

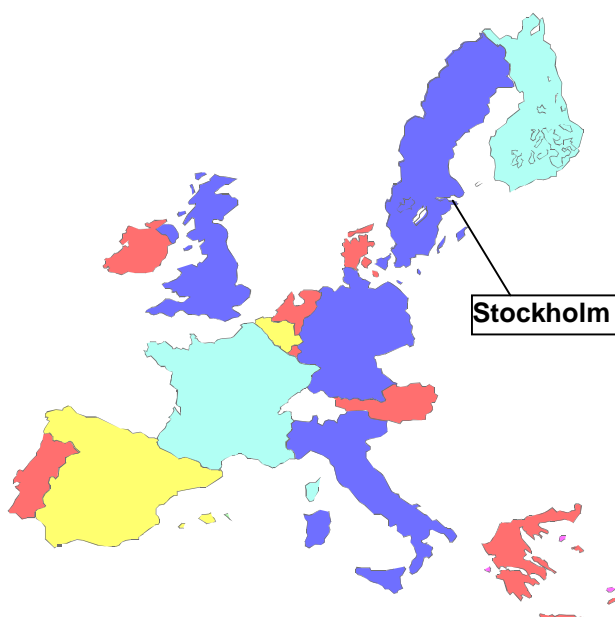
# BIOGAZ CARBURANT

# STOCKHOLM (SE)

*Dans le secteur du transport, la recherche des municipalités pour diminuer les émissions passe par le transfert modal de la voiture particulière vers des modes de transport préservant l'environnement (transports publics notamment), mais aussi par la limitation des émissions des transports publics urbains et des flottes captives. Plusieurs municipalités se sont lancées dans des expériences de valorisation énergétique d'une énergie renouvelable qui provient des déchets ménagers et/ou agricoles ainsi que des stations d'épuration des eaux usées : le biogaz carburant. C'est le cas à Stockholm.*

## ASPECTS GENERAUX

Capitale de la Suède et port important au confluent du lac Mälär et du Saltsjön, bras de la mer Baltique, Stockholm comprend 700 000 habitants (1 041 000 dans l'agglomération). La vieille ville, qui a gardé en partie ses rues étroites et ses maisons anciennes, s'étend sur les îles du Norrström. Au nord et à l'ouest se trouvent les quartiers des affaires et des administrations, à l'est les quartiers résidentiels. La ville continuant à s'étendre, des cités satellites ont été construites (Vällingby à l'ouest, Skärholmen au sud-ouest ou encore Farsta au sud). Important port de commerce, son accès difficile lui interdit cependant de rivaliser avec Göteborg. Stockholm est le plus grand centre industriel et commercial du pays : constructions mécaniques, appareillage électrique et électronique, industries textiles, du cuir, du caoutchouc, agro-alimentaire, imprimerie. 80% des actifs appartiennent au secteur tertiaire.



## CONTEXTE DES DEPLACEMENTS

Les 700 000 habitants de Stockholm effectuent près de quatre millions de déplacements par jour. Par ailleurs, dix millions de tonnes de marchandises rentrent, sortent et traversent la ville chaque année.

La part modale des transports publics est relativement élevée (55%). Néanmoins, le nombre de véhicules privés en circulation ne cesse de croître. En 1996, les stockholmlois ont acheté 25 000 nouveaux véhicules.

Comme dans nombre de villes, le trafic routier est la principale source de pollution à Stockholm (entre 70 et 80% des émissions). Le secteur transport est également le principal consommateur d'énergie de la ville (20% de la consommation totale d'énergie).

Une des solutions pour améliorer la qualité de vie et l'environnement à long terme est l'utilisation des énergies renouvelables provenant de sources efficaces, plus respectueuses et non dépendantes des sources d'énergie non renouvelables, comme les carburants fossiles. L'introduction de véhicules moins polluants et plus efficaces en énergie peut contribuer à atteindre cet objectif.

La Municipalité de Stockholm, en collaboration avec d'autres villes européennes, a développé le projet ZEUS (« Zero and low Emission vehicles in Urban Society »), qui vise à introduire un grand nombre de véhicules davantage respectueux de l'environnement. ZEUS est partiellement financé par le programme Thermie de la DG XVII de la Commission européenne.

