

# **Pourquoi pas la trigénération ? Pourquoi, pas la trigénération ?**

**Etude technique, économique et environnementale d'une installation de trigénération visant à réduire la facture énergétique dans les bâtiments du secteur tertiaire.**

Ing. D. BLUM  
ECAM – Bruxelles

*Ce document concerne l'étude technique, économique et environnementale d'une installation de trigénération. Son objectif est double. Il consiste d'une part en l'étude d'un cas pratique réalisée à l'aide d'un programme crée à cet effet et d'autre part en la rédaction d'une liste des avantages et des inconvénients d'une installation de trigénération.*

*Mots-clefs : Trigénération, cogénération, machine à absorption, économie d'énergie, efficacité énergétique, huile de colza, biocombustible.*

*The subject of this work is a technical, economical and environmental study of a CCHP. Its goal is double. On the one hand, a practical case simulated by a program created especially for CCHP and on the other hand a written list of advantages and disadvantages of this system.*

*Keywords: CCHP, CHP, absorption machine, energy saving, energy efficiency, rapeseed oil, biofuel.*

## 1. Qu'est ce que la trigénération ?

La trigénération est un système qui en brûlant un combustible primaire produit simultanément de l'énergie mécanique (souvent convertie en électricité), de la chaleur et du froid. Elle peut être utilisée à des fins de chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, etc. Pour réaliser cela, il est nécessaire de posséder une cogénération (souvent accompagnée de son/ses ballon(s) tampon(s)) et d'une machine à sorption (très souvent à absorption). Ces machines et leurs interconnexions sont présentées ci-dessous.

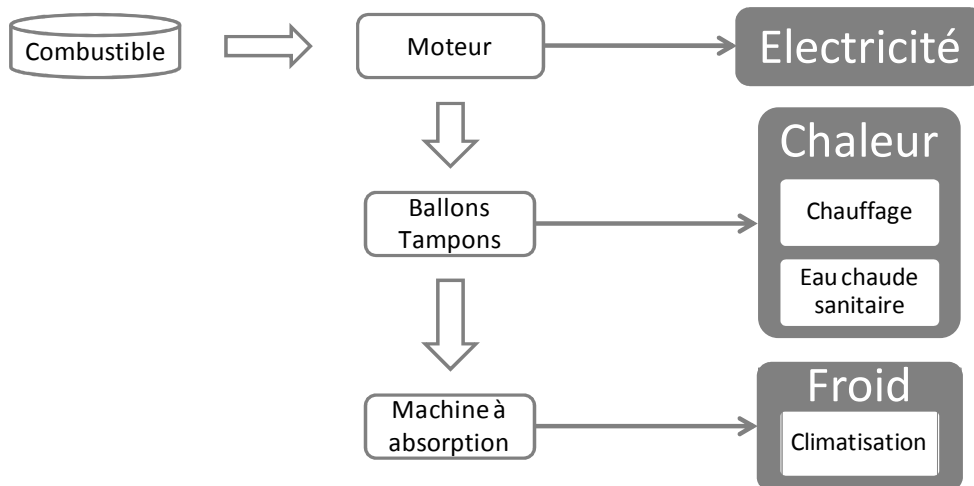


Figure 1 : Schéma du principe fondamental d'une installation de trigénération

### 1.1 La cogénération

Une cogénération est un système qui en brûlant un combustible primaire produit simultanément de l'énergie mécanique et de l'énergie thermique. L'énergie mécanique est souvent convertie en électricité à l'aide d'un alternateur. La cogénération est donc représentée par les blocs combustible, moteur, ballons tampons, électricité et chaleur de la Figure 1.

#### *Principe de fonctionnement*

Pour expliquer le principe de fonctionnement de la cogénération, nous imaginerons le cas d'un moteur à gaz. Comme on peut l'observer sur la

Figure 2, un moteur à gaz est alimenté à l'aide d'un combustible (en l'occurrence du gaz). L'arbre moteur est accouplé à un alternateur pour permettre la conversion de l'énergie mécanique, produite par le moteur, en énergie électrique. Pour terminer, la chaleur est récupérée à l'aide d'échangeurs placés sur les gaz d'échappements, sur le circuit de refroidissement, l'huile, sur le turbo et parfois même sur l'alternateur [1].

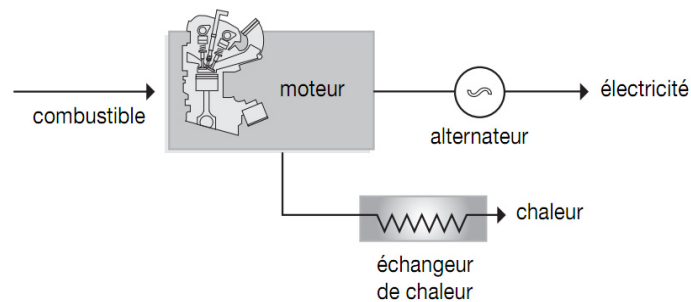


Figure 2 : Schéma de principe du fonctionnement d'une cogénération [2]

## 1.2 La machine à absorption

La machine à absorption est une machine frigorifique qui permet la production d'eau glacée [5].

### *Principe de fonctionnement*

La machine à absorption comporte de nombreuses similitudes avec la machine frigorifique à compression classique. La grande différence se situe au niveau de la compression.

