

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



Table des matières

1 Contexte	3
1.1 Introduction rapide	3
1.2 Présentation de la Fonderie de Niederbronn	3
1.3 Description du processus de production des pièces en fonte	5
1.4 L'objectif du stage	8
1.5 Le plan du rapport	8
1.6 Plan du rapport	9
2 Etude statistique	9
2.1 Présentation du problème d'Optimisation	9
3 La recette Optimale	9
3.1 Présentation du problème d'Optimisation	9
3.2 Modélisation du problème	9
3.3 La méthode du simplexe	13
3.4 Mise en oeuvre de la méthode du simplexe	13

1 Contexte

1.1 Introduction rapide

La fonderie est un secteur qui fabrique des pièces moulées en métal. Elle couvre une variété d'alliages, du fer à l'aluminium en passant par le cuivre.

Dans ce document, nous avons le rapport de stage qui a eu lieu dans l'équipe d'Informatique de la Fonderie de Niederbronn. Il s'est déroulé sur une période de quatre mois, entre le 11 mars et le 26 juillet 2024. On retrouvera tous les documents du stage dans ce lien : <https://github.com/master-csmi/2022-stage-job-br>.

Le présent rapport couvre les éléments suivants : la présentation de la fonderie de Niederbronn, la description du processus de production et de l'objectif du stage, l'étude statistique,

mandat du stage la méthodologie utilisée durant le stage, et les résultats du stage. Enfin une conclusion boucle ce rapport de stage.

1.2 Présentation de la 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 fournant 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

1.3 Description du processus de production des pièces en fonte

Voici un schéma décrivant les différents étapes de production d'une pièce en fonte :

Le processus de fabrication de la fonte

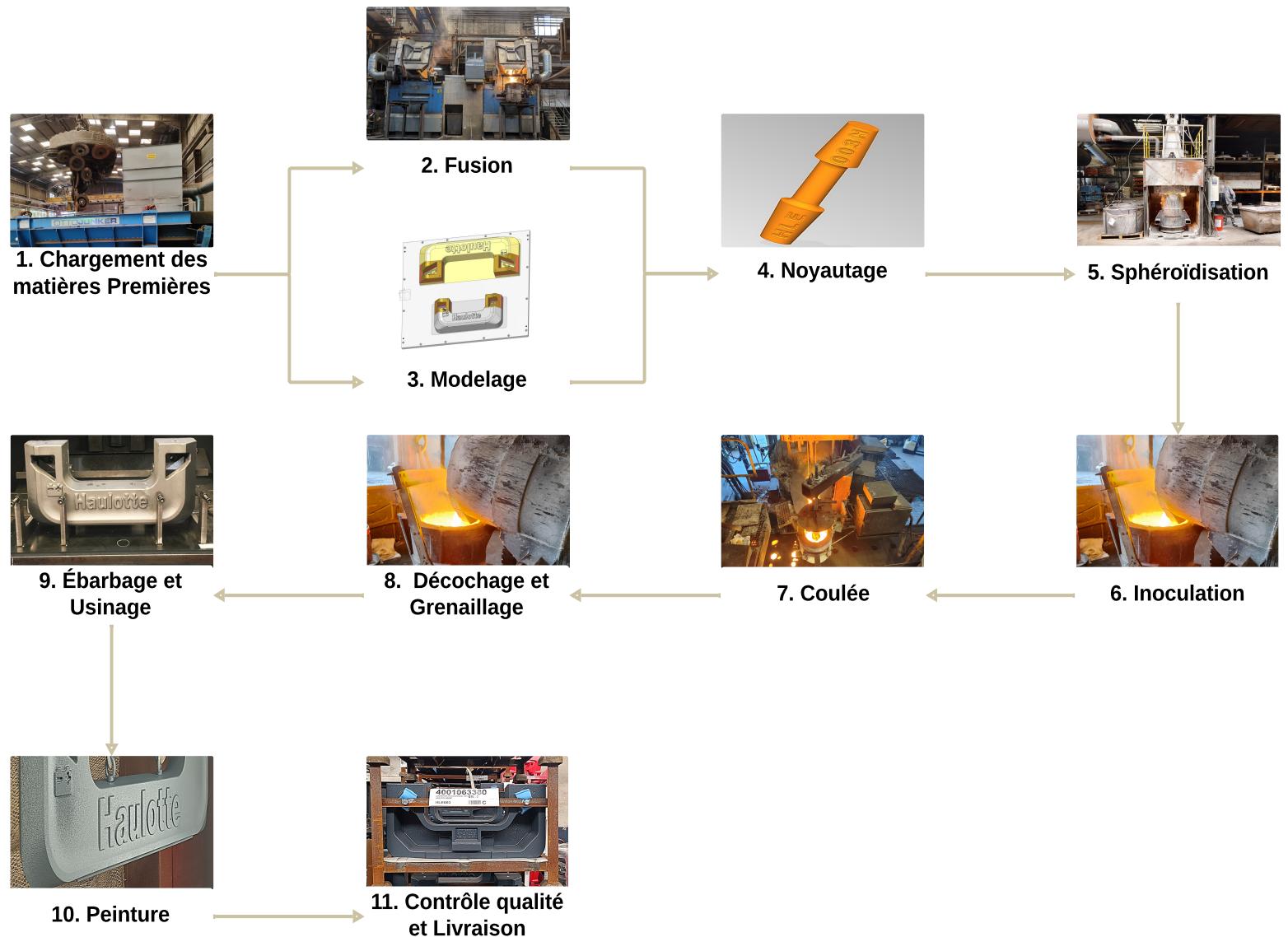


FIGURE 2 – Flux de production des pièces en fonte.

1. **Chargement des matières premières** : Dans cette étape, les matériaux de base

nécessaires pour la production de la fonte 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.

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. Le métal est fondu dans un four à induction à haute température.
3. **Modélage** : 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.

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.

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.

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.

4. **Noyautage** :

5. **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.

6. **Inoculation et Dégrasseage** : 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.

7. **Moulage ou Coulée** : 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.

Une fois fondu, le métal est versé dans le moule à travers un système de canaux appelés « 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.

8. **Décochage et Grenaillage** :

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.

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.

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.
9. **Ebarbage et Usinage :** La pièce obtenue après démolage n'est pas encore prête pour une utilisation directe. Elle doit subir plusieurs opérations de finition et une inspection de qualité rigoureuse. Les excédents de métal et les bavures sont enlevés par des opérations de meulage ou de découpage. Cela inclut :
10. **Peinture :**
11. **Contrôle qualité et Livraison :** 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. 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.

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.

1.4 L'objectif du stage

L'objectif principal de ce stage est d'optimiser l'utilisation des matières premières recyclées dans la production de fonte à hautes caractéristiques mécaniques. Le projet s'inscrit dans le cadre d'un crédit d'impôt recherche et vise à modéliser et automatiser les processus liés au choix et aux quantités des différentes matières premières. Voici les missions confiées :

- Modéliser le système via des équations.
- Contribuer à l'optimisation des coûts de revient en automatisant les processus.
- Participer à d'autres sujets d'optimisation en parallèle.

1.5 Le plan du rapport

Le présent rapport couvre les éléments suivants : la présentation de la fonderie de Niederbronn, la description du processus de production et de l'objectif du stage,

mandat du stage la méthodologie utilisée durant le stage, et les résultats du stage. Enfin une conclusion boucle ce rapport de stage.

1.6 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 La recette Optimale

3.1 Présentation du problème d'Optimisation

Dans le cadre du processus de fabrication de 5 tonnes de fontes, 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

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