

La cogénération : Couplage des énergies électrique et thermique



Étudiants :

Pierre Mazari

Bachir Idrissi Ouadghiri

Hugo Verbrigghe

Thomas Poulain

Louis Gohier

Robin Hanriot

Date de remise du rapport : 22/06/2018

Référence du projet : STPI/P6/2018 – 08

Intitulé du projet : Couplage des énergies électrique et thermique (cogénération) : principe, applications, rendement

Type de projet : Biblio, calcul, expérimental

Objectifs du projet :

Dans notre projet, nous allons traiter la cogénération. Pour ce faire, nous avons pour objectif de nous concentrer, dans un premier temps, sur la recherche d'informations. Ce travail préliminaire est nécessaire à une bonne compréhension du principe de la cogénération, de son histoire et de ses avantages (Partie 2.1). Notre projet a également pour but de mettre en place nous même une cogénération, en améliorant le rendement d'un groupe électrogène (Partie 2.2).

Mots-clefs du projet :

- _ Cogénération
- _ Énergie électrique
- _ Énergie thermique
- _ Rendement

TABLE DES MATIÈRES

<u>Introduction.....</u>	<u>5</u>
<u>1. Méthodologie / Organisation du travail.....</u>	<u>6</u>
<u>2. Travail réalisé et résultats.....</u>	<u>7</u>
<u>2.1. Présentation globale de la cogénération.....</u>	<u>7</u>
<u>2.1.1. L'histoire de la cogénération.....</u>	<u>7</u>
<u>2.1.2. Le principe de la cogénération.....</u>	<u>8</u>
<u>2.1.3. Les avantages et inconvénients.....</u>	<u>10</u>
<u>2.1.4. Applications de la cogénération.....</u>	<u>11</u>
<u>2.1.5. Les enjeux pour l'avenir.....</u>	<u>12</u>
<u>2.2. Expérience et résultats.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.1. Plan prévention.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.2. Mise en place de l'expérience.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.3. Présentation des résultats.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.4. Analyse.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.5. Amélioration du système.....</u>	<u>14</u>
<u>3. Conclusions et perspectives.....</u>	<u>15</u>
<u>4. Bibliographie.....</u>	<u>16</u>
<u>5. Annexes.....</u>	<u>17</u>
<u>5.1. Fiche technique du groupe électrogène.....</u>	<u>17</u>

INTRODUCTION

Lors de notre quatrième semestre nous avons été amenés à réaliser un projet de physique intitulé « Projet P6 » dont le sujet est : « Couplage des énergies électrique et thermique (cogénération) : principe, applications, rendement ». Ce projet nous tenait à cœur pour l'importance de son principe dans l'avenir de la production d'énergie, et de sa capacité à apporter des solutions en terme d'économie d'énergie et de développement durable.

Le développement durable est par définition « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »¹. En effet, l'un des enjeux majeurs du développement durable est l'économie d'énergie. Or la cogénération est la production simultanée de deux formes d'énergie à partir d'une source d'énergie primaire. Elle a donc un fort potentiel en terme d'économie d'énergie et de rendement. Connue depuis longtemps, la cogénération commence à être utilisée depuis les années 2000 suite aux problèmes d'énergies que rencontre notre société.

C'est pourquoi nous nous sommes fixés deux objectifs majeurs dans ce projet. Premièrement, apporter une documentation et des recherches suffisantes afin de comprendre au mieux ce qu'est la cogénération. Deuxièmement, mener à bien un protocole expérimental permettant de mettre en évidence le phénomène de cogénération.

1 Source : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1644>

1. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons consacré une heure et demie à ce projet par semaine le mardi après-midi en compagnie de notre encadrant Monsieur Croquette.

Lors des premières séances, notre tuteur nous a présenté notre projet et le travail demandé. Nous avons réfléchi ensemble à la meilleure façon de « s'attribuer » le sujet, c'est à dire le comprendre sous tous ses angles. C'est pourquoi il nous a paru évident qu'il fallait, dans un premier temps, se mettre tous ensemble à la collecte de données sur la cogénération. Ensuite nous avons donc pu mettre en place un protocole expérimental permettant d'étudier concrètement le phénomène de cogénération. Nous avons commandé auprès de l'INSA le matériel nécessaire à la réalisation de notre expérience. Nous avons ensuite réalisé une phase de tests où toute l'équipe était présente. Enfin nous avons décidé de nous séparer en deux équipes. D'un côté Thomas, Bachir et Robin s'occupaient de la partie expérimentale. De leur côté, Pierre, Hugo et Louis se chargeaient de réunir et de mettre en forme les données et recherches collectées.

	Robin	Thomas	Bachir	Pierre	Hugo	Louis
Avril/ Début Mai	Recherche documentaire en groupe					
08/05	Recherche d'une méthode de récupération d'eau chaude					
15/05	Mise en fonctionnement du groupe électrogène					
22/05	Réparation du groupe électrogène					
29/05	Installation du système de récupération d'eau chaude			Début de rédaction du rapport et de l'affiche		
05/06	Tests de températures sur le système			Rédaction du Rapport		
12/06	Rédaction du Rapport					

2. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

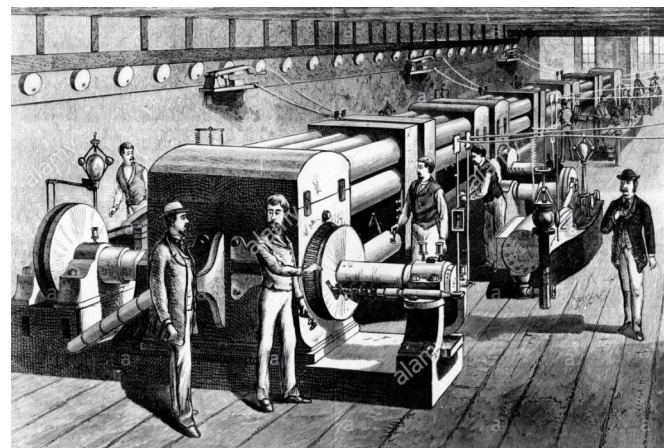
2.1. Présentation globale de la cogénération :

2.1.1. *L'histoire de la cogénération :*

La première avancée se fait en 1834, lorsque Jean Peltier, physicien et horloger, découvre que la circulation d'un courant électrique peut produire, ou absorber de la chaleur à la jonction de deux matériaux différents. C'est le début de la thermoélectricité. Suite à cela, James Prescott Joule démontre dans les années 1840, l'existence du phénomène suivant : lorsqu'un courant circule dans un matériau, il y a un effet « Joule ». La quantité de chaleur produite par la circulation du courant est proportionnelle au carré de son intensité.

Après ces découvertes, la cogénération dans les années 1920 commence à s'appliquer dans l'industrie sucrière et se développe plus tard dans d'autres industries en raison de la crise pétrolière de 1970. Elle restera tout de même encore très peu utilisée. Au début des années 2000, la cogénération s'étend dans de gros bâtiments. C'est en 2009 qu'elle apparaîtra dans le secteur résidentiel et sera commercialisée pour la première fois au grand public. Les premières lois apparaissent en France dans les années 2000 à cause du dérèglement climatique et des crises environnementales. Les sources d'énergies fossiles ont considérablement diminué. Ainsi, la cogénération devient la solution idéale pour optimiser et économiser la production d'énergie.

