



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org

REF: LOREXP_2021_A1202 Pages: 1147–1157



Conception et réalisation à partir de matériaux locaux d'une fonderie pour le recyclage de l'aluminium utile à la fabrication de pièces détachées

Design and construction, from local materials, of an aluminum recycling foundry useful for the manufacture of spare parts

Guy-de-patience FTATSI MBETMI^{1,*} et Yannick NGANDJON TATSADJIEU¹

¹ Institut Universitaire de Technologie de Ngaoundéré, P.O. Box 455, Ngaoundéré-Cameroun

* Auteur Correspondant : guy.ftatsi@univ-ndere.cm ; fimigypt@gmail.com

RÉSUMÉ :

Le présent travail avait pour objectif la réalisation d'une fonderie portative pour aluminium à base de matériaux locaux. Cette fonderie peut servir à réaliser de petites pièces détachées en toute sécurité et/ou comme matériel de travaux pratiques en moulage. La fonderie réalisée est constituée d'un four, de son foyer (un chalumeau à gaz), d'un creuset et différents outils pour manipuler l'aluminium fondu. Le four a été fabriqué en recyclant une bouteille de gaz défectueuse. Après avoir dégagé le dessus de la bouteille à l'aide d'une meule, nous avons tapissé l'intérieur d'une couche d'argile locale qui sert d'isolant thermique d'épaisseur 5 cm. Le creuset a été réalisé en recyclant un compresseur hermétique au rebut, et les outils par des artisans forgerons recyclant de la ferraille. Les essais effectués ont permis de fondre des cannettes usitées et d'autres pièces de motos et voitures défectueuses en aluminium. L'aluminium liquide a été moulé pour obtenir des brutes cylindriques et prismatiques pour l'usinage, ainsi que d'autres petites pièces mécaniques. Le coût de réalisation du projet a été évalué à près de 150 000 F CFA.

Mots clés : Conception et réalisation, Matériaux locaux, Fonderie, Recyclage de l'aluminium, Fabrication de pièces détachées.

ABSTRACT:

The objective of this work was to build a portable aluminum foundry based on local materials. This foundry can be used to make small spare parts in complete safety and / or as practical molding equipment. The foundry is made up of an oven, its hearth (a gas torch), a crucible and various tools for handling molten aluminum. The oven was manufactured by recycling a defective gas cylinder. After removing the top of the bottle with a grinding wheel, we lined the inside with a layer of local clay which serves as thermal insulation, 5 cm thick. The crucible was made by recycling a waste hermetic compressor, and the tools by blacksmiths recycling scrap metal. The tests carried out allowed to melt used cans and other parts of motorbikes and cars defective in aluminum. Liquid aluminum was cast to obtain cylindrical and prismatic blanks for machining, as well as other small mechanical parts. The cost of carrying out the project has been estimated at nearly 150,000 F CFA.

Keywords: Design and production, Local materials, Foundry, Aluminum recycling, Manufacture of spare parts.

1. NOTIONS DE BASE

1.1. Fonderie

Définition. La Fonderie dérivé de fondre est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire après refroidissement une pièce donnée (forme intérieure et extérieure) en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition.

Généralités. Dans une fonderie, on produit différentes pièces après la fonte des métaux. Le métal est chauffé à haute température pour produire du métal liquide qui sera ensuite versé dans une moule afin de prendre la forme voulue avant qu'il ne se refroidisse et se solidifie. Ce qui rend le four et une moule des éléments incontournable à la fonderie. Effectivement, une fois dans la moule, le métal liquide va prendre forme en acquérant toutes ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques. Pour ce qui est de la qualité, elle dépendra essentiellement de celle des alliages élaborés par la fusion des métaux, ainsi que par les conditions d'élaboration. Il faut aussi savoir qu'elle fait partie du domaine de la **métallurgie**, avec la forge et la chaudronnerie.

