

Cogénération : implantation sur un site en rénovation (Callemeyn - Arlon).

Ing. B. LEMMENS
PIERRARD – Virton

Résumé. Cet article traite de toutes les étapes réalisées pour mener à bien un projet d'implantation d'un système de cogénération sur un ancien site militaire destiné à devenir un complexe regroupant des logements, hôtel, restaurant, centres de bien-être divers, école et autres services. Le bénéfice des certificats verts octroyés pour une cogénération de qualité, cumulé aux primes à l'investissement et à la possibilité de revendre l'électricité excédentaire au réseau rend la cogénération attrayante d'un point de vue économique.

La définition des besoins électriques et thermiques du site, la pertinence et la faisabilité d'un tel projet, la rédaction du cahier des charges à proposer aux éventuels futurs soumissionnaires, et enfin, l'étude de la rentabilité économique de l'installation de cogénération, sont autant d'éléments pris en compte dans cette étude.

Mots clés : cogénération, certificats verts, besoins thermiques, bilan écologique, étude de rentabilité

This article deals with all the steps leading to the setting up of a cogeneration system on a former military site. This will become a complex of housing, hotels, restaurants, various welfare centers, schools and other services.

The cogeneration is economically attractive thanks to the profit of the green certificates granted for a quality cogeneration, the investment premiums as well as the opportunity to resell the surplus electricity to the grid.

This survey takes into account the definition of the electrical and thermal needs of the site, the relevance and the feasibility of such a project, the writing of the specifications for potential future renderers and eventually the survey of the economic cost-effectiveness of the cogeneration installation.

Keywords: cogeneration, green certificates, thermal needs, ecological balance, cost-effectiveness survey.

1. Introduction

Le site de Callemeyn est une ancienne caserne militaire rachetée par le groupe SERMELUX dans le but de construire des logements mais aussi un centre idéal pour le bien-être et la détente avec une station de thalasso équipée d'une piscine chaude, salle de fitness, hôtel, restaurant et brasserie. Ce nouveau quartier joue la carte de la convivialité et de la proximité avec l'intégration de la Haute Ecole Blaise Pascal, de bureaux, d'une salle de réceptions et d'une supérette.

Un site de cette envergure sera d'office un bon client chaleur et un gros consommateur électrique. Avec une demande plus ou moins constante en chaleur, la cogénération prend tout son sens.

Le principe même d'une centrale de cogénération est la réduction d'énergies premières consommées. Se baser sur ce gain pour investir dans une centrale de cogénération est insuffisant.

Pour cette raison, le décret du 12 avril 2001 relatif à l'organisation du marché régional de l'électricité a instauré un régime de certificats verts destiné à promouvoir l'électricité verte.

L'électricité verte est l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelable ou de cogénération de qualité. Une cogénération de qualité est une cogénération dont la filière de production génère un taux minimum de 10% d'économie de dioxyde de carbone par rapport aux émissions de dioxyde de carbone d'une production classique dans des installations modernes de référence.

Le principe est simple. Toutes énergies vertes produites par une unité de production ayant obtenu un certificat de garantie d'origine permettront, en fonction de la quantité produite, de recevoir un nombre de certificats. Ce nombre dépendra du taux d'économie de CO₂ généré. Ainsi une cogénération alimentée en biogaz recevra plus de certificats qu'une cogénération au gaz naturel. Les certificats verts reçus pourront être revendus sur le marché avec une valeur de réserve minimale.

Ce bénéfice cumulé aux primes à l'investissement et à la possibilité de revendre l'électricité excédentaire au réseau rend la cogénération attrayante d'un point de vue économique.

Dans cet article, toutes les étapes réalisées pour mener à bien un projet d'une telle envergure sont présentées.



Figure 1 : vue globale du site

2. Pédagogie du projet

Le premier problème qui se pose est celui de définir les besoins électriques et thermiques du site. En ce qui concerne les besoins thermiques, ils permettront de chauffer les bâtiments et de combler les besoins en eau chaude sanitaire. Pour définir entièrement les besoins thermiques, il faudra prendre en compte l'emplacement du local technique. Contrairement à une chaudière classique, la cogénération utilise des moteurs thermiques assez bruyants demandant une attention toute particulière. Dans un site qui se veut calme et reposant, il est inconcevable de laisser au hasard le choix de l'emplacement de la cogénération qui peut être source de bruits et de désagréments.

Le deuxième problème consistera à vérifier la pertinence et la faisabilité d'un tel projet. Pour ce faire la région wallonne propose de remplir des formulaires de pertinence et de faisabilité. Ceux-ci donneront des indications sur l'avenir et l'intérêt du projet. La région wallonne propose aussi une aide physique à la mise en place d'une cogénération avec un facilitateur agréé à qui il sera probablement fait appel.

Lorsque le verdict sur la pertinence et la faisabilité du projet sera connue, il faudra rédiger le cahier des charges à proposer aux éventuels futurs soumissionnaires. Celui-ci reprendra toutes les spécificités techniques générales de la cogénération adaptée au site de Callemeyn que le soumissionnaire devra respecter ainsi que les normes auxquelles il devra se soumettre.

Le projet débouchera sur une étude de la rentabilité économique de l'installation de cogénération.

3. Choix de la technologie

Il existe différents moyens d'investir dans un système de chauffe :

- Chaudières classiques à combustible
- Chaudière classique + panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques
- Pompe à chaleur
- Cogénération + chaudières
- ...

