

LIQUEFACTION DU BIOMETHANE ET ANTISUBLIMATION DU CO₂

Bio Energie sud

Séminaire « GAZ ISSUS DE BIOMASSE »

17 novembre 2011

D. CLODIC

Président - EReIE-SAS

Directeur de recherche émérite – MINES ParisTech

denis.clodic@erie-sas.fr

Sommaire

- Contexte énergétique et des émissions de CO₂
- Intérêts du biogaz liquéfié (Bio GNL)
- Les technologies de liquéfaction
- Les premiers réseaux CNG LNG
- Le couplage liquéfaction du bio-méthane et production de CO₂ ultra-pur
- Le coût énergétique

Contexte énergétique et des émissions de CO₂ (1)

- La réduction des émissions de CO₂ pour les transports inclut le passage à des biocarburants :
 - la « road map » de l'Europe pour 2050 : - 80 % d'émissions de CO₂
 - le Grenelle de l'environnement : - 20% des émissions de CO₂ d'ici 2020 pour le secteur des transports
 - les moyen et long termes sont bien définis

Contexte énergétique et des émissions de CO₂ (2)

- Consommation énergétique moyenne (2006 – 2009) des transports routiers :
 - 50 millions TEP dont 46 produits pétroliers
 - dont poids lourds environ 13, 5 M TEP
- Emissions totales Transports : 131 millions de tonnes CO₂ soit 33 % des émissions nationales de CO₂
- Poids lourds : 35 millions de tonnes CO₂

Données : SOeS – Commissariat général au développement durable

Contexte énergétique et des émissions de CO₂ (3)

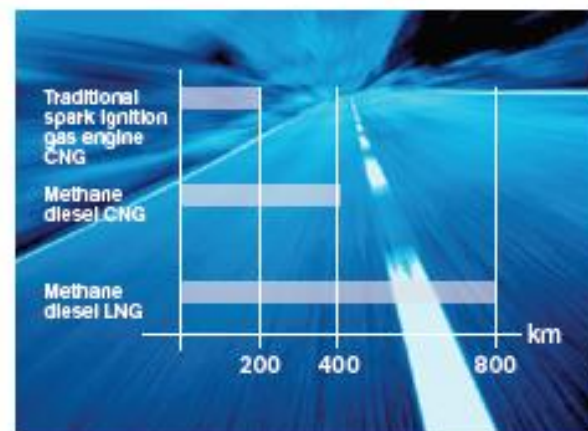
- Emissions de CO₂ des poids lourds immatriculés en France en 2006 : 18,1 millions de tonnes de CO₂ pour 183 milliards de tonnes.km
- Soit en moyenne 99 g CO₂/tonne.km
- Mais :
 - PL > 26 t = 85 g CO₂ /tonne.km
 - PL < 26 t = 245 g CO₂/tonne.km
- Et :
 - PL > 26 t = 91 % des tonnes.km et 78 % des émissions

Données : SOeS – Commissariat général au développement durable

Intérêts du biogaz liquéfié (Bio GNL)

Intérêts du biogaz liquéfié (1)

- La purification est nécessaire
 - pour éliminer les gaz corrosifs
 - pour transporter le combustible et non (le combustible + les inertes)
- Le Bio-GNL est adapté au transport poids lourds longue distance (cf. Volvo trucks)
- Le Bio-GNL peut être à zéro émission de carbone (voir plus loin)
- Le GNL complète le réseau de gaz naturel



Estimated operational range for different gas trucks

By courtesy of Volvo Trucks

Intérêts du biogaz liquéfié (2)

■ Les ressources de biogaz (données club Méthanisation)

Origines des déchets	Potentiel total (M Tep)	Capacité totale (M Tep)	Capacité biogaz carburant (M Tep)
urbains	2,3	1,1	0,86
industriels	3,2	0,73	0,73
agricoles	10,7	0,5	0,34
Total	16,2	2,3	1,93

- Le potentiel total inclut le potentiel valorisation matière (nourriture animale ou compost).
- La capacité prend en compte la faisabilité technico-économique.

