



**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom



**PETROLE GAZ MAINTENANCE EQUIPEMENTS**

**ACHICH AHMED / BAROU MÉLANIE / CERF GABRIEL / LAMY RAPHAELLE  
LUSZPAK MARGOT / PIN CORALIE / POIGNANT LOUNA**

# TEXTE ALLANT AVEC NOTRE VIDEO D'INTRODUCTION

- 1 . (Bouilloire) Nous utilisons tous, au quotidien le réseau de gaz pour nous chauffer ou cuisiner, (pause) mais savez-vous quelles sont les étapes avant que le gaz arrive chez vous ?
2. (Pipeline) Le gaz est transporté depuis les sites de stockage dans des pipelines à haute pression.  
(Poste de détente) Avant d'entrer sur le réseau urbain, le gaz doit être détendu pour passer de 70 bars à 14 bars.
- 3 . ( + Gel) Le problème est que lors de cette détente le gaz descend brusquement en température.  
(+ route cassée) et gèle les installations aux alentours comme les canalisations d'eau ou les routes, ce qui accélère leur dégradation.
- 4 . (+ Société PGME) C'est **LÀ** que PGME intervient! La société PGME située à Lescure d'albigeois, propose des réchauffeurs de gaz pour pallier ce problème
- 5 . (+ réchauffeur) Actuellement, le réchauffeur fonctionne en détournant et en brûlant une partie du gaz pour chauffer un bain-marie et ainsi envoyer du gaz chaud vers le détendeur.
6. (+ concurrence couronne) Aujourd'hui, PGME est leader sur le marché mais craint une concurrence future et de nouveaux entrants potentiels.
- 7 . (+ question ). Ainsi l'entreprise se demande, **comment rester compétitive sur le marché des réchauffeurs et augmenter ses parts de marché ?**  
Les enjeux sont donc de trouver, un produit innovant et plus économique, tout en conservant la qualité et la fiabilité de leur produit.



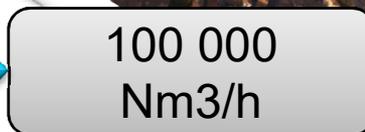
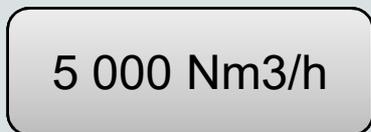
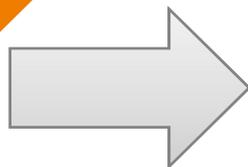


**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom

# CAHIER DES CHARGES

Un objectif : éviter le gel du  
réseau de gaz

# CAHIER DES CHARGES



**TOULOUSE**

**Pour mieux mieux cerner les attentes du client, posons nous quelques questions. Mais avant tout, nous devons garder en tête que les postes de détente diminuent la pression du gaz avant que celui-ci ne rentre dans le réseau urbain. Il est parfois nécessaire de placer un réchauffeur sur les lignes de gaz en amont des postes de détentes afin que la température ne descende pas en dessous de zéro, ce qui causerait le gel des installations aux alentours.**

**Mais tout d'abord quelles sont les paramètres d'entrée de ce gaz ?** Le gaz entre à une température comprise entre 5 et 20° C généralement à une pression d'environ 70 bars.

