

Approche statistique avancée pour le suivi thermique d'un four à induction dédié au recyclage d'aluminium

**N. Jouini, J. Brousseau, M. Bhourri
et V. Dassylva-Raymond**

Département de mathématiques, d'informatique et de génie
Université du Québec à Rimouski



PLAN DE LA PRÉSENTATION

1. Problématiques et objectifs
4. Méthodologie
5. Résultats
6. Conclusion



Problématique et objectifs

Les procédés de fusion de l'aluminium dans les fours à induction nécessitent un contrôle précis de la température pour garantir la qualité du métal et éviter les pertes, cependant :

 Les conditions extrêmes rendent difficile l'implantation de capteurs pour un suivi thermique en continu.

 Les mesures ponctuelles exposent les opérateurs à des risques élevés pour la santé et la sécurité au travail.



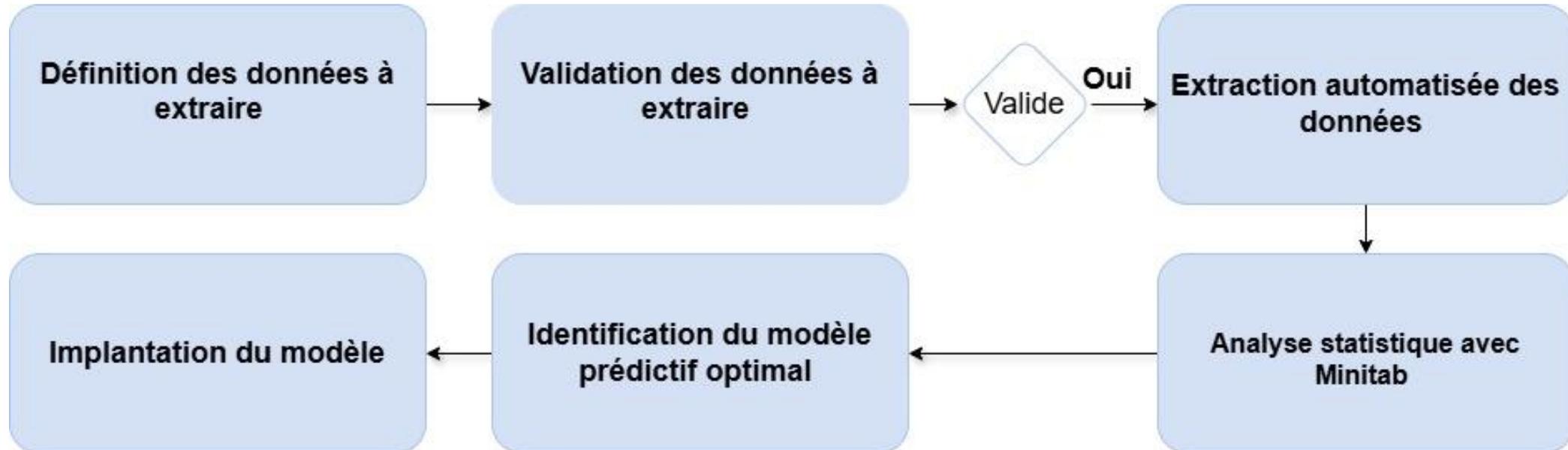
Pour remédier à ces problèmes, l'objectif principal de ce projet est de concevoir un modèle statistique prédictif permettant d'estimer en temps réel la température du bain de fusion, à partir de la consommation énergétique et de variables industrielles clés.



Afin de réaliser cet objectif, les étapes suivantes ont été définies :

- ✓ Construire une base de données industrielle en extrayant automatiquement, à l'aide de scripts Python dédiés, les variables pertinentes corrélées à l'énergie électrique consommée.
- ✓ Élaborer un modèle statistique de prédiction à l'aide de l'outil Minitab, en exploitant les données collectées pour établir des corrélations fiables entre la consommation énergétique, la température cible et les variables clés.
- ✓ Intégrer le modèle prédictif dans les fichiers opératoires du partenaire industriel, afin de permettre une aide à la décision en temps réel pour déterminer le moment optimal de la coulée ou la poursuite du cycle de fusion.

