

**Valorisation des rejets thermiques et du CO₂
de la
centrale du Suroît d'Hydro-Québec**

Mémoire déposé auprès de la Régie de l'énergie

Par le

CLD Beauharnois-Salaberry

Avec la participation de

André Gosselin, Ph.D., Agr.

Professeur

Université Laval

Avril 2004

Avant-propos

Le centre local de développement Beauharnois-Salaberry a pour mission le développement économique et régional, notamment en appuyant la création, la consolidation et l'expansion des entreprises locales. Ses principaux mandats incluent, entre autres :

- L'élaboration d'un plan d'action local d'action en matière de développement socio-économique et de développement de l'emploi et sa mise en place;
- L'élaboration de stratégies locales liées au développement de l'entrepreneuriat et des entreprises, incluant les entreprises de l'économie sociale;
- La gestion des fonds confiés par le conseil des maires de la MRC de Beauharnois-Salaberry et le gouvernement du Québec en fonction des critères et objectifs s'y rattachant et de ceux établis par le milieu.

Étant soucieux d'un développement économique actif, intégré et durable, le Centre local de développement Beauharnois-Salaberry (CLD) est concerné par l'avenir du projet de Centrale à cycle combiné le Suroît.

Dans ce contexte, puisque le

« CLD Beauharnois-Salaberry n'a pas l'expertise requise pour se prononcer sur la valeur environnementale du projet de la centrale du Suroît, ni les connaissances sur la situation énergétique du Québec, le conseil d'administration du CLD ne souhaite donc pas prendre position sur le projet du Suroît. Cependant, advenant la construction de la centrale du Suroît, le CLD souhaiterait que la position du BAPE et du ministère de l'Environnement soit maintenue quant à la réalisation d'une étude sur la faisabilité technique et économique de valoriser les rejets thermiques de la centrale, avant que la réalisation de la centrale soit à un point tel qu'elle ne puisse permettre des modifications advenant une conclusion positive de l'étude. »

(Extrait du procès-verbal de la réunion des administrateurs du conseil d'administration du centre local de développement Beauharnois-Salaberry tenue le 10 mars 2004 à Salaberry-de-Valleyfield.)

Contexte local et repositionnement stratégique

Le CLD Beauharnois-Salaberry a établi ses axes de développement priorités lors d'une activité de consensus-action réunissant plus de 80 décideurs de tous les secteurs de l'économie de la MRC en avril 2003.

Six axes de développement ont été définis, soit :

- l'agroalimentaire;
- l'environnement;
- le récréotouristique;
- le transport;
- la métallurgie;
- le capital social.

Pour atteindre ses objectifs, quatorze projets ont été identifiés par les décideurs et qualifiés de « porteur » en accord avec ces axes. Parmi ces projets, nous retrouvons le « Complexe agrothermique Beauharnois-Salaberry ».

En résumé, le projet de Complexe agrothermique Beauharnois-Salaberry consiste à rendre les eaux de refroidissement de deux usines de produits chimiques de la MRC disponibles à d'autres utilisateurs. Ces rejets d'eau de refroidissement, sous forme d'eau chaude à 40°C, pourrait être mis en valeur comme source de chauffage, entre autre pour la production sous serres, tel qu'il a été réalisé, entre autre, à New Richmond en Gaspésie. Ce projet de développement est à l'ébauche depuis plus de 16 mois et arrive à terme. Cette démarche est supportée par l'Agence de l'efficacité énergétique, Hydro-Québec, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le ministère du Développement Économique et Régional et de la Recherche (MDÉRR), la Société d'aide au développement des collectivités (SADC) du Suroît-Sud, Développement économique Canada (DEC) et le Conseil régional de développement de la Montérégie (CRDM).

Une démarche de valorisation semblable à celle du Complexe agrothermique Beauharnois-Salaberry appliquée à la centrale du Suroît pourrait faire de cette dernière un moteur de développement économique fort et créateur d'emplois structurant, tout en améliorant la

performance de la centrale et une utilisation plus rationnelle de la ressource gaz naturel. La recommandation du rapport d'enquête et d'audience du BAPE et du rapport d'analyse environnementale du ministère de l'environnement, « produire une étude sur la faisabilité technique et économique de valoriser les rejets thermiques de la centrale » (extrait de la condition 2 du décret 1363-2003 du ministère de l'environnement) abonde d'ailleurs dans le même sens.

Dans les pages qui suivent, nous présenterons des exemples nous permettant de croire au réalisme technique et économique de cette démarche, ainsi que les principaux arguments de développement économique durable, de même que les principaux effets sociaux et environnementaux en faveur de la valorisation thermique dans une centrale thermique. La production sous serres étant l'opportunité de valorisation de rejet thermique, non pas la seule, mais probablement la plus évidente, nous débiterons par un aperçu de la situation de cette industrie.

1. L'industrie de la production sous serres

La serriculture se distingue des autres productions agricoles de plusieurs façons, notamment par des besoins importants en investissements, en main-d'œuvre et en énergie et une forte valeur ajoutée de ses produits.

Les revenus importants de la serriculture, de l'ordre de 1 à 3 M \$/ha, justifient des investissements majeurs. Ainsi, une serre de haute technologie, adaptée aux conditions nordiques, recouverte de verre et comportant une toile thermique, un éclairage d'appoint, un système hydroponique, des systèmes de contrôle informatisé du climat, de chauffage à l'eau chaude, de ventilation naturelle, d'enrichissement carboné et de brumisation, des équipements modernes de manutention et de classification, peut nécessiter un investissement de plus de 2 à 3 M \$/ha. Le coût en capital et en intérêt peut représenter jusqu'à 25 % des coûts de production selon le niveau d'investissement, la durée de l'amortissement et les taux d'intérêt et représenter un montant annuel de plus de 300 000 à 500 000 \$.

Les coûts en énergie, rattachés principalement au chauffage de la serre et à l'éclairage artificiel, varient en fonction de plusieurs facteurs comme, évidemment, la localisation de la serre. Dans les régions les plus froides du globe, tel que le Québec, et même en dépit des meilleures technologies, la dépense en énergie représente plus de 25 % des coûts de production.

Les cultures en serre sont très exigeantes en main-d'œuvre dont le coût annuel peut représenter jusqu'à 25 à 30 % des coûts de production.

Ainsi, les coûts du capital, de l'énergie et de la main-d'œuvre peuvent totaliser plus de 75 % des coûts de production. Les coûts de tous les intrants agricoles, soit les fertilisants, les semences, les substrats, les produits phytosanitaires, les emballages, etc., ne représentent donc que 20 à 25 % des coûts de production.

1.1 Le vaste champ des cultures abritées

L'expression «culture abritée» désigne toute culture produite sous couvert artificiel, allant d'un simple plant recouvert de plastique pour le préserver d'une gelée nocturne jusqu'au grand complexe ultra-moderne de serre. L'emploi de paillis de plastique, de mini-tunnels ou de bâches est une autre forme de culture abritée utilisée de façon très intensive dans toutes les régions de la planète. En Chine seulement, on estime à plus de 1 000 000 ha la superficie cultivée en plasticulture. Ces pratiques sont omniprésentes dans les pays méditerranéens pour un grand nombre d'espèces fruitières et maraichères, en Floride et en Californie pour la culture de la tomate, de la fraise et de plusieurs espèces.

Les cultures fruitières, maraichères et même ornementales sont également pratiquées dans de grands tunnels. Ces grands tunnels, dotés d'une structure légère, sont généralement recouverts d'un seul film de polyéthylène. Ils ne comportent pas toujours de chauffage, de ventilation ou de système de contrôle du climat. La culture se fait généralement en sol. Ces tunnels, plus populaires dans les zones maritimes et tempérées en raison de conditions climatiques moins extrêmes, permettent de prolonger la période de culture.

Le terme «serre» est généralement réservé aux structures plus élaborées comportant des systèmes de chauffage et de ventilation et des équipements modernes de production. On les retrouve davantage dans les régions nordiques, mais de plus en plus dans les régions méridionales. Dans le premier cas, la serre protège du froid, de la pluie et de la grêle, alors que dans le second cas, elle protège aussi de la chaleur excessive, des vents, des maladies et des insectes.

1.2 La serriculture mondiale

L'Europe est certainement le continent où la serriculture est la plus développée. En effet, on retrouve plus de 100 000 hectare (ha) de serres en Europe pour répondre aux besoins d'environ 300 000 000 de consommateurs. En Amérique du Nord, on retrouve moins de 10 000 ha pour répondre à un nombre semblable de consommateurs. Par ailleurs, la serriculture est très développée au Japon (50 000 ha) et en Chine (1 000 000 ha approximativement en plasticulture).

La Hollande est sans aucun doute le chef de file technologique de la serriculture avec plus de 9 000 ha, dont environ la moitié en floriculture. On retrouve en Hollande une multitude d'entreprises œuvrant dans toutes les sphères de la serriculture (grainetiers, manufacturiers de serres et d'équipements, exportateurs, fournisseurs d'intrants, etc.). L'Espagne est le pays en émergence en serriculture, surtout en culture maraîchère. Il faut toutefois reconnaître que la serriculture espagnole est moins sophistiquée, bénéficiant de conditions climatiques plus favorables.

Dans les pays du nord de l'Europe, la serriculture est caractérisée par des structures modernes très hautes recouvertes de verre ou d'un matériau rigide, chauffées, ventilées et dotées des équipements de haute technologie comme l'éclairage d'appoint, l'enrichissement carboné, la brumisation et l'hydroponie. Ces investissements sont essentiels pour que les serriculteurs demeurent compétitifs par rapport aux producteurs des régions plus au sud. La plus grande technicité et les équipements modernes permettent d'obtenir une productivité beaucoup plus élevée, de réduire la dépense énergétique et de diminuer les besoins en main-d'œuvre. Une serre moderne peut produire plus de 600 tonnes de tomates en Hollande, alors qu'on en produit environ

la moitié dans une serre normale en Espagne. Les dépenses énergétiques et de main d'œuvre sont cependant bien plus importantes dans les pays nordiques en comparaison avec les régions du sud.

1.3 L'Amérique du Nord

La serriculture est peu développée en Amérique du Nord en comparaison avec l'Europe ou certaines régions de l'Asie. Cette situation s'explique partiellement par la priorité accordée traditionnellement aux cultures en champs dans les régions du sud (Floride, Californie et Mexique) et la fluidité des autoroutes américaines.

La serriculture mexicaine est en pleine expansion en raison des conditions climatiques exceptionnelles en période hivernale, de la disponibilité de main-d'œuvre qualifiée à très faible coût et de l'ouverture des marchés américains et canadiens. On estime à plus de 500 ha la superficie des serres au Mexique. La croissance y est très rapide. Des serriculteurs européens, israéliens et canadiens s'y établissent d'ailleurs pour exploiter le marché nord-américain.

La serriculture américaine compte environ 5 000 à 6 000 ha, surtout pour la production florale. Les serres sont surtout localisées près des bassins de population, soit en Californie, en Floride, au Texas et à New York. On y cultive les fleurs en caissettes, les plantes vertes et les potées fleuries. La production de fleurs coupées est en décroissance au profit des pays de l'Amérique centrale. Les cultures maraîchères, jadis importantes dans la région des Grands Lacs, sont aujourd'hui peu importantes. On observe toutefois une augmentation de la production maraîchère au Colorado, en Arizona et au Texas en raison des conditions climatiques avantageuses en période hivernale et de la disponibilité de main-d'œuvre d'origine mexicaine.