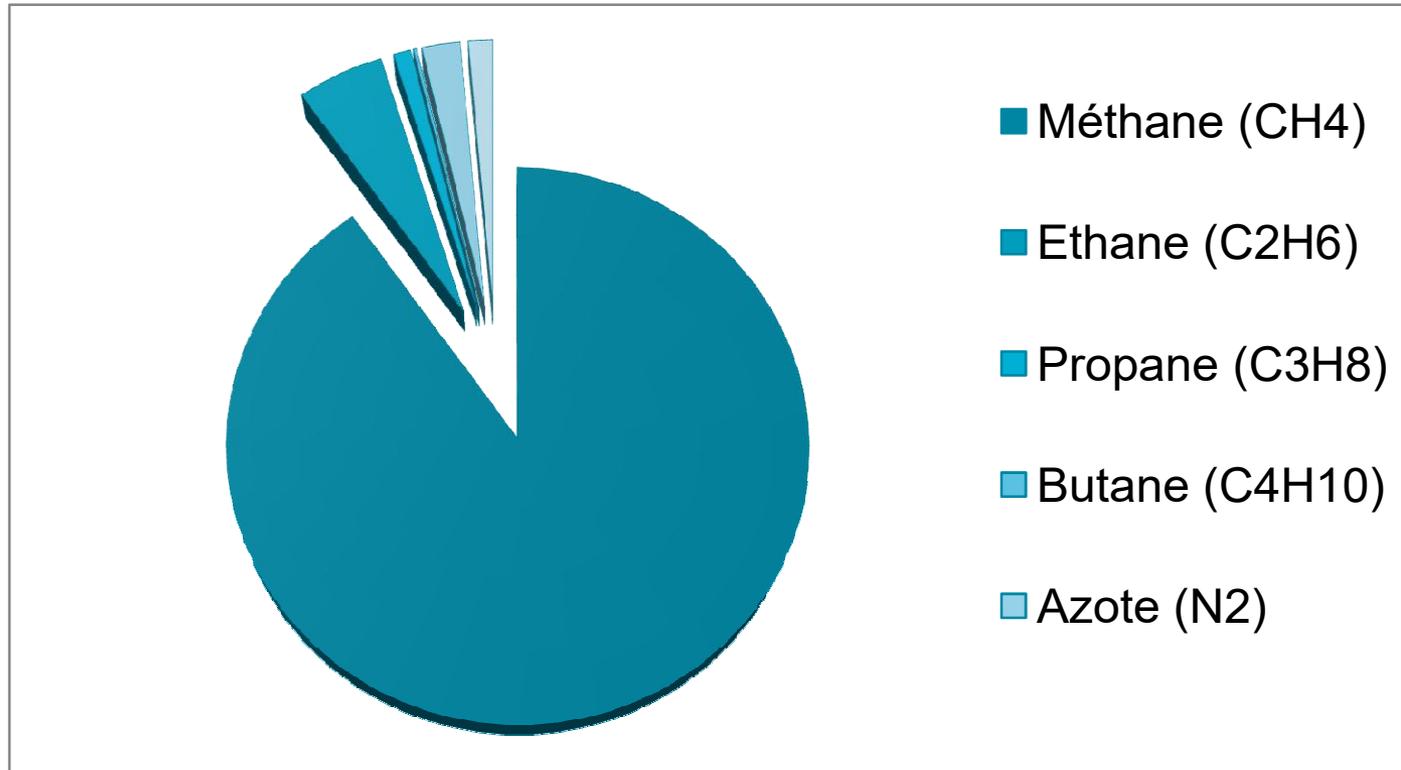
**Qu'en est-il de la sortie ?** Après être passé dans le réchauffeur, le gaz subit une détente. Chaque client choisit la pression de sortie qui se situe aux alentours de 14 bars la plupart du temps. En ce qui concerne la température, elle doit être positive ! C'est tout l'enjeu de notre problème.

**Quel est l'ordre de grandeur du débit de gaz qui passe dans ces pipelines ?** Pour une grande ville telle que celle de Toulouse qui comprend 470 000 habitants, en période pleine, c'est-à-dire en hiver quand il faut chauffer, le débit de gaz atteint une valeur de 100 000 Nm<sup>3</sup>/h. C'est comme si toute la population parisienne ouvrait son robinet d'eau au maximum pendant une heure ! En revanche, en période creuse, ce débit peut descendre jusqu'à 5 000 Nm<sup>3</sup>/h voire être quasiment nul. Il faut donc innover sur un système capable de s'adapter constamment à ces variations énormes. Nous avons basé nos recherches sur un débit de 20 000 Nm<sup>3</sup>/h.

**Et pourquoi 20 000 ?** C'est la plage de débit la plus vendue par PGME pour ses réchauffeurs.



# Composition du gaz naturel



**Et de quoi est composé ce gaz ? Y a-t-il une influence sur les matériaux requis pour son utilisation ?**

On fait passer du gaz naturel composé à plus de 90 % de méthane dans lequel il peut y avoir des impuretés. Il faut alors utiliser un filtre en amont de notre solution afin d'éliminer ces impuretés. Les pipelines sont actuellement en acier pour résister aux contraintes liées aux gaz et éviter une érosion accélérée. On doit donc conserver ce matériau.

