



Année Universitaire : 20010-2011



**Master Sciences et Techniques en Génie Industriel**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et  
Techniques

*Maîtrise de la consommation des énergies  
fluides*

**Présenté par:**

**MERIOUMI Alae**

**Soutenu Le 22 Juin 2011 devant le jury composé de:**

- **Mr. HAOUACHE Said** (encadrant)
- **Mr. KAGHAT Fahd** (examineur)
- **Mr. HAMED L'habib** (examineur)

**Stage effectué à : Eurotungstene Poudres**





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: MERIOUMI Alae**

**Année Universitaire : 2010/2011**

**Titre: Maîtrise de la consommation des énergies fluides**

### Résumé

J'ai effectué mon stage au sein du service méthode et process à EUROTUNGSTENE POUDRES.

Le sujet qui m'a été confié se résume comme suit : Maîtrise de la consommation des énergies fluides

Premièrement, des tableaux et des applications sous EXCEL sont créés de manière à gérer l'ensemble des consommations théoriques et réelles.

Deuxièmement, il s'agit de réaliser des suivis de mesures pour les énergies dont la consommation est élevée.

Troisièmement, chercher les causes responsables des surconsommations ou des consommations non contrôlables puis donner un plan d'action pour remédier aux problèmes.

Finalement j'ai pu démontrer à travers cette étude un gisement de gain important.

**Mots clés:** Energie fluide, consommation, stœchiométrie, Audit, cadence, Temps de passage, purges, point de mesure, consignes...



# REMERCIEMENT

Au terme de mon projet de fin d'études, j'exprime ma profonde gratitude à mon maître de stage **Mr. Johann MOREAU, responsable service méthode et process à EUROTUNGSTENE POUDRES de Grenoble**, pour son encadrement, son suivi et ses conseils.

Je tiens à remercier **tout le personnel d'EUROTUNGSTENE** qui a mis à ma disposition tout le nécessaire pour la réussite de mon travail.

Je remercie également la Direction de l'FST, l'ensemble des professeurs et en particulier mon encadrant **Mr. Saïd HAOUACHE Professeur à la FST de Fès**.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour mener à bien ce travail.

## Sommaire



## **Introduction** **2**

### **Chapitre 1: PRESENTATION D'EUROUNGSTENE POUDRES**

1) Présentation générale	4
2) Les activités d'Eurotungstène	6
3) Procédés de fabrication	6

### **Chapitre 2 : ETAT ACTUEL DE LA CONSOMMATION DES ENERGIES FLUIDES**

1) Les énergies utilisées	12
2) Consommation annuelle de l'usine	13
3) Suivis des fluides consommés	14
3.1) Hydrogène	14
3.2) Azote	29
3.3) L'eau Industrielle	32
4) Classification des causes	34

### **Chapitre 3: LEVIERS DE MAITRISE DE LA CONSOMMATION DES ENERGIES FLUIDES**

1) Méthode de travail	37
1.1) Plan d'action	37
1.2) Créer une animation	37
1.3) Budget prévu	38
2) Vérification des alimentations et points de mesures	38
3) Surveillance et correction des dérives	40
3.1) Les fuites internes et externes	40
3.2) La chute de pression des détendeurs	40
4) Optimisation des purges pour les fours et Gazomètre	41
4.1) Les purges N <sub>2</sub> et H <sub>2</sub> des fours	41
4.2) Purges Gazomètre	41

## **Conclusion** **43**

## **Annexes** **44**

## **Bibliographie & Webographie** **51**

# **Introduction**



Conscient de l'évolution du secteur des métaux à haute valeur ajoutée dont EUROTUNGSTENE appartient, ainsi que de l'augmentation considérable qu'a connu le prix de différentes énergies fluides et de l'importance de préserver notre environnement EUROTUNGSTENE a œuvré selon une politique d'optimisation de ses coûts de production, a maîtriser ses consommations au sein de son usine, afin d'être aussi compétitif que ses rivaux. Dans cette perspective, Il déploie des efforts considérables afin de pouvoir améliorer les performances des équipements et réduire ainsi le coût de production. Pour ainsi dire, le premier pas vers le développement est savoir bien utiliser ses ressources, pour en tirer le maximum de profit. C'est dans cet esprit que s'inscrit ce projet.

Le processus de fabrication des poudres métalliques, l'un des processus les plus consommateurs d'énergie fluides, présente encore quelques incertitudes dans sa maîtrise. Plusieurs facteurs non contrôlés, rendent difficile la gestion de plusieurs phénomènes qui nuisent à l'objectif d'optimisation du procédé. Bien que la société possède un historique riche d'expériences, des ingénieurs, des techniciens et des opérateurs hautement qualifiés, cette étape du processus reste mal maîtrisée.

En effet, la présente étude a pour objectif de trouver des explications concernant les effets majeurs causant une consommation excessive de l'énergie fluide afin de pouvoir y remédier, et trouver enfin des solutions pour le suivi et si possible l'élimination de ces problèmes.

C'est pour cela j'ai adopté une méthodologie de résolution des problèmes suivante :

D'abord, j'ai mis le lecteur dans l'environnement du travail en illustrant les outils nécessaires pour aborder la suite de l'étude. Cette partie comporte le premier chapitre.

Je résumerai ensuite le travail demandé en deux chapitres. Dans le premier, il sera question de déterminer l'état actuel de la consommation. Les résultats de ce chapitre seront utilisés dans le troisième chapitre. Dans ce dernier, une étude approfondie de ces causes ainsi que la recherche des solutions sont présentées.



# Chapitre 1:

# PRESENTATION

# D'EUROUNGSTENE POUDRES



### **1) Présentation générale :**

L'usine EUROTUNGSTENE, est une société de groupe ERAMET, située en périphérie urbaine de Grenoble depuis plus de 60 années.

Le site industriel des Eaux Claires est le berceau historique de la métallurgie des poudres. Embauchant à l'époque près de 1000 personnes, il est séparé en plusieurs branches et s'est éparpillé dans toute la France.

L'usine fabrique des poudres métalliques destinées principalement à la fabrication d'outils de coupe.

Les matières premières utilisées sont des métaux ou des composés métalliques couteux :

- *Nickel*
- *Cobalt*
- *Tungstène*
- *Rhénium*

Ainsi que le *cuivre* et le *fer* qui entrent dans la composition de certains mélanges.

Eurotungstène est un fabricant de poudres métalliques. La société propose une large gamme de produits:

- *Cobalt*
- *Tungstène*
- *Carbure de tungstène*
- *Carbure fondu*
- *Nickel*
- *Rhénium*
- *Mélange de différentes natures*
- *Poudres pré alliées NEXT*

Les deux principales applications liées à ces produits sont les outils diamantés pour la coupe de pierre et les carbures cémentés pour des pièces d'usinage ou d'usure.

#### Outils diamantés



#### Pièces d'usure



Les produits sont à hautes valeurs ajoutées, EUROTUNGSTENE propose si nécessaire, simultanément à ses produits une assistance techniques pour leur utilisation à une clientèle qui est principalement européenne (60%).



Avec 127 employés, et pour un chiffre d'affaires de l'ordre de 50 millions d'€uros, la production de l'usine est de l'ordre de 1500 Tonnes de poudre pas an.

*Figure1 : Répartition des ventes par zone*

L'usine comporte :

- Un service **R&D** ( Recherches et développements ) intégré d'une Vingtaine de personnes qui assure également les contrôles de fabrication et une équipe susceptible d'assurer la maîtrise d'œuvre dans l'évolution des outils de production.
- Un service **QSE** de 4 personnes. (Qualité Sécurité environnement)

L'usine qui se trouve en périphérie urbaine est classée **SEVESO** ; un gros effort de communication vers l'extérieur et l'environnement est nécessaire.

L'usine travaille en continu en 3 postes de 8 heures, avec un arrêt d'été de 3 semaines à cheval sur juillet et août.



## **2) Les activités d'Eurotungstène :**

L'usine dispose de 5 lignes principales :

- COBALT : Poudre de cobalt pur à plus de 98 % ;
- NEXT : Poudre mixte → cobalt + fer + cuivre ;
- KEEN : Poudre mixte → cobalt + fer + cuivre + molybdène ;
- AW : Poudre de tungstène ;
- CW : Carbure de tungstène ;

Les lignes de fabrication NEXT et KEEN partagent les mêmes équipements amonts jusqu'à la précipitation.

Chaque ligne a un fonctionnement différent mais dispose des équipements semblables tels que des fours, des sécheurs, des broyeurs, etc.

## **3) Procédés de fabrication :**

### 3.1) Fabrication de poudre cobalt

La matière première utilisée est soit du :

- Cobalt pur (Cathode de cobalt) ;
- Chlorure de cobalt.

Les différentes étapes du procédé sont : dissolution, précipitation, filtration, lavage, séchage, réduction et broyage.

#### **Dilution :**

L'opération consiste à mélanger de l'acide chlorhydrique pur et de l'eau épurée en quantités égales. On obtient ainsi un acide chlorhydrique dilué, présentant les conditions optimales pour attaquer les cathodes de cobalt lors de l'opération de dissolution.

#### **Dissolution :**

Des charges de 400 KG de MP sont introduites avec de l'acide chlorhydrique et de l'eau déminéralisée dans le réacteur. La solution est brassée et recyclée jusqu'au moment où la concentration en CO atteint 150 g/l.



C'est une opération en « **batch** » qui dure environ 4 heures. La réaction se fait à 90°C, elle est légèrement exothermique, mais on chauffe le « jus » dans la boucle de recyclage par un échangeur à plaques alimentée en vapeur. La puissance fournie sous forme de vapeur est de l'ordre de 200 KW.

#### **Dilution soude :**

L'opération consiste à mélanger 20% de soude à 750 g/l et 80% d'eau déminéralisée. On obtient ainsi une solution de soude diluée (à environ 160 g/l) présentant les conditions optimales pour précipiter le cobalt en hydroxyde lors de l'opération suivante.

#### **Précipitation :**

Le « jus » en provenance de l'opération précédente est précipité avec une solution de soude diluée (150g/l). La solution de soude est chauffée à 70°C dans un échangeur alimenté en vapeur. La puissance fournie en vapeur est de l'ordre de 100 KW durant 4 heures toutes les 24 heures.

#### **Filtration :**

La solution et son précipité sont envoyés vers un filtre presse qui est, après pressage, abondamment lavé à l'eau déminéralisée. L'eau de lavage chargée à 15 g/l de soude est neutralisée par une solution à 33% de HCL, puis envoyée à l'égout. Les rejets de cobalt dans cette eau ne doivent pas dépasser 5mg/l.

#### **Lavage :**

La matière solide qui comporte de la soude et du Na Cl est abondamment lavée avec de l'eau déminéralisée chauffée à 70°C dans un échangeur à plaques alimenté avec de la vapeur. La durée totale du lavage est de l'ordre de 20 heures. Un second échangeur récupère de la chaleur sur l'eau rejetée pour réchauffer l'eau de lavage.

La puissance fournie en vapeur est de 70 KW durant 14h toutes les 24 heures.

#### **Compaction (Compactage) / Débâtissage :**

##### Cycle de compaction :

L'objectif est d'essorer le gâteau, pour gagner du temps (donc de l'énergie) au moment du séchage de l'hydroxyde dans le sécheur HOSOKAWA. Le cycle de compaction se décompose en 3 étapes :

- 1) *Compaction* : Envoyer l'air comprimé dans les membranes des plateaux afin de comprimer le gâteau d'hydroxyde de cobalt jusqu'à l'essorer.
- 2) *Purge* : Purge à l'eau puis à l'air du circuit de distribution du filtre presse (Pour évacuer le produit riche en Na restant).
- 3) *Séchage* : Injection d'air comprimé à travers le gâteau d'hydroxyde de cobalt, afin de parfaire l'essorage.



### Cycle débâtissage :

Décrocher le gâteau d'hydroxyde de cobalt des toiles des plateaux, en écartant les plateaux et en s'aidant de la spatule au besoin. Le gâteau tombe sur le tapis situé sous le filtre presse.

### **Séchage :**

Le **slurry** composé d'hydroxyde de cobalt, et de 30 % d'eau non combinée est envoyé dans un sécheur par l'intermédiaire d'une vis élévatrice chauffée à la vapeur.

Le séchage s'effectue par de l'air mélangé avec les fumées générées par un bruleur à gaz Maxon. La puissance nominale de ce bruleur est de 400 KW, mais il est bridé à 200 KW.

La température de l'air à l'entrée du sécheur (de 200°C maxi) est bien souvent de l'ordre de 150°C : elle est pilotée par la température en sortie du sécheur qui est régulée à 104°C par modulation de la puissance du brûleur. La chambre de combustion séparée est alimentée en air froid. Le débit d'air au travers du sécheur est de 3000 Nm<sup>3</sup>/h.

A la sortie du sécheur la teneur en eau non liée du solide est de 1%. Le débit de solide est d'environ 100 Kg/h.

### **Désintégration :**

Remarque : Cette étape fait partie intégrante du séchage pour l'exploitant.

En sortie du sécheur le produit passe dans un broyeur à marteaux et est séparé mécaniquement de l'air porteur. L'air passe ensuite dans un filtre à manches puis dans un filtre absolu Micropulse suivi d'un extracteur accouplé à un moteur de 45 KW. Des ventelles à l'aspiration de l'extracteur permettent d'ajuster le débit d'air au travers de l'installation. La présence du filtre absolu est surtout justifiée en cas de rupture éventuelle d'une manche.



### **Réduction :**

Le four de réduction est un four à chauffage électrique sous atmosphère d'hydrogène. Les nacelles sont poussées dans le four. La température est comprise entre 400 et 700 °C. La zone de réaction est suivie d'une zone de refroidissement constituée d'un moufle refroidi à l'eau.

Le four de réduction comporte 3 zones de chauffage et un préchauffeur d'hydrogène. Ce dernier a une puissance de 22 KW. Le débit d'hydrogène est de l'ordre de 300 Nm<sup>3</sup>/h.

### **Désintégration :**

A la sortie du four de réduction le produit est « désaggloméré » sous atmosphère d'azote. L'azote est recyclé et refroidi dans un échangeur N<sub>2</sub> /Eau. L'eau sortant de cet échangeur est utilisée pour le refroidissement du four,

#### 3.2) Fabrication des poudres mixtes (NEXT et KEEN) :

Ces deux lignes sont semblables à la précédente, mais elles ne comportent qu'un seul sécheur, et les vis de chargement ne sont pas réchauffées à la vapeur. Elles partagent en outre les mêmes équipements amont jusqu'à la précipitation.

#### 3.3) Fabrication de poudres de Tungstène :

Cet atelier comporte 4 fours :

- Un four rotatif ;
- Deux fours basculants (MOC1 & MOC2) ;
- Un Four Multitubes (FMT).

### **Four rotatif**

C'est le seul four de l'usine dans lequel les produits ne sont pas déposés dans des nacelles.

Ce Four, sous Hydrogène, comporte 5 zones de chauffage électrique et un réchauffeur d'hydrogène. Ce dernier est introduit à contre courant, à un débit de l'ordre de 200 Nm<sup>3</sup>/h

La température de fonctionnement du four est autour de 1000°C et la puissance maxi est de 198 KW, pour une utilisation le plus souvent autour de 140 KW. La production est d'environ 1t/j.

A la sortie du four les gaz passent dans un cyclone, puis dans un filtre à manche, et ensuite dans un laveur.



### **Les fours basculants :**

Il s'agit de deux fours basculants à nacelles, ils sont les plus anciens de l'usine, et leur conduite est manuelle.