Intérêts du biogaz liquéfié (3)

- Les capacités de biogaz sont du même ordre de grandeur que celles des biocarburants de première génération (1,85 M Tep) mais elles représentent 15 % du besoin Poids Lourds.
- Le potentiel représente lui 100 % du besoin PL
- Les enjeux portent :
 - sur le coût de transformation du biogaz en bio LNG
 - sur l'ACV du digesteur à la roue comparativement aux autres filières

Les technologies de liquéfaction du biométhane

Les technologies de liquéfaction du méthane

- La liquéfaction du biométhane est proche de la liquéfaction du gaz naturel pour des gisements riches en CO_2 et H_2S
- Le méthane fossile contient aussi usuellement N_2 et des hydrocarbures en C_2 et C_3
- La liquéfaction est précédée par la séparation du méthane des gaz associés par solvants, par adsorption, par membranes...
- la liquéfaction du méthane sortant de gisement fossile se fait sous haute pression (celle du puits)
- Le biométhane est initialement à pression atmosphérique

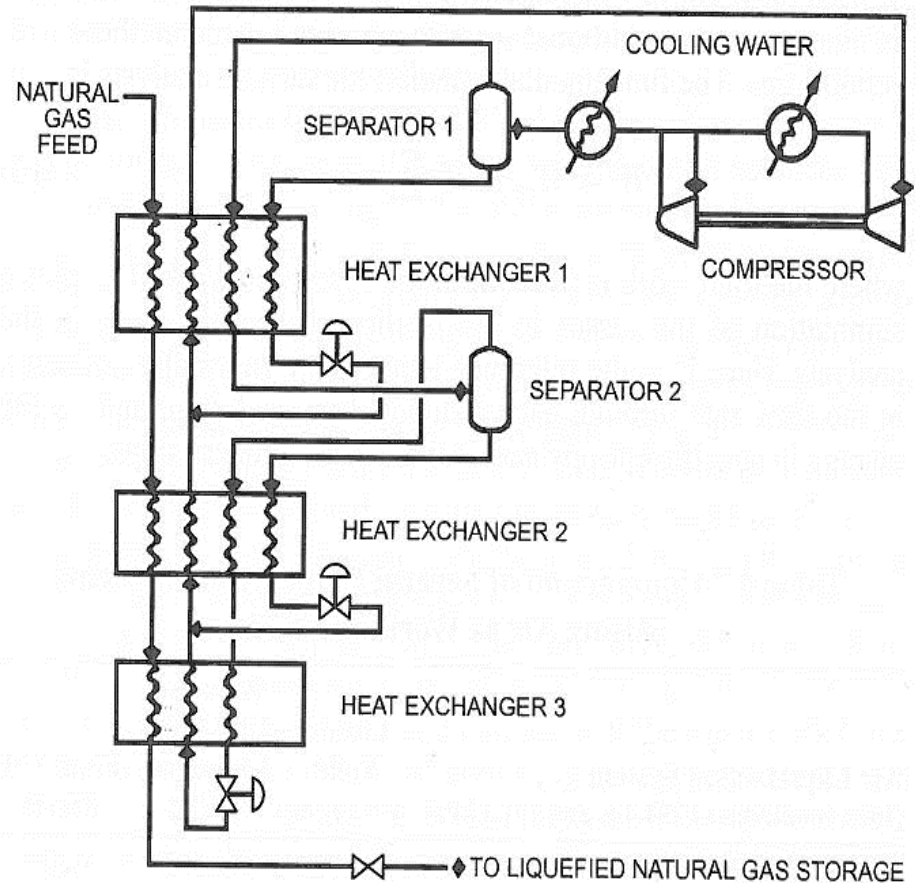
Les technologies de liquéfaction

Méthane sous haute pression

- Séparation par solvants de H_2S , CO_2 , H_2O , ...
 - chimiques (amines)
 - physiques (méthanol)
- Refroidissement du méthane en plusieurs étapes (après purification) et détente isenthalpe (procédé à pré-refroidissement par cascade à mélanges et détente isenthalpe)
- Méthane sous haute pression, détente par turbine (cycle de Claude), détente isenthalpe complémentaire, beaucoup plus efficace

Liquéfaction du méthane sous haute pression

- 90 % des unités de liquéfaction utilisent le cycle pré-refroidi au propane associé à un cycle à mélange appelé Propane Pre-cooled Mixed refrigerant (PPMR), process appelé aussi C3/MR
- La phase liquide du méthane est obtenue par détente isenthalpe



