



Agence de Promotion de
l'Industrie et de l'Innovation

Centre d'Etudes et de
Prospective Industrielles



Note sur

La Branche Fonderie

Mars 2017

Sommaire

Liste des Tableaux	2
Liste des Figures	3
Acronymes	4
I. SITUATION DE LA BRANCHE « FONDERIE » EN TUNISIE	6
I.1 Production	6
I.2 Les entreprises-Les emplois	6
I.3 Certification	8
I.4 Investissements	8
I.5 Gamme des produits de fonderie en Tunisie.....	9
I.6 Le marché des produits de la branche « Fonderie »	9
I.7 Echanges extérieurs	10
II. DIAGNOSTIC DE LA BRANCHE	12
II.1 Organisation	12
II.2 Formation professionnelle et Ressources humaines	12
II.3 Moyens et Procédés de production	12
II.6 Impacts environnementaux.....	15
II.7 Forces, Faiblesses- Opportunités, Menaces	16
III. SITUATION INTERNATIONALE DE LA BRANCHE	17
III.1 Evolution de la branche.....	17
III.2 Comparaison	20
IV. L'INNOVATION DANS LA FONDERIE	22
V. RECOMMANDATIONS	22
Conclusion	23
Glossaire.....	25
Annexes	28

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les fonderies à capitaux étrangers ou mixtes	7
Tableau 2 : Les principales normes européennes dans la branche fonderie	15
Tableau 3 : La matrice SWOT de la branche fonderie	16
Tableau 4 : Nombre des entreprises par type de métal produit/ pays*	19
Tableau 5 : Evolution de nombre des fonderies/ pays*	19
Tableau 6 : Tableau comparatif	22

Liste des Figures

Figure 1 : Répartition de la production par type de métal produit (2016).....	6
Figure 2 : Répartition des entreprises de la branche par type de métal fabriqué.....	6
Figure 3 : Répartition des emplois par activité.....	7
Figure 4 : Répartition des fonderies sur les régions	7
Figure 5: Les fonderies certifiées par type de métal produit	8
Figure 6 : Répartition des déclarations de projets par région (2010-2015).....	8
Figure 7 : Evolution des exportations et des importations entre 2012-2015	10
Figure 8 : Les importations par type de produit (2015)	10
Figure 9 : Les pays exportateurs vers la Tunisie (2015).....	10
Figure 10 : Les exportations par type de produit (2015).....	11
Figure 11 : Les principaux clients de la Tunisie (2015).....	11
Figure 12 : Evolution des exportations de déchets et débris de cuivre entre 2010-2015	12
Figure 13 : Diagramme de flux de la production au sein d'une fonderie	14
Figure 14 : Evolution de la production mondiale entre 2010-2014.....	17
Figure 15 : Evolution de la production de grands producteurs entre 2010-2014.....	18
Figure 16 : Production mondiale en produits de fonderie (2014).....	18
Figure 17 : Production par fonderie (2014)	19
Figure 18 : Evolution de la production des fonderies en France	20
Figure 19 : Répartition de la production par type de métal produit (2014)	20
Figure 20 : Evolution de la production des fonderies en Turquie.....	21
Figure 21: Evolution de la production des fonderies en Italie	21
Figure 22 : Répartition de la production par type de métal produit (2014).....	21

Acronymes

APII : Agence de Promotion de l'Industrie et de l'Innovation

BDI : Base de Données Industrielles

INS : Institut Nationale de la Statistique

ISO : International Organisation for Standardization (Organisation Internationale de Normalisation)

GS : Graphite Sphéroïdale

SONEDE : Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux

STEG : Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz

ONAS : Office National de l'Assainissement

TND : Dinars Tunisiens

MTND : Million de Dinars Tunisiens

TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen

R&D : Recherche et Développement

CND : Contrôle Non Destructif

IME : Industries Mécaniques et Electriques

ADD : Attestation de Dépôt de Déclaration

NSH : Nomenclature du Système Harmonisé

SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats



Introduction

Connue depuis la plus haute antiquité, la fonderie fait partie des premiers métiers de l'homme. L'industrie de la fonderie, utilisatrice de matières premières (fonte, ferraille, coke), fournit des pièces finies ou semi-finies à l'ensemble de l'industrie (l'automobile, la sidérurgie, le matériel de manutention, l'équipement industriel, l'aéronautique, l'armée,...., etc.). Elle est à ce titre une industrie de base. La fonderie qui remonte au 7ème et 6ème millénaire avant J-C avec les premiers objets en cuivre moulé, est entrée véritablement dans l'ère industrielle qu'au début de XXe siècle avec l'arrivée de nouveaux alliages d'aluminium, de zinc, de magnésium et de cuivre, ainsi que la maîtrise du procédé de fonderie sous-pression, permettant une production de très grande série, précise, rapide et de qualité. Néanmoins, l'industrie mondiale du moulage, qui est dominée largement par la Chine, les Etats Unis et l'Inde avec plus de 60% de la production mondiale, sera confrontée au cours des prochaines années à des défis majeurs étant donné les exigences concernant la compétence en matière de manutention et la complexité des alliages de coulée. De plus, la montée des exigences des clients qui veulent des pièces moulées entièrement terminées just-in-time.

En Tunisie, l'industrie de la fonderie a débuté avec les fonderies Réunies (1946) et la fonderie la SOFOMECA (1968). Depuis ce temps là, la Branche a connu d'importantes mutations dès l'épanouissement de la branche au cours des années 70 jusqu'au le désengagement de l'Etat du

secteur en 2003 (la privatisation de la SOFOMECA) et la création de plusieurs entreprises étrangères et exportatrices, notamment, dans l'activité des métaux non ferreux. Toutefois, l'industrie de la fonderie, en général, n'a pas bien évolué et la Tunisie n'avait encore que quelques fonderies produisant des articles relativement simples pour répondre aux besoins croissants des entreprises publiques et des pièces moulées traditionnelles non industrielles.

A cet effet, une analyse de la situation actuelle de la branche en Tunisie, ainsi que des obstacles qui ont freiné le développement de l'industrie de la fonderie sur le plan national s'avère primordial, et surtout, avec les perspectives prometteuses de l'activité en question étant donné les prévisions d'une croissance de la demande mondiale sur les pièces moulées par les secteurs clés, en particulier de l'industrie d'automobile et l'aéronautique.

Dans ce cadre intervient la présente note sectorielle dont les objectifs consistent à :

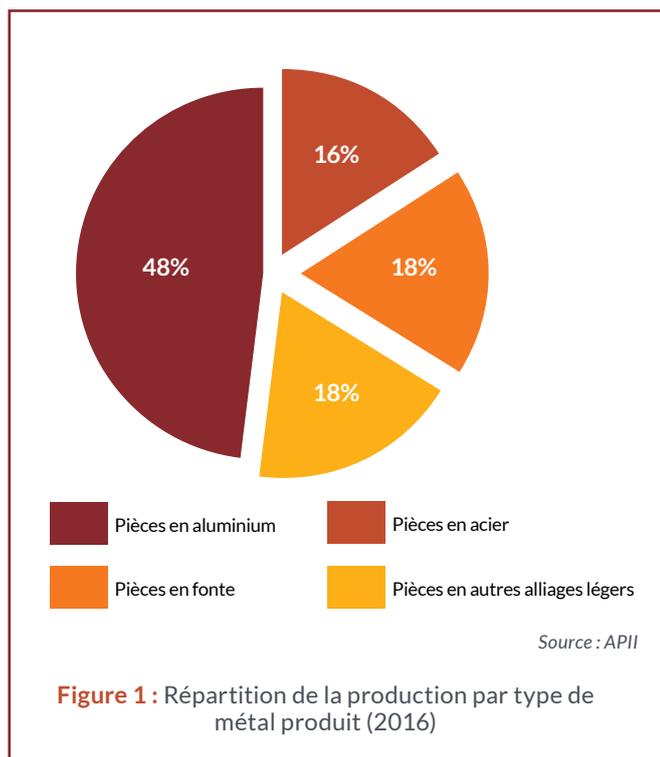
- établir un état des lieux de la branche « fonderie » en Tunisie (nombre d'entreprises, employabilité, production, échanges commerciaux et investissements).
- diagnostiquer la situation nationale de la branche.
- examiner la situation internationale de la branche.
- proposer des recommandations permettant d'impulser la branche « fonderie » sur le plan national.

I. Situation de la branche « Fonderie » en Tunisie

I.1 Production

En 2016, la valeur de la production était de l'ordre de 117 MTND contre 30.1MTND en 2002, enregistrant un TCAM de 10%.

La production des métaux non ferreux accapare la part de lion avec 66% de la production totale de la branche « fonderie ».Le graphique ci-dessous présente la répartition de la production de la branche par type de métal produit.



L'accroissement de la production de la branche, depuis 2002, s'explique par :

- La création de nouvelles fonderies de métaux non ferreux à l'instar de MAGAL DIE CASTING et MONTCELLI.
- Les restructurations financières et industrielles touchant la société TUNICAST.
- L'adoption de nouvelle politique marketing par les sociétés SAFAS et FMT.

La part de production de l'activité « Fonderie » est restée stagnante depuis 2002 et représente 8% de la production du secteur «Sidérurgie, Métallurgie et Fonderie». Cette dernière a enregistré un ralentissement de la production et de la valeur ajoutée sur la période (2010- 2014) avec un TCAM de 4%.

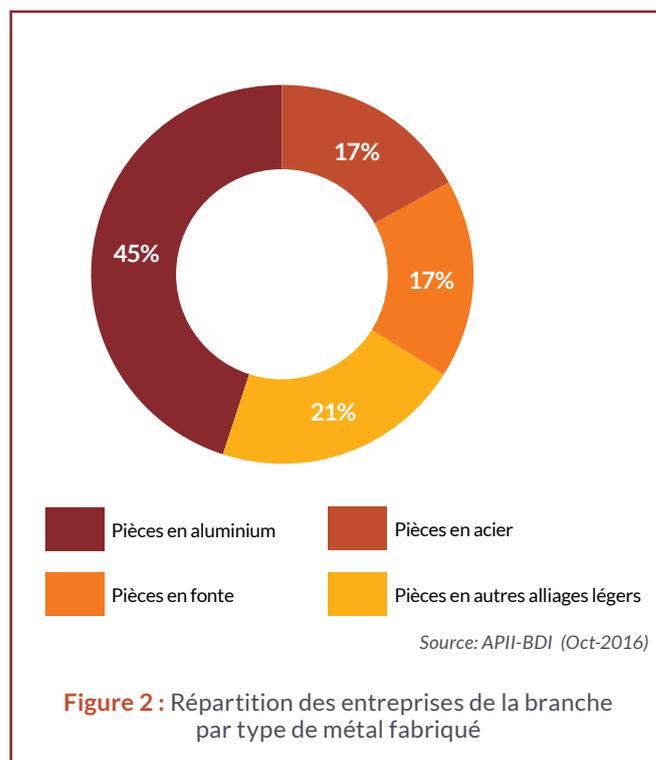
Il est à signaler que plusieurs petites unités s'adonnent à l'activité de fonderie, surtout dans le domaine des métaux non-ferreux. En plus, plusieurs entreprises industrielles dans le secteur des IME exercent l'activité de fonderie comme activité secondaire.

I.2 Les entreprises-Les emplois

La branche « Fonderie » compte actuellement 29 unités industrielles employant plus de 1500 personnes. Ces fonderies sont classées selon trois catégories de produit :

- Fonderie d'acier,
- Fonderie de fonte,
- Fonderie de métaux non ferreux (Aluminium, Cuivre, Zamak,..., etc.).

Le camembert suivant expose les entreprises de la branche par type de métal :



Il est à signaler que 66% des entreprises sont des fonderies de métaux non ferreux, elles emploient 894 personnes. Notons aussi que 11 fonderies de métaux non ferreux sont totalement exportatrices, spécialisées dans la fabrication des produits en aluminium, en zamak et en alliages cuivreux. Cela explique, en partie, l'évolution notable de cette activité pendant les dernières années, sachant que 12 parmi les 29 entreprises ont été créées entre 2005 et 2015.