Les différentes étapes de la formation d'une pièce en métal. Ces étapes peuvent se résumer en quelques lignes, notamment :

- Fusion et traitement des métaux : l'atelier de fusion
- Préparation de moules et de noyaux : l'atelier de moulage
- Coulée du métal en fusion dans le moule, refroidissement en vue de la solidification et démoulage : l'atelier de coulée
- Finition du produit moulé brut : l'atelier de finition.

1.2. Four

Un four est un récipient à revêtement réfractaire qui contient le matériau à fondre et fourni l'énergie nécessaire pour le faire fondre.

Types de four. Il existe plusieurs types de four dépendant de la source d'énergie et du matériau à fondre. Les fours les plus couramment utilisés comprennent : les fours à creuset, le cubilot, les fours à induction et les fours à arc électrique (Corbion, 2016).

Four à creuset. Ces fours utilisent un creuset (réfractaire ou un élément qui résiste à la température de fusion du métal) qui contient la charge métallique. La charge est chauffée par conduction de chaleur à travers les parois du creuset.

Le combustible de chauffage est généralement du coke, du mazout, du gaz ou de l'électricité.

Cubilot. Le cubilot est un four vertical de fusion des métaux par la combustion de coke. Dans ce four, le métal à fondre est généralement des ferrailles et est en contact direct avec le combustible. La taille d'un cubilot est exprimée en diamètre et peut varier de 450 mm to 2000 mm. On peut distinguer 3 types de cubilot : cubilot à vent chaud, cubilot à vent froid et cubilot longue campagne (qui peut être à vent froid ou chaud).

Four à arc électrique. C'est un four qui utilise l'énergie thermique de l'arc électrique établi entre une ou plusieurs électrodes de carbone et le métal pour obtenir une température suffisante à sa fusion. Il peut fondre de petite quantité (1 tonne) jusqu'au grande quantité (400 tonnes). Il est principalement utilisé pour faire fondre l'acier. La température engendrée par l'arc dépasse 1800 °C et peut atteindre les 3600 °C. La consommation d'énergie varie de 500 à 800 kWh/tonne d'acier fondu, en fonction de la capacité de la consommation en métal chaud, et des techniques d'affinage, de la température de piquage et de l'équipement utilisé destiné à la réduction de la pollution.

Four à induction (IF). Les fours à induction sont utilisés pour faire fondre à la fois les métaux ferreux et les métaux non ferreux. Il existe plusieurs types de fours à induction disponibles, mais tous fonctionnent en utilisant un puissant champ magnétique créé par le passage d'un courant électrique à travers une bobine enroulée autour du four. Le champ magnétique créé à son tour une tension, et par conséquent un courant électrique, à travers le métal qui doit être fondu.

1.3. Aluminium

L'aluminium est un métal blanc argenté, le 13ème élément du tableau périodique. L'aluminium est le métal le plus répandu sur terre et représente 8 % de la masse centrale de la terre. C'est aussi le troisième élément chimique le plus répandu après l'oxygène et le silicium (Cullen, s. d.; Gautam, s. d.). À cause de sa réactivité, l'aluminium pur ne se produit pas dans la nature et la forme la plus courante est le sulfate d'aluminium et peut être retrouvé dans plus de 270 autres minéraux. L'aluminium est un bon conducteur de chaleur et d'électricité avec une faible masse volumique de $2,7 \text{ kg/dm}^3$. Point de fusion : $658 \text{ }^\circ\text{C}$. Il est également le métal le plus utilisé après le fer, on le retrouve dans les ustensiles ménagers, emballage, les canettes, les automobiles, train et avions (Menzie, s. d.). Quelques exemples sont présentés sur la figure 1.



Figure 1. Carter de moteur et rouleaux d'aluminium alimentaire

1.4. Moulage

Le moulage consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir), le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule. Ce sont généralement les pièces brutes qui sont obtenues par ce procédé. La température de fusion du matériau à couler doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

Matériel du terrain. Nous avons effectué plusieurs descentes sur différents sites. Et pour cela, nous avons préparé un questionnaire pour connaître l'état des fonderies que nous retrouvons dans la ville de Ngaoundéré.