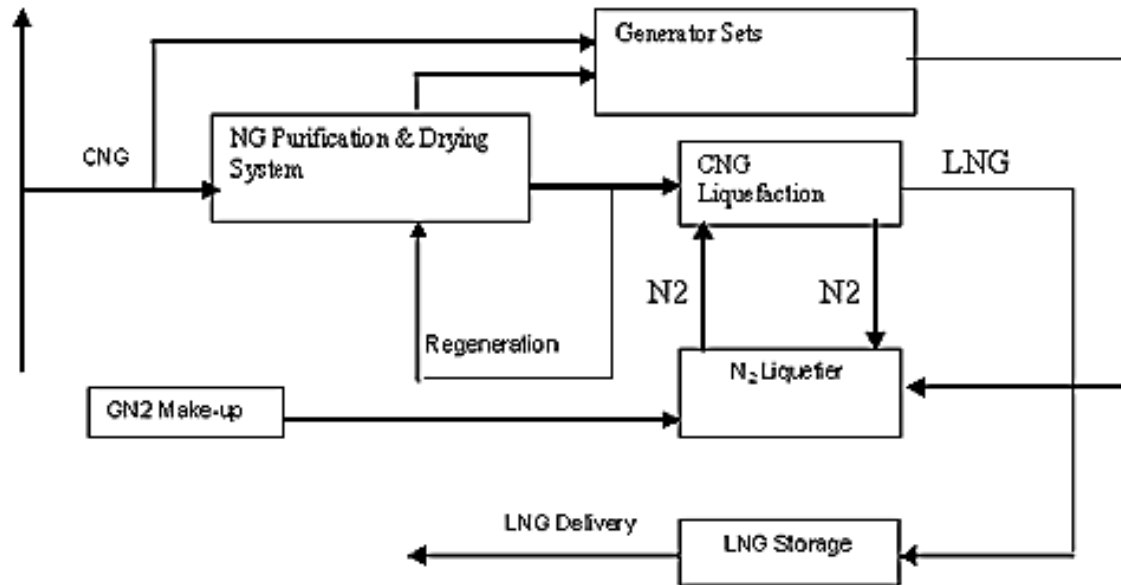
From Ashrae Handbook Refrigeration 2006

Les technologies de liquéfaction

Méthane à pression atmosphérique

- Liquéfaction du CH_4 (-161°C) par de l'azote liquide (-196°C) : relativement simple mais cher
- Variantes de cycles en cascade intégrée ou de cycles poly-étagés à mélange
- Nouveautés : intégrer dépollution / captage de CO_2 / liquéfaction du bio-méthane

Le procédé le plus simple pour de petites quantités



(By courtesy of Cryonorm)

Liquéfaction du méthane par de l'azote liquide

Les premiers réseaux LNG CNG

Les stations GNC et GNL



(By courtesy of Clean energy)



Les stations LNG et CNG sont des stations de charge de même type que les stations de carburants pétroliers