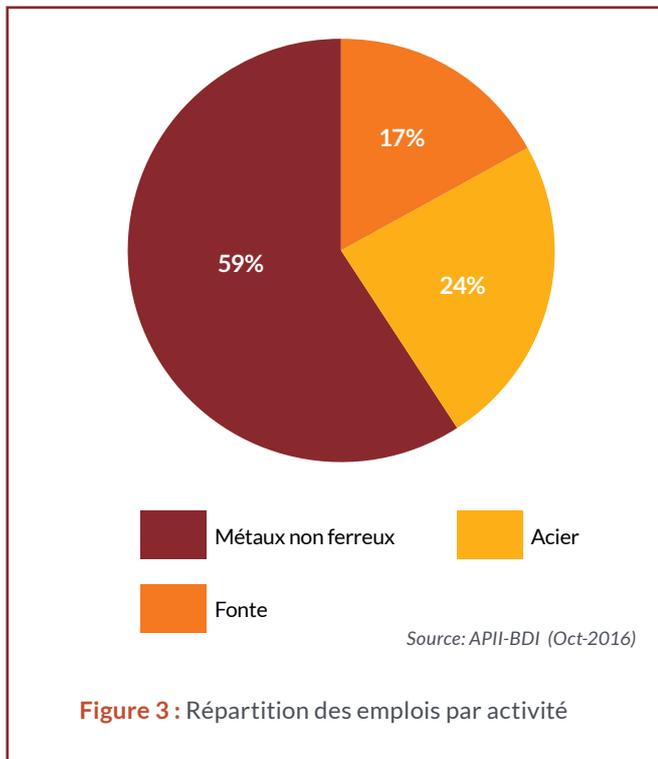


Figure 3 : Répartition des emplois par activité

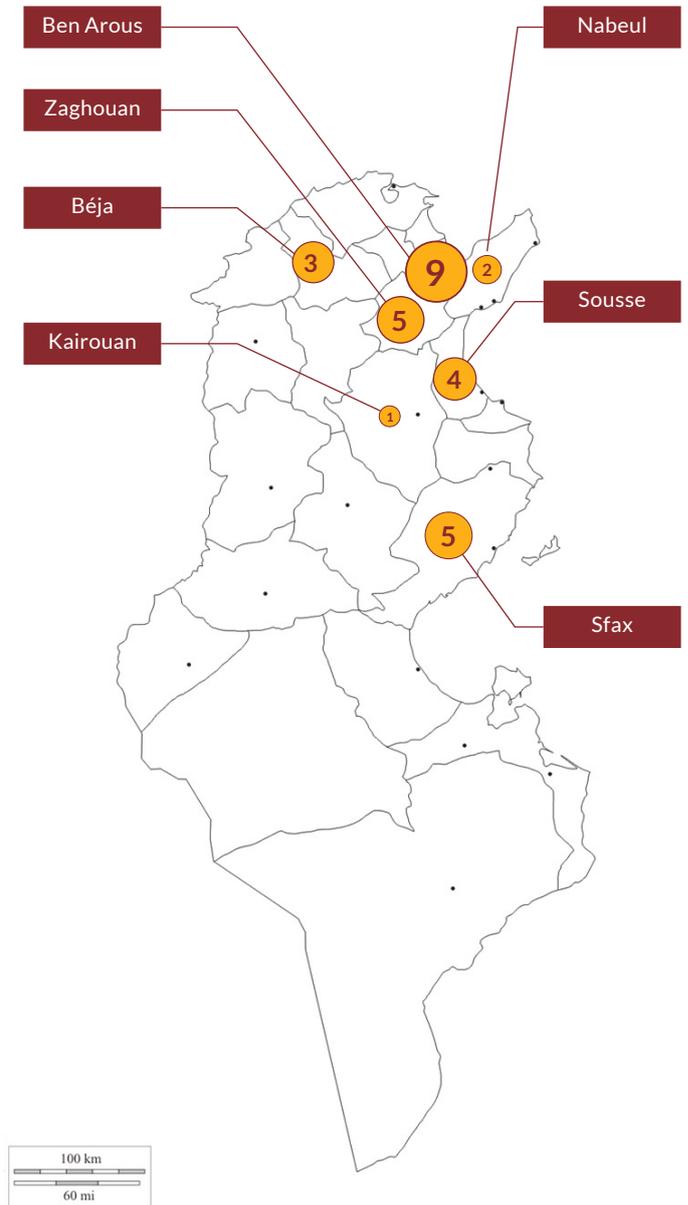
Parmi les 29 fonderies tunisiennes, 48% sont totalement exportatrices. On recense, en 2016, 13 entreprises à participation étrangère dont 6 sont 100% étrangères, avec une prédominance Italienne.

Tableau 1 : Les fonderies à capitaux étrangers ou mixtes

Pays	Nombre
Italie	6
France	5
France –Algérie	1
Singapour	1

Source: APII-BDI (Oct-2016)

Le graphe ci-dessous indique que 66% des fonderies en Tunisie sont implantées dans les gouvernorats de Ben Arous, Sfax, et Zaghouan. Par contre, la part des régions intérieures est négligeable, voire insignifiante. Ceci dénote à une asymétrie frappante en investissement entre les régions, au moins pour cette branche d'activité.



Source: APII-BDI (Oct-2016)

Figure 4 : Répartition des fonderies sur les régions

I.3 Certification

Les entreprises certifiées opérant dans la branche fonderie sont au nombre de 7 en 2016, soit 24 % des entreprises. La certification ISO 9001 est la plus répandue pour toutes les entreprises du secteur, à part deux fonderies, qui sont certifiées également ISO TS 16949 et OHSAS 18001. Le graphique ci-après présente la répartition des entreprises certifiées par activité :

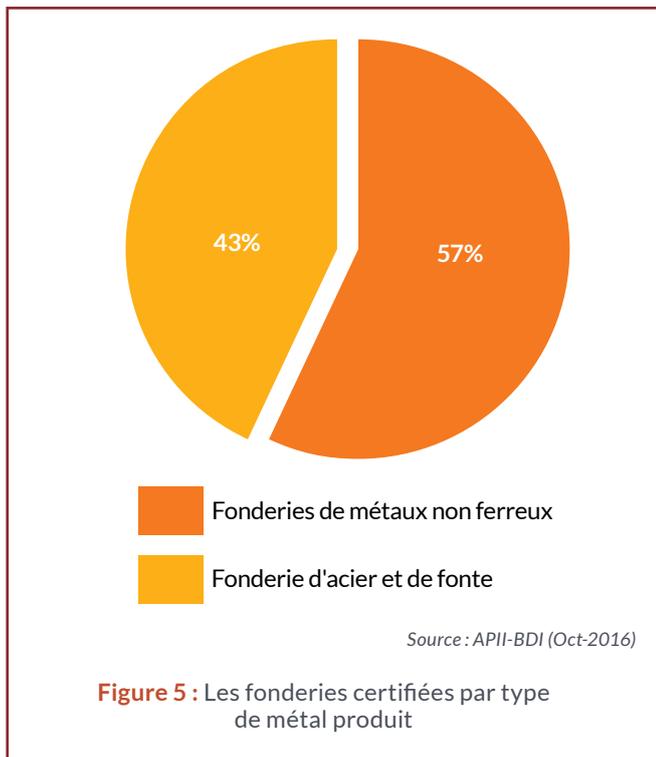


Figure 5 : Les fonderies certifiées par type de métal produit

Bien que l'Etat ait octroyé de nombreuses avantages et subventions aux entreprises dans le cadre du programme de mise à niveau, le nombre des entreprises certifiées du secteur n'a pas bien évolué depuis des années.

I.4 Investissements

Selon la base de données des projets industriels déclarés au niveau de l'APII, on recense 47 attestations de dépôts de déclarations ADD de projets de fonderie déposés sur la période 2010-2015 pour un investissement total de 55 MTND et permettant la création de 1250 postes d'emploi.

75% des ADD sont des projets de création, 19% des projets d'extension et 6% des projets de reconversion.

L'analyse de la répartition régionale des « ADD » de la branche fonderie montre que les gouvernorats de Zaghouan et de Ben Arous détiennent la part

importante avec 41% des investissements déclarés et 23% de projets déclarés dans le secteur de fonderie sont localisés dans les régions de Kasserine, Medenine et Gafsa. L'augmentation de la part des régions intérieures en matière de projets déclarés est due probablement aux nouvelles mesures d'encouragements accordés par l'État pour l'investissement dans ces régions. Le graphique ci-après, illustre la répartition régionale de projets déclarés dans la branche de fonderie en Tunisie:

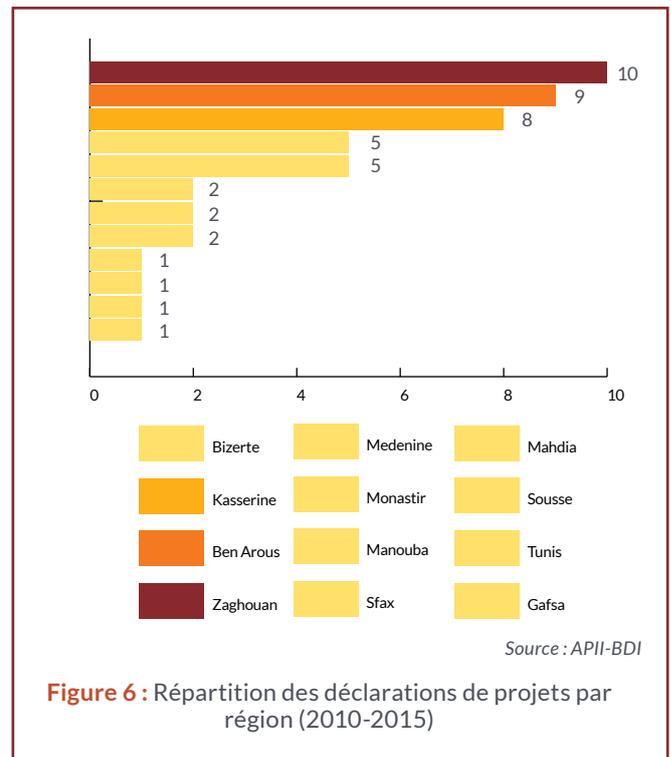


Figure 6 : Répartition des déclarations de projets par région (2010-2015)

Nous signalons l'entrée en production de 7 nouvelles fonderies entre 2010 et 2015 et elles sont toutes totalement exportatrices. Notons que 6 parmi les 7 entreprises sont des fonderies des métaux non ferreux et une seule fonderie d'acier.

Bien que le secteur ait connu l'apparition de nouvelles fonderies pendant les 5 dernières années, le nombre des entreprises de la branche n'a bien évolué, et notamment pour les fonderies des métaux ferreux. En plus, la taille de l'effectif a enregistré un taux de croissance moyennement faible de 11% pendant 14 ans.

On note l'entrée en production d'une nouvelle fonderie de fonte dans la région de Zaghouan disposant de technologies avancées de moulage et fusion. Cette nouvelle fonderie appartient à un groupe industriel privé Tunisien de renommée présent dans les secteurs de la métallurgie, de la construction métallique et de l'agro-alimentaire.

1.5 Gamme des produits de fonderie en Tunisie

La gamme des produits fabriqués par les fonderies tunisiennes sont de deux types : ferreux et non-ferreux.

1.5.1 Métaux ferreux

Les produits fabriqués par les fonderies de fonte essentiellement sont des articles de canalisations d'eau, de regards de chaussée, volute de pompe, flasques, pièces mécaniques diverses, ..., etc. Les pièces sont généralement en fontes grises ordinaires, ce qui limite à priori la gamme des produits à fabriquer et les choix pour l'utilisateur. Il convient, pour les fonderies de fonte en Tunisie, de s'orienter vers d'autres nuances telles que la fonte GS, la fonte vermiculaire, la fonte malléable et les fontes alliées. D'autre part, les fonderies de fonte sont appelées à améliorer la qualité de leurs produits pour pouvoir acquérir de nouveaux clients, notamment, ceux du secteur de l'usinage mécanique.

Concernant l'acier, les produits fabriqués sont principalement des parties de turbines et des pompes pour le secteur du gaz & pétrole, des pièces mécaniques, pièces de rechange pour cimenterie (boulés pour tonneaux), des plaques de blindage de concasseur pour briqueterie, ..., etc.

1.5.2 Métaux non-ferreux

Les principaux métaux non-ferreux traités par les fonderies en Tunisie sont : L'aluminium, le Zamak, le laiton. La gamme des produits fabriqués concerne principalement des articles de quincaillerie (poignées de portes, crémones, boutons de portes, loquets, targettes, etc.), des articles sanitaires (accessoires de salles de bains, etc.), des pièces de décoration, des accessoires de réseaux électriques moyenne et basse tension (pinces d'ancrage, éléments d'accrochage pour isolateurs, etc.) et des éléments de radiateurs de chauffage.

L'activité des métaux non-ferreux a connu une évolution, au cours de la dernière décennie, soit en termes de nombre d'entreprises créées ou en termes d'échanges commerciaux. Toutefois, les entreprises des métaux non ferreux sont appelées à développer les technologies de production et à améliorer constamment la qualité de leurs produits pour pouvoir garder une bonne compétitivité.

