgasreinigungssystemen – am Beispiel der KVA Luzern. Technische Akademie Esslingen. Cours N° 16942/13.130.
- [2] Carlsson K. B.: Filsorption – a safe approach for the control of toxic elements in flue gases. UTA International 1/95.
- [3] Klintenheim, E.: KVA Luzern 2000 Los 1 – Weitergehende Rauchgasreinigung. ABB Fläkt Industri, Technical Report TR/C 7312.002.