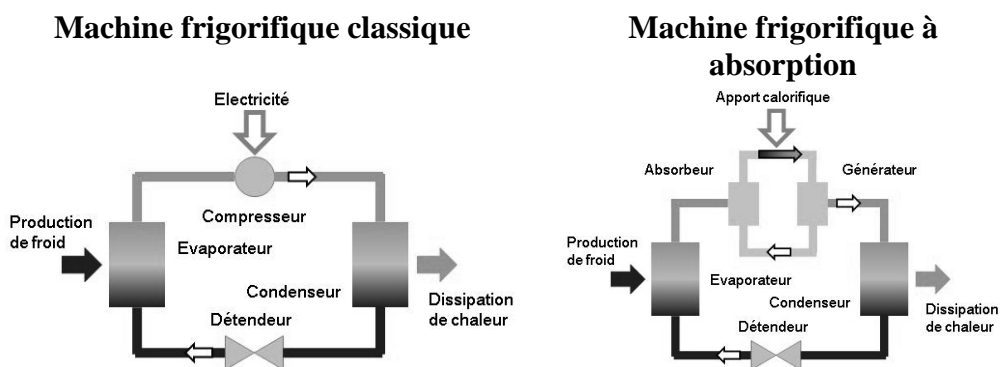


Figure 3 : Comparaison machine frigorifique classique et machine à absorption

Comme on peut le voir sur la Figure 3 le seul organe réclamant de l'énergie, pour la machine à compression, est le compresseur. Il réalise la compression du fluide frigorigène et requiert le plus souvent une énergie électrique qui est convertie en énergie mécanique. Pour la machine à absorption, la compression se fait à l'aide d'une thermopompe. L'énergie nécessaire pour cette thermopompe est donc principalement de type thermique. Cette énergie a été symbolisée par un apport calorifique. Plus d'informations sur la machine à absorption sont disponibles sur [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_11175.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_11175.htm) et dans les Techniques de l'Ingénieur brochure BE 9 735.

## **2. Gain relatif d'énergie primaire d'une trigénération**

Tout comme la cogénération, la trigénération permet de réaliser une économie d'énergie primaire par rapport à un système de production séparée. Sur la figure 4 présente à la page suivante se trouve la comparaison entre un système de trigénération et la filière d'approvisionnement classique. Les cadres représentent respectivement la cogénération (pour la production d'électricité et de chaleur dont une certaine quantité sera utilisée pour la production de froid), les deux machines frigorifiques (à absorption à gauche, à compression à droite), la centrale turbine gaz vapeur (pour la production d'électricité) et la chaudière (pour la production de chaleur). Les flèches représentent les flux d'énergie. L'énergie primaire introduite dans les deux systèmes est représentée par les flèches les plus extérieures de la Figure 4 et est toujours ramenée en équivalent gaz. Nous parlerons ici d'unité car nous travaillerons en relatif. Les flèches allant vers le bas représentent les pertes des différentes machines. Toutes les flèches sont à l'échelle.

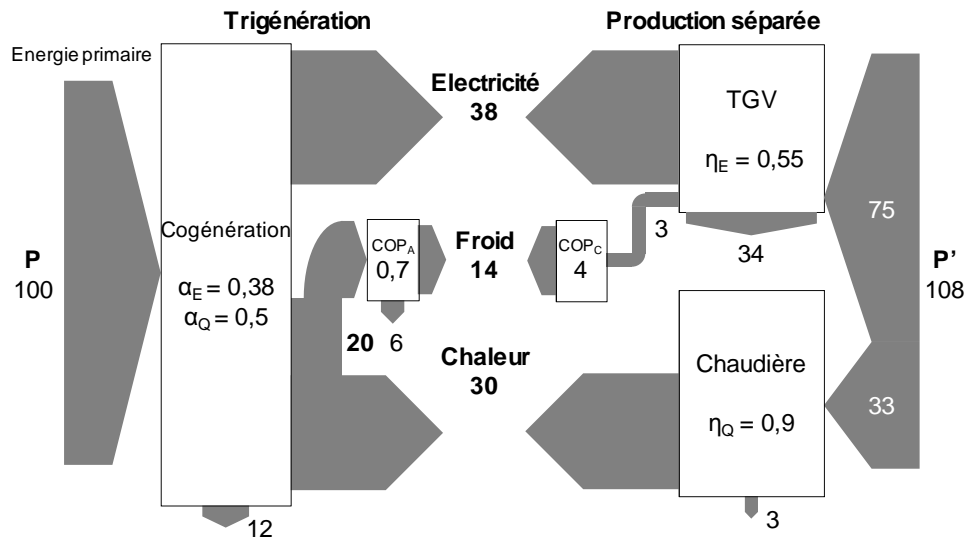


Figure 4 : Comparaison d'énergie primaire entre une trigénération et une production séparée

<b><math>P</math> et <math>P'</math></b>	Les consommations en énergie primaire par production combinée et séparée [kWh]
<b><math>\alpha_E</math></b>	Le rendement électrique de la cogénération (0,38)
<b><math>\alpha_Q</math></b>	Le rendement thermique de la cogénération (0,5)
<b><math>COP_A</math></b>	Le coefficient de performance du cycle à absorption (0,7)
<b><math>COP_C</math></b>	Le coefficient de performance du cycle à compression (4)
<b><math>\eta_E</math></b>	Le rendement électrique d'une centrale TGV (0,55)
<b><math>\eta_Q</math></b>	Le rendement d'une chaudière (0,9)

Remarque : Les rendements des machines sont rappelés entre parenthèses. Pour la cogénération, il s'agit de valeurs courantes. Elles sont tirées d'un document édité par l'institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie [6]. Pour les valeurs par production séparée, il s'agit des valeurs nécessaires aux calculs des certificats verts de la Région wallonne [4].