# EXPERIENCE DE STOCKHOLM (SE)

C'est en 1994 que la ville de Stockholm décide de promouvoir véritablement les véhicules davantage respectueux de l'environnement. Cette décision se traduit alors par la mise en œuvre du projet européen ZEUS, dont le coordinateur est précisément la ville de Stockholm. Un des sous-projets de ZEUS est l'introduction de véhicules fonctionnant au biogaz carburant produit à partir d'eaux usées de stations d'épuration.

En 1996, la volonté affirmée de réduction de la pollution rend possible l'introduction des premiers véhicules (20 voitures à bicarburant essence-biogaz) et la construction d'un site pilote de production du biogaz, ce dernier étant produit à partir de la digestion des matières organiques acheminées à la station d'épuration des eaux usées de Bromma.

Fin 1997, le constructeur Scania livre son premier camion fonctionnant au biogaz et permettant de transporter le biogaz carburant du site de production au site de consommation (pouvant alimenter jusqu'à 160 voitures).

Les voitures sont équipées d'un double système d'alimentation essence-biogaz. Chaque véhicule comprend un réservoir de biogaz carburant qui accroît son autonomie de 200 kilomètres par rapport au véhicule conventionnel d'un modèle équivalent. Lorsqu'il fonctionne en mode biogaz, la puissance du véhicule est réduite d'environ 10%.

Aujourd'hui, 200 voitures bicarburant essence-biogaz sont en circulation à Stockholm.

## Les partenaires impliqués

Les principaux partenaires locaux impliqués ont été :

- Stockholm Vatten, compagnie municipale en charge de la distribution de l'eau et du traitement des eaux usées,
- Oiltech AB, entreprise spécialisée dans le développement et la vente de réservoirs de carburant et de gaz,

- SKAFAB, compagnie municipale en charge du recyclage des déchets,
- MFO, compagnie municipale en charge des équipements,
- OK, Shell et Statoil, compagnies distributrices de carburants.

La construction du site pilote de production du biogaz a été financée partiellement par les Bureaux Nationaux Suédois pour la Recherche dans le Transport et les Communications (KFB) et pour la Protection de l'Environnement.

## Le biogaz produit à Stockholm

Cinquante millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées, correspondant aux effluents de 250 000 personnes, sont traités chaque année à la station d'épuration de Bromma, laquelle est gérée par Stockholm Vatten.

Après épuration, 23 000 tonnes de boues et 3 500 000 m<sup>3</sup> de biogaz sont produits, dont 3 100 000 m<sup>3</sup> destinés à la production de chaleur et 400 000 m<sup>3</sup> (11,4% du biogaz produit par le digesteur) sont épurés pour produire du biogaz carburant. Avant 1996, cette seconde partie était brûlée en torchère, produisant par la même des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Avant de pouvoir utiliser le biogaz comme carburant, il doit être épuré car la proportion de méthane (CH<sub>4</sub>) que contient le biogaz brut (65% environ) n'est pas suffisamment importante pour un fonctionnement optimal des moteurs des véhicules. Ainsi, on diminue la proportion de CO<sub>2</sub>, d'eau et d'autres gaz et on augmente celle de méthane.

La technique d'épuration du biogaz utilisée est celle de l'absorption. A Bromma, il existe deux unités d'épuration. Dans chacune d'elles, le biogaz comprimé est injecté à la base d'une colonne à garnissage de 10 mètres de hauteur. Le gaz et le solvant (de l'eau à une pression de 22 bar à Bromma) circulent chacun à contresens. Le gaz épuré est collecté en tête de la colonne et le liquide retombe, chargé de polluants, à la base.

Technique d'épuration du biogaz à Bromma : l'absorption	
Unités	2
Volume traité	45 m <sup>3</sup> par unité et par heure
Compresseur	RIX
Fabricant	Flotech, Nouvelle-Zélande
Modèle	CS 45-250 HD80
Distributeur	FEAB