Caractéristiques de stations Bio-GNL

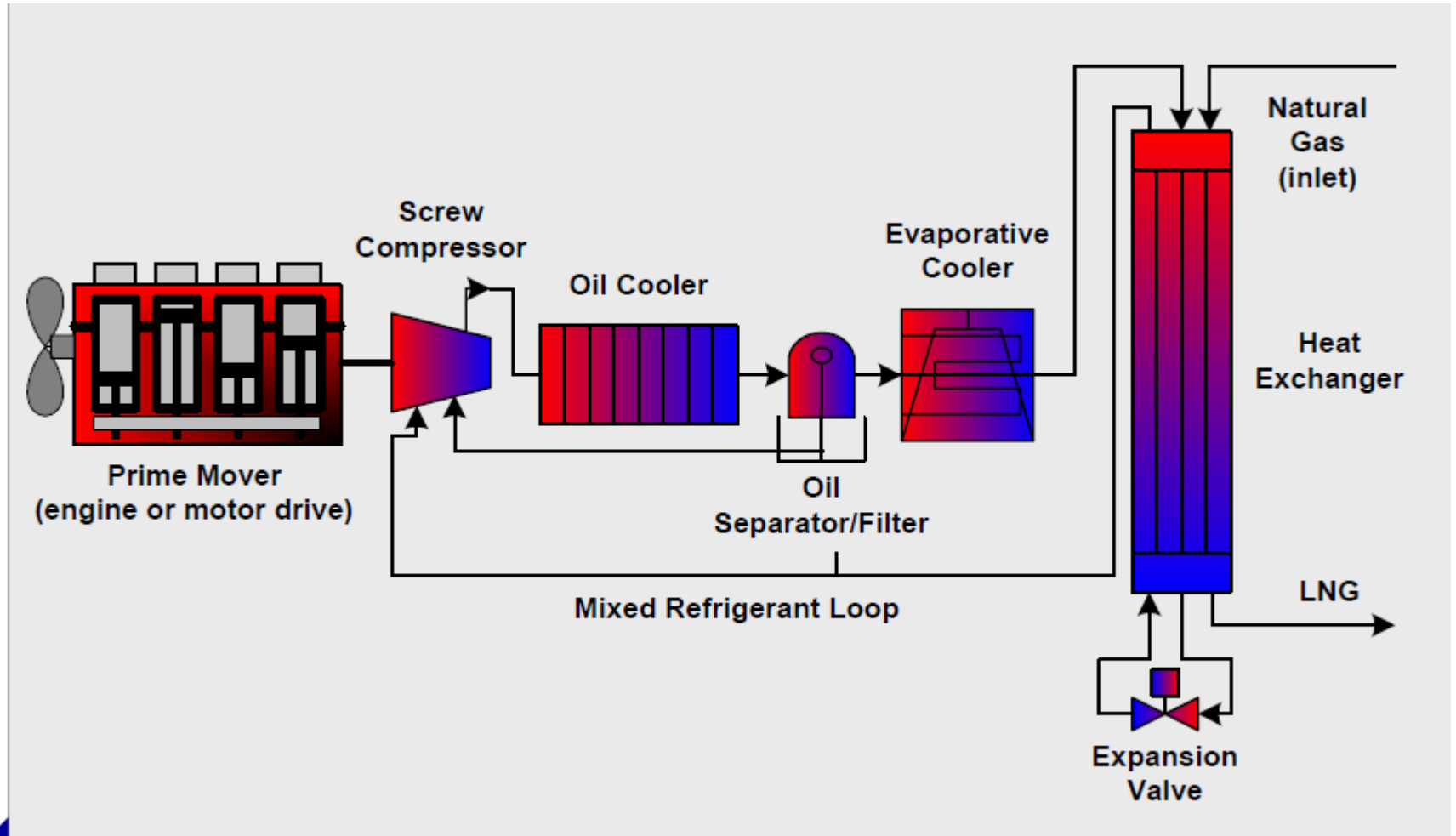
■ Station de production de bio-GNL

- Digesteur
- Système de dépollution intégrée (H_2S , H_2O , aromatiques, organo-halogénés, ...)
- Séparation du CO_2
- Liquéfaction du méthane
- Stockage

■ Station de charge

- Stockage
- Pompe et système de charge

La liquéfaction du biométhane à petite échelle (4 à 10 m³/24h)



Un premier exemple : le procédé GTI (USA)

La liquéfaction du biométhane à petite échelle : ça existe !