On introduit ici le paramètre  $\lambda$  qui représente la fraction de chaleur cogénérée pour produire du froid. Elle vaudra donc dans le cas présent  $\frac{20}{50} = 0,4$  [s.d.]. Un  $\lambda$  nul indique donc que l'on est en cogénération. Un  $\lambda$

unitaire signifie que toute la chaleur cogénérée sera utilisée à la production de froid.

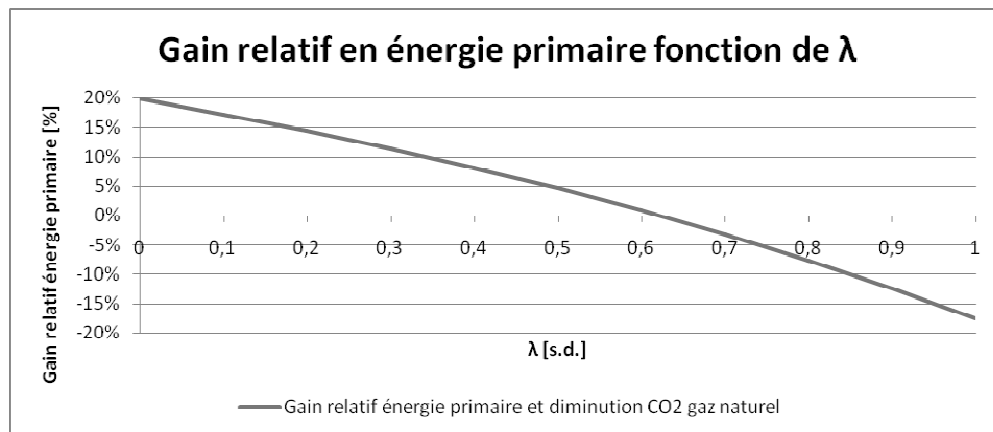
On peut remarquer que lorsqu'on utilise une trigénération, il faut 100 unités de gaz pour produire 38 unités d'électricité, 14 unités de froid et 30 unités de chaleur or il faut 108 unités de gaz pour produire les mêmes quantités d'électricité et de chaleur par la filière séparée. Voici la formule qui nous permet d'exprimer le gain relatif d'énergie primaire d'un tel système :

$$\text{Gain relatif énergie primaire} = \frac{P'-P}{P'} = 1 - \frac{1}{\frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{COP_A \alpha_Q}{COP_C \eta_E} \lambda + (1-\lambda) \frac{\alpha_Q}{\eta_Q}} [\%]$$

*Équation 1 : Gain relatif énergie primaire pour une trigénération*

Si on fait l'hypothèse que tous les rendements des machines sont constants, nous réalisons dans ce cas 7 % d'économie d'énergie primaire. Remarquons que dans l'équation 1, le seul paramètre variable est alors le paramètre  $\lambda$ .

La Figure 5 met en évidence le gain relatif d'énergie primaire d'une trigénération pour un paramètre  $\lambda$  allant de 0 à 1. Comme dit précédemment, pour l'énergie primaire, on parle en équivalent gaz naturel. Nous pouvons donc observer que les gains relatifs en énergie primaire sont confondus avec les diminutions de CO<sub>2</sub> engendrées par la trigénération face au système de production séparée.



*Figure 5 : Gain relatif en énergie primaire fonction de  $\lambda$*



Il est important de noter que la figure 6 présente à la page précédente est réalisée en tenant compte des paramètres suivants :

<b>Rendement électrique cogénération</b>	0,38
<b>Rendement thermique cogénération</b>	0,5
<b>COP machine absorption</b>	0,7
<b>Rendement TGV</b>	0,55
<b>Rendement chaudière</b>	0,9
<b>COP machine compression</b>	4
<b>Emission CO<sub>2</sub> gaz naturel [kg/kWh]</b>	0,217
<b>Emission CO<sub>2</sub> huile de colza [kg/kWh]</b>	0,07
<b>Prix électricité [€/kWh]</b>	0,15
<b>Prix gaz [€/kWh]</b>	0,06
<b>Prix huile de colza [€/kWh]</b>	0,07
<b>Prix unitaire certificat vert [€/certificat vert]</b>	80

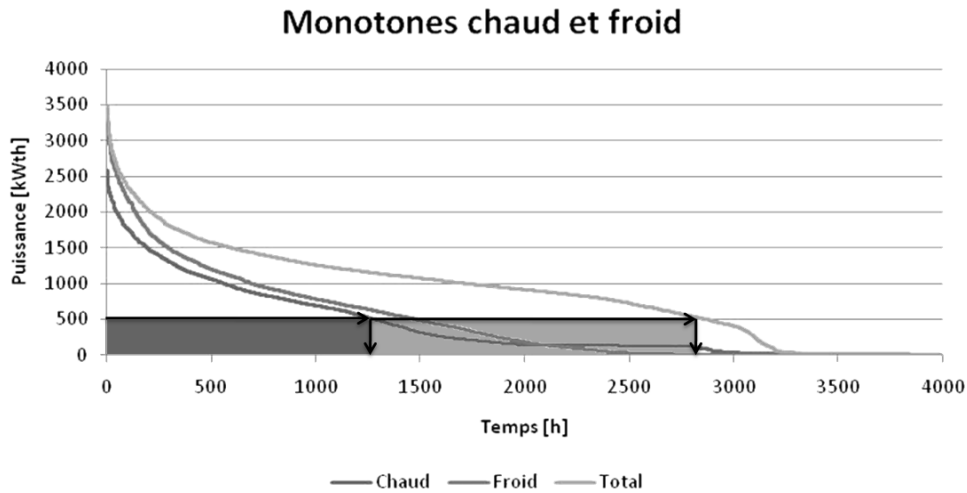
Les investissements des machines et leurs entretiens ne sont donc pas pris en compte.