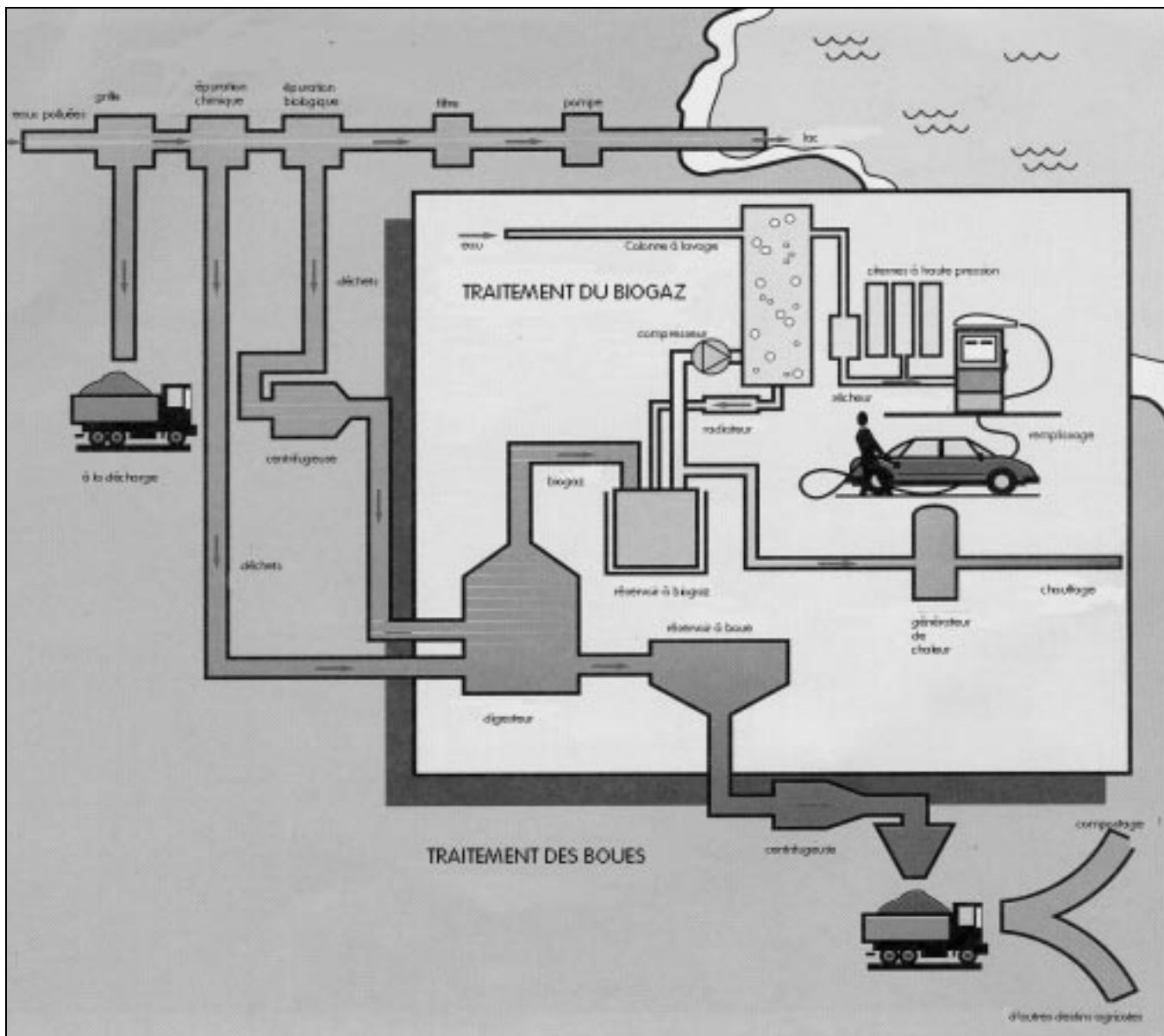
Une fois épuré, le biogaz est comprimé puis stocké dans une citerne à haute pression à 250 bar et -30°C. Il est ensuite acheminé sur le lieu de

remplissage des véhicules par un « camion réservoir ».

Le biogaz carburant se compose alors d'environ 97% de méthane, de 1,7% de dioxyde de carbone et d'un faible pourcentage d'autres gaz (Cf. plus loin).

La production maximale de biogaz carburant à la station de Bromma est de 360 000 Nm<sup>3</sup> par an, ce qui correspond à 360 000 litres d'essence.

Le « camion réservoir » et les stations de remplissage (ces dernières ont été commandées aux firmes OK, Shell et Statoil) ont également été financés pour partie par le projet européen ZEUS.