Fiche de questionnaire du terrain

- ✚ Quel est le type de four que vous utilisez ?
- ✚ Quel matériau pouvais-vous faire fondre ?
- ✚ Jusqu'à quelle température vas votre four ?
- ✚ Quel est le matériau isolant que vous utilisez dans votre four ?
- ✚ Quel sont les accessoires de la fonderie que vous utilisez ?
- ✚ Comment faites-vous fondre l'aluminium ?
- ✚ Quel sont les mesures de sécurité utiles dans votre fonderie ?
- ✚ Quelles quantités de matériel votre creuset peut-il contenir ?
- ✚ En quel matériaux est fait votre creuset ?

- † Quel type de sable utiliser vous pour mouler ?
- † Quelle pièce pouvez-vous mouler ?
- † De quoi le four est-il fait ?

Matériel utilisé lors de l'étude. Pour mener à bien notre étude nous avons utilisé un certain nombre de matériels tels que :

Ordinateur. C'est une machine de traitement automatique et rationnel des informations. Celui que nous avons utilisé est une marque DELL.

Smart phone. Encore appelé téléphone intelligent, est un téléphone mobile doté de fonctionnalités évoluées qui s'apparentent à celles d'un ordinateur. Celui que nous avons utilisé est une marque TECNO.

Logiciel SolidWorks. Le logiciel SolidWorks est un logiciel de conception assisté par ordinateur (CAO). C'est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Nous avons utilisé ce logiciel pour modéliser notre les modèles dont nous avons étudié. Nous avons également ressorti les dessins d'ensemble du modèle implémenté.

2.2. Méthode

Analyse fonctionnelle du produit : C'est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Sa démarche est présentée sur la figure 2 (Audry, 2010; de la Bretesche, 2000; Tassinari, 2006) :

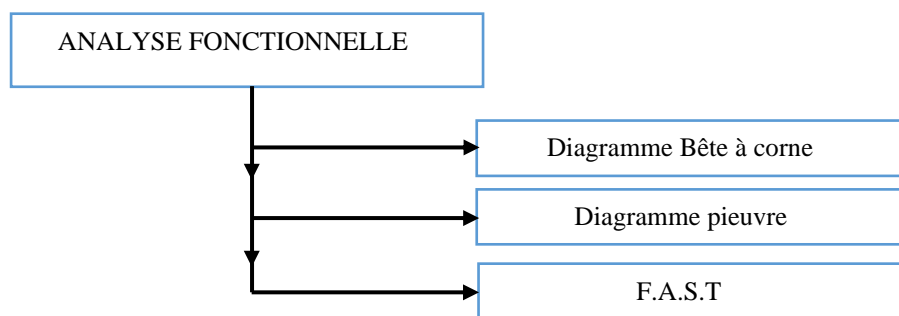


Figure 2. Modèle d'analyse fonctionnelle et structurale

Diagramme Bête à corne : Cet outil définit le **besoin** auquel répond le **système**. Nous avons utilisé cet outil pour clairement identifier nos besoins. Pour cela, il est essentiel de se poser les trois 3 questions suivantes :

- † A qui, à quoi le produit rend-il service ?
- † Sur quoi, sur quoi agit-il ?
- † Dans quel but ? (Pourquoi faire ?)

La bête à corne est un outil de représentation des questions fondamentales, telles qu'illustrées sur la figure 3.

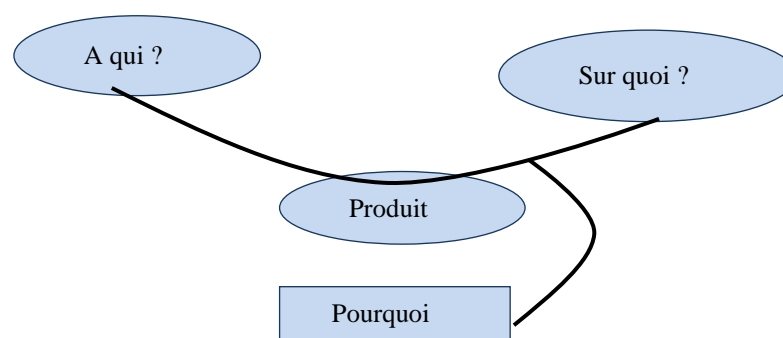


Figure 3. Diagramme bête à corne

Diagramme pieuvre. Cet outil, présenté sur la figure 4, identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe). A l'aide de cet outil, nous avons ressorti la fonction principale de notre four c'est à dire les raisons pour lesquelles l'objet a été créé, les éléments du milieu extérieur avec les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire.