Ils sont à chauffage électrique, et leur température d'utilisation est de 1000 °C

### **Le FMT :**

Ce four permet un passage simultané de 14 nacelles dans 14 tubes, sur deux niveaux.

La température d'utilisation est de l'ordre de 1000 °C. La puissance électrique maximale est de 184 KW, pour une utilisation usuelle de 140 KW. Le débit hydrogène est d'environ 30 Nm<sup>3</sup>/h par tube soit au total 420 Nm<sup>3</sup>/h. Ce débit ne peut guère être réduit, car la pression partielle de la vapeur d'eau deviendrait trop élevée, avec comme corollaire une augmentation de la taille des grains.

Chacune des nacelles a un poids à vide de 6,5 Kg, soit un poids horaire de nacelles de 253Kg/h.

### 3.4) Fabrication des produits carburés :

Le tungstène est intimement mélangé avec du carbone (plus de 6 % de carbone dans le mélange). Le mélange est introduit dans les fours dans les nacelles sous couverture d'hydrogène, dont le débit est de 6 Nm<sup>3</sup>/h, et parfois moins, par four. La température de travail est de 1550 °C.

L'hydrogène et le monoxyde de carbone résiduel ressortent du four par deux petites cheminées équipées de brûleurs veilleuses et pour s'assurer qu'ils brûlent en sortie, les produits de combustion sont ensuite évacués à l'atmosphère hors de l'atelier. En sortie de four les nacelles passent dans un moufle refroidi à l'eau. Les produits sont ensuite pulvérisés dans un broyeur à jet d'air.

Cette ligne de fabrication comporte 2 fours et 1 seul broyeur. La production de l'atelier est de 400 t/an, pour une capacité possible de 800 t/an. Ces broyeurs fonctionnent chacun environ 50% du temps.

La consommation d'air comprimé est de 1200 m<sup>3</sup>/h. La mise en route d'un broyeur nécessite la mise en route simultanée du second compresseur d'air.



# Chapitre 2:

# ETAT ACTUEL DE LA

# CONSOMMATION

# DES ENERGIES FLUIDES :



## **1) Les énergies utilisées :**

L'entreprise EUROTUNGSTENE POUDRES consomme plusieurs types de sources d'énergie:

- De l'hydrogène
- De l'eau industrielle
- De l'azote
- De l'eau de ville
- CO<sub>2</sub>
- De l'air comprimé
- De la vapeur
- De l'électricité
- De l'eau déminéralisée
- Et du gaz

### ***a) L'hydrogène***

Il est utilisé dans les fours de réduction. Jusqu'en 1997 il était fabriqué par l'entreprise grâce à des électrolyseurs, mais maintenant il est acheté.

### ***b) L'azote***

Il est utilisé dans les fours pour évacuer l'hydrogène dans les sas de chargement et déchargement car c'est un gaz plus lourd que l'hydrogène et en injectant sous ce dernier on purge les sas. Il sert également à passer les poudres pour lesquelles ne se brûlent pas en cas de contact de l'air.

### ***c) La vapeur d'eau***

Elle est fabriquée dans l'entreprise à partir d'eau déminéralisée.

### ***d) L'eau déminéralisée***

Elle est utilisée pour les mélanges chimiques (précipitation, dissolution,...), dans certaines canalisations pour refroidissement (afin d'éviter le tartre) ou pour rincer les installations (turbo déliteur de l'atelier pilote). Elle est très importante car étant donné qu'elle ne contient plus de minéraux, elle ne risque pas de "polluer" les produits fabriqués.

### ***e) L'eau industrielle***

Elle est puisée directement dans la nappe phréatique. Elle est utilisée telle-quelle essentiellement pour les systèmes de refroidissement et pour la production d'eau déminéralisée.



*f) L'eau de ville*

Elle est utilisée pour la consommation.

*g) L'air comprimé*

Il est utilisé pour tous les systèmes pneumatiques de l'entreprise; Il est fabriqué sur le site grâce à un compresseur.

**2) Consommation annuelle de l'usine :**

Afin de mieux maîtriser la consommation des énergies fluides, j'ai suivi la procédure suivante :

✓ Faire une analyse et une présentation de l'existant, afin de pouvoir cerner la majorité des causes qui rend les consommations non-contrôlables. Pour ce faire, J'ai consulté les informations enregistrées dans la base de données de la société et noter les constatations faites par le personnel.

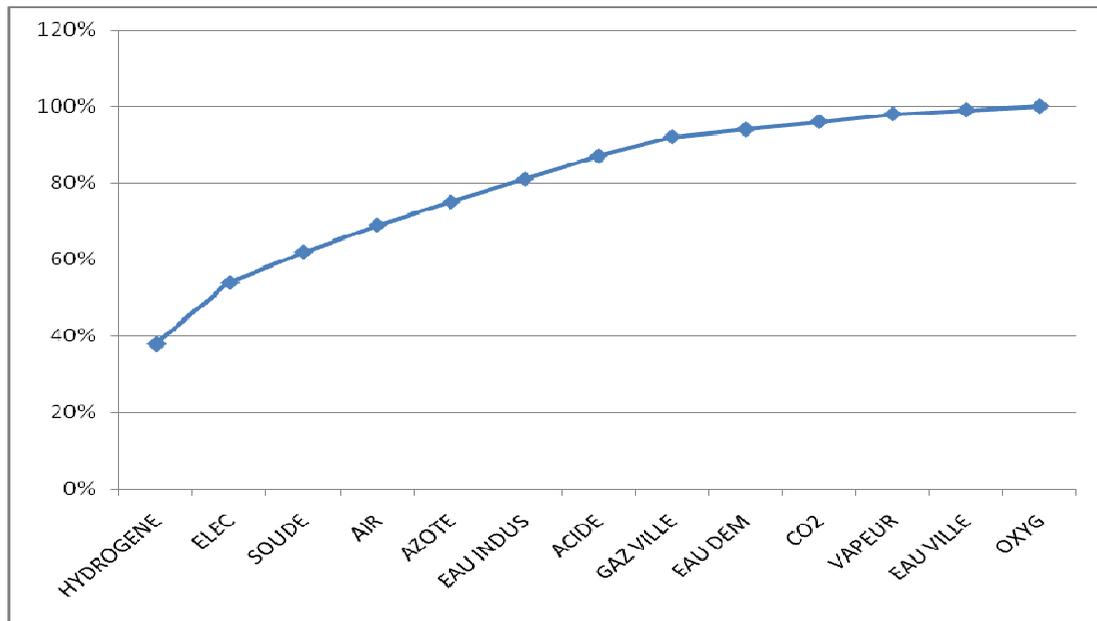
✓ Hiérarchiser les consommations afin de choisir les plus importantes et ensuite se focaliser sur elles pour obtenir des résultats satisfaisants.

Le tableau suivant représente toutes les énergies utilisées en 2010 pour les différents procédés qui existent dans l'usine, y compris les énergies fluides :

Type d'énergie	K€ / an	QUANT / an	P.U MOY	%	PARETO
<b>HYDROGENE</b>	1 300	1 500 000	0,87	38%	38%
ELEC	560	11 000 000	0,05	16%	54%
SOUDE	300	2 700 000	0,11	9%	63%
AIR	230			7%	69%
AZOTE	220	2 300 000	0,10	6%	75%
EAU INDUS	200	455 000	0,44	6%	81%
ACIDE	200	2 800 000	0,07	6%	87%
GAZ VILLE	190	6 000 000	0,03	5%	92%
EAU DEM	75	70 000	1,07	2%	94%
CO <sub>2</sub>	70	85 000	0,82	2%	96%
VAPEUR	65	2 000	32,50	2%	98%
EAU VILLE	34	20 000	1,70	1%	99%
OXYG	16	65 000	0,25	0%	100%
<b>TOTAL en K€ / an</b>	<b>3 460</b>				

Tableau1 : Les consommations pour l'année 2010

La courbe PARETO (80/20) des consommations des énergies :



La mission de mon stage était la maîtrise de la consommation des énergies fluides suivantes :

1. *Hydrogène*
2. *Azote*
3. *Eau Industrielle*

**Remarque :**

- Pour l'électricité il y a déjà un plan d'action pour l'optimisation de la consommation
- Pour la soude et l'air se sont des énergies utilisées en « batch »

### **3) *Suivis des fluides consommés***

#### **3.1) Hydrogène :**

##### **3.1.1) Etape 1 : (Visites, Suivis et relevés)**

L'hydrogène est utilisé dans tous les fours de l'usine (38% du total de la consommation des énergies utilisées pour la fabrication des poudres métalliques) il est toujours recyclé sauf en sortie des fours de produits carburés et les petits fours de CERMeP (Centre européen de recherches de métallurgie et poudres).

Schéma distribution H<sub>2</sub> Pur / Normal et Retour (Annexes)

Fonctionnement d'un four :

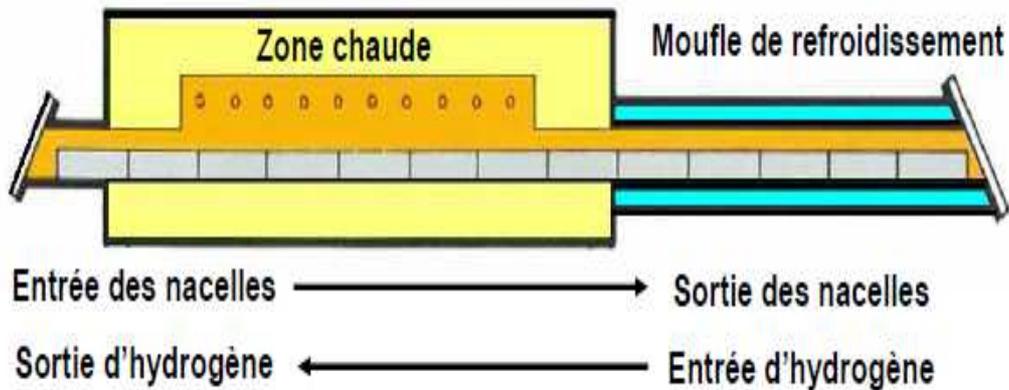


Schéma simplifié d'un four

Nous pouvons séparer le four en 3 parties :

- *Moufle d'entrée de produit ou de sortie d'hydrogène :*

Le produit est chargé dans les nacelles en acier et envoyé dans le four. L'hydrogène chaud sortant du four préchauffe en partie le produit et les nacelles avant d'être envoyé dans la tour de lavage.

- *Partie chaude du four-Zone Réactionnelle :*

L'hydrogène circule à contre courant du produit. La réaction de réduction faiblement exothermique à lieu. L'hydrogène élimine l'eau résiduelle issue de la réaction.

- *Moufle de sortie du produit ou d'entrée d'hydrogène :*

Les nacelles sortent du four au travers un moufle de refroidissement alimenté en eau industrielle. L'hydrogène circulant à contre sens récupère une partie de la chaleur apportée par les nacelles chaudes.



Etat actuel :

- *Elaboration des fichiers de calcul (sous Excel) :*

Pour identifier l'état actuel de la consommation d'hydrogène et actualiser des valeurs déjà répertoriées dans l'historique des mesures d'EUROTUNGSTENE, j'ai rassemblé, à partir des paramètres de fabrication, pour chaque atelier, les données suivantes :

- La cadence (Min)
- Charge des nacelles (Kg)
- Débit H2 d'enfournement nacelles (Nm<sup>3</sup>/h)
- Temps d'enfournement des nacelles (Sec)
- Temps de défournement des nacelles (Sec)
- Débit H2 de défournement des nacelles (Nm<sup>3</sup>/h)
- Débit H2 pour la réduction du produit (Nm<sup>3</sup>/h)

En se basant sur ces données j'ai pu élaborer un fichier sous EXCEL, qui nous permet de calculer le besoin stœchiométrique en Nm<sup>3</sup>/kg, puis en Nm<sup>3</sup>/h, pour chaque type de produit fabriqué par l'usine, «Tableau de bord complet dans les ANNEXES »

Exemple pour l'atelier AW (MOC + FMT) :



Type de Four	Code article	Cadence en (min)	Charge (Kg)	Débit H2 entrée nacelles (Nm3/h)	Temps d'enfournement (sec)	Débit H2 sortie nacelle (Nm3/h)	Temps de défournement (sec)	Débit H2 (Nm3/h) par tube	Débit H2 (Nm3/h)	Debit matiere entrée Kg/h	stoechiometrie m3/kg entrée	besoin stoechiometrie m3/h	Taux de transformation	Pertes H2 entrées/sortie Nm3/h	Consommation H2 Nm3/h	Etat de marche
MOC	AW3101A	80	6	45	30	45	30		45	4,50	0,25	1,1		0,56	3,38	2
	AW3102A	80	6	45	30	45	30		45	4,50	0,25	1,1		0,56	3,38	2
	AW4106A	80	6	45	30	45	30		45	4,50	0,25	1,1		0,56	3,38	2
FMT à x par 14 tubes	AW2110A	18	0,6	8	25	8	15	35	490,00	28,00	0,25	7,0	0,79	4,15	11,15	1
	AW2114A	19	1,7	8	25	8	15	25	350,00	75,16	0,25	18,8		3,93	22,72	1
	AW2118A	21	0,8	8	25	8	15	30	420,00	32,00	0,25	8,0		3,56	11,56	1
	AW2119A	19	1	8	25	8	15	30	420,00	44,21	0,25	11,1		3,93	14,98	1
	AW2120A	19	1,7	8	25	8	15	30	420,00	75,16	0,25	18,8		3,93	22,72	1
	AW2123A	20	1,4	8	25	8	15	35	490,00	58,80	0,25	14,7		3,73	18,43	1
	AW2124A	19	1,7	8	25	8	15	35	490,00	75,16	0,25	18,8		3,93	22,72	1
	AW2129A	19	2	8	25	8	15	20	280,00	88,42	0,25	22,1		3,93	26,04	1
	AW2130A	19	1,7	8	25	8	15	10	140,00	75,16	0,25	18,8		3,93	22,72	1
	AW2133A	18	1,9	8	25	8	15	20	280,00	88,67	0,25	22,2		4,15	26,31	1
	AW2134A	19	2	8	25	8	15	20	280,00	88,42	0,25	22,1		3,93	26,04	1
	AW2222A	24	2,1	8	25	8	15	10	140,00	73,50	0,25	18,4		3,11	21,49	1
	AW3105A	20	2	8	25	8	15	20	280,00	84,00	0,25	21,0		3,73	24,73	1

Tableau 2 : Tableau de bord pour les deux fours MOC et le four FMT

Les données au dessus m'ont permis aussi de calculer les temps nécessaires pour qu'un four soit complètement **vide** ou **plein**, ce qu'on appelle aussi le *temps de passage*, c'est une information importante pour effectuer des relevés en fonctionnement normal. « Tableau complet dans les ANNEXES »

*Exemple :*

Type de Four	Code article	Cad (min)	Nbr de Nac	Nbr de (nac/h)	Charge (Kg)	Temps de passage (h)	Tps de conso avec NV	stœchiométrie m <sup>3</sup> /kg entrée	besoin stœchiométrie m <sup>3</sup> /h
MOC	AW3101A	80	13	0,75	6	17,3	8,7	0,25	1,13
	AW3102A	80	13	0,75	6	17,3	8,7	0,25	1,13
	AW4106A	80	13	0,75	6	17,3	8,7	0,25	1,13
FMT	AW2110A	18	378	3,33	0,6	8,1	4,1	0,25	7,00
	AW2114A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2118A	21	378	2,86	0,8	9,5	4,7	0,25	8,00
	AW2119A	19	378	3,16	1	8,6	4,3	0,25	11,05
	AW2120A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2123A	20	378	3,00	1,4	9,0	4,5	0,25	14,70
	AW2124A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2129A	19	378	3,16	2	8,6	4,3	0,25	22,11
	AW2130A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2133A	18	378	3,33	1,9	8,1	4,1	0,25	22,17
	AW2134A	19	378	3,16	2	8,6	4,3	0,25	22,11
	AW2222A	24	378	2,50	2,1	10,8	5,4	0,25	18,38
	AW3105A	20	378	3,00	2	9,0	4,5	0,25	21,00

Tableau 3 : Tableau de calcul de temps nécessaire pour vider ou remplir MOC et FMT

- *Ecart de consommation H<sub>2</sub> :*

L'écart calculé correspond à la différence entre la consommation théorique, et la consommation réelle.