1.6 Le marché des produits de la branche « Fonderie »

Plusieurs usagers des produits de la branche fonderie, on cite :

Fonte et Acier :

- Les fabricants de matériel roulant.
- Utilisateurs de matériel agricole (pièces de charrue)
- SONEDE (des raccords en fonte, bouche à clé,..)
- STEG (Ball-Socket pour le réseau d'électricité, des balises pour le réseau de distribution du gaz)
- ONAS et les sous-traitants de travaux d'assainissement.
- Entreprises d'hydraulique industrielle.
- Industrie mécanique (volute de pompe, des flasques, articles divers).
- Industrie pétrolière (pompe, turbine,..).
- Pièces de rechange pour cimenterie (boule de broyeur, godet d'élévateur).



Métaux non-ferreux :

- Des entreprises de mécanique: pièces brutes destinées à être usinées (poulies, chapes, paliers, engrenages, axes ...), coude thermostat, bouchon de roue.
- Des entreprises d'hydraulique : colliers de prise, couvercles, corps de pompes.
- Des entreprises de bâtiments : articles de quincaillerie.
- Des sociétés de transport : pièces de rechange et composants automobiles.



I.7 Echanges extérieurs

Le niveau des échanges en 2015 a été de 87 MTND pour les exportations et de 215 MTND pour les importations. Il en a résulté un déficit commercial de 128 MTND, correspondant à un taux de couverture de 40%, alors que ce taux était de 36% en 2012.

L'amélioration du taux de couverture en 2015 est due, d'une part, à l'accroissement des exportations tunisiennes en produits de fonderie par rapport

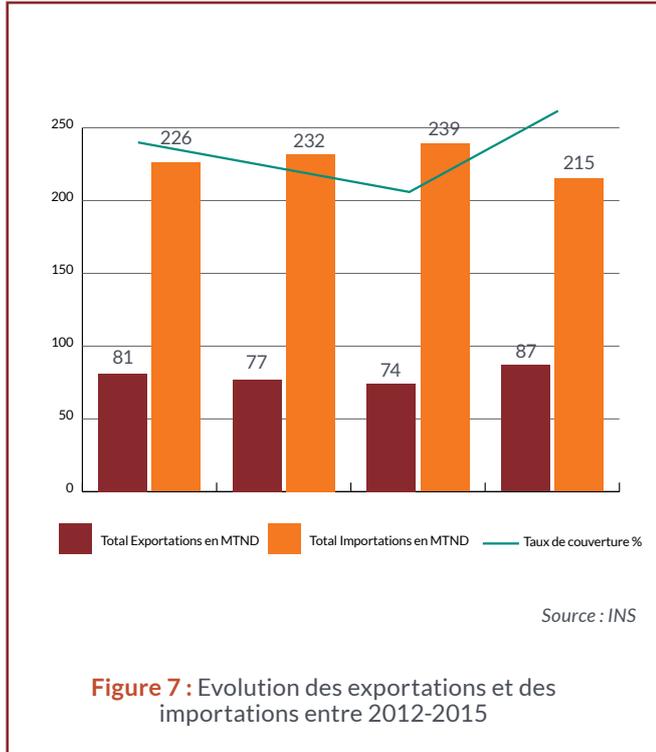


Figure 7 : Evolution des exportations et des importations entre 2012-2015

l'année précédente (+18%) et notamment en accessoires des tuyauteries en fonte utilisés pour canalisations sous pression, et d'autre part, à la baisse des importations de certains produits à l'instar les robinets et les vannes en fonte et en acier.

I.7.1 Les importations

L'analyse des importations tunisiennes en produits de fonderie en 2015, montre que les produits en métaux ferreux (acier et fonte) représentent plus que 80% des importations. En examinant les types des articles importés en acier et en fonte, on constate que la majorité des produits importés sont fabriqués et/ou peuvent être fabriqués par les fonderies tunisiennes tels que les accessoires de tuyauterie en fonte ou en acier. Cela indique d'une part l'incapacité des fonderies tunisiennes des métaux ferreux à couvrir le besoin national en la matière. Et d'autre part le faible pouvoir de compétitivité de produit tunisien face au produit étranger, et notamment en

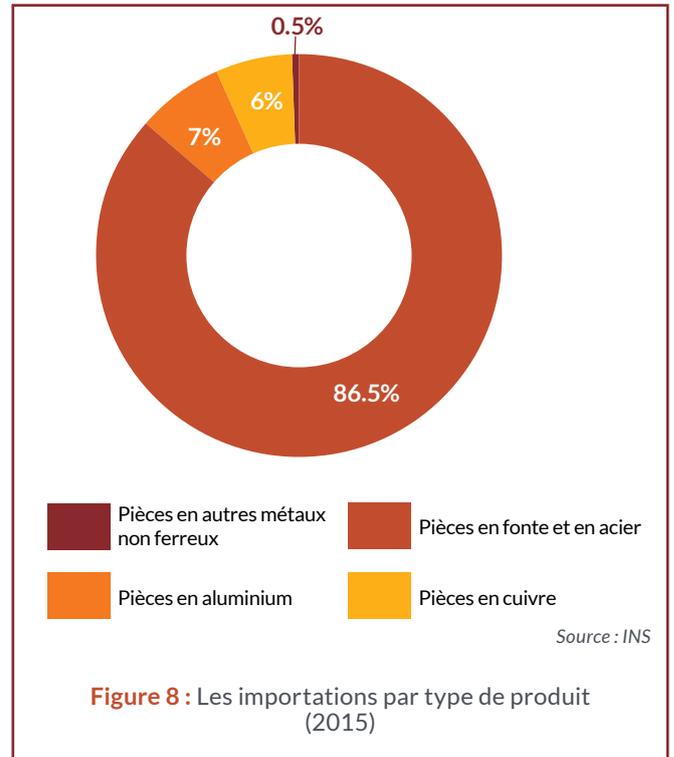


Figure 8 : Les importations par type de produit (2015)

terme de prix de revient.

Les pays de l'union européenne sont les premiers exportateurs vers la Tunisie en la matière. La France et l'Italie détiennent la part du lion avec 38%. La Chine arrive en 3ème position avec 11%. Il est à signaler que les produits chinois importés constituent des produits de substitution des produits locaux vu leurs coûts moins chers.

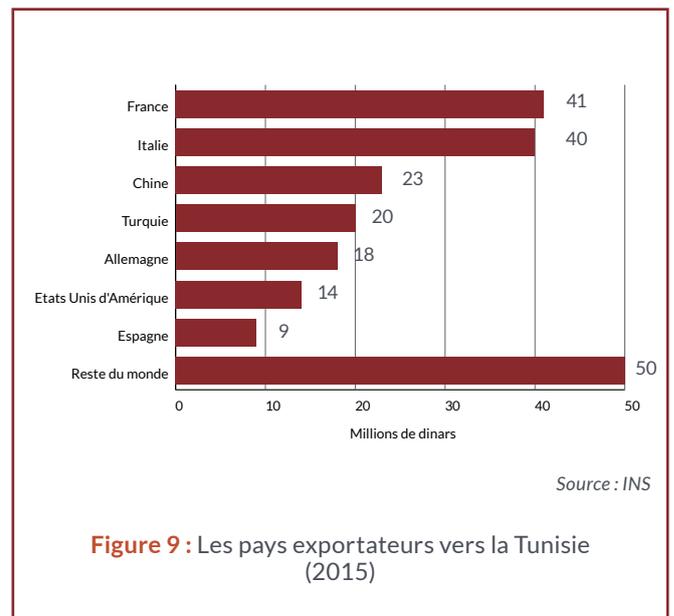


Figure 9 : Les pays exportateurs vers la Tunisie (2015)

I.7.2 Les exportations

L'analyse des NSH des exportations de l'année 2015 nous a montré que les produits en métaux non ferreux et notamment les ouvrages en aluminium

coulées ou moulés sont les plus prépondérants, ceux-ci représentent plus de 20% des exportations. En l'espèce, il est utile de relever que les articles en métaux non ferreux produits en Tunisie trouvent de bons échos commerciaux chez un bon nombre de clients surtout dans des pays connus par leur avance dans ce domaine. Cela représente un marché potentiel à entretenir et à développer.

Par ailleurs, nous remarquons que la valeur des exportations des pièces moulées en fonte est supérieure à 23 MTND, alors que la branche inclut une seule fonderie totalement exportatrice et la production nationale en la matière ne dépasse pas dans la meilleure des cas les 25 millions de dinars. Ceci dénote, évidemment, qu'une partie des pièces importées et notamment des accessoires de tuyauterie, des parties des machines moulés en fonte, des éviers et des baignoires, est réexportée après avoir subi un traitement de surface d'émaillage, de peinture ou de galvanisation. En outre, il est fort probable que la montée de la valeur des exportations soit due aux produits de fonderie fabriqués par des entreprises faisant le recyclage des métaux ou bien par les entreprises qui travaillent essentiellement dans l'usinage mécanique et ayant une activité de fonderie en amont.

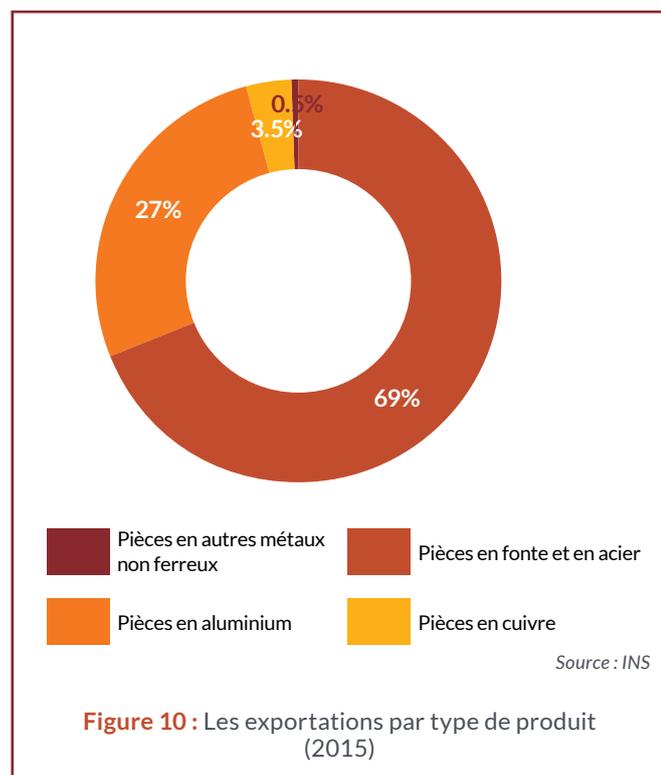


Figure 10 : Les exportations par type de produit (2015)

Les principaux clients de la Tunisie en produits de fonderie, en 2015, sont l'Italie avec 31% de la valeur des exportations, soit 27 MTND, suivie de la France avec 28%, puis le Royaume Uni avec 6%. Les pays du Maghreb, l'Algérie et la Libye viennent en 4ème et 5ème positions avec 3% et 2% respectivement. Voir le graphique ci-après :

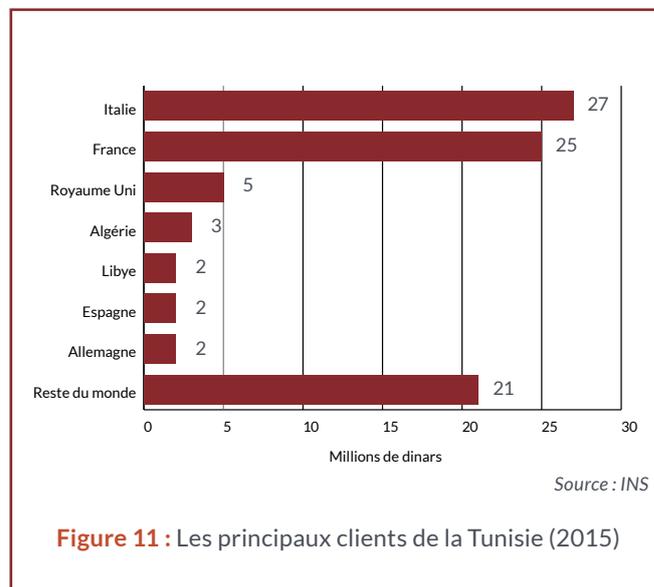


Figure 11 : Les principaux clients de la Tunisie (2015)

1.7.3 Déchets et débris

Le système de gestion des déchets a évolué ces derniers temps grâce à la volonté politique, et le secteur jouit, désormais, d'une attention prononcée dans le cadre d'une stratégie de la Tunisie pour la protection de l'environnement et de développement durable. En conséquence, le nombre d'entreprises travaillant dans le domaine de recyclage des métaux a bien évolué et on compte actuellement plusieurs entreprises privées spécialisées dans la collecte, le tri et la vente de la ferraille dans toutes ses variétés.

En ce qui concerne les échanges commerciaux de déchets et débris métalliques, on constate que les exportations de ferrailles d'acier et fonte ont passé de 16 Millions de dinars en 2011 à 9 Millions de dinars en 2015, soit une baisse de 44%.