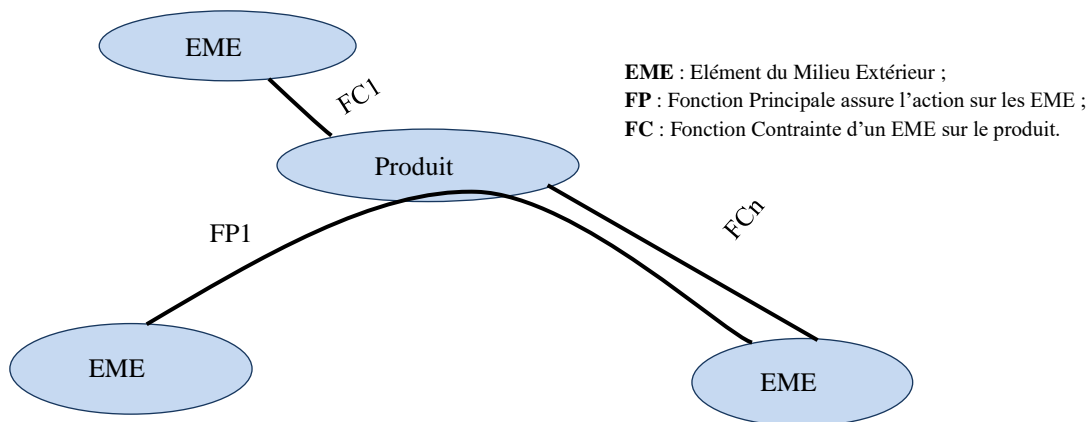


Figure. 4. Modèle diagramme pieuvre

Diagramme F.A.S.T. L'Analyse Fonctionnelle des Systèmes Techniques (Function Analysis System Technic) présente une traduction rigoureuse de chacune des fonctions de service en fonction(s) technique(s), puis matériellement en solution(s) constructive(s). Le F.A.S.T. Il se construit de la gauche vers la droite (figure 5) en répondant aux questions Comment et Quand ?

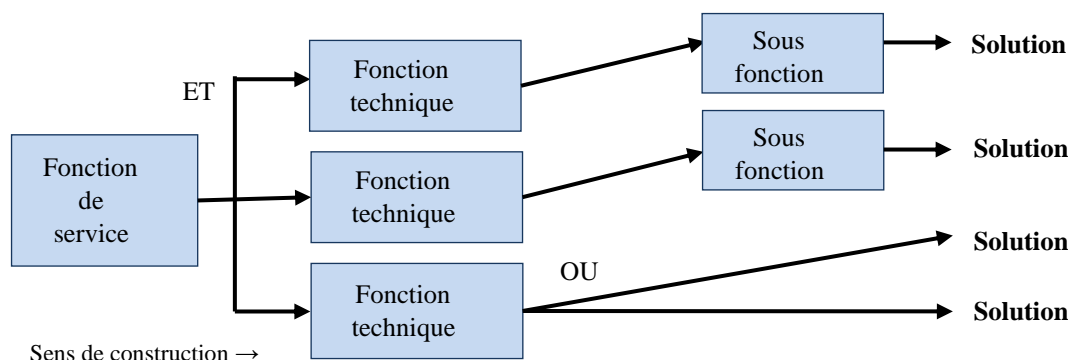


Figure. 5. Modèle diagramme F.A.S.T

Matrice de décision. Il est plus difficile de prendre des décisions quand on fait face à des choix complexes qui impliquent de nombreuses variables. Grâce à cet outil, nous avons décidé quel modèle réaliser en listant tous nos choix dans un tableau et en les évaluant méthodiquement selon certains critères.