Aux États-Unis, la cogénération progresse aussi. Le ministère de l'énergie débloque en 2009, 156 millions de dollars pour relancer l'idée. En effet, pour des raisons environnementales, les industries, les centres commerciaux et municipalités doivent réduire leurs dépenses en énergie. Pourtant les États-Unis furent les pionniers de la cogénération, notamment avec la première centrale électrique produisant de la chaleur et de l'électricité créée par Edison en 1882. (L'image ci-contre montre la première centrale électrique à New York, où la chaleur produite par les générateurs était utilisée pour chauffer les buildings voisins.)



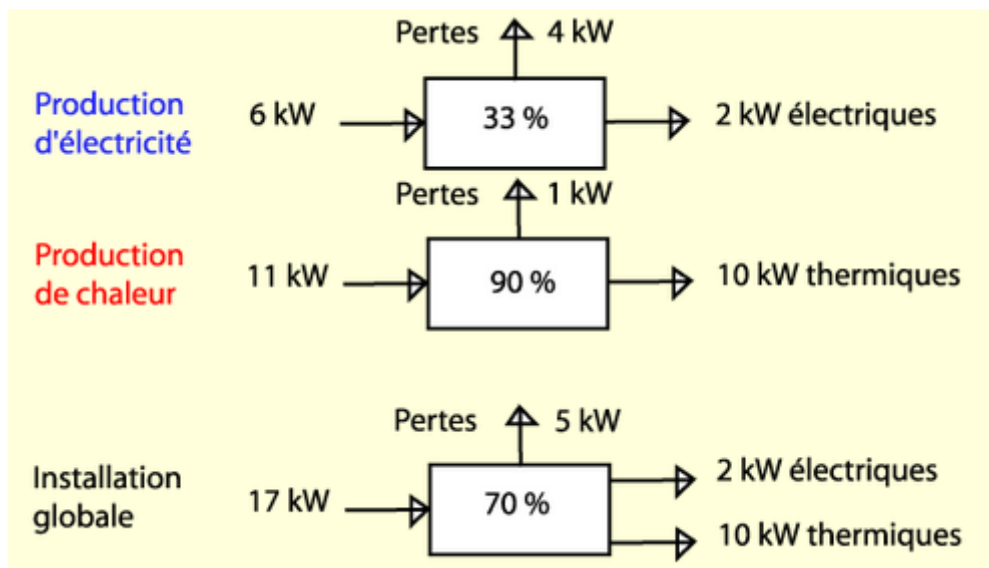
Centrale électrique "Pearl Street Station" New York 1882

L'idée fut vite abandonnée car les énergies étaient abondantes et on ne se souciait peu des conséquences environnementales. Depuis les années 2000, cette tendance resurgit et augmente la production de la cogénération de 46 GW en 1998 à 85 GW en 2008 (à noter que la puissance d'une centrale nucléaire classique est de 1.5 GW).

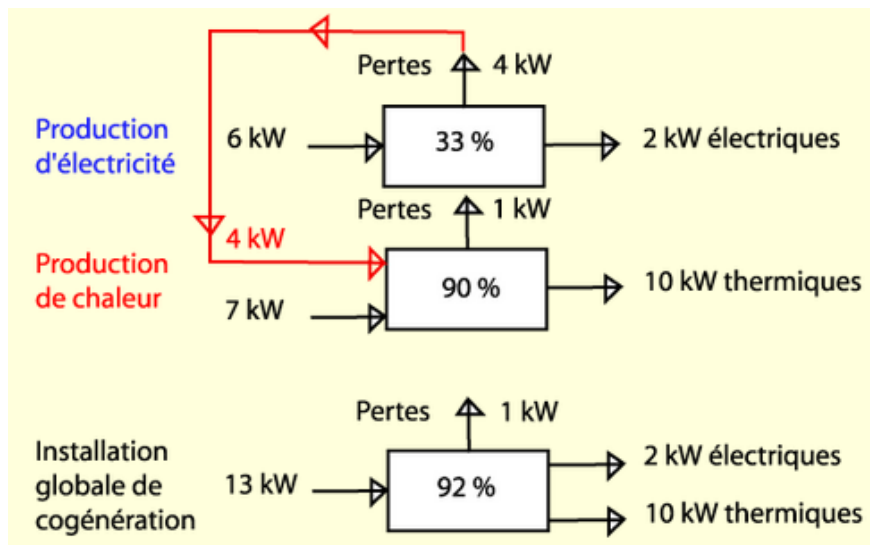
2.1.2. Le principe de la cogénération.

Le principe de la cogénération est de produire deux formes d'énergies simultanément. Tout d'abord, une énergie mécanique transformée en électricité. Dans notre maquette, le moteur du groupe électrogène produit une énergie mécanique par réaction chimique. L'énergie mécanique est ensuite transformée en énergie électrique par un alternateur. Ensuite vient la deuxième forme d'énergie, la chaleur, qui est récupérée sur le moteur qui chauffe en raison des réactions chimiques. La chaleur est transformée comme énergie mécanique en activant un moteur ou encore une turbine. Ce système est utilisé à grande échelle, sur des centrales thermiques ou des sites d'incinération. La combustion des énergies fossiles produit de la chaleur utilisée pour chauffer de l'eau qui sera ensuite mise sous pression pour faire tourner une turbine. Cette dernière est généralement équipée d'un alternateur pour produire de l'énergie électrique. Cependant, le nombre important de transformations d'énergie a un impact sur le rendement car il y a des pertes d'énergies. Notamment la chaleur, qui est très difficilement stockable sur le long terme et déplaçable sur de longues distances. Le rendement reste tout de même très satisfaisant à de grandes échelles comme sur les centrales. Ce système permet de doubler la production d'électricité dans une centrale thermique. L'énergie ainsi produite est réinjectée dans le réseau électrique public de transport ou de distribution. Elle peut tout à fait être aussi auto-consommée par la centrale. Son utilisation est également utilisée sur de plus petites échelles comme pour des chaudières dans le résidentiel.

Exemple de fonctionnement sans cogénération :



Exemple de fonctionnement avec cogénération :



Parmi les différentes technologies de cogénération, il y a celle par moteur destinée pour de petites installations. Elle s'installe sur des systèmes ayant une puissance comprise entre 10 kW et 3 MW. Son rendement est d'environ 35%. Elle récupère d'une part une énergie basse température avoisinant les 100°C au niveau du cycle de refroidissement et sur les huiles. Elle récupère également les énergies haute température comme les gaz d'échappement avec une température presque 5 fois plus élevée. La chaleur se trouve généralement sous forme d'eau chaude en raison des basses températures du moteur. Pour un rendement intéressant, la présence de chauffage urbain ou industriel à proximité est donc une nécessité.

Il existe aussi la cogénération par turbine à combustion. Elle s'applique sur une large catégorie de puissance. Son rendement est compris entre 25% pour des faibles puissances, et 45% pour des puissances avoisinant plusieurs dizaines de MW. De l'air de l'atmosphère est comprimé et mis en contact avec un combustible où ce dernier est incinéré. Les gaz sont chauds et sous pression à la suite de la combustion et mettent en marche une turbine produisant de l'énergie mécanique puis de l'énergie électrique par l'intermédiaire d'un alternateur. Les gaz à la sortie sont encore très chauds. C'est ici qu'ils sont récupérés à environ 500°C et mis en contact généralement avec de l'eau. Ils peuvent aussi être directement injectés en chambre de combustion où, une fois en contact avec le brûleur, ils seront complètement consommés. Le rendement est alors presque de 100%.