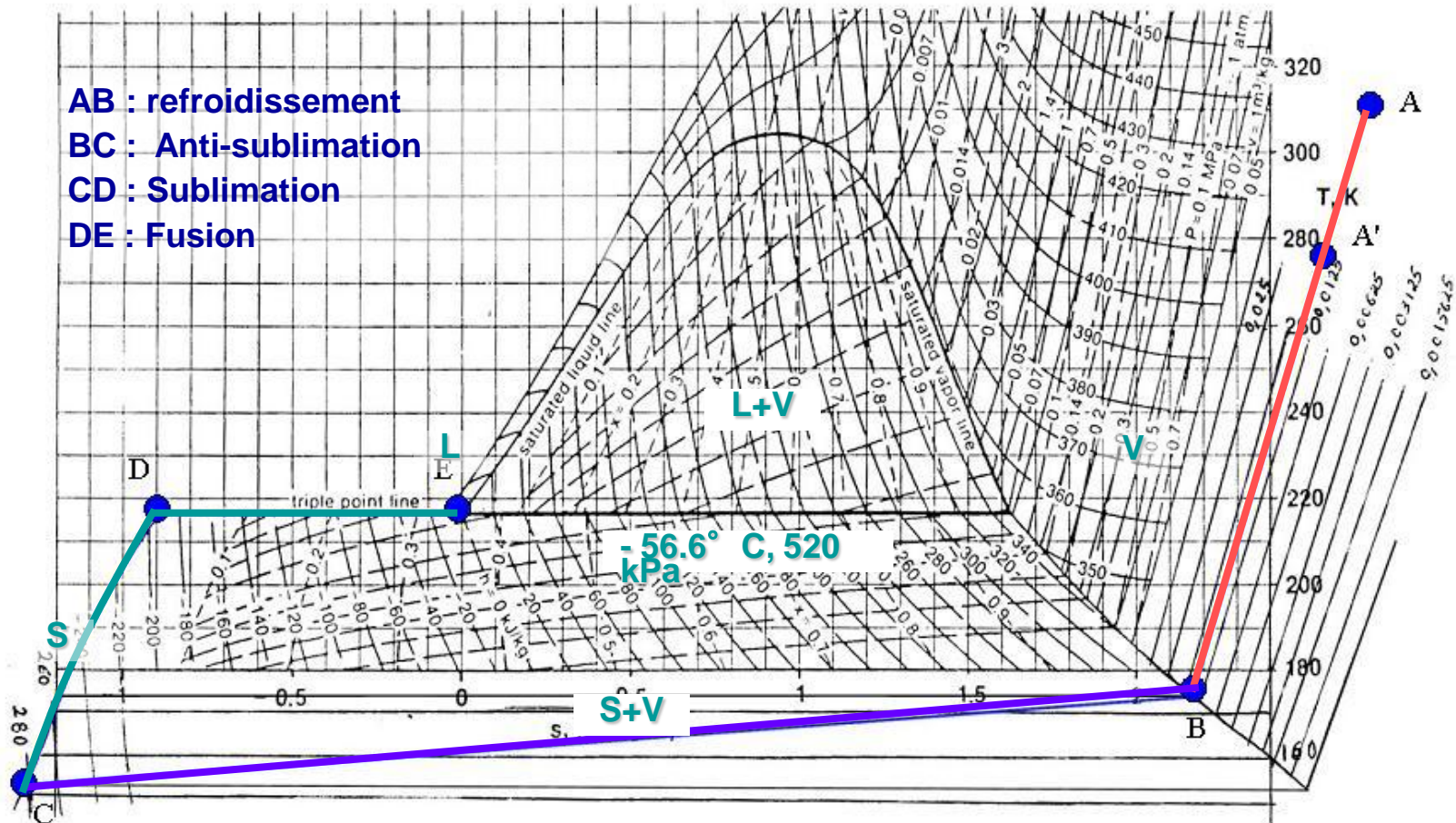
GTI skid : production journalière : $4 \text{ m}^3/24\text{h} = 1,56 \text{ t}$ à 400 kPa

Le couplage liquéfaction du biométhane et production de CO₂ ultra-pur

Compositions typiques du biogaz (ATEE)