La difficulté qui s'est présentée à ce niveau c'est qu'on ne dispose pas d'une indication pour les débits de retour H<sub>2</sub> des fours, car H<sub>2</sub> recyclé est toujours chargé d'eau et d'azote, et par la suite les indications des débitmètres seront sûrement faussées.

En effet, pour calculer l'écart de consommation, je me suis basé sur les données suivantes :

- **N** = L'apport H<sub>2</sub> dans le circuit pour compenser ce que les installations ont consommé en H<sub>2</sub> normal pour la réduction des poudres ;



- **P** = Alimentation en H<sub>2</sub> pur pour les installations qui consomment H<sub>2</sub> pur (four CREMER + fours CARBEL + Fours CERMEP);
- **H** = La hauteur du Gazomètre;
- **CN** = Consommation théorique H<sub>2</sub> Normal ;
- **CP** = Consommation théorique H<sub>2</sub> Pur ;

On distingue deux cas de figure :

✓ Lorsqu'on fabrique KEEN2 0 (Alimentation H<sub>2</sub> pur) :

$$N_{th} = N \text{ Théorique (Apport)} = (CP+CN) - P$$

$$L'écart = (N - N_{th}) + (H_{t-1} - H_t) * 100 ; (1 \text{ mètre de GAZO} = 100 \text{ m}^3)$$

✓ Lorsqu'on fabrique NI2800 ou MI7500 (Alimentation H<sub>2</sub> Normal) :

Dans ce cas on ne tient pas en compte les installations qui tournent en H<sub>2</sub> pur car les quantités ne sont pas grandes et en plus non-recyclées.

$$L'écart = (N + (H_{t-1} - H_t) * 100) - CN$$

Remarque1 :

Correction de la hauteur du GAZOMETRE :

Le volume de H<sub>2</sub> est proportionnel à la température du GAZO (T= température exprimée en Kelvin).

$$V \propto t$$

$$V = k t \rightarrow V/t = k$$

Lorsque la température augmente → le volume H<sub>2</sub> augmente

Remarque2 :



Les mesures pour  $H_2$  doivent se faire aux moments où le fonctionnement des installations est considéré normal, autrement dit, aux moments où les fours sont complètement pleins ou complètement vides; cela a rendu cette étape difficile pour les raisons suivantes :

- Les changements fréquents des lots ;
- Les micros arrêts ;
- Les purges de gazomètre ;
- Les interventions qui exigent une purge → Lancement des nacelles vides ;
- Nacelles en double réduction → Moins d' $H_2$  consommé → Mesures Erronées.

Remarque 3:

Pour le moment on n'a pas pris l'alimentation en  $H_2$  pur pour les raisons suivantes :

- Mise-à-part le CREMER, toutes les installations qui consomment  $H_2$  pur l'envoient au toit ;
- Les alimentations en  $H_2$  pur sont les plus faibles ; (Voir le graphe secteurs des alimentations hydrogène) ;
- Il n'y a pas de débitmètre, pour l'alimentation  $H_2$  pur tout seul, par contre il y en a un pour l'ensemble  $H_2$  pur et  $H_2$  normal (le pur qui compense le normal) à 3 bars, en outre la valeur indiquée est erronée (débitmètre n'est pas étalonné).

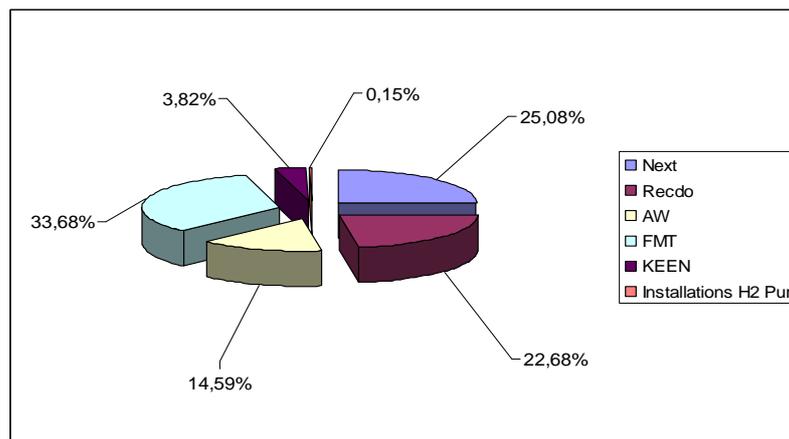


Figure 2 : Répartition des alimentations par atelier

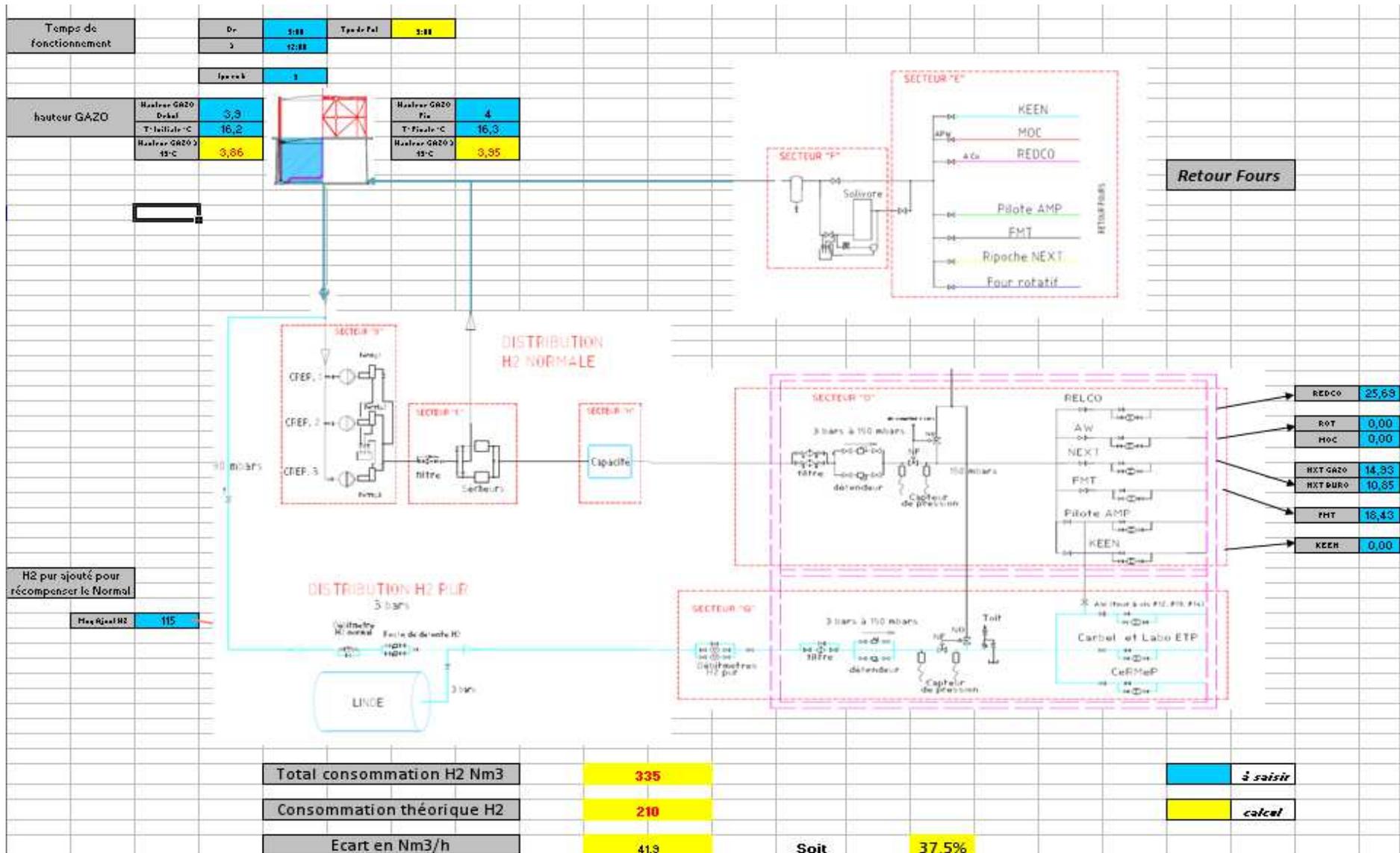
Calcul d'écart consommation  $H_2$ :

Pour faciliter le calcul de l'écart de consommation aux techniciens, j'ai élaboré une simulation (EXCEL), qui calcul l'écart en se basant sur les formules trouvées.





*Simulation sous EXCEL :*





Exemple de tableau récapitulatif pour une période de mesure :

12-avr																		
Moy Ajout H2	De	à	Tps de Fot	tps en h	Hauteur GAZO Debut	T° Initiale °C	Hauteur GAZO à 13°C	Hauteur GAZO Fin	T° Finale °C	Hauteur GAZO à 13°C	Conso Th H2 m3/h fot normal	Les fours en marche (H2 Normal)	Conso Th m3	Conso th total m3	Conso Réelle H2 Normal m3	Ecart m3	Ecart m3/h	Remarques
200	0:00	3:00	3:00	3,00	4,20	18,9	4,12	4,00	17,9	3,93	14,93	NXT GAZO	44,78	480,0	618,2	138,2	46,1	
				3,00							9,16	NXT BURO	27,48					
				3,00							16,51	Co	49,53					
				3,00							90,00	KEEN	270,00					
				3,00							26,04	FMT	78,12					
				3,00							0,00	ROT	0,00					
				3,00							3,38	MDC	10,14					
				3,00														
187	6:00	10:00	4:00	4,00	4,40	17,6	4,33	3,70	18,3	3,63	14,93	NXT GAZO	59,70	640,1	817,8	177,7	44,4	
				4,00							9,16	NXT BURO	36,64					
				4,00							16,51	Co	66,04					
				4,00							90,00	KEEN	360,00					
				4,00							26,04	FMT	104,16					
				4,00							0,00	ROT	0,00					
				4,00							3,38	MDC	13,52					
				4,00														
186	10:00	13:00	3:00	3,00	3,70	18,3	3,63	4,40	18,3	4,32	14,93	NXT GAZO	44,78	401,9	489,3	87,3	29,1	
				3,00							9,16	NXT BURO	27,48					
				3,00							16,51	Co	49,53					
				3,00							90,00	KEEN	270,00					
				3,00							0,00	FMT	0,00					
				3,00							0,00	ROT	0,00					
				3,00							3,38	MDC	10,14					
				3,00														
																	Arret FMT	



**Utilité de cet outil :**

La méthode de calcul précédente permet de :

- ✓ Déterminer l'écart en  $\text{Nm}^3/\text{h}$  pour une configuration de marche ;
  - ✓ Contrôler en temps réelle les consommations et par la suite les surconsommations.
  - ✓ Réagir rapidement lorsqu'il s'agit d'une surconsommation importante ;
  - ✓ Savoir si le KEEN est alimenté avec le  $\text{H}_2$  Normal ou  $\text{H}_2$  Pur ;
- ✓ En faisant le maximum des relevées et calculs, on peut savoir combien on perd sur chaque ligne pour localiser les fuites.

**Ecart consommation  $\text{H}_2$  global :**

Après avoir déterminé les pertes  $\text{H}_2$  en fonctionnement normal, il serait intéressant de déterminer l'écart de la consommation par rapport aux quantités fabriquées de poudres sur une période donnée.

Pour cela j'ai élaboré un autre fichier sous EXCEL (Tableau complet dans les ANNEXES) qui nous permet de calculer les consommations théoriques en fonction de la quantité de poudres fabriquées. Les données prises en compte sont les suivantes :

- Les productions de chaque jour en Kg ;
- Les consommations Théoriques en  $\text{m}^3/\text{kg}$  ;
- Les taux de transformations pour déterminer les débits matières entrés ;
- Les charges des nacelles pour déterminer les pertes des SAS en  $\text{Nm}^3/\text{Nacelle}$  ;
- L'apport  $\text{H}_2$  normal en  $\text{Nm}^3/\text{J}$  ;
- Compteur de Four CREMER (KEEN) Lorsqu'on fabrique « KEEN 20 » ;
- La hauteur du gazomètre au début et à la fin de la semaine.



Exemple :

Type de Four	Code article	Charge (Kg)	Pertes H2 entrée/sortie Nm3/Nacelle	stoechiometrie m3/kg entrée	Taux de transformation	Prod	Entrée	Calcul Conso th m3
MOC	Aw3101A	6	0,75	0,25	0,79		0	0,00
	Aw3102A	6	0,75	0,25		2255	2854	1070,41
	Aw4106A	6	0,75	0,25			0	0,00
FMT à x par 14 tubes	Aw2110A	0,6	0,09	0,25	0,79		0	0,00
	Aw2114A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2118A	0,8	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2119A	1	0,09	0,25		1124	1423	482,17
	Aw2120A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2123A	1,4	0,09	0,25		2995	3791	1188,49
	Aw2124A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2129A	2	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2130A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2133A	1,9	0,09	0,25			0	0,00
	Aw2134A	2	0,09	0,25			0	0,00
Aw2222A	2,1	0,09	0,25		0	0,00		
Aw3105A	2	0,09	0,25		0	0,00		
ROTATIF	Aw1104A		0,00	0,25	0,79		0	0,00
	Aw1106A		0,00	0,25			0	0,00
	Aw2016A		0,00	0,25		2871	3634	908,54
	Aw2101A		0,00	0,25			0	0,00
	Aw2105A		0,00	0,25		2120	2684	670,89
	Aw2106A		0,00	0,25			0	0,00
	Aw2112A		0,00	0,25			0	0,00
	Aw2115A		0,00	0,25			0	0,00
	Aw2117A		0,00	0,25			0	0,00
Aw2127A		0,00	0,25		0	0,00		
NEXT	NXT100A	6	0,25	0,29	0,71	4485	6317	2095,11
	NXT100B	6	0,25	0,29	0,71	1722	2425	804,41
	NXT100C	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT100D	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT100E	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT200A	6	0,25	0,26	0,74		0	0,00
	NXT200B	6	0,25	0,26	0,74		0	0,00
	NXT300A	6	0,25	0,32	0,68		0	0,00
	NXT900A	6	0,25	0,34	0,72	1254	1742	664,74
KB10	6	0,25	0,32	0,68		0	0,00	
KEEN	Keen20A	6	0,25	0,40	0,60	745	1242	548,40
	M17500	2,5	0,25	90,00	0,63		0	0,00
		2,5		90,00	0,43		0	0,00
	N12800A/B/C	4	0,25	90,00	0,43		0	0,00
RELCO	CD6004	8	0,17	0,22	0,63		0	0,00
	CD6101A	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6101C	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6102	8	0,17	0,22		5982	9495	2286,77
	CD6103A	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6103D	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6104A/B	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6104C	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6104D	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6105	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6106	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6108	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6109B	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD6124	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD7106A	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD7106B	8	0,17	0,22			0	0,00
	CD7106C	8	0,17	0,22			0	0,00
CD7109A	8	0,17	0,22		0	0,00		
CD7109B	8	0,17	0,22		0	0,00		

Conso Th m3	10720
Prod poudre Kg	25553



Tableau de calcul consommation/Production pour MOC et FMT

Remarque1 : Les relevés effectués sur une période d'au moins 7 jours, pour que les calculs soient plus authentiques.