L'utilisation de chaudières classiques est à proscrire car elle ne réduit en rien les coûts de combustible. Coupler les chaudières aux panneaux solaires

thermiques réduirait la consommation énergétique. L'inconvénient est que l'implantation des panneaux solaires risque de gâcher le charme du site qui veut garder son allure d'antan.

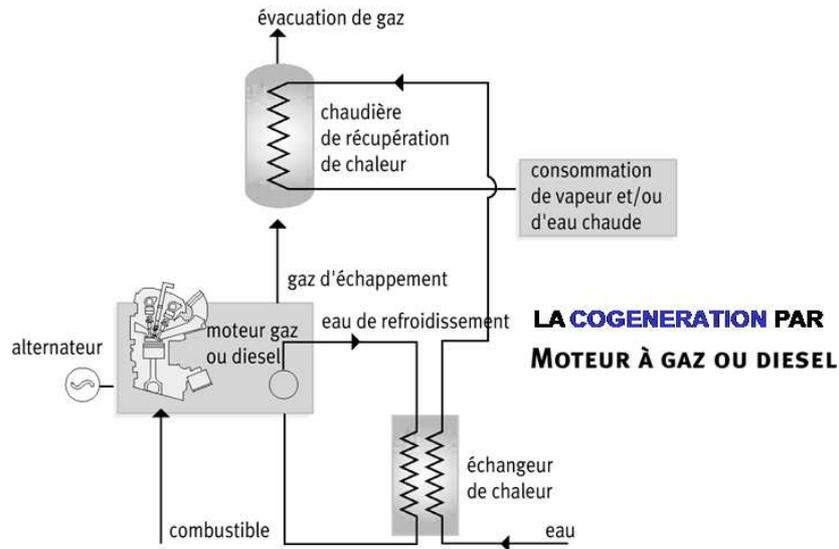
La pompe à chaleur est efficace et permet des coefficients de performance de l'ordre de 3. Les raisons pour lesquelles la pompe à chaleur n'a pas été développée est que le seul endroit assez grand pour accueillir les serpentins est l'endroit réservé pour le parc. Or, ce parc va être agrémenté d'énormément de plantes, d'arbres,... Leurs racines risqueraient à long terme d'endommager les serpentins ce qui ferait se répandre le fluide caloporteur dans la terre. Autre problème, le refroidissement du terrain engendré par l'évaporateur de la pompe à chaleur risquerait de modifier le dénivelé du sol. Ajoutons à cela que sous une partie du parc passe une source d'eau de très haute qualité qui sera utilisée pour alimenter le centre thermal. Utiliser une eau aussi pure pour chauffer les bâtiments ne serait pas assez noble.

La cogénération couplée à une chaudière reste donc la solution la plus raisonnable. La cogénération produira la base des besoins thermiques du site et les chaudières d'appoint permettront de fournir l'énergie manquante. La cogénération la mieux adaptée pour produire de l'eau chaude dans les régimes de puissance de Callemeyn est la cogénération à moteur. De plus, elle offre des avantages comme celui de facilement suivre une demande de chaleur variable.

4. Principe de la cogénération

L'idée de cogénération se base sur le fait que la production électrique dégage une grande quantité de chaleur à température moyenne, habituellement dissipée dans l'environnement. En réponse à une demande thermique (chauffage, process industriel, etc.), elle propose d'utiliser le cycle de génération électrique également comme source thermique. Alors que dans une centrale électrique, c'est le rendement électrique maximum qui est recherché (rendement électrique de l'ordre de 40% avec un cycle simple et atteignant 55% avec un cycle combiné), dans la cogénération, on vise un rendement global accru par l'utilisation prioritaire de l'énergie thermique, soit dans un processus industriel soit, dans une chaufferie. La cogénération d'électricité n'est plus, dans ce cas, le but mais une conséquence améliorant le bilan écono-

mique de l'équipement dont le rendement global peut alors atteindre plus de 90%.



5. Etude des besoins thermiques globaux

A l'aide d'un recensement détaillé de toutes les surfaces extérieures (murs, fenêtres, portes et toitures) de chaque bâtiment, les déperditions thermiques globales ont pue être calculées. Ce résultat dépend du type de matériaux et de son épaisseur.

Le coefficient de transmission thermique k paroi multiple a pour équation :

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{e}{\lambda} + \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

- $R_i (=1/h_i)$ et $R_e (=1/h_e)$ = résistances thermiques d'échanges de la paroi vers son ambiance intérieure et vers son ambiance extérieure [$m^2 K/W$]
- Le coefficient de transmission de chaleur h_i est la résultante de la convection et du rayonnement de l'ambiance intérieure sur le côté intérieur de la paroi.

- Le coefficient de transmission de chaleur h_e est la résultante de la convection et du rayonnement de l'ambiance extérieure sur le côté extérieur de la paroi.
- Un matériau est défini thermiquement par son λ exprimé en W/mK. Le λ représente la conductibilité thermique du matériau. Plus la conductibilité thermique est faible, meilleure est la capacité isolante du matériau et ce proportionnellement à son épaisseur.