En revanche, les exportations des déchets et débris non ferreux ont enregistré une forte croissance sur la même période, et notamment après la révolution. Les déchets et débris non ferreux sont relatifs essentiellement au cuivre et alliages et aluminium. Signalons que les exportations de déchets et débris

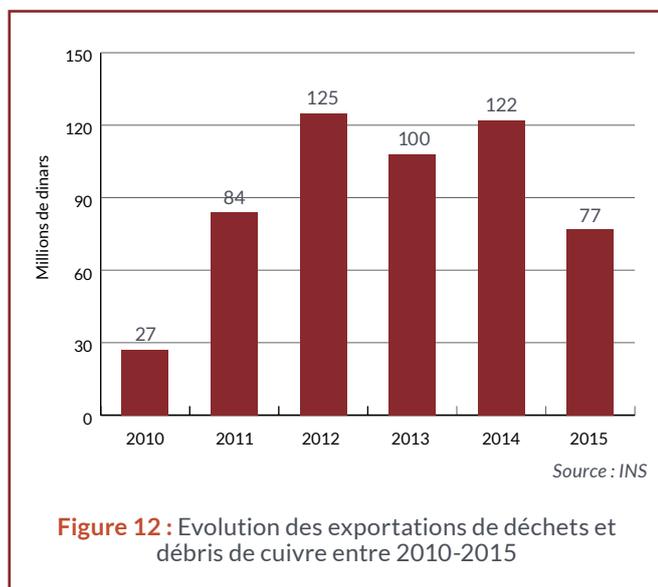


Figure 12 : Evolution des exportations de déchets et débris de cuivre entre 2010-2015

de cuivre et alliages se sont multipliés par trois entre 2010 et 2012, passant de 27 Millions de dinars en 2010 à 125 Millions de dinars en 2012. En 2015, les exportations de cette matière ont enregistré une valeur de 77 MTND, soit 73% du volume total des exportations des déchets et débris non ferreux. Ceci est principalement dû à la propagation du phénomène de la contrebande qui a évolué de manière significative après la révolution.

II. Diagnostic de la branche

II.1 Organisation

La plupart des fonderies en Tunisie sont centrées sur la fonction de production, au détriment des autres fonctions dans l'entreprise comme le management, le commercial et le marketing. Ainsi, plusieurs fonderies sont des entreprises familiales, dont le père est généralement le fondateur qui associe ses fils à la gestion de l'entreprise pour les préparer à la relève. Il est à signaler que les fonctions commerciales et marketing sont réduites au sein de la plupart des entreprises sauf pour les fonderies totalement exportatrices. L'absence des stratégies commerciales pour plusieurs fonderies a conduit quelques entreprises à travailler en intermittence ou à arrêter complètement leur activité. Nous citons le cas de la fonderie SINCAP qui a été fermée en 2006.

II.2 Formation professionnelle et Ressources humaines

La formation du métier de fonderie n'existe pas dans les programmes de l'enseignement. En effet, nous trouvons des modules concernant la métallurgie et

les procédés de fabrication intégrés dans la formation des techniciens et des ingénieurs de la branche mécanique. Généralement, l'apprentissage du métier de fonderie obéit aux règles de compagnonnât. Un seul centre de formation professionnel des arts du feu créé en 2001 à Nabeul, qui permet de former des opérateurs qualifiés (CAP) ou des chefs d'équipes (BTP). En fait, les activités de fonderie demeurent à caractère empirique et basées sur le savoir-faire acquis par les personnels.

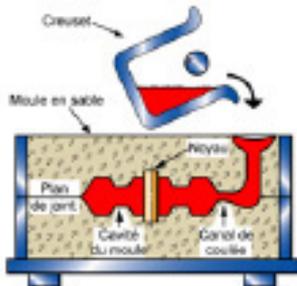
Notons que la moyenne d'âge dans cette branche d'activité est élevée, et plusieurs employés sont partis en retraite puisque la majorité de ces personnes sont des anciens employés de la SOFOMECA.

II.3 Moyens et Procédés de production

Le modelage représente la première phase dans le processus de fabrication de la fonderie. Il est également appelé outillage de fonderie, il requiert un haut niveau de compétence afin d'obtenir les tolérances étroites nécessaires des moules et des boîtes à noyaux. Cette étape est cruciale dans le procédé de coulée étant donné que les pièces coulées produites ne peuvent pas être meilleures que les modèles utilisés pour les fabriquer. En Tunisie, cette fonction est assurée essentiellement par les anciens modelleurs formés auparavant par la SOFOMECA. Les modèles sont fabriqués, souvent, à l'aide d'outils manuels ou de machines universelles. Néanmoins, les fonderies font recours, parfois, à la sous-traitance appliquant le système de conception et de fabrication assistées par ordinateur sur des machines commandées de façon numérique (CNC), pour la confection des modèles nécessitant plus de précision. Les modèles et les matériaux de boîte à noyau sont habituellement en métal, en résine, en plastique, en bois ou en plâtre. La cire et le polystyrène sont respectivement utilisés dans des procédés de coulée à la cire perdue. Les modelleurs ont un large éventail d'outils mis à leur disposition, y compris des outils de travail du bois et d'usinage du métal. Des raccords mécaniques et des colles sont utilisés pour joindre les pièces de modèles. Les modelleurs utilisent également de la cire, du plastique ou du mastic polyester comme charge de remplissage pour remplir ou arrondir l'intérieur des coins carrés.

Le procédé de moulage le plus pratiqué dans les fonderies de fonte et d'acier est le moulage en sable à ver en raison de son faible coût de fabrication. Le

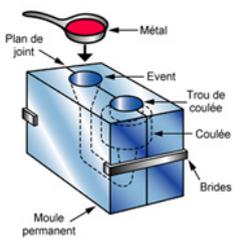
moulage en sable rigide n'est pas très appliqué à cause du coût d'achat très élevé des résines. Il est essentiellement utilisé pour les grosses pièces et la production unitaire (moulage à main). La préparation et la régénération des sables récupérés après décochage se font dans des installations appelées sableries où le sable est tamisé, démotté, concassé,



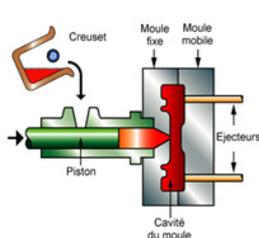
Moulage en sable

malaxé et mélangé pour être ensuite injecté aux machines à mouler. On note qu'uniquement les grands producteurs de la branche disposent des sableries en bon état, alors que le reste des fonderies faisant le moulage en sable ont des sableries détériorées et elles manquent généralement des composants indispensables (tambours magnétiques, trommel, brise-mottes, tamis vibrants, refroidisseurs) pour garantir une bonne qualité de sable de moulage.

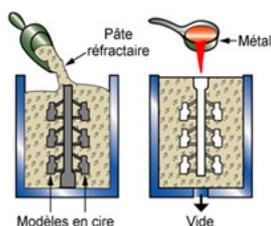
Les fonderies des métaux non ferreux appliquent souvent le moulage en moule permanent, soit par gravité ou sous pression ou le moulage en cire perdue. Voir les photos ci-après :



Moulage par gravité



Moulage sous pression



Moulage en cire perdue

Le moulage en sable se fait soit manuellement à l'aide d'un fouloir vibrant ou sur des machines à moulage horizontal à vibration/pression ou sur des machines à moulage vertical ayant une cadence de production allant jusqu'à 100 moules / heure.

Les coquilles métalliques pour la fabrication de pièces en alliages d'aluminium, de cuivre ou de zinc sont généralement sous-traitées à l'extérieur de l'entreprise.

Concernant la fabrication des noyaux, les fonderies utilisent deux procédés de fabrication, à savoir : le Silicate de soude et l'Ashland. Généralement, le procédé Silicate est plus appliqué dans les fonderies faisant le moulage en sable en dépit de ses inconvénients en matière de qualité, en raison du faible coût d'achat de la matière première et sa disponibilité sur le marché local. Par contre, les noyaux en Ashland offrent un meilleur état de surface et sont plus facile à débourrer. Nous notons que les noyaux sont fabriqués sur des machines à souffler.

Les fonderies de fonte utilisent soit le four à induction, soit le cubilot comme moyen de fusion. Généralement, les fours à induction sont meilleurs en termes de rendement, et ils sont moins polluants par rapport au cubilot. Ils permettent également de maîtriser la qualité du métal élaboré (propriétés mécaniques : dureté, traction,...). Tandis que, les fonderies de l'acier utilisent le four à arc. En revanche, les fonderies des métaux non ferreux emploient des fours à creuset : au gaz, fuel.

La coulée se fait soit manuellement par l'utilisation de poches de coulées ou par des louches soit mécaniquement avec des machines pourvues de doseurs.

Les équipements utilisés dans la section de parachèvement sont :

- Grenailleuse à tapis ou à charge suspendue: pour éliminer les grains du sable collés à la pièce.
- Des scies et de tronçonneuses : pour l'élimination des systèmes de coulée (descente, chenal, attaques, masselotte).
- Des tourets à meuler, des meules à disque ou à crayon (électriques ou pneumatiques) : pour l'ébarbage et l'ébavurage des pièces.

Outre les pièces brutes, les fonderies tunisiennes fournissent des pièces usinées grâce aux partenariats avec des usineurs locaux et européens. On note que quelques fonderies tunisiennes à l'instar FMT, réalisent elles-mêmes, les activités d'usinage pour les petites et moyennes séries. De plus, nous signalons que les grandes fonderies de fonte disposent des installations de peinture à la trempe pour application d'apprêt anti rouille, permettant ainsi de fournir aux clients des pièces finies prêtes pour montage.

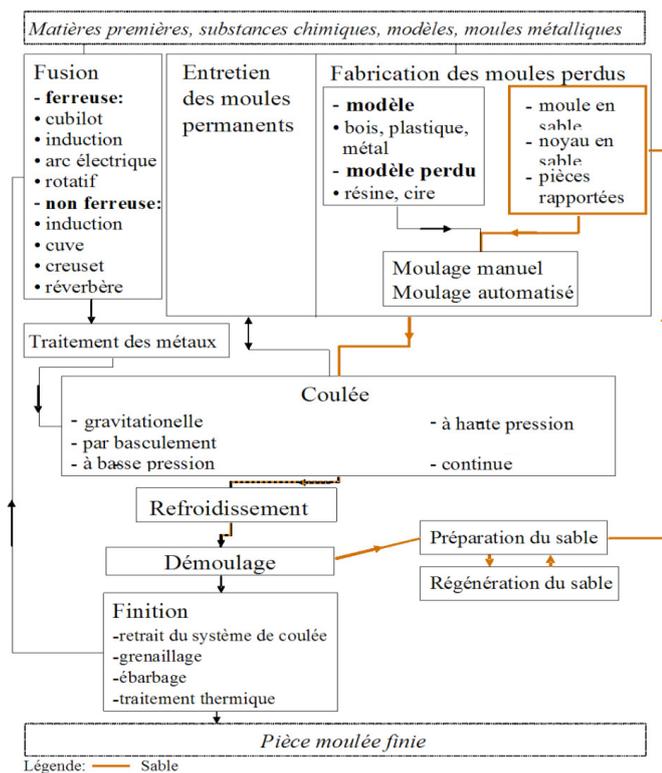


Figure 13 : Diagramme de flux de la production au sein d'une fonderie

Par ailleurs, les fonderies sont amenées parfois à réaliser des traitements thermiques pour leurs pièces tels que le recuit ou la trempe. Actuellement la plupart des fonderies réalisent cette activité en sous-traitance. En revanche, la Fonderie Moderne de Tunisie dispose d'un four de traitement thermique et elle l'utilise pour réaliser le recuit d'adoucissement des pièces à usiner et pour le traitement de graphitisation des pièces en fonte malléable.

Le diagramme synoptique ci-dessous, résume les principales activités de la production au sein d'une fonderie :

II.4 Matières premières

La ferraille est la principale matière première employée dans les fonderies des métaux ferreux. Il est à noter que le prix des ferrailles a augmenté

depuis 2004. Les prix de la ferraille fonte qui étaient de 170 TND/ tonne en 2004 varient actuellement entre 270-300 TND/tonne. De plus, les fonderies des métaux ferreux utilisent du graphite et des ferroalliages tels le ferro-silicium, le ferromanganèse et le ferro-phosphore pour ajuster la composition chimique de la matière.

Les fonderies de fonte utilisent également la fonte gueuse, appelée aussi la fonte de première fusion, qui est obtenue directement par le traitement du minerai (l'hématite, la magnétite) pour la fabrication de la fonte sphéroïdale. Il est à signaler que cette matière est importée par les fonderies tunisiennes depuis l'arrêt de la production du haut fourneau de la sidérurgie « El fouledh » en 2003.