Remarque2 : Ce n'est pas important de faire une correction de la hauteur du gazomètre vu que les relevés des hauteurs sont faits à minuit (Température entre 12°C et 13°C pour la période investiguée).

Exemple :

**1 Fév. ==> 7Fev**

Date	Hauteur GAZO	Conso m <sup>3</sup> /j Normal Nm <sup>3</sup>	Alim KEEN pur Nm <sup>3</sup>	Conso total Nm <sup>3</sup>
01-févr-11	5,1	806	0	806
02-févr-11		1144	0	1144
03-févr-11		1768	0	1768
04-févr-11		2790	0	2790
05-févr-11		1536	1875	3411
06-févr-11		1497	1970	3467
07-févr-11	4,8	1499	2020	3519

<b>Total</b>	<b>16934</b>	
<b>Conso th</b>	<b>10720</b>	
<b>Ecart m<sup>3</sup></b>	<b>6214</b>	<b>37%</b>

Tableau 4 : Tableau de consommation H<sub>2</sub> pour une semaine

Conclusion :

En se basant sur les outils précédemment préparés, j'ai pu déterminer les écarts de consommation H<sub>2</sub> pour les deux mois février et mars :

	1 - 7 Fev	8 - 14 Fev	15- 21 Fev	22- 28 Fev	1-7 mars	8- 15 mars	16 - 22 mars	23 - 29 mars
Conso Théorique	10720	12163	11739	11511	11477	13967	13139	16988
Ecart Conso	6214	3836	4260	6212	5165	13516	8513	6032
% Ecart	37%	24%	27%	35%	31%	49%	39%	26%

Tableau 5 : Tableau des consommations H<sub>2</sub> pour le mois de février et Mars

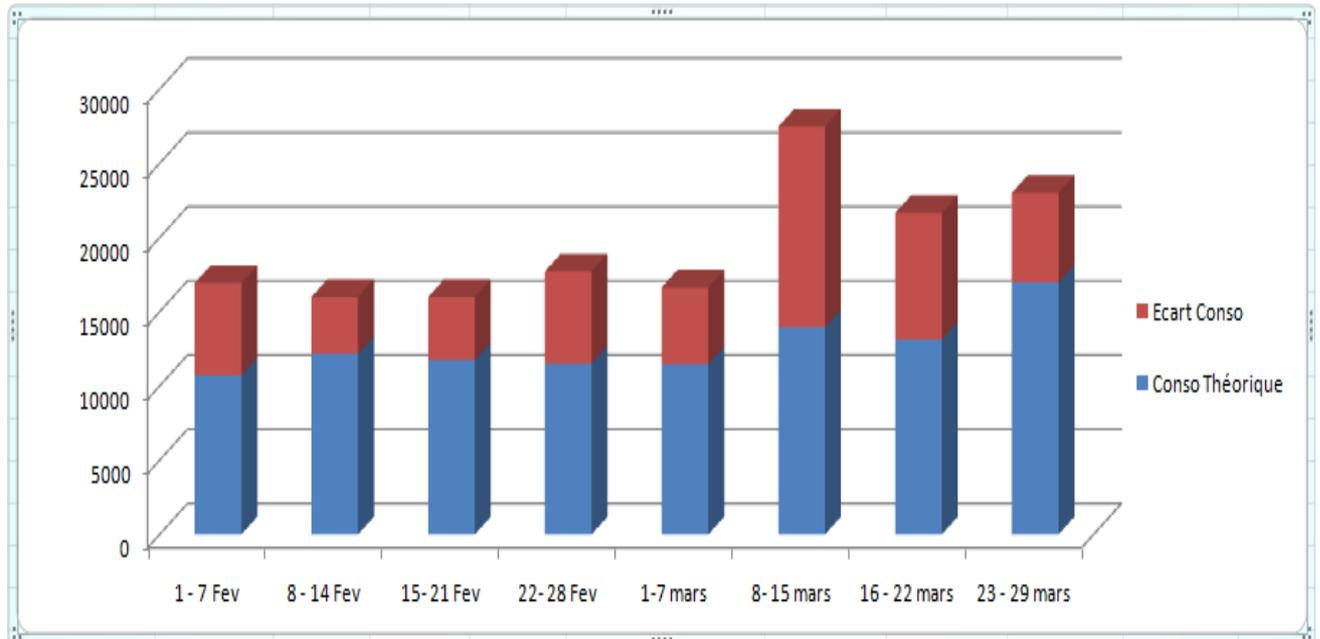


Figure 3 : Histogramme des écarts de consommation H<sub>2</sub> global

On constate clairement qu'il y a des écarts de consommation H<sub>2</sub> remarquables, et qui sont parfois impressionnantes (49% d'écart entre le 8 mars et 15 mars).

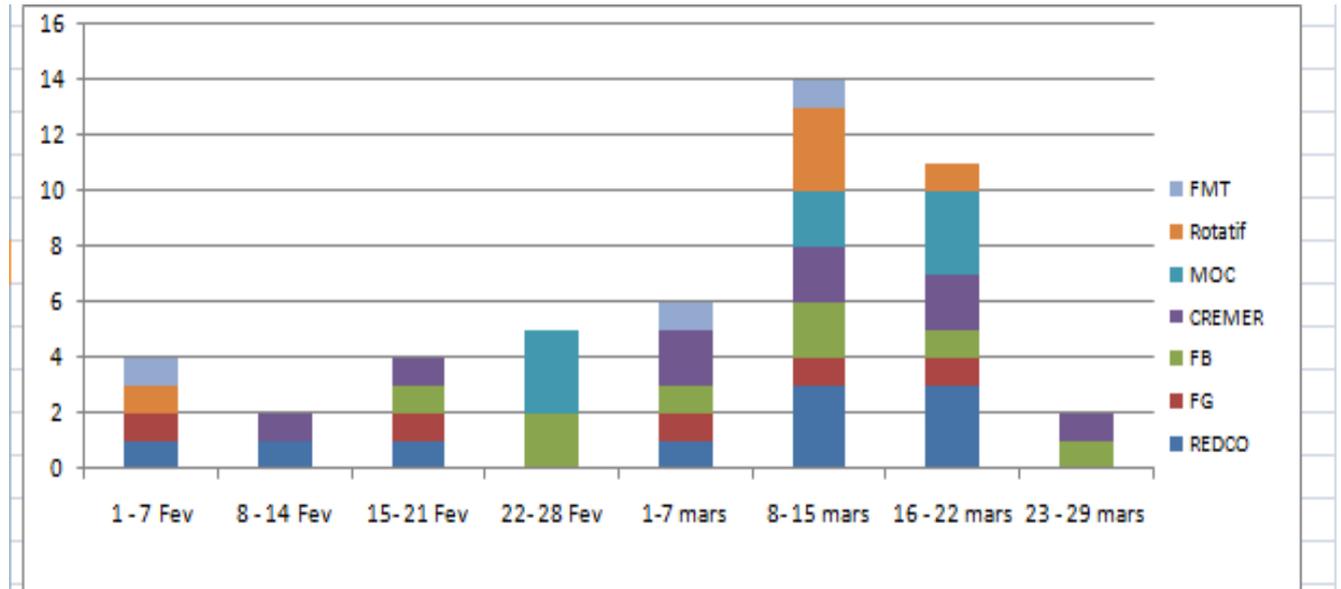
### 3.1.2) Etape 2 : (Analyses et Interprétations)

#### A) Ecart Global :

Pour bien interpréter, l'histogramme des écarts de consommation globale, j'ai examiné les consignes des CDP (chef de poste) pour ces périodes dans le but d'avoir une idée sur l'historique des interventions, le tableau suivant représente le nombre de purges pour les différents fours pour la période février & mars :

	1 - 7 Fev	8 - 14 Fev	15- 21 Fev	22- 28 Fev	1-7 mars	8- 15 mars	16 - 22 mars	23 - 29 mars
REDCO	1	1	1		1	3	3	
FG	1		1		1	1	1	
FB			1	2	1	2	1	1
CREMER		1	1		2	2	2	1
MOC				3		2	3	
Rotatif	1					3	1	
FMT	1				1	1		

Tableau 6 : Tableau des purges par semaine



*Figures 4 : Histogramme des purges par semaines*

On constate clairement que les écarts varient de la même manière que les purges → les purges ont une influence importante sur la consommation H<sub>2</sub>. Afin de déterminer les pertes H<sub>2</sub> lorsqu'on fait une purge pour un four.

Remarque :

Parfois les micros arrêts ne sont pas tous mentionnés sur les consignes, alors que la perte en H<sub>2</sub> est la même.

Recommandations :

- ✓ Déterminer le volume des moufles des fours pour déterminer la quantité H<sub>2</sub> nécessaire pour démarrer un four après la purge.
- ✓ Faire un suivi des purges pour identifier les problèmes les plus critiques qui peuvent causer une purge d'un four puis procéder à leur élimination.
- ✓ Porter plus d'intérêt à la prévention afin d'éviter les arrêts non planifiés.



B) Ecart en fonctionnement normal :

L'analyse des relevés effectués pour H<sub>2</sub> en fonctionnement normal a donné les interprétations suivantes :

- ✚ L'écart entre la consommation théorique et réelle, vari entre 9 et 56 m<sup>3</sup>/h ; selon les configurations de marche et selon les fours en service ;
- ✚ Une partie des pertes sont dues aux fuites de la tuyauterie ;
- ✚ Une intervention de maintenance permet d'être plus proche de la consommation théorique (éradiquer les fuites internes des fours) ; cas du four rotatif.
- ✚ Des pertes sont parfois dues à des vannes ouvertes qui n'alimentent aucune installation (cas de l'atelier AW) ;
- ✚ L'écart dépend aussi de la température extérieure (dilatation des conduites) ;
- ✚ Un écart important sur le four FMT environ 20 Nm<sup>3</sup>/h.

Remarque :

- L'épreuve de la tuyauterie se fait à l'eau, sachant que l'eau fuit moins que les autres gaz et notamment l'hydrogène.
- L'épreuve de la tuyauterie se fait en été (température élevée) → moins de fuites détectée au niveau des jonctions à cause de la dilatation.

Suggestions :

- ✓ Plus d'attention pendant la vérification de la tuyauterie
- ✓ Effectuer le maximum de relevés pour des différentes configurations de marche ;
- ✓ Une bonne planification des interventions maintenance pour les installations qui peuvent engendrer une surconsommation, par exemple :
  - Four rotatif qui fuit au niveau des disques en graphite
  - Les portes FMT (joints d'étanchéité)



### 3.2) Azote :

L'azote représente 6 % de la consommation globale des énergies fluide de l'usine, en effet c'est une énergie dont les indicateurs et les points de mesure sont moins contrôlables que l'hydrogène.

#### 3.2.1) Etape 1 : (Visites, Suivis et relevés)

Pour l'azote, on constate qu'il n'y a pas de consommation théorique, parce qu'il ne s'agit pas d'une réaction chimique.

L'azote est utilisé essentiellement dans :

➤ Les fours ➔ évacuer l'hydrogène dans les sas de chargement et déchargement ou pour les purges fours ;

- Les broyeurs
  - Les réacteurs
  - Les granulateurs
  - Les filtres / Sécheurs
  - Les mélangeurs
- } ➔ Inertage des poudres

Le suivi de la consommation N<sub>2</sub>, a donné L'histogramme suivant :

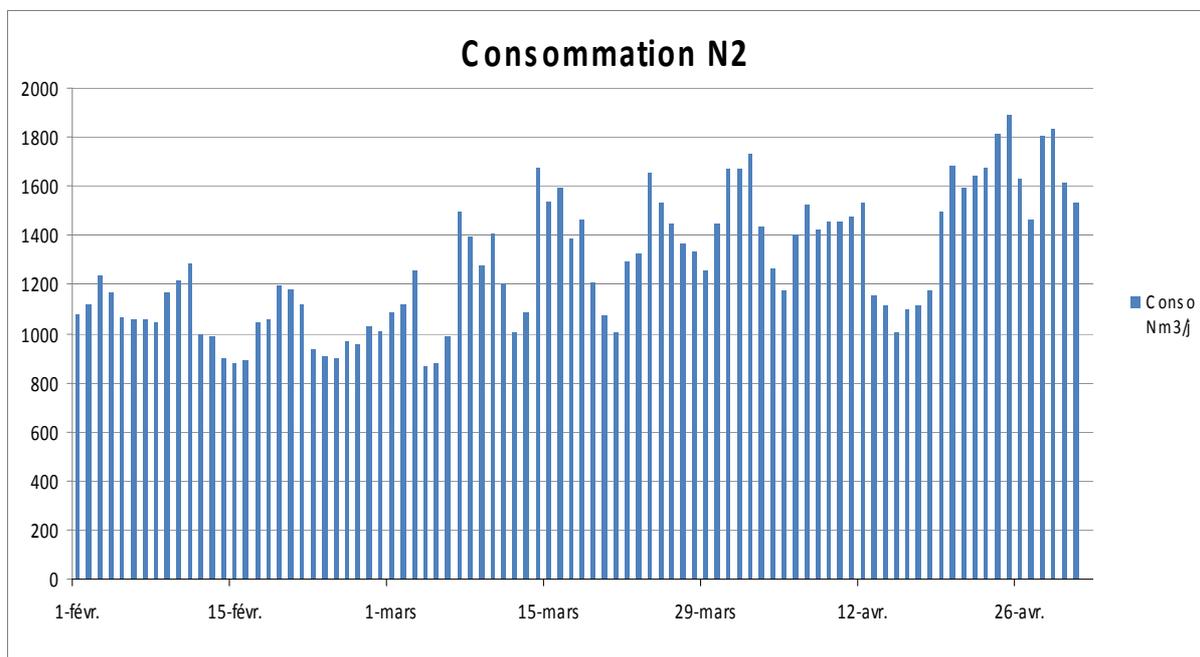


Figure 5 : Histogramme de consommation journalière d'azote

#### 3.2.2) Etape 2 : (Interprétations et Analyses)

On constate que sur une période de 3 mois la consommation d'azote n'a cessé d'augmenter (30 %), parce que les circuits azote ont subi des modifications, ce qui a conduit à une consommation d'azote moins contrôlable.



Le suivi des valeurs maximale de consommation journalière d'azote ont montré qu'il s'agit des installations qui consomment de l'azote sans aucune indication sur le débit (FMT, MOC et ROTATIF).

En outre, les visites et les observations des installations ont dévoilé que pour l'azote :

- Absence des débitmètres pour certains branchements ;
- Valeurs des consignes qui ne sont pas claires pour toutes les installations ;
- Difficulté de lecture pour quelques points de mesure.

Pour cela un audit global de toutes les installations qui consomment  $N_2$  était nécessaire à fin de bien maîtriser les consommations de chaque secteur.

❖ Audit Azote :

La diversité des utilisations et des prises d'azote dans l'usine implique principalement qu'il est indispensable de mettre en œuvre une analyse initiale qui permettra de recenser toutes les consommations d'azote actuelles par atelier.