Les besoins thermiques sont directement proportionnels à la différence de température existante entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Mais aussi au taux de ventilation du bâtiment.

$$CE_m = \frac{(k_s \cdot A_t + 0.34 \cdot \beta \cdot 0.8V_p) \cdot (\theta_{wh} - \theta_{nh})}{1000 \cdot \eta}$$

- k_s est le coefficient de déperditions moyen du bâtiment (W/m²K)
- A_t est la superficie totale de déperditions du bâtiment (m²)
- β est le taux de ventilation par heure
- V_p est le volume protégé du bâtiment (m³)
- η est le rendement global de l'installation de chauffage
- θ_{nh} est la température moyenne intérieure (°C) sans chauffage pendant la période considérée. Cette température devrait normalement être égale à la température extérieure mais l'impact des rayons solaires augmente la température.
- θ_{wh} est la température intérieure (°C) au-dessus de laquelle il n'est plus nécessaire de chauffer. Les apports en chaleur gratuits dus aux occupants et à l'éclairage permettent d'arrêter de chauffer avant d'avoir atteint la température souhaitée.

Remarque :

Les apports solaires dépendent de l'ensoleillement du site considéré, des surfaces réceptrices équivalentes et de l'orientation. Pour le mois considéré, les apports solaires se calculent de la manière suivante :

$$Q_S = \sum (I_{sj} \times A_{sj}) \times 24$$

- Q_S sont les apports thermiques, en Wh
- I_{sj} est l'irradiation solaire pour l'orientation J, en W/m²

La valeur de l'irradiation solaire varie toute l'année en fonction des saisons et de la région. Il existe donc des tables reprenant les valeurs d'irradiation en fonction du mois, de l'orientation et surtout de la région.

L'aire réceptrice équivalente A_s est obtenue de la manière suivante : $A_s = A \times F_s \times S$

- A est la surface de la baie en tableau en m^2
- F_s est le facteur de correction pour l'ombrage, Nord, $F_s = 0,89$, Sud, $F_s = 0,72$, Est et Ouest, $F_s = 0,67$
- S est le facteur solaire, menuiserie bois, $S = 0,44$, menuiserie PVC, $S = 0,42$, menuiserie métal, $S = 0,46$.

6. Etude de pertinence

L'étude de pertinence est une étude permettant de voir si d'un point de vue financier, l'installation d'une unité de cogénération est intéressante. Son principe est assez simple. Il suffit de calculer le gain total généré par l'unité de cogénération. Pour ce faire, les dépenses avant la cogénération doivent être évaluées. A celles-ci seront soustraites les dépenses après la cogénération. En fonction de ce résultat, le temps de retour sur investissement sera déduit. En effet, le temps de retour n'est rien d'autre que le rapport entre le montant de l'investissement et du gain occasionné par l'unité de cogénération.

La région wallonne propose pour l'étude de pertinence, le programme « cogencalc.xls » qui calcule le temps de retour en fonction du type de bâtiment, des factures d'électricité et de la consommation annuelle en mazout.

Ce programme est intéressant mais ne s'adapte pas à Callemeyn car toutes les données demandées sont indisponibles. Le site comporte différents types de bâtiments et donc aucun des profils proposés ne peut convenir. Même si les consommations antérieures avaient été connues, elles n'auraient pu être utilisées car l'entièreté du site va être revalorisée. Cette revalorisation aboutira donc à des demandes thermiques et électriques différentes de celles du passé.

Pour cette raison, un calcul plus conventionnel des besoins a été réalisé, avec des données de base provenant des calculs précédemment expliqués mais aussi de valeurs fournies par la Région Wallonne.

Puissance de base du site

- Puissance chaudière en hiver (P_{th}) : 1,6 MW_{th}
- Puissance froid en été : 300 kW_{fr}
- Puissance électrique : 500 kW_{électrique}

Résultat de l'étude pertinence

- Pellets (300 kW_é + 600 kW_{th})
 - Investissement= 2 250 000 €
 - Gain annuel= 597 000 €
 - TRI = 3,8 années
- Gaz naturel (300 kW_é+ 600 kW_{th})
 - Investissement= 565 000 €
 - Gain annuel = 110 520 €
 - TRI = 5,1 années

Conclusion sur l'étude de pertinence

Que ce soit pour le gaz ou pour le bois (pellets), le projet semble rentable. A ce stade du projet, il est trop tôt pour se réjouir car ce calcul est réalisé de manière approximative et ne permet pas de donner une idée précise. Si cette étude annonçait un temps de retour trop important, nous aurions envisagé une autre solution que la cogénération.

7. Etude de faisabilité

L'étude de faisabilité d'une unité de cogénération dans un établissement quelconque a pour objectif d'évaluer l'intégration technique, la meilleure solution technologique et l'impact d'un tel projet.

L'intégration technique consiste à déterminer si, en fonction des caractéristiques de l'établissement étudié (type de demande en chaleur et électricité, contraintes et opportunités techniques et/ou architecturales, compatibilité avec les autres équipements, ...), il est possible d'intégrer une unité de cogénération dans la chaufferie et l'installation électrique existante. Dans certains cas, il sera nécessaire de réaliser des aménagements supplémentaires, qui devront être pris en compte dans le calcul de la rentabilité.

La meilleure solution technologique consiste à trouver la taille et le type de technologie de cogénération et, le cas échéant, du stockage de chaleur. Ce

choix aura pour but de maximiser la rentabilité financière du projet en fonction de la demande en chaleur et en électricité. Pour ce faire, il s'agira de simuler le fonctionnement de plusieurs tailles et types de cogénérateurs et du stockage de chaleur pour finalement choisir la solution qui sera la plus rentable. La cogénération dont il est question est bien sûr une cogénération de qualité, c'est-à-dire qui génère un taux d'économie de CO₂ de minimum 10 %.

