

## RAPPORT DE MISSION INNOV'ACTION

*“La pierre n'a point d'espoir d'être autre chose que pierre. Mais de collaborer, elle s'assemble et devient temple”, Antoine de Saint-Exupéry*



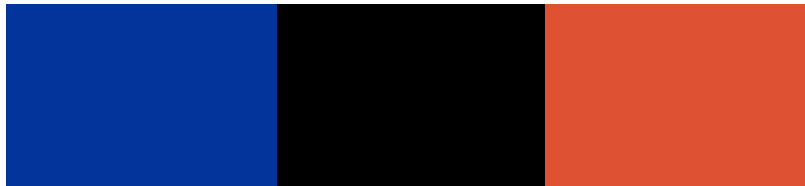
*Lucie GIRARD*

*Thibaud RICORDEL*

*Bastien JAMAIN*

*Harald LHOMME*

*Jhon-David LOZADA-MORENO*



**Améliorer le rendement énergétique d'une  
entreprise de traitement de déchets dangereux**

Valoriser la vapeur d'eau en produisant de l'électricité

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	2
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	3
<b>SYNTHESE</b> .....	4
<b>I. PRESENTATION DE SARP INDUSTRIES ET DE NOTRE PROBLEMATIQUE DE RENDEMENT ENERGETIQUE</b> .....	5
I-1) Description de l'activité d'incinération de l'usine SIAP Bassens.....	5
I-2) La problématique de la mission : améliorer le rendement énergétique.....	6
<b>II. UN NOUVEAU DE MARCHE POUR SARPI : LA VENTE D'ELECTRICITE</b> .....	8
II-1) Présentation technique de la solution : la mise en place d'un moteur à vapeur pour produire de l'électricité .....	8
III-2) ... et la revendre sur le marché EPEX de l'électricité ou auprès d'ENEDIS.....	9
II-3) Les principaux atouts de notre concept : preuves de sa viabilité et de sa faisabilité.....	11
<b>III. POURQUOI NOTRE CONCEPT DE CONVERSION DE LA VAPEUR D'EAU EN ELECTRICITE EST-IL ADAPTE ?</b> .....	12
<b>IV. SUITES DE NOTRE PROJET : LES POSSIBILITES OFFERTES A SARPI</b> .....	13
IV-1) Élaboration d'un logiciel d'aide à la décision pour la vente d'électricité .....	13
IV-2) Une menace pour le concept mais une opportunité pour SIAP .....	13
IV-3) Une valorisation supplémentaire : installer une pompe à chaleur .....	13
IV-4) Une solution de repli : assurer des revenus constants avec un contrat de base .....	13
IV-5) Une alternative future pour des revenus stables : le stockage de l'électricité sous forme d'hydrogène .....	13
IV-6) Stockage électricité en batterie pour une revente aux horaires propices .....	14
<b>V. ELEMENTS CLES DE LA DEMARCHE &amp; CHRONOLOGIE</b> .....	14
<b>VI. CONCLUSION</b> .....	15
<b>VII. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	16
<b>VIII. GLOSSAIRE ET TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	17
VIII-1) Glossaire .....	17
VIII-2) Table des illustrations .....	18
<b>IX. ANNEXES</b> .....	19
Annexe 1 : Quelques ordres de grandeurs et bilan annuel de l'incinération de déchets.....	19
Annexe 2 : Les spécifications dimensionnantes de notre installation .....	19
Annexe 3 : Précision sur la piste de travail du traitement à chaud des fumées .....	20
Annexe 4 : La démarche 5P de notre mission d'innovation.....	21
Annexe 5 : Plan de financement détaillé de notre concept.....	22
Annexe 6 : Analyse des forces et des faiblesses de notre concept de moteur à vapeur .....	23
Annexe 7 : Les autres concepts développés pour répondre à notre problématique.....	24
Annexe 8 : La fiche projet de notre mission.....	25

## REMERCIEMENTS

Nous remercions bien évidemment l'entreprise SARPI, pour avoir travaillé avec nous sur cette mission, à travers l'implication de M. Xavier CHAUCHERIE - Ingénieur Expert Procédés - et M. Thierry GOSSET - Directeur Technique Innovation. Nous leur sommes également reconnaissants d'avoir organisé une visite de l'usine SIAP de Bassens, en région bordelaise.

Nous tenons à remercier l'ensemble des responsables de la Mission Innov'Action et notamment Mme Béatrice VACHER pour la mise en place de ce projet auprès des élèves de l'École des Mines d'Albi-Carmaux, son écoute et son soutien tout au long de ces cinq mois.

Nous tenons également à remercier les différents intervenants dont Mme Ségolène LE MESTRE pour ses cours de design thinking, ainsi que nos tuteurs M. Aubin MALEVILLE et Mme Isabella DUFOUR-BAUMGARTNER pour leur accompagnement et leurs précieux conseils méthodologiques.

Enfin, nous remercions les enseignants chercheurs de l'École des Mines d'Albi-Carmaux M. Olivier LOUISNARD et M. Didier GROUSET, pour le temps qu'ils ont accordé à nos questions, leurs conseils éclairés sur les procédés de combustion des déchets dangereux et les dispositifs de valorisation de vapeur d'eau dans le cadre de notre projet d'innovation.

## SYNTHESE

L'entreprise SARP INDUSTRIES (SARPI) est spécialisée dans le traitement de déchets dangereux. La notion environnementale est un facteur essentiel aux yeux de l'entreprise. En effet, le traitement des déchets industriels se fait de manière à minimiser l'impact environnemental. C'est dans cette logique que l'entreprise SARPI s'associe à l'École des Mines d'Albi-Carmaux afin d'obtenir l'aide d'étudiants pour « imaginer le design des futures installations de traitement de déchets solides ».

Afin d'apporter une solution innovante aux attentes de SARPI, nous avons réalisé quelques séances de brainstorming entre les membres du groupe, ainsi que des conférences téléphoniques avec nos commanditaires. Nous avons alors recentré la problématique sur l'« **amélioration du rendement énergétique global de l'usine d'incinération** ». Suite à cette précision de la mission, nous imaginons plusieurs concepts : le « nettoyage de déchets hospitaliers à l'aide de vapeur », la mise en place d'« un réseau de chaleur avec la commune voisine » et enfin « **la valorisation électrique de la vapeur d'eau** » en nous référant à nos cours de design thinking, de créativité et de business model canvas.

Nous choisissons finalement avec nos commanditaires, de retenir ce dernier concept (voir annexe 7). Celui-ci consiste à **vendre l'électricité produite par un moteur approvisionné par de la vapeur d'eau**. Le débit de vapeur d'eau provient de la chaudière qui permet de refroidir les fumées issues de la combustion des déchets dangereux. L'électricité ainsi produite est revendue sur le marché EPEX SPOT, qui est une **bourse de l'électricité**.

La vente d'électricité sur ce marché a deux avantages notables : des **prix plus intéressants** en moyenne que la revente directe à EDF et la possibilité de **choisir les tranches horaires pour la revente d'électricité**. Nous avons également envisagé plusieurs emplacements sur le site de Bassens avec nos commanditaires pour installer ce moteur à vapeur et les raccordements nécessaires.

Concernant la partie financière de notre projet, nous avons réalisé un plan de financement à partir des données de l'EPEX SPOT, en accord avec nos commanditaires et avons obtenu les résultats suivants (voir annexe 5) :

- **Investissement à hauteur de 1 950 000 €**
- **Temps de retour sur investissements : 2 ans et demi**
- **Valeur Actuelle Nette (VAN, à 9%) : 630 000 € sur 5 ans**
- **Taux de rentabilité interne : 26%**

Notre solution est donc à la fois **désirable, faisable et viable pour l'entreprise SARPI** et permet de générer une nouvelle source de revenus en profitant de toutes les ressources dont elle dispose. Nous espérons que notre concept verra le jour sur le site de Bassens car elle **répond à la fois aux exigences demandées** (économique et environnementale) et pourra participer au développement futur de l'entreprise SARPI.