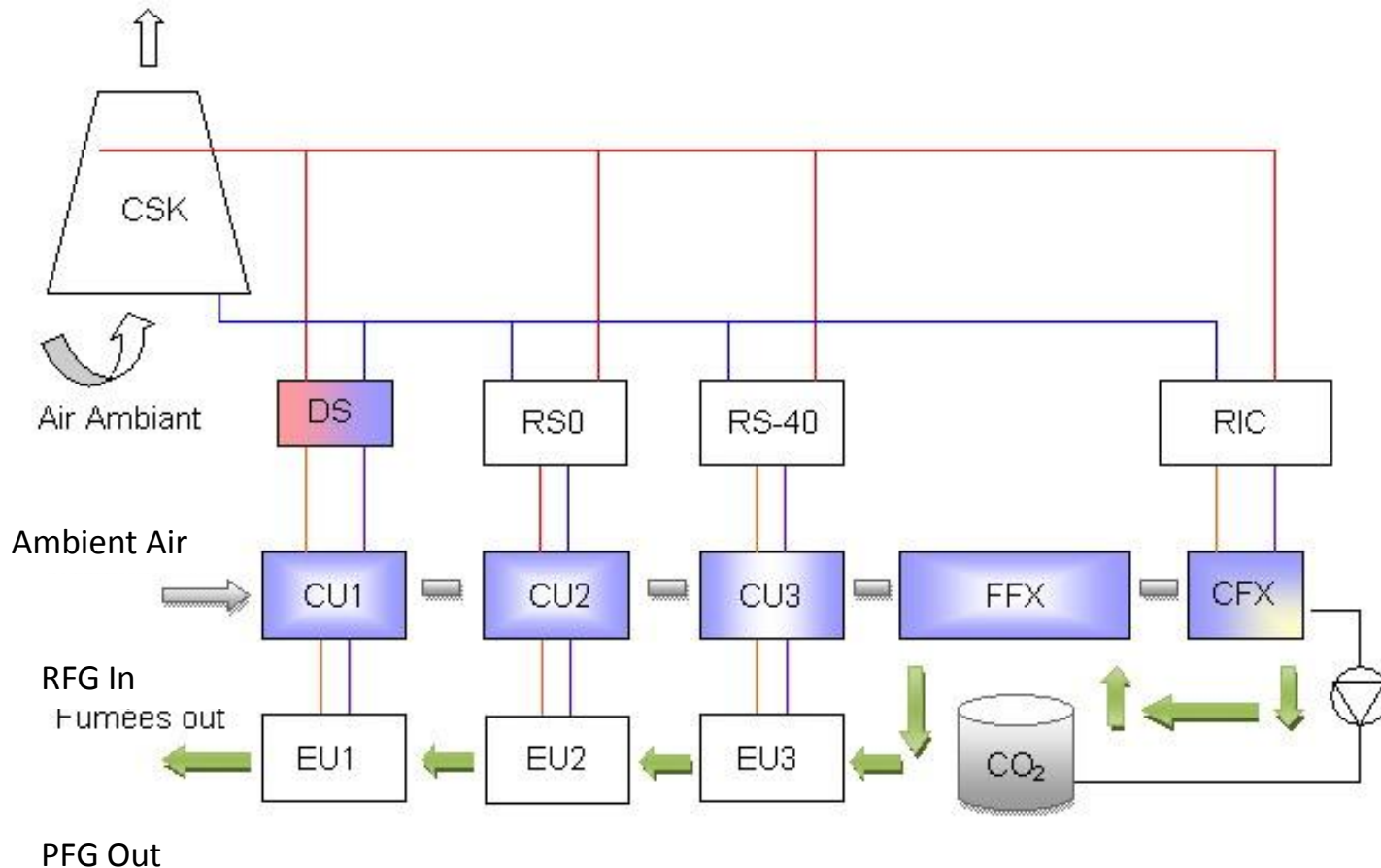
composition	biogaz 1	biogaz 2	biogaz 3
CH4	45%	60%	68%
CO2	32%	33%	26%
N2	17%	1%	1%
O2	2%	0%	0%
H2O	4%	6%	5%
H2S	5-20 mg/m3	100-900 mg/m3	400 mg/m3
Aromatiques	1mg/m3	0-200 mg/m3	0
Organo-halogènes	0-100 mg/m3	100-800 mg/m3	0
PCI (kWh/(n)m3)	4,5	6,0	6,8

Procédé de givrage du CO₂ à pression atmosphérique



Concentration (%v/v)	100	10	1	0,1
Frosting temperature (°C)	- 78.5	- 103.1	- 121.9	- 136.7

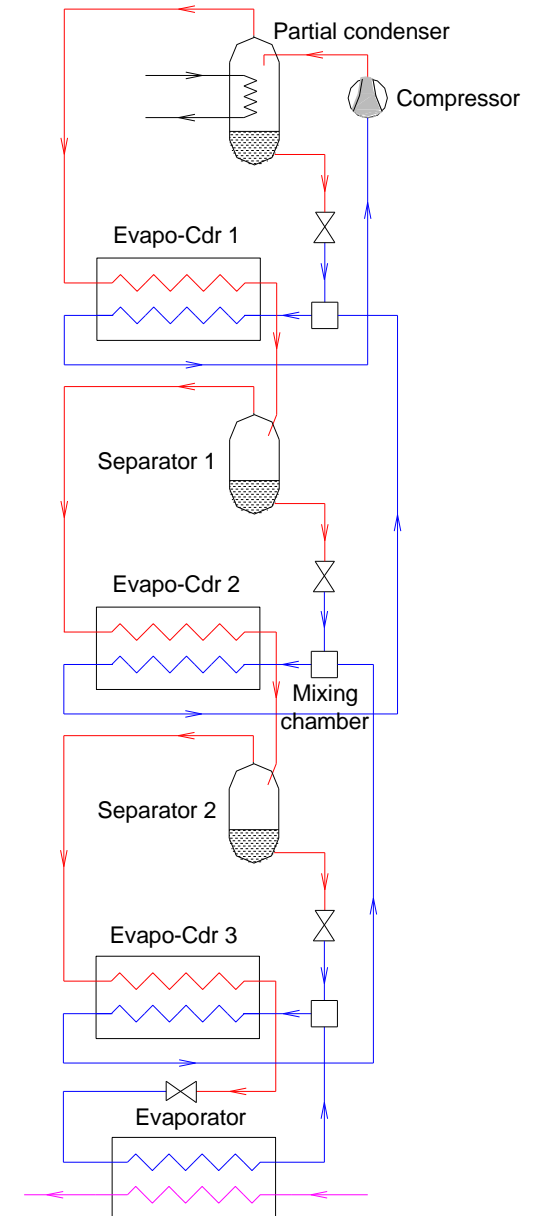
Systeme complet de refroidissement et de récupération énergétique