L'impact d'une cogénération consiste à dresser le bilan d'un tel projet, tant du point de vue énergétique, que du point de vue économique et environnemental. Cette étape donne au commanditaire des résultats chiffrés fiables, basés sur des critères techniques, économiques et environnementaux objectifs et adaptés. Ainsi, le commanditaire pourra prendre une décision fondée et négocier en connaissance de cause, l'acquisition de sa cogénération.

7.1. Importance d'un bon dimensionnement

Avant de commencer, il faut signaler d'emblée l'importance du dimensionnement. Une mauvaise évaluation aura des répercussions économiques d'autant plus grandes que les investissements et les durées de vie des équipements sont relativement importants et que chaleur et électricité sont simultanément concernées.

Si un sous-dimensionnement n'est préjudiciable "que" dans la mesure où le client ne bénéficiera pas de toutes les économies potentiellement réalisables, un surdimensionnement peut s'avérer beaucoup plus pénalisant sur le plan économique. Et ce, parce que le fonctionnement en charge réduite est proportionnellement plus coûteux qu'à pleine charge. Par ailleurs, cela augmente le nombre de démarrages-arrêts, préjudiciable à la durée de vie du moteur. Notons encore qu'avant d'entamer le calcul de dimensionnement, il importe de rationaliser toute consommation de chaleur et d'électricité par des mesures adéquates : isolation, période d'utilisation... Si cette rationalisation devait intervenir après le projet de cogénération, les consommations de chaleur et d'électricité s'en trouveraient modifiées et par là, le dimensionnement de l'installation deviendrait inadéquat. Dans le cas de Callemeyn, la rationalisation se traduira par l'installation de nouveaux châssis et une isolation importante de la toiture. Les murs garderont la même isolation pour la simple raison que l'isolation extérieure nuirait au charme du site et que l'isolation intérieure nuirait au volume intérieur du bâtiment.

Dimensionner revient à calculer la puissance du cogénérateur et ses heures de fonctionnement, pour coller au mieux aux deux contraintes essentielles :

- la production de chaleur doit égaler le besoin de chaleur (sauf si l'excédent peut être stocké dans un ballon de chaleur) ;
- la production d'électricité doit être valorisable au maximum par le site.

Le dimensionnement optimum cherche à définir les puissances thermiques et électriques les mieux adaptées aux caractéristiques du projet. L'optimisation consiste à simuler le fonctionnement "en temps réel" de plusieurs tailles d'unités de cogénération et d'en évaluer la rentabilité. Ensuite, sur base d'une série de critères définis par le décideur, l'expert propose la solution la plus intéressante au cas étudié. En cas de résultats similaires, mieux vaut opter pour la cogénération la plus petite.

Une rapide analyse de la sensibilité de cette rentabilité peut être utile. Les paramètres sont généralement les prix des énergies, le montant d'investissement, les performances de l'équipement et ses rendements.

Un impact important sur la manière de dimensionner une unité de cogénération est la mise en place du mécanisme de certificats verts. Les modifications de la méthodologie de dimensionnement se situent à trois niveaux :

1. Valoriser toute la chaleur produite, afin de prétendre au titre de cogénération de qualité. Il est donc indispensable de piloter la cogénération sur base des besoins en chaleur. L'octroi des certificats verts est en effet proportionnel à la quantité de chaleur effectivement valorisée.
2. Fonctionner le plus longtemps possible : auparavant les unités de cogénération ne fonctionnaient principalement que durant les heures pleines, période où l'électricité est la plus chère. L'apport financier des certificats verts permet désormais de fonctionner également durant les heures creuses et de revendre le surplus sur le réseau.
3. Installer un ballon de stockage : ceci permet bien souvent d'accroître la rentabilité suite à la souplesse de fonctionnement apportée. La cogénération peut fonctionner à pleine puissance (rendement maximal) durant une plus grande partie de l'année, ce qui permet de recevoir davantage de certificats verts

7.2. Les consommations d'électricité et de chaleur

Afin d'effectuer un dimensionnement fin et précis de l'unité de cogénération, il est primordial de bien connaître les consommations d'énergie du site étudié. Par « bien connaître », il faut entendre connaître la quantité

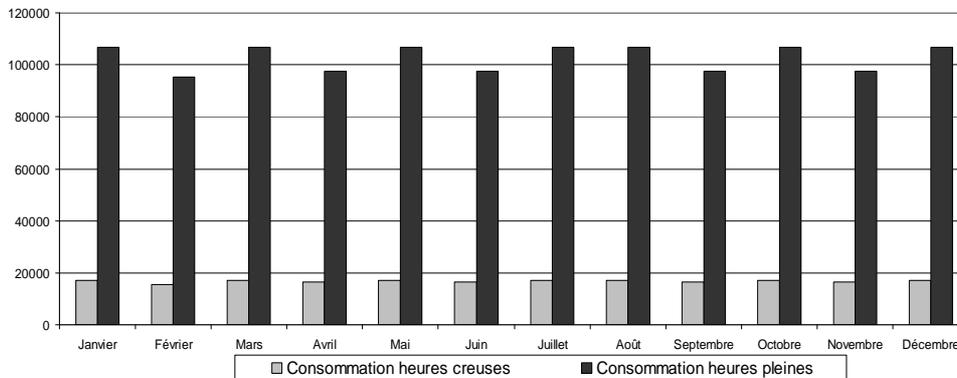
d'électricité et de chaleur consommée annuellement, mais aussi la variation mensuelle, hebdomadaire et journalière de ces consommations jusqu'à la précision du quart d'heure.