## I. PRESENTATION DE SARP INDUSTRIES ET DE NOTRE PROBLEMATIQUE DE RENDEMENT ENERGETIQUE

### I-1) Description de l'activité d'incinération de l'usine SIAP Bassens

L'activité première de l'entreprise SARPI consiste en l'incinération de déchets industriels pour minimiser la pollution sur l'environnement par rapport à une solution de stockage des déchets. Nous savons cependant que brûler des composants libère des gaz pouvant altérer grandement l'environnement. C'est pourquoi l'usine bordelaise SIAP<sup>1</sup> a mis en place un processus limitant au maximum les émissions de gaz dans l'atmosphère, comme indiqué ci-dessous (Figure 1).

Ces installations nécessitent des **améliorations progressives** afin de s'adapter à l'évolution des types de déchets traités et continuer à répondre aux **exigences environnementales**. Ces exigences concernent aussi bien les **gaz rejetés** que les **énergies récupérées** tout au long du procédé (voir annexe 1 pour le bilan annuel de traitement des déchets de SIAP).

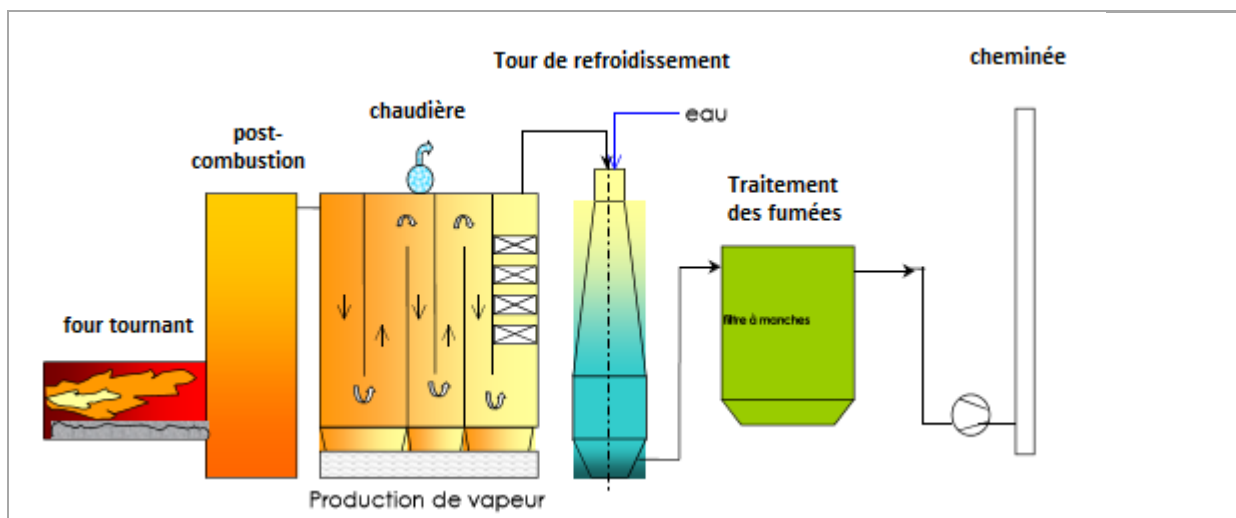


Figure 1: Schéma de la ligne d'incinération et de traitement des fumées (Source: SARPI)

Nous pouvons remarquer l'existence d'une chaudière dans cette ligne d'incinération, en troisième position après le four tournant et la tour de post-combustion. Cet élément est nécessaire afin de **réduire la température des fumées** de 950-1050°C à 300-400°C. Cela permet ensuite un **traitement des fumées à « froid »** par le biais de procédés de neutralisation puis de filtrage des poussières et des fumées.

Le principe de cette chaudière est le suivant: deux flux sont en échange thermique, un flux chaud (fumées de combustion) et un flux froid (eau liquide). Suite au transfert de chaleur, **l'eau liquide se vaporise** et ressort de la chaudière chargée en énergie (**250°C, 30 bars, 12 t/h**)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> SARPI Industries Aquitaine-Pyrénées

<sup>2</sup> t/h : tonnes/heure

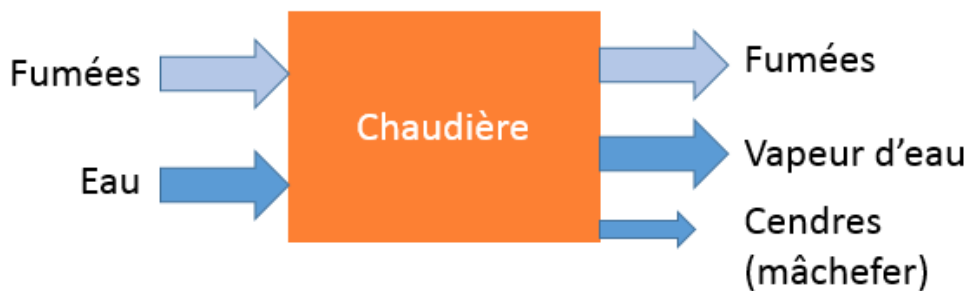


Figure 2: Schéma de la chaudière et de ses flux (Source : Groupe MIA)

Actuellement, la vapeur d'eau en sortie de la chaudière n'est que partiellement utilisée. Un pourcentage très variable (de 30 à 80%) du débit de vapeur est revendu à un industriel voisin (Michelin). Une autre part est utilisée pour le chauffage des locaux et d'une installation d'évapo-condensation (2-3 t/h). Le reste est rejeté et perdu dans l'atmosphère.

Ainsi, dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire lorsque l'entreprise Michelin ne demande pas de vapeur d'eau, c'est l'énergie contenue dans **10 tonnes de vapeur d'eau par heure** qui est perdue ...

## I-2) La problématique de la mission : améliorer le rendement énergétique

Nos commanditaires de SARPI nous ont initialement proposé une problématique générale: « *Imaginer le design des futures installations de traitement de déchets solides en conservant le four tournant et la post-combustion* ». En effet, la majorité des lignes d'incinération de déchets de l'entreprise sont en service depuis plus de vingt ans sans avoir subi de modifications notables durant les dix dernières années.

Pour l'entreprise SARPI, les enjeux actuels sont donc à la fois **environnementaux**, **économiques** (meilleure valorisation des déchets/des énergies) et **sociétal** (meilleure notoriété et meilleure image auprès des habitants et associations de Bassens).

Afin de mieux cibler les enjeux de la mission, nous réalisons une interview avec nos commanditaires en utilisant la méthode des 5 pourquoi. Ceci permet à l'équipe de comprendre qu'un point capital aux yeux des commanditaires est le **faible rendement énergétique de la ligne d'incinération** (rendement inférieur à 10%).

Nous avons alors retravaillé leur proposition de mission pour en dégager notre problématique, qui conserve la demande initiale de nos commanditaires : « **Comment améliorer le rendement énergétique de l'usine SIAP ?** ».

Après avoir cerné toutes les causes probables d'un tel rendement lors d'un brainstorming, nous privilégions trois pistes de travail. En suivant l'ordre de la ligne d'incinération, nous distinguons : (voir annexes 3 et 4 pour plus d'informations sur notre démarche)

- la **perte d'énergie via la vapeur d'eau** en sortie de la chaudière
- le **traitement des gaz de combustion à chaud**, contrairement au procédé actuel
- l'énergie contenue dans les **fumées en sortie de la cheminée** car celles-ci s'échappent à 70°C environ

Nous décidons d'axer notre travail sur la valorisation de la vapeur d'eau pour plusieurs raisons : l'utilisation actuelle de cette vapeur est **faible** sur le site d'incinération de Bassens et nous sommes davantage en mesure d'apporter une **innovation** à l'entreprise SIAP sur ce projet. Ci-dessous la fiche objectif réalisée pour notre projet, organisée autour de la chaudière :