# NORMES



## Atmosphère Explosible



## NF EN 12186

**A-t-on besoin d'une source d'énergie extérieure pour faire fonctionner le réchauffeur ?** Actuellement, le réchauffeur utilise un système PID qui nécessite de l'électricité sans quoi, tout tombe en panne. Vu l'instabilité des réseaux électriques dans les pays d'Afrique du Nord et d'Orient, il serait idéal de trouver un produit innovant qui ne nécessite pas d'électricité ou qui soit autonome.

**N'y a-t-il pas des normes qui encadrent l'utilisation du gaz naturel ?** En effet, le gaz naturel est hautement inflammable. Les réchauffeurs et autre système en contact avec le gaz, doivent respecter la certification ATEX. Elle s'applique principalement aux systèmes et appareils de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible. Le système doit également respecter la norme de sécurité NF EN 12186.

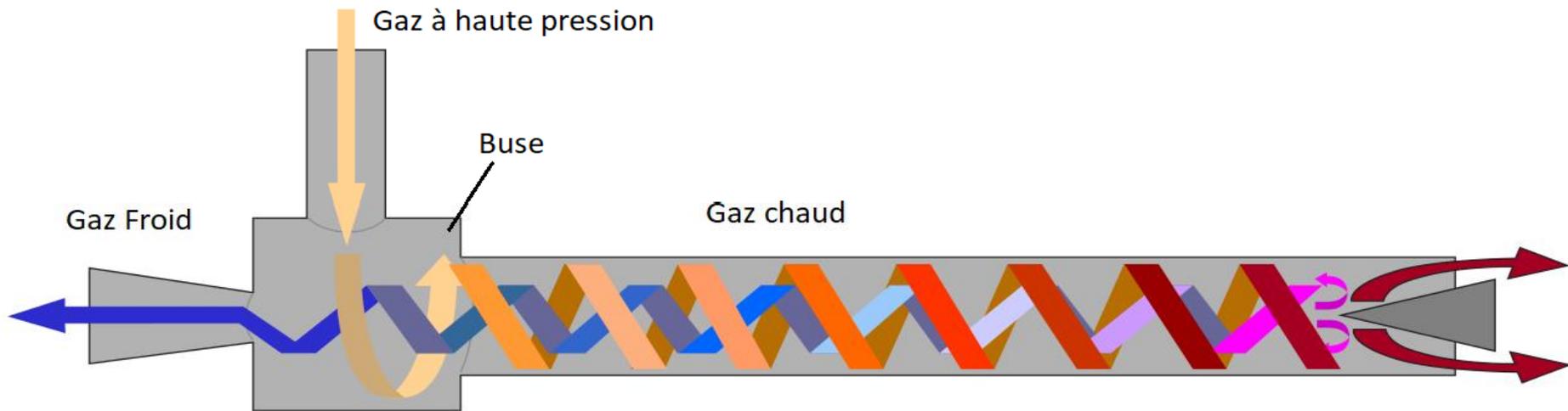
**Est-ce qu'il y a des contraintes liées à la proximité des villes ?** En effet, les machines étant installées à l'entrée des villes, il faut qu'elles s'intègrent dans leur environnement. Le niveau sonore doit également être inférieur 80dB au-delà de 1.5m de la source.