Pour faire un audit complet de toute l'usine, il fallait repérer tous les installations qui consomment de l'azote en se basant sur le plan de la tuyauterie (Voir ANNEXES), ainsi que les visites et les observations des techniciens.

Oui	Présence d'un débitmètre
	Difficulté de lecture ou débitmètre défectueux
Non	Pas de débitmètre installé
	Pas de débitmètre installé pour le décolmatage des filtres pour les broyeurs



Atelier	Installation			Pression (bar)	Consom m3/h	Durée d'alim (s)	DM	Remarques	
NEXT	BUREAU	SAS	entrée		20	65	Oui	Difficulté de lecture ==> nettoyage DM	
			Sortie		25	107	Oui		
		Four					Continue		Oui
	GAZO	SAS	entrée		20	65	Oui		
			Sortie		25	107	Oui		
		Four					Continue		Oui
	Broyeur 100/200	Filtre broyeur 100/200	Conduite	4	7,5	Continue	Oui	Alim par la conduite sortie filtre ( Attention ne pas compter ce DM )	
			Décol. Filtre	4		Discontinue			
		Panoplée broyeur 100/200	Trémie Alim		1,5	Continue	Oui		
			Haut	2	0,6	Continue	Oui		
			Sélecteur	2	0,7	Continue	Oui		
			Bas	2	4,75	Continue	Oui		
	Broyeur 300/900	Filtre broyeur 300/900	Conduite	5	Défect	Continue	Oui	DM Défectueux , Bloqué à + 12Nm3/h	
			Décol. Filtre	0		Discontinue			
		Panoplée broyeur 300/900	Trémie Alim		1,5	Continue	Oui	Alim par la conduite sortie filtre ( Attention ne pas compter ce DM )	
			Haut	2		Continue	Oui		
			Sélecteur	2	0,7	Continue	Oui		
			Bas	2	4,5	Continue	Oui		
CUVE 4904				4,5	Continue	Oui	Indication + 0,25 Nm3/h ==> Un DM à calibre plus grand		
				0,25	Continue	Oui			
Cobalt	REDO	four				Continue	Oui		
		SAS	entrée		30	20	Oui		
	Sortie			30	20	Oui			
	Broyeur	Panoplée broyeur	Haut	2		Continue	Non		DM Non utilisé au niveau de la prise N2 Emoteur vis
			Sélecteur	2	0,6	Continue	Oui		
			Bas	2	1,5	Continue	Oui		
			Vis	2	0,7		Oui		
		Filtre	Décol. Filtre			Discontinue			
			Conduite			Continue	Oui		
	Réacteur	R1				Continue	Oui		
		R2				Continue	Oui		

*Une partie d'audit réalisé pour les installations consommatrice d'azote*



### 3.3) L'eau Industrielle :

Elle représente 6% de la consommation globale de l'usine, elle est utilisée essentiellement pour la fabrication de l'eau déminéralisée et le refroidissement des installations ; elle est toujours recyclée pour le refroidissement sauf dans les fours Carbel.

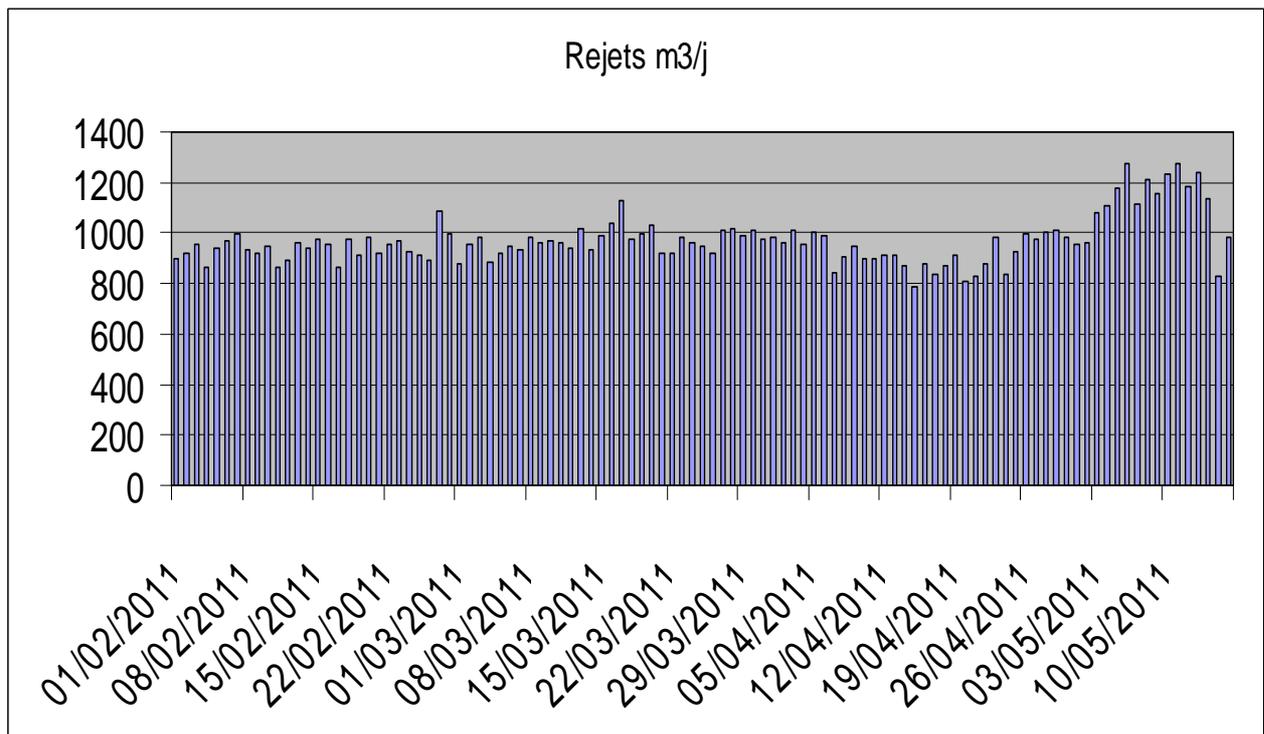
L'eau industrielle sert aussi au lavage d'hydrogène sorti des fours, dans ce cas elle est envoyée aux égouts.

#### 3.3.1) Etape 1 : (Visites, Suivis et relevés)

Les visites et les relevés effectués pour l'eau industrielle ont montré :

- Manque d'outil de mesure pour quelques installations ;
- Une surconsommation (Ecart entre la consommation réelle et les consignes) ;
- Des installations Sous air, alimenté au même débit qu'en fonctionnement normal.

L'histogramme suivant représente la quantité d'eau envoyée aux rejets, qui correspond à la consommation journalière en eau industrielle :



Histogramme des consommations journalières EI du 1 fév. au 17 mai

Remarque : Les rejets regroupent aussi l'eau de ville pour la consommation quotidienne, qui est négligeable devant la consommation d'eau industrielle.



Le tableau suivant représente les mesures effectuées pour les installations qui consomment de l'eau industrielle et qui l'envoient aux égouts :

Atelier	Code	Machine	Origine	Débit m3/h Th	Outil de mesure	Débit m3/h Réel	Ecart Conso m3/h
NEXT	5043	FOUR GAZO	RECYCLEE	0,5	DM	0,75	0,25
	5042	FOUR BUR	RECYCLEE	0,5	DM	0,75	0,25
AW	4188	FMT	RECYCLEE	1,5	2DM	2,35	0,85
	3273	MOC1	RECYCLEE	0,3	DM	0,725	0,425
	3274	MOC2	RECYCLEE	0,3		***	
	7976	ROTATIF	RECYCLEE	1,5	3DM	1,5	0
CO	4123	RELCO	RECYCLEE	1,5	DM	1,5	0
CW	4222	CARBEL 1	RESEAU	0,75	**	0,35	-0,4
	4223	CARBEL 2	RESEAU	0,75	**	***	
KEEN		CREMER	RECYCLEE		DM	0,65	
FLUIDES	7195	SOLIVORE	RECYCLEE	9,5	2DM	9,5	0
	7460	COLAG	RECYCLEE	0,2	DM	0,55	0,35
EAU DEMINERALISEE ECA			RESEAU	10	Cpt	12	2
GRANULATION		Granulateur 1	RESEAU	2		***	
		Séchage 1	RESEAU		DM	0,25	
		Granulateur 2	RESEAU	2		***	
		Séchage 2	RESEAU		DM	0,25	
<b>PERTES m3/h</b>				<b>3,725</b>			
<b>Conso Th m3/h</b>				<b>31,3</b>			
				<b>10.64%</b>			

**Tableau 7 : DEBIT EAU INDUSTRIELLE DESTINATION EGOUTS**

### 3.3.2) Etape 2 : (Interprétations)

On constate que la consommation actuelle d'eau d'industrielle est d'environ **950 m<sup>3</sup>/jour**, alors que la consommation théorique est d'environ **760 m<sup>3</sup>/j** soit **20%** d'écart.

Cela est essentiellement dû à l'adaptation des débitmètres aux valeurs de consigne, ou à des alimentations sans indication de débit consommé.

### 4) Classification des causes :



Il s'agit de classer les causes, « citées précédemment » et d'y ajouter d'autres qui empêchent la bonne maîtrise de la consommation. Pour cela le diagramme causes-effet ou diagramme d'Ishikawa ou aussi diagramme en arêtes de poisson est d'une grande utilité.

C'est un outil qui permet de visualiser de façon simple l'ensemble des causes potentielles concernant le constat d'un effet, la visualisation des données, sur un seul diagramme, permet l'étude des relations qui existent entre un effet et ses causes présumées regroupées en famille.

Il consiste à chercher les causes dans les 5M:

Main-d'œuvre : Tout le personnel de toute activité.

Milieu : Climat et changement de température extérieure ....

Méthode : Procédures, documents, décisions, organisation...

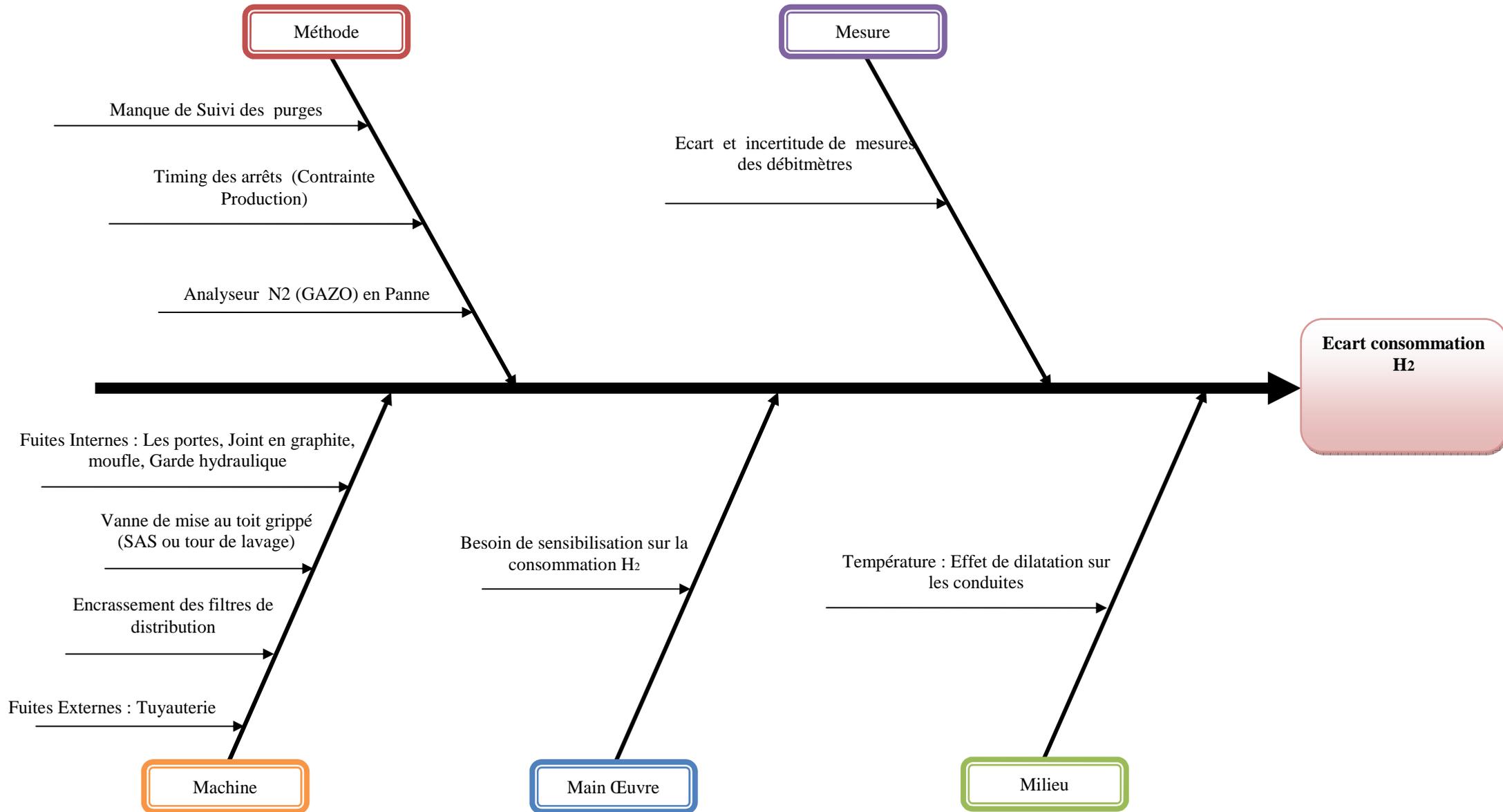
Machine : Machines, outillages...

Mesure : Instrumentation et mesure ....

Cette étude va être utilisée pour mieux orienter les choix et les décisions qui vont être prises dans la troisième partie en vue de maîtriser la consommation d'hydrogène, d'azote, et d'eau industrielle.



***Diagramme d'Ishikawa des causes responsables de la surconsommation H<sub>2</sub> :***





# Chapitre 3:

# LEVIERS DE MAITRISE

# DE LA CONSOMMATION

# DES ENERGIES FLUIDES



La suite de l'étude consiste à déterminer le plan d'actions à mettre en œuvre, afin d'assurer une optimisation du point de vue maîtrise de la consommation des énergies fluides, et par la suite mieux se positionner dans un marché concurrentiel de plus en plus serré.

L'ensemble de ce plan réside en une multitude d'actions pour contrôler à la fois l'excès ou le manque de consommation d'une manière considérable. Cependant on a constaté que ces actions ne sont pas toujours faciles à réaliser compte tenu des « exigences de la production »

Le plan se divise en quatre grands axes :

- ✚ Méthode de travail ;
- ✚ Vérification des alimentations et points de mesures ;
- ✚ Surveillance et correction des dérives ;
- ✚ Optimisation des purges pour les fours et Gazomètre.

### **1) Méthode de travail :**

#### **1.1) Plan d'action :**

Etablir un plan d'action précis pour les causes critiques qui empêchent la maîtrise de la consommation des énergies fluides :

Définir pour chaque action :

- ✓ Le responsable
- ✓ Les objectifs chiffrés.
- ✓ Les moyens.
- ✓ Les détails.

#### **1.2) Créer une animation :**

Les visites et les points effectués avec le personnel ont montré que les actions suivantes sont intéressantes :

- ✓ Sensibilisation du personnel ;
- ✓ Signalisation dans la salle de supervision : Prix unitaire de l'énergie ainsi que les consommations mensuelles et hebdomadaires ;
- ✓ Accentuer les suivis de consommations.