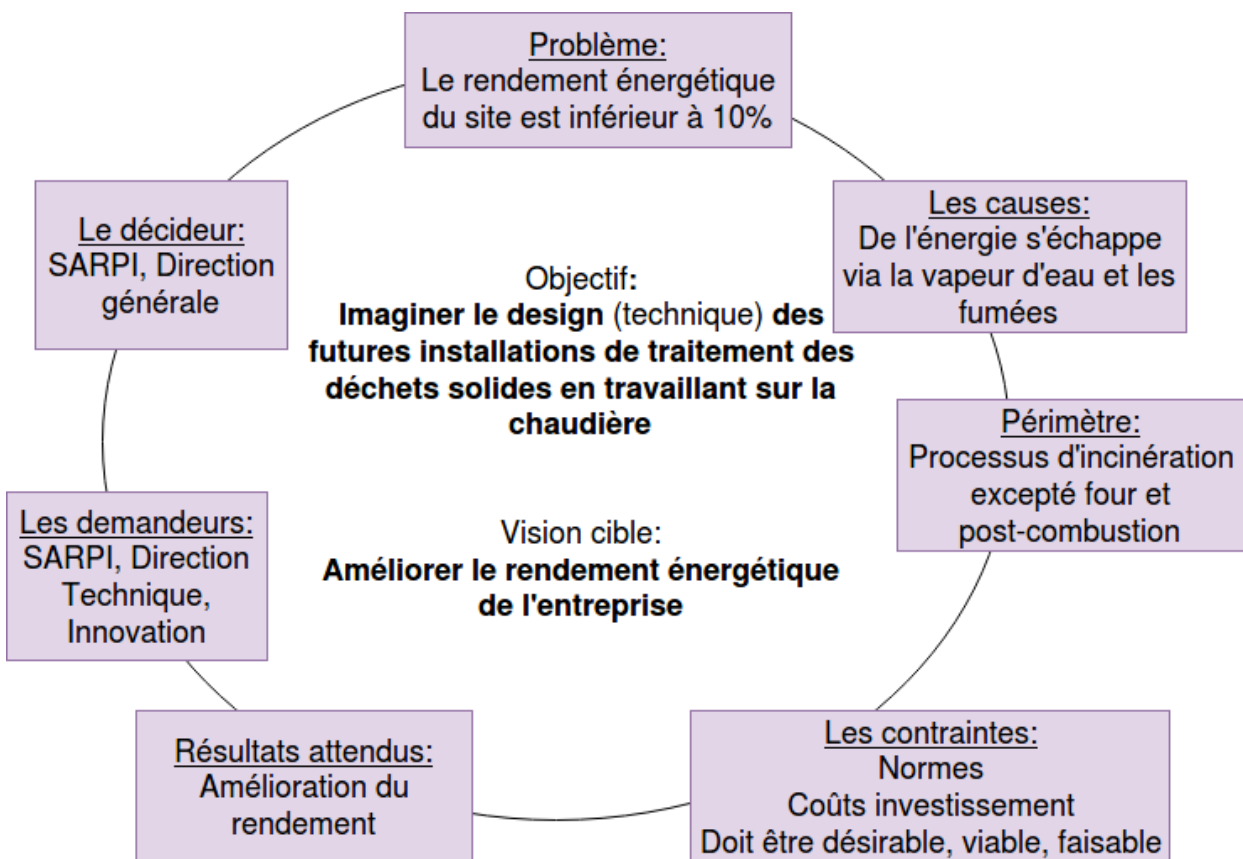


Figure 3: Fiche objectif pour la valorisation de la vapeur d'eau (Source : Groupe MIA)



## II. UN NOUVEAU DE MARCHE POUR SARPI : LA VENTE D'ELECTRICITE

### II-1) Présentation technique de la solution : la mise en place d'un moteur à vapeur pour produire de l'électricité

La solution que nous proposons à SARP INDUSTRIES est la suivante: « **Générer et vendre de l'électricité à partir de la vapeur d'eau** ». Du point de vue environnemental, cette solution permet d'améliorer le rendement énergétique global de l'usine. De plus, la vente autorise une nouvelle source de revenus pour l'entreprise SARPI.

Notre solution nécessite une transformation du site par l'apport de nouvelles installations afin de **convertir le débit de vapeur d'eau en électricité**. Nous avons montré précédemment (cf. figure 1) un schéma de la ligne d'incinération actuelle. Vous trouverez ci-dessous un schéma des **installations supplémentaires** qui viendraient se greffer à la chaudière.

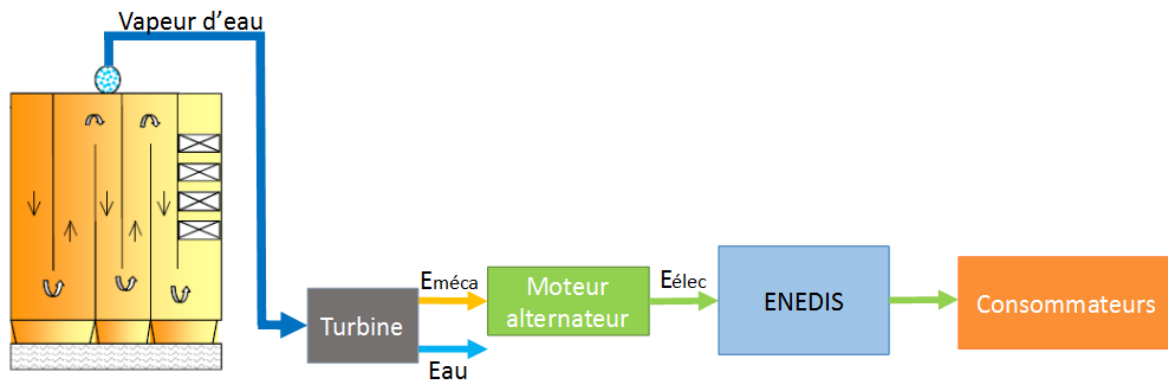


Figure 4 : Schéma des installations supplémentaires (Source : Groupe MIA)

Ainsi, nous proposons de modifier le système actuel de tuyauterie. En effet, nous garderons le **système de liaison actuel entre SIAP et Michelin** tout en bifurquant la partie de **vapeur non utilisée** vers un moteur à vapeur créant de l'électricité. L'énergie produite par le moteur à vapeur **atteindra 820 kWh** pour l'équivalent d'environ **10 tonnes** de vapeur d'eau générée par heure (voir l'annexe 2 pour plus d'informations sur les spécifications dimensionnantes du moteur)

Avant de se raccorder au réseau électrique, il convient de considérer le voltage dégagé par cette nouvelle installation. Si l'électricité produite a une tension inférieure à 50 kV, le transport de l'électricité sera effectué par le groupe ENEDIS<sup>3</sup> et pour une tension supérieure à 50 kV, le transport haute tension sera effectué via RTE<sup>4</sup>, filiale d'ENEDIS. Dans un premier temps, la vente de cette électricité est envisagée via l'**EPEX** mais il sera toutefois possible d'opter pour un contrat en continu auprès d'ENEDIS.

<sup>3</sup> Anciennement ERDF

<sup>4</sup> RTE: Réseau de Transport d'Électricité



### III-2) ... et la revendre sur le marché EPEX de l'électricité ou auprès d'ENEDIS

Il y a deux marchés proposant d'acheter ou de vendre de l'électricité. Le **marché de base** qui est un marché fixe, c'est-à-dire que l'entreprise vendant de l'électricité passe un **contrat** et vend une **quantité électrique constante dans la durée**. A l'opposé, le **marché SPOT** est une **bourse de l'électricité**. Le prix va varier en fonction des besoins des clients. En faisant la moyenne par mois pour le marché SPOT, nous obtenons la courbe des prix de revente d'électricité par mois en 2015 en fonction du type de marché choisi :