Vient ensuite la cogénération par turbine à vapeur. Son rendement est d'environ 90%. Après passage des turbines, les gaz sont détendus et refroidis et peuvent finalement être utilisés par une industrie ou encore un réseau de distribution de chaleur. Les puissances auxquelles cette technologie s'applique doivent être très élevées, c'est à dire entre 10 MW à 1 GW. Cette cogénération a l'avantage de pouvoir valoriser l'utilisation des déchets industriels ou végétaux.

La cogénération nucléaire existe elle aussi mais est beaucoup plus récente et moins répandue. Néanmoins, on sait qu'il y a environ 70% de pertes d'énergie par réacteur lors de la fission de l'uranium. On comprend vite que la cogénération nucléaire serait plus qu'utile aux vues de sa capacité à récupérer autant d'énergie perdue. Cependant son installation est très chère.

2.1.3. Les avantages et inconvénient.

Aujourd'hui la cogénération s'applique à l'échelle industrielle, notamment sur des centrales produisant de l'électricité. L'idée principale de son fonctionnement présente inévitablement une image à première vue très avantageuse. La possibilité de produire deux formes d'énergie différentes simultanément a de quoi plaire, notamment d'un point de vu environnemental. En effet, des centrales thermiques équipées d'un système de cogénération parviennent à produire entre 30% et 40% d'énergie supplémentaire. Par conséquent, ce surplus d'énergie produit grâce à la cogénération est une quantité de moins à produire par le système principal de la centrale. Elle permet donc une réduction de la pollution émise par les centrales. La cogénération ne se limite pas aux productions d'énergies fossiles, elle peut par définition s'appliquer à des systèmes qui produisent de la chaleur. Elle peut alors s'appliquer sur des panneaux photovoltaïques et dans ce cas, il s'agit d'une cogénération propre, à base d'énergies renouvelables. Selon un point de vu de rentabilité, de régularité et de fiabilité, elle présente même un avantage sur les énergies renouvelables car elle ne dépendent ni de la météo, ni du temps.

Cependant, la cogénération possède aussi des inconvénients qui ne se présentent pas au premier plan. La chaleur est très difficilement transportable sur de longues distances, c'est pourquoi le système de cogénération installé sur une échelle industrielle (les centrales) doit être situé près d'un lieu où la consommation de chaleur est régulière et importante. La rentabilité du système dépend également des combustibles utilisés et il est très difficile de régler la quantité d'électricité et de chaleur produite. A des échelles plus petites, il est possible d'installer des systèmes ayant des rendements tout aussi intéressant, il s'agit de la micro cogénération. Elle s'applique généralement sur des chaudières, mais toujours dans des lieux demandant une grande quantité de chaleur comme des immeubles, des centres commerciaux, des écoles, des hôpitaux... En dessous d'une consommation de 15000 kWh par an, le système n'est pas rentable financièrement. Il doit être installé dans des endroits requérant un nombre d'heures de chauffage important. De plus, le système est cher puisque son prix est d'environ 10000 €, ce qui représente bien plus qu'une chaudière classique pour un immeuble. Cependant, en Europe il existe des primes s'élevant à plusieurs milliers d'euros pour aider les personnes voulant s'équiper d'un système de cogénération afin de promouvoir cette technologie écologique.

2.1.4. Application de la cogénération.

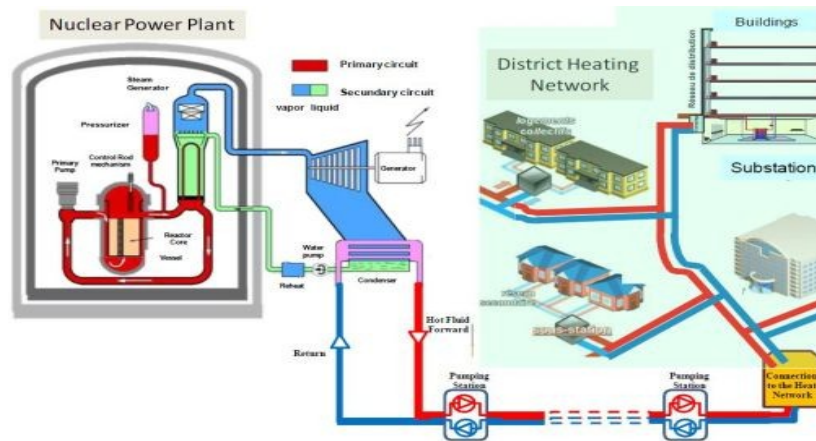
Aujourd'hui la cogénération est un procédé indispensable pour la rentabilité de la production électrique. En effet, elle est applicable à n'importe quelle centrale électrique thermique. C'est pourquoi, en Europe et particulièrement en France, on retrouve des systèmes de cogénération dans de nombreuses installations de production électrique ainsi que dans le domaine industriel.

La cogénération dans le nucléaire :

En France, la part de production d'électricité à l'aide des centrales nucléaires est d'environ 80% ce qui fait des centrales nucléaires la source principale d'énergie. Néanmoins, lors de la production d'électricité, le rendement des réacteurs nucléaires à eau pressurisée

est seulement d'environ un tiers. Ainsi deux tiers de l'énergie est rejetée sous forme de chaleur dans l'environnement.

Dès lors, la cogénération permet de récupérer une partie de cette chaleur perdue afin de l'exploiter. Par ailleurs en France, les secteurs de l'habitat et du tertiaire représentent une part importante de la consommation d'énergie. De plus, le chauffage compte pour 80% de la consommation d'énergie des ménages. Ainsi, la chaleur récupérée grâce aux systèmes de cogénération est exploitée au sein d'un réseau de chaleur urbain. Cette énergie peut aussi être utilisée dans certains processus industriels.



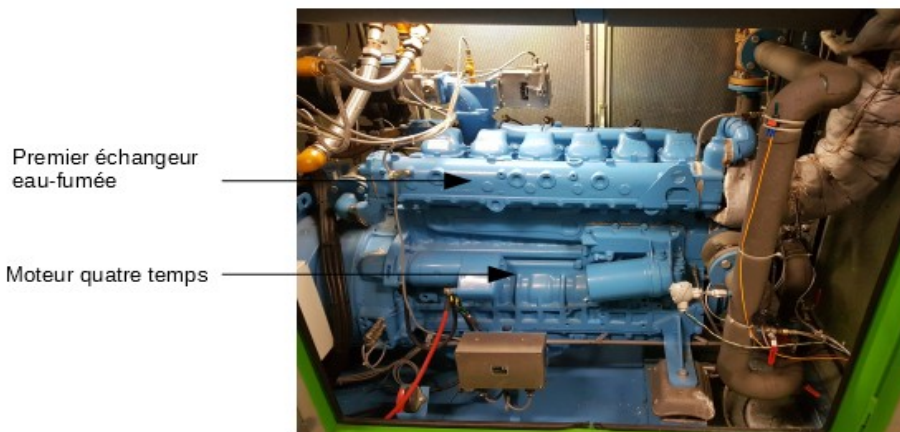
Le schéma ci-dessus représente le circuit secondaire d'une centrale nucléaire qui permet d'alimenter le réseau de chauffage urbain en chaleur. Les logements individuels et collectifs sont ensuite desservis en chauffage.