1.4 La serriculture canadienne

La serriculture canadienne est relativement bien développée avec des superficies en culture d'environ 2 000 ha. La valeur à la ferme est supérieure à 2 MM \$. L'Ontario représente près de 50 % de l'industrie canadienne des serres, alors que la Colombie-Britannique et le Québec

s'accaparent d'environ 20 % chacun. Il existe également des serres en Alberta et en Nouvelle-Écosse.

L'industrie serricole s'est particulièrement développée en Ontario à cause du climat avantageux dans la région méridionale, soit celle de Leamington et de Niagara, de la disponibilité de gaz naturel à bon marché depuis des décennies, de l'arrivée d'horticulteurs hollandais, italiens et allemands après la deuxième guerre mondiale, de la proximité des marchés et de subsides gouvernementaux. La région de Leamington connaît actuellement un développement considérable surtout dans les productions maraîchères. La région métropolitaine de Toronto, incluant la péninsule du Niagara, bénéficie d'un climat plus chaud en hiver et plus frais en été à cause l'influence du lac Ontario. La production florale est particulièrement développée dans cette région. Le développement des marchés américains est un élément important de l'essor de l'industrie ontarienne des serres.

La Colombie-Britannique a su tirer profit de son climat maritime, de la disponibilité du gaz naturel et de la proximité des marchés américains pour développer son industrie serricole. On y retrouve plus de 300 ha répartis à peu près également entre les productions florales et maraîchères. Le développement des serres et la mise en marché y sont organisés et contrôlés.

1.5 L'industrie québécoise des serres

La culture en serre est très jeune au Québec. Née vers le début des années '60, elle a pris un essor important au début des années '70 avec l'arrivée des films de plastique, plus économiques et mieux adaptés à nos conditions. La crise de l'énergie a considérablement ralenti le développement du secteur, avant que l'introduction de tarifs préférentiels d'énergie et un effort gouvernemental ne permettent un développement rapide de l'industrie à la fin des années '80. On retrouve environ 260 ha de serres au Québec répartis entre les productions maraîchères et florales. La taille moyenne des entreprises est d'environ 2 500 m².

Les serres sont surtout localisées dans la région métropolitaine à cause du climat plus favorable, de la disponibilité du gaz naturel et de la proximité des marchés. Les serres sont de mieux en

mieux équipées, mais on retrouve encore des serres basses, individuelles, non-informatisées, sans éclairage artificiel, ni enrichissement carboné. Les serres sont le plus souvent recouvertes d'un double film de polyéthylène. La culture hydroponique est répandue ainsi que l'emploi des méthodes de lutte biologique. Les cultures de tomates et de laitues sont importantes ainsi que la production de fleurs en caissettes et de certaines potées fleuries. La production est surtout écoulée sur les marchés locaux.

Le manque d'organisation, la petite taille et la dispersion des entreprises, le prix élevé de l'énergie ainsi que les conditions climatiques plus froides du Québec expliquent le développement plus lent de la serriculture québécoise. Le potentiel de développement est toutefois élevé compte tenu de la demande intérieure et de la proximité des immenses marchés du nord-est des États-Unis.

Créer un environnement de production avantageux pourrait permettre de tirer profit de la forte croissance de la demande de produits serricoles sur les marchés nord-américains et pourrait également permettre à la serriculture québécoise de combler son retard important par rapport à l'Ontario.

2. Détermination des besoins énergétiques de la serriculture

Les besoins énergétiques totaux d'une serre non-éclairée sont déterminés à partir des données du Conseil des productions végétales du Québec pour une culture de tomates ou de fleurs (21 °C le jour, 17 °C la nuit) et pour une serre éclairée de serres commerciales (Tableau 1). Il s'agit de serres jumelées recouvertes d'un double film de polyéthylène ou de verre avec un écran thermique.

Nous estimons qu'une serre aménagée dans la région de Beauharnois avec une culture de tomates ou de fleurs sans éclairage photosynthétique nécessite 820 kWh/m² par an pour le chauffage. À cette quantité d'énergie, il faut ajouter 20 kWh/m²/an pour l'entretien soit le fonctionnement des pompes pour le chauffage, de la ventilation naturelle et horizontale et de l'éclairage de base.

Une serre dotée d'un système d'éclairage photosynthétique de 20 W/m² (PAR) nécessite une dépense énergétique annuelle totale de 877 kWh/m². Les données du tableau 1 indiquent que les mois de décembre, janvier et février comptent pour 42,1% de la dépense énergétique annuelle, alors que ceux de juin, juillet et août ne comptent que pour 7,8%. La puissance du système de chauffage doit être d'au moins 2,5 MW par hectare, Cependant, compte tenu de la saisonnalité des besoins de chauffage, une puissance équivalente à 60-65% de la puissance maximale permet de répondre à environ 90% des besoins en chauffage.

Tableau 1 : Besoins énergétiques totaux (MWh) d'un hectare de serres avec ou sans un éclairage photosynthétique de 20 W/ m² (PAR)

Mois	Besoins énergétiques		
	Sans éclairage (KWh/ m ²)	Avec éclairage (KWh/ m ²)	%
Janvier	130	141	16,1
Février	105	114	13,0
Mars	82	88	10,0
Avril	71	76	8,5
Mai	54	54	6,2
Juin	21	21	2,4
Juillet	20	20	2,3
Août	27	27	3,1
Septembre	44	48	5,5
Octobre	73	79	9,1
Novembre	87	94	10,8
Décembre	106	115	13,0
Total	820	877	100

Le tableau 2 indique les besoins énergétiques d'une serre dans la région du sud de Montréal. Ainsi, une serre sans éclairage photosynthétique utilisée à l'année pour la culture de la tomate ou de fleurs requièrent 820 kWh/m²/an pour le chauffage et 20 kWh/m²/an en électricité pour le fonctionnement des serres. Des serres avec éclairage photosynthétique requiert 849 et 877 kWh/m²/an en énergie pour des niveaux lumineux de 10 et 20 W/ m² (PAR) respectivement.

Tableau 2 : Besoins énergétiques (kWh/ m²) pour l'entretien, l'éclairage et le chauffage d'un hectare de tomates ou de fleurs en serre avec ou sans éclairage photosynthétique

Niveaux d'éclairage	Entretien	Éclairage*			Chauffage	Totaux
		Cons.	Eff (%)	Contr.		
0	20	0	N/A	0	820	840
10	20	89	90	80	740	849
20	20	187	80	150	670	877

* Consommation énergétique, efficacité (%) et contribution au chauffage

Les conditions climatiques plus froides du Québec désavantagent donc cette industrie par rapport à la compétition. La dépense énergétique pouvant représenter plus de 25% du coût de production, une diminution de ce poste de dépense pour s'avérer très profitable.

3. Utilisation du CO₂ dans les serres

Les plantes bénéficient en général d'un accroissement de l'atmosphère en CO₂ pour stimuler la photosynthèse et atténuer la respiration des cultures. Il est généralement reconnu qu'un

accroissement de la teneur en CO₂ de l'atmosphère de 350 à 1000 ppm permet d'accroître la productivité des cultures de 25-30% et même davantage sous certaines conditions.

Les serriculteurs utilisent une ventilation mécanique pour assurer un apport extérieur en CO₂ permettant ainsi de maintenir une teneur en CO₂ au moins aussi élevée à l'intérieur de la serre que dans l'air extérieur. Cette stratégie ne permet pas d'accroître la concentration en CO₂ au-delà de la teneur normale de l'air ambiant soit 350 ppm. Pour atteindre un niveau de 1000 ppm, un apport externe doit être utilisé.

Pour assurer cet apport externe, les serriculteurs utilisent du CO₂ pur ou récupèrent le CO₂ de la combustion de gaz naturel ou de propane de leur système de chauffage. Dans le premier cas, le CO₂ provient de fournisseurs spécialisés et des réservoirs sont installés près de la serre. Le CO₂ est utilisé selon les besoins. Le désavantage de cette technologie est le coût souvent plus élevé qui peut atteindre 200 à 250 \$/tonne ou 0,20 à 0,25 \$/kg.

Plus souvent, les serriculteurs récupèrent le CO₂ de la combustion de gaz naturel ou de propane bénéficiant ainsi simultanément de l'apport de chaleur. En période hivernale, les besoins diurnes en chauffage permettent de générer suffisamment de CO₂ pour répondre aux besoins de la serre. En période printanière et automnale, les besoins de chauffage sont moindres et la ventilation est plus importante, de telle sorte que le CO₂ généré par le chauffage est insuffisant pour assurer une productivité optimale. Les serriculteurs peuvent donc brûler des hydrocarbures uniquement pour les fins d'enrichissement carboné. Dans ce cas, le coût du CO₂ est d'environ 0,20/kg (0,36 \$ par m³ de gaz naturel /1,8 kg de CO₂ par m³).

En été, les besoins en chauffage sont presque nuls de telle sorte que le CO₂ issu de la combustion de gaz naturel coûte également 0,20\$/kg. Pour réduire ces coûts, les serriculteurs peuvent opter pour un stockage thermique permettant d'accumuler la chaleur le jour alors que le CO₂ est requis et d'utiliser cette chaleur la nuit pour répondre aux besoins en chauffage. Le CO₂ issu de la combustion du gaz naturel est suffisamment propre pour être valorisé par des plantes dans des serres, on doit simplement éliminer la vapeur d'eau par condensation.

Le tableau 3 présente les besoins mensuels et annuels en CO₂ pour répondre aux besoins des cultures. En raison de la ventilation moindre, les besoins en CO₂ sont inférieurs en hiver qu'au printemps ou à l'automne qu'à l'été. Pour les fins de la présente analyse, nous avons assumé un enrichissement carboné de 12 heures par jour. Selon nos estimations, chaque hectare de serre nécessite 1 654 tonnes de CO₂ pour maximiser la productivité des cultures.

Tableau 3 : Besoins horaires, mensuels et annuels en CO₂ d'un hectare de serres

Mois	Horaires (g/m ² /h)	Mensuels (kg/m ²)	Totaux (T/ha)
Janvier	15	5,6	56
Février	30	10,8	108
Mars	30	11,2	112
Avril	45	16,2	162
Mai	45	16,8	168
Juin	60	21,6	216
Juillet	60	22,3	223
Août	45	16,7	167
Septembre	45	16,2	167
Octobre	30	11,1	111
Novembre	30	10,8	108
Décembre	15	5,6	56
Total		165,4	1654

La production en serres valorise le CO₂ par la croissance des plantes. Le CO₂ est donc consommé plutôt que libéré dans l'atmosphère, ce qui diminue d'autant la contribution aux gaz à effet de serre (GES).

4. Détermination des besoins en terrains et en eau

Il faut prévoir environ 1,5 ha de terrain pour chaque hectare de serre afin de tenir compte des espaces nécessaires pour les entrepôts, les stationnements, les voies d'accès, etc. Ainsi, pour un projet de 40 ha, il faut prévoir au moins 60 ha de terrains à proximité de la centrale, pour un projet de 100 ha, il faudrait prévoir au moins 150 ha de terrains, etc.

Les besoins en eau sont déterminés en fonction des exigences culturales des productions. Il est à noter que la présente étude prévoit le recyclage complet des solutions nutritives des plantes pour diminuer les coûts de production et éliminer les impacts environnementaux négatifs.

Ainsi un plant de tomate consommera un maximum de 4 litres par jour et sa densité de population pourra atteindre 2.4 plants/m² en période estivale. On estime que sous ces conditions, on pourra recycler 30% des solutions nutritives réduisant ainsi les besoins en eau. Pour chaque hectare de production, le besoin journalier maximum en eau est estimé à 70 m³, alors que les besoins annuels sont estimés à 14 000 m³/ha.