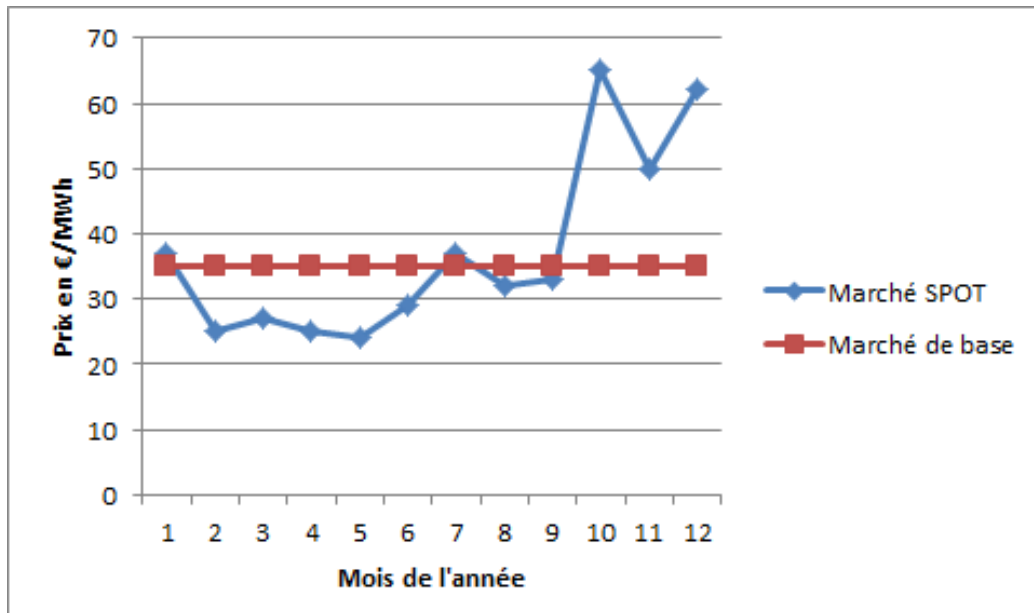


Figure 5 : Aperçu de l'évolution mensuelle du prix du MWh sur un an pour la revente d'électricité (Source : Groupe MIA, Données de l'EPEX)

Nous proposons ainsi de vendre l'électricité produite sur le marché SPOT par l'intermédiaire d'ENEDIS. En effet, ce marché possède l'avantage suivant : l'entreprise peut vendre la **quantité qu'elle choisit** et n'est pas obligée de vendre une quantité d'électricité fixe par mois. L'entreprise SIAP n'aurait donc pas de problème pendant les **périodes de maintenance** (fermeture de l'usine et donc pas de production d'électricité pendant environ deux semaines tous les ans).

Un désavantage du marché SPOT est que **la demande est variable** et donc qu'elle peut devenir nulle. Pendant ces périodes, le prix de l'électricité est **négalif** car la société vendant l'électricité n'en a pas besoin et donc perd de l'argent à la récupérer (voir page suivante pour l'alternative de stockage sous forme d'hydrogène). Nous proposons donc d'embaucher un **analyste** afin que celui-ci décide quand il faut vendre l'électricité et en quelle quantité.

Une autre solution peut être de **sous-traiter** la programmation d'un logiciel pour déterminer le bénéfice réalisable pour la tranche horaire considérée, en fonction de la quantité de déchets brûlée.

Nous avons résumé la mise en place de notre projet dans la **fiche concept** ci-dessous afin de mieux **comprendre les différentes étapes** de son installation et **d'anticiper son scénario d'usage**, de SARPI jusqu'aux particuliers :

<b>FICHE CONCEPT</b>	<b>Défi : Valoriser l'énergie contenue dans la vapeur</b>	<b>Groupe : M30</b>			
NOM DU CONCEPT	<b>Valorisation électrique</b>				
DESCRIPTION ECRITE ET VISUELLE	<p>Se relier au réseau EDF afin de revendre la vapeur d'eau de la chaudière sous forme d'électricité.</p> <p>La vente se fera sur le marché SPOT qui est une bourse d'électricité. Ainsi, la vente sera variable en fonction des besoins des utilisateurs et des pics de consommation des particuliers.</p>				
<b>SCENARIO DE CONCEPTION : Actions à entreprendre pour mettre en place le concept</b>					
Vente de la vapeur d'eau à Michelin. Locaux chauffés par la vapeur d'eau	Adapter les installations (se relier à EDF)	Achats et mise en service des nouveaux équipements	Agréer un accord avec EDF pour revendre l'électricité	Former le personnel à ses nouvelles activités (opérateurs, décideurs)	Vente de l'électricité. Réduction du gaspillage
<b>SCENARIO D'USAGE : Processus de fonctionnement du concept</b>					
Les déchets arrivent chez SARPI	Les déchets sont incinérés. On récupère de la vapeur d'eau.	La vapeur d'eau est conduite jusqu'à un alternateur qui la convertit en électricité	L'électricité est adaptée avec un transformateur afin de correspondre aux attentes d'EDF	L'électricité est revendue en bourse, puis fournie au particulier	Le particulier possède de l'électricité
FREINS ET POINTS D'ATTENTION	<p>Quantité variable de la demande de Michelin.</p> <p>Complexité de se relier au réseau EDF.</p> <p>Rendement du transformateur vapeur d'eau/électricité.</p> <p>Arrêt de l'usine pendant les périodes de maintenance (problèmes concernant les périodes de maintenance).</p>				

**Figure 6 : Fiche concept de l'installation d'un moteur à vapeur et d'un transformateur pour se relier à la bourse de l'électricité (Source : Groupe MIA)**

### II-3) Les principaux atouts de notre concept : preuves de sa viabilité et de sa faisabilité

Afin de vérifier la possibilité et surtout la viabilité de la mise en œuvre d'un tel concept, nous proposons un modèle économique que nous formulons sous forme de Business Model Canvas (BMC), présenté ci-après :

PARTENAIRES CLÉS	ACTIVITÉS CLÉS	PROPOSITION DE VALEUR POUR LES UTILISATEURS	RELATION AVEC LES UTILISATEURS	DIVERSITÉ D'UTILISATEUR
Entreprise de maintenance	Surveiller fonctionnement procédé Réguler quantité électrique Surveiller/contrôler l'état du système Effectuer la maintenance	Transformation de la vapeur d'eau sous forme d'électricité via un moteur à vapeur	Accord SARPI-ENEDIS	ENEDIS / Utilisateur particulier
	<b>RESSOURCES CLÉS</b>		<b>CANAUx DE DISTRIBUTION VERS LES UTILISATEURS</b>	<b>CLIENTS</b>
	Salle de contrôle/Capteur Ingénieur/opérateur formé Moteur électrique / Transformateur Réseau de tuyauterie/électrique		Articles de presse ENEDIS / EPEX SPOT Site internet/ Newsletter	EPEX SPOT
<b>STRUCTURE DE COÛTS ET PERTES D'EFFICACITÉ POUR L'ENTREPRISE</b>			<b>SOURCES DE REVENUS ET GAINS D'EFFICACITÉ POUR L'ENTREPRISE</b>	
Coût de maintenance Prend de la place dans l'entreprise Charge de travail supplémentaire pour opérateur et ingénieur. Fluctuation marché spot			Gain argent via EPEX SPOT Labellisation / Notoriété	

Figure 7 : BMC de l'installation d'un moteur à vapeur pour la revente d'électricité  
(Source : Groupe MIA)

Nous constatons que les coûts sont multiples, mais la principale source de coûts pourrait être les **fluctuations du marché EPEX SPOT**, d'où la nécessité de vérifier la viabilité de notre concept en élaborant un plan de financement.

Pour effectuer ce **plan de financement**, nous avons séparé les actions financières en trois catégories. Nous commençons par les actions qui sont des **sources de revenus**, puis nous verrons les **dépenses fixes** (i.e. sous forme d'investissements et d'installations) et enfin par les **dépenses annuelles**. Nous résumons ces informations dans le tableau Excel présenté en annexe 5, sachant que le prix indiqué pour le moteur comprend également son installation sur le site de Bassens.

Pour notre prévision financière, nous avons considéré ces données sans la vente à Michelin, avec **65 % de la vapeur d'eau** destinée à la conversion électrique. Nous obtenons alors une rentabilité au bout de deux ans et six mois. Ce projet permet donc de dégager des revenus importants chaque mois. En effet, nos calculs prévisionnels nous indiquent une valeur actuelle nette (à 9%) de 630 000€<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Voir les annexes pour plus de détails sur le plan de financement

### III. POURQUOI NOTRE CONCEPT DE CONVERSION DE LA VAPEUR D'EAU EN ELECTRICITE EST-IL ADAPTE ?

Notre concept d'installation d'un moteur pour la revente d'électricité répond à **l'amélioration du rendement énergétique** de l'entreprise et promet un **avantage économique et environnemental**.

