

Etude statistique sur la recette GS 450-10

10/03/2024

Congo Job

UFR de mathématique et d'informatique



Université

de Strasbourg



Mathématiques de l'Innovation

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs
- 4 Les éléments chimiques

- 5 Les valeurs extrêmes
- 6 La régression linéaire
- 7 Conclusion

Outline

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs
- 4 Les éléments chimiques
- 5 Les valeurs extrêmes
- 6 La régression linéaire
- 7 Conclusion

Contexte et Objectifs

- Nous disposons de :
 - 2 mesures normatives :
 - La résistance mécanique en MPA.
 - L'allongement en pourcentage.
 - La composition chimique de la fonte étudiée obtenus grâce au spectromètre.
 - 5 indicateurs de qualités, qui sont des combinaisons d'éléments chimiques.
- Objectifs :
 - 1 Evaluer la pertinence des 5 indicateurs de qualités à la vue des 2 mesures normatives.
 - 2 Sélectionner les meilleurs indicateurs de qualité et donner leurs intervalle de prédictions.

Source et Format des données

Les données utilisées dans ce projet proviennent de deux sources principales :

- 1 **Traction** : La résistance mécanique et l'allongement sont mesurées à l'aide d'une machine de traction.
- 2 **Spectromètre** : Les données concernant les éléments chimiques dans la fonte sont obtenus à l'aide de spectromètres.

Les données sont au format suivant :

- **Type de Données** : Base de données.
- **Format** : Données au format Windev extraites dans un fichier Excel.

Les données brutes

Recette	Date	Poche/Four/ Barreau	Conforme ?	Rm	Rp0.2	A%	Contre-essai A%		Moyenne allongement	Pièces	Observations		
GS 450-10	04/09/2023	247NF03	1	548	331	12,4	12,6		12,5				
GS 450-10	04/09/2023	247NF02	1	550	325	14,6	14,8		14,7	YAN026			
GS 450-10	07/09/2023	250NF06 -1	1	555	394	9,7	10		9,8	YAN026	Conforme		
Comment. RQ	Impureté	% Ferrite	ONO, TANIMURA, ...		THIELMANN		PJ	C	Si	Mn	Cu	Cr	P
	1,42	17,62	0,16		1,27		0	3,704	2,574	0,207	0,057	0,042	0,032
	1,43	19,99	0,17		1,27		0	3,517	2,67	0,2	0,059	0,044	0,033
	1,64	15,15	0,18		1,29		0	3,316	2,999	0,233	0,051	0,042	0,025
Ni	Mo	Sn	Sb	Ca	Ba	Al	S	Mg	Pb	Ti	As	Bi	V
0,013	0,001	0,023	0,005			0,011	0,011	0,043	0,002	0,01	0,005	0,001	0,002
0,014	0,001	0,024	0,005			0,01	0,012	0,044	0,002	0,011	0,006	0,001	0,002
0,014	0,002	0,016	0,005			0,014	0,003	0,036	0,002	0,013	0,001	0,001	0,002

Description des données

Les variables quantitatives :

- Rm : Résistance mécanique à la traction.
- Rp0.2 : Limite d'élasticité à 0,2
- A% : Allongement à la rupture en pourcentage.
- Contre-essai A% : Contre-essai de l'allongement à la rupture en pourcentage.
- Moyenne allongement : Moyenne de l'allongement à la rupture en pourcentage.

Les indicateurs :

- Impureté : Pourcentage d'impureté dans l'échantillon.
- % Ferrite : Pourcentage de ferrite dans l'échantillon.
- ONO, TANIMURA, ... : Un indicateur de qualité en pourcentage.
- THIELMANN : Un indicateur de qualité en pourcentage.

Les variables qualitatives :

- Recette : Nom ou code de la recette associée à l'échantillon.
- Date : Date à laquelle la coulée a été effectuée.
- Poche/Four/Barreau : Indication sur la provenance de l'échantillon (poche, four, barreau, etc.).
- Conforme ? : Indique si l'échantillon est conforme (1) ou non conforme (0) aux critères définis.
- Pièces : Référence des pièces.
- Observations : Commentaires ou observations sur l'échantillon.
- Comment. RQ : Commentaires ou remarques supplémentaires.