La cogénération à l'INSA :

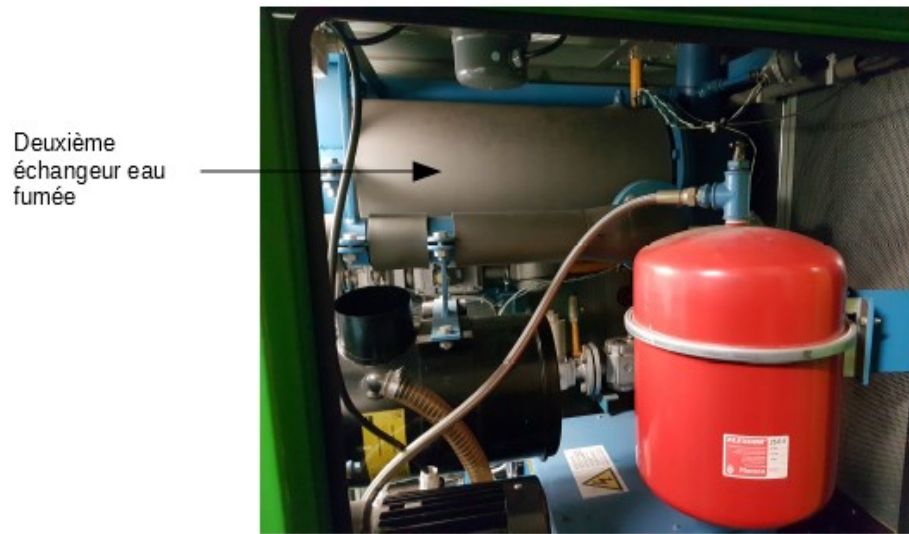
En effet, l'INSA Rouen Normandie est aussi équipé d'un système de cogénération. Nous avons eu la chance de visiter l'installation avec l'aide de Madame Martine Talbaut. L'installation est équipée d'un moteur quatre temps et d'un alternateur, de deux échangeurs tubulaires eau-fumée et d'un échangeur eau-huile.

Les échangeurs tubulaires eau-fumée couplés avec l'échangeur eau-huile permettent de prélever un maximum d'énergie sous forme de chaleur afin d'assurer le chauffage des locaux.

Moteur quatre temps



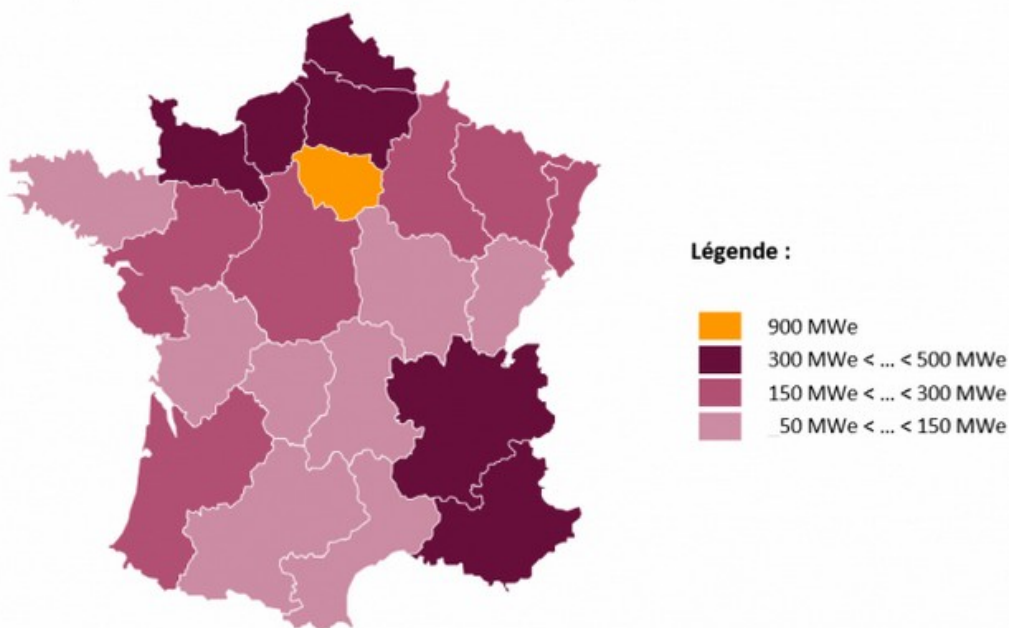
Échangeur eau-fumées



2.1.5. Les enjeux pour l'avenir.

Les principaux enjeux de la cogénération sont l'impact environnemental, et la réduction de la facture énergétique. En effet depuis le début des années 2000, le monde prend conscience du gaspillage environnemental et du besoin d'économiser les énergies fossiles. Ainsi on cherche des solutions pour y remédier en améliorant le rendement des centrales électriques, avec la cogénération par exemple. Dans des centrale électriques classiques, une grande partie de la chaleur est perdue (jusqu'à 60%). Le processus de cogénération permet donc de récupérer cette chaleur. La cogénération permet aussi de produire de la chaleur à faible coût et à proximité des besoins (industrie, centres commerciaux, domestique). Cette méthode est l'une des plus efficace en matière de gain d'énergie.

Répartition de la cogénération en France (2011)



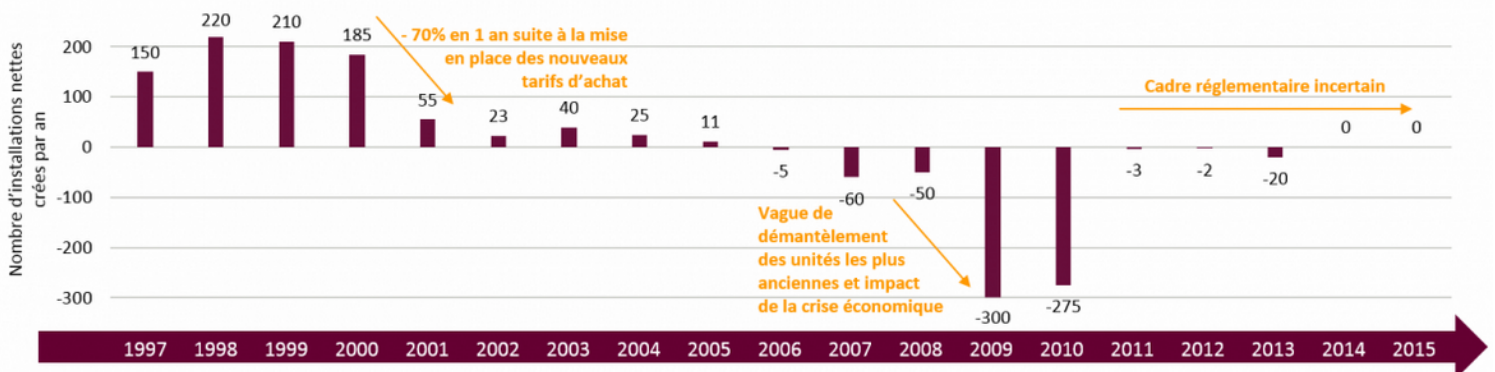
Sources : analyse Sia Partners d'après données GRTgaz

A ce jour, 350 villes en France possèdent des équipements de cogénération alimentant en chaleur 24 000 sites et plus de 2 millions d’habitants (produisant 6,5 GW).

De plus, 4% de la production d’électricité nationale est issue de la cogénération, elle fait de nous le troisième plus grand parc européen derrière les Pays-Bas (43% de la production d’électricité) et l’Allemagne (9 %). Au niveau mondial, la production d’électricité via la cogénération représente 7% de la production totale. Cette méthode de production reste encore peu exploitée bien que l’on sait que, ce sont de 30 à 40% d’énergies en plus qui sont valorisées par rapport à la production d’électricité par voie thermique sans récupération de chaleur.