Ses forces résident dans l'amélioration de **l'image de l'entreprise**, qui pourrait être récompensée par un **label**, mais aussi dans l'insertion dans un nouveau marché : celui de la « bourse de l'électricité ». Cette dernière est cependant à la fois un avantage et une faiblesse puisque les quantités vendues par l'entreprise vont fluctuer selon le marché EPEX-SPOT.

L'investissement initial pour financer la production et la vente d'électricité est conséquent, mais comme le montre le **cas similaire** de l'entreprise SOLAMAT-MEREX Rognac, également détenue par SARPI, un amortissement est possible en 5 ans, avec un **bénéfice annuel de près de 300 000€**. La commande et l'installation du moteur pourra donc se faire par le même fournisseur, **Spilling**, spécialisée dans les machines industrielles de conversion d'énergie. Cet investissement comprend entre autres :

- L'achat du moteur
- La tuyauterie
- Le raccordement électrique
- Le transport
- La mise en place sur le site
- Les opérations de maintenance, ...

Ces bénéfices ne sont que partiellement prévisibles car ils dépendent également des futures décisions de l'entreprise SIAP des contrats qu'elle souhaite conserver : contrat de base avec EDF, marché SPOT avec le RTE, conservation/négociation/arrêt du contrat avec Michelin.

Des **aides** peuvent également être obtenues par les organismes comme **l'ADEME**<sup>6</sup> (Midi-Pyrénées), la demande de **CEE**<sup>7</sup> ou encore envisager une **réduction d'impôts** à l'échelle de la collectivité. C'est donc un **projet innovant** pour SIAP, dont les initiatives écologiques sont soutenues à différentes échelles et dont les retombées économiques paraissent importantes.

Toutes ces caractéristiques sont résumées dans le **diagramme SWOT** placé en annexe 6 qui précisent les avantages et inconvénients internes/externes à notre concept.

---

<sup>6</sup> ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

<sup>7</sup> CEE : Certificat d'Économies d'Énergie

## IV. SUITES DE NOTRE PROJET : LES POSSIBILITES OFFERTES A SARPI

### IV-1) Élaboration d'un logiciel d'aide à la décision pour la vente d'électricité

Après la mise en place de notre projet, nous envisageons plusieurs pistes pour le développement de ce concept au sein de l'usine SIAP. Nous prévoyons en effet la **programmation d'un logiciel** pour décider de vendre ou non sur le marché SPOT en fonction du contrat, des maintenances et des heures de vente. Celui-ci pourrait être amélioré avec une **actualisation des données de l'EPEX**. Ce programme d'aide à la décision prendra en compte les coûts d'arrêt/démarrage du moteur.

De plus, l'usine SIAP devra adapter **la répartition et la priorité** donnée entre les différents « clients » concernés par l'énergie issue de la vapeur d'eau : EPEX SPOT et Michelin.

### IV-2) Une menace pour le concept mais une opportunité pour SIAP

Dans les prochaines années, il sera important de suivre **l'évolution de l'implantation d'entreprises à proximité**. Si celles-ci nécessitent de l'énergie sous forme d'eau bouillante (à une centaine de degrés et pression basse), il sera possible d'établir un circuit pour la revente de cette énergie. Ce principe réduira la puissance nécessaire à délivrer pour condenser l'eau après le passage dans le moteur et ainsi permettre une économie d'énergie. La négociation de ces nouveaux contrats pourra donc se révéler intéressant pour l'usine SIAP.

### IV-3) Une valorisation supplémentaire : installer une pompe à chaleur

Une autre alternative pour utiliser au mieux l'énergie de la vapeur d'eau serait l'installation d'une **pompe à chaleur** après la turbine (mélange d'eau liquide/vapeur en sortie de la turbine) afin de **continuer à chauffer les locaux** de l'entreprise.

### IV-4) Une solution de repli : assurer des revenus constants avec un contrat de base

Enfin, l'usine SIAP pourra négocier le passage vers un contrat de base pour l'électricité revendue à EDF si elle souhaite obtenir des revenus plus constants (en prenant en considération les périodes de maintenance et d'arrêt).

### IV-5) Une alternative future pour des revenus stables : le stockage de l'électricité sous forme d'hydrogène

Si les perspectives du marché de l'hydrogène s'améliorent, il est possible que son utilisation se répande dans les secteurs industriel et automobile avec les **piles à combustible**. Le stockage de l'électricité sous forme d'hydrogène serait alors envisageable au sein de l'usine SIAP.

Sa revente pourrait s'avérer intéressante face aux fluctuations du marché SPOT, à condition que sa production soit **peu coûteuse** et que le **rendement énergétique** des nouveaux électrolyseurs et compresseurs soit **suffisamment élevé** (actuellement autour de 60 %).

A raison d'un investissement de l'ordre de 3 millions d'euros, l'entreprise SIAP pourra rentabiliser celui-ci au bout d'un an et quatre mois environ, ce qui est tout à fait réalisable (voir le détail dans le tableau ci-dessous).

Investissements : 3 M€	Production : 2100 kg/jour
Électrolyseur (2 M€)	Marge : 3 €/kg
Compresseur (1 M€)	Temps de travail : 350 jours/an
Durée du retour sur investissements : 1 an et 4 mois	

**Figure 8 : Plan de financement pour le stockage sous forme d'hydrogène (Source : Groupe MIA, Didier Grouset)**

#### IV-6) Stockage électricité en batterie pour une revente aux horaires propices

Une dernière opportunité s'offre à SARPI en alternative à un stockage sous forme d'hydrogène, c'est l'installation de batterie au lithium pour le stockage de l'électricité. Ainsi stockée, l'électricité pourra être revendue aux horaires les plus avantageux du marché EPEX SPOT. Cela pourra se révéler un investissement intéressant sous réserve d'un taux de conversion suffisant de ces batteries.

## V. ELEMENTS CLES DE LA DEMARCHE & CHRONOLOGIE

La première difficulté rencontrée par notre groupe concerne l'**identification des attentes des commanditaires** pour un projet sur 6 mois. A partir du premier point étape, nous avons révisé notre démarche et notre problématique, grâce à nos échanges avec Mme Vacher et nos tuteurs MIA. Nous avons alors reformulé la problématique initiale pour identifier un axe de travail pertinent, sur le **rendement énergétique**.

C'est également après la visite -tardive- en début novembre de l'entreprise SIAP que nous avons obtenu une meilleure compréhension du fonctionnement de l'usine et des attentes des commanditaires. Cela nous a permis de vérifier la **désirabilité** et la **faisabilité** de nos premiers concepts et de les améliorer.

Une autre difficulté de notre sujet porte sur la **sélection d'outils d'innovation adaptés** à la recherche de notre concept mais aussi l'élaboration du BMC. Notre solution concerne en effet une installation pour l'entreprise SIAP, tandis que la démarche présentée en cours correspond davantage à l'étude et la mise en place d'un produit en direction d'un marché.

Un point important pour l'avancée de notre projet a été la prise de **rendez-vous avec les enseignants chercheurs** de l'École, et plus particulièrement M. Grouset et M. Louisnard, pour les conditions d'installation du moteur à vapeur. D'autant plus que pour ce type d'installation, **les données des constructeurs se trouvent difficilement sans demande de devis**.

Nous avons également obtenu les renseignements nécessaires grâce à la documentation fournie par M. Chaucherie et nos conférences téléphoniques. Lors de notre dernier appel nous avons vérifié la **cohérence financière de notre business plan** et évoquer les possibilités d'implantation de notre moteur à vapeur sur le site de Bassens, pour nous assurer à nouveau de la **désirabilité** et de la **viabilité** de notre concept. Malgré tout, la communication avec nos commanditaires n'était pas suffisamment efficace car nous avons rarement échangé nos avancées. Ils travaillent en effet sur Paris et donc étaient **peu présents physiquement** pour discuter avec nous.

Concernant la gestion de notre groupe, nous avons su nous répartir le travail en fonctionnant essentiellement par **groupe restreint** sur les tâches à accomplir. Par moment, nous avons manqué de motivation pour faire progresser notre projet et notamment lorsque nous avons dû reprendre notre travail d'analyse de l'entreprise. Cependant, nous avons retrouvé notre dynamisme après avoir **défini le concept** que nous voulions mettre en place et nous avons maintenu une bonne entente entre les membres du groupe.