**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom

# NOTRE SOLUTION

## Vortex de Ranque-Hilsch

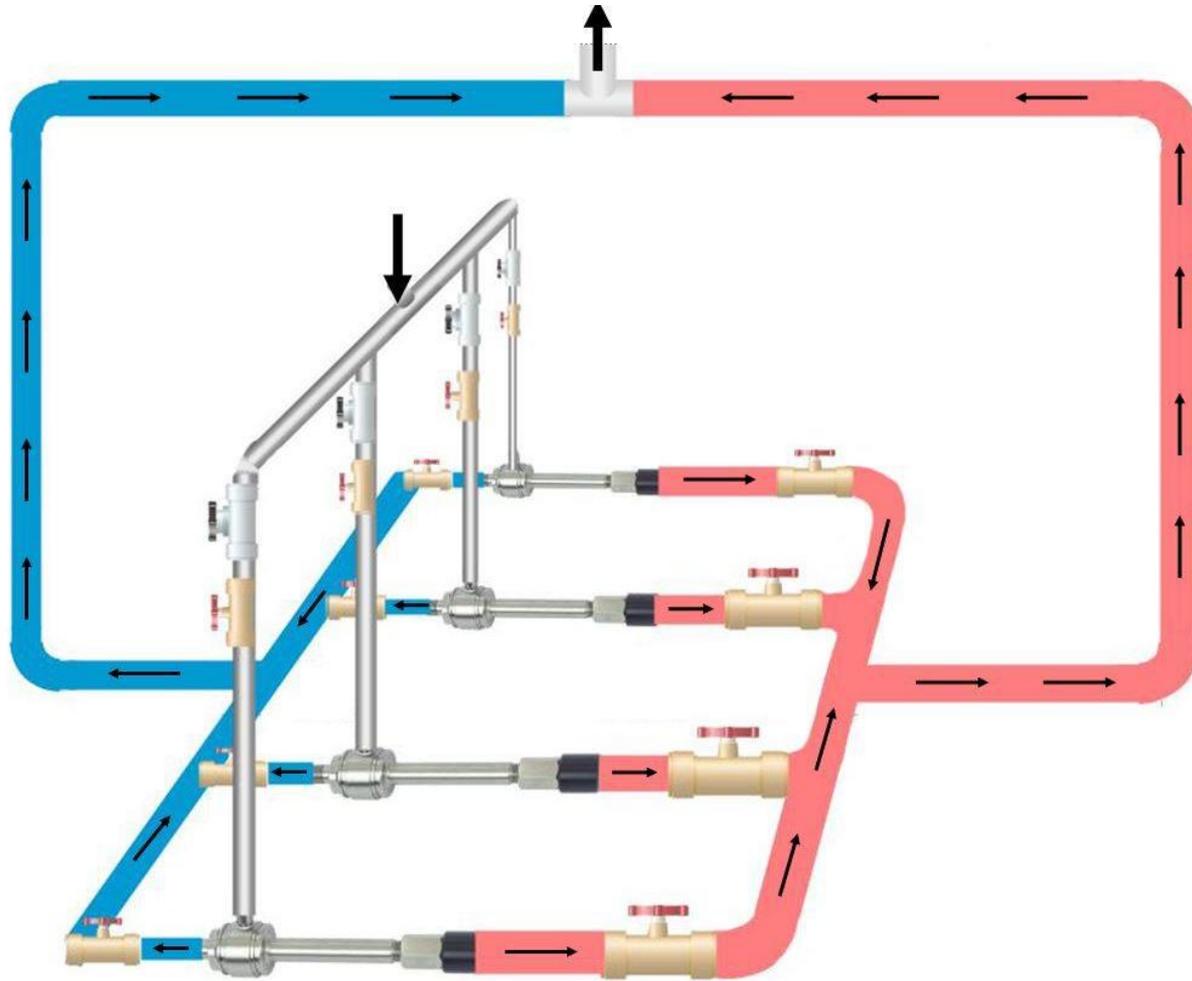


Le but étant de réchauffer le gaz pour éviter le gel des installations, nous avons pris connaissance de la technologie des vortex de Ranque-Hilsch. En quoi cela consiste-t-il?

Tout d'abord les vortex de Ranque-Hilsch sont composés d'une entrée par laquelle le gaz pénètre sous haute pression, d'une buse (ou chambre de plénum) qui va créer un flux tourbillonnant, et de deux tubes de part et d'autre de la buse. La particularité de ce système est que lorsque le gaz se met à tourbillonner vers l'extrémité droite, des frictions internes vont transporter de l'énergie thermique du cœur vers la périphérie du tube, ce qui entraîne à la fois une détente et un réchauffement du flux de gaz à la périphérie et donc un refroidissement au cœur. Une séparation en deux flux, chaud et froid, résulte alors de ce transport d'énergie. Le flux chaud s'échappe par une vanne de réglage et le flux froid est contraint de retourner dans le tube où il continue à tourbillonner pour ensuite s'échapper par l'extrémité froide,

Maintenant, voyons comment nous allons utiliser ces vortex ? Voici la solution que nous avons imaginée !