La qualité de l'eau est également importante, puisqu'elle ne doit pas comporter d'éléments toxiques ou négatifs aux cultures. Ainsi, l'eau doit être exempte de résidus de pesticides et de sels minéraux en trop grandes quantités. Elle ne doit pas avoir des teneurs excessives en certains ions tels que présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Concentrations maximales permises des éléments dans l'eau d'irrigation

Élément	Concentration maximale (ppm)
Phosphore	50
Calcium	100
Magnésium	50
Fer	5
Manganèse	1
Cuivre	0,1
Zinc	0,3
Bore	0,35
Molybdène	0,05
Sodium	100
Chlore	70
Bicarbonates	500
Sulfates	350

Tiré du guide Légumes de serre, Culture sur film nutritif, CPVQ

Au niveau microbiologique, l'eau doit être exempte de microorganismes potentiellement toxiques (e. coli, bacilles, etc.), ce qui est normalement le cas au Canada. Elle ne doit pas non plus contenir de bactéries ferreuses qui entraînent la précipitation de certains ions et le colmatage des systèmes d'irrigation. Dans le cas où l'eau serait trop saline et/ou contiendrait certains microorganismes indésirables, il faudrait prévoir un traitement primaire.

L'analyse du choix du site de la centrale du Suroît indique la disponibilité de terrains agricoles à proximité et d'eau tant en terme de quantité que de qualité. (*annexe 1 : carte*) La disponibilité de terrains et d'eau n'est donc pas un facteur limitant du projet.

5. La valorisation des rejets thermiques en serriculture

Il existe plusieurs projets de valorisation des énergies de rejet tant au Québec qu'à l'étranger. Près de chez nous, la centrale en cogénération de Boralex à Kingsey Falls applique une démarche de valorisation des rejets thermiques en fournissant de la chaleur à « Séchoirs Kingsey Falls inc. » et à « Les Serres Francis Lemaire inc. ». La chaleur récupérée est d'abord acheminée aux séchoirs à bois et transférée par la suite aux serres, accordant ainsi un avantage économique indéniable aux deux entreprises. Cette chaleur provient des gaz chauds d'une des cheminées et des liquides de refroidissement des turbines et est rendue disponible à l'aide de deux échangeurs à chaleur. Il n'y a donc aucune utilisation directe de liquide de refroidissement, éliminant ainsi les risques de fluctuation de température, de contamination et simplifiant ainsi la gestion de cette synergie.

Dans la Baie des Chaleurs en Gaspésie, à New Richmond plus précisément, la cartonnerie Smurfit-Stone rend ses eaux de refroidissement disponibles aux Serres Jardins-Nature, le plus important producteur de tomate biologique sous serres au Québec. En utilisant le rejet d'eau chaude, eau d'une température approximative de 40°C, les serres économisent environ 75% de leur facture énergétique et agissent comme refroidisseurs pour la cartonnerie. Les deux entreprises sont heureuses de cette alliance qui dure depuis près de deux ans.

Les meilleurs exemples de mise en valeur d'énergie résiduelle sont cependant en Europe. Dans la première moitié des années 70, l'Europe prenait de plein fouet le choc pétrolier. Cette situation allait grandement influencer, non seulement les options des politiques énergétiques, mais également le comportement des entreprises qui voyaient leurs coûts de production augmenter de façon inquiétante. La recherche de sources énergétiques alternatives s'est donc renforcée de façon très marquée, principalement en Europe de l'Ouest.

En France, on retrouve plusieurs parcs agrothermiques, zone de production regroupant plusieurs entreprises qui mettent en valeur les eaux de refroidissement de centrale nucléaire. On retrouve également quelques exemples de cette façon de faire en Allemagne et en Belgique. (*annexe2 : acte du colloque international sur la valorisation des rejets d'eaux tièdes en Maraîchage,*

Horticulture, Aquaculture Lyon-31 janvier 1992). On peut d'ailleurs remarquer qu'en plus des producteurs sous serres, ces sites de production accueillent également des piscicultures et des agro-industries qui tirent bénéfice de la mise en valeur des rejets thermique.

La Hollande, leader mondial en production sous serres, compte près de 1 000 unités de production d'électricité, en mode « CHP » (*Combine Heat and Power*) dont la chaleur et le CO₂ sont récupérés pour le chauffage et l'enrichissement carboné de serre. Le gaz naturel est la source principale d'énergie et l'efficacité énergétique globale est très élevée. Plus précisément, le projet **RoCa-3** (*annexe 3 : RoCa-3 a green power plant for greenhouses, site Internet du conseil mondial de l'énergie*), initié en 1996, fournit de l'énergie et du CO₂ à environ 250 ha de serres à partir d'une unité de production d'électricité de 200 MW à **cycle combiné** et de deux plus petites unités dont la puissance totale est de 50 MW. RoCa-3 fournit 880 000 000 kWh annuellement pour chauffer 250 ha, ce qui correspond à environ 355 kWh/m²/an. Cette quantité d'énergie contribue à environ 85% des besoins énergétiques des 250 ha sous les conditions climatiques de la Hollande. Cette unité de production énergétique est d'ailleurs citée en exemple « RoCa3 started up operations in 1996 and the plant has been a huge success. Not only for the growers, who profit from having a cheap supply of heat and CO₂, but also for Dutch electricity consumers, who can enjoy the cheap electricity supplied to the grid. » Cette citation est tirée du site Internet *Cogeneration in the Netherlands*.

Dans le cas de RoCa-3, l'efficacité énergétique théorique du projet est de 48 à 51% pour la fabrication d'électricité et de 88% en tenant compte de l'énergie calorifique valorisée dans les serres. Après une année d'opération, l'efficacité énergétique avait déjà atteint 71%.

RoCa-3 a prévu les installations nécessaires pour accroître la teneur en CO₂ de l'air des gaz d'échappement de 3,5 à 10% pour en favoriser la valorisation. RoCa-3 produit et valorise 7 kg CO₂/s, ce qui permet de fournir 10 g/m²/h de CO₂ dans les 250 ha de serres. Cette quantité de CO₂ répond entièrement aux besoins des plantes en période hivernale et de façon très significative en période automnale et printanière. Grâce à son procédé, la réduction des émissions de CO₂ de RoCa-3 est chiffrée à 20%. Cette centrale est d'ailleurs présentée comme « RoCa-3 a green power plant for greenhouses. » (annexe 3)

Monsieur Claude Roche, président de la Fédération Nationale des Producteurs de l'Horticulture et des Pépinières, dans son allocution d'ouverture du Colloque international sur la valorisation des rejets d'eaux tièdes de Lyon (en France) en 1992 (annexe 2), a très bien résumé l'intérêt des producteurs dans cette démarche.

« L'intérêt de se pencher sur l'utilisation des rejets d'eaux tièdes en horticulture revêt pour les producteurs que je représente, un caractère particulièrement crucial et ce, d'un triple point de vue.

L'utilisation des rejets d'eaux tièdes aux abords des centrales, permet au producteur de disposer d'un potentiel continu d'approvisionnement énergétique, plutôt bon marché et qui plus est, généralement installé dans de parfaites conditions de sûreté.

Cet avantage est loin d'être négligeable quand on sait que le poste consacré aux dépenses d'énergie par les entreprises horticoles peut représenter jusqu'à 20% des coûts de production. [plus de 25% sous le climat du Québec]

Par ailleurs, un certain nombre d'études ont démontré l'influence tout à fait positive qu'exercent les eaux tièdes sur la qualité des productions horticoles.

Enfin troisièmement, la politique ainsi développée de façon à favoriser l'installation de producteurs de l'horticulture à proximité de ces sources d'énergie est un facteur de développement de bassins de production qui font aujourd'hui encore, si cruellement défaut à l'économie horticole française.

L'économie, la cohérence et l'efficacité se trouveraient donc potentiellement renforcées par cette politique de développement de l'utilisation des rejets d'eaux tièdes par l'horticulture... ».

L'allocution de M. Roche, fait donc allusion à une réduction des coûts de chauffage, à l'utilisation d'une source de chauffage de haute qualité et à la création de grappes industrielles horticoles.

6. Potentiel de valorisation de la centrale du Suroît

Hydro-Québec propose la construction à Beauharnois d'une centrale thermique à cycle combiné fonctionnant au gaz naturel. La nouvelle centrale dont la puissance est estimée à 800-850 MW comprendra deux blocs distincts, soit un cycle au gaz et un cycle vapeur. Le gaz naturel est brûlé dans la chambre à combustion de la turbine à gaz couplé à un alternateur. Les gaz d'échappement à haute température des turbines à gaz sont dirigés vers des chaudières de récupération qui produisent de la vapeur à haute pression qui entraîne une turbine à vapeur et génère de l'électricité. Cette partie du procédé est comparable à celui de RoCa-3 en Hollande. À la centrale du Suroît, Hydro-Québec prévoit qu'à la sortie des turbines, la vapeur saturée sera condensée et la chaleur excédentaire rejetée dans le canal Beauharnois, comme auparavant à la cartonnerie Smurfit-Stone de la Baie des Chaleurs.

Des convertisseurs catalytiques déjà prévus réduisent les émissions de NOx à moins de 3 ppm permettant ainsi de valoriser le CO₂ généré par le procédé.

Assumant une centrale thermique d'une capacité de 850 MW et une efficacité de 60%, on estime que l'énergie perdue dans l'environnement s'élève à 340 MW. Pour les fins de la présente étude et de façon très conservatrice, nous assumons que la partie récupérable de l'énergie pour la sericulture est de 30 %, soit 102 MW. Cette quantité d'énergie permet de répondre à 100% des besoins énergétiques annuels de 40 ha, à 90% des besoins énergétiques annuels de 70 ha ou à environ 70% des besoins énergétiques de 100 ha de serres. Rappelons que le projet RoCa-3 en Hollande d'une puissance de 250 MW fournit de l'énergie et du CO₂ à plus de 250 ha de serres.

Il est à noter que l'émissaire d'eau de retour au canal de Beauharnois, avec un gradient de température de 10°C est insuffisant. Il est généralement admis que, sous le climat du Québec, un rejet d'eau devrait être d'une température variant entre 40 et 50°C pour qu'il soit économiquement justifiable de le valoriser dans un système de chauffage.

Il est également à noter la duplicité de l'économie d'énergie et de CO₂. La quantité d'énergie récupérée par les utilisateurs du rejet thermique diminue d'autant leur niveau de production. Il en va de même pour le CO₂ absorbé. Les producteurs en serres n'auraient plus à utiliser des hydrocarbures pour le produire, principalement en période estivale.

7. Impacts sociaux-économiques de la valorisation thermique en serriculture

La valorisation des rejets thermiques et du CO₂ en serriculture offre de nombreux avantages économiques dont en premier lieu la valorisation thermique pour le chauffage et la valorisation du CO₂ pour l'enrichissement carboné. Les autres avantages économiques comprennent les investissements et la création d'emplois lors de la construction des serres, la création d'emplois directs et indirects pour l'exploitation des serres, le développement des ventes et des exportations ainsi que les développements techniques et scientifiques. L'utilisation de chauffage par rejet d'eau oblige les utilisateurs à se situer à proximité du générateur, créant ainsi une concentration d'entreprise de même type dans une région. Cette concentration permet de favoriser les synergies entre entreprises et les transferts technologiques.