#### **4. Etude pratique de la trigénération**

Les données sur lesquelles se basent le cas pratique ont été fournies par Technum-Tractebel Engineering [7]. Il s'agit d'une simulation calculée avec le logiciel TRNSYS pour un bâtiment d'une surface de 38.000 m<sup>2</sup> situé à Bruxelles. Les données étaient constituées des besoins utiles chaud et froid, heure par heure, durant une année type pour ce bâtiment. Pour le chaud, il s'agit d'un besoin annuel utile de 1,66 GWh et pour le froid il s'agit d'un besoin annuel utile de 1,33 GWh. Aucune information concernant la consommation électrique ou l'eau chaude sanitaire n'a été communiquée. Nous avons fait l'hypothèse que l'entièreté de l'électricité produite par la trigénération pouvait être consommée sur place.



Le tracé du monotone chaud, froid et total du bâtiment est représenté à la figure 7 ci-dessous.



*Figure 7 : Monotones chaud et froid*

Le graphique ci-dessus ne contient que les 4.000 premières heures. En effet, après les 4.000 heures, les consommations sont négligeables. On retrouve respectivement les courbes Chaud, Froid et Total en parcourant le graphique de gauche à droite. La courbe Froid représente la chaleur à cogénérer pour produire le froid. Ce graphique nous permet d'observer que sans ballon tampon et sans modulation de la puissance de la cogénération, on peut utiliser une cogénération d'une puissance thermique de 500 kWth durant 1.250 heures (courbe Chaud). La production d'énergie que la cogénération peut fournir est représentée par le rectangle de gauche. Le graphique montre aussi qu'on peut à condition équivalente utiliser cette cogénération durant 2.800 heures si on l'emploie en mode trigénération c'est-à-dire accouplée à une machine à absorption (courbe Total). La production d'énergie que la trigénération peut fournir est représentée par l'addition des surfaces des deux rectangles. On commence ici à comprendre l'intérêt d'un système de trigénération. En effet, elle permet à une cogénération équivalente de pouvoir fonctionner pendant beaucoup plus de temps.

On ne peut malheureusement pas déduire si rapidement le nombre d'heures de fonctionnement d'une cogénération ou d'une trigénération. En effet, les monotonies ne tiennent pas compte du fait que les heures de fonctionnement soient consécutives ou non. De ce fait nous ne pouvons connaître directement le nombre de cycles (démarrage, arrêt) de la cogénération par jour.

Le nombre de cycles d'une installation de cogénération est en pratique limité à 3 par jour [8]. En effet, le fait d'allumer et d'éteindre le moteur l'endommage rapidement. C'est pourquoi, il a fallu réaliser un programme modélisant une installation de trigénération de telle sorte que l'on puisse compter le nombre de cycles qu'une telle installation requiert. Ce programme ne sera pas développé dans cet article. Nous donnerons simplement les résultats du cas pratique renvoyés par celui-ci.

## 5. Résultats

### 5.1 Paramètres d'entrée

<b>Cogénération</b>	Type de cogénération huile de colza	-	-	
	Puissance cogénération à charge nominale	500	kWth	
	Puissance cogénération à charge partielle	375	kWth	
<b>Ballon tampon</b>	Capacité totale du ballon tampon	500	kWhth	
	Capacité partielle du ballon tampon	250	kWhth	
	Etat initial du ballon tampon	0	kWhth	
<b>Machine à absorption</b>	Puissance machine à absorption	290	kWth	
	Puissance à cogénérer machine à absorption	414,3	kWth	
<b>Extinctions</b>	Jour d'arrêt (samedi)	6	s.d.	
	Jour d'arrêt (dimanche)	7	s.d.	
	Heure de démarrage	7	s.d.	
	Heure d'extinction	18	s.d.	
	Premier mois d'extinction (pas de mois d'extinction)	0	s.d.	
	Dernier mois d'extinction (pas de mois d'extinction)	0	s.d.	
<b>Colza</b>	Pouvoir calorifique inférieur de l'huile de colza	34,3	MJ/l	
	Densité de l'huile de colza	0,915	kg/l	
	Capacité du réservoir	30.000	l	
<b>Rendements</b>	Rendement Chaudière	90	%	
	Rendement TGV	55	%	
	Pertes cogénération	12	%	
	Rendement cogénération	88	%	
	Ratio chaleur force cogénération	1,14	s.d.	
	COP Machine à absorption	0,7	s.d.	
	COP Machine à compression	4	s.d.	
<b>Surface</b>	Coefficient d'incertitude sur la surface	1	s.d.	
<b>Poids</b>	Coefficient d'incertitude sur le poids	1	s.d.	
<b>Environnement</b>	Coefficient émission CO <sub>2</sub> gaz naturel	Bruxelles	0,217	kgCO <sub>2</sub> /kWh
		Wallonie	0,251	
		Coefficient émission CO <sub>2</sub> huile de colza	0,65	kgCO <sub>2</sub> /kWh