#### **1.3) Budget prévu :**

Etablir des budgets prévus H2, plus précis que ce qui existe actuellement, pour chaque quantité de poudre commandée, et par la suite pour une période, afin de maîtriser de manière plus efficace les consommations. Cela en se basant sur les tableaux précédemment élaborés (ANNEXES), en tenant compte d'une part tolérable des fuites internes et externes.

### **2) Vérification des alimentations et points de mesures :**



Parce qu'il n'y a pas de progrès sans mesures, il faut accentuer les efforts sur les mesures et les relevés, pour connaître ses performances et ses écarts, et par la suite se doter d'un ensemble d'indicateurs fiables et détaillés.

*Exemple:*

Les deux tableaux suivants représentent le suivi, des alimentations des fours MOC, pour deux jours successifs :

10/04/2011			11/04/2011	
Heure	Débit Nm <sup>3</sup> /h		Heure	Débit Nm <sup>3</sup> /h
0	97		0	90
1	87		1	90
2	94		2	88
3	93		3	85
4	95		4	80
5	92		5	75
6	78		6	81
7	87		7	82
8	91		8	82
9	86		9	91
10	94		10	90
11	91		11	92
12	91		12	88
13	97		13	90
14	84		14	86
15	80		15	85
16	84		16	91
17	84		17	84
18	90		18	85
19	84		19	90
20	84		20	91
21	88		21	85
22	92		22	76
23	84		23	87

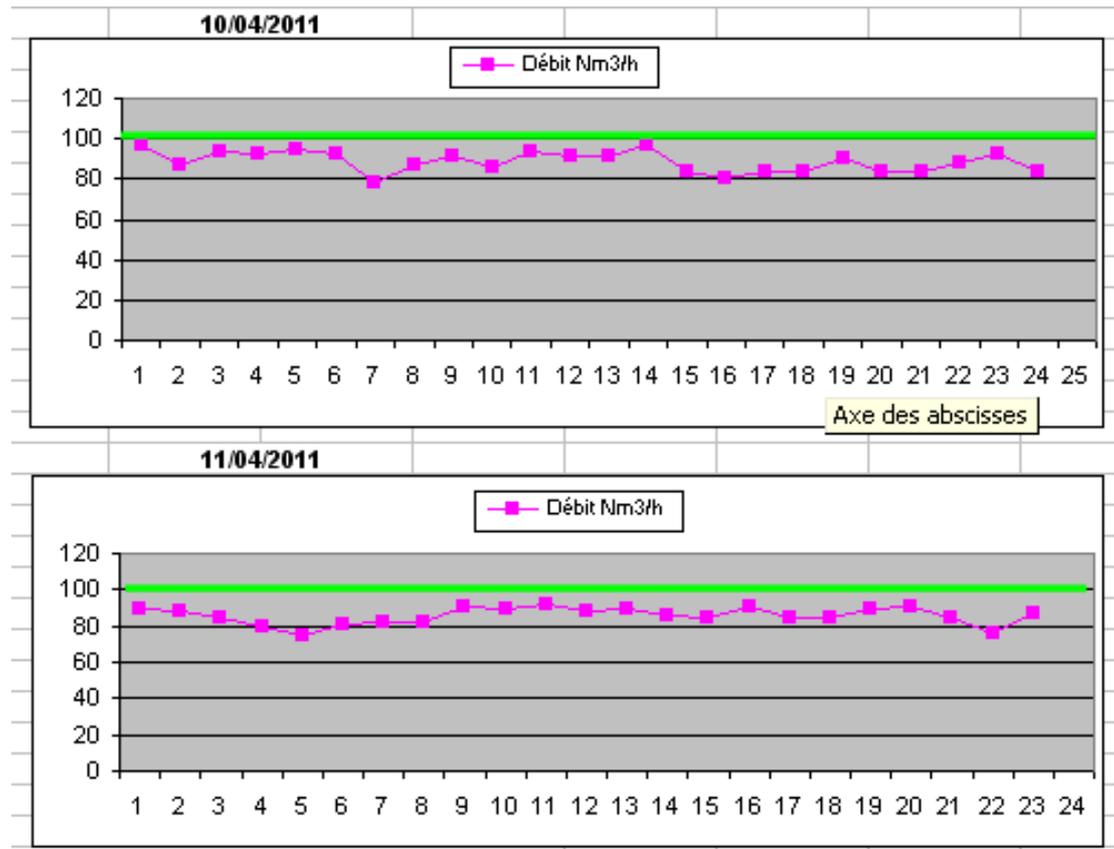


FIGURE 5 : COURBES D'ALIMENTATION H<sub>2</sub> AW (MOC)

— L'alimentation théorique des MOC  $(40+10)*2 = 100 \text{ Nm}^3/\text{h}$

*Remarque 1:* L'alimentation indiquée par les DM au niveau des fours (sur place):

Heure	10h30	11h30	13h45	14h55	15h30	16h45
MOC 1 (Nm <sup>3</sup> /h)	42 + 10	45 + 10	40 + 9.5	42+10	40+9,5	42+9,5
MOC 2 (Nm <sup>3</sup> /h)	40 + 10	42 + 10	40 + 9	44+10	40+9	40+9,5

*Remarque 2:* L'atelier AW était alimenté à  $87 \text{ Nm}^3/\text{h}$  en moyenne durant toute la journée 10/04/2011 → 13% de manque d'hydrogène.

*Remarque 3:* Produit mal réduit par les 2 fours.

✚ La régulation des capteurs sur place est primordiale puisque toute la production et les choix pris le long du processus se font en se basant sur leurs indications. Tout décalage entre les valeurs réelles et ceux indiquées dans la salle de supervision peut induire des conséquences importantes. Pour cela un entretien régulier est nécessaire pour que les indicateurs soient fiables, même si la production ne permet pas toujours d'effectuer des actions d'entretien.

✚ Pour l'eau industrielle et l'azote, comme on a constaté sur l'audit, il manque quelques points de mesure, et du coup, plusieurs inconnues sont toujours présentes ; ce qui peut empêcher la maîtrise de la consommation.



✓ Pour cela une mise en place d'un outil de mesure est essentielle pour chaque installation qui consomme de l'énergie fluide de manière continue ou discontinue ;

✓ Veillez toujours à avoir des outils de mesure dans un état propre pour faciliter la lecture aux techniciens;

✓ Veillez toujours à maintenir un réglage d'alimentation le plus proche de la consigne.

### **3) Surveillance et correction des dérives :**

#### **3.1) Les fuites internes et externes :**

Effectuer des interventions de maintenance, dont l'intérêt est de traquer les deux types de fuites suivants :

Fuites Internes : Il s'agit des pertes liées aux fours, comme des portes d'enfournement ou de défournement des nacelles qui ne sont pas suffisamment étanches et qui engendrent une perte d'hydrogène qui peut arriver à **20 Nm<sup>3</sup>/h** soit environ **40% des fuites** (le cas de FMT).

Fuite externes : Il s'agit des pertes liées à la tuyauterie, comme les fuites au niveau des jonctions qui peuvent engendrer une perte qui varie entre **15% et 30% des fuites** selon le changement thermique vécu.

#### **3.2) La chute de pression des détendeurs :**

Une surveillance des détendeurs de pression est aussi primordiale, parce qu'ils peuvent être la cause d'une autre source de perte, une diminution de pression (de 150 mbar à 100 mbar) peut augmenter le besoin pour la stœchiométrie de **0,21 à 0,22** soit entre **4% et 5% d'écart**.

La chute de pression est due à :

- ❖ Etat encrassé des filtres de distribution ;
- ❖ Etat dégradé des détendeurs.

#### Rappel :

Pour surveiller l'évolution des écarts, la méthode de calcul précédemment élaborée est d'une grande utilité, car elle permet de visualiser en temps réel les écarts pour une configuration de marche.

### **4) Optimisation des purges pour les fours et Gazomètre :**

#### **4.1) Les purges N<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> des fours:**

Une traçabilité sur les purges effectuées (H<sub>2</sub> ou N<sub>2</sub>), va nous permettre de mieux maîtriser la consommation de ces énergies, et par la suite une fiche de purge à remplir à une grande importance, pour chaque purge réalisée il faut noter :

- ❖ La date et l'heure ;
- ❖ Le technicien qui l'a effectué ;



- ❖ La cause de purge ;
- ❖ La durée de purge ;
- ❖ Le débit de purge.

Les suivis vont nous permettre de prendre la décision d'intervention sur les problèmes les plus critiques →  
Diminuer le nombre de purges.

Rappel : Un nombre élevé de purges peut engendrer un écart de consommation qui peut arriver jusqu'à 50%.

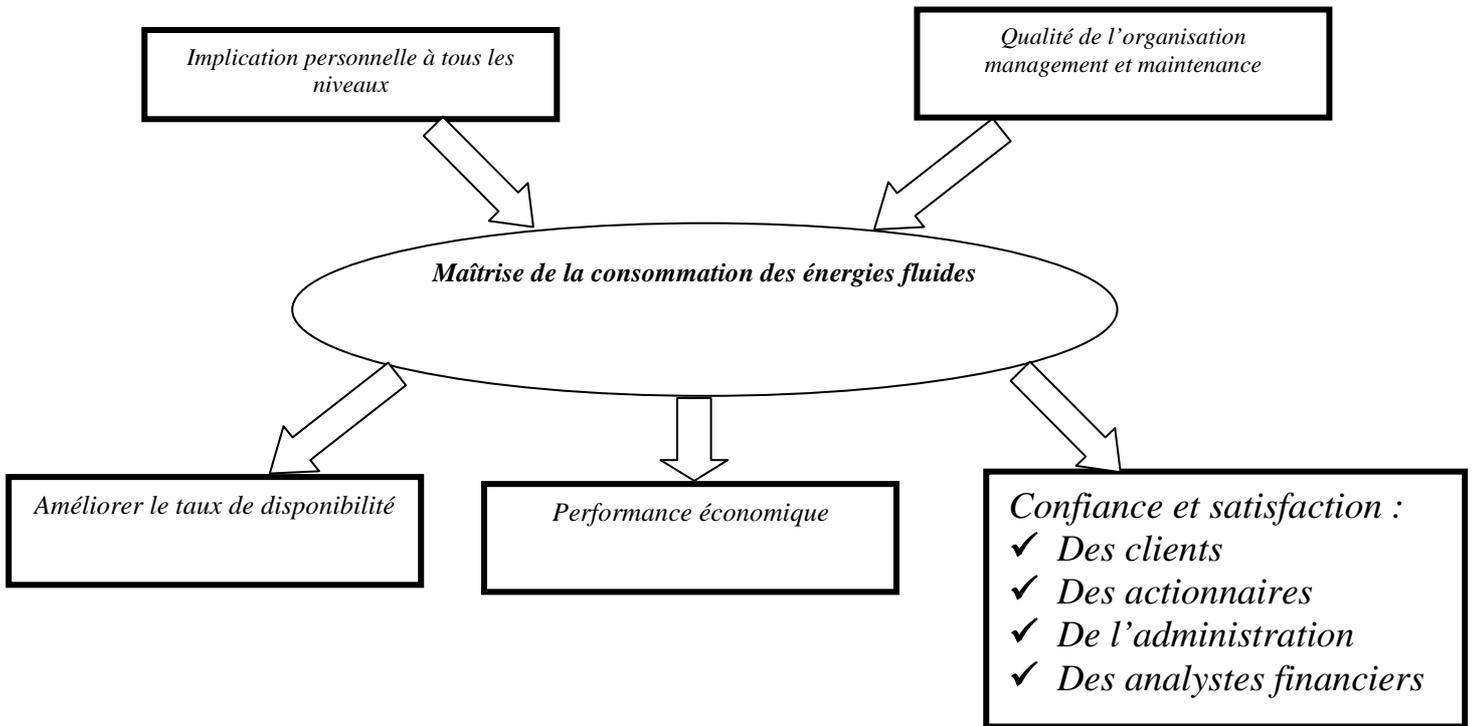
#### **4.2) Purges Gazomètre :**

L'absence de l'analyseur d'azote pour le gazomètre engendre une purge du gazomètre une fois par semaine, par mesure de sécurité, soit environ 300 Nm<sup>3</sup> d'hydrogène perdu.

La présence d'une paire d'analyseur, permet d'avoir une disponibilité totale, en effet les purges seront faites, uniquement, lorsque la teneur d'azote dans le gazomètre est de 4 %.



Conclusion :





# CONCLUSION

Toute production consiste à transformer une ou plusieurs matières premières en un produit fini. Donc, la maîtrise de la consommation du processus commence bien évidemment par la maîtrise de la mesure à chaque niveau de transformation du produit.

La présente étude m'a donc permis de comprendre le procédé de fabrication des poudres métalliques et surtout comment les énergies sont consommées, à chaque niveau du process. Ce qui m'a permis aussi d'évaluer les écarts de consommation et les causes empêchant la maîtrise de la consommation, grâce à l'application d'une multitude de méthodes et outils de calcul que j'ai élaboré durant mon stage.

Le plan d'actions établi permettra d'optimiser l'état actuel de la consommation en respectant le budget alloué, réalisant ainsi :

- ✚ Une baisse de consommation d'au moins **10%** est possible pour l'eau industrielle ;
- ✚ Une maîtrise de la mesure d'azote → Une optimisation de la consommation ;
- ✚ Une baisse de **35%** d'écart de consommation H<sub>2</sub> en limitant les pertes de l'atelier AW soit 12% de la consommation ;
- ✚ Une baisse de **15 à 30 %** d'écart de consommation H<sub>2</sub> en limitant les pertes de la tuyauterie soit au moins **5%** de consommation.