Le tableau 5 montre la valeur énergétique de la chaleur récupérée pour le chauffage des serres. Nous avons estimé à 740 kWh/m² les besoins annuels pour le chauffage des serres dans la région de Beauharnois. Nous estimons également que la centrale du Suroît fournira suffisamment d'énergie pour chauffer 40, 70 ou 100 ha de serres dans des proportions de 100, 90 et 70% de leurs besoins annuels, respectivement. Selon ces scénarios, la valeur énergétique peut atteindre jusqu'à 20 M\$ annuellement. Ces données ne tiennent pas compte d'un potentiel de récupération d'énergie plus élevé pour certaines productions sous serres, par de l'aménagement de serres-tunnels pour la culture printanière ou automnale et de l'établissement de stations piscicoles ou d'agro-industries également utilisatrice de rejets thermiques.

Tableau 5 : Valeur énergétique de la chaleur récupérée

Superficie en serre (Ha)	40	70	100
Contribution aux besoins (%)	100	90	70
Qté d'énergie valorisée (Mwh)	296 000	466 200	518 000
Valeur à 20,00\$/MWh (000 000\$)	5,9	9,3	10,3
Valeur à 40,00\$/MWh (000 000\$)	11,8	18,6	20,6

Le tableau 6 montre la valeur économique du CO₂ récupérée de la centrale du Suroît. Les quantités requises pour l'enrichissement en CO₂ sont tirées du tableau 4 et les superficies du potentiel de récupération de l'énergie. Nous avons estimé la valeur du CO₂ à 200 \$/T s'il provient de source pure ou à 100 \$/T s'il provient de la combustion d'hydrocarbures dont une portion importante est utilisée pour le chauffage des serres. Mentionnons que la valorisation du CO₂ a été possible et très importante pour le projet RoCa-3 en Hollande mentionné précédemment.

Tableau 6 : Valeur économique du CO₂ récupérée en serriculture

Superficie (ha)	40	70	100
Qté de CO ₂ récupérée (Tonnes)	66 000	115 000	165 000
Valeur du CO ₂ (000 000 \$,100\$/T)	6,6	11,5	16,5
Valeur du CO ₂ (000 000 \$,200\$/T)	13,2	23,0	33,0

Le tableau 7 montre les impacts du projet de valorisation thermique de la centrale du Suroît sur les investissements, la création d'emplois et le développement des marchés. Ainsi, selon les superficies construites, les investissements requis varient de 100 M à 250 M\$ et les emplois directs lors de la construction de 800 à 2 000. Par la suite, les nouvelles serres créent de 800 à 2 000 emplois directs et de 1 600 à 4 000 emplois indirects. Enfin, le projet permet d'accroître la valeur à la ferme de la serriculture québécoise de 60 M à 150 M\$ et ainsi de rattraper partiellement le retard sur la serriculture ontarienne. Les exportations pourraient occuper 50% de cet accroissement des ventes, soit de 30 M à 75M\$.

Tableau 7 : Investissements, création d’emplois et développement des marchés par la valorisation thermique des rejets de la centrale du Suroît

Superficie (Ha)	40	70	100
Investissements requis (2,5M\$/ha),(000 000\$)	100	175	250
Création directe d’emplois lors de la construction	800	1400	2000
Création d’emplois permanents directs	800	1400	2000
Création d’emplois indirects	1600	2800	4000
Développement des ventes (1,5 M\$/ha),(000 000\$)	60	105	150

Le projet permet aussi des retombées importantes au niveau technique et scientifique. En effet, le projet serait le premier du genre en Amérique du nord. Les concepts développés dans le cadre de ce projet pourraient être exportés dans d’autres régions et d’autres pays.

La création d’un pôle important en serriculture dans la région de Beauharnois stimulerait la R&D sur de nombreux sujets dont l’efficacité énergétique, l’enrichissement carboné, les nouvelles cultures, etc. De plus, le projet aurait un impact positif sur l’ensemble de la serriculture québécoise.

8. Impacts environnementaux

Le projet de construction de serres à proximité de la centrale du Suroît avec récupération de la chaleur résiduelle et du CO₂ amène une utilisation plus rationnelle de la ressource gaz naturelle et diminue par la même occasion les émissions de la centrale. Selon les résultats obtenus par RoCa-3, l’efficacité énergétique de la centrale du Suroît pourrait augmenter jusqu’à combler l’écart avec les performances d’un projet de cogénération (70%), selon le nombre d’utilisateur des résidus thermiques qui s’y grefferait.

Selon les pratiques d'enrichissement carboné actuellement en cours en production serricole, un hectare de serre absorbe 1650 tonnes de CO₂. Sur une superficie de 100ha, le projet pourrait réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de plus de 165 000 T annuellement, soit près de 10% des émissions totales. En Hollande, le projet RoCa-3 a réduit les émissions de GES de 20% en valorisant le CO₂ dans plus de 250 ha de serres.

Rappelons que la récupération d'énergie de la centrale du Suroît réduit d'autant les besoins énergétiques de l'ensemble de l'industrie serricole québécoise et, de façon indirecte, les émissions de GES, résultant du développement de la serriculture sur d'autres sites, puisque ceux-ci n'ont plus besoin d'opérer leur chaudière.

9. Conclusions

Les exemples que nous avons présentés permettent facilement de croire au réalisme technique et économique de cette démarche, que ce soit par la mise en valeur des rejets d'eaux tièdes, tel que vu en France et à la cartonnerie Smurfit-Stone en Gaspésie, ou par les gaz chauds comme sur la centrale RoCa-3. Une documentation européenne abondante depuis le début des années '90 documente très bien les intérêts, les avantages et les conditions de succès d'une telle démarche.

La valorisation thermique appliquée à la centrale du Suroît pourrait faire de cette dernière un moteur de développement économique fort et créateur d'emplois structurant, tout en améliorant la performance de la centrale et amenant une utilisation plus rationnelle de la ressource gaz naturel. Tel que recommandé dans le rapport d'enquête et d'audience du BAPE et du rapport d'analyse environnementale du ministère de l'Environnement, « produire une étude sur la faisabilité technique et économique de valoriser les rejets thermiques de la centrale » (extrait de la condition 2 du décret 1363-2003 du ministère de l'Environnement) le CLD demande le maintien de cette condition, mais également que celle-ci soit complétée avant que la réalisation de la centrale du Suroît, ou tout autre projet de la filière thermique au Québec, soit à un point tel qu'elle ne puisse permettre des modifications advenant une conclusion positive de l'étude.

10. Faits saillants

- La valorisation des rejets thermiques et du CO₂ de la centrale du Suroît n'a que des avantages et le projet RoCa-3 en Hollande en est l'exemple concret;
- La valorisation énergétique en serriculture augmente l'efficacité énergétique globale de la centrale du Suroît et amène une utilisation plus rationnelle de la ressource gaz naturel;
- La valorisation du CO₂ en serriculture réduit les émissions de GES de près de 10%
- Le projet crée de 800 à 2 000 emplois directs lors de la construction de serres
- Le projet crée de 800 à 2 000 emplois directs et de 1 600 à 4 000 emplois indirects pour l'opération des serres
- Le projet permet d'accroître les ventes et les exportations de produits horticoles
- Le projet permet de combler partiellement le retard du Québec par rapport à l'Ontario
- Le projet stimule le développement de l'ensemble du secteur serricole québécois, incluant les fournisseurs d'intrants, les manufacturiers de serre et d'équipements, les entreprises d'emballage et de distribution, ainsi que les intervenants en formation et en R&D.
- Il existe suffisamment de terrains à proximité de la centrale pour accueillir plus de 100 ha de serres. L'approvisionnement en eau n'est pas limitant ni en quantité, ni en qualité.

11. Liste des références

1. Actes du colloque international sur la valorisation des rejets d'eaux tièdes en Maraîchage, Horticulture, Aquaculture. 1992. France. 48 p. (annexe2)
2. Conseil des productions végétales du Québec. 1984. Légumes de serres. Agdex 290/20
3. Conseil des productions végétales du Québec. 1988. L'apport de CO₂ dans les serres. Agdex 290/27. 29 pp.
4. Collaboration. 2001. Portrait et diagnostic concurrentiel de la serriculture maraîchère au Québec. Zins Beauchesne et associés.
5. Collaboration. Description générale d'un système SINOX pour le CO₂. 1998. Siemens, Allemagne. 29 pp.
6. Collaboration. 2002. Résumé de l'étude d'impact sur l'environnement, Centrale à cycle combiné du Suroît. Hydro Québec, Canada. 31 p.
7. Collaboration. 2003. Rapport d'analyse environnementale. Centrale à cycle combiné du Suroît par Hydro-Québec à Beauharnois. Dossier 3211-12-073. 21 pp.
8. Collaboration. Décret 1363-2003 concernant la délivrance d'un certificat d'autorisation en faveur d'Hydro-Québec pour le projet de centrale du Suroît sur le territoire de la municipalité de Beauharnois. Environnement Québec, Québec, Canada. 5 pp.
9. Collaboration. 2002. Carbon Dioxide in Greenhouses. Factsheet : 290/27. Ministry of Agriculture and Food of Ontario.
10. Gosselin, A et B. Dansereau. 2004. Cultures en serres. Université Laval. 396 pp.
11. Hydro-Québec. 2003 Rapport annuel. Énergie en évolution.
12. Latour, P. 2004. RoCa-3 Green power plant for greenhouse. N.V. Electriciteitsbedrijf Zuid-Holland, Pays-bas. 14 pp.
13. Spargaren, IR. J.J., 2001. Supplemental lighting for greenhouse crops. Hortilux Schreder, Pays-Bas.
14. Van den Berg, G.A. et coll. 2001. Practical demonstration multi-day temperature integration. Université de Wageningen. Pays-Bas. 53 pp.
15. Van der Velden, N.J.A. 1991. Farm-economic aspects of low temperature energy for heating in the dutch glasshouse-industry, Acta Horticulturae 295. Agricultural Economics Research Institute. Pays-Bas. pp.93 à 99

11.1 Liens Internet

1. site Internet de Eon-Benelux, opérateur de RoCa-3

http://www.eon-benelux.com/en/generation/production_fs_generation.htm

2. site Internet de *Cogeneration in the Netherlands*.

<http://www.cogen.nl/info/index.html>

3. site Internet du Conseil Mondial de l'Énergie, décrivant la centrale RoCa-3

<http://www.worldenergy.org/wec->

[geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/1_3_01.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/1_3_01.asp)

Annexe 1 : carte

Annexe 2 :

**Acte du colloque international sur la valorisation
des rejets d'eaux tièdes en Maraîchage,
Horticulture, Aquaculture**

Lyon-31 janvier 1992

(disponible en copie papier seulement)

Annexe 3 :

RoCa-3 a green power plant for greenhouses

site Internet du conseil mondial de l'énergie :



Speeches

Congress Papers

Other Papers

Archives

Online Publications

Free Publications

Statements

- [ROCA-3 A GREEN POWER PLANT FOR GREENHOUSES](#)
 - [Introduction](#)
 - [Marketing philosophy](#)
 - [CO2 in Greenhouses](#)
 - [Possible Solutions for CO2-Supply](#)
 - [Flue Gas Specifications](#)
 - [RoCa-3 Process Design](#)
 - [Technological Features of RoCa-3](#)
 - [8.Environmental Effects of the RoCa-3 Design](#)
 - [8.1 CO2 -Emissions](#)
 - [8.2 NOx -Emissions](#)
 - [8.3 Noise and cooling water treatment.](#)
 - [Operational experience](#)
 - [Conclusion](#)
 - [Summary](#)

ROCA-3 A GREEN POWER PLANT FOR GREENHOUSES

LATOUR, Peter A.M.
N.V. Electriciteitsbedrijf Zuid-Holland
Voorburg, The Netherlands

1. Introduction

At the end of the eighties an energy conservation plan was set up by the Dutch electricity production companies in order to reduce CO₂ -emissions. An effective method to reach that goal is to reduce the use of primary energy e.g. by means of the combined production of heat and power (CHP).