Au niveau de l'échange d'informations, nous nous sommes aperçus de la **difficulté de rendre compte** à chacun de nos avancées individuelles. Ce projet nous a également permis de comprendre la nécessité de définir des moments d'analyse et de recherches d'une part, mais aussi des moments de prises de décisions d'autre part, afin de faire avancer notre démarche d'innovation. Sur ce point, certains membres ont parfois limité leur prise de paroles tandis que d'autres s'interrogeaient trop, ce qui constitue un frein à l'innovation, basée sur le **prototypage rapide** et la **rétroaction**. C'est donc un point qu'il nous reste à améliorer lors des prochains projets.

## VI. CONCLUSION

Afin de répondre à notre problématique sur le rendement énergétique, nous proposons à l'entreprise SIAP le concept suivant : **l'installation d'un moteur à vapeur** en sortie de chaudière afin de générer de l'électricité et revendre celle-ci sur le marché **EPEX SPOT** de la bourse de l'électricité en Europe de l'Ouest. Notre innovation dans l'approche et la problématisation des attentes de nos commanditaires nous ont permis de proposer la mise en place de cette solution **désirable, faisable et viable économiquement**.

Désirable, car notre concept répond à la demande initiale de futures installations sur le site de Bassens dans le but d'**augmenter le rendement énergétique** du procédé de traitement des déchets dangereux. Notre solution est également faisable car nous avons vérifié que les caractéristiques de la vapeur d'eau nous permettent une **production suffisante d'électricité** et que le marché EPEX SPOT sera **accessible** via le réseau RTE pour une revente le jour même ou pour des prix définis 24 heures à l'avance. Enfin, nous avons déjà identifié des **emplacements** pour accueillir notre installation sur le site de l'entreprise SIAP. Pour finir notre concept est viable avec un temps de retour sur investissement de **2 ans et demi** et une VAN actualisé à 9% qui s'élève à près de **630 000€ au bout de 5 ans**.

Nous espérons donc que notre concept verra prochainement le jour sur le site de Bassens car elle **répond** à la fois **aux exigences demandées** et pourra participer au développement futur de l'entreprise SIAP.



## VII. BIBLIOGRAPHIE

<https://www.epexspot.com/fr/>

Site de l'EPEX SPOT, avec le détail des différents contrats : ventes par tranches horaires, en continu ou pour le lendemain et conditions de vente de l'électricité en Europe de l'Ouest. Attention, tous ne sont pas accessibles depuis la France. (Consultée le 18/11/2016)

[https://www.epexspot.com/fr/produits/enchere\\_de\\_capacite](https://www.epexspot.com/fr/produits/enchere_de_capacite) (pdf disponible sur le marché et enchères de capacité)

[http://ied.ineris.fr/documents\\_bref](http://ied.ineris.fr/documents_bref)

Site des documents BREF indiquant les techniques émergentes et les meilleures techniques disponibles (MTD) dans les domaines liés aux déchets (traitement, incinération, ...). Ce site est dirigé par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer et concerne la Directive relatives aux émissions industrielles (IED) à l'échelle européenne.

(Consultée le 10/11/2016, plus d'informations avec le document pdf d'août 2006 : [http://ied.ineris.fr/sites/default/files/files/wi\\_bref\\_0806\\_VF\\_1.pdf](http://ied.ineris.fr/sites/default/files/files/wi_bref_0806_VF_1.pdf))

Documents internes à SARP Industries et l'entreprise SIAP

(Demande et autorisation accordée par M. Chaucherie et M. Gosset)

<http://www.ademe.fr/>

Site de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) pour obtenir les critères d'éligibilité aux aides de financement dans le cadre de la réduction de ses énergies. (Consultée le 08/12/2016)

Voir également les documents ci-dessous pour plus d'informations :

<http://www.ademe.fr/dossier/aides-lademe/mode-demploi-aides-lademe>

(ademe-finance-projets-maitrise-energie-industries-etudes-investissements-2015-8444)

<http://www.ademe.fr/dossier/aides-lademe/deliberations-conseil-dadministration-lademe>

(voir pdf de la délibération du 23 octobre 2014, Conseil d'administration de l'ADEME, premier lien du site)

<http://nouvelle-aquitaine.direccte.gouv.fr/Guide-des-aides-aux-entreprises>

Site de la Direccte (Direction régionale des entreprises de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi de Nouvelle-Aquitaine), qui recense dans ce document les aides auxquels les entreprises de Nouvelle-Aquitaine peuvent être éligibles. (Consultée le 08/12/2016)

[http://clients.rte-](http://clients.rte-france.com/lang/fr/clients_consommateurs/services_clients/C_raccorder_installation.jsp)

[france.com/lang/fr/clients\\_consommateurs/services\\_clients/C\\_raccorder\\_installation.jsp](http://clients.rte-france.com/lang/fr/clients_consommateurs/services_clients/C_raccorder_installation.jsp)

Site du RTE (Réseau de Transport d'Électricité) en France concernant les étapes du raccordement au réseau hautes tensions. (Consultée le 12/12/2016)

Détails de la mise en place du raccordement sur le site RTE-Cataliz :

<http://www.rte-cataliz.com/fr/#!/vos-services-sur-marches-de-l-electricite/intervenir-sur-le-marche>

<http://www.rte-cataliz.com/fr/#!/devenir-client/acceder-au-marche-de-l-electricite>

## VIII. GLOSSAIRE ET TABLE DES ILLUSTRATIONS

### VIII-1) Glossaire

**SARPI (SARP INDUSTRIES)** : Entreprise spécialisée dans le traitement de déchets dangereux, filiale de VEOLIA.

**SIAP** : Usine de SARPI localisée à Bassens, près de Bordeaux.

**Déchets dangereux** : Catégorie de déchets définie par la législation propre à chaque pays. Ils se caractérisent par leur dangerosité pour l'environnement ou la santé à travers leurs effets directs ou indirects à court, moyen ou long terme.

**Chaudière** : Générateur de chaleur sous forme d'eau chaude, mais également d'eau surchauffée ou de vapeur. Il possède un brûleur, une chambre de combustion et un échangeur de chaleur dans lequel transite le fluide à chauffer.

**Incinération** : Méthode de traitement thermique des déchets qui consiste en une combustion et un traitement des fumées. Trois catégories de résidus résultent de cette technique : mâchefers, cendres et résidus d'épuration des fumées. La chaleur générée par l'incinération fait l'objet de valorisation énergétique dans la plupart des unités.

**Rendement énergétique** : Rapport entre l'efficacité réelle d'une machine ou le travail utile qu'elle effectue, et l'efficacité théorique maximale qu'on peut attendre d'elle.

**Évaporation** : Changement de l'état liquide à l'état gazeux.

**Condensation** : Changement d'état d'un corps gazeux vers un corps liquide.

**Brainstorming** : Technique de créativité qui facilite la production d'idées d'un individu ou d'un groupe. L'utilisation du brainstorming permet de trouver le maximum d'idées originales en un minimum de temps grâce au jugement différé.

**Design Thinking** : Démarche d'innovation centrée sur les usages et basée sur l'expérimentation. Elle est en phase avec les résultats des travaux de recherche en sociologie de l'innovation qui ont montré l'importance de la coproduction entre usagers et concepteurs pour assurer le succès d'une innovation. Elle demande une grande ouverture d'esprit, la multiplication des points de vue (ethnographique, technique, financier, commercial, sociologique, etc.) et les savoir-faire (coordination, communication, prototypage plus ou moins bricolé, analyse, synthèse, création, etc.).

**BMC** : (Business Model Canvas) donne une vision globale de son offre de valeur client avec ses contraintes de faisabilité et ses sources de revenus/charges. C'est un document vivant qui synthétise un business plan détaillé qui prendra forme par la suite. Le BMC permet de « jouer » avec ses idées, rapidement, pour visualiser son potentiel.

**Marché SPOT** : Marché au comptant portant sur les devises, les taux ou les matières premières.

**Marché EPEX-SPOT** : Marché où l'électricité est négociée (achetée et vendue) avant d'être livrée sur le réseau à destination de clients (particuliers ou entreprises).