Les consommations annuelles

Consommation électrique

Comme les relevés sont impossibles, la consommation électrique a été calculée à partir de consommations annuelles surfaciques présentes sur le cd « énergie + » de la région wallonne. Le profil électrique reprenant les puissances instantanées a été calculé en prenant en compte les heures d'utilisation des différents bâtiments. La pointe quart horaire maximale calculée est de 340 kW_e. Cette consommation se répartit de la manière suivante en fonction des plages horaires :

- 1 222 415 kWh ont été consommés en heures pleines, soit 15 heures par jour en semaines hors congés.
- 200 340 kWh ont été consommés en heures creuses, soit le reste du temps

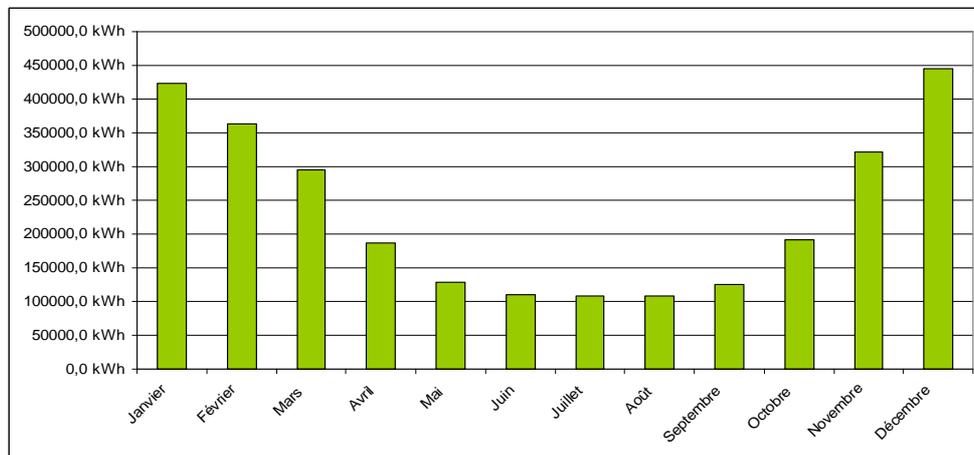


Le graphique ci-dessus permet de comparer l'importance de la consommation en heures pleines par rapport à la consommation en heures creuses. Les activités nocturnes étant assez limitées, il n'est pas étonnant de voir que la consommation en heures pleines est la part la plus importante de la consommation. L'électricité coûtant plus pendant les heures pleines, le gain dû à l'électricité autoconsommée aidera fortement à la rentabilité du projet. Que ce soit pendant les heures creuses ou les heures pleines, l'électricité non consommée sera revendue au réseau.

Le profil d'une année type donne une vue d'ensemble de la demande en puissance électrique du site. La Haute Ecole est un gros consommateur électrique. A chaque période de vacances scolaires, la consommation électrique chute fortement (voir congés de Noël, de carnaval, de Pâques et d'été).

Consommation thermique

La consommation thermique du site a été calculée suite à un calcul de déperditions approfondi. Par calcul de déperdition approfondi, on entend que la consommation a été calculée en prenant en compte la fonction de chaque type de bâtiments. Les périodes d'utilisation des bâtiments ont été définies à l'aide de profils de températures standard. Les données météorologiques de la station météo de FRASSEM ont été utilisées comme températures de base. Lors de ces calculs, les dispositions mises au point par le groupe pour diminuer les dépenses énergétiques ont été prises en compte. Les actions d'URE (utilisation rationnelle de l'énergie) prévues par le groupe sont : le remplacement des anciens châssis par des châssis doubles vitrages à hautes performances (autoproduction SERMELUX) et une isolation importante des toitures. Les besoins en chaleur nets sont estimés à 2 900 000 kWh par année. Les besoins thermiques sont répartis de la manière suivante :



7.3. L'impact d'un tel projet

Après la simulation et l'obtention de la taille de cogénération optimale, il est bon d'évaluer son impact à l'aide d'un bilan énergétique, économique et environnemental.

Le bilan énergétique

L'unité de cogénération proposée permettra de produire une partie des besoins thermiques et électriques du site. A ce stade, il est important de connaître quelles sont les quantités consommées et produites, avant et après cogénération, tant en chaleur qu'en électricité, comme décrit dans le tableau ci-dessous :

BILAN ENERGETIQUE		
Situation « avant » cogénération		
Consommation d'électricité avant cogénération :	1 422 755	kWh _e /an
Consommation de gaz naturel avant cogénération :	4 423 332	kWh _{comb} /an
Besoins thermiques nets avant cogénération :	3 538 665	kWh _{th} /an
Situation « après » cogénération		
Energie primaire consommée par la cogénération :	3 786 283	kWh _{comb} /an
Chaleur utile produite par la cogénération :	1 952 585	kWh _{th} /an
Economie combustible correspondante pour la chaufferie :	2 440 732	kWh _{comb} /an
Chaleur utile encore à produire par les chaudières :	1 586 080	kWh _{th} /an
Consommation correspondante par les chaudières :	1 982 600	kWh _{comb} /an
Energie électrique produite par la cogénération :	1 305 742	kWh _e /an
dont énergie électrique revendue au réseau :	398 373	kWh _e /an
dont énergie électrique autoconsommée :	907 369	kWh _e /an
Energie électrique consommée après cogénération :	515 386	kWh _e /an

Le bilan économique

Un intérêt non négligeable de la cogénération est de réduire de manière significative la facture énergétique annuelle du site étudié.