Concernant les fonderies des métaux non-ferreux, ils utilisent des alliages des métaux à l'instar l'alliage d'aluminium, alliage de cuivre et l'alliage de zinc. Les entreprises off-shores peuvent même importer la matière première sous forme des lingots avant de la fondre et de la couler dans des moules en cire ou dans des coquilles métalliques.

Les fonderies qui font le moulage en sable à ver utilisent la bentonite et le noir minéral comme des additifs. Les entreprises exportatrices de la branche, telle que la fonderie TUNICAST, disposent d'installations développées de régénération du sable permettant ainsi d'obtenir une bonne qualité du sable de moulage. Alors que les fonderies utilisant le sable extrait de carrière ne réussissent pas à avoir la répartition désirée et souffrent, souvent, d'une qualité médiocre pour leurs produits.

Les résines employées dans la fabrication des noyaux en Ashland sont Phénolique et Isocyanate. De plus, ce procédé nécessite l'application du gaz le diméthyle-ethyl-amine. Par contre, le procédé Silicate utilise le silicate de soude comme matière de base et le CO2 pour le gazage des noyaux. Contrairement au procédé Ashland, les pièces obtenues par le procédé silicate de soude présentent généralement des défauts de rugosité, pour cette raison les mouleurs utilisent les enduits réfractaires à base d'alcool qui donnent la protection nécessaire aux moules ou aux noyaux de sable de sorte que les pièces qui en résultent soient exemptes de défauts: grippure, rugosité, etc. D'autres produits sont utilisés aussi dans le procédé de moulage en sable tels les colles pour assembler des parties de moule et de noyaux

et les agents de démoulage pulvérisés sur le modèle avant le moulage pour éviter le collage du sable.

La majorité des matières premières employées et notamment le graphite, les ferroalliages, les additifs du sable de moulage et les résines du noyautage sont importées. De même, les accessoires pour les produits finis tels que les boulons et les goupilles proviennent généralement de l'étranger. Tout cela dénote à un taux d'intégration faible pour ce secteur d'activité.

II.5 Contrôle qualité et Normalisation

Sur les 29 entreprises, 7 entreprises sont certifiées ISO. Ces entreprises sont les seules qui disposent d'un système qualité structuré et formalisé : plan, fiches techniques, contrôleurs qualité. Par contre, d'autres fonderies ne connaissent pas la normalisation du métier et ne sont pas en mesure de vérifier la qualité de leurs produits à cause de l'absence des moyens de contrôle du métal, du sable de moulage et des pièces finies. Cela explique, en partie, la qualité moyenne et parfois médiocre des produits de fonderies tunisiennes. Et cela constitue une contrainte pour l'exportation et la commercialisation vers les marchés internationales. En effet, une pièce de fonderie est une pièce dont la forme, les dimensions, l'état de surface, les caractéristiques mécaniques et chimiques sont définies par des normes et des exigences fonctionnelles des clients. Et nous reprenons ici quelques normalisations européennes, les plus utilisées en Tunisie et notamment dans les fonderies de fonte et le contrôle qualité :

Tableau 2 : Les principales normes européennes dans la branche fonderie

Référence de la norme	Libellé
EN 1561	Fonderie - Fonte à graphite lamellaire
EN 1562	Fonderie - Fonte malléable
EN 1563	Fonderie - Fonte à graphite sphéroïdale
EN 12681	Fonderie- Contrôle par radiographie
EN 1369	Fonderie - Contrôle par magnétoscopie
EN 1370	Fonderie - Contrôle de la rugosité de surface par comparateurs visotactiles
EN 1371-1	Fonderie - Contrôle par ressuage - Partie 1: Pièces moulées au sable, en coquille, par gravité et basse pression
EN 1371-2	Fonderie - Contrôle par ressuage - Partie 2: Pièces en moulage de précision (cire perdue)
EN 12680-1	Fonderie - Contrôle par ultrasons - Partie 1: Pièces moulées en acier pour usages généraux
EN 12680-2	Fonderie - Contrôle par ultrasons - Partie 2: Pièces moulées en acier pour composants fortement sollicités
EN 12890	Fonderie - Modèles, outillages et boîtes à noyaux pour la production des moules et noyaux au sable
EN 12892	Fonderie - Outillages pour la production de modèles perdus pour le procédé de moulage "lostfoam"

Source : INNORPI

II.6 Impacts environnementaux

Pour ce secteur, une grande partie des déchets est collectée soit par les sidérurgies et les fonderies soit par des petites structures telles que les ferrailleurs qui procèdent à leur tri et leur traitement. Toutefois, des quantités importantes restent irrécupérables et sont dispersées dans les décharges municipales et/ou autres zones non-contrôlées. Dans ce cadre, plusieurs projets ont été réalisés par l'État pour la gestion des déchets solides à l'instar la fermeture et la réhabilitation de la décharge sauvage de Henchir El yahoudia (Grand Tunis) et son aménagement en parc urbain.

Par ailleurs, le procédé thermique et l'utilisation d'additifs minéraux dans la fonderie engendrent d'autres effets environnementaux négatifs. Les effets environnementaux d'un procédé de fonderie sont principalement liés aux gaz d'échappement et aux effluents gazeux et à la réutilisation ou l'élimination des résidus minéraux. De plus, les rejets de poussière et de particules constituent un problème général

présent à tous les stades du procédé de fonderie. La poussière est générée lors de la production et de la transformation des moules et des noyaux en sable, ainsi que lors du finissage des pièces coulées (à partir à la fois des moules perdus et des moules permanents). En Tunisie, uniquement les fonderies totalement exportatrices disposent d'installations de dépoussiérage étant donné le coût élevé de leur mise en place. En effet, ces installations sont devenues une nécessité pour les entreprises de la branche surtout en matière de santé et sécurité de travail ainsi qu'avec l'évolution de la réglementation environnementale.

De plus, les fonderies d'acier et de fonte génèrent une quantité importante de calamine, de laitier ainsi que de matériaux réfractaires qui peuvent être utilisés dans plusieurs domaines de la construction ou encore dans la fabrication de ciment à plusieurs points dans le processus. Egalement, le sable usé de fonderie peut être valorisé après caractérisation analytique dans les travaux publics (grave routière, enrobés), dans la fabrication de blocs en béton, dans le comblement de cavités minières désaffectées et dans l'édification des centres d'enfouissement (couverture des alvéoles et chemin d'accès).

II.7 Forces, Faiblesses- Opportunités, Menaces

Bien que le secteur de la fonderie en Tunisie dispose de plusieurs atouts, il connaît depuis quelques années une stagnation en terme de tonnage produit, notamment pour l'activité de métaux ferreux, à cause de plusieurs raisons. Nous avons essayé dans la matrice SWOT, ci-après, d'énumérer les enjeux internes et externes du secteur :

<p>Points forts S</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existence d'un savoir-faire et des compétences techniques. - Présence d'un centre de formation pour le métier de fonderie. - Coût de facteur : main d'œuvre et énergie. 	<p>Points faibles W</p> <ul style="list-style-type: none"> - Matériels vétustes et technologie obsolète. - Absence du centre de R&D pour ce métier. - Matières premières importées. - La qualité des produits fabriqués est médiocre. - Absence d'une formation de fonderie pour les ingénieurs et les techniciens. - Impact environnemental - Certification
<p>Opportunités O</p> <ul style="list-style-type: none"> - Des marchés potentiels (Algérie, Mauritanie, l'Afrique...). - Création d'une nouvelle fonderie de fonte. - Demande accrue sur les pièces usinées par l'industrie d'automobile et l'aéronautique. - La fermeture de plusieurs fonderies en Europe. - Présence de plusieurs législations d'incitation à l'investissement dans le pays. - Valorisation de déchets. 	<p>Menaces T</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apparition de nouveaux matériaux (polymères, composite, etc.). - Concurrence rude de la part des produits étrangers. - La réglementation environnementale devient de plus en plus contraignante (eau, déchets, poussière).

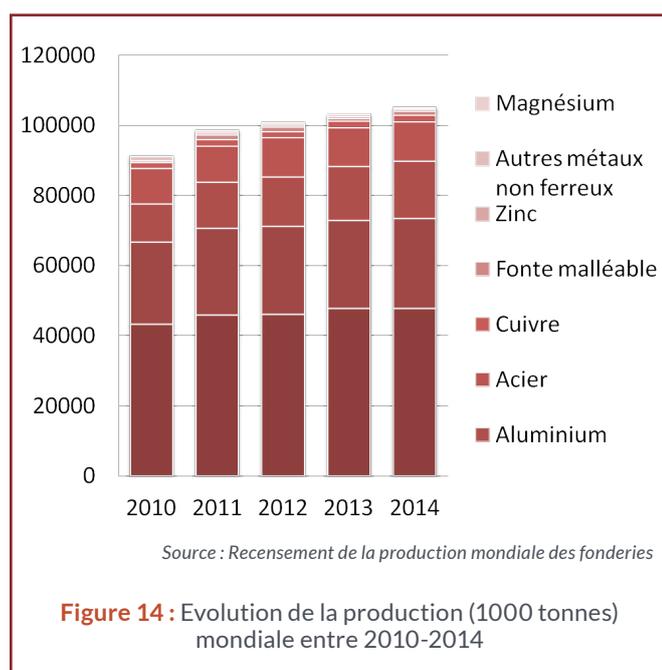
Tableau 3 : La matrice SWOT de la branche fonderie

III. Situation Internationale de la Branche

III.1 Evolution de la branche

En 2014, la production mondiale de la branche de fonderie a augmenté pour atteindre plus de 105 millions de tonne, enregistrant une croissance de 2.3% par rapport à l'année 2013. La production mondiale en 2014 a progressé de 2.8 millions de tonnes par rapport à l'année précédente. Le taux de croissance de la branche de fonderie a subi une légère baisse par rapport à celui réalisé en 2013 (3.4%).

L'évolution de la production mondiale du secteur de fonderie durant la période 2010-2014 est due principalement à l'accroissement de la production des pièces moulées en aluminium et en fonte dans toutes ses nuances. Il est à noter que la valeur de la production des pièces moulées en aluminium a été en croissance continue entre 2010 et 2014,



passant d'une valeur de 10.8 millions de tonnes en 2010 à 16.2 millions de tonnes en 2014, soit une augmentation de 49%. De même, la production des produits de fonderie en fonte grise et en fonte nodulaire a progressé, enregistrant une croissance de 10% et 11% respectivement.

Il est important de souligner que des fluctuations importantes ont touché les fonderies de petites séries, telle est le cas de la Bosnie - Herzégovine avec une croissance de 41% et totalement l'extrême pour la Serbie avec une baisse de 36%.

En 2014, la Chine, le leader mondial dans la production des pièces moulées, a augmenté son résultat de 1.7 million de tonnes (3.8%) par rapport à 2013. Les Etats Unis, le deuxième producteur mondial, a montré une croissance modeste (1.8%), tandis que l'Inde a boosté sa production de 2.2%.

Pour la même période, l'Ukraine, la Turquie et le Taiwan, ont réalisé des gains robustes 14.3%, 13.4% et 14% respectivement. En revanche, la majorité des producteurs des pièces moulées ont enregistré des améliorations médiocres. Par exemple, le Brésil le septième mondial du secteur, a perdu 10.9% de sa production totale, effaçant le gain réalisé en 2013 (7.4%).

Le reste de la liste de top 10 demeure inchangée, le Japon quatrième producteur mondial avec 5.54 millions de tonnes, suivi par l'Allemagne avec 5.25 millions de tonnes et la Russie de 4.2 millions de tonnes. Nous trouvons derrière le Brésil, la Corée de sud (2.63 millions de tonnes), l'Italie (2.02) et la France (1.73).

Le graphique suivant représente l'évolution de la production de produits de fonderie en terme de quantité pour les grands producteurs mondiaux.

