

Congo Job
Stage Master 2
IRMA, Université de Strasbourg, France



Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Présentation de l'entreprise : Fonderie de Niederbronn	3
1.2	Contexte	4
1.3	L'objet du stage et les missions confiées	7
1.4	Plan du rapport	7
2	Etude statistique	7
2.1	Présentation du problème d'Optimisation	7
3	Optimisation	7
3.1	Présentation du problème d'Optimisation	7
3.2	Modélisation du problème	8
3.3	La méthode du simplexe	12
3.4	Mise en oeuvre de la méthode du simplexe	12
4	Introduction	12
5	Les étapes du processus de production	12
5.1	Préparation du modèle et du moule	12
5.1.1	Conception du modèle	12
5.1.2	Fabrication du modèle	12
5.1.3	Création du moule	13
5.2	Fusion et coulée du métal	13
5.2.1	Sélection du métal	13
5.2.2	Fusion	13
5.2.3	Coulée	13
5.3	Refroidissement et solidification	14
5.3.1	Contrôle du refroidissement	14
5.3.2	Démoulage	14
5.4	Finition et inspection	14
5.4.1	Ébarbage	14
5.4.2	Traitements thermiques	14
5.4.3	Inspection de qualité	15
6	Conclusion	15

1 Introduction

1.1 Présentation de l'entreprise : Fonderie de Niederbronn

La Fonderie de Niederbronn, fondée en 1769, est un partenaire clé dans la production de pièces en fonte. Grâce à son expérience et son savoir-faire, l'entreprise produit des pièces en fonte à graphite lamellaire (GJL) et à graphite sphéroïdal (GJS) pour une clientèle industrielle variée, aussi bien en France qu'à l'international. L'usine est située au Nord-Est de la France à Niederbronn près de Strasbourg.

Capacités et Installations de Production

Moyens de Fusion :

- 2 fours Junker 5T d'une puissance de 4MW.

Lignes de Moulage :

- **DISAMATIC 270** : Coulée automatique verticale pour des pièces jusqu'à 950 x 700 mm et un poids maximum de 40 kg.
- **HWS** : Coulée automatique horizontale pour des pièces de dimensions jusqu'à 1600 x 1400 mm et un poids maximum de 600 kg.

Moyens de Noyautage :

- 5 machines à noyer avec une capacité de production allant de 1 à 100 litres et des noyaux jusqu'à 300 kg.

Moyens de Peinture :

- 2 lignes de peinture liquide pouvant traiter des pièces jusqu'à 500 kg. Peintures disponibles : primaire d'accrochage, peinture résistante aux brouillards salins de 300h, haute température (600°C).

Moyens d'Usinage :

- Tours et centres d'usinage CNC avec des capacités variées pour des pièces de grandes dimensions (jusqu'à 1200 x 1000 x 600 mm).

Contrôle Qualité

La Fonderie de Niederbronn attache une grande importance à la qualité de ses produits, mise en œuvre à travers divers contrôles :

- **Dimensionnel** : Utilisation de bras FARO et scan 3D.
- **Non Destructif** : Banc de magnétoscopie et contrôle par ultrasons.
- **Caractéristiques Mécaniques** : Traction, contrôle de dureté, résilience.
- **Métallurgiques** : Spectrométrie et micrographie.

Secteurs d'Activité

La Fonderie de Niederbronn sert plusieurs secteurs industriels et domestiques, en fournissant des pièces spécifiques adaptées aux besoins de chaque domaine.

- **Usage Industriel** : Le Machinisme Agricole, les Machines du BTP, les Pièces Hydrauliques,...
- **Usage Domestique** : Les Corps de Chaudière et Radiateurs, les Poêles et Inserts de Cheminée,...

Chiffres Clés et Ressources Humaines

- **Nombre de Collaborateurs** : 170.
- **Capacité de Fusion** : 20 000 tonnes par an.
- **Chiffre d’Affaires** : 23 millions d’euros pour l’exercice 2023.