Aussi la possibilité d'optimisation existe encore dans le cas de traitement des arrêts qui causent une purge des fours, qui pourra encore réduire la consommation de l'ordre de **10%**



# ANNEXES

**Annexe 1 :** Tableau de bord des consommations théoriques :

Type de Four	Code article	Cadence en (min)	Charge (Kg)	Débit H2 entrée nacelles (Nm3/h)	Temps d'enfournement (sec)	Débit H2 sortie nacelle (Nm3/h)	Temps de defoulement (sec)	Débit H2 (Nm3/h) par tube	Débit H2 (Nm3/h)	Debit matiere entrée Kg/h	stoechiometrie m3/kg entrée	besoin stoechiometrie m3/h	Taux de transformation	Debit matiere sortie kg/h	Pertes H2 entrées sortie Nm3/h	Consommation H2 Nm3/h	Etat de marche
MOC	AW3101A	80	6	45	5	45	20	45	4,50	0,25	1,1		3,57	0,23	2,72	2	
	AW3102A	80	6	45	5	45	20	45	4,50	0,25	1,1		3,57	0,23	1,36	1	
	AW4106A	80	6	45	5	45	20	45	4,50	0,25	1,1		3,57	0,23	1,36	1	
FMT à x par 14 tubes	AW2100A	18	0,6	8	25	8	15	35	490,00	28,00	0,25	7,0	22,23	0,30	7,30	1	
	AW2114A	19	1,7	8	25	8	15	25	350,00	75,16	0,25	18,8	59,68	0,28	19,07	1	
	AW2118A	21	0,8	8	25	8	15	30	420,00	32,00	0,25	8,0	25,41	0,25	8,25	1	
	AW2119A	19	1	8	25	8	15	30	420,00	44,21	0,25	11,1	35,10	0,28	11,33	1	
	AW2120A	19	1,7	8	25	8	15	30	420,00	75,16	0,25	18,8	59,68	0,28	19,07	1	
	AW2123A	20	1,4	8	25	8	15	35	490,00	58,80	0,25	14,7	46,69	0,27	14,97	1	
	AW2124A	19	1,7	8	25	8	15	35	490,00	75,16	0,25	18,8	59,68	0,28	19,07	1	
	AW2129A	19	2	8	25	8	15	20	280,00	88,42	0,25	22,1	70,21	0,28	22,39	1	
	AW2130A	19	1,7	8	25	8	15	10	140,00	75,16	0,25	18,8	59,68	0,28	19,07	1	
	AW2133A	18	1,9	8	25	8	15	20	280,00	88,67	0,25	22,2	70,40	0,30	22,46	1	
	AW2134A	19	2	8	25	8	15	20	280,00	88,42	0,25	22,1	70,21	0,28	22,39	1	
	AW2222A	24	2,1	8	25	8	15	10	140,00	73,50	0,25	18,4	58,36	0,22	18,60	1	
	AW3105A	20	2	8	25	8	15	20	280,00	84,00	0,25	21,0	66,70	0,27	21,27	1	
				Prod kgfj				Débit H2 refroidit (Nm3/h)	Débit H2 réchauffé (Nm3/h)								
ROTATIF	AW1104A			540				40	280	320,00	27,14	0,25	6,8	22,50		6,78	1
	AW1106A			300				40	250	290,00	15,08	0,25	3,8	12,50		3,77	1
	AW2016A			1150				30	150	180,00	57,79	0,25	14,4	47,82		14,45	1
	AW2101A			640				30	280	310,00	32,16	0,25	8,0	26,67		8,04	1
	AW2105A			740				40	250	290,00	37,19	0,25	9,3	30,83		9,30	1
	AW2106A			950				40	200	240,00	47,74	0,25	11,9	39,58		11,93	1
	AW2112A			680				40	280	320,00	34,17	0,25	8,5	28,33		8,54	1
	AW2115A			1250				30	230	270,00	62,81	0,25	15,7	52,08		15,70	1
	AW2117A			1495				30	110	140,00	75,12	0,25	18,8	62,29		18,78	1
AW2127A			1250				40	170	210,00	62,81	0,25	15,7	52,08		15,70	1	
				Débit H2 sas entrée (Nm3/h)	Temps de purge sas (sec)	Débit H2 sas sortie (Nm3/h)	Temps de purge sas (sec)										
NEXT	NKT100A	8	6	20	20	20	25		190	45,00	0,29	13,05	0,71	1,88		14,93	1
	NKT100B	8	6	20	20	20	25		190	45,00	0,29	13,05	0,71	1,88		14,93	1
	NKT100C	8	6	20	20	20	25		190	45,00	0,29	13,05	0,71	1,88		14,93	1
	NKT100D	8	6	20	20	20	25		190	45,00	0,29	13,05	0,71	1,88		14,93	1
	NKT100E	8	6	20	20	20	25		190	45,00	0,29	13,05	0,71	1,88		14,93	1
	NKT200A	8	6	20	20	20	25		170	45,00	0,26	11,70	0,74	1,88		13,58	1
	NKT200B	8	6	20	20	20	25		170	45,00	0,26	11,70	0,74	1,88		13,58	1
	NKT300A	12	6	20	20	20	25		180	30,00	0,32	9,60	0,68	1,25		10,85	1
	NKT300A	15	6	20	20	20	25		170	24,00	0,34	8,16	0,72	1,00		9,16	1
	KB10	12	6	20	20	20	25		180	30,00	0,32	9,60	0,68	1,25		10,85	1
KEEN	Keen20A	30	6	20	20	20	25		80	12,00	0,40	9,60	0,60	0,50		10,10	1
	Mi7500	9	2,5	20	20	20	25		90	18,67						90,00	1
	Ni2800A/B/C	10	4	20	20	20	25		90	24,00	0,12	2,88				90,00	1
RELCO	CO6004	7	8	20	15	20	15		350	68,67	0,22	15,086		1,43		16,51	1
	CO6101A	4,2	8	20	15	20	15		350	114,29	0,22	25,143		2,38		27,52	1
	CO6101C	4,2	8	20	15	20	15		350	114,29	0,22	25,143		2,38		27,52	1
	CO6102 A/B	4	8	20	15	20	15		350	120,00	0,22	26,400		2,50		28,90	1
	CO6103A	5,8	8	20	15	20	15		350	82,76	0,22	18,207		1,72		19,93	1
	CO6103D	5,8	8	20	15	20	15		350	82,76	0,22	18,207		1,72		19,93	1
	CO6104 A/B	4,5	8	20	15	20	15		350	106,67	0,22	23,467		2,22		25,69	1
	CO6104C	4,8	8	20	15	20	15		350	100,00	0,22	22,000		2,08		24,08	1
	CO6104D	4,8	8	20	15	20	15		350	100,00	0,22	22,000		2,08		24,08	1
	CO6105	4,5	8	20	15	20	15		350	106,67	0,22	23,467	0,63	2,22		25,69	1
	CO6106	4	8	20	15	20	15		350	120,00	0,22	26,400		2,50		28,90	1
	CO6108	6	8	20	15	20	15		350	80,00	0,22	17,600		1,67		19,27	1
	CO6109B	4,8	8	20	15	20	15		350	100,00	0,22	22,000		2,08		24,08	1
	CO6124	4,6	8	20	15	20	15		350	104,35	0,22	22,957		2,17		25,13	1
	CO7106A	4,5	8	20	15	20	15		350	106,67	0,22	23,467		2,22		25,69	1
	CO7106B	6,7	8	20	15	20	15		350	71,64	0,22	15,761		1,49		17,25	1
	CO7106C	6,7	8	20	15	20	15		350	71,64	0,22	15,761		1,49		17,25	1
	CO7109A	6,7	8	20	15	20	15		350	71,64	0,22	15,761		1,49		17,25	1
	CO7109B	6,7	8	20	15	20	15		350	71,64	0,22	15,761		1,49		17,25	1

Données variables
Données fixes
Calculs
Chimie
à saisir

**Annexe 2:** Le Temps de passage et temps de consommation :



Type de Four	Code article	Cad (min)	Nbr de Nac	Nbr de (nac/h)	Charge (Kg)	Temps de passage (h)	Tps de conso avec NV	stœchiométrie m3/kg entrée	besoin stœchiométrique m3/h
MOC	AW3101A	80	13	0,75	6	17,3	8,7	0,25	1,13
	AW3102A	80	13	0,75	6	17,3	8,7	0,25	1,13
	AW4106A	80	13	0,75	6	17,3	8,7	0,25	1,13
FMT	AW2110A	18	378	3,33	0,6	8,1	4,1	0,25	7,00
	AW2114A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2118A	21	378	2,86	0,8	9,5	4,7	0,25	8,00
	AW2119A	19	378	3,16	1	8,6	4,3	0,25	11,05
	AW2120A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2123A	20	378	3,00	1,4	9,0	4,5	0,25	14,70
	AW2124A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2129A	19	378	3,16	2	8,6	4,3	0,25	22,11
	AW2130A	19	378	3,16	1,7	8,6	4,3	0,25	18,79
	AW2133A	18	378	3,33	1,9	8,1	4,1	0,25	22,17
	AW2134A	19	378	3,16	2	8,6	4,3	0,25	22,11
	AW2222A	24	378	2,50	2,1	10,8	5,4	0,25	18,38
	AW3105A	20	378	3,00	2	9,0	4,5	0,25	21,00
ROTATIF	AW1104A							0,25	0,08
	AW1106A							0,25	0,08
	AW2016A							0,25	0,08
	AW2101A							0,25	0,08
	AW2105A							0,25	0,08
	AW2106A							0,25	0,08
	AW2112A							0,25	0,08
	AW2115A							0,25	0,08
	AW2117A							0,25	0,08
AW2127A							0,25	0,08	
NEXT	NXT100A	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,29	13,05
	NXT100B	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,29	13,05
	NXT100C	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,29	13,05
	NXT100D	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,29	13,05
	NXT100E	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,29	13,05
	NXT200A	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,26	11,70
	NXT200B	8	34	7,50	6	4,5	2,3	0,26	11,70
	NXT300A	12	34	5,00	6	6,8	3,4	0,32	9,60
	NXT900A	15	34	4,00	6	8,5	4,3	0,34	8,16
KB10	12	34	5,00	6	6,8	3,4	0,32	9,60	
KEEN	Keen20A	30	42	2,00	6	21,0	10,5	0,40	4,80
	MI7500	9	42	6,67		6,3	3,2		
	NI2800A/B/C	10	42	6,00	4	7,0	3,5	0,12	2,88
RELCO	CO6004	7	44	8,57	8	5,1	2,6	0,22	15,09
	CO6101A	4,5	44	13,33	8	3,3	1,7	0,22	23,47
	CO6101C	4,5	44	13,33	8	3,3	1,7	0,22	23,47
	CO6102	4,5	44	13,33	8	3,3	1,7	0,22	23,47
	CO6103A	5,8	44	10,34	8	4,3	2,1	0,22	18,21
	CO6103D	5,8	44	10,34	8	4,3	2,1	0,22	18,21
	CO6104A/B	4,6	44	13,04	8	3,4	1,7	0,22	19,20
	CO6104C	4,6	44	13,04	8	3,4	1,7	0,22	17,60
	CO6104D	6	44	10,00	8	4,4	2,2	0,22	17,60
	CO6105	4,5	44	13,33	8	3,3	1,7	0,22	22,00
	CO6106	4	44	15,00	8	2,9	1,5	0,22	26,40
	CO6108	6	44	10,00	8	4,4	2,2	0,22	17,60
	CO6109B	4,8	44	12,50	8	3,5	1,8	0,22	22,00
	CO6124	5,5	44	10,91	8	4,0	2,0	0,22	19,20
	CO7106A	6,7	44	8,96	8	4,9	2,5	0,22	15,76
	CO7106B	6,7	44	8,96	8	4,9	2,5	0,22	15,76
	CO7106C	6,7	44	8,96	8	4,9	2,5	0,22	15,76
	CO7109A	6,7	44	8,96	8	4,9	2,5	0,22	15,76
	CO7109B	6,7	44	8,96	8	4,9	2,5	0,22	15,76

Annexe 3 : Fichier de calcul des consommations/productions



Type de Four	Code article	Charge (Kg)	Pertes H2 entrée/sortie Nm3/Nacelle	stoechiometrie m3/kg entrée	Taux de transformation	Prod	Entrée	Calcul m3
MOC	AW3101A	6	0,75	0,25	0,79		0	0,00
	AW3102A	6	0,75	0,25		1664	2106	789,87
	AW4106A	6	0,75	0,25			0	0,00
FMT 3 x par 14 tubes	AW2110A	0,6	0,09	0,25	0,79	338	428	170,35
	AW2114A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	AW2118A	0,8	0,09	0,25			0	0,00
	AW2119A	1	0,09	0,25			0	0,00
	AW2120A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	AW2123A	1,4	0,09	0,25			0	0,00
	AW2124A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	AW2129A	2	0,09	0,25		1501	1900	559,44
	AW2130A	1,7	0,09	0,25			0	0,00
	AW2133A	1,9	0,09	0,25		6048	7656	2272,09
	AW2134A	2	0,09	0,25			0	0,00
	AW2222A	2,1	0,09	0,25			0	0,00
AW3105A	2	0,09	0,25		0	0,00		
ROTATIF	AW1104A		0,00	0,25	0,79		0	0,00
	AW1106A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2016A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2101A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2105A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2106A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2112A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2115A		0,00	0,25			0	0,00
	AW2117A		0,00	0,25			0	0,00
AW2127A		0,00	0,25		0	0,00		
NEXT	NXT100A	6	0,25	0,29	0,71	3153	4441	1472,88
	NXT100B	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT100C	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT100D	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT100E	6	0,25	0,29	0,71		0	0,00
	NXT200A	6	0,25	0,26	0,74		0	0,00
	NXT200B	6	0,25	0,26	0,74		0	0,00
	NXT300A	6	0,25	0,32	0,68	1464	2153	778,65
	NXT300A	6	0,25	0,34	0,72		0	0,00
KB10	6	0,25	0,32	0,68	2529	3719	1345,08	
KEEN	Keen20A	6	0,25	0,40	0,60	1554	2590	1143,92
	MI7500	2,5	0,25	90,00	0,63			
		2,5		90,00	0,43			
NI2800A/B/C	4	0,25	90,00	0,43				
RELCO	CO6004	8	0,17	0,22	0,63		0	0,00
	CO6101A	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6101C	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6102	8	0,17	0,22		7793	12370	2979,07
	CO6103A	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6103D	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6104A/B	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6104C	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6104D	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6105	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6106	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6108	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6109B	8	0,17	0,22			0	0,00
	CO6124	8	0,17	0,22			0	0,00
	COT106A	8	0,17	0,22			0	0,00
	COT106B	8	0,17	0,22			0	0,00
	COT106C	8	0,17	0,22			0	0,00
	COT109A	8	0,17	0,22			0	0,00
	COT109B	8	0,17	0,22			0	0,00