Ce développement est présent à l’échelle mondiale. Aux États-Unis, selon un rapport du ministère de l’énergie publié l’année dernière, la cogénération aurait déjà permis de réduire les émissions américaines de dioxyde de carbone de 248 millions de tonnes. C’est l’équivalent de 45 millions de voitures retirées de la circulation. C’est bien plus que l’énergie éolienne, l’énergie solaire ou toutes autres énergies renouvelables. Si la cogénération a un tel impact, c’est parce qu’elle double la quantité obtenue de travail avec une quantité donnée de combustible fossile.

Analyse de l’impact de l’évolution des tarifs d’achat sur la création nette d’unités de cogénération



Analyse Sia Partners d’après source Atee

2.2. Expérience et résultats

2.2.1. Plan prévention

Après discussion avec Madame Pelissier, ingénieure responsable des risques industriels et expérimentaux, nous avons pu noter les différentes règles à respecter pour le bon déroulement de l'expérience. Elle nous a cependant expliqué qu'il n'y a pas de plan de prévention disponible pour les élèves de l'INSA. Celui-ci n'est disponible uniquement pour les entreprises extérieures.

Lieu de l'expérience : L'expérience doit se dérouler dans un espace aéré pour ne pas respirer des particules nocives. Nous avons donc décidé de réaliser notre expérience à l'extérieur de la halle thermique pour des raisons de sécurité et, être à proximité de tous les outils nécessaires et avoir une installation d'eau adéquate.

Lieu de stockage des substances inflammables : Les substances inflammables contenues dans notre groupe électrogène doivent être stockées dans l'endroit de la halle thermique prévu à cette effet. Cet endroit est un espace ventilé. Nous y avons donc stocké le bidon d'essence, le groupe électrogène et l'huile 2 temps.

Équipements personnels de protection : Pendant l'expérience, nous devons porter des blouses pour protéger nos vêtements ainsi que notre peau des éventuelles projections de substances corrosives. Le groupe électrogène produisant un bruit de 90 dB, le port d'un casque protégeant les oreilles était obligatoire si nous utilisons le groupe électrogène pendant une longue durée (plus d'une heure). Le port de bouchons d'oreilles à la place des casques est autorisé. Il est aussi obligatoire de se munir de gants de protection thermique si nous avons à toucher des zones chaudes du groupe électrogène. Nous rappelons qu'à certains endroits du groupe, et notamment près de l'échappement du moteur, les températures peuvent atteindre 280°C.

Modification du moteur : Madame Pelissier nous a demandé de notifier l'ensemble des modifications que nous avons réalisé et se référer avec un professeur compétent pour toutes modifications (ce que nous avons fait avec Monsieur Mouard qui a une formation en moteur thermique.

Déplacement du moteur: Il est vivement recommandé d'utiliser un chariot pour le déplacement du groupe électrogène, celui-ci pesant environ 20 kg.

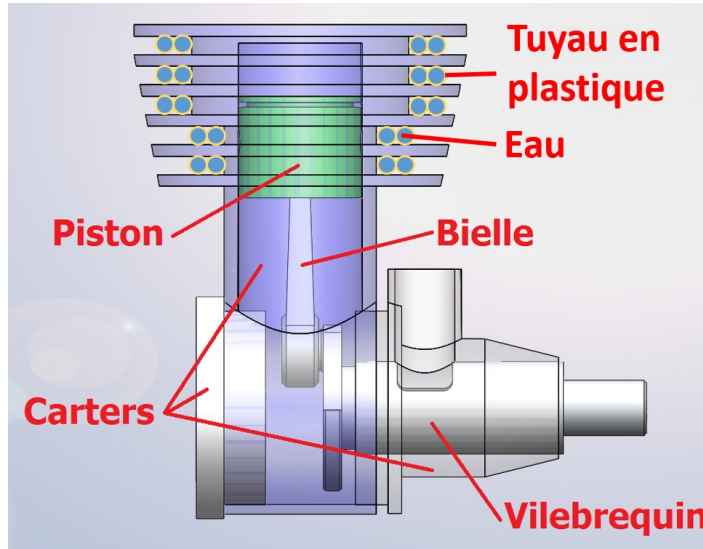
2.2.2. Mise en place de l'expérience

Pour réaliser notre expérience, dont le but est de calculer l'énergie que l'on peut récupérer grâce à un système de cogénération, nous avons décidé d'utiliser un groupe électrogène de 600 W ainsi qu'un circuit d'eau. Le groupe électrogène produira de l'électricité et le moteur de celui-ci dissipe de la chaleur que nous tenterons au maximum de récupérer.

A) Réflexion sur la mise en place:

a) Première version:

Au début nous avons décidé de réaliser un circuit d'eau comme ci-dessous, avec un tuyau en plastique encastré dans les ailettes d'aération du moteur.



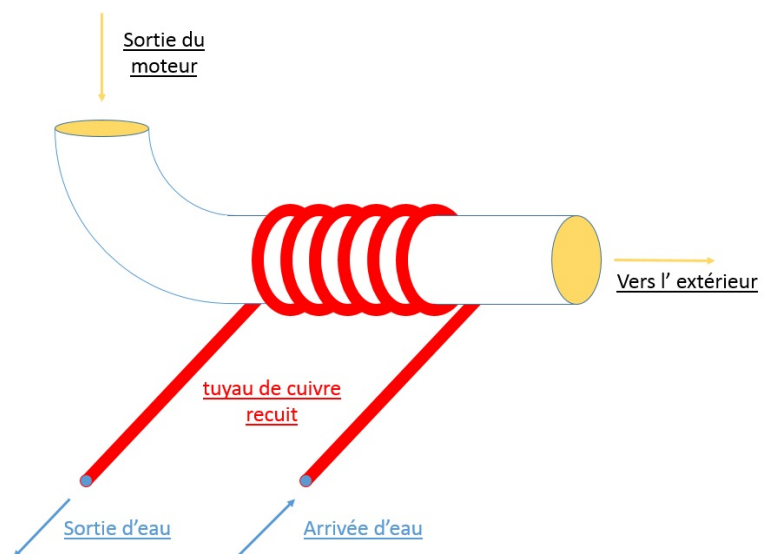
Cependant, après réflexion avec un professeur du département mécanique de l'INSA (M. Mouard), nous avons conclu que notre expérience ne pouvait être réalisable et qu'il fallait la modifier. En effet celle-ci présente trois défauts. Le premier est que la matière du tuyau en plastique rentre dans une phase de fusion à 100°C, ce qui est bien inférieure à la température du moteur. Deuxièmement, en raison de la localisation du tuyau, celui-ci peut empêcher un bon refroidissement du moteur, et le faire surchauffer, donc le casser. Enfin l'endroit le plus chaud du générateur n'est pas le moteur

thermique mais son échappement. Nous avons donc pensé à réaliser une seconde expérience.

b) Deuxième Version :

Pour rectifier les erreurs de l'expérience précédente, nous avons choisi de se focaliser sur l'échappement du moteur thermique qui est une zone du groupe électrogène qui monte à une température avoisinant les 300 °C. Nous avons décidé d'utiliser un tuyau de cuivre recuit car celui-ci résiste à de hautes températures et permet facilement l'échange de chaleur.