*Prototype dévoilé*



Nous avons dit précédemment que les débits d'entrée pouvaient varier fortement. Toutefois, pour maîtriser les paramètres du gaz en sortie du tube vortex (pression et température), il est important que le débit d'entrée du gaz ainsi que sa pression varient peu. Ainsi, nous avons décidé de placer un détendeur en entrée du dispositif qui permettra de fixer la pression d'entrée et de mettre plusieurs vortex de tailles différentes en parallèle. Le nombre de vortex sera de l'ordre de la dizaine selon le débit maximum d'entrée estimé (dix pour un débit de 20000 m<sup>3</sup>/h). Cette solution permettra de partager le débit entre les différents vortex et par conséquent, de s'adapter aux importantes variations de débit en ouvrant ou fermant plus ou moins ou complètement l'accès de certains vortex par l'intermédiaire de vannes.

Un compteur placé en entrée de notre système permettra grâce à un système PID de commander l'ouverture et la fermeture de ces vannes.

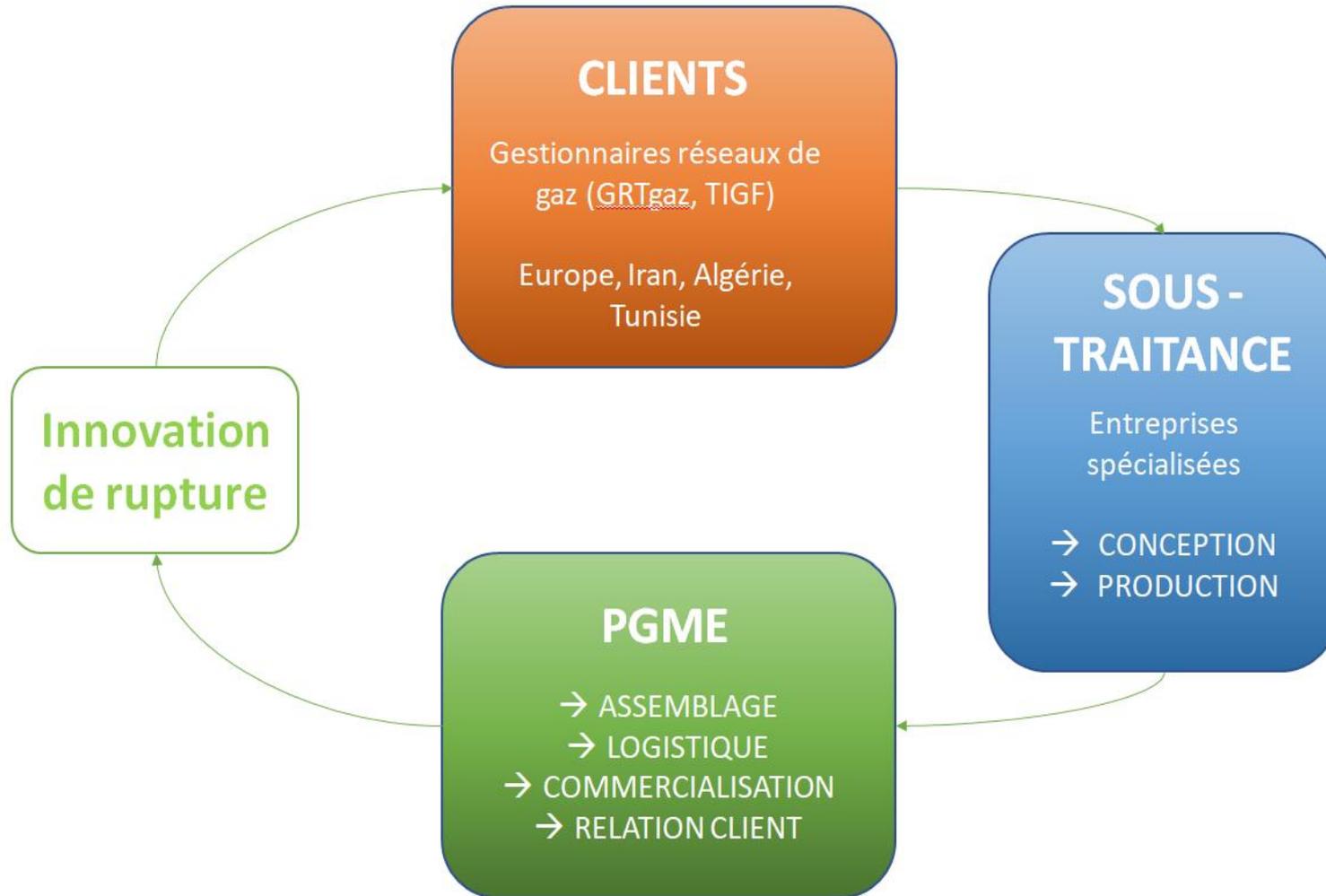
Enfin tous les flux sortants des vortex seront re-mélangés pour obtenir un flux unique. Les flux les plus "froids" sortant des vortex ne descendront pas en dessous de 2° C pour éviter tout risque de gel et par conséquent les flux les plus "chauds" non plus. On aura donc en sortie de notre installation un flux détendu et suffisamment "chaud" pour ne pas faire geler les installations !