Dessin d'ensemble. En dessin technique, un dessin d'ensemble est la représentation d'un mécanisme complet (ou partiel) permettant de situer chacune des pièces qui le composent. Les pièces sont dessinées, à une échelle dépendant des dimensions réelles du mécanisme et de la feuille accueillant le dessin, à leur position exacte (assemblées), ce qui permet de se faire une idée concrète du fonctionnement du mécanisme. Un dessin d'ensemble est le plus souvent accompagné d'une nomenclature proposant une désignation de chaque pièce, sa matière, son nombre d'occurrences, son procédé d'élaboration et éventuellement des informations internes à l'entreprise. A l'aide du logiciel SolidWorks, nous avons ressorti notre dessin d'ensemble ce qui a permis le montage de notre four.

Coût de production. Le coût de production d'une entreprise ou d'une administration est la somme des dépenses réalisées pour produire des biens ou services. Ce coût est composé des charges directes et indirectes de la production. Pour obtenir

les coûts de fabrication de notre four, nous avons effectué plusieurs décentes dans les quincailleries de la ville. Ce qui nous a permis d’obtenir les prix des matériaux.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse structurelle fonctionnelle

Diagramme Bête à corne :

Grace à notre outil bête à corne, nous avons pu clairement établir le besoin de l’utilisateur (figure 6) qui est de mettre en forme l’aluminium après l’avoir fondu à l’aide du four.

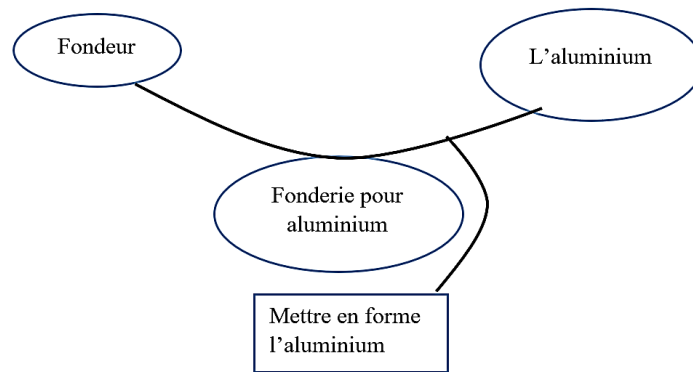


Figure. 6. Bête à corne d’une fonderie d’aluminium

Diagramme pieuvre :

Cet outil nous a fait ressortir les fonctions de notre produit dont une fonction majeure qui est la mise en forme de l’aluminium et une mineure qui est de fondre l’aluminium (figure 7).

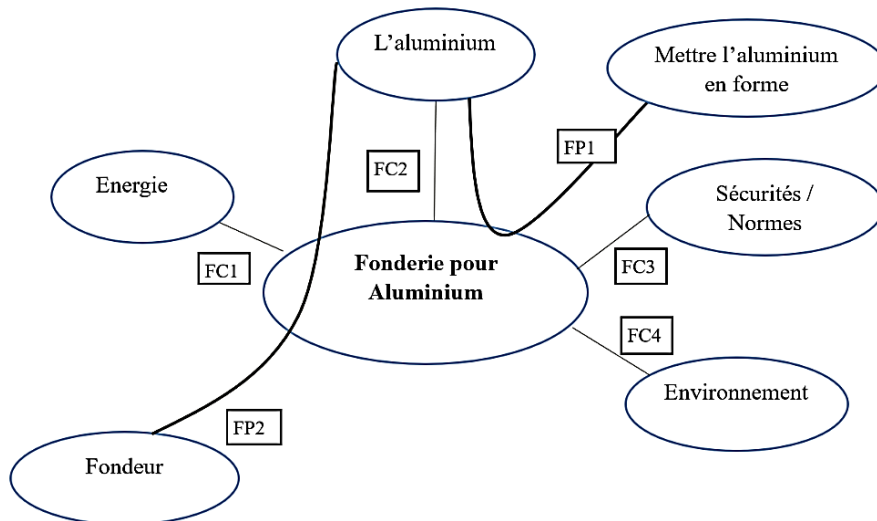


Figure. 7. Diagramme pieuvre d’une fonderie d’aluminium

Fonctions principales :

FP1 : Fondre l’aluminium

FP2 : Mettre en forme l’aluminium

Fonctions de contraintes :

FC1 : Alimenter en énergie

FC2 : Trier l’aluminium pour éviter d’autres métaux

FC3 : Sécher l’aluminium pour éviter les gouttelettes d’eau dans les déchets

FC3 : Respecter les normes et les règles de sécurités thermiques.