Tableau 1 : Paramètres d'entrée du cas étudié

## 5.2 Paramètres de sortie

### *Techniques et environnementaux*

<b>Utilisation</b>	Heures de fonctionnement cogénération à charge nominale	3.045	heures/an				
	Heures de fonctionnement cogénération à charge partielle	268	heures/an				
	Heures de fonctionnement total	3.314	heures/an				
<b>Production calorifique</b>	Production de chaleur cogénérée pour le froid	619.590	kWh/an				
	Production de chaleur cogénérée pour le chaud	1.003.665	kWh/an				
<b>Machines annexes</b>	Puissance de la chaudière annexe	2.574	kWth				
	Puissance de la machine à compression annexe	2.091	kWth				
	Puissance de la tour de refroidissement	704	kWth				
	Quantité d'eau consommée par la tour de refroidissement	1.517	m <sup>3</sup> /an				
<b>Extinctions</b>	Nombre d'allumages	279	s.d.				
	Nombre d'extinctions	279	s.d.				
	Nombre de problèmes	0	s.d.				
<b>Colza</b>	Consommation d'huile de colza	363.802	l/an				
	Nombre de livraisons	13	/an				
<b>Surface</b>	Coefficient d'incertitude sur la surface	1	s.d.				
	Surface trigénération	64	m <sup>2</sup>				
	Surface totale	124	m <sup>2</sup>				
<b>Poids</b>	Coefficient d'incertitude sur le poids	1	s.d.				
	Poids trigénération	74.036	kg				
	Poids total	99.106	kg				
<b>Hauteur</b>	Hauteur maximum trigénération	3	m				
<b>Niveau sonore</b>	Niveau sonore de la trigénération (local technique)	81,9	dB à 1 m				
<b>Environnemental</b>	Emission de CO <sub>2</sub> gaz naturel	Colza	Gaz	Bruxelles	847.801	744.419	kgCO <sub>2</sub> /an
				Wallonie	980.636	861.057	
	Emission de CO <sub>2</sub> trigénération			Bruxelles	225.305	687.558	
				Wallonie			
	Taux de CO <sub>2</sub>	Colza	Gaz	Bruxelles	73	8	%
				Wallonie	116	12,4	
	Octroi des certificats verts			Bruxelles	2.868,65	262.03	CV/an
				Wallonie	1.655,11	144.12	
	Diminution de CO <sub>2</sub>	Colza	Gaz	Bruxelles	622.496	56.861	kgCO <sub>2</sub> /an
				Wallonie	755.331	65.771	

Tableau 2 : Paramètres de sortie du cas étudié

Voici les remarques que l'on peut faire avec les résultats du tableau présent à la page précédente :

- On peut observer que le système fonctionne pendant seulement 3.314 heures/an. Ceci est très faible car le bâtiment n'a des besoins énergétiques qu'en journée et n'en a pas les weekends.
- On remarque que si on prend la production de la chaleur cogénérée pour le froid et qu'on la divise par la production de chaleur cogénérée totale, on obtient  $\frac{619.590}{(619.590+1.003.665)}=38,1[\%]$  . On est donc dans un rapport  $\lambda$  permettant en moyenne une économie d'énergie primaire et d'émission de CO<sub>2</sub>. Si on veut réaliser une diminution de CO<sub>2</sub>, il n'est donc pas obligatoire d'utiliser un biocombustible.
- La puissance de la chaudière annexe est capable de reprendre toute la demande de chaud. La puissance de la machine frigorifique n'est pas capable d'assurer toute la demande de froid. Elle vient en supplément à la trigénération.
- La puissance de la tour de refroidissement est plus élevée que le double de la puissance de la machine à absorption. Ceci est normal vu qu'elle doit dissiper la puissance fournie à l'évaporateur additionnée à celle engendrée par la thermopompe. On peut aussi remarquer une consommation annuelle d'eau assez conséquente.
- La contrainte sur le nombre de démarrages de la trigénération par jour est respectée.
- Si on multiplie le nombre de livraisons par 30.000 litres on remarque que le nombre de litres livrés est plus élevé que le nombre de litres requis. En effet, il ne faut pas oublier que l'on remplit le réservoir d'huile de colza juste avant qu'il ne soit vide. Par conséquent, on ne remplira jamais 30.000 litres.
- Les surfaces et poids de la trigénération concernent l'addition de : la cogénération, le ballon tampon, la machine à absorption, la tour de refroidissement et le réservoir à huile de colza tandis que la nomination totale représente les mêmes éléments auxquels on additionne les caractéristiques de la chaudière et de la machine frigorifique.

- La hauteur maximale requise dans le local de trigénération est de 3 m. Cette valeur est assez élevée et est due à la hauteur de la machine à absorption. A ces puissances et au régime de température utilisé, il n'existe malheureusement pas de machine à absorption moins haute.
- Le niveau sonore concerne une estimation de niveau sonore dans le local technique. Il est élevé à cause du bruit produit par la machine à absorption. Néanmoins, ce bruit n'est pas du même type que celui des machines à compression. En effet, il est possible de s'entendre parler à côté de la machine à absorption : il s'agit de bruit discret et non continu.
- Les émissions de CO<sub>2</sub> du gaz naturel concernent les émissions calculées pour la filière séparée. On voit qu'en Wallonie on compte plus d'émissions de CO<sub>2</sub>. Ceci est logique car le coefficient d'émission de CO<sub>2</sub> du gaz en Wallonie est plus élevé qu'à Bruxelles.
- Les émissions de CO<sub>2</sub> de la trigénération sont plus faibles avec du colza qu'avec du gaz et cela peu importe la région.
- Les taux de CO<sub>2</sub> sont utiles pour les calculs de certificats verts mais ne présentent aucun intérêt ici. On remarque que plus de certificats verts sont fournis à Bruxelles qu'en Wallonie. De plus, le nombre de certificats verts obtenu avec de l'huile de colza est plus élevé que celui obtenu avec du gaz naturel. Pour terminer, que ce soit à Bruxelles ou en Wallonie, on observe que la diminution de CO<sub>2</sub> engendrée par un système de trigénération à l'huile de colza est nettement plus élevée qu'un même système alimenté au gaz naturel.