To that purpose the Electriciteitsbedrijf Zuid-Holland (EZH) did a survey of CHP-potential in the province of Zuid-Holland. One of the possibilities was the supply of heat to greenhouses in the area of Bleiswijk, Bergschenhoek and Berkel, the so-called 'B-triangle'. This newly developed area covers some 500 ha of greenhouses and consists mainly of market-gardeners, who have moved from other locations in order to make way for new housing-estates. The fuel consumption for these 500 ha exceeds 8000 TJ/yr. At present an area of only 250 ha is supplied with heat from a newly built CHP-unit: 'RoCa-3'(See figure 1: COMPUTER DRAWING OF RoCa-3). The amount of heat supplied by EZH is approximately 3200 TJ/yr. An optimal productive capacity for that purpose is 250 MW. Since RoCa-3 has a capacity of 200 MWth, an additional 50 MWth is produced by two older CHP-units, RoCa-1 and RoCa-2.

The location RoCa is situated north-east of **Rotterdam** near **Capelle** aan den IJssel (hence the name RoCa). When choosing this location for the new RoCa-3 unit, the following aspects were taken into account:

- strategic considerations
- the time necessary for procedures, required to obtain permission for a new location
- investments in both unit and pipelines
- operating costs
- integration in the existing district heating system to achieve synergetic effects
- the proximity of natural gas infra structure, electricity grid and water supply for the hybrid cooling tower

Originally, RoCa-3 was designed as a 'simple' CHP-STAG-unit. However when we came into contact with the research institute of the market gardeners the 'Proefstation voor de Tuinbouw

onder Glas' (PTG) it soon became evident that supply of CO₂ would be essential for the amount of heat to be delivered to the greenhouses. This will be explained later on in this paper.

The average amount of natural gas used by market gardeners is 16,3 TJ/ha /yr. Approximately 8% of that is used for the sole purpose of generating CO₂. About 5% of the remaining fuel demand covers heat losses (e.g. heat in the flue gas), so the net heat demand amounts to 14,2 TJ/ha /yr. Assuming that 90% of the net heat demand can be sold to the market gardeners, this means a heat supply by EZH of 13,6 TJ/ha /yr. including 5% heat loss in transport and distribution.

[TOP OF PAGE](#) ▲

2. Marketing philosophy

The basic marketing philosophy developed by EZH for the RoCa-3 project is to sell heat and CO₂ at such attractive prices that the market gardeners will buy the heat produced by EZH, rather than producing it with their own boilers; thus, everybody is free to do as he sees fit. In this way contracts can be held simple, without unattractive purchase commitments for the market gardeners.

One of the elements contributing to attractive prices is that no guarantee is given to meet the heat demand at all times. The market gardeners themselves must, therefore, take care of back-up and peak load by means of their own boilers. This is not as negative as it may seem, for in many cases the market gardeners themselves want to have their own back up facility. Despite the fact that in mid-winter the capacity is not sufficient to meet the full, concurrent heat demand of the market gardeners, more than 85% of the annual heat demand will be produced by EZH.

Although the selling price of heat lies above the cost price, the selling price of CO₂ lies well below the cost price. This is necessary in order to prevent the market gardeners from using their own boilers and thus reducing heat sales. The selling price of CO₂ is determined by the price difference between the selling price of heat produced by EZH and the cost price of heat produced by the market gardeners, since the CO₂ is a free by-product of the heat production of the market gardeners. At the end of the day the profits of the 'extra, heat sales will be more than the losses on CO₂ sales.

3. CO₂ in Greenhouses

During daytime plants use the CO₂ in the greenhouse, together with the daylight, to form sugars: the so-called photo synthesis. In greenhouses with a minimal ventilation, the CO₂ -concentration decreases to 170 - 200 ppm, this is about half the 340 ppm concentration in the ambient air. The agricultural yield will consequently be reduced to about 70% of its normal value. (see figure 2: GROWTH VERSUS CO₂ -CONCENTRATION) As can be seen from this figure it is advantageous to raise the CO₂ -concentration to 340 ppm or even more. With an upper limit of 1000 ppm, the optimum lies at 800 ppm. Compared with the 70% yield at 200 ppm, an increase to 130% yield at 800 ppm means almost doubling the production. So it is worthwhile to strive for an economical way to increase the CO₂ -concentration.

Two methods are used to increase the CO₂ -concentration in their greenhouses by the market gardeners:

- buying pure CO₂, at a price of around DFI 0,20 per kg CO₂

- leading the flue gas of their boilers, containing 11 % CO₂, into their greenhouses. One must bear in mind that in The Netherlands these boilers are natural gas fired. Consequently the flue gas is of such a quality that it can be used as a fertiliser.

The latter possibility is the more economical one of the two for market gardeners, even considering the necessity for low NO_x -burners in the boiler. That is to say, as long as the bulk of the flue gas is a free by-product of their heat production. In order to accommodate the CO₂ -demand of the market gardeners, EZH had to find a way to supply to the market gardeners with CO₂.

4. Possible Solutions for CO₂-Supply

There are several options to obtain CO₂. The options considered by EZH were:

- to buy pure CO₂.
- to extract CO₂ from the gas turbine flue gas by means of:
 - membrane technology;
 - a molecular sieve process;
 - an absorber-stripper process;

A study by Comprimo showed that none of the above mentioned options were cost effective, mainly because of the very low CO₂ -content (3,5 %) of the exhaust gases of the gas turbine. As a result EZH looked into the possibility of a fired waste heat boiler. With this process the CO₂ -content of the exhaust gases of the gas turbine can be raised from 3,5% to about 10%. As the mass flow of the gas turbine by far exceeded the mass flow needed for the CO₂ -production, a second , smaller, fired waste heat boiler, the '**CO₂-boiler**', became desirable. This proved to be the most viable solution for the production of CO₂, provided the flue gas specifications could be met.

[TOP OF PAGE](#) 

5. Flue Gas Specifications

Based on a CO₂ -concentration in the dry flue gas of the CO₂ -boiler of 10,6% and an 800 ppm concentration of CO₂ in the greenhouses, PTG advised to limit the contents of several detrimental components in the flue gas. (See figure 3: TABLE OF MAX. ALLOWABLE CONCENTRATIONS FOR DETRIMENTAL COMPONENTS IN DRY FLUE GAS).

The most damaging component is ethene (C₂H₄). A serious problem is to measure its concentration in the flue gas on a continuous basis. However, there seems to be a relationship between ethene and carbon monoxide since both components belong to the group of unburned combustibles. Hence, by using this relationship, it is sufficient to measure CO only. Shortly before the supply of CO₂ started, a new possibility for on-line measuring ethene on an experimental basis presented itself. The outcome of this experiment looks promising.

6. RoCa-3 Process Design

The process (see figure 4: SCHEMATIC FLOW DIAGRAM ROCA-3) is based on a 124 MWE gas turbine fired with natural gas. The exhaust gases of the gas turbine are led to a waste heat boiler to generate steam. After passing through some of the heating surfaces, part of the flue gases is led to the CO₂-boiler.

The CO₂-boiler is a fired waste heat boiler. In the CO₂-boiler a near stoichiometric amount of

natural gas is fired in order to assure a maximum CO₂-content in the flue gas. The combustion heat is used to generate steam.

The steam from both the waste heat boiler and the CO₂-boiler flows to a 104 MW extraction/condensing steam turbine. The extraction steam is used to generate 200 MWth of heat for district heating. The average supply- and return temperatures in the district heating system are 98°C, respectively 55°C.

The remaining steam in the steam turbine ends up in a condenser which is cooled down by cooling water from a hybrid cooling tower. A hybrid cooling tower is in essence a dry cooling tower placed on top of a wet cooling tower. The purpose of that combination is to avoid plume formation.

The flue gas of the CO₂-boiler is cooled down to the point where roughly 70 % of the water content is extracted by condensation, thereby reducing the power consumption of a flue gas compressor. After treatment the condensate is used as make-up water.

The flue gas is compressed to 8 barg in a compressor fitted with intercoolers. Finally, it is cooled down to 5°C in order to extract as much water as possible from the flue gas before it enters the pipeline. As the temperature of the pipeline is higher than 5°C, there is no danger of condensation and, consequently, no danger of plugging the pipeline. The flue gas flow amounts to 46 kg/s, of which 7 kg/s is CO₂.

The overall net electrical efficiency of RoCa-3 is 48,8% at full load of both gas turbine and CO₂-boiler, producing 220 MW electricity. When producing the nominal amount of CO₂, together with the nominal amount of heat, the net electrical efficiency is 42,8%, with a CHP efficiency of more than 88%.

With the CO₂-boiler out of operation the net electrical efficiency at full load (186 MW) is 50,8%. (See figure 5: EFFICIENCIES OF RoCa-3)

7. Technological Features of RoCa-3

The formation of thermal NO_x can be influenced by the fuel/air ratio. Both lean and rich mixtures lead to lower flame temperatures and, therefore, to lower NO_x-emissions (See figure 6 : NO_x - FORMATION VERSUS FUEL/AIR RATIO). In the RoCa-3 design both techniques are used.

In the CO₂-boiler the latest, most advanced combustion technology is used to minimise the formation of NO_x and unburned combustibles. This is achieved by applying an enlarged furnace in combination with the hereafter described, three-stage combustion (see figure 7: OUTLINE OF THE CO₂-BOILER):

- the use of six under-stoichiometric burners in boxer configuration. With a rich fuel/air mixture a reducing zone is created here, to reduce the NO_x in the exhaust gas of the gas turbine. A parallel with the combustion technology used in combi units can be seen here.
- the use of after turbine exhaust gas ports (ATP's) to transform most of the CO, formed in the burners, into CO₂.
- The use of CO-ports, placed direct above the ATP's, to form a highly turbulent 'blanket' of turbine exhaust gas above the combustion zone. At this stage of the combustion the last CO and other unburned combustibles are oxidised.

Application of this combustion technology makes an NO_x-emission of less than 40 ppmvd possible. Simultaneously the CO-emission will not exceed 25 ppmvd. A pre-condition for a low

NO_x-emission of the CO₂-boiler is a low NO_x-emission of the gas turbine.

The gas turbine, a GE type PG 9171(E), is therefore fitted out with a Dry Low NO_x-1 combustion system (See figure 8: DRY LOW NO_x COMBUSTOR). Partly due to the composition of the natural gas used in the Netherlands an NO_x-emission of 27 g/GJ was guaranteed. Contrary to the combustion process in the CO₂-boiler, for the combustion process of the gas turbine a lean fuel/air mixture is used. This is an obvious choice, given the fact that the gas turbine uses, for cooling, far more air than the stoichiometric amount of air.

The 'surplus' air is used to cool the hot parts of the gas turbine, including the combustion chambers. As a result of the complexity of the combustion system there is a great difference in emissions at loads under 40% and loads above 40% (See figure 9: EMISSIONS OF THE GAS TURBINE VERSUS LOAD). Consequently, the minimum load of the gas turbine is 40% when CO₂ is to be produced for the market gardeners.

[TOP OF PAGE](#) 

8. Environmental Effects of the RoCa-3 Design

In the Netherlands, for every new power plant using more than 300 MW fuel, it is obligatory to make an official, public report, in accordance with legal guidelines, on its environmental effects. This report is necessary for the local government to formulate the conditions under which the various permits are granted. This is the so called MER ('Milieu Effect Rapportage'), translated: Environmental Effects Report.