Les éléments chimiques :

- C, Si, Mn, P, Cr, Mo, Cu, Sn, Mg, Ce, Ca, Al
- Zn, Ti, S, Sn, V, Pb, Al, Bi, B, Te, Sb, As, Ti

Prétraitement des Données

Avant d'utiliser les données dans l'étude, elles ont été soumises aux prétraitements suivants :

- Nettoyage des données :
 - Suppression des colonnes : Date, Rp0.2, A%, Contre-essai A%, Pièces, Observations, Comment. RQ, PJ, Ca, Ba.
 - Suppression des lignes incomplètes (celles avec des colonnes vides).
- Ajout de l'indicateur Pureté MAYER.
- Mise en forme des données :
 - Renommage des colonnes.
 - Séparation des données en fonction du type de recette.
 - Séparation des données en fonction de la conformité de l'échantillon.

Les données nettoyées

Recette	Numéro de four	Conforme ?	Rm [MPa]	Moyenne allongement [%]	Impureté [%]	Ferrite [%]	Pureté ONO [%]	Pureté THIELMANN [%]	Pureté MAYER [%]	C [%]
GS 450-10	247NF03	1	548	12,5	1,52	17,74	0,17	1,1	0,018	3,704
GS 450-10	247NF02	1	550	14,7	1,58	18	0,18	1,11	0,019	3,517
GS 450-10	250NF06 -1	1	555	9,8	1,21	16,51	0,16	1,09	0,021	3,316

Si [%]	Mn [%]	Cu [%]	Cr [%]	P [%]	Ni [%]	Mo [%]	Sn [%]	Sb [%]	Al [%]	S [%]	Mg [%]	Pb [%]	Ti [%]	As [%]	Bi [%]	V [%]
2,574	0,207	0,057	0,042	0,032	0,013	0,001	0,023	0,005	0,011	0,011	0,043	0,002	0,01	0,005	0,001	0,002
2,67	0,2	0,059	0,044	0,033	0,014	0,001	0,024	0,005	0,01	0,012	0,044	0,002	0,011	0,006	0,001	0,002
2,999	0,233	0,051	0,042	0,025	0,014	0,002	0,016	0,005	0,014	0,003	0,036	0,002	0,013	0,001	0,001	0,002

Outline

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs**
- 4 Les éléments chimiques
- 5 Les valeurs extrêmes
- 6 La régression linéaire
- 7 Conclusion

Les indicateurs

- Evaluer la pertinence des cinq indicateurs de qualité à la vue des deux mesures normatives.
- Dans le but d'évaluer l'influence globale des différents éléments sur la matrice ou la forme du graphite, plusieurs formules ont été proposées par divers auteurs.

Voici les 5 formules, qui consistent en une somme pondérée des éléments chimiques :

$$\text{Pureté MAYER \%} = \text{Ti \%} + \text{Pb \%} + \text{Bi \%} + \text{Sb \%}$$

$$\text{Ferrite \%} = 92.3 - 96.2(\text{Mn \%}) - 211(\text{Cu \%}) - 14270(\text{Pb \%}) - 2815(\text{Sb \%})$$

$$\begin{aligned} \text{Pureté ONO \%} = & \text{Cu \%} + \text{Ti \%} + \text{Ni \%} + \text{Cr \%} + \text{V \%} + \text{Al \%} + \text{As \%} + \text{Sn \%} + \text{Pb \%} + \text{Sb \%} \\ & + \text{Bi \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Impureté \%} = & 4.9(\text{Cu \%}) + 0.37(\text{Ni \%}) + 0.37(\text{Cr \%}) + 7.9(\text{Mo \%}) + 4.4(\text{Ti \%}) + 39.0(\text{Sn \%}) \\ & + 0.44(\text{Mn