Pour estimer cette réduction ou ce gain annuel net, il faut faire la différence entre les factures "avant" cogénération et les factures "après" cogénération. L'évolution des prix de l'énergie étant tellement variable et imprévisible, il est conseillé de prendre une moyenne des coûts énergétiques de l'année 2008 qui ont été particulièrement élevés.

La facture énergétique totale "avant" cogénération est la somme de la facture des consommations en combustible et en électricité (dont nous ne disposons pas). Par contre, les factures énergétiques des blocs en service (5R et 5S) existent et permettent d'aboutir à un prix du MWh thermique (gaz) de 40.54 €/MWh et d'un prix du MWh électrique de 106.09€.

"Après" cogénération, la facture de combustible augmente (surconsommation nécessaire pour produire l'électricité) mais, la facture d'électricité dimi-

nue. Par ailleurs, une nouvelle facture apparaît : celle de l'entretien et de l'assurance de l'unité de cogénération. A cela s'ajoutent les gains réalisés par la vente au réseau de l'électricité produite en surplus ainsi que par la vente des certificats verts obtenus pour une cogénération de qualité.

Le tableau ci-dessous chiffre les différentes dépenses et les différents gains supplémentaires "après" cogénération.

BILAN ECONOMIQUE		
Situation actuelle sans cogénération		
Coûts		
Montant facture électricité :	151 785,60	€/an
Montant facture combustible :	179 321,87	€/an
Montant facture énergie globale :	331 107,47	€/an

Situation future avec cogénération		
Coûts		
Montant facture électricité :	54 983,57	€/an
Montant facture combustible :	233 871,42	€/an
Montant entretien pour la cogénération :	21 129,92	€/an
Montant facture énergie globale :	309 984,92	€/an

La facture totale "avant" cogénération est donc de 331 107.5 euros/an. La facture totale "après" cogénération sans revente d'électricité et sans revente de certificats verts est donc de 309 984 euros/an.

Le tableau ci-dessous reprend le total des gains générés grâce à la cogénération avec la revente de CV au prix minimal et maximal.

Gain			
Prix du certificat vert	90	65	€
Revente de l'électricité injectée :	15 934,94		€/an
Economie annuelle sans C.V. :	37 057,49		€/an
Taux d'économie en CO ₂ * :	31,8%		
Certificats verts :	37 424,20	27 028,59	€/an
Economie annuelle avec C.V. :	74 481,70	64 086,08	€/an

* Le taux d'économie de CO₂ est égal au rapport entre le gain de CO₂ généré par la cogénération et la production de CO₂ de la partie électrique par une centrale électrique de référence. Le gain est égal à la différence entre la production de CO₂ de la filière classique et la production de CO₂ par la

cogénération. Les consommations en combustible étant l'image directe de la production de CO₂, il est plus simple d'utiliser directement ces consommations dans les calculs.

Gain

= Consommation filière classique – Consommation filière cogénération

= $(1953/0.9 + 1306/0.55) - 3786 = 758 \text{ MWh}_p$

Taux d'économie de CO₂

= Gain / Consommation électrique par une filière classique

= $758 / (1306/0.55) = 31.9\%$

= 0.319 certificats verts par MWh_é produits.

Dans les deux cas, le résultat est positif. La cogénération permet donc de réduire de manière significative la facture énergétique du site de CALLEMEYN. Il s'agit respectivement d'une économie de 29 à 25 %.

Les autres paramètres de rentabilité (temps de retour simple et valeur actualisée nette des gains) sont illustrés dans le tableau ci-dessous, en fonction du prix du certificat vert et du taux de subside que peut espérer recevoir SERMELUX.

Les chiffres parlent d'eux-mêmes. Il s'agit d'un projet très rentable. Même sans subsides!

Prix du CV	Sans prime		20% de prime		50% de prime	
	90€	65€	90€	65€	90€	65€
Paramètres	Voir paramètres cogensim.doc					
Puissance électrique	218 kW _é					
Puissance thermique	321 kW _{th}					
Nombre d'heures de fonctionnement	6461.75 heures					
Nb de démarrages	100					
Gains	74 482€	64 086€	74 482€	64 086€	74 482€	64 086€
Investissement (primes comprises)*	445 854€		356 683€		222 927€	
Temps de retour simple (années)	5.99	6.96	4.79	5.57	2.99	3.48
Valeur actualisée nette des gains (VAN)	129274€	49002€	218445€	138172€	352 201€	271 929€
Taux de rentabilité interne (TRI)	9%	5%	15%	11%	30%	25%
Sans prime et sans CV						

Avec les mêmes paramètres	
Investissement*	445 854€
VAN	-159 706 €

*Le coût de l'investissement comprend la cogénération, le ballon tampon de 30 m³, le réseau de chaleur et les sous-stations ainsi qu'un facteur de surinvestissement de 30%.