FC4 : Être dans un endroit aéré.

Diagramme F.A.S.T : Les diagrammes FAST pour notre système sont présentés sur les figures 8 et 9.

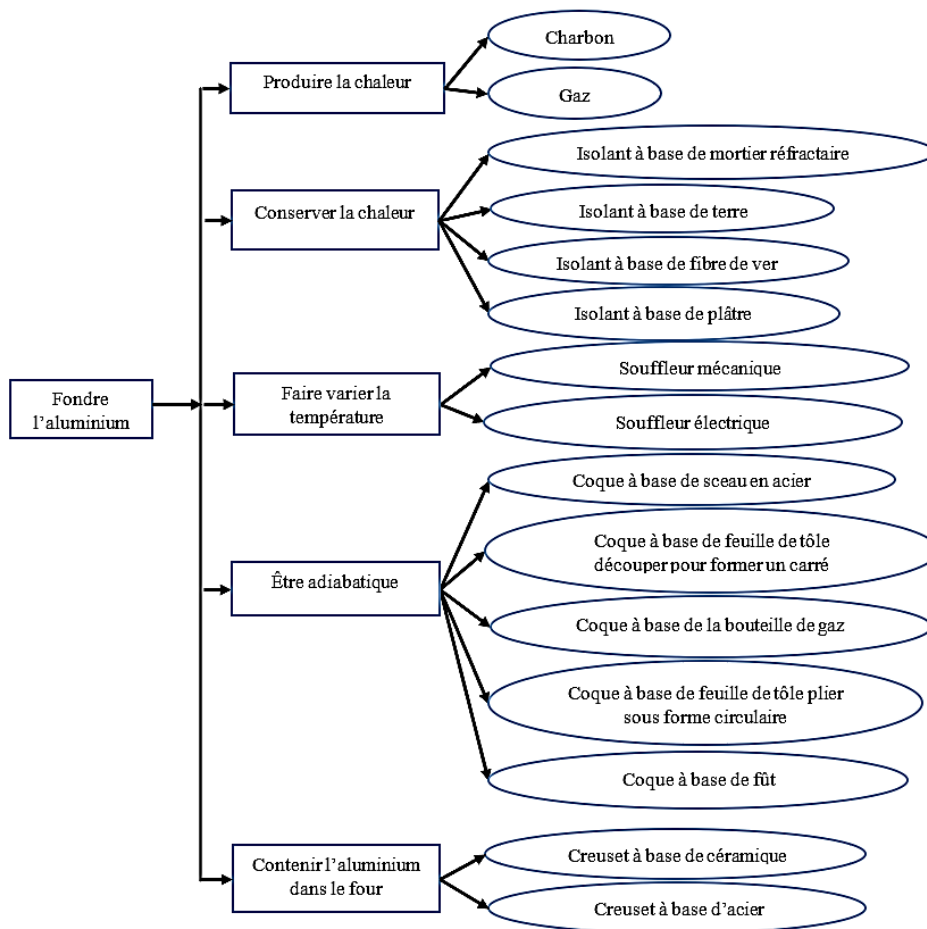


Figure. 8. Diagramme F.A.S.T de la sous fonction fondre l'aluminium

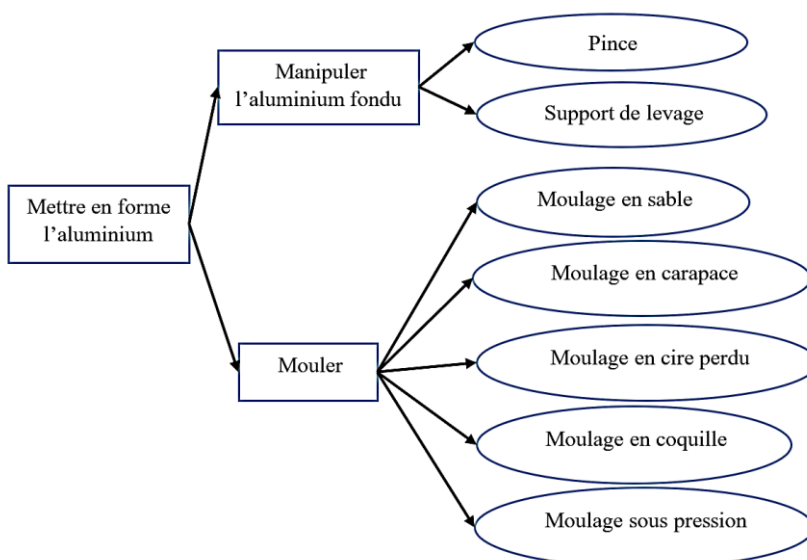


Figure. 9. Diagramme F.A.S.T de la fonction mettre en forme l'aluminium

Ces modèles F.A.S.T obtenus à base de la fonction principale mettre en forme l'aluminium et de la sous fonction fondre l'aluminium, nous a permis d'obtenir différentes solutions pour notre four que nous avons implémentées. Comme solution technologique retenue, nous avons :

- Produire la chaleur, nous avons utilisé le gaz
- Contenir la chaleur, nous avons utilisé un isolant à base de terre (argile)
- Faire varier la température, nous avons utilisé un souffleur électrique
- Contenir l'isolant, nous avons utilisé une coque à base de la bouteille de gaz
- Contenir l'aluminium dans le four, nous avons utilisé un creuset à base d'acier
- Manipuler l'aluminium fondu, nous avons utilisé la pince et le support de levage
- Mouler l'aluminium fondu, nous avons utilisé le moulage en sable

3.2. Différents modèles étudier sur SolidWorks




Après avoir eu une documentation sur le sujet et regarder les vidéos sur YouTube, nous avons décidé de concevoir un four à creuset portatif. Avec l'aide du logiciel SolidWorks, nous avons réalisé 3 modèles est retenu un que nous avons réalisé.