Par conséquent nous avons innové à la fois sur la détente et le réchauffeur !



**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom

# ASPECT STRATÉGIQUE



Nous proposons donc une innovation de rupture qui permettra à PGME d'avoir une avance sur la concurrence et d'influencer les normes en terme de réchauffage du gaz.

Nous allons cibler les principaux clients de PGME qui sont les gestionnaires de réseaux de gaz comme GRTgaz ou encore TIGF en France. Leurs clients sont majoritairement situés en Europe, Iran, Tunisie et Algérie. Notre innovation permettra aussi à PGME de s'ouvrir à de nouveaux marchés. Le besoin fondamental des clients à satisfaire est d'éviter le gel des installations lors de la détente. Et, au cours de nos enquêtes utilisateurs, nous avons pu relever leurs attentes principales. En effet, ils ont besoin d'une machine efficace en terme de rendement, d'une adaptation possible à différents débits, mais aussi d'une maintenance aisée et d'une bonne adaptation esthétique et sonore à l'environnement. Les vortex vont permettre de répondre à toutes ces attentes c'est pourquoi notre produit est désirable.

Pour cela, la conception et la production des vortex sera sous-traitée auprès d'entreprises spécialisées, à la pointe de cette technologie. Cependant, PGME, pour assurer la qualité jusqu'au client s'occupera, comme actuellement, de l'assemblage final du produit, de la logistique et de la commercialisation. La relation client se fera notamment par l'installation du matériel, l'aide à la maintenance et le suivi des performances de l'équipement.

La vente des vortex se fera comme pour les réchauffeurs actuels, par réponse aux appels d'offres et vente directe aux clients.



**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom

# ANALYSE FINANCIÈRE

# COÛT D'UNE MACHINE VORTEX

17

Coût des vortex	70 000,00 €
Coût des tuyaux	1 500,00 €
Coût transport	5 000,00 €
Coût de la régulation	5 000,00 €
Coût du dimensionnement	10 000,00 €

Tout d'abord l'analyse des coûts de notre machine vortex pour une capacité de 20 000 Nm<sup>3</sup>/h. Cette analyse s'appuie sur les données que nous ont fournies la société PGME et Albret, qui produit des Vortex. Les coûts de production de cette machine dépendront des coûts de matières de l'assemblage des Vortex (10 pour une capacité de 20 000 Nm<sup>3</sup>/h) et également des coûts liés aux éléments de sécurité.



# COÛT DE LA SÉCURITÉ

Coût isolation phonique	1 000,00 €
Détendeur	64 000,00 €
Filtre	10 000,00 €
Vannes de sécurité en amont	10 500,00 €
Compteur	35 000,00 €
Soupape	100 000,00 €
Vannes manuelles	90 000,00 €
Électro-vannes	70 000,00 €

En plus de la production de l'appareil vortex, il faut donc ajouter tous les éléments de sécurité essentiels pour une installation comme celle-ci. PGME possède toutes les compétences pour assembler ces éléments de sécurité car il a déjà l'habitude de vendre ce genre de produit.



# COÛT TOTAL D'UNE MACHINE VORTEX

Coût des vortex	70 000,00 €
Coût des tuyaux	1 500,00 €
Coût transport	5 000,00 €
Coût de la régulation	5 000,00 €
Coût isolation phonique	1 000,00 €
Détendeur	64 000,00 €
Filtre	10 000,00 €
Vannes de sécurité en amont	10 500,00 €
Compteur	35 000,00 €
Soupape	100 000,00 €
Vannes manuelles	90 000,00 €
Électro-vannes	70 000,00 €
Coût du dimensionnement	10 000,00 €
Coût total	<b>472 000,00 €</b>
Prix de vente HT	590 000,00 €
Prix de vente TTC	708 000,00 €

Comme vous le voyez, le coûts de fabrication est prévu à 472 000 euros, ce qui correspond à un prix de vente de l'ordre de 708 000 euros pour le client toutes taxes comprises.