Ballon tampon de 30m³ : 31 583€

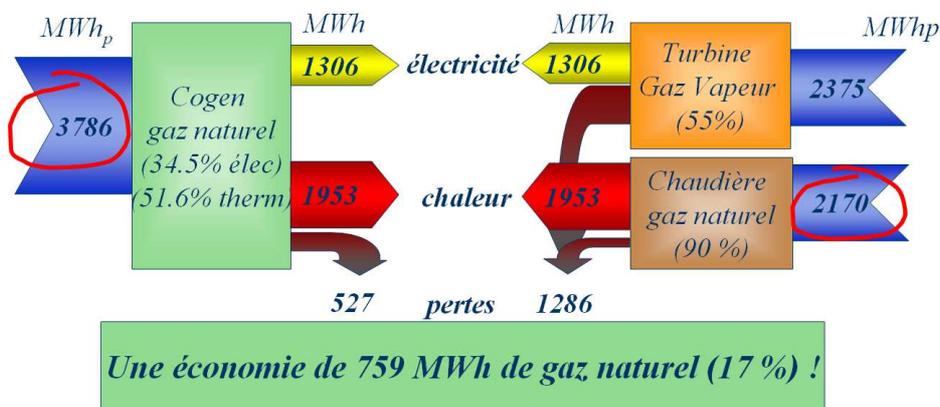
Réseau de chaleur : 350 m à 150 €/m = 52 500 €

*Sous station : 9 à 5000€ + 10% de marge = 50 000€

Les puissances électriques et thermiques sont identiques dans les trois cas de figure. Il en va de même pour le temps de fonctionnement et le nombre de démarrages. Le cas le plus favorable est celui qui obtient le plus de subsides avec un prix de certificats verts maximal. Cette configuration permet, avec un gain annuel sans actualisation de 74482 €, un temps de retour de seulement 2.99 années et une valeur actualisée nette des gains de plus de 350000€. Hélas, la rentabilité ne peut pas être prise en compte sur ces chiffres idéaux car, si les subsides sont réduits ou annulés, la rentabilité risque de tomber aussi. Pour cette raison, un calcul de rentabilité a été calculé dans l'optique où les subsides seraient nuls et que le prix du certificat vert serait de 65€. Dans ce cas peu probable (trop pessimiste), avec une cogénération de puissances identiques, le gain chuterait à 64086€ et l'investissement grimperait à 445 854€, ce qui produirait une réduction de la valeur actualisée nette des gains à 49 002€ et une augmentation du temps de retour à 6.96 années. Le fait de prendre la valeur des subsides et du prix des certificats verts au minimum est un scénario extrême. Quoi qu'il en soit, le bon compromis pour le choix final sera réellement défini lors de la demande des subsides et de la négociation du prix des certificats verts.

Le bilan environnemental

Cette production combinée de chaleur et d'électricité par cogénération permet une économie en énergie primaire par rapport aux meilleures technologies séparées de production de chaleur et d'électricité. Or il est devenu primordial de réduire cette consommation d'énergie primaire.



La cogénération conduit à une surconsommation de gaz naturel de 1616MWh_p par rapport à la consommation des chaudières classiques pour la même quantité de chaleur produite. Cette surconsommation permettra cependant de produire en interne 1 306MWh d'électricité soit un rendement de transformation électrique de 81% !

Si cette quantité d'électricité avait été produite dans une centrale électrique Turbine Gaz Vapeur (TGV) d'un rendement optimal de 55 %, il aurait été nécessaire d'utiliser 2 375 MWh_p de gaz naturel. La cogénération permet donc d'économiser chaque année, 759 MWh_p de gaz naturel !

Il s'agit bien entendu d'un bilan énergétique positif "global", non directement perceptible par le gestionnaire du site de CALLEMEYN, qui verra, au contraire, sa facture de gaz naturel augmenter. En choisissant une technologie performante comme la cogénération, le gestionnaire participe activement à cette dynamique globale d'économie d'énergie primaire pour un confort identique. C'est d'ailleurs pour cette raison que la Région wallonne, qui voit directement ce bilan positif, souhaite développer cette technologie d'avenir.

Les émissions de Gaz à Effet de Serre, dont le CO₂, sont également problématiques. Une économie d'énergie primaire implique directement une réduction des émissions polluantes. Pour le CO₂, à chaque MWh de gaz naturel épargné correspond 251 kg de CO₂ en moins rejeté dans l'atmosphère. Le site de CALLEMEYN épargnant 759 MWh de gaz naturel par an, permet d'éviter l'émission de 190 509 kg de CO₂ chaque année dans l'atmosphère. Sachant que chaque wallon doit, pour atteindre les objectifs de Kyoto, réduire ses émissions de CO₂ d'environ 1500 kg par habitant en 2010. Le projet de cogénération de CALLEMEYN permettra donc à 127 wallons de satisfaire à leur objectif Kyoto.

7.4. Résumé de l'étude de pertinence

La faisabilité a débouché sur une cogénération de 321 kW_é et 218 kW_{th} avec un ballon de stockage de 30 m³. Le tableau qui suit reprend les résultats importants de l'étude de faisabilité.