Cette présentation met en lumière l’expertise, les capacités de production, et l’engagement qualité de la Fonderie de Niederbronn, faisant d’elle un acteur incontournable dans le secteur de la fonderie.

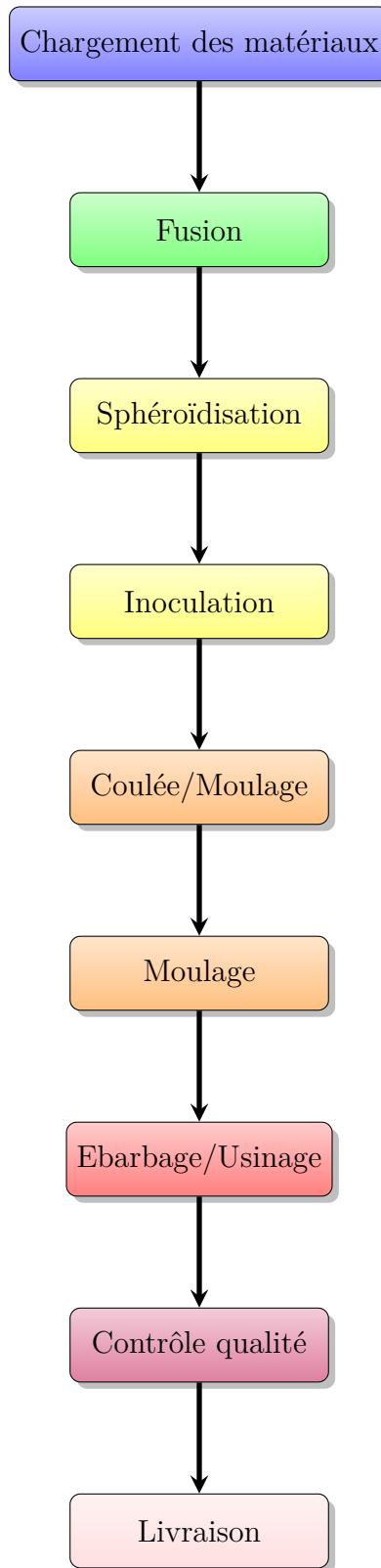


FIGURE 1 – Vues extérieure et aérienne de la Fonderie de Niederbronn

1.2 Contexte

Dans ce stage, on cherche à optimiser la production de la fontes GS à chaque étape de son processus de productions. Voici un schema decrivant les différents etapes de la production de la fonte GS :

Processus de Production de la fonte GS



1. **Chargement des matériaux** : Dans cette étape, les matériaux de base nécessaires pour la production de la fonte GS sont préparés. Cela inclut la sélection, le tri et le nettoyage des matières premières telles que le ferraille, le coke, le calcaire, et les alliages nécessaires (comme le magnésium et le silicium). La composition précise de ces matériaux est cruciale pour obtenir les propriétés mécaniques désirées dans la fonte GS.
2. **Fusion** : Le matériau préparé est fondu dans un four à haute température pour le rendre liquide. Cette fusion est essentielle pour permettre le moulage ultérieur du matériau.
3. **Sphéroïdisation** : Après la fusion, la fonte liquide est traitée pour favoriser la formation de sphéroïdes de graphite. Ce processus implique l'ajout de magnésium sous forme d'alliage. Le magnésium réagit avec le fer fondu pour former des sphéroïdes de graphite, ce qui améliore la ductilité et la résistance de la fonte. Les pourcentages précis de magnésium ajoutés et les rendements de l'opération sont calculés pour garantir une formation optimale des sphéroïdes.
4. **Inoculation** : Dans cette étape, des agents d'inoculation sont ajoutés au métal fondu pour contrôler la structure et les propriétés finales de la fonte GS. Ces agents favorisent la formation de sphéroïdes de graphite de taille et de forme uniformes.