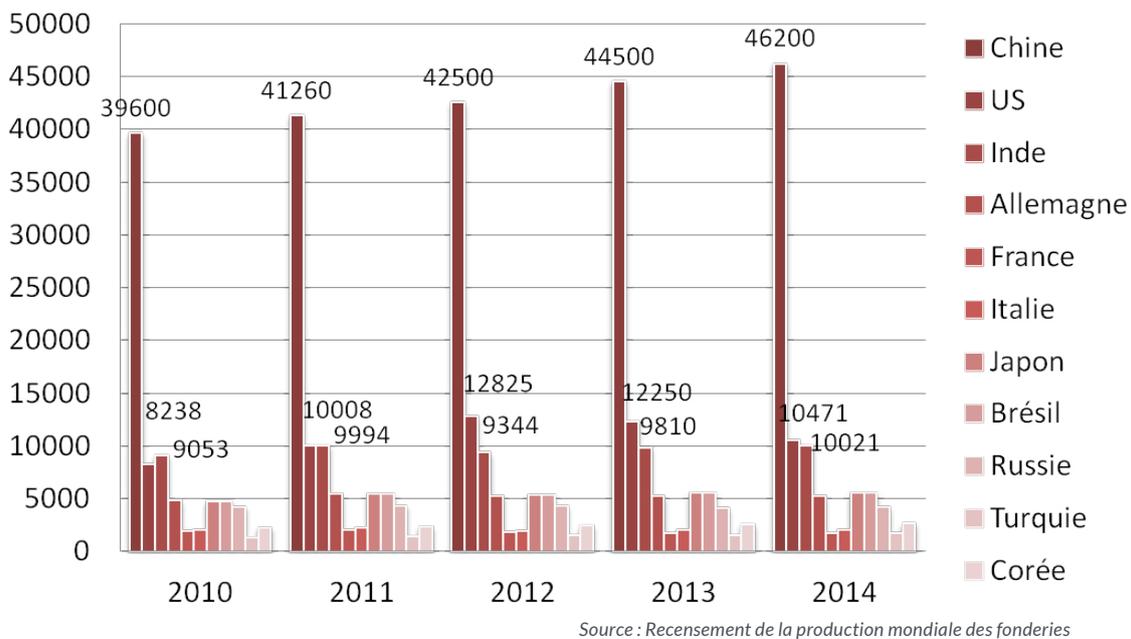


Figure 15 : Evolution de la production de grands producteurs (en 1000 tonnes) entre 2010-2014

Le graphique ci-dessous, montre que les métaux ferreux représentent plus de 80% de la production mondiale des produits de fonderie. Les pièces moulées en aluminium détiennent la deuxième position. La part des autres produits non ferreux tels que le cuivre, le zinc et le magnésium est nettement

négligeable et insignifiante.

Une première constatation concerne l'explosion du nombre de fonderies dans le monde : passant de 13000 unités en 2004 à 47145 unités en 2014, enregistrant ainsi une croissance remarquable de 38% sur la période de 10 ans.

Il est à noter que les fluctuations de nombre de fonderies dans le monde sont liées souvent à la Chine. Le nombre de fonderies du premier producteur mondial des pièces moulées, a augmenté d'une façon exponentielle, de 12000 usines à 30000 en 2013. Cependant, le ralentissement de la croissance économique dans ce pays a eu des mauvaises répercussions sur la branche. En 2014, le nombre des fonderies en Chine a reculé à 26000 entreprises.

De même le nombre des unités de production a baissé pour la majorité des grands producteurs mondiaux. Toutefois, la production en termes de quantité a augmenté considérablement. Cela signifie que les fonderies ont produit plus de tonnage par usine. De ce fait, nous pouvons conclure que les entreprises ont travaillé, en 2014, d'une manière plus efficace, c'est à dire ils produisent plus de quantité avec le minimum des ressources (humaines, matériels, financières,..., etc.).

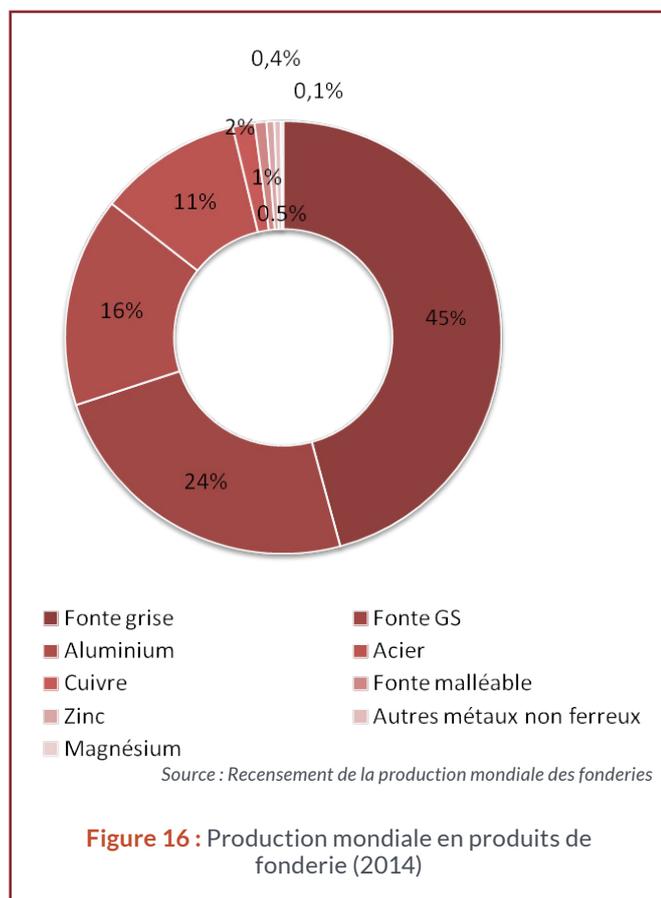


Figure 16 : Production mondiale en produits de fonderie (2014)

Tableau 4 : Nombre des entreprises par type de métal produit/ pays*

Pays	Fonte	Acier	Non ferreux	Total
Brésil	516	194	630	1340
Chine	15000	5000	6000	26000
France	88	36	298	422
Allemagne	254	-	341	595
Inde	-	-	-	4500
Italie	149	25	913	1087
Japon	817	75	1193	2085
US	634	355	989	1978
Corée du sud	528	146	242	916
Russie	-	-	-	1200

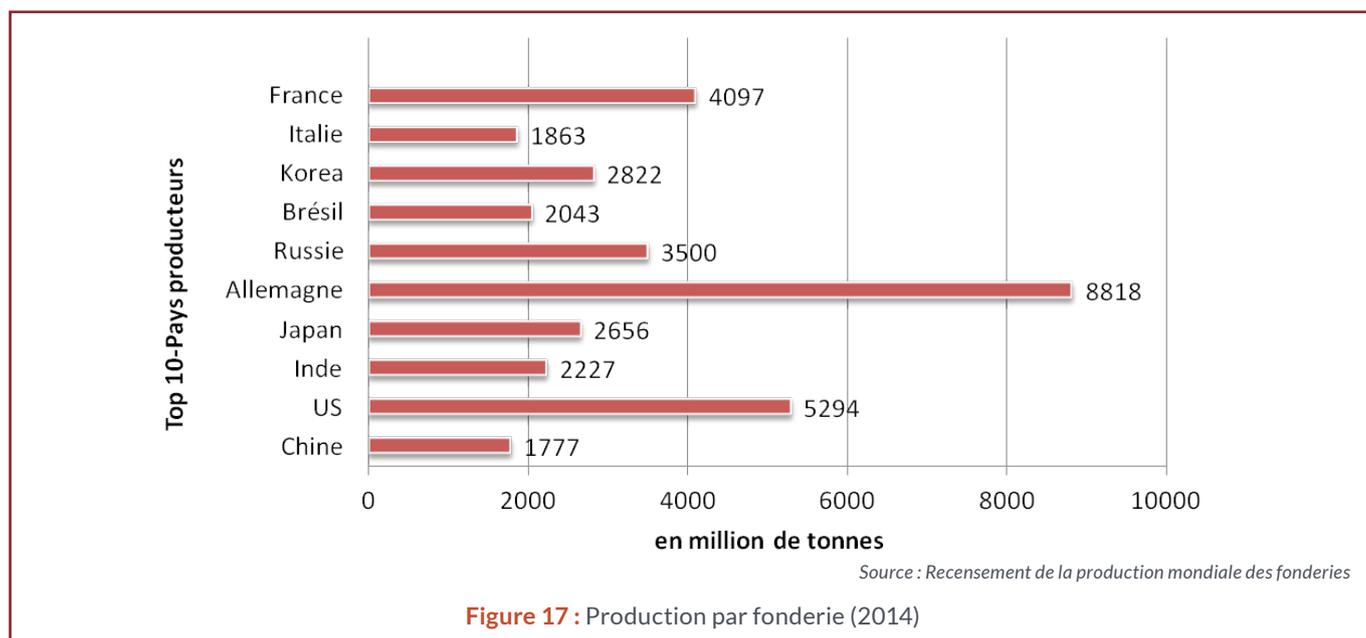
Source : Recensement de la production mondiale des fonderies

Tableau 5 : Evolution de nombre des fonderies/ pays*

Pays	2004	2009	2014
Chine	12000	26000	26000
US	2480	2130	1978
Inde	4200	4600	4500
Japon	1708	1697	2085
Allemagne	641	602	595
Russie	1900	1350	1200
Brésil	1315	1331	1340
Corée du sud	798	873	916
Italie	1106	1121	1087
France	521	459	422

Source : Recensement de la production mondiale des fonderies

*Les tableaux ci-dessus illustrent le nombre des fonderies pour le TOP 10 des pays producteurs



III.2 Comparaison

Nous avons choisi la France, l'Italie et la Turquie comme pays de comparaison. La France est un pays de l'union européenne et partenaire habituel de la Tunisie et l'Italie puisque elle représente le premier investisseur étranger dans la branche fonderie en Tunisie. Quant à la Turquie, c'est un pays intégré dans le processus de libre échange de la Tunisie. Hélas, l'absence des données récentes pour la branche fonderie au Maroc nous a empêché d'inclure ce pays concurrent dans cette analyse comparative.

La France :

Le secteur de fonderie en France est en régression depuis 2011. Signalons que le TCAM a baissé de 3% entre 2010 et 2014. Les causes directes de cette régression sont la forte baisse de la production des véhicules domestiques, ainsi que les faibles performances de l'industrie de l'ingénierie mécanique.

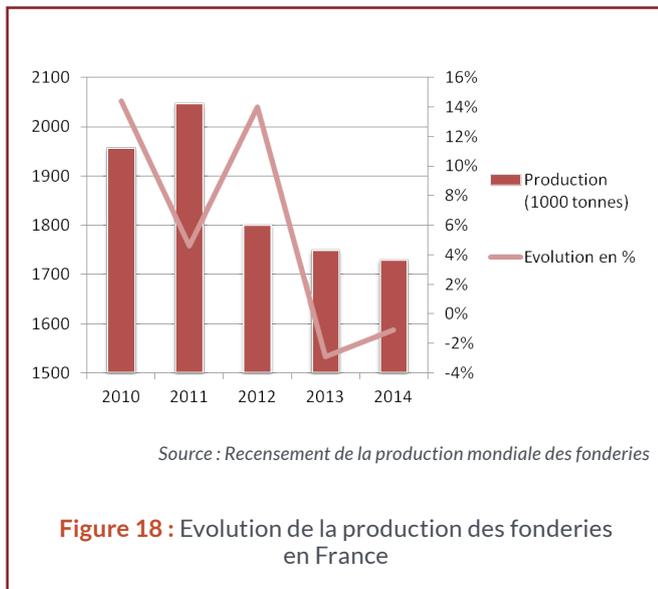


Figure 18 : Evolution de la production des fonderies en France

La France compte 422 fonderies réparties entre :

- des établissements (2/3) exerçant une activité principale de fonderie
- des établissements (1/3) dont l'activité principale ne relève pas de la fonderie, mais qui possèdent un ou des ateliers de fonderie sur leur site.

La production des fonderies françaises est dominée par les produits en fonte avec plus de 75%.

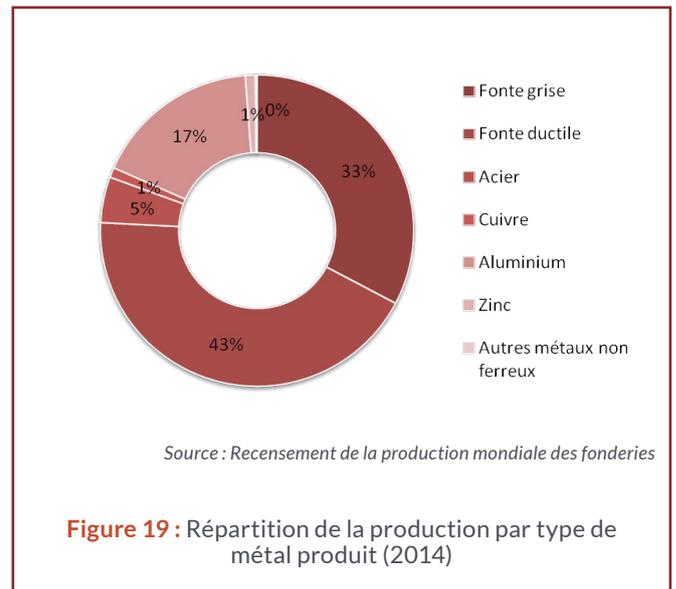


Figure 19 : Répartition de la production par type de métal produit (2014)

Plusieurs raisons expliquent la chute de la branche «Fonderie» française, citons à titre d'exemple :

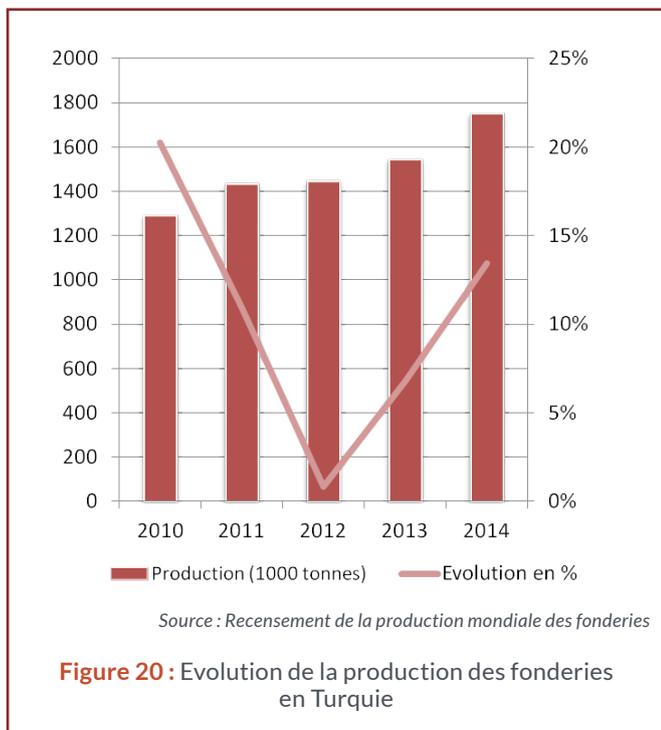
- La concurrence rude de la Chine et de l'Inde,
- L'apparition de nouveaux concurrents à l'instar les pays de l'Europe de l'Est (la Pologne, l'Ukraine,...).
- La réglementation en matière de sécurité et préservation environnementale.