**L'acheminement du biogaz carburant à la station de remplissage**

Un système de transport du biogaz tout à fait innovant a été conçu. Il s'agit d'un camion (fonctionnant également au biogaz) équipé de réservoirs hydrauliques qui transporte le carburant jusqu'à la station de remplissage. Ce camion a été équipé par Oiltech AB, entreprise qui a une grande expérience en matière de développement de réservoirs de carburant et de citernes haute pression.

**Les véhicules fonctionnant au biogaz : Le « camion réservoir »**

Il comprend 30 réservoirs haute pression, lesquels contiennent le volume nécessaire en biogaz pour permettre l'exploitation de toute la flotte de véhicules pendant une journée. Il n'y a aucune perte de pression entre les réservoirs du camion et ceux de la station de remplissage, ce qui représente un grand avantage.



#### Caractéristiques du « camion réservoir »

Volume transporté	500 - 3100 Nkbn
Pression	200 - 250 bar
Type de camion	SCANIA P114LA 4x2
Moteur	OSC 1113 GO2
Puissance	250 ch
Moment de torsion	1000 Nm à 1100 rpm
Réservoirs	4 x 140 litres à 200 bar
Autonomie	270 - 280 km

#### Les voitures particulières

Le tableau ci-après présente les différents modèles bicarburant essence-biogaz ayant circulé à Stockholm entre 1996 et 1997.

Marque / Modèle	VOLVO 850	BMW 518 g	VW Golf	VW Caravelle
Moteur / Transmission	2,5 dm <sup>3</sup> / automatique	1,8 dm <sup>3</sup> / manuel	1,8 dm <sup>3</sup> / automatique	2,5 dm <sup>3</sup> / automatique
Poids	1 430 kg	1 470 kg	1 190 kg	1 640 kg

#### La VOLVO 850



Les véhicules sont utilisés par trois compagnies municipales :

- Stockholm Vatten (voitures de service de la station),
- la Compagnie municipale en charge des transports et de la voirie,
- MFO, la compagnie municipale en charge des équipements et approvisionnements.

# EVALUATION

## Qualité du gaz produit à Bromma

Biogaz brut			
Type de gaz	Formule	Quantité	Unités
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	33,7	%
Oxygène	O <sub>2</sub>	≤ 0,2	%
Méthane	CH <sub>4</sub>	65,5	%
Hydrogène sulfuré	H <sub>2</sub> S	< 0,5	ppm
Azote	N <sub>2</sub>	0,4	%
Biogaz épuré			
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	1,7	%
Oxygène	O <sub>2</sub>	≤ 0,2	%
Méthane	CH <sub>4</sub>	97	%
Hydrogène sulfuré	H <sub>2</sub> S	< 0,5	ppm
Azote	N <sub>2</sub>	1	%

### Emissions

Le tableau ci-après indique les valeurs limites que la norme EC 2000 impose en matière d'émissions

polluantes. Il est à noter que cette norme est déjà appliquée à Stockholm alors qu'elle ne rentrera en vigueur qu'en l'an 2000.

Année	Monoxyde de carbone (CO en g/km)	Hydrocarbures (HC en g/km)	Oxydes d'azote (NOx en g/km)
1996	2,2	0,5 pour le total HC + NOx	
2000	2,3	0,2	0,15
2005	1,0	0,1	0,08

Les mesures effectuées ont montré que les émissions polluantes d'un véhicule bicarburant essence-biogaz sont moins importantes si l'on

utilise le biogaz plutôt que l'essence, comme le corrobore le tableau ci-après.

	Volvo 850 bicarburant, 2,5 l, 10 soupapes, automatique, 144 ch, année 1996	Emissions en g/km
	Essence	Biogaz
HC	0,1	0,207
CO	0,6	0,28
NOx	0,16	0,08

### Aspects financiers

Coûts d'investissement 1995 en ECU	
Station de traitement du biogaz	407 000
Équipement connexe	132 000
Bâtiments	88 000
Personnel	110 000
Divers	11 000
Total	748 000
Subvention « Ecological Adjustment »	171 600
Subvention KFB	77 000
Total	248 600
<b>Total après déductions</b>	<b>499 400</b>

Dépenses annuelles en ECU	
Coûts d'investissement (499 400 x 0,256)	127 846
Entretien	11 000
Personnel	15 400
Electricité (400 000 kWh)	11 000
Divers	11 000
<b>Total</b>	<b>176 246</b>

1 SEK = 0,11 ECU

Hypothèses :

Taux d'intérêt nominal : 8,75%

Amortissement : sur cinq ans

Production annuelle biogaz épuré : 400 000 Nm<sup>3</sup>

215 600 ECU/an (NB : 4,9 SEK/Nm<sup>3</sup> (0,539 ECU) de biogaz est le prix de vente au distributeur d'énergie ; à la station de remplissage, le consommateur doit payer 8,0 SEK/Nm<sup>3</sup> soit 0,88 ECU/Nm<sup>3</sup>).