L'inoculation est réalisée après la sphéroïdisation pour contrôler la structure et les propriétés finales de la fonte. Des agents inoculants, tels que le ferrosilicium, sont ajoutés pour favoriser une précipitation uniforme et fine du graphite. Comme mentionné dans l'image GS 3, les taux d'addition et les conditions d'inoculation sont optimisés pour obtenir la structure souhaitée. Cela inclut des considérations sur la teneur en calcium et en silicium.

5. **Moulage** : Le métal fondu est versé dans des moules qui ont la forme et les dimensions souhaitées pour les pièces finales. Le processus de moulage peut être effectué selon différentes techniques, telles que le moulage au sable ou le moulage sous pression, en fonction des exigences spécifiques du produit.
6. **Usinage** : Une fois refroidies et solidifiées, les pièces moulées peuvent nécessiter un usinage supplémentaire pour obtenir les dimensions finales et la surface lisse souhaitée. Cela peut impliquer des opérations telles que le tournage, le fraisage ou le perçage.
7. **Contrôle qualité** : Avant la livraison des pièces finales, un contrôle qualité est effectué pour s'assurer qu'elles répondent aux normes et aux spécifications requises. Cela peut inclure des tests de dimension, de résistance, de ductilité, ainsi que des inspections visuelles et des tests non destructifs.
8. **Livraison** : Une fois les pièces passées avec succès les contrôles qualité, elles sont prêtes à être livrées au client ou au processus suivant dans la chaîne de production. Cette étape marque la conclusion du processus de production de la fonte GS.

1.3 L'objet du stage et les missions confiées

Elle repose sur l'hypothèse que l'ensemble des solutions du problème de l'EDP est « proche », en un certain sens, d'un espace affine de petite dimension. Dès lors, une stratégie en deux temps permet d'évaluer la solution $u(\mu)$ pour un paramètre μ donné, en un temps de calcul bref. La dite stratégie se décompose en une phase hors-ligne (« offline ») où tous les précalculs sont effectués une fois pour toutes, et une phase en-line (« online ») où les évaluations nécessitant un temps de calcul courts y sont faits. Lors de la phase hors-ligne, un temps important est consacré à la construction d'une petite famille de solutions indexée par des paramètres du problème, appelée « base réduite ». Cette famille est construite grâce à un algorithme dit glouton qui à chaque étape maximise une erreur de projection pour trouver un paramètre μ^* optimal. L'erreur de projection étant inaccessible en pratique, on utilise plutôt des bornes sur celle-ci. L'objectif de ce stage est de construire un modèle par réseaux neuronaux pouvant se substituer à cette erreur et enfin comparer l'efficacité de l'algorithme Glouton avec celui-ci. Une première étape consiste à implémenter un exemple en 1d en Python avec la méthode des éléments finis et donner une validation, puis implémenter la méthode des bases réduites et donner une validation, enfin entraîner un réseau de neurone apprenant l'erreur de projection à l'aide de PyTorch/TensorFlow. Par la suite effectuer la même chose sur un exemple 2D.

1.4 Plan du rapport

TABLE 1 – Tableau 1.5 : Composition chimique des fontes GS (ADI) [26]

Nuance	Carbone [%]
GS 400-15	3.50-4.00
GS 450-10	3.50-4.00

2 Etude statistique

2.1 Présentation du problème d'Optimisation

3 Optimisation

3.1 Présentation du problème d'Optimisation

Dans le cadre du processus de fabrication d'une fonte, l'une des étapes préliminaires fondamentales réside dans la détermination du lit de fusion, c'est-à-dire la proportion des matières premières nécessaires à la fusion. Dans notre cas, on souhaite produire une tonne de fonte de haute qualité. Pour ce faire, nous disposons d'une trentaine de matières premières, chacune possédant sa propre composition chimique distinctive. Chaque matière première est disponible ou non en quantité limitée et leurs prix varient tout au