**EDF** : (Électricité de France) est le premier producteur et fournisseur d'électricité en France

**RTE** : (Réseau de transport d'Électricité) est une entreprise française, filiale d'EDF, qui gère le réseau public de transport d'électricité haute tension en France métropolitaine. (ENEDIS assure le transport basse tension)

**ADEME** : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

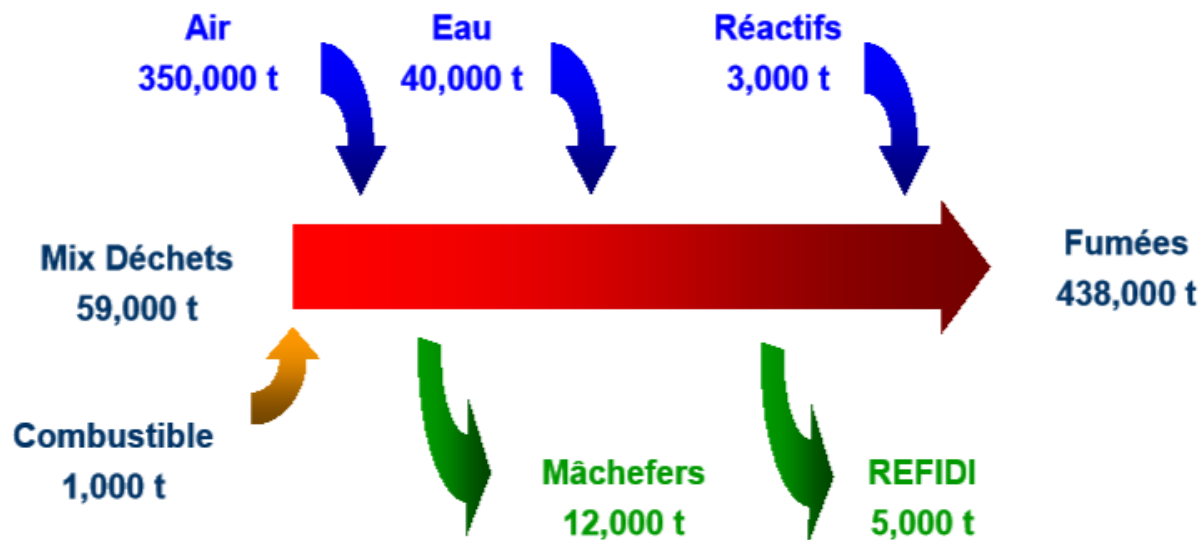
**CEE** : Certificat d'Économies d'Énergie

## VIII-2) Table des illustrations

Figure 1: Schéma de la ligne d'incinération et de traitement des fumées (Source: SARPI) .....	5
Figure 2: Schéma de la chaudière et de ses flux (Source : Groupe MIA).....	6
Figure 3: Fiche objectif pour la valorisation de la vapeur d'eau (Source : Groupe MIA).....	7
Figure 4 : Schéma des installations supplémentaires (Source : Groupe MIA) .....	8
Figure 5 : Aperçu de l'évolution mensuelle du prix du MWh sur un an pour la revente d'électricité (Source : Groupe MIA, Données de l'EPEX).....	9
Figure 6 : Fiche concept de l'installation d'un moteur à vapeur et d'un transformateur pour se relier à la bourse de l'électricité (Source : Groupe MIA) .....	10
Figure 7 : BMC de l'installation d'un moteur à vapeur pour la revente d'électricité .....	11
Figure 8 : Plan de financement pour le stockage sous forme d'hydrogène (Source : Groupe MIA, Didier Grouset).....	14

## IX. ANNEXES

### Annexe 1 : Quelques ordres de grandeurs et bilan annuel de l'incinération de déchets



(Source: SARP Industries)

### Annexe 2 : Les spécifications dimensionnantes de notre installation

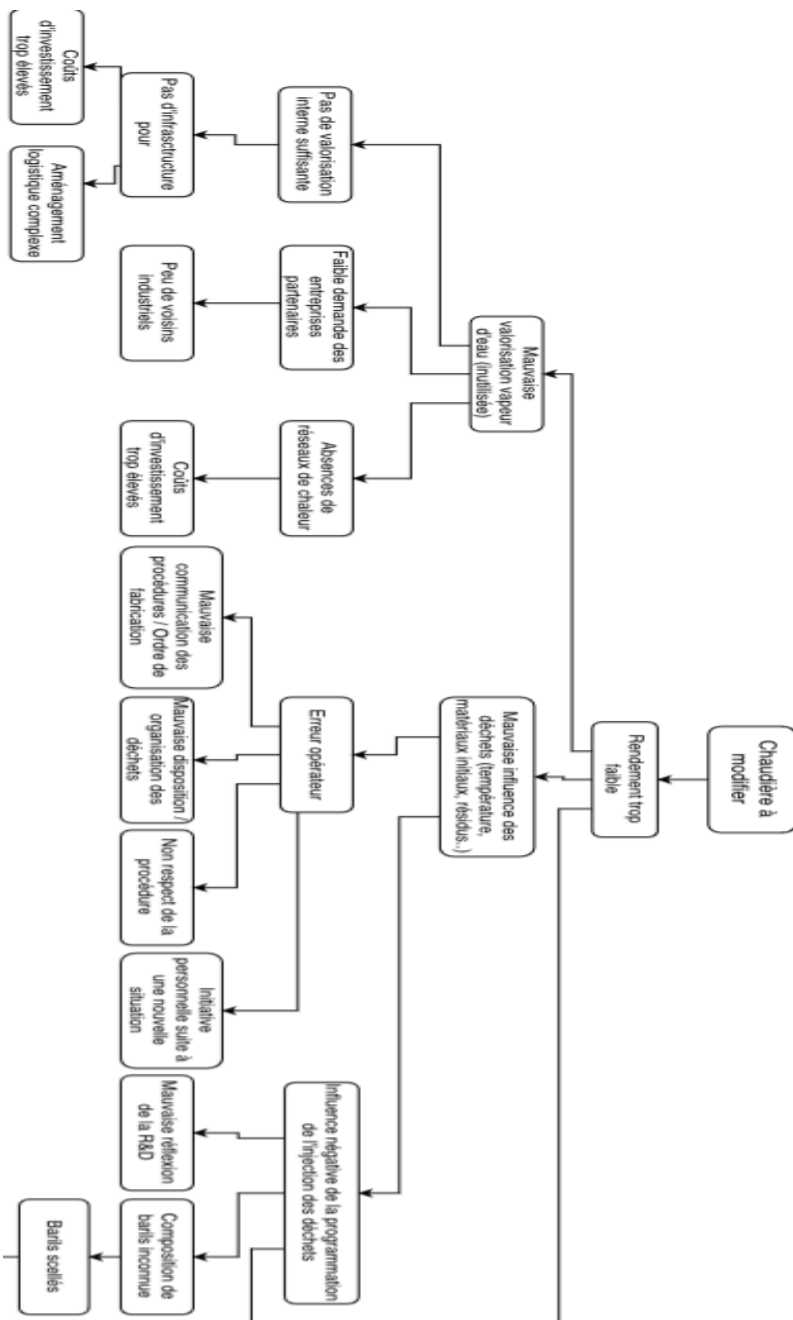
Moteur à vapeur	Niveau sonore (sans isolation)	100 dB
	Rendement	-
	Durée de vie	> 5 ans
Investissements	VAN (à 9%)	
	TRI	< 5 ans
	Coûts de l'investissement	< 10 % du CA
Tuyauterie/Raccord	Résistance à la pression	> 30 bars
	Pertes d'énergie	-
Raccord électrique	Pertes d'énergie	-
Transformateur	Durée de vie	> 5 ans
	Rendement	-

### **Annexe 3 : Précision sur la piste de travail du traitement à chaud des fumées**

Un traitement à chaud permettrait en effet de séparer les poussières et les fumées plus tôt dans le procédé. Comme les fumées seraient débarrassées d'une grande partie des poussières et de certains composants (pH extrême, nocivité, toxicité, instabilité) en amont, il serait possible d'utiliser des matériaux plus performants et moins contraignants pour la récupération d'énergie au cours du procédé d'incinération des déchets. Ainsi, de meilleures techniques seraient envisageables pour récupérer l'énergie contenue dans les fumées, ce qui augmenterait le rendement énergétique du cycle d'incinération.