Le recul de la branche de fonderie en France peut représenter une opportunité pour la Tunisie afin de développer sa production et augmenter ses exportations en la matière, en essayant d'acquérir de nouveaux clients et d'attirer les investisseurs étrangers qui cherchent à produire à moindre coût.

La Turquie :

Contrairement à son homologue français, l'analyse de la branche « Fonderie » turque montre une croissance sur la période 2010-2014. La production turque des produits de fonderie a enregistré un TCAM de 7%, passant de 1292 Mille tonnes en 2010 à 1850 mille tonnes en 2015.

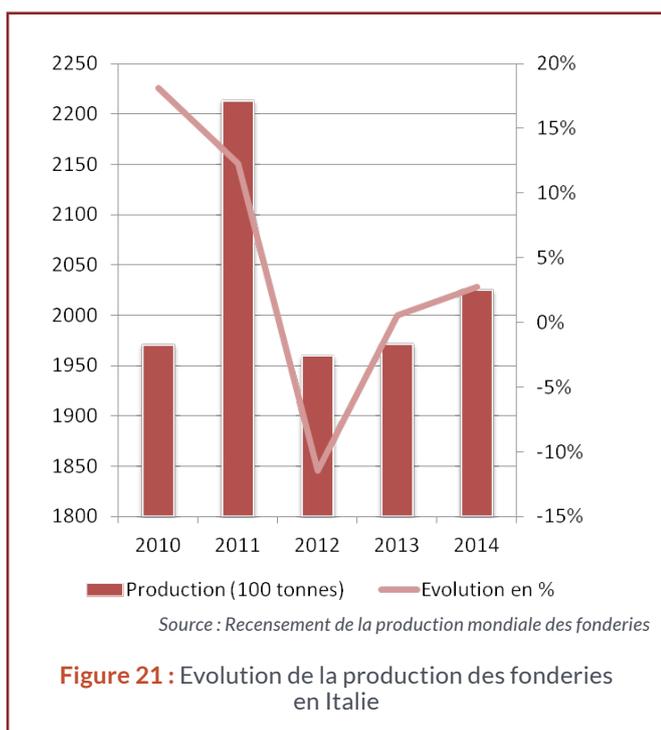
Il est à signaler que le taux de croissance annuel a connu une forte augmentation après 2012 avant de chuter de 7% en 2015, à cause de la crise économique.



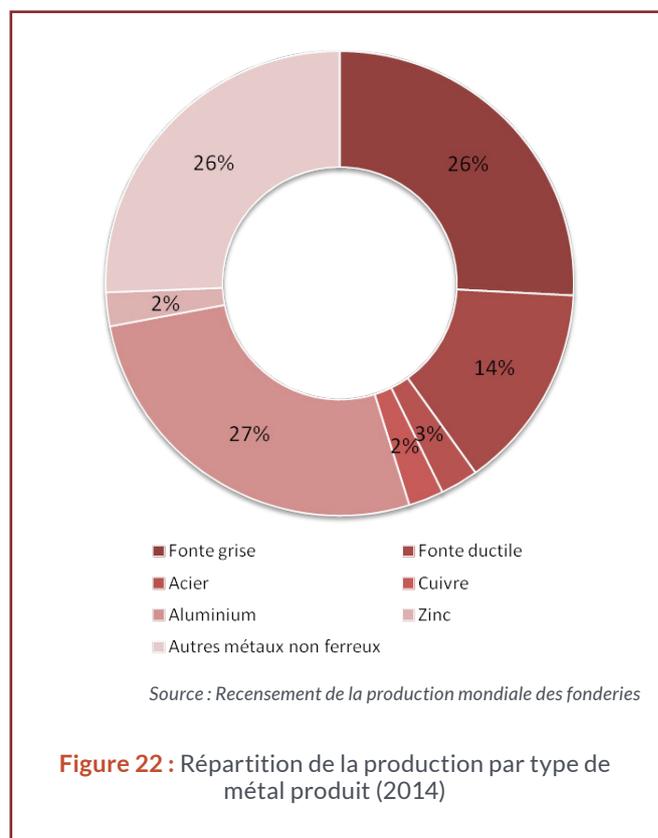
L'Italie :

En 2014, l'Italie a gardé la neuvième place dans le classement mondial de la production des pièces de fonderie. Sur la période 2010-2014, l'industrie de fonderie en Italie est influencé négativement par les coûts élevés de l'énergie ainsi la faible production de groupe Fiat.

On note que la production a passé de 1.97 million de tonnes en 2010 à 2.02 millions de tonnes en 2014, enregistrant un TCAM de 1%.



Les produits en aluminium représentent 27% de la production de l'Italie en pièces de fonderie. Les produits en fonte grise et en fonte GS viennent en deuxième position avec 26% pour chacune.



A la lumière de cette analyse, nous constatons que l'industrie de fonderie en Italie devance celles en France et en Turquie en matière de tonnage produit, de nombre de fonderies et de valeur de production. Cependant, les fonderies françaises sont plus efficaces par rapport à celles en Turquie et en Italie vu qu'elle produise plus tonnage par unité de production. Cela indique, évidemment, que les fonderies en France sont dotées d'une technologie de production plus avancée et plus sophistiquée leur permettant d'être plus rentables.

Le tableau ci-dessous, présente une comparaison de la branche « fonderie » en Tunisie par rapport à celle en France, en l'Italie et en Turquie.

Tableau 6 : Tableau comparatif

Pays	Nombre d'entreprises	Tonnage produit (1000 tonnes)	Production en valeur (en million Euro)	Effectif employé
France	422	1729	5800	34 555
Turquie	915	1850	6206*	33 000
Italie	1087	2025	6793*	28 594
Tunisie	29	26*	48.6	1510

*estimation

IV. L'innovation dans la fonderie

L'industrie de la fonderie œuvre au quotidien pour s'améliorer de jour en jour. Elle s'efforce afin de s'adapter aux nouveaux besoins des clients, d'améliorer les caractéristiques techniques et qualitatives de leurs fabrications, de baisser leurs coûts de production, d'augmenter leur productivité, et d'adopter les principes écoresponsables du développement durable. A cet égard, plusieurs projets sont menés annuellement par les entreprises et les centres de recherche afin de promouvoir l'innovation dans le secteur et répondre aux exigences des clients et des marchés. Ces projets de recherche sont généralement axés sur :

- les matières premières,
- l'élaboration de nouveaux matériaux ou alliages,
- les technologies de fonderie,
- la prédiction de comportement,
- la valorisation des déchets et le développement durable.

Parmi les dernières tendances dans l'industrie de la fonderie, on cite l'utilisation de la fabrication additive et l'impression 3D. Actuellement l'impression 3D est employée pour la confection des moules dans les fonderies faisant le moulage en cire ou en sable. Le moulage en 3D à la cire perdue (ou fonte à la cire perdue) est pratiqué principalement pour produire des pièces de joaillerie personnalisables de très haute qualité et cela dans différents métaux tels que le laiton et l'argent. Et dans le cas de moulage en sable, l'impression 3D intervient dans la création du maître modèle sans passer par une fastidieuse et coûteuse étape d'usinage CNC ou dans la fabrication directe de moules en sable pour l'obtention de formes complexes (frittage avec des liants).

V. Recommandations

Les recommandations présentées sous cette rubrique visent principalement à améliorer l'exploitation de l'usine et sont tirées essentiellement des problèmes opérationnels de l'industrie évoqués précédemment dans la matrice SWOT:

- Le renforcement de la formation en métallurgie et en procédés de transformation et de mise en forme des métaux (fonderie, forge modelage, fabrication additive, recyclage des métaux...). Il faut également développer le métier de modelage puisque les modeleurs formés auparavant par la SOFOMECA sont partis en retraites.
- La création d'un centre de formation et de R&D pour les matériaux métalliques.
- La mise en œuvre d'un programme pour la valorisation des déchets solides issus de la production des fonderies des métaux ferreux, et notamment le laitier et le sable usé.
- La facilitation des procédures douanières en matière d'importation de ferroalliage, de résine de noyautage et de matière de moulage.
- Le développement des métaux non ferreux et légers ciblant de nouveaux marchés à haute valeur ajoutée comme l'automobile, les énergies renouvelables, la construction navale, l'électrique et la mécanique,.... (voir tableau en annexe)
- La prospection et la conquête de nouveaux marchés limitrophes (Algérie et la Mauritanie) et les marchés de l'Afrique subsaharienne.
- La mise en place d'un plan de communication et de marketing ciblant la promotion des exportations des produits de la branche « Fonderie ».
- L'organisation de l'entreprise : rationaliser

l'organisation et les procédures de gestion pour clarifier les responsabilités et regrouper les fonctions dans un ordre logique.

- Le développement des programmes de formation efficace pour les cadres et les superviseurs de production.
- La spécialisation de l'entreprise pour des produits phares, cela permettra un accroissement de la production et la réalisation des économies d'échelles.
- La mise en œuvre de la démarche de LEAN MANAGEMENT au sein des fonderies, afin de réduire leurs coûts de revient avec une meilleure qualité dans un délai optimal.
- L'alignement à la demande du marché en s'orientant vers la fonte nodulaire (fonte GS) et la fonte malléable qui représentent un marché potentiel pour les fonderies vu leurs caractéristiques mécaniques comparables à l'acier.
- Le développement de nouveaux procédés de fabrication telle que la centrifugation inox utilisée dans différents secteurs tels que l'aéronautique, l'énergie et les transports ferroviaire et routier. Ce procédé consiste à couler la matière en fusion dans une coquille mise en rotation afin de lutter contre la pesanteur. Ce procédé permet d'obtenir soit des tubes par centrifugation horizontale, ou des sphères par centrifugation verticale. Les pièces centrifugées ainsi obtenues peuvent faire successivement l'objet d'opérations complémentaires tel que l'usinage.
- Le développement des techniques de conception des moules et des systèmes d'attaque et de masselotage en utilisant les logiciels de conception mécanique et de simulation numérique de remplissage. Ces techniques numériques innovantes permettent d'optimiser les coûts de développement des outillages et de réduire le temps de mise en œuvre et de réduire les défauts susceptibles d'être générées à la coulée.
- Le recours au procédé smart et innovant axée sur la fabrication additive et l'impression 3D pour confectionner l'outillage, de la fonderie ou du moulage :
- L'amélioration des équipements de production de moulage et de fusion : machines de moulage verticale, four à induction, des sableries automatiques,.....
- Le développement des travaux de parachèvement

au sein de l'organisation à travers l'acquisition de grenailleuse suspendue ou à rouleaux, de sableuse, de four de traitement thermique, matériels d'usinage (tours, fraiseuses,...), cabine de peinture, des tourets à meuler,....

- L'acquisition de matériel de contrôle du métal et du sable pour renforcer le contrôle qualité : appareils pour l'analyse du métal (spectromètre, pyromètre optique, microscope optique), appareils pour le contrôle du sable (l'humidité, la perméabilité, la résistance du sable,...), équipements d'essais mécaniques (machine de dureté, machine de traction, machine de choc,...) et appareils CND (ultrason, magnétoscopie, radiographie).