<b>Machine Vortex</b>	<b>Poste de détente + réchauffeur</b>	<b>Poste de détente</b>
708 000,00 €	1 100 000,00 €	900 000,00 €

Si nous comparons ce coûts au marché, nous pouvons dire que pour un poste de détente qui nécessite un réchauffage, nous sommes environ 36 % moins cher avec notre nouvelle technologie. Si nous comparons avec un poste de détente sans réchauffage qui coûte 900 000 €, nous sommes encore 21 % moins cher. Ce qui explique pourquoi nous pensons ouvrir l'entreprise à de nouveaux marchés car cette technologie pourrait être utilisée sur des postes de détente qui n'utilisent pas de réchauffage et qui pourrait ainsi se prémunir contre un risque important de gel de leurs installations.

# PRÉVISION DE L'ACTIVITÉ

	2020	2021	2022	2023	2024
Chiffre d'affaires des Vortex	<b>1 180 000,00 €</b>	<b>3 540 000,00 €</b>	<b>5 900 000,00 €</b>	<b>9 440 000,00 €</b>	<b>15 340 000,00 €</b>
Nombre de machines Vortex vendues	1	3	5	8	13
Charges fixes	200 000,00 €	260 000,00 €	323 000,00 €	439 150,00 €	561 107,50 €
Charges variables	944 000,00 €	2 832 000,00 €	4 720 000,00 €	7 552 000,00 €	12 272 000,00 €
EBE	36 000,00 €	448 000,00 €	857 000,00 €	1 448 850,00 €	2 506 892,50 €
Amortissement	5 200,00 €	5 200,00 €	5 200,00 €	5 200,00 €	5 200,00 €
Résultat opérationnel	30 800,00 €	442 800,00 €	851 800,00 €	1 443 650,00 €	2 501 692,50 €
Impôt sur les sociétés	8 624,00 €	117 342,00 €	225 727,00 €	382 567,25 €	662 948,51 €
Résultat Net	<b>22 176,00 €</b>	<b>325 458,00 €</b>	<b>626 073,00 €</b>	<b>1 061 082,75 €</b>	<b>1 838 743,99 €</b>

Maintenant que nous avons vu que notre machine pouvait se vendre, nous allons passer aux prévisions de chiffre d'affaires et de résultat. Nous avons réalisé un prévisionnel de vente, avec le chiffre d'affaires correspondant, les charges fixes et variables et enfin le résultat. Vous voyez donc que selon nos prévisions, le seuil de rentabilité serait atteint à partir d'une machines vendues. Nous prévoyons ainsi un chiffre d'affaire supplémentaire de 15 millions d'euros en 2024 et un résultat supplémentaire de 1,8 millions.

Nous pouvons ajouter que ce supplément d'activité va sûrement obliger PGME à investir dans un nouvel outil industriel, ce qui n'est pas pris en compte pour le moment dans le plan de trésorerie.

# TRÉSORERIE ET RENTABILITÉ

Année	0	1	2	3	4	5
Investissement	26 000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
Capacité d'autofinancement		27 376,00 €	330 658,00 €	631 273,00 €	1 066 282,75 €	1 843 943,99 €
Flux net de trésorerie	- 26 000,00 €	27 376,00 €	330 658,00 €	631 273,00 €	1 066 282,75 €	1 843 943,99 €
FNT cumulé	- 26 000,00 €	1 376,00 €	332 034,00 €	963 307,00 €	2 029 589,75 €	3 873 533,74 €
VAN	2 381 520,64 €					
TRI	400%					
DRC	0 ans		12 mois			

Et finalement voici les flux de trésorerie et les indicateurs de rentabilité. Notre VAN (Valeur actuelle net) se situerait autour de 2 380 000 euros en prenant 10% par an comme coût du capital. Nous aurions un retour sur un investissement au bout de 1 an et notre taux de rentabilité interne atteindrait 400 %, expliqué par de faibles investissements nécessaires.



# PROPOSITIONS DE VALEUR





Grâce à notre concept, le client ne détourne plus de gaz pour réchauffer. Il économise donc 26 tonnes de méthanes par an ce qui représente une économie de rejets dans l'atmosphère de 74 tonnes/an de CO2. Notre machine est donc écologique.