Néanmoins, ces technologies sont encore récentes et en développement, d'autant plus qu'elles imposent de revoir la majeure partie de la ligne d'incinération, ce qui impose de lourds investissements.

Annexe 4 : La démarche 5P de notre mission d'innovation



(Source : Groupe MIA)

## Annexe 5 : Plan de financement détaillé de notre concept

(Source : SARP Industries, Groupe MIA)

PLAN DE FINANCEMENT		NC = Non considéré		
Source de revenus mensuels				
Contrat ENEDIS/BASE (€/MWh)	30,00	Opérateurs (mi-temps sur l'année)	20 000,00 €	Achat, isolation, gestion, maint
Contrat ENEDIS/SPOT (prix variable chaque mois)	37,17	Entretien moteur	12 000,00 €	Achat & installation réseau élec
Contrat Michelin	NC (arrêt contrat)	Entretien réseau électrique	6 000,00 €	Modification réseau hydrauliqu
Aides collectivités locales et nationales	NC (cas défavorable)	Entretien réseau hydraulique	6 000,00 €	Frais de formations (opérateurs
		Frais contrat ENEDIS/EPEx	6 000,00 €	Logiciel de supervision (licence,
				Majoration aléas
<b>Total SPOT</b>	<b>37,17 €</b>		<b>50 000,00 €</b>	
Simulation (achat et mise en service) à partir				
janvier 2018 sur 3 ans (avec les données de 2015)				
			<b>4 443 100,00 €</b>	Total investissements initial
				TRI sur 5 ans
				1/AN (ann.)



**Annexe 6 : Analyse des forces et des faiblesses de notre concept de moteur à vapeur**

(Source : Groupe MIA)

Sur ce diagramme SWOT, la revente d'électricité sur le marché EPEX SPOT apparaît à la fois comme un inconvénient et un avantage. C'est une opportunité pour avoir des prix de vente flexible (en moyenne plus intéressant qu'une revente à EDF) et la possibilité de revendre en discontinu. Cependant, c'est aussi une menace car le prix moyen de vente pourra être faible durant certaines périodes de l'année comme en été. Si ce marché SPOT est actuellement intéressant, il faudra faire attention à la multiplication des entreprises souhaitant revendre de l'électricité car cela pourrait modifier les prix de vente.

En ce qui concerne notre concept, ses faiblesses résident dans le fort investissement initial et les possibles maintenances, mais celui-ci est rentable au bout de 2 ans et demi d'après notre plan de financement, basée sur une vision pessimiste.

Enfin, avec la génération d'électricité, l'entreprise SIAP pourra atteindre un nouveau marché, complémentaire au traitement des déchets dangereux et qui pourra renforcer l'image et la notoriété de l'entreprise en région bordelaise.

## Annexe 7 : Les autres concepts développés pour répondre à notre problématique (Source : Groupe MIA)

<b>Fiche concept</b>	Défi : Valoriser l'énergie contenue dans la vapeur d'eau	Groupe : M30
<b>NOM DU CONCEPT</b>	Vapo-Nettoyage	<b>BENEFICES</b> RESULTAT QUALIFIE : ET QUANTIFIE : <input type="checkbox"/> bénéfices forts <input type="checkbox"/> moyens <input checked="" type="checkbox"/> faibles
<b>DESCRIPTION ECRITE ET VISUELLE</b>	<p>Réutilisation de la vapeur d'eau issue de la chaudière pour stériliser les déchets hospitaliers.</p>	
<b>SCENARIO D'USAGE: pour décrire les relations et interactions avec les clients/utilisateurs</b>		
Perte d'énergie dans la vapeur. SARPI et Prociner non reliés.	Créer un raccordement entre SARPI et Prociner.	Installer des cuves de stérilisation sur le site Prociner
Tester le bon fonctionnement de la stérilisation.	Bien gérer le processus afin de se préparer aux périodes de maintenance.	Stérilisation des déchets hospitaliers. Réduction gaspillage d'énergie
<b>FREINS ET POINTS D'ATTENTION</b>	<p>Vapeur d'eau issue de la chaudière suffisante pour stériliser. Aspect sécuritaire (Norme). Avoir suffisamment de déchets hospitaliers pouvant être stérilisés. Le raccordement ne doit pas gêner les opérations présentes sur les deux sites.</p> <input type="checkbox"/> faisabilité court terme <input checked="" type="checkbox"/> moyen terme <input type="checkbox"/> long terme	

<b>Fiche concept</b>	Défi : Faciliter l'ouverture de SARPI au marché de l'énergie.	Groupe : M30
<b>NOM DU CONCEPT</b>	SARPUB'	<b>BENEFICES</b> RESULTAT QUALIFIE : ET QUANTIFIE : <input type="checkbox"/> bénéfices forts <input type="checkbox"/> moyens <input checked="" type="checkbox"/> faibles
<b>DESCRIPTION ECRITE ET VISUELLE</b>	<p>Réaliser une campagne publicitaire de sensibilisation auprès des particuliers/voisins/entreprises afin de faciliter de futurs contrats de vente d'énergie de SARPI. Cette campagne serait dans l'optique de créer un réseau de chaleur entre SARPI et d'autres entités.</p>	
<b>SCENARIO D'USAGE: pour décrire les relations et interactions avec les clients/utilisateurs</b>		
Entreprise SARPI peut connue en tant que potentielvendeur d'énergie.	Mettre en place une stratégie de communication et de sensibilisation.	Procéder à des opérations comme des journées porte ouverte.
Personnes extérieures enthousiastes à l'idée d'acheter de l'énergie à SARPI.		
<b>FREINS ET POINTS D'ATTENTION</b>	<p>Il y a de nombreux a priori sur les zones classéesSEVESO et les usines de type déchetterie comme SARPI. Mettre en avant le caractère écologique de l'opportunité de recycler l'énergie.</p> <input type="checkbox"/> faisabilité court terme <input checked="" type="checkbox"/> moyen terme <input type="checkbox"/> long terme	

## Annexe 8 : Fiche projet de notre mission

## FICHE PROJET

1 - INFORMATIONS GENERALES					
Titre :	Combustion de déchets dangereux				
Référence	M30_G8_SARPI	Date début :	12-sept-16		
Sponsor / Champion :	M. GOSSET et M. CHAUCHERIE	Date fin prévue :	9-févr-17		
Pilote	M. LHOMME				
Coach :	M. GROUSET et M. NZIHOU	Date fin réelle :			
Processus :	Secteur « Amont et aval de l'incinérateur »				
Pilote du processus :	Responsable du site				
Commanditaire :	SARP INDUSTRIES				
Equipe projet	1	2	3	4	5
Nom	Mme. GIRARD	M. JAMAIN	M. LHOMME	M. LOZADA-MORENA	
Fonction	Secrétaire ponctuel	Secrétaire éternel	Chef de projet	Gardien du temps	
Nom	M. RICORDEL				
Fonction	Membre du groupe				

## 2 - PROBLEMATIQUE

Problématique et ses caractéristiques chiffrées ?

Le site de combustion de déchets dangereux de Bassens a un rendement énergétique inférieur à 10%.

Quels sont les objectifs du projet ?

Comment imaginer le design des futures installations de traitement des déchets afin d'améliorer le rendement énergé

Quels sont les livrables ?

Plusieurs comptes rendus seront effectués ainsi qu'une présentation finale. Une possible maquette sera effectuée.

Hors périmètre

L'entreprise demande que nous ne modifions pas les secteurs du « four tournant » ainsi que celui de la « post combustion ». Nous ne nous intéresserons également qu'au traitement des déchets solides.

## 3 - PLANNING

## 4 - INFORMATIONS SUPPLEMENTAIRES

Quelle est l'historique ou l'origine des données ? Quels sont les éléments de contexte ?

Quels sont les risques et contraintes ?

Nos interlocuteurs sont situés sur Paris et le site de combustion se situe à Bordeaux.

Comité de pilotage ?

(Source : Groupe MIA)