Résultats	Valeur [.../an]
Techniques	
Type de l'unité de cogénération	Moteur au gaz naturel
Puissance « optimale »	218 kW _é et 321 kW _{th}
Rendement électrique à charge nominale :	35,1%
Rendement électrique à mi-charge :	31,6%
Rendement thermique à charge nominale :	51,7%
Rendement moyen électrique :	34,5%
Rendement moyen chaleur :	51,6%
Rendement moyen de fonctionnement :	86,1%
Energétiques	
Situation « avant » cogénération	
Consommation de combustible	4 423 332 kWh _p
Besoin net en chaleur	3 538 665 kWh _{th}
Consommation électrique	1 422 755 kWh _é
Situation « après » cogénération	
Surconsommation de combustible	1 616 744 kWh _p
Chaleur produite par cogénération	1 952 585 kWh _{th}
Energie électrique produite par la cogénération	1 305 742 kWh _é
dont énergie électrique revendue au réseau :	398 373 kWh _é
dont énergie électrique auto-consommée :	907 369 kWh _é (64% des besoins)
Economiques	
Situation « avant » cogénération	
Montant facture électricité	151 785,60 €
Montant facture combustible	179 321,87 €
Montant facture énergie globale	331 107,47 €
Situation « après » cogénération	
Montant facture électricité	54 983,57 €
Montant facture combustible	233 871,42 €

Montant entretien pour la cogénération	21 129,92 €	
Revente de l'électricité injectée :	15 934,94	
Certificats verts (90 et 65€)	37 424,20 €	27 028,9 €
Economie annuelle avec C.V. :	74 481,70 €	64 086,08 €
<i>Rentabilité du projet de cogénération (hors aides)</i>		
Investissement net	445 854 €	
Temps de retour simple	5.99 années	6.96 années
Valeur actualisée nette du gain (sur 10 ans)	129 274 €	49 002 €
<i>Rentabilité du projet de cogénération (20% d'aides)</i>		
Investissement net	356 683 €	
Temps de retour simple	4.79 années	5.57 années
Valeur actualisée nette du gain (sur 10 ans)	218 445 €	138 172 €
<i>Rentabilité du projet de cogénération (50% d'aides)</i>		
Investissement net	222 927 €	
Temps de retour simple	2.99 années	3.48 années
Valeur actualisée nette du gain (sur 10 ans)	352 201 €	271 929 €
Environnementaux		
Emissions de CO ₂ évitées	190 509 kg	
Nombre de certificats verts (1CV = 456 kg de CO ₂)	417 CV	
Economie en énergie primaire	598 545 kWh	

7.5. Conclusion sur l'étude de faisabilité

L'étude de faisabilité est positive. Si nous bénéficions du régime des certificats verts, une cogénération de 218kW_e et de 321kW_{th} permettrait dans tous les cas de générer du bénéfice.

Toutefois, les puissances finales et la taille du ballon de stockage seront à confirmer lorsque la demande de subsides aura été réalisée. Il en ira de même avec le prix des certificats verts. Même si les subsides étaient nuls et que le prix de certificats verts avoisinait les 90€, le projet serait rentable et permettrait de générer un bénéfice.

Sans subside, si le prix du certificat vert était inférieur à 90€, une puissance de 170kW_e et de 257kW_{th} avec un ballon de 15m^3 serait plus raisonnable. Ce choix permettrait un temps de retour de 5,2 ans et une valeur actualisée nette des gains de 90016 €.

Pour résumer, si le prix du certificat vert est de 90€, la VAN sur 10 ans sera de 130000€ sans aide et de 350 000€ si nous obtenons la prime maximale de 50%.

7.6. Cahier des charges

Le groupe SERMELUX a pour habitude de procéder à l'appel d'offres lors d'un projet de cette envergure. Contrairement au marché public, les responsables de SERMELUX contactent directement les entreprises qu'ils jugent capables d'exécuter le marché et leur soumettent un cahier des charges générales de leurs attentes. Ce cahier des charges est une proposition assez précise des attentes du groupe. Contrairement à l'adjudication, l'appel d'offres laisse la possibilité au soumissionnaire potentiel de proposer des alternatives autres que celles du cahier des charges. Ces alternatives seront accordées ou refusées par le groupe en fonction de l'argumentation justifiant la modification. Cette méthode de travail permet de maîtriser le projet tout en permettant des améliorations auxquelles les responsables du projet n'auraient pas pensé.

7.7. Conclusions et perspectives.

La cogénération est un système permettant de générer simultanément de la puissance électrique et thermique avec un rendement global supérieur à celui des filières séparées. Ce rendement amélioré permet, non seulement, une réduction importante sur la consommation en énergie primaire mais aussi, une diminution des émissions de CO_2 . Dans ce travail de fin d'étude, l'ensemble des étapes permettant d'implanter une cogénération dans un site non existant a été étudié. A l'heure actuelle, la région wallonne développe énormément la cogénération. Afin de convaincre les personnes intéressées par ce genre de technologies vertes, elle développe une série d'outils permettant de voir si une cogénération est rentable. Ces programmes, qui utilisent des relevés thermiques et électriques pris sur le site en fonctionnement, ne permettent malheureusement pas d'étudier l'intérêt de la cogénération sur un site en construction ou en rénovation. Pour ce faire, une série de données

ont dû être calculées pour arriver à simuler la cogénération en temps réel et en déduire une étude économique. Un cahier des charges a dû être réalisé afin de permettre un appel d'offres.

D'un point de vue pratique, j'encourage le groupe SERMELUX à investir dans une centrale de cogénération au gaz de 218kW_e et de 321kW_{th} pour fournir la puissance thermique de base (la puissance électrique n'étant que du bonus). Un groupe de quatre chaudières à condensation gaz de 250 kW chacune montée en cascade sera idéale pour produire l'énergie manquante. La distribution de l'énergie se fera par le biais d'un réseau de chaleur.

8. Références bibliographiques.

Livres

[1] BOGAERT J.H. *Isolation thermique, chauffage et conditionnement d'air*, Neufert (7^{ème} édition).

Sites internet

- <http://energie.wallonie.be>
- <http://www.cogensud.be>
- <http://www.cwape.be>
- <http://www.uvcw.be>