Deux tests seront effectués, le premier sera sans le dispositif de cogénération, juste pour observer l'évolution de la température au niveau de l'échappement en fonction du temps et de la charge électrique appliquée au générateur. Nous tiendrons compte aussi de l'essence consommée qui nous permettra de calculer plus tard un rendement global. On mesurera également la température extérieure et le taux d'humidité dans l'air.



Le second test sera celui avec le dispositif permettant la cogénération. Nous allons utiliser un tuyau d'arrosage pour l'arrivée d'eau car les tests vont être effectués à l'extérieur. La température de cette eau devra être connue. L'eau chaude sera récupérée dans un récipient calorifugé en sortie pour calculer le nombre de calories récupérées et calculer le débit du circuit d'eau.

c) Troisième Version:

Après avoir reçu le tuyau de cuivre recuit, nous nous sommes rendus compte que le rayon de courbure de celui-ci était beaucoup plus important que le rayon de l'échappement. Nous avons donc décidé de réaliser le même système que l'expérience précédente mais en changeant la position du tuyau et en le faisant passer par le silencieux. Nous avons réalisé le montage suivant:



B) Matériel utilisé :

Au niveau du matériel utilisé, nous avons utilisé les équipements suivants :

Le pèse personne : nous avons utilisé un pèse personne pour connaître la masse du groupe électrogène au début et à la fin de l'expérience. Ainsi nous saurons la masse d'essence consommée. Nous étions dans l'obligation d'utiliser un pèse personne car notre groupe électrogène a une masse avoisinant les 20kg. Les balances de précision de l'INSA ont donc été inutilisables. L'incertitude de cette mesure est de 0,02 kg.

Le groupe électrogène: Le groupe électrogène (photo précédente) que nous avons utilisé est composé d'un moteur 2 temps, 1,3 CV, et peut produire de l'électricité à une puissance de maximum de 600 W.

Sa capacité est de 4 L, et son autonomie est comprise entre 5 et 10 heures.

Les thermomètres laser : Nous avons utilisé un thermomètre laser pour mesurer les températures de l'eau en entrée et en sortie du dispositif, ainsi que sur différentes parties du moteur. L'inconvénient de ce type de thermomètre est que la mesure de températures sur des fluides est relativement imprécise. L'incertitude de ce thermomètre est de 0.5°C.

Les autres équipements : Nous avons aussi utilisé pendant notre expérience deux chronomètres, une lampe électrique de 600 W, une éprouvette gradué de 2 L (pour calculer le débit de l'eau passant dans le tuyau de cuivre) ainsi qu'un thermomètre pour mesurer les conditions climatiques extérieures (pourcentage d'humidité dans l'air et température).

C) Protocole détaillé :

1. Remplir le réservoir du moteur avec un mélange d'huile et d'essence sans plomb 98.
2. Peser le groupe électrogène avec le pèse personne.
3. Noter les paramètres des conditions extérieures.
4. Brancher le tuyau d'arrosage et s'occuper de l'installation hydraulique.
5. Mesurer le débit passant dans le tuyau du groupe à l'aide du chronomètre et de l'éprouvette.
6. Allumer le moteur grâce au starter et s'occuper du débit d'essence pour que le moteur ne cale pas.
7. Brancher la lampe.
8. Mesurer à intervalles de temps régulier la température au niveau de l'échappement et la température de l'eau en sortie.



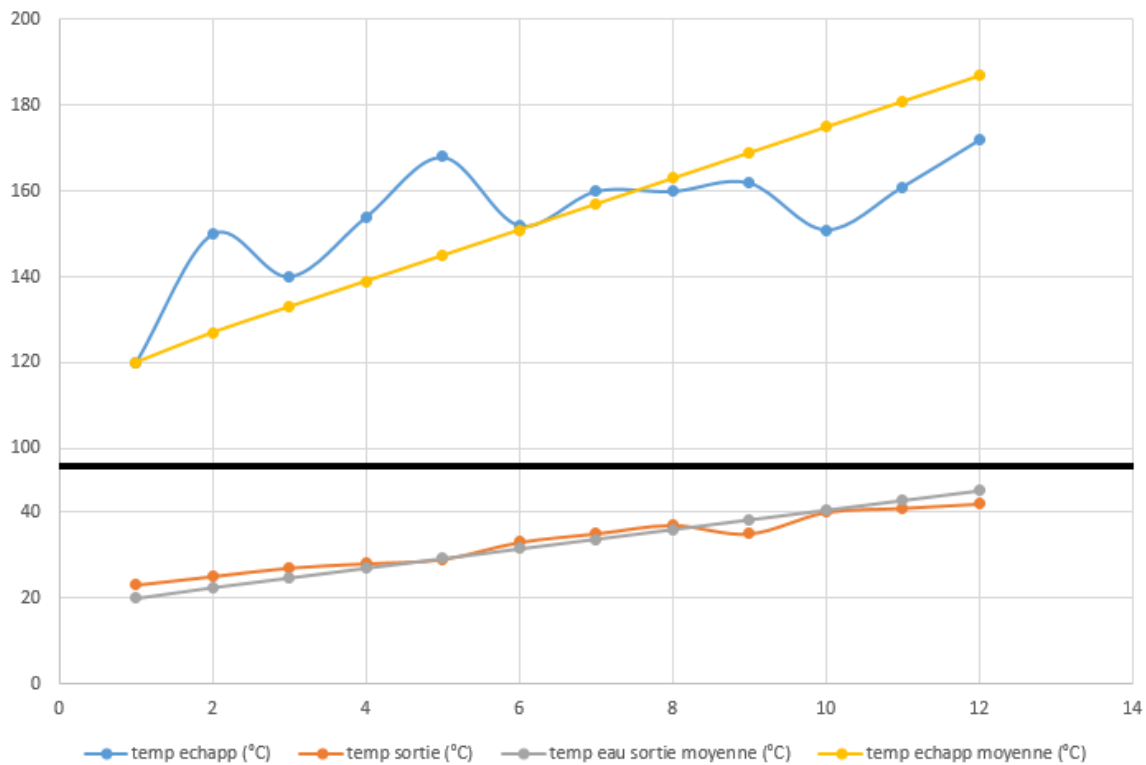
9. Une fois la manipulation terminée au bout de 20 minutes environ, nous débranchons la lampe et éteignons le moteur.
10. Peser à nouveau le moteur.
11. Ranger et potentiellement nettoyer l'ensemble du matériel.