Méthodologie



Résultats

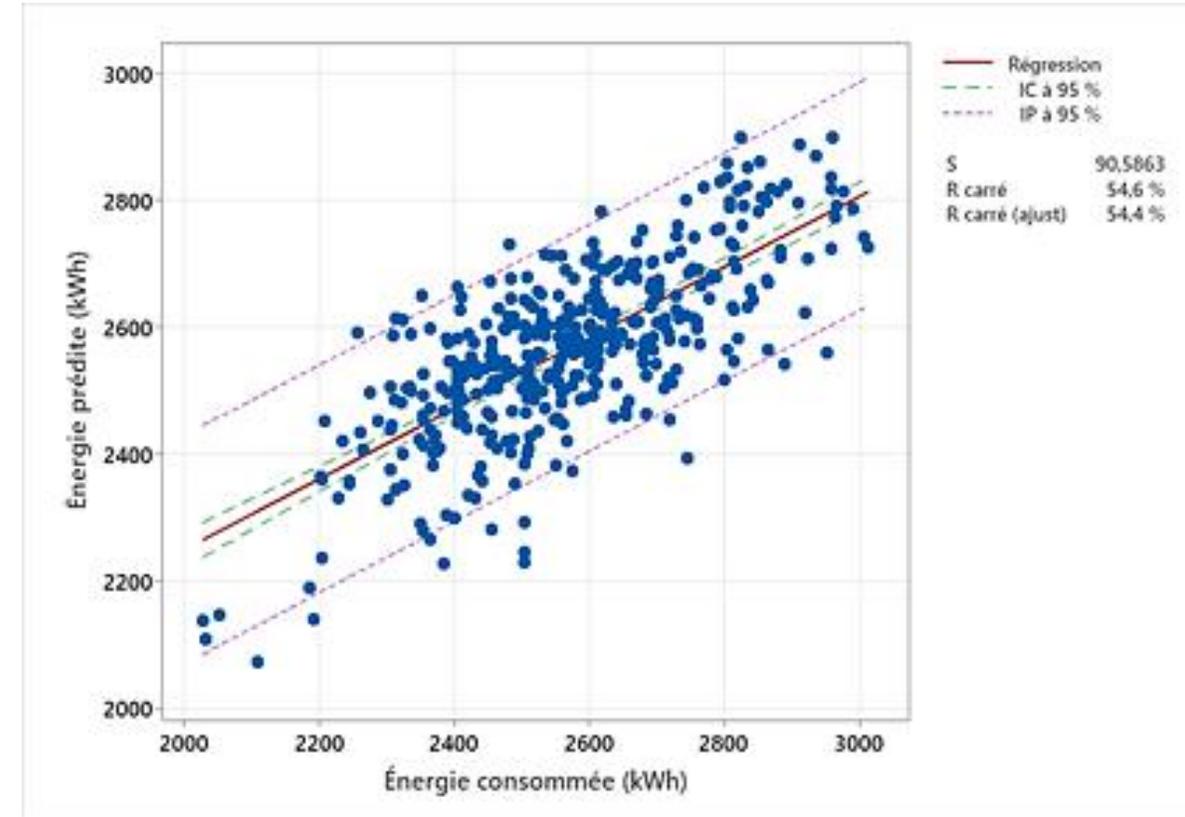
À la suite d'une analyse ANOVA à un facteur, les variables clés présentant une forte corrélation avec l'énergie consommée ont été identifiées. Ces variables, de nature réelle et évoluant tout au long du processus, permettent un suivi dynamique et en temps réel du fonctionnement du four.

Tableau 1 : Variables explicatives clés.

R p	Variable A	Variable B	Variable C	Température cible (°C)	Variable D
p	0,001	0,001	0,001	0,180	0,001
R(%)	39,94	87,93	36,13	66,99	54,49
Relation	+	+	+	+	+

- Le modèle obtenu présente un coefficient de régression ajusté (R^2 ajusté) de 56,6 % et une erreur moyenne absolue en pourcentage (MAPE) de 3,7 %, ce qui témoigne d'une précision satisfaisante dans un contexte industriel réel.
- Après un test de validation basé sur la comparaison entre l'énergie prédite et l'énergie réelle, il a été observé que la dispersion des points reste majoritairement contenue dans un intervalle de prédiction à 95 %, confirmant la robustesse du modèle.

$$\begin{aligned} E_{\text{consommée}} = & -371 + 1,470 \cdot T_{\text{cible}} - 54,89 \cdot A \\ & - 0,4594 \cdot B + 0,8208 \cdot (B + C + D) \\ & - 0,6153 \cdot C \end{aligned}$$



Conclusion

- 👍 Le modèle développé offre une solution fiable pour estimer la température du bain de fusion. Il répond efficacement aux contraintes de mesure dans les procédés de refonte.
- 👍 Le modèle nécessite un suivi et des ajustements en cas de changement dans le procédé.