Modèle 1 : Tôle plier sous forme circulaire. Ce modèle est réalisé à base d'une feuille de tôle d'épaisseur 2.5 mm, fer plat de 5 mm, tube carré de 40*40 et les tubes circulaires de diamètre 60 mm, 50 mm et 30 mm. Il a un volume utile de **0,1508 m³**.

Modèle 2 : cornière et tôle. Ce modèle est réalisé à base des feuilles de tôle en acier d'épaisseur 2,5mm, cornière de 40mm et fer plat 4mm. Il a un volume utile de **0,0187 m³**.

Modèle 3 : bouteille de gaz tube carré. Ce modèle est réalisé à base d'une bouteille de gaz d'épaisseur 3mm et hauteur 600mm que l'on découpe puis on ajoute des tubes carrés de 40, fer plat de 4mm pour réaliser le système d'ouverture.

Tableau 1. Matrice de décision

				
Choix		Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Critère	Coefficient d'importance	Note	Note	Note
Efficacité	5	4	2	4
Volume utile	4	3	4	3
Coût de réalisation	5	3	2	4
Robustesse	5	3	3	4
Simplicité à réaliser	3	3	3	4
Résultat		71	60	84
Rang		2	3	1

D'après notre matrice de décision, notre meilleur choix est le modèle 3. Mais lors de la descente sur le terrain pour nous approprier le matériel nécessaire pour notre réalisation, nous avons constaté qu'en utilisant les cornières au lieu des tubes carrés de 40 et fer plat, le four nous revient à moindre coût et sa robustesse ne change pas et il devient plus simple.

Ce qui nous a fait passer au modèle 3.1.

3.3. Coût du projet

Le coût de réalisation de la fonderie est déterminé dans les tableaux 2 et 3 ci-dessous constitués à partir des dépenses réellement effectuées.