Il est recommandé :

- D'effectuer une étude sur la demande prévisionnelle en pièces moulées, qui servira de tableau de bord pour la planification pour les futurs investissements.
- D'encourager les consortiums d'exportation pour promouvoir les exportations directes et indirectes des pièces coulées.

Conclusion

Bien que la production de la branche « fonderie » en Tunisie a enregistré une amélioration au cours de la dernière décennie, elle reste cependant au dessous des objectifs. En fait, l'activité de métaux non ferreux, notamment des fonderies d'aluminium, a bien progressé, que ce soit en nombre d'entreprises ou en termes de production et d'exportation. En revanche, la production des fonderies d'acier et de fonte, à part quelques entreprises travaillant pour l'export, demeure interchangeable.

En effet, l'incapacité des fonderies tunisiennes à innover leurs technologies de production et leurs stratégies commerciales, la concurrence forte, ainsi que la dépendance de l'activité de l'étranger en leurs besoins en matières premières, représentent les principales entraves pour la plupart des entreprises de la branche. Toutefois, la branche « fonderie » en Tunisie recèle plusieurs avantages leur permettant d'attirer les investisseurs étrangers à l'instar le savoir-faire du métier hérité de la part de SOFOMECA, le coût d'énergie et de main d'œuvre et les incitations d'investissements octroyées par l'État.

La promotion de cette activité en Tunisie nécessite, en premier lieu, le renforcement de la formation et

de recherche dans le métier de fonderie dans les universités et les centres techniques. En second lieu, les entreprises tunisiennes sont appelées à agir sur l'innovation et surtout sur leurs facteurs intrinsèques (coût, qualité, délai) pour améliorer leur performances et leur compétitivité. Ceux-ci requièrent évidemment le développement des techniques de conception des moules, l'automatisation des équipements de production, l'adoption de nouvelles stratégies commerciales, et surtout la focalisation sur la recherche et développement en la matière.



Glossaire

Fonderie

La fonderie 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.

Acier

L'acier est un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ 2,14 % en masse).

Alliages ferreux

Les alliages ferreux sont la fonte et l'acier.

Alliages légers

Les alliages légers sont des alliages d'aluminium ou de magnésium.

Alliages non ferreux

Les alliages non ferreux sont des alliages d'aluminium, de cuivre, de zinc, de titane, de nickel, de magnésium...

Aluminium

L'aluminium est un métal très utilisé sous la forme d'alliages du fait de sa légèreté, de sa résistance à la corrosion, de sa recyclabilité et de son abondance dans la croûte terrestre.

Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Ensemble des logiciels et des techniques de modélisation qui permettent de concevoir et de tester virtuellement des produits manufacturés.

Ébavurage

Opération de parachèvement consistant à supprimer les bavures.

Émaillage

Obtention sur une surface métallique d'un revêtement minéral vitrifié à une température élevée (750 à 850 °C dans le cas de la fonte, 530 à 550 °C dans le cas de l'aluminium et de ses alliages).

Fonderie en moule permanent

La fonderie en moule permanent désigne les techniques de moulage utilisant un moule

réutilisable. Les avantages de ce procédé incluent un meilleur contrôle des dimensions des produits moulés, un meilleur état de surface et des propriétés mécaniques améliorées. La fonderie en moule permanent est utilisée pour produire des moulages à partir d'alliages d'aluminium, de magnésium et de cuivre (à partir de moules en alliages ferreux). Les pièces d'acier et de fer peuvent être coulées dans des moules en graphite. Le terme de fonderie en moule permanent et de coulée en coquille sont souvent employés pour désigner le même procédé.

Fonte

Alliage de fer et de carbone contenant habituellement d'autres éléments, en général du silicium, la teneur en carbone étant telle qu'il puisse se former un eutectique lors de la solidification. On admet que la teneur minimale en carbone est de 1,7 %.

Fonte à graphite sphéroïdal (GS, nodulaire ou ductile)

Fonte dans laquelle, par suite d'un traitement à l'état liquide, le carbone est en majeure partie présent à l'état de particules de graphite de forme sphérique.

Fonte alliée

Les fontes alliées sont celles dont les teneurs en éléments d'alliage dépassent certaines limites. Les limites sont les suivantes : Ni et Cu > 0,30 % ; Cr > 0,20 % ; Ti, V, Mo et Al > 0,10 %.

Fonte grise (à graphite lamellaire)

Alliages ferreux contenant conventionnellement plus de 1,7 % de carbone et dans lesquels le graphite libre est principalement présent sous forme de lamelles. Leur cassure présente un aspect allant du gris clair au gris foncé.

Galvanisation à chaud

La galvanisation à chaud, ou plus exactement la «galvanisation à chaud au trempé», est utilisée pour renforcer une pièce d'acier à l'aide de zinc. Ce procédé confère au revêtement protecteur adhérence, imperméabilité, et résistance mécanique.

Grappe de coulée

Forme géométrique complète du métal coulé dans le moule : elle comprend une ou plusieurs pièces et les périphériques (systèmes de remplissage et de masselottage)

Grenaillage

Traitement de surface mécanique qui consiste à pulvériser des particules de matériaux divers souvent du métal pour améliorer la résistance mécanique ou nettoyer des pièces.

Laiton

Alliage de cuivre et de zinc.

Masselottage

Système qui permet de compenser le retrait volumique de l'alliage métallique lors de sa solidification.

Moulage à cire perdue

Le moulage est un cas particulier de moulage de précision (aussi appelé moulage à modèle perdu). Dans ce cas précis, le modèle est en cire.

L'idée est d'imprimer en 3D un modèle en cire de l'objet désiré grâce à une imprimante 3D à cire. En ajoutant ensuite un matériau réfractaire autour de ce modèle, on obtient un moule. La fonte de la cire se trouvant à l'intérieur du moule crée alors un espace vide qui est rempli du métal fondu. Il ne reste plus que briser le moule pour obtenir l'objet final.

Moulage coquille (coulée gravitaire)

Le moulage coquille est un moulage dans un moule métallique (appelé coquille) qui est rempli par la seule gravité du métal liquide. La coquille est un moule métallique divisé en deux parties suivant le plan de joint et contenant une ou plusieurs empreintes qui imposent les formes extérieures de la pièce. Pour obtenir les formes intérieures, les trous et les orifices de la pièce, on emploie des noyaux qui sont métalliques ou destructibles. On coule directement le métal liquide à l'aide d'une louche ou d'une petite poche de coulée par gravité dans l'empreinte du moule métallique. Il en découle donc pour les pièces moulées en coquille un bon état de surface, des bonnes caractéristiques mécaniques (qui sont la conséquence de la vitesse de refroidissement et de solidification plus élevée de l'alliage) et une grande précision dimensionnelle. Il faut noter par contre la génération de contraintes résiduelles à l'état brut de coulée qui demandent un traitement thermique de stabilisation de la pièce.

Moulage en sable

Le moulage en sable consiste à couler une pièce de fonderie à partir d'un moule à usage unique non permanent mais que l'on peut fabriquer facilement de manière répétée. Ce procédé utilise une empreinte réalisée dans du sable dont la composition le rend à la fois facile à mouler et suffisamment figé pour pouvoir y couler le matériau fondu. Il convient pour des matériaux de fonderie dont le point de fusion est élevé tels que la fonte et l'acier. Ce procédé concerne souvent des petites séries, des prototypes ou des pièces de grandes dimensions. Le moule comporte les châssis qui contiennent le sable, le sable + ses additifs, l'empreinte créée à partir du modèle et de noyaux, le modèle ou plaque modèle et les noyaux.

Moulage par centrifugation

Le moulage par centrifugation consiste à couler du métal liquide dans un moule en rotation. Ce métal liquide emplit l'empreinte du moule – partiellement ou totalement – et s'y solidifie sous l'effet de la force centrifuge. Les moules peuvent être en sable ou en coquille métallique, montés sur des machines à axe horizontal, vertical, oblique ou à galet. Les pièces obtenues par centrifugation possèdent de très bonnes qualités physiques et mécaniques : la force centrifuge exercée pendant toute la solidification de l'alliage permet de limiter les retassures, d'augmenter la compacité de l'alliage, de diminuer la mise au mille par la suppression presque systématique des systèmes de remplissage et d'alimentation et d'obtenir une structure fine de l'alliage grâce à la vitesse de refroidissement plus élevée. Cette technique permet aussi de couler, dans un même moule, des pièces en alliages composites centrifugés en couches successives. La couche précédente solidifiée sert alors de moule pour la suivante.

Moulage par injection

Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grande ou très grande série. Il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs) mais aussi divers alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc (Zamak)... Les moules, installés sur une machine spéciale (presse), sont constitués le plus souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une

contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée. Le moulage par injection permet d'obtenir des pièces très précises qui ne nécessitent très souvent aucun usinage ultérieur. Le coût des moules est très élevé et ne peut être amorti que par la production de pièces en grande série.

Moulage sous pression

La fonderie sous pression est un procédé de fonderie en moule métallique par injection qui présente la particularité d'avoir un remplissage par injection à grande vitesse et d'avoir une solidification sous forte pression. L'injection se fait en un temps très court de 0,1 s en moyenne. En phase finale, la pression peut atteindre 70 à 80 MPa, voire 100 MPa ou plus. Les moules sont montés sur les plateaux d'une presse hydraulique horizontale, de grande puissance allant jusqu'à 3000 t (voire 4 000 t). et assurant une force de fermeture suffisante pour éviter au moment de l'injection toute fuite de métal au plan de joint. Les pressions, les systèmes d'injection et les forces de fermeture des machines, dépendent de nombreux facteurs, notamment du genre d'alliage coulé, de la forme et du volume de la pièce. Les pièces produites sont légères, leurs cotes dimensionnelles sont précises et les cadences de production très élevées. Par contre, les outillages et les machines nécessitent des investissements très coûteux qui restreignent ce procédé à des fabrications de moyennes ou de grandes séries.

Parachèvement

On désigne par parachèvement toutes les opérations de finition des pièces.

Sablage

Sous la dénomination de sablage, on entend une technique industrielle permettant le nettoyage des surfaces en utilisant un abrasif projeté à grande vitesse, à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper.

Usinage

L'usinage est une famille de techniques de fabrication ou de finition de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière afin de donner à la pièce brute la forme voulue, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Zamak

Le Zamak est un alliage de zinc, d'aluminium et de magnésium et parfois de cuivre. Son nom est un acronyme des noms allemands des métaux qui le composent : Z pour Zink (zinc), A pour Aluminium, MA pour Magnesium et K pour Kupfer (cuivre).

Le contrôle non destructif (CND) :

Le contrôle non destructif est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader, soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de maintenances.

Annexes

Opportunités d'investissements pour les alliages non –ferreux selon les domaines d'utilisation

Matériaux	Propriétés mécaniques et physiques	Domaine	Articles
Alliages d'aluminium	Légèreté, Bonne résistance à l'oxydation, Excellente tenue à la corrosion, Facilité d'usinage, Bonnes caractéristiques de finition	Automobile	Carter pour moteur, carter pour système d'engrenages, bielle d'entraînement, bloc moteur, boîtier, ventilateur, piston, portes-roulements
		Domestique	Brûleur de table de cuisson
		Industrie mécaniques	Éléments de compresseur, éléments de turbine,
		Energie	Structure de panneaux photovoltaïque, éolienne, équipement nucléaire, chaudières, brûleurs
Alliages de cuivre	Malléabilité Bonne conductivité électrique et thermique Résistance à la corrosion et sa facilité d'entretien Facilité d'usinage, Bonnes caractéristiques de finition	Construction et réparation navale	Hélices, chaises, coussinets, presse étoupe
		Machines et appareils électriques	Conducteur, transformateur, moteurs électriques, connecteurs, bagues, frotteurs...
		Pompes, robinetterie, hydraulique	Roues de pompe centrifuge, couvercles de pompe, impulseurs de pompe, corps et volutes de pompe, brides d'aspiration en bronze, bagues de guidage, coussinets et des écrous en laiton, corps de vannes, des volutes et diffuseurs de pompe, roues de turbine...
		Pièces mécaniques	Pièces de frottement et réglage (Patins, Glissières, Galets, des coussinets et des paliers en bronze...),
		Décoration, signalétique et équipements urbains	Plaques signalétiques, Luminaires, de clous de voirie, de clous urbains pour le balisage.
Alliages de zinc (Zamak)	Conductivité thermique Capacité d'amortissement Résilience	Outillage de presse	Outils de découpe et d'emboutissage, moules d'injection, de soufflage ou de thermoformage des matières plastiques
		Divers	Pièces pour ceinture de sécurité, les carters de moteurs, les mécanismes de serrure, pommeau de douche, éléments du système d'ouverture de porte, connecteurs électriques, pistolet pour silicone, pied de support TV système d'éclairage, carter pour engrenage, agrafeuse, verrou, robinet,