In this report the emissions of RoCa-3 were based on the equivalent of 4000 hours of full load operation, with heat and CO₂-production for the market gardeners, and another 2500 hours of full load operation with the CO₂-boiler out of operation. A comparison was made between:

- the combined generation of heat and power by RoCa-3.
- the separate generation of electricity with an efficiency of 51% and that of heat with an efficiency of 95%.
- the combined generation of heat and power by means of diesel engines smaller than 3 MW, running on natural gas, with an CHP-efficiency of 77%, consisting of 35% electricity and an extra 42% of heat. In order to match the total amount of electricity produced by RoCa-3, the lacking electricity is produced with an efficiency of 51%. (Note: All efficiency figures are based on the lower heating value of natural gas.)

The results can be seen in the diagram (See figure 10: DIAGRAM JUXTAPOSITION OF THE CO₂-AND NO_x-EMISSIONS OF SEPARATE GENERATION, RoCa-3 AND SMALL GAS MOTOR BASED CHP UNITS). From these results one can see that RoCa-3 is a better alternative than diesel engines. That is the reason why we concentrate on the comparison between RoCa-3 and 'separate generation of heat and power'.

8.1 CO₂ -Emissions

In the given situation CO₂-emissions are caused by the combustion of natural gas, from which 56 kg CO₂ is formed for each Gigajoule combustion heat. Thus, the conversion of fuel into thermal and electrical energy, schematised in two energy flow diagrams, is a good criterion for the CO₂-emissions. (See figure 11, the combined diagram: 'ENERGY FLOW DIAGRAM FOR THE SEPARATE PRODUCTION OF HEAT, POWER AND CO₂' and 'ENERGY FLOW DIAGRAM FOR THE COMBINED PRODUCTION OF HEAT, POWER AND CO₂').

Juxtaposition of both diagrams shows that:

- the energy consumption of the combined production is 80% of that of the separate production.
- the reduction in the consumption of fuel, solely used to produce CO₂ is no more than 2,3 % of the total fuel consumption.
- the absorption of CO₂ by the plants in the greenhouses as well as the quantity of it is independent of the source of CO₂.

The main effect of RoCa-3 on the CO₂-reduction is therefore achieved by the combined production of heat and power.

The CO₂-emissions of both separate and combined generation of heat, power and CO₂ are presented in figure 12: 'CO₂-AND NO_x-EMISSIONS'.

8.2 NO_x -Emissions

The measured values of the NO_x-emissions of the gas turbine are a little lower than the guaranteed 15 ppmvd or 27 g/GJ. This is important to limit the emissions of NO_x in the flue gas of the CO₂-boiler to 40 ppm, or 13 g/GJ natural gas burned in the CO₂-boiler. This clearly low contribution of the burners in the CO₂-boiler to the total amount of NO_x in the flue gas is the result of two phenomena. One is the reduction of NO_x in the exhaust gas of the gas turbine into N₂ in the reducing zone of the burners, the other one is the formation of thermal NO_x in the flame.

Based on the assumptions that for separate production the NO_x-emissions are 45 g/GJ for a STAG-unit and 35 g/GJ for a boiler; the NO_x-emission of separate generation is about 50 % higher than that of the combined generation.(See figure 12: 'CO₂-AND NO_x-EMISSIONS')

[TOP OF PAGE](#) 

8.3 Noise and cooling water treatment.

Other features of RoCa-3 are the very low noise level of 31 dB(A) at a distance of 350 meter and the use of ozone to fight the biological fouling in the cooling water circuit instead of biocides. In principle, the use of ozone has no detrimental effect on the environment as it is broken down to oxygen.

The ozone will be normally used at an average concentration of 0,13 mg/l. To start up after a longer period of stagnation, a concentration of more than 0,3 mg/l is needed with a local peak value of 0,5 mg/ l. The presence of ozone has to be taken into account when selecting materials and coatings in the cooling-water circuit.

9. Operational experience

In the second year of commercial operation, the RoCa-3 unit has proven to be a reliable unit with an availability exceeding 88%. The overall CHP-efficiency over that period of 12 month was 71% and the electrical efficiency during the same period was 44%.

The overall CHP-efficiency is lower than the theoretical maximum value of 88%. This is due the

fact that in summer the heat load is substantially lower than 100% thus the overall efficiency will approach the 52,5% efficiency in case of maximum electricity production.

The supply of CO₂ was roughly two thirds lower then expected and is subject of a thorough investigation into the possible causes. The reason could be that formerly the climate control in the greenhouses (moist and temperature), by means of opening windows, in combination with simultaneous production of both CO₂ and heat with boilers, led to a high "consumption" of CO₂.

Despite the high degree of automation of the unit, operation of this complex unit requires a lot of skills and experience of the operators, since the production of the three products: electricity, heat and CO₂ continuously have to be balanced with the demand. Especially heat fluctuations caused by clouds over the greenhouses lead to steep gradients.

10. Conclusion

The RoCa-3 concept offers:

- a 20% reduction of both the fuel consumption and the CO₂-emission
- a 50% reduction of the NO_x -emission
- a substantial reduction in water pollution by the use of ozone in stead of biocide
- a noise level of 31 dB(A) at a distance of 350 meter
- and for the major part of the year the prevention of plume formation and, last but not least:
- a financial advantage for the market gardeners.

RoCa-3 is a Green Power Plant for Greenhouses

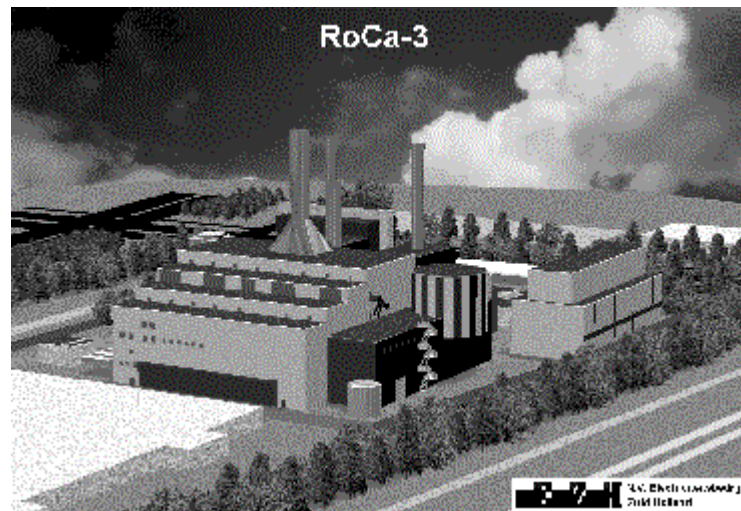


Figure 1

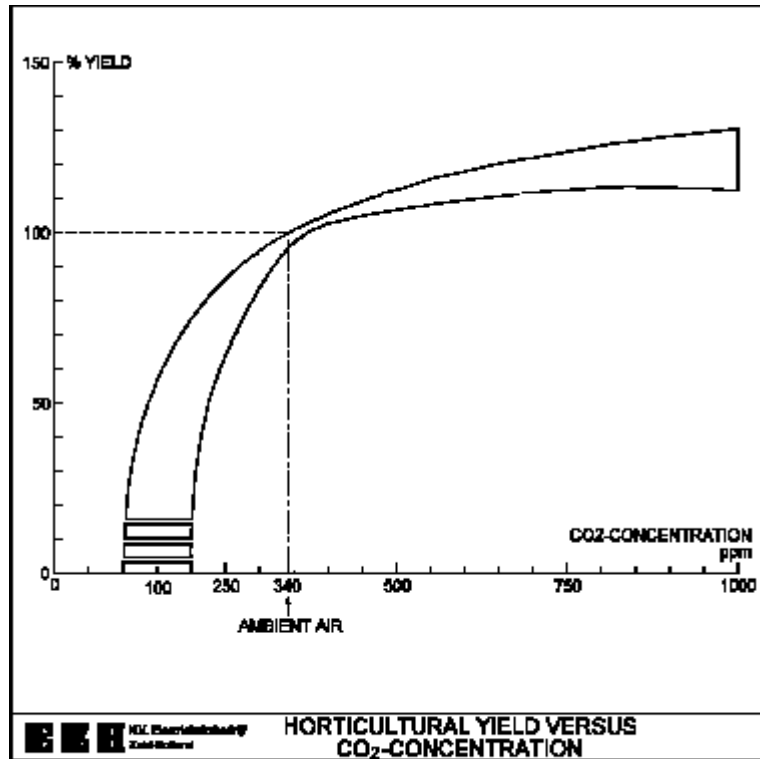


Figure 2

Table of maximum allowable concentrations for detrimental components in dry flue gas, based on 800 ppm CO₂-concentration in greenhouses.

Component	Maximum concentration	
C ₂ H ₄	6,2	mg per kg CO ₂
NO	265	mg per kg CO ₂
NO ₂	216	mg per kg CO ₂
CO	260	mg per kg CO ₂
Typical composition of dry flue gas		
Component	Maximum concentration	
N ₂	86,4	%-vol.

CO ₂	10,7	%-vol.
O ₂	1,8	%-vol.
Ar	1,0	%-vol.