2.2.3. Présentation des résultats et analyse.

1) Résultats obtenus

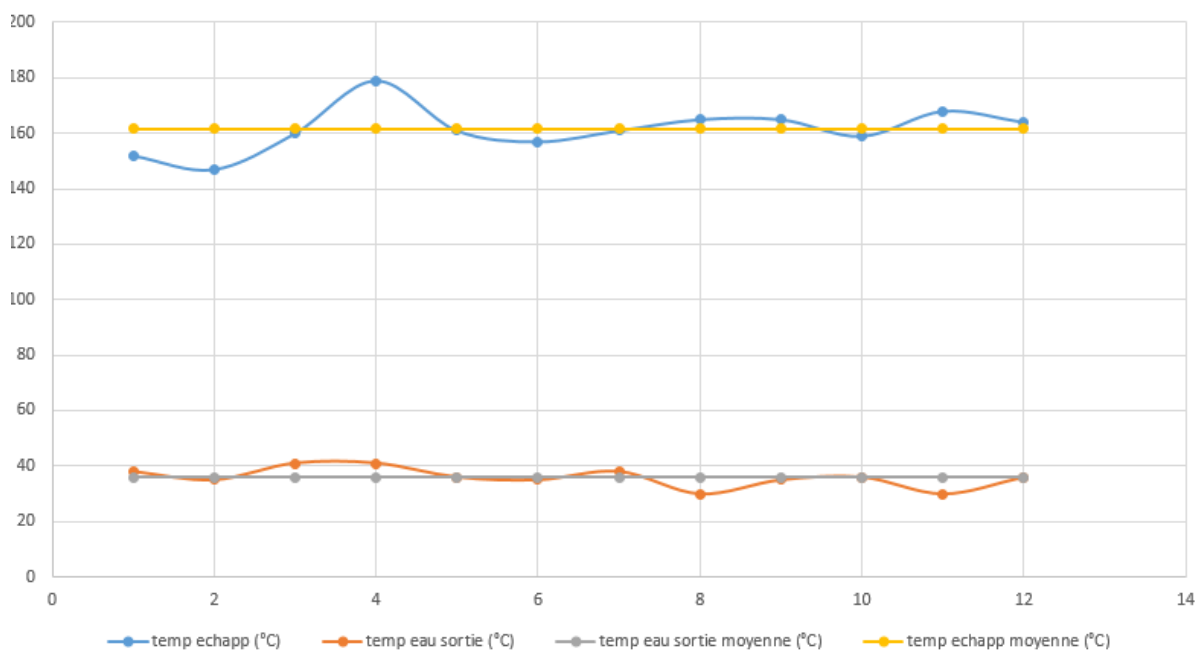
Suite à la réalisation du protocole expérimental précédent, nous avons pu regrouper en deux graphiques l'ensemble des résultats obtenus. Nous allons d'abord les décrire puis les analyser :

Evolution de la température en fonction du temps, au démarrage



Sur ce premier graphique, représentant l'évolution de la température en fonction du temps, on peut voir que pendant les 12 premières minutes, nous n'atteignons pas de régime stationnaire thermiquement parlant. Nous avons donc réalisé une modélisation bien que nous n'analyserons pas cette étude. La température de l'échappement peut se modéliser par $y = 6x + 115$ et la température de l'eau par $y = 2,25x + 18$.

Températures en fonction du temps, en régime stationnaire



Ce graphique est beaucoup plus intéressant que le précédent puisqu'il permet l'étude du régime stationnaire. On constate que la température de l'échappement est en moyenne de 161 °C et celle de l'eau de 36 °C. L'échappement sans le système de cogénération est à une température avoisinant les 300°C. Ainsi beaucoup d'énergie thermique est récupérée mais pas totalement car l'échappement est encore très chaud (voir les améliorations possibles).

Pour ces données, il faut savoir que les conditions météorologiques extérieures étaient les suivantes : 19,6 °C; 72,7% d'humidité. Ces données étaient très importantes pour nous dans un premier temps car nous pensions faire deux expériences mais suite à un problème le 12 juin, nous n'avons pas pu réaliser la seconde. Il faut aussi savoir que la température d'eau en entrée de notre système de cogénération était de 19°C et le débit de 1 litre par minute.

2. Analyses et rendement

1. Rendement sans cogénération:

On sait que la puissance développée par un litre d'essence est de **9.68 kWh** (source: Wikipédia). La masse d'essence consommée est de **240 grammes** à plus ou moins 20 grammes. **0,32 litres** (la masse volumique de l'essence **750 kg/m³**) ont été consommés. La puissance développée par notre essence est de **3,1 kWh**. Nos tests ont duré **20 minutes**, donc la puissance développée par la lampe (de **600 W**) est de **200 Wh**.

Le rendement de notre générateur est de 0,0645, soit **6,45 %**. Ce résultat est évidemment faible d'où l'intérêt de mettre en place un système de cogénération.

2. Rendement avec cogénération:

On utilise ici la formule suivante pour déterminer l'énergie récupérer par l'eau :

$$Q = m.C_p.\Delta T$$

La capacité thermique massique pour l'eau C_p est égale à **4185 J/(Kg.K)**. Pendant la durée de notre test en régime stationnaire (**12 min**), la température est passée de **19 °C à 36°C**. Avec notre débit de **1 L pour 3 minutes**, on a chauffé 4 L d'eau.

$$Q = 4,0 * 4185 * (36-19) = 284,5 \text{ kJ.}$$

Sachant que un joule est équivalent à un Watt-Seconde, on a **79,03 Wh** de puissance récupérée.

Donc sur les **3,1 kWh** développée par l'essence, on récupère toujours **200 Wh** avec la lampe et **79,03 Wh** avec l'eau chauffée.

Le rendement totale avec le système de cogénération est de **11,1 %** soit pratiquement deux fois plus que le rendement sans cogénération.

3. Erreurs

Les erreurs, que nous pouvons aisément constater sur nos graphiques sont dues à deux facteurs : les erreurs de manipulation et les erreurs dues aux matériels utilisés.

Manipulation : Le thermomètre laser mesurant la température à un endroit précis (celui du laser), il est fortement probable que les mesures ne soient pas exactement au même endroit.

Ayant deux mesures à réaliser simultanément, la température de l'échappement et celle de l'eau, il est possible que les mesures ne correspondent pas exactement au temps indiqué.

Matériel : Le tuyau que nous avons utilisé, fuyait un peu, et nous nous sommes rendus compte à la fin de la première expérience qu'il y avait une différence entre le débit en début d'expérience et le débit en fin d'expérience. De plus l'utilisation d'un thermomètre laser pour mesurer la température d'un fluide (eau en sortie) est très peu pratique et source d'erreurs.

4. Incertitudes

Il est difficile de donner une incertitude suite au paragraphe précédent qui indique les quelques erreurs qui aurait pu fausser nos calculs. Mais nous pouvons calculer l'incertitude liée aux instruments de mesure et la considérer comme une incertitude minimale.

En prenant en compte de l'incertitude du thermomètre, du pèse personne et de l'éprouvette, on trouve une incertitude sur le rendement de 0,4%.

2.2.4. Amélioration du système.

1. Amélioration des mesures

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, les résultats que nous avons obtenu ne sont pas très précis et varient beaucoup sans raison évidente. Pour cela nous pouvons améliorer le système de mesure.

L'amélioration principale est de calorifuger l'ensemble des éléments que nous utilisons (bac de récupération de l'eau chaude...).

De plus, il serait intéressant de connecter les appareils de mesures à un ordinateur pour avoir en direct, les valeurs de des températures.

Finalement, utiliser plusieurs thermomètres spécialement conçus pour les liquides serait plus ingénieux que d'en utiliser un seul.

2. Amélioration du système

Pour que le rendement total soit plus important, nous avons réfléchi à une amélioration du système. Nous n'avons pas eu le temps de réaliser celle-ci mais théoriquement, le rendement avec la mise en place de ce système sera beaucoup plus important.

Le principe de ce nouveau système est de totalement enlever l'échappement et le remplacer par un échangeur thermique.

On pourrait utiliser le système d'un réfrigérateur avec un serpentin fin parcouru par un liquide réfrigérant.

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous sommes tous très heureux d'avoir pu travailler sur ce projet pendant le 4ème semestre. En effet nous avons pu aborder un autre aspect plus pratique de la mécanique, domaine qui nous intéresse tous. En plus de nous avoir permis d'appliquer les leçons enseignées depuis notre arrivée à l'INSA, nous avons pu acquérir de nouvelles connaissances, notamment sur les moteurs thermiques.