### Evaluation financière

Hypothèses :

Production annuelle de biogaz épuré : 400 000 Nm<sup>3</sup>

Recettes de la vente du biogaz épuré produit : 400 000 Nm<sup>3</sup> x 4,9 SEK/Nm<sup>3</sup> = 1 960 000 SEK/an soit

Recettes	215 600 ECU/an
Dépenses	176 246 ECU/an
<b>Total</b>	<b>+39 354 ECU/an</b>

## PERSPECTIVES

La Municipalité de Stockholm a soumis en 1998 une proposition dans le cadre du programme Altener II de la DG XVII de la Commission européenne qui vise à construire deux nouveaux sites de production du biogaz, le premier à Bromma (extension du site pilote) et le second à

Henriksdal. Il était prévu que les travaux débutent fin 1998 et se terminent fin 2001.

La production annuelle de biogaz carburant devrait être de 4 500 000 Nm<sup>3</sup> par an. Un système d'échange de chaleur sera créé pour économiser l'énergie utilisée dans le cadre du process d'épuration.

Estimation des coûts d'investissement en ECU	
Station de traitement du biogaz	3 900 000
Equipement connexe	2 500 000
Bâtiments	500 000
Direction du projet	70 000
Bureau d'études	70 000
Divers	50 000
<b>Total</b>	<b>7 090 000</b>
Subvention du Gouvernement suédois	2 118 000
<b>Total général après déductions</b>	<b>4 972 000</b>

Dépenses annuelles estimées en ECU	
Coûts d'investissement (4 972 000 x 0,256)	1 272 832
Entretien	200 000
Personnel	85 000
Electricité	25 000
Divers	20 000
<b>Total</b>	<b>1 602 832</b>

## Hypothèses :

Taux d'intérêt nominal : 8,75%

Amortissement : sur cinq ans

Production annuelle de biogaz épuré : 4 500 000 Nm<sup>3</sup>**Evaluation financière prospective**

## Hypothèses :

Production annuelle biogaz épuré : 4 500 000 Nm<sup>3</sup>

Recettes	2 117 647 ECU/an
Dépenses	1 602 832 ECU/an
<b>Total</b>	<b>+ 514 815 ECU/an</b>

Recettes de la vente du biogaz épuré produit : 4 500 000 Nm<sup>3</sup> x 0,47 ECU/m<sup>3</sup> = 2 117 647 ECU/an (NB : 0,47 ECU/Nm<sup>3</sup> de biogaz sera le prix de vente au distributeur d'énergie ; à la station de remplissage, le consommateur devra payer 0,88 ECU/ Nm<sup>3</sup>).

Il est à noter que cette évaluation financière prospective concerne les carburants biogaz et essence. Si elle concernait les carburants biogaz et diesel, l'économie générale du projet serait moins favorable au biogaz de 30%, le prix du gazole en Suède étant 30% moins élevé que l'essence.

Par ailleurs, cette évaluation suppose la vente totale du biogaz carburant produit.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Stockholm Vatten AB  
Teknik  
Konstruktion, Tk  
Tarsgatan 26  
SE-10636 STOCKHOLM  
M. Lars RAHM  
Tél. : +46 8 736 24 14  
Fax : +46 8 736 22 12  
E-mail : lars.rahm@stockholmvatten.se

OILTECH AB  
Förrådsvägen 2  
SE-181 41 LIDINGÖ  
Tél. : +46 8 636 07 00  
Fax : +46 8 767 97 56

KFB  
M. Tommy MANSSON  
Box 5706  
SE-11487 STOCKHOLM  
Tél. : +46 8 459 17 00  
Fax : +46 8 662 66 09

Cette fiche de cas a été réalisée par Energie-Cités grâce à la collaboration des responsables de la Ville de CHAMBÉRY (FR), de la compagnie Stockholm Vatten et au soutien technique et financier de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

ADEME