- Dépollution par lavages successifs
- Absorption H₂O à basse température
- Givrage du CO₂

Cascade intégrée pour captage de CO₂ et liquéfaction bio-GNL

- Refroidissement étagé
- Un seul compresseur et donc un seul taux de compression : basse pression en bleu / haute pression en rouge
- Un mélange d'hydrocarbures dont les points d'ébullition normale sont étagés de C1 (méthane) à C4 (butane)
- Présence d'argon ou d'azote dans le mélange pour liquéfier le méthane
- Nombre d'étages de température adapté à la température finale



Cascade à 4 étages de température

Systeme de givrage et degivrage

- Fonctionnement alterné sur un échangeur en mode givrage et un autre en mode degivrage.
- Le nombre peut être porté à 4, 8, 16 échangeurs selon le débit à traiter et pour obtenir des débits continus de fluide frigorigène pour le givrage et le degivrage parallélisés.
- L'énergie de degivrage du CO₂ est récupérée.
- Le CO₂ est récupéré en phase liquide.

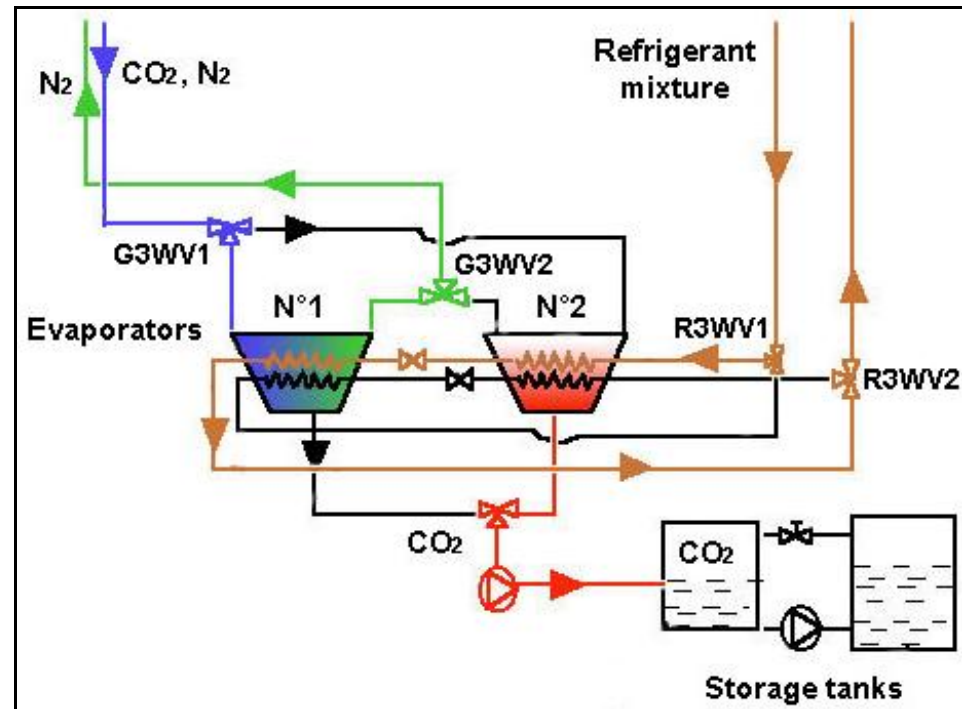
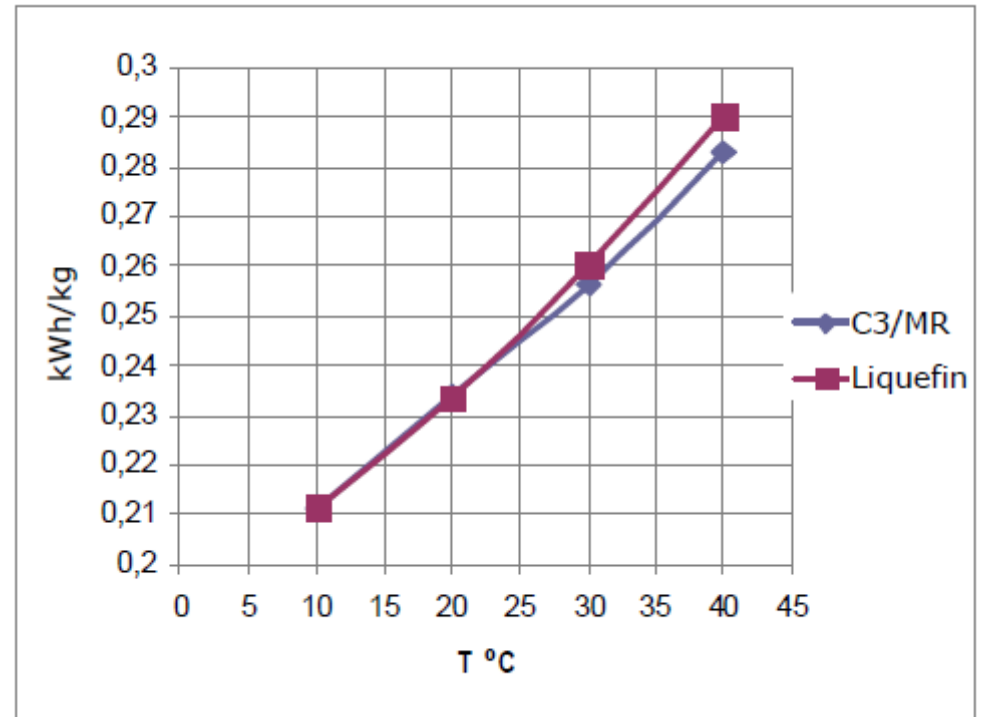