Nous avons réalisé notre travail en deux parties : d'abord une partie plutôt documentaire pour se renseigner notamment sur le fonctionnement de la cogénération, son histoire, ses avantages et inconvénients, et son futur. Ensuite une approche plutôt pratique avec la mise en place de notre propre cogénération avec le groupe électrogène.

Nous avons souvent rencontré des problèmes avec la partie pratique de notre projet puisqu'à de nombreuses reprises, plusieurs dizaines de minutes de nos séances étaient consacrées à la résolution des problèmes techniques (démontage, ajustements...). Nous avons toujours essayé de les surmonter seuls mais aussi à l'aide du corps enseignant.

Ce projet nous a principalement appris que tout ne se déroule pas comme on le souhaite et qu'il était parfois nécessaire de changer notre façon de penser pour aboutir à une expérience réalisable et obtenir de meilleurs résultats.

Nous sommes tous très fiers de notre projet que nous ne voyions pas autant abouti au début mais qui a été mené à bien grâce à l'aide en partie, du corps enseignant et notamment de notre tuteur. Cependant, le projet n'est pas parfait et des améliorations sont possibles. Nous avons réfléchi à ses améliorations mais malheureusement, nous n'avons pas eu le temps de les mettre en place.

4. BIBLIOGRAPHIE


- [1] lien internet : http://energie.lexpansion.com/energie-nucleaire/la-cogeneration-nucleaire-une-formidable-economie-d-energie_a-32-7217.html (valide à la date du 04/2018)
- [2] lien internet : <http://www.sfen.org/rgn/cogeneration-nucleaire-production-electricite> (valide à la date du 04/18)
- [3] lien internet : <https://www.killmybill.be/fr/cogeneration/> (valide à la date du 04/18)
- [4] lien internet : <https://www.geo.fr/photos/reportages-geo/cogeneration-l-idee-zero-dechet-de-l-energie-167601> (valide à la date du 04/18)
- [5] lien internet : <http://www.mtaterre.fr/dossiers/comment-ca-marche-la-cogeneration/la-cogeneration-quoi-ca-sert> (valide à la date du 05/18)
- [6] lien internet : <https://www.courrierinternational.com/article/2009/12/10/le-retour-annonce-de-la-cogeneration> (valide à la date du 05/18)
- [7] lien internet : <http://www.energie.sia-partners.com/en-retard-et-menacee-la-cogeneration-francaise-merite-lattention-du-legislateur> (valide à la date du 04/18)
- [8] lien internet : <https://www.dalkia.fr/fr/services-energetiques/nos-expertises/cogeneration> (valide à la date du 05/18)
- [9] lien internet : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Microcogénération> (valide à la date du 05/18)
- [10] lien internet : <http://www.faiteslepleindavenir.com/2014/08/19/les-chaudieres-du-futur/> (valide à la date du 04/18)
- [11] lien internet : <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/768/768-gt-cogeneration.pdf> (valide à la date du 05/18)
- [12] lien internet : <http://www.paris-michel-ange.cnrs.fr/IMG/pdf/cogeneration.pdf> (valide à la date du 05/18)
- [13] lien internet : <http://www.moteurstirling.com/applications-cogeneration.php> (valide à la date du 05/18)
- [14] lien internet : <http://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/ctc-cci-s3.html> (valide à la date du 04/18)

5. ANNEXES.

5.1. Fiche technique du groupe électrogène.

Groupe électrogène essence de chantier DEFITEC Def 950, 650 W.²

CONDITIONS GÉNÉRALES D'UTILISATION



Préconisations d'utilisation
Nos groupes sont réservés à des usages domestiques particuliers. Groupes destinés à remplacer provisoirement une alimentation EDF en cas de coupure de réseaux, ou effectuer en extérieur des petits travaux nécessitant un apport de courant. En aucun cas ces groupes ne doivent alimenter une installation fixe permanente (alimentation d'une maison en continu). Ces groupes ne sont pas destinés à des utilisations intensives types : forains, camions pizza, marchés, artisans ou loueurs, médical.

NON COMPATIBILITÉ RECHARGE DES BATTERIES POUR PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES OU BATTERIES SOLAIRES.
Nos groupes ne sont pas conçus pour la recharge des batteries raccordées aux installations équipées de panneaux photovoltaïques ou reliées à une Folienne. Toute utilisation liée à cela suspendra la garantie du groupe électrogène concerné.

NE JAMAIS RACCORDER EN DIRECT UNE TÉLÉVISION OU UN APPAREIL À VARIATEUR ÉLECTRONIQUE SUR NOS GROUPES SANS PASSER PAR UN ONDULEUR OU UN REDRESSEUR INVERTER : TYPE DEFISTAB 5000

DOMAC décline toute responsabilité en cas de détérioration d'un produit ou installation en amont non compatible avec nos groupes. L'entretien et la vidange des produits devront également être scrupuleusement respectés selon la notice jointe avec le groupe.

GARANTIE
Sous réserve d'une bonne utilisation, tous nos groupes ESSENCE sont garantis 1 an ou 1 000 heures de travail. Soit un maximum de 2 h 30 par jour. (ex : si un groupe revient en SAV avec plus de 84 heures de travail en 1 mois, la garantie sera refusée). Les groupes DIESEL sont garantis 1 an ou 800 heures soit un maxi de 2 h 20 par jour. Tous nos groupes sont livrés sans huile ni carburant.

SONT EXCLUES LES PIÈCES D'USURES
- Lancours - Filtres
- Charbons - Roues et patins de châssis
- Bougies - Batteries


AUTONOMIE
Autonomie ne veut pas dire travail en continu sans coupure. Autonomie = capacité de travail du groupe, sans refaire le plein.

CARBURANT
Les groupes Defitec 4 temps fonctionnent avec du SP95 de préférence ou SP98 toléré. En aucun cas ne mettre de l'essence E10.


INFORMATIONS SUR LE BRUIT
PRESSIION ACOUSTIQUE (L_{peq})
On mesure le niveau sonore en décibel (dB) selon une échelle de 0 à 134 dB. Pour ne considérer que les fréquences perçues par l'oreille, on applique pour le calcul un coefficient (A) et l'on obtient ainsi le dB(A) calculé et défini à 7 mètres. Exemple : le DEF 2600 a une pression acoustique de 58 dB(A) à 7 mètres.

PUISSANCE ACOUSTIQUE (L_{WA})
C'est la mesure officielle reconnue dans la norme 2000/14/EC qui valide l'homologation d'un groupe électrogène. Elle est calculée selon une procédure mathématique bien définie. Elle permet surtout la comparaison de chaque groupe dans les mêmes conditions de test. C'est la puissance « officielle de référence » qui doit apparaître sur le produit. Ex. : le DEF 2600 a une puissance acoustique de 88 dB(A).


Informations de sécurité à respecter impérativement




No pas mettre en service dans un secteur mal aéré. No jamais utiliser dans une maison ou local fermé sous risque de mort.




No pas mettre en service avec des conditions humides.




No pas laisser un enfant ou une personne déficiente approcher le groupe. No pas brancher sans couper l'alimentation du réseau.




Tenir à 1 m de distance des objets inflammables.




No pas faire le plein d'essence moteur ni marche.



No pas fumer lors du remplissage.



No pas faire déborder le carburant.


www.domac.fr

Édition juin 2014