De plus, la technologie des vortex nécessite très peu de maintenance contrairement à celle nécessaire pour entretenir un poste de détente classique et un réchauffeur. Pour le réchauffeur, l'eau du bain-marie devait être régulièrement renouvelée et les billes de calcaire permettant de désacidifier les condensats doivent également être régulièrement renouvelées.

Enfin, garantie au client que le gaz ne gèlera pas, pour des pays comme la Belgique où la législation impose de ne pas laisser le gaz gelé, notre concept est très attractif.

Ces propositions de valeurs nous permettent donc de dire que notre produit est désirable.



**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom

**POUR CONTINUER LE  
PROJET**

- . **Étude réglementaire: sécurité, matériaux, milieu explosible**
- . **Modélisation, dimensionnement et prototypage**
- . **Partenariat stratégique avec un fournisseur de vortex, Albret**
- . **Penser le côté esthétique et sonore : Design harmonique avec le milieu, isolation sonore**

Après l'étape d'innovation qui était le sujet de notre travail , une mission de développement a été mise en place pour concrétiser le produit.

Pour commencer, il faut mener une enquête complémentaire sur le volet réglementaire, car il s'agit ici d'un secteur hautement normalisé. Le produit final doit être conforme à la norme NF EN 12186 régissant le transport de gaz, et à la certification ATEX relative aux installations dans les milieux à atmosphère explosible, ce qui a déjà été mentionné dans le cahier des charges.

Ensuite, un travail de modélisation s'impose pour prédire le comportement des vortex et les performances qu'ils peuvent fournir. Ce travail va permettre d'identifier les axes d'améliorations techniques et plus spécifiquement en ce qui concerne la gestion du débit et la maîtrise de la température de sortie. En effet, aucune étude n'a été réalisée sur le gaz naturel, et les effets thermiques sont influencés par les caractéristiques propres de gaz utilisé et peuvent faire varier les performances de plusieurs degrés. Ainsi, des tests en laboratoire devront donc être menés pour connaître précisément les performances atteintes avec du gaz naturel.

Etant donné que PGME ne fabrique pas de vortex, trouver un partenaire stratégique devient une étape primordial. L'entreprise française Albret, avec qui nous avons déjà pris contact pour établir un premier devis et discuter du projet, semble être un partenaire idéal puisqu'il s'agit d'une des rares entreprises à concevoir des vortex en Europe

Par ailleurs, en collaboration avec ce partenaire, PGME doit être capable de repenser les vortex dans leurs matériaux et leurs dimensionnement pour qu'ils soient plus adaptés au produit final. Dans ce travail de développement, il existe également des points qu'il ne faut pas négliger, notamment l'esthétisme et l'insonorisation du produit. En effet, notre produit devra être installé dans les entrées des agglomérations. Dès lors, il faut penser à un design qui sera en harmonie avec son milieu . De plus, les vortex sont des machines bruyantes et seront au nombre d'une dizaine par système, ce qui créera un bruit important. Il est donc impératif de pallier ce problème en dotant le produit final d'un système d'isolation afin de réduire la nuisance sonore et faire en sorte qu'elle ne dépasse pas le seuil réglementaire (80dB en France au delà de 1.5 m de la source).



**IMT Mines Albi-Carmaux**  
École Mines-Télécom

# CONCLUSION

Pour répondre à la problématique de notre commanditaire, la société PGME, nous sommes donc reparti sur le problème initial : le gel des installations en sortie de la détente, et nous avons imaginé une détente qui minimise les pertes de chaleur grâce aux vortex de Ranque-Hilsch.

Le concept retenu est faisable techniquement, ne change pas la stratégie de l'entreprise et il est viable économiquement, et désirable.

Pour compléter notre étude, PGME devra réaliser des test plus approfondi afin de tester la viabilité du produit à l'échelle industrielle, prendre contact avec des entreprises partenaires afin de sous-traité la fabrication de vortex et enfin réaliser une étude plus approfondie sur la sécurité.

Ce projet permet donc à l'entreprise d'intégrer un nouveau produit à sa gamme et ainsi conquérir de nouveaux marché. Ce projet nous a permis de développer un esprit d'équipe, de mettre en place une gestion de projet, nous confronter à la réalité des entreprises tout en travaillant sur un sujet technique dont nous n'avions aucune connaissance.