long de l'année. Ces matières sont issues de diverses sources, comprenant des matériaux métalliques et de construction, ainsi que des retours, c'est-à-dire des résidus provenant des précédents cycles de production. Par exemple, parmi ces matériaux, on trouve les SABOTS DE FREINS SNCF, les RAILS DE CHEMIN DE FER de 40 cm et de la FONTE GS RECYCLÉE, dont les prix respectifs sont de 435 euros, 423,90 euros et 374 euros. La qualité de la fonte dépend de sa composition chimique, qui doit se situer dans des intervalles spécifiques adaptés au type de fonte recherché, tout en respectant des critères de qualité tels que le niveau d'impuretés et la pureté ONO. Le niveau d'impuretés et la pureté ONO sont déterminés par des combinaisons linéaires des pourcentages d'éléments chimiques présents dans les matières premières. Par conséquent, l'objectif principal est de déterminer les proportions optimales des matières premières, en vue de minimiser les coûts de production tout en préservant la qualité de la fonte.

3.2 Modélisation du problème

Phase Tansitoire

- Explication de cette phase
- Obtention des images inputs, outputs Optimisation de la Presentations Dans le drive , exporter en pdf avec parametre Paysage, Statement, dessus puis bas
- Les différents étapes de la poche 1

Processus de traitement de la poche 1

Fours de Fusion



$F = 5000 \text{ kg}$

Durée total du traitement :
10 minutes

Durée à partir du traitement GS :
4 minutes

↓
Cabine de Fil fourrée



$P1 = 1250 \text{ kg}$
 $K1 = 0.0533 \%$

Poche de coulée



$P1 = 1250 \text{ kg}$
 $K1 = 0.0533 \%$

Fours de Coulée



$C_{\max} = 5000 \text{ kg}$
 $C_{\min} = 2500 \text{ kg}$
 $K_{\min} = 0.035 \%$
 $K_{\max} = 0.045 \%$

Légende :

F : Masse fonte disponible dans le four de Fusion.

$K1$: Pourcentage de Magnésium dans la poche de traitement/coulée.

K_{\min}, K_{\max} : Pourcentage de Magnésium minimal et maximal dans le four de coulée.

$P1$: Masse fonte dans la poche de traitement/coulée.

C_{\min}, C_{\max} : Masse fonte minimal et maximale dans le four de coulée.

Processus de traitement de la poche 1

Fours de Fusion



$F = 5000 \text{ kg}$

Durée total du traitement :
10 minutes

Durée à partir du traitement GS :
4 minutes

Cabine de Fil fourrée



$P1 = 1250 \text{ kg}$
 $K1 = 0.0533 \%$

Poche de coulée



$P1 = 1250 \text{ kg}$
 $K1 = 0.0533 \%$

Fours de Coulée



$C_{\max} = 5000 \text{ kg}$
 $C_{\min} = 2500 \text{ kg}$
 $K_{\min} = 0.035 \%$
 $K_{\max} = 0.045 \%$

Légende :

F : Masse fonte disponible dans le four de Fusion.

$K1$: Pourcentage de Magnésium dans la poche de traitement/coulée.

K_{\min}, K_{\max} : Pourcentage de Magnésium minimal et maximal dans le four de coulée.

$P1$: Masse fonte dans la poche de traitement/coulée.

C_{\min}, C_{\max} : Masse fonte minimal et maximale dans le four de coulée.

Processus de traitement de la poche 3

Fours de Fusion



$F = 5000 \text{ kg}$

Durée total du traitement :
10 minutes

Durée à partir du traitement GS :
4 minutes

Cabine de Fil fourrée



$P1 = 1250 \text{ kg}$
 $K1 = 0.0533 \%$

Poche de coulée



$P1 = 1250 \text{ kg}$
 $K1 = 0.0533 \%$

Fours de Coulée



$C_{\max} = 5000 \text{ kg}$
 $C_{\min} = 2500 \text{ kg}$
 $K_{\min} = 0.035 \%$
 $K_{\max} = 0.045 \%$

Coulée



$C = 1250 \text{ kg}$
 $K = 0.049 \%$

Légende :

F : Masse fonte disponible dans le four de Fusion.
 $K1$: Pourcentage de Magnésium dans la poche de traitement/coulée.
 K_{\min}, K_{\max} : Pourcentage de Magnésium minimal et maximal dans le four de coulée.
 C : Masse fonte dans le four de coulée.