### Economique

Le graphique ci-dessous reprend les différents scénarios étudiés.

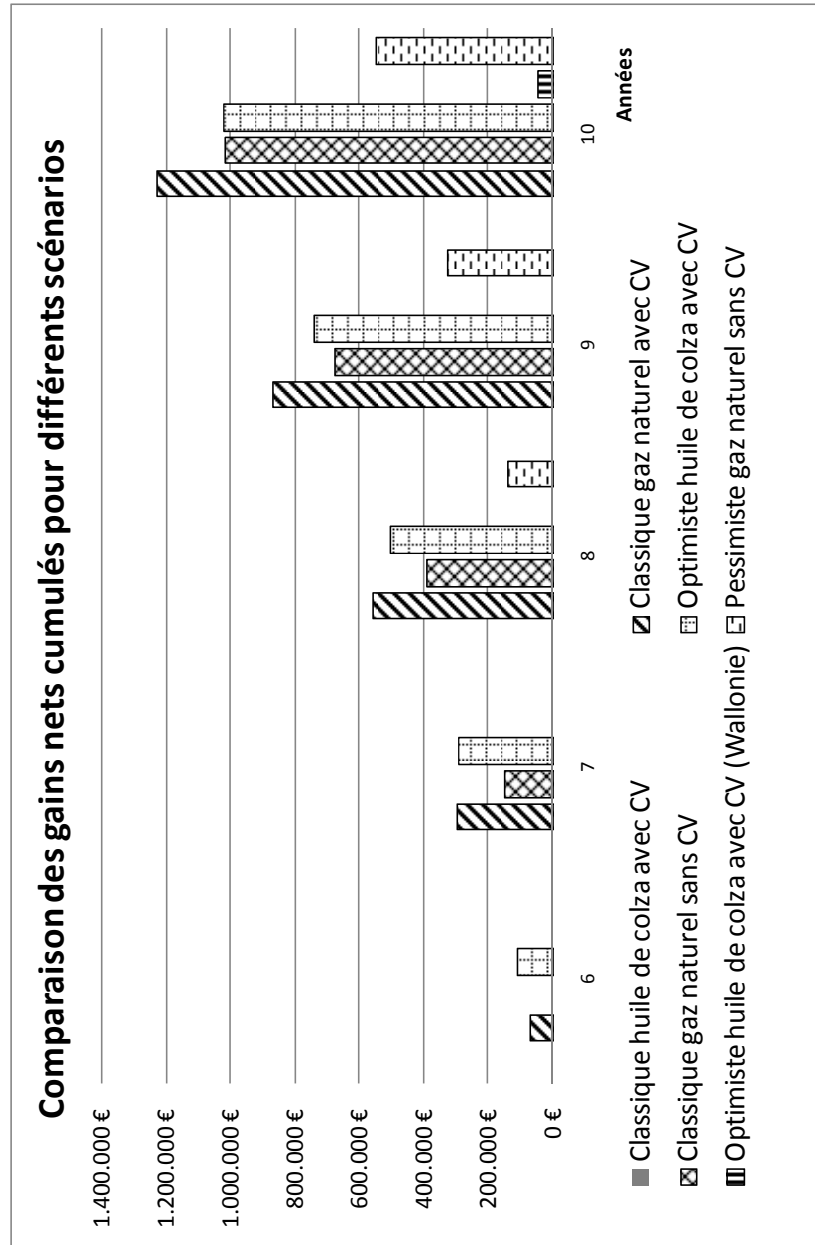


Figure 8 : Comparaison des gains nets cumulés pour différents scénarios

Le graphique de la page précédente n'est gradué qu'à partir de l'année 6 car aucun scénario étudié n'offre un temps de retour sur l'investissement inférieur à 5 ans. Il permet de comparer les différents scénarios entre eux. On voit que pour un scénario classique, que l'on bénéficie de certificats verts ou non, le choix économique le plus intéressant est le placement d'une trigénération au gaz. Si on regarde les scénarios optimistes, on remarque que la solution à l'huile de colza n'est pas mauvaise du tout. Économiquement, il est vrai que l'installation au gaz classique sans certificats verts est bien plus avantageuse que la situation à l'huile de colza optimiste avec certificats verts. En revanche sur le plan écologique, le scénario à l'huile de colza optimiste avec certificats verts permet une diminution d'émission de CO<sub>2</sub> beaucoup plus élevée (cf. Tableau 2 : Paramètres de sortie du cas étudié). Ce graphique nous permet aussi de voir que malgré son temps de retour sur l'investissement élevé, le scénario pessimiste gaz sans certificats verts permet tout de même d'obtenir des gains nets intéressants.