Figure 3

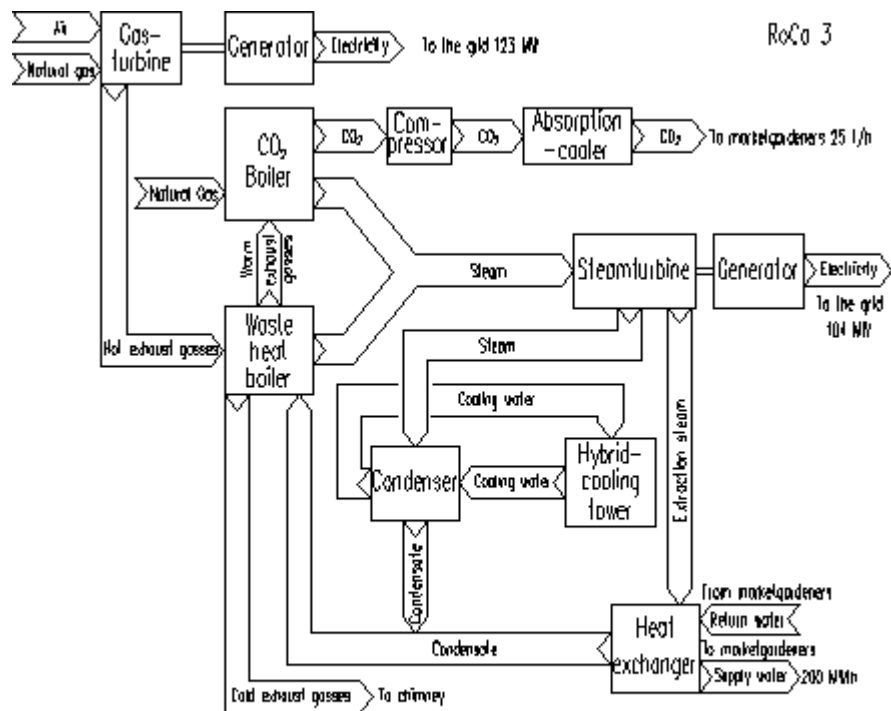
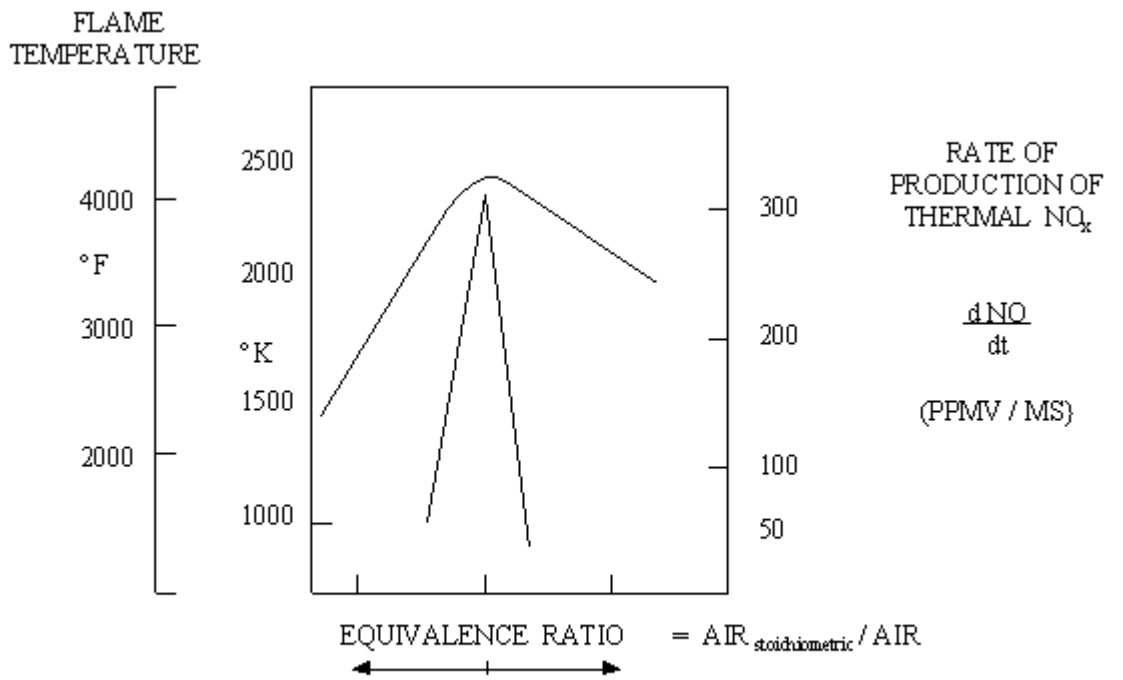
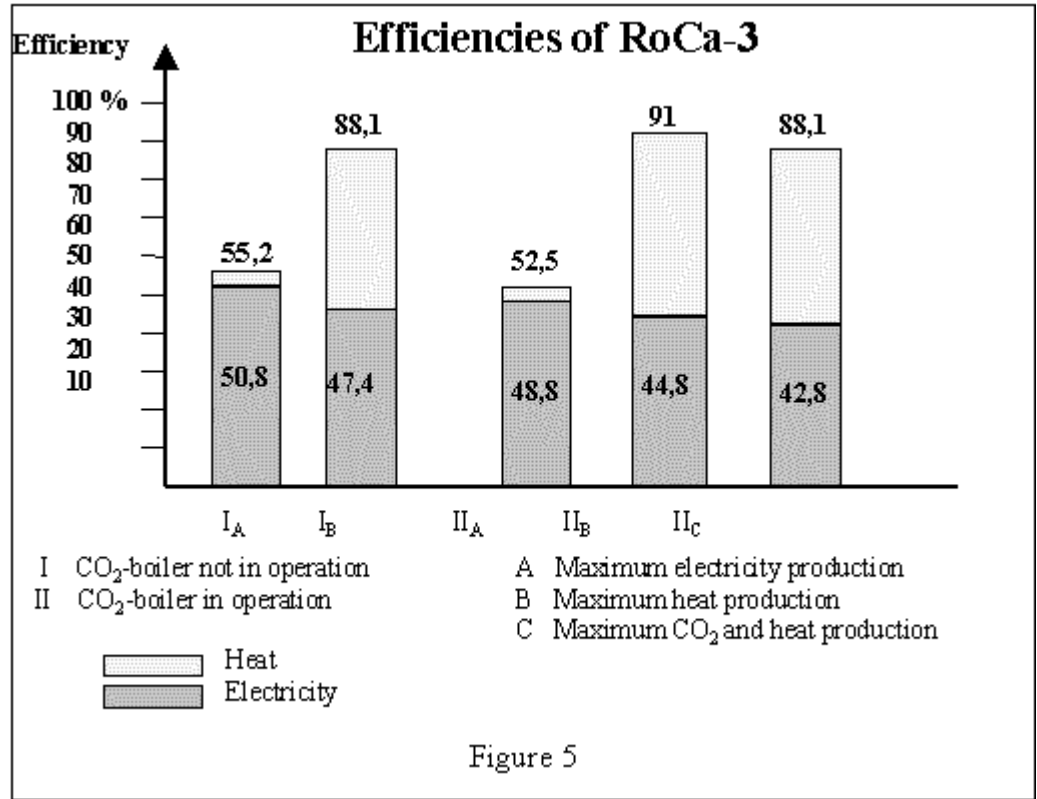