Tableau 2. Coût de test

Matériaux	Quantité	Prix (F CFA)
Creuset (en acier)	1	7000
Sac de charbon	1	4000
Tuyau de 50	70 cm	2000
Total		13 000

Tableau 3. Coût de la fonderie

Matériaux	Quantité	Prix (F CFA)
Bouteille à gaz vide	1	21000
Tuyau de 60	35cm	2000
Cornière de 40	5,8	11700
Fer à béton Tor de 12	5,8	6200
Kaolin	50kg	2000
Argile	50kg	3000
Creuset (compresseur de Frigo)	1	1000
Souffleur	1	16000
Bruleur	1	17000
Vis de 13 avec rondelle et écrou	2	500
Gaz	1	6000
Pince	1	1000
Déchet d'Aluminium	5kg	5500
Ciment blanc	1	4000
Sable pour moulage	25kg	4000
Transport		12000
Coût d'électricité		5000
Divers		10000
Sous Total		127 900
Total Global		140 900

Il s'élève à un total de **140 900 (cent quarante mille neuf cent) francs CFA.**

3.4. Réalisation et test de la fonderie d'aluminium

Les résultats de la réalisation et des tests de la fonderie d'aluminium proposée sont illustrés sur la figure 10. Sur cette figure : l'image **a** est celle du four, l'image **b** est celle de l'ensemble des éléments de la fonderie, l'image **c** illustre l'alimentation du four en cannettes usées à recycler lors du test de fonte, l'image **d** met en exergue l'aluminium liquide dans le creuset chauffé à

l'intérieur du four, l'image e présente l'opération de coulée pour un moulage au sable, l'image f représente les pièces obtenues après démoulage.



Figure 10 : a : image du four ; b : image de l'ensemble des éléments de la fonderie ; c : image de l'alimentation du four en cannettes usées à recycler lors du test de fonte ; d : image qui met en exergue l'aluminium liquide dans le creuset chauffé à l'intérieur du four ; e : image de l'opération de coulée pour un moulage au sable ; f : image des pièces obtenues après démoulage.

CONCLUSION

Arrivé au terme de ce travail qui portait sur l'étude et réalisation d'une fonderie à pour aluminium, nous avons pu réaliser un four à creuset dans lequel l'aluminium sera fondu ensuite mouler en des formes souhaitées. Ce four à eu un coût total de 140 900 F CFA. Pour mener à bien notre réalisation, nous avons effectué plusieurs descentes sur le terrain, ce qui nous a permis d'avoir une base et faciliter la réalisation de notre four. Ensuite, nous avons utilisé les outils : bête à corne, pieuvre et le diagramme Fast qui nous a permis de faire ressortir notre besoin et faire le choix des matériaux en plus de la documentation et les vidéos YouTube dont nous nous sommes inspirés. Avec ce four, nous pourrons faire bon usage des déchets d'aluminium.

CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

RÉFÉRENCES

- Audry M.F., 2010. La démarche d'analyse fonctionnelle. *Académie de Versailles*.
- Corbion J., 2016. Le savoir... fer. *Glossaire du haut fourneau, Association Le savoir... fer, Serémange*.
- Cullen J.M., Jonathan M. et Allwood. (s. d.). Cartographie du flux mondial d'aluminium : De l'aluminium liquide aux produits d'utilisation finale. *Science de l'environnement \ & technologie*, 47, 3057-3064.

de la Bretesche B., 2000. *La méthode APTE: Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle*. Ed. Pétrelle.

Gautam M., Meenu et Pandey, Bhanu et Agrawal. (s. d.). Empreinte carbone de la production d'aluminium : Émissions et atténuation. In *Empreintes carbone environnementales*. 197–228).

Menzie W.D., Barry J.J., Bleiwas D.I., Bray E.L., Goonan T.G., and Grecia Matos (s. d.). *Le flux mondial d'aluminium de 2006 à 2025*. US Department of the Interior, US Geological Survey.

Tassinari, R., 2006. *Pratique de l'analyse fonctionnelle*. Dunod.