$P1$: Masse fonte dans la poche de traitement/coulée.
 K : Pourcentage de Magnésium dans le four de coulée.
 C_{\min}, C_{\max} : Masse fonte minimal et maximale dans le four de coulée.

3.3 La méthode du simplexe

3.4 Mise en oeuvre de la méthode du simplexe

4 Introduction

La fonderie est un procédé industriel de fabrication de pièces métalliques en coulant du métal en fusion dans un moule. Ce procédé est utilisé pour produire des pièces complexes et de grande taille qui seraient difficiles ou impossibles à réaliser par d'autres méthodes de fabrication. Dans ce chapitre, nous allons décrire en détail le processus de production utilisé par l'entreprise.

5 Les étapes du processus de production

5.1 Préparation du modèle et du moule

La première étape dans la production en fonderie est la préparation du modèle et du moule. Le modèle est une réplique de la pièce finale, généralement réalisée en bois, en plastique ou en métal. Le moule est fabriqué en utilisant le modèle pour créer une cavité dans laquelle le métal en fusion sera coulé. Il existe plusieurs types de moules, mais les plus courants sont les moules en sable.

5.1.1 Conception du modèle

Les ingénieurs conçoivent le modèle en utilisant des logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour s'assurer que la pièce finale respectera les spécifications demandées. Cette étape inclut :

- Analyse des besoins du client et des spécifications techniques.
- Création du modèle 3D à l'aide de logiciels spécialisés comme SolidWorks ou CATIA.
- Validation du modèle avec des simulations numériques pour anticiper les contraintes et les défauts potentiels.

5.1.2 Fabrication du modèle

Le modèle est fabriqué à partir de matériaux spécifiques en fonction de la complexité et des exigences de la pièce finale. Les matériaux couramment utilisés incluent :

- Bois pour des pièces uniques ou de grande taille.
- Plastique pour des productions en série grâce à des techniques comme l'impression 3D.
- Métal pour des modèles de haute précision ou des moules permanents.

5.1.3 Création du moule

Le modèle est ensuite utilisé pour créer le moule. Pour les moules en sable, un mélange de sable et de liant est compacté autour du modèle pour créer une cavité exacte de la pièce à produire. Cette étape comprend :

- Préparation du sable en ajustant la granulométrie et en ajoutant des liants.
- Compactage du sable autour du modèle dans un cadre ou une boîte de moulage.
- Séparation du modèle du moule sans détériorer la cavité.
- Assemblage des parties du moule et des canaux de coulée pour guider le métal liquide.

5.2 Fusion et coulée du métal

Une fois le moule préparé, ltape suivante est la fusion du métal. Cette étape consiste à chauffer le métal jusqu ce qu il devienne liquide.

5.2.1 Sélection du métal

Le choix du métal dépend des propriétés souhaitées pour la pièce finale. Les métaux couramment utilisés incluent :

- Fer et ses alliages pour des applications nécessitant une grande résistance.
- Aluminium pour des pièces légères avec une bonne conductivité thermique.
- Cuivre et ses alliages pour des pièces nécessitant une haute conductivité électrique.

5.2.2 Fusion

Le métal est fondu dans un four à haute température. Il existe plusieurs types de fours utilisés en fonderie, tels que :

- Les fours à induction, qui chauffent le métal par des courants induits.

5.2.3 Coulée

Une fois fondu, le métal est vers  dans le moule à travers un système de canaux appellés « systèmes de coulée ». Le métal liquide remplit la cavité du moule et prend la forme du modèle. Cette étape nécessite une attention particulière pour :

- Contrôler la température du métal pour éviter des défauts comme les inclusions ou les porosités.
- Utiliser des techniques de dégazage pour éliminer les gaz dissous dans le métal.
- Assurer un remplissage uniforme et éviter les turbulences qui pourraient introduire des impuretés.