### 5.3 Brève comparaison trigénération et cogénération gaz

La comparaison effectuée ici est une comparaison entre une cogénération permettant un maximum de gains nets cumulés en année 10 face à la trigénération gaz. Pour être dans ces conditions, la cogénération doit avoir une puissance est de 175 kWth et un ballon tampon de 175 kWhth. Cette comparaison donne les résultats présents dans le tableau suivant :

		Cogénération gaz	Trigénération gaz
TRI		5,13	5,62
VAN	€	225.471	695.469
Gain net cumulé (année 10)		384.665	1.229.637
Diminution de CO <sub>2</sub>		kgCO <sub>2</sub> /an	42.301

*Tableau 3 : Comparaison économique et environnemental cogénération vs trigénération*

On remarque que les temps de retour sur l'investissement sont presque identiques. Habituellement, les cogénérations ont un temps de retour plus faible mais le bâtiment présente un mauvais profil de chaleur. Pour ce qui est de la valeur actuelle nette (avec un taux d'actualisation de 5 %), elle est clairement positive, ceci implique que ces deux investissements sont intéressants. Néanmoins, comme l'indiquait déjà la valeur actuelle nette, nous pouvons observer que les gains financiers pour une trigénération sont



beaucoup plus élevés. Nous pouvons aussi remarquer que la diminution de CO<sub>2</sub> émis par la trigénération est presque égale à celle de la cogénération. Cela paraît logique car comme nous l'avons montré à la Figure 5 du paragraphe 2, lorsqu'une trigénération produit du froid, la diminution de CO<sub>2</sub> est d'office plus petite voire négative. Pour terminer, d'un point de vue technique, étant donné que la cogénération ne contient ni de machine à absorption, ni de tour de refroidissement, son placement est beaucoup plus simple.

#### 5.4 Comparaison entre une trigénération et le système classique

##### *Surface, poids, hauteur, niveau sonore*

Le tableau ci-dessous représente la comparaison des surfaces, des poids, de la hauteur maximale et du niveau sonore pour une installation classique et pour une trigénération. Comme mentionné précédemment, nous avons fait l'hypothèse que les caractéristiques physiques de la cogénération à l'huile de colza et au gaz sont identiques.

				Surface	Poids	Hauteur	Niveau sonore
				[m <sup>2</sup> ]	[t]	[m]	[dB à 1m]
	Machine	Type	Unité				
Trigénération	Cogénération	500	kWth	6,8	4,8	2,2	70
	Machine à absorption	290	kWth	7,1	10,5	2,5	78
	Tour de refroidissement	704	kWth	14	9,8	5,0	95
	Ballon tampon	22	m <sup>3</sup>	15,1	21,5	1,6	Négligé
	Réservoir à huile de colza	30	m <sup>3</sup>	21,0	27,5	1,6	Négligé
	Chaudière	2.574	kWth	6,8	3,8	2,0	Négligé
	Machine à compression	2.113	kWth	53,0	21,3	2,4	77,5
Système classique	Chaudière	2.574	kWth	6,8	3,8	2,0	Négligé
	Machine à compression	2.347	kWth	59,9	23,9	2,4	77,5
Totaux	Trigénération		Huile de colza	123,8	99,2	5	95,0
			Gaz naturel	102,8	71,7		
	Système classique			66,7	27,7	2,4	77,5

Tableau 4 : Comparaison technique trigénération vs système classique

On remarque que la surface nécessaire pour une trigénération est presque doublée par rapport au système classique. Pour ce qui est du poids, on a plutôt un facteur 3. Ce ratio élevé est dû aux poids des ballons tampons et des réservoirs d'huile de colza. Il est aussi dû dans une moindre mesure à la machine à absorption et au tour de refroidissement. En ce qui concerne la hauteur maximale, on voit qu'il s'agit de la hauteur de la tour de refroidissement mais elle n'est pas inquiétante car elle est placée dehors. Par contre on remarque une hauteur de 2,5 m pour la machine à absorption.

Cette hauteur peut être critique si le local technique est moins élevé que cela. D'un point de vue sonore on remarque que la tour de refroidissement fait un bruit élevé. Il s'agit ici du niveau sonore à 1 m. A 15 m ce niveau n'est plus que de 59 dB. Pour les autres organes, on remarque que le niveau sonore est presque identique qu'il s'agisse d'une trigénération ou d'un système classique. Néanmoins, comme dit précédemment, le bruit émis par la machine à absorption est discontinu contrairement à la machine à compression.

### *Coût d'investissement et entretien*

					Investissement HTVA	Entretien HTVA
					[€]	[€]
Machine		Type	Unité			
Trigénération	Cogénération	Huile de colza	500	kWth	357.982	30.720
		Gaz naturel			364.533	15.350
	Machine à absorption		290	kWth	83.174	3.250
	Tour de refroidissement		1.214	kWth	60.305	2.320
	Ballon tampon		22	m <sup>3</sup>	32.250	Négligé
	Réservoir à huile de colza		30	m <sup>3</sup>	Négligé	Négligé
	Chaudière		2.574	kWth	159.880	1.447
	Machine à compression		2.113	kWth	310.395	1.799
Système classique	Chaudière		2.574	kWth	159.880	1.447
	Machine à compression		2.347	kWth	347.944	1.799
Totaux	Trigénération		Huile de colza		<b>1.003.986</b>	<b>39.535</b>
			Gaz naturel		<b>1.010.537</b>	<b>24.166</b>
	Système classique				<b>507.824</b>	<b>3.246</b>

*Tableau 5 : Coût d'investissement et d'entretien trigénération vs système classique*

On remarque que l'élément le plus onéreux et qui nécessite le plus d'entretien dans une trigénération est la cogénération. Ensuite viennent s'ajouter les coûts de la machine à absorption, de la tour de refroidissement, et du ballon tampon. Pour être plus correct, on devrait déduire du calcul d'une trigénération le surinvestissement de la chaudière. En effet, si un système de sauvegarde de chaud n'était pas requis, la chaudière ne devrait être capable de fournir que 2.074 kWth. En revanche la machine à compression ne représente pas un surcoût. En effet, la trigénération vient soulager la machine à compression. Néanmoins, on remarque qu'il s'agisse d'une trigénération à l'huile de colza ou d'une trigénération au gaz, en négligeant le coût du réservoir d'huile de colza, l'investissement total est double d'un système classique. De plus l'entretien est aussi augmenté et il est davantage augmenté pour les cogénérations à l'huile de colza.