Schéma de base du système givrage / degivrage

Le coût énergétique et éléments pour le bilan CO₂

Consommation d'énergie des procédés de liquéfaction

- Procédés à haute efficacité énergétique (C3/MR) : 830 MJe/t
- Procédé à faible efficacité énergétique (azote liquide) : 2 800 MJe/t



(From I. Meshcherin IRC 2008)

Consommation d'énergie d'un procédé intégré

- Moteur à biogaz entraînant directement un système de compression
- Séparation CH_4 / impuretés juste nécessaire pour le moteur à gaz pauvre
- Système en cascade intégrée

Consommation d'énergie d'un procédé intégré

- La cible pour les petits systèmes : 1,4 GJelec / tonne pour 50 GJ /tonne PCI du bio-GNL
- Soit 3,5 GJ thermique pour le moteur biogaz qui est donc carbone neutre
- Consommations du digesteur et des approvisionnements à évaluer

Éléments pour un bilan CO₂

- Le biogaz est une source renouvelable, a priori carbone neutre, mais cela dépend de la frontière de l'ACV carbone
 - L'intégration moteur à biogaz et du système frigorifique à compression pour la liquéfaction est aussi carbone neutre
 - Le captage d'un CO₂ de grande pureté du biométhane et sa réutilisation peut amener un bilan carbone négatif sur la phase de liquéfaction

Conclusions et perspectives

- ✓ La liquéfaction du méthane à petite échelle 1,5 à 10 t / 24 h peut s'appuyer sur les principes de conception de grandes tailles.
- ✓ De nombreux systèmes de grandes tailles utilisent l'entraînement direct des systèmes de compression par des turbines à gaz.
- ✓ CTI a déjà montré la voie pour la petite taille en entraînant un compresseur par un moteur à gaz.

Conclusions et perspectives

- ✓ Les usages possibles du bio-GNL portent sur :
 - le transport routier longue distance avec des moteurs flexibles diesel – LNG,
 - le bio-LNG est une énergie stockable pour répondre à la demande d'ultra-pointe et ce dans une conception décentralisée des réseaux électriques intelligents associant les renouvelables intermittents et le bio-LNG,
 - le bio-LNG peut contribuer à une production électrique décentralisée là où le réseau de gaz naturel ne passe pas.

Conclusions et perspectives

- ✓ L'association d'entreprises spécialisées dans :
 - la méthanisation,
 - la séparation des gaz et la liquéfaction du méthane,
 - la gestion des réseaux de carburants
 - les smart gridsdevrait permettre de réaliser de premières démonstrations.
- ✓ EReIE va développer des partenariats dans ce sens et se positionne sur le segment de la liquéfaction du méthane avec séparation intégrée du CO₂ et des polluants.