5.3 Refroidissement et solidification

Après la coulée, le métal liquide doit refroidir et se solidifier pour prendre la forme finale de la pièce. Le temps de refroidissement varie en fonction du type de métal et de la taille de la pièce.

5.3.1 Contrôle du refroidissement

Un refroidissement contrôlé est essentiel pour éviter les défauts dans la pièce finale. Des systèmes de refroidissement peuvent être utilisés pour réguler la température, comme :

- L'utilisation de noyaux refroidisseurs en métal ou en céramique.
- L'application de traitements thermiques pendant le refroidissement pour modifier la structure du métal.
- La mise en place de systèmes de refroidissement à eau ou à air pour des pièces de grande taille.

5.3.2 Démoulage

Une fois le métal solidifié, le moule est cassé ou retiré pour récupérer la pièce. Pour les moules en sable, le moule est détruit pour libérer la pièce coulée. Cette étape peut inclure :

- Le cassage manuel ou mécanique du moule.
- Le nettoyage de la pièce pour enlever les résidus de sable ou de liant.
- L'inspection initiale de la pièce pour détecter des défauts majeurs.

5.4 Finition et inspection

La pièce obtenue après démoulage n'est pas encore prête pour une utilisation directe. Elle doit subir plusieurs opérations de finition et une inspection de qualité rigoureuse.

5.4.1 Ébarbage

Les excédents de métal et les bavures sont enlevés par des opérations de meulage ou de découpage. Cela inclut :

- L'utilisation de meuleuses, de scies ou de cisailles pour enlever les excès.
- Le polissage des surfaces pour obtenir la finition souhaitée.

5.4.2 Traitements thermiques

La pièce peut subir des traitements thermiques pour améliorer ses propriétés mécaniques, tels que :

- La trempe, pour augmenter la dureté et la résistance.
- Le recuit, pour réduire les contraintes internes et améliorer la ductilité.
- Le revenu, pour ajuster la dureté et la ténacité après la trempe.

5.4.3 Inspection de qualité

La pièce est inspectée pour détecter tout défaut interne ou externe. Les méthodes d'inspection incluent :

- La radiographie, pour détecter les défauts internes comme les fissures ou les inclusions.
- Les ultrasons, pour examiner l'intégrité interne sans détruire la pièce.
- Les tests de dureté, pour vérifier que les propriétés mécaniques sont conformes aux spécifications.
- Les contrôles dimensionnels, pour s'assurer que les dimensions respectent les tolérances définies.

6 Conclusion

Le processus de production en fonderie est complexe et implique plusieurs étapes cruciales pour garantir la qualité et la précision des pièces fabriquées. Chaque étape, de la conception du modèle à l'inspection finale, doit être réalisée avec précision pour répondre aux exigences spécifiques du client. La maîtrise de ces processus est essentielle pour l'efficacité et la compétitivité de l'entreprise dans le secteur de la fonderie. En conclusion, une compréhension approfondie et une exécution rigoureuse de chaque phase du processus de production sont indispensables pour produire des pièces de haute qualité et satisfaire les besoins du marché.

Références

- [1] Gianluigi Rozza. *An introduction to reduced basis method for parametrized PDEs*, ResearchGate
- [2] B. Haasdonk. *Reduced Basis Methods for Parametrized PDEs – A Tutorial Introduction for Stationary and Instationary Problems*, University of Stuttgart
- [3]
- [4] Bopeng RAO, *Méthodes Numériques des Equations aux Dérivées Partielles*. UFR de Mathématique et d'Informatique Université de Strasbourg, 2021-2022
- [5] Gwenol Grandperrin. *Introduction à la méthode des bases réduites*, ResearchGate Janvier 2008