Figure 4



NO_x-FORMATION VERSUS FUEL/AIR RATIO

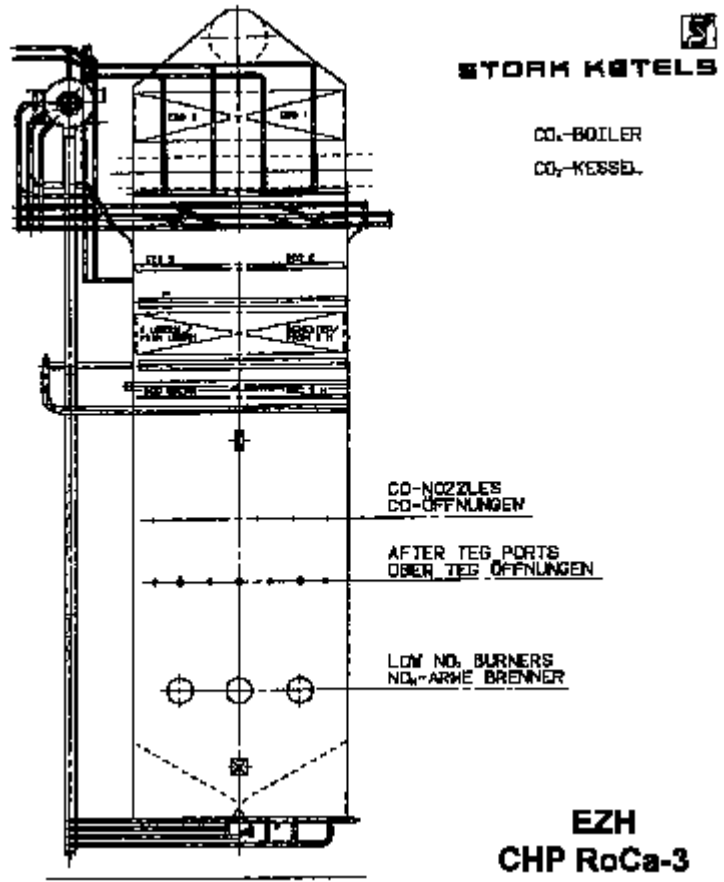


Figure 7

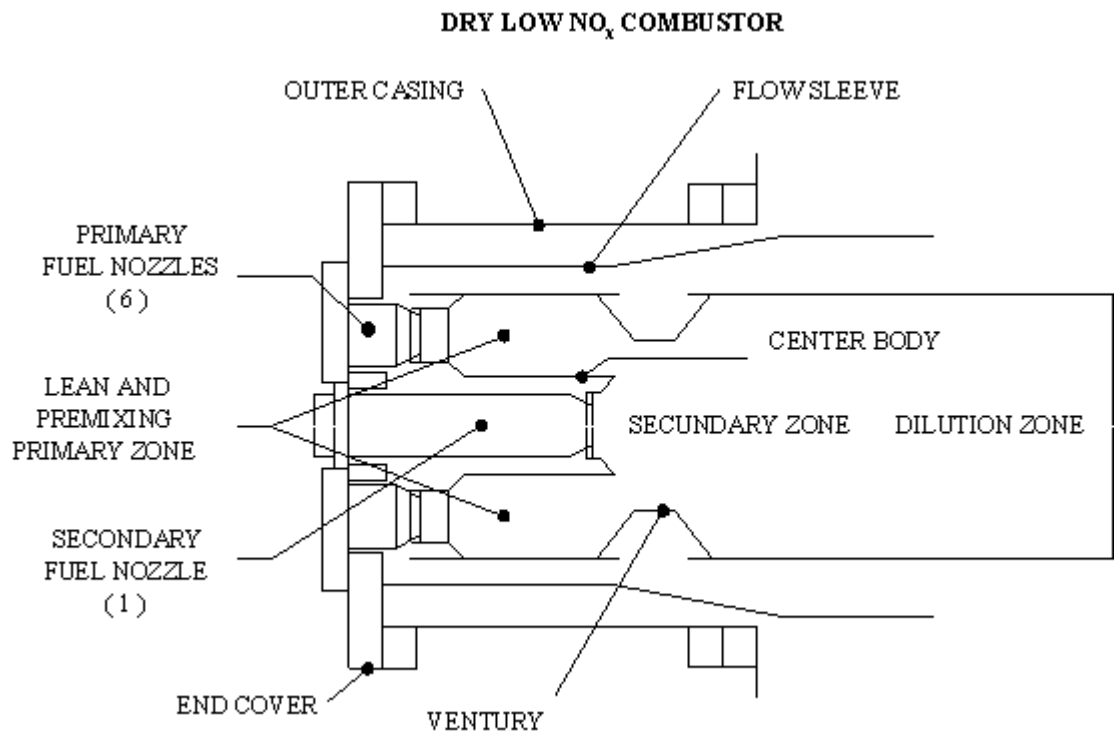


Figure 8

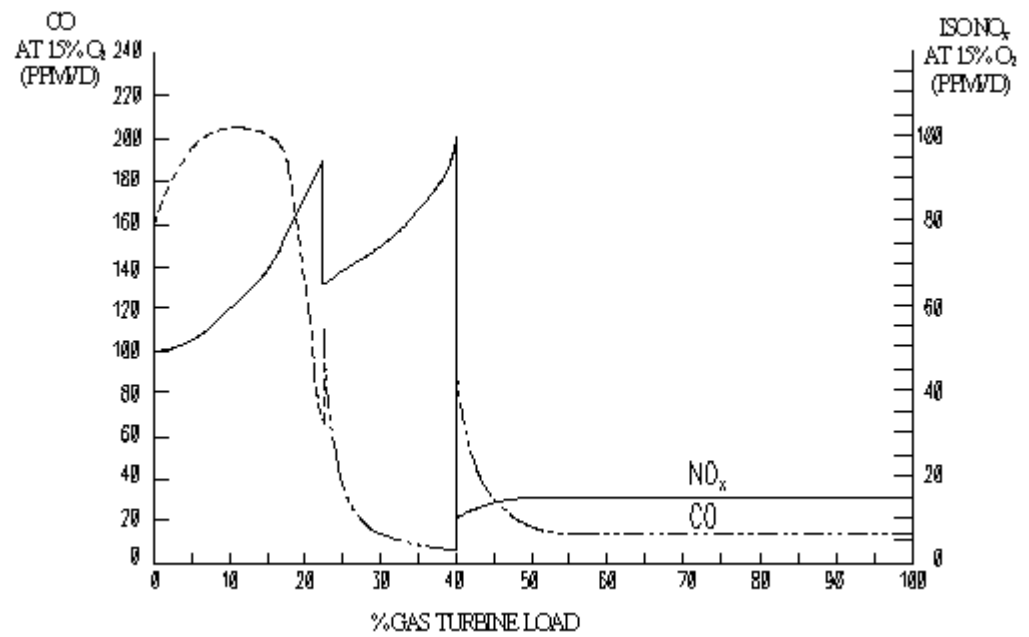
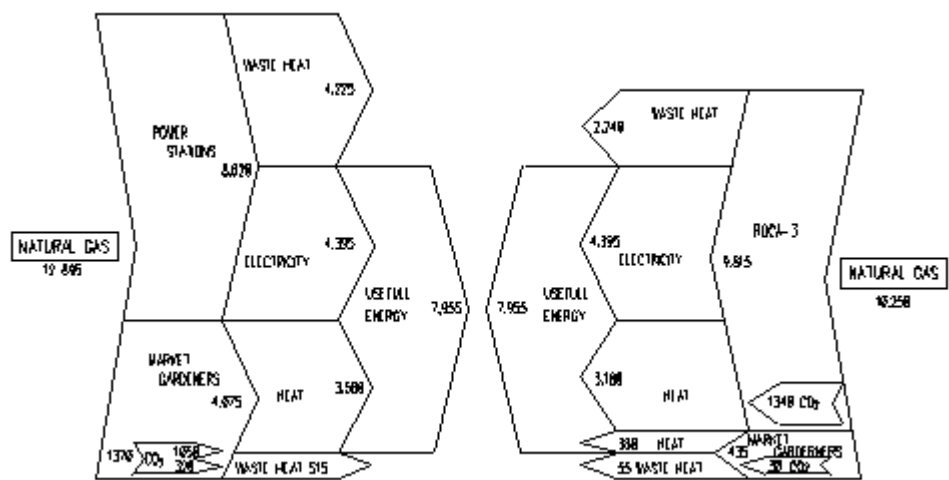
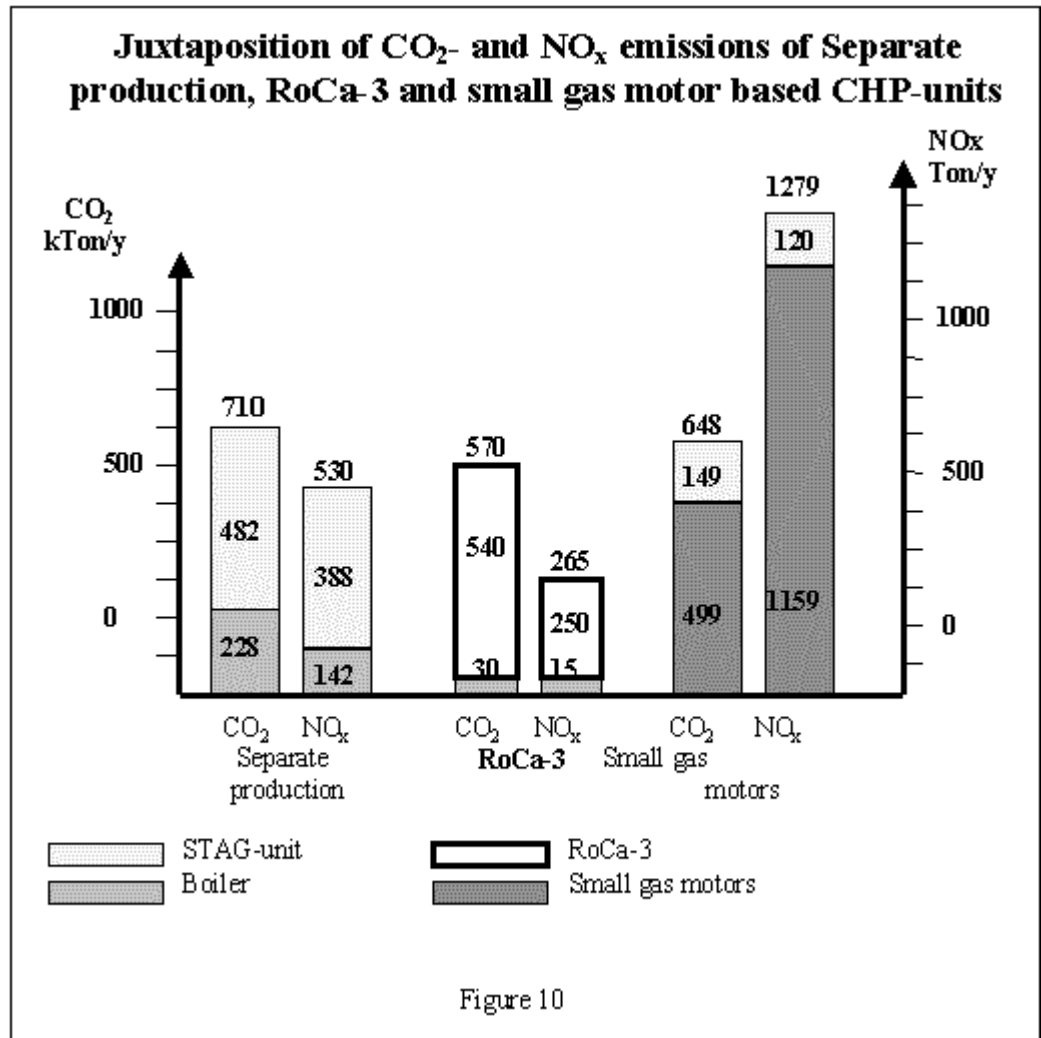
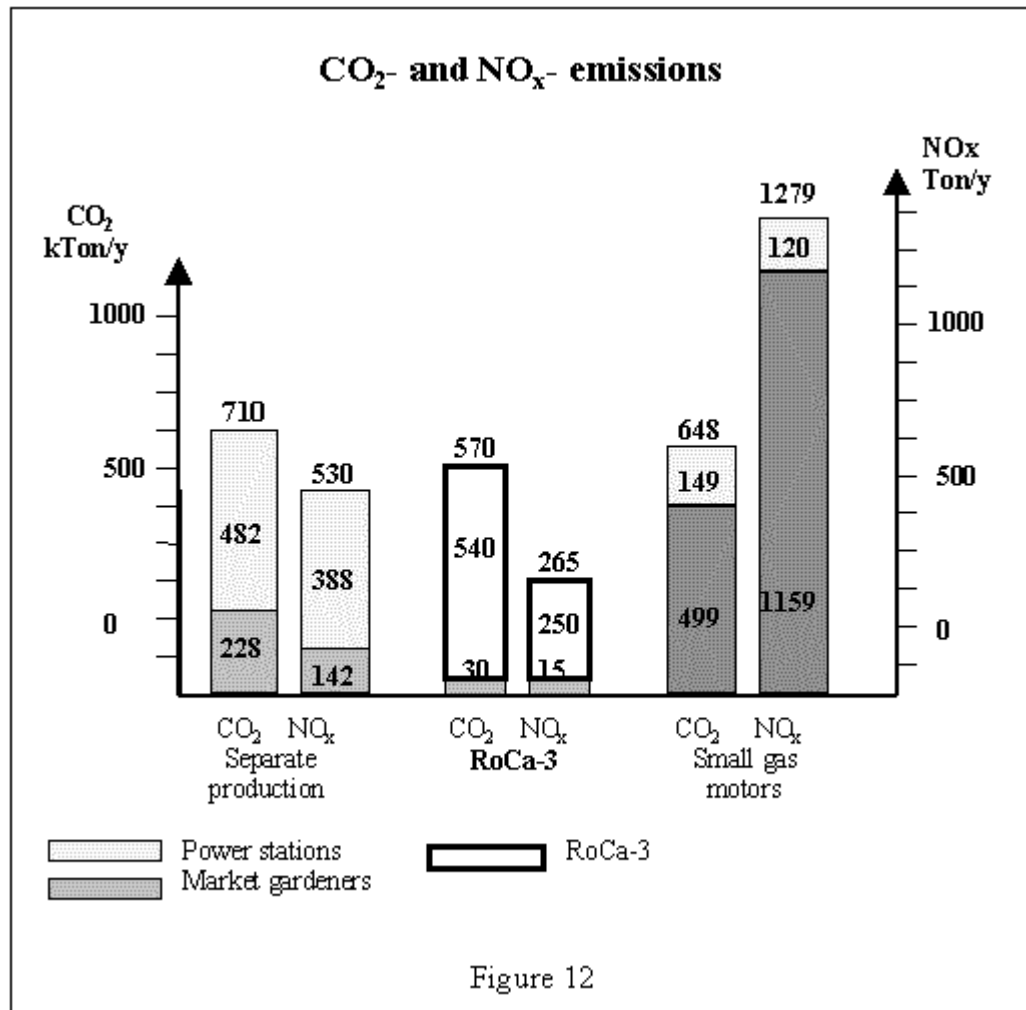


Figure 9





Summary

The Electriciteitsbedrijf Zuid-Holland (EZH) has recently built a combined heat and power plant RoCa-3 for the combined production of heat, power and CO₂ for green-houses. This CHP -unit is the result of an energy conservation plan set-up by the Dutch power producers in order to reduce CO₂-emissions.

Originally planned as a regular STAG -unit to supply heat to greenhouses it soon became evident that the supply of both heat and CO₂ was essential for greenhouse operations. Market gardeners use CO₂ as a fertilizer to increase growth as it is a vital ingredient for the photosynthesis in plants. To raise the CO₂ concentration, market gardeners lead flue gas from their boilers into their greenhouses. This flue gas contains more than 10% CO₂. The extra CO₂ nearly doubles the production therefore the supply of CO₂ is essential.

If EZH does not supply CO₂, the market gardeners will use their boilers to produce CO₂ and in

doing so generate approximately 35% of their total heat demand, thus reducing RoCa-3 heat sales.

EZH looked into the possibilities of extracting CO₂ from the flue gas of the gas turbine as well as buying pure CO₂ but none of them was cost effective. Engineers of EZH then thought up the idea of a so called CO₂ boiler i.e. a fired waste heat boiler using part of the flue gas of the gas turbine. This CO₂ boiler produces the same kind of flue gas the market gardeners were used to and proved to be a viable solution. As this is also very well suited for other projects, EZH has applied for a patent on this process.

Heat and CO₂ are transported through underground pipelines to a newly developed area of greenhouses at 10 km distance. The flue gas has to be compressed and cooled to 5°C in order to avoid condensation in the pipeline.

Some 20% CO₂-reduction and very low NO_x emissions are realized. Situated amidst residential areas in north-eastern part of **R**otterdam and the town **C**apelle aan den IJssel (hence **RoCa**) noise levels are kept under 31 dB(A) at 350 m distance. As there is no cooling water nearby a cooling tower is installed. To avoid plumes a hybrid cooling tower was selected. To control biological fouling of the cooling water system ozone is used in stead of chlorides.

Since the start of commercial operation in may 1996, the predicted high efficiency, high reliability and low emissions are realized. In short:

[WEC INFORMATION](#) • [ENERGY INFO CENTRE NEWS & EVENTS](#) • [FOCUS](#) •
[PUBLICATIONS](#) • [MEMBER SERVICES](#) • [GHG REDUCTION PROGRAMME](#)

[Conditions of use](#)
[search](#) • [sitemap](#) • [contact](#) • [home](#)

Copyright © 1999-2003. World Energy Council
5th Floor, Regency House, 1-4 Warwick Street, London W1B 5LT, UK
Tel: (+44 20) 7734 5996 Fax: (+44 20) 7734 5926