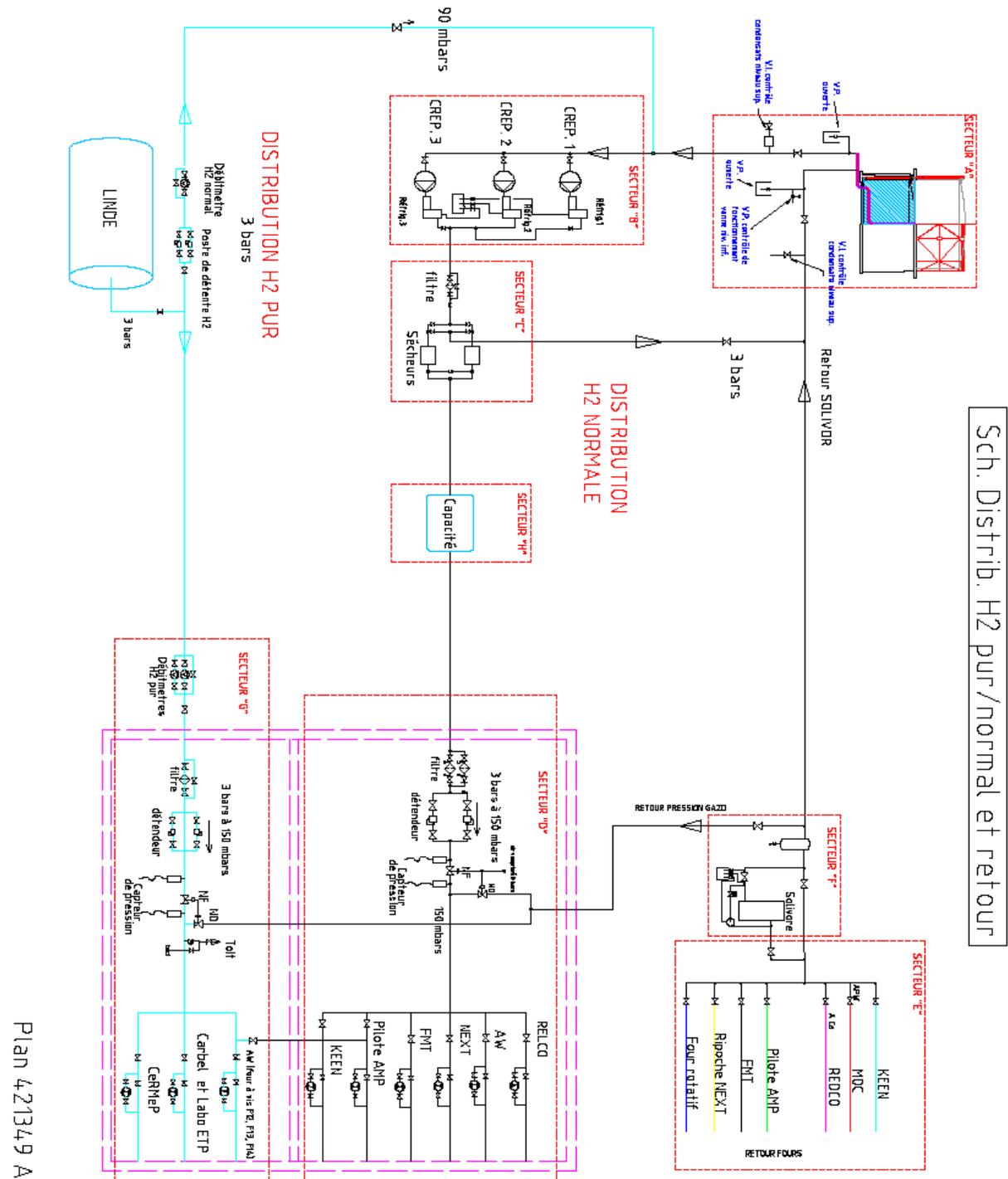
Conso Th m3

11511

Prod poudres Kg

26044

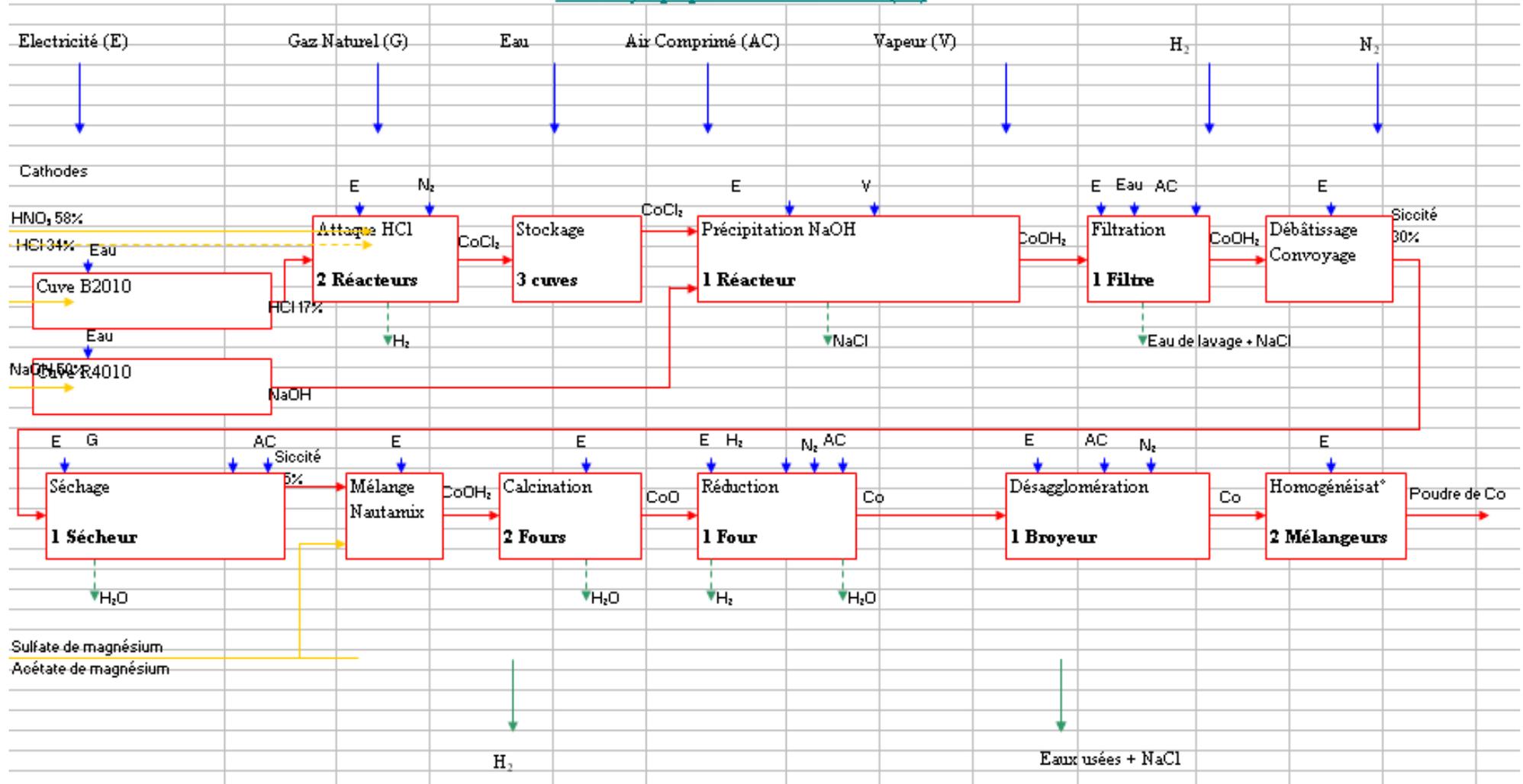
Annexe 4 : Plan de distribution d'hydrogène





Annexe 5 : Synoptique de l'atelier Cobalt

A-01 : Synoptique de l'atelier Cobalt (Co)





**Annexe 6** : Normaux Mètre Cube par heure ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) :

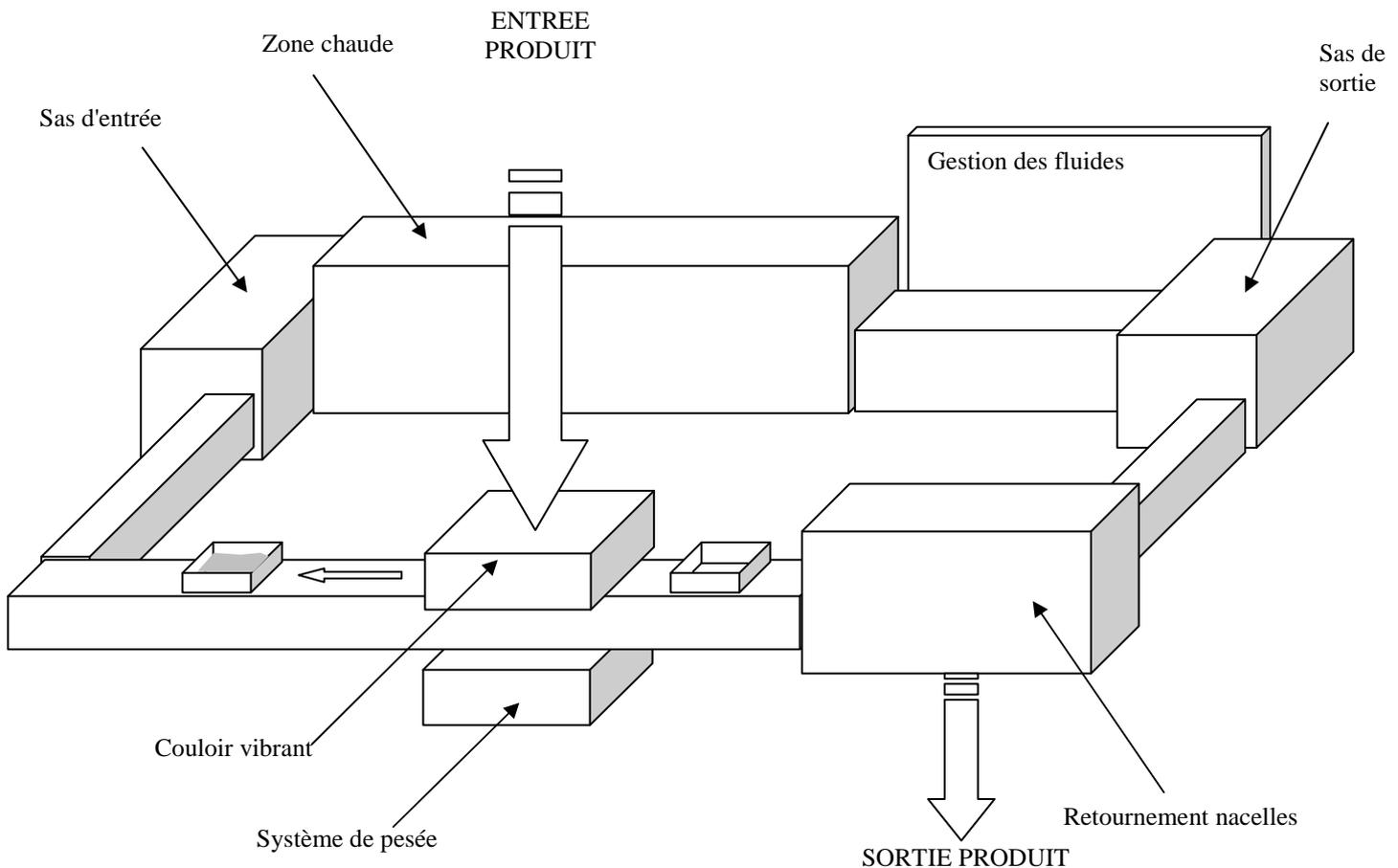
Définition : Unité de débit par temps qui permet de comparer des mesures effectuées dans des conditions différentes et réel ramené aux conditions normatives  $0^\circ\text{C}$  et 1 bar absolu.

**Annexe 7** : Stœchiométrie

En chimie, la stœchiométrie est le calcul des relations quantitatives entre réactifs et produits au cours d'une réaction chimique. C'est aussi la proportion des éléments dans une formule chimique.

« La stœchiométrie est la science qui mesure les proportions quantitatives ou rapports de masse dans lesquels les éléments chimiques sont impliqués. »

**Annexe 8** : Schéma simplifié des éléments d'un four :





**Annexe 9 : Audit des installations consommatrices d'azote**

Atelier	Installation		Pression (bar)	Consom. m3/h	Durée d'alim (h)	DM	Remarques	
NEXT	BUREAU	SAS	entrée		20	65	Oui	Difficulté de lecture ==> nettoyage DM
			Sortie		25	107	Oui	
		Four				Continue	Oui	
	GAZO	SAS	entrée		20	65	Oui	
			Sortie		25	107	Oui	
		Four				Continue	Oui	
	Broyeur 100/200	Filtre broyeur 100/200	Conduite	4	7,5	Continue	Oui	
			Décol. Filtre	4		Discontinue		
		Panopée broyeur 100/200	Trémie Alim		1,5	Continue	Oui	Alim par la conduite sortie filtre ( Attention ne pas compter ce DM )
			Haut	2	0,6	Continue	Oui	
			Sélecteur	2	0,7	Continue	Oui	
			Bas	2	4,75	Continue	Oui	
	Broyeur 300/900	Filtre broyeur 300/900	Conduite	5	Défect	Continue	Oui	DM Défectueux, Bloqué à + 12Nm3/h
			Décol. Filtre	0		Discontinue		
		Panopée broyeur 300/900	Trémie Alim		1,5	Continue	Oui	Alim par la conduite sortie filtre ( Attention ne pas compter ce DM )
			Haut	2		Continue	Oui	
			Sélecteur	2	0,7	Continue	Oui	Débranché
			Bas	0	4,5	Continue	Oui	Possibilité que le Mano soit défectueux
CUVE 4904				4,5	Continue	Oui		
				0,25	Continue	Oui	Indication + 0,25 Nm3/h ==> Un DM à calibre plus grand	



Cobalt	REDO	four			Continue	Oui		
		SAS	entrée		30	20	Oui	
			Sortie		30	20	Oui	
	Broyeur	Panopée broyeur	Haut	2		Continue	Non	DM Non utilisé au niveau de la prise N2 Emoteur vis
			Sélecteur	2	0,6	Continue	Oui	
			Bas	2	1,5	Continue	Oui	Possibilité que le DM soit défectueux
			Vis	2	0,7		Oui	
		Filtre	Décol. Filtre			Discontinue		
			Conduite			Continue	Oui	Difficulté de lecture ( nettoyage DM )
	Réacteur	R1			Continue	Oui		
R2				Continue	Oui			
KEEN	CREMER	four		25	Continue	Oui		
		SAS	entrée		15	330	Oui	
			Sortie				Oui	
	Broyeur	Panopée broyeur	Haut	2	10,5	Continue	Oui	Le haut et le bas dans un seul DM
			Bas	2		Continue	Oui	
			Sélecteur	2	0,7	Continue	Oui	branché sur DM haut
			Vis	2	1	Continue	Oui	Branché sur DM Sélecteur / Prévoir un DM à calibre plus grand
		Filtre	Décol. Filtre	8		Discontinue		
			Conduite	2		Continue	Oui	
	CW	Carbel 1	Four		8/2	Continue	Oui	8 Nm3/h pour purger Et 2 Nm3/h sous N2
SAS ( sortie )					Continue	Non	Pour l'entrée on brule avec le gaz naturel	
Carbel 2		Four		8/2	Continue	Oui	8 Nm3/h pour purger Et 2 Nm3/h sous N2	
		SAS ( sortie )			Continue	Non	Pour l'entrée on brule avec le gaz naturel	



Granulation	Granulateur 1			0,95	Discontinue	Oui	pas d'alimentation pendant le remplissage	
	Filtre 1		150(mbar)	2	Continue	Oui		
	Sécheur 1		7					
	Granulateur 2			0,95	Discontinue	Oui	pas d'alimentation pendant le remplissage	
	Filtre 2		150(mbar)	2	Continue	Oui		
	Sécheur 2		7					
	Mélangeur 5247					Non		
AW	FNT				Continue	Non	N2 est utilisé que pour les purges des fours / Un compteur Global	
	MDC				Continue	Non		
	RDT				Continue	Non		
CERMeP	Naberthem			2,3	Continue	Oui	alimentation entre 2 et 2,5 Nm3/h	
	Four ouvrant 1				Continue	Oui		
	Four ouvrant 2				Continue	Oui		
	Four à moufle 1				Continue	Oui		
	Four à moufle 2				Continue	Oui		
	Four à moufle 3				Continue	Oui		
	Kanthal Carb				Continue	Oui		
	Four GERD				Continue	Oui		
	Four Rhénium				Continue	Oui	actuellement on utilise ni N2 ni H2 pour alimenter ce four	
	Pilote				Continue	Oui		
	Broyeur	Panopée broyeur	Haut		0,7	Continue	Oui	
			Bas		2	Continue	Oui	
			Sélecteur		1	Continue	Oui	
		Filtre	Décol.			Continue	Non	
			Conduite		12	Continue	Oui	
	Granulateur (5140)			0,04	Continue	Oui		
	APTM (C101)				Continue	Non		
Broyeur BJA (4724)				Continue	Non	Alimentation N2 à 10 bars		
Lodique (4853)				Continue	Non			
Oui	Présence d'un débitmètre							
	Difficulté de lecture ou débitmètre défectueux							
Non	Pas de débitmètre installé							
	Pas de débitmètre installé pour le décolmatage de filtre pour les broyeurs							



---

## Bibliographie

Livret de formation NEXT et COBALT

Compte rendu des visites du 23/4 et du 30/05/2007 chez EUROTUNGSTENE

GED : Gestion électronique documentaire

---

## Webographie

[www.technique-ingenieur.com](http://www.technique-ingenieur.com) (Méthodes de résolution des problèmes de consommation)