## 6. Avantages et inconvénients de la trigénération

	Avantages	Inconvénients
Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les régions aux climats continentaux et océaniques présentent le plus grand intérêt pour les trigénérations.</li> <li>• Pour autant que la trigénération soit bien dimensionnée, l'efficacité énergétique d'un tel système avec une température d'eau chaude de 90°C peut, en moyenne, être plus élevée que celle d'un système classique.</li> <li>• Une production d'électricité, de chaud et de froid peut être complètement autonome sauf si la trigénération n'est plus alimentée en combustible.</li> <li>• Une trigénération au gaz à l'avantage de pouvoir être alimentée en continu. Par conséquent elle ne requiert aucun stock de combustible.</li> <li>• Une trigénération permet une utilisation de la cogénération pendant une plus longue durée par an. En effet comme la trigénération répond en même temps à la demande de chaud et de froid, cela permet de lisser le profil de chaud annuel. De plus pour cette même raison, la trigénération permet dans la plupart des cas l'utilisation d'une cogénération de puissance plus élevée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une étude complexe du bâtiment existant ou futur.</li> <li>• L'efficacité énergétique d'une trigénération avec une température d'eau chaude de 90°C est actuellement plus faible que celle d'une cogénération.</li> <li>• Un poids excessif dû aux poids de la machine à absorption, de sa tour de refroidissement, de la cogénération, de son ballon tampon et parfois du réservoir d'huile de colza.</li> <li>• Une surface nécessaire beaucoup plus importante dans le local technique.</li> <li>• Un système de trigénération requiert une surface et une résistance plus élevée du toit car il doit accueillir la tour de refroidissement.</li> <li>• Dans le cas d'une trigénération à l'huile de colza, le réservoir est en général alimenté de manière discontinue. Par conséquent elle requiert un stock élevé pour limiter les nombres de livraisons. Cela provoque donc un accroissement de la surface et du poids d'un tel système.</li> <li>• Le niveau sonore émis par une trigénération est comparable à celui d'un système classique. Néanmoins, il s'agit d'un bruit moins gênant.</li> <li>• Le stockage d'énergie sous forme thermique dans les ballons tampons occupe malheureusement beaucoup de place et pèse lourd.</li> <li>• Les tours de refroidissement sont plus grosses que dans les systèmes classiques car l'eau à refroidir est à basse température (<math>\pm 30^\circ\text{C}</math>).</li> <li>• Une installation de trigénération nécessite un plus grand entretien que le système classique.</li> </ul>

	Avantages	Inconvénients
<b>Economique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le mot trigénération est un nouveau mot. Cette technologie est peu connue. Cela peut donc servir d'argument publicitaire.</li> <li>Le gain financier d'une trigénération peut être plus élevé que celui d'une cogénération si elle est correctement dimensionnée et utilisée avec un combustible avantageux. Pour l'instant le prix du gaz est plus bas et augmente moins fort que le prix de l'huile de colza. Il est actuellement le candidat idéal.</li> <li>Il est plus intéressant d'installer une trigénération à Bruxelles car plus de certificats verts sont octroyés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'investissement d'une trigénération est beaucoup plus élevé que celui d'une installation classique.</li> <li>Le coût d'entretien d'une trigénération est beaucoup plus élevé que le système classique.</li> <li>L'incertitude sur les évolutions des prix de l'énergie peut fortement influencer le temps de retour sur l'investissement et la valeur actuelle nette.</li> <li>Il est moins intéressant d'installer une trigénération en Wallonie car moins de certificats verts sont octroyés.</li> </ul>
<b>Environnemental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une économie de CO<sub>2</sub> par rapport au système de référence.</li> <li>Une économie de CO<sub>2</sub> beaucoup plus élevée si le combustible est bio et produit de manière durable.</li> <li>Le fluide frigorigène utilisé par la trigénération pour la production de froid n'est pas nocif pour la couche d'ozone. De plus, il n'a pas d'effet néfaste sur l'environnement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une trigénération crée une pollution centralisée. De ce fait, si chaque propriétaire d'immeuble installe une trigénération, une cogénération ou tout autre système de production d'énergie décentralisée, la pollution dans les villes risque de s'accroître davantage.</li> </ul>

## 7. Sources

- [1] DAOUD, I., LEBBE, Y., *Guide cogénération*, IBGE, 2009, p.12
- [2] DAOUD, I., LEBBE, Y., *Guide cogénération*, IBGE, 2009, p.5
- [3] DAOUD, I., LEBBE, Y., *Guide cogénération*, IBGE, 2009, p.7
- [4] Annexe à la décision CD-5j18-CWaPE du 17 octobre 2005 relative à la définition des rendements annuels d'exploitations des installations modernes de références, p.2
- [5] Site : [http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/machine\\_frigorifique\\_a\\_absorption.htm](http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/machine_frigorifique_a_absorption.htm) visité le 14/03/2011
- [6] Site : <http://www.iepf.org/docs/prisme/Cogeneration.pdf> visité le 17 mars 2011
- [7] Site : <http://www.tractebel-engineering.com/> visité le 27 mars 2011
- [8] Site : [http://www.icedd.be/cogencdrom/cogeneration/concevoir/cogene\\_dimregul.htm](http://www.icedd.be/cogencdrom/cogeneration/concevoir/cogene_dimregul.htm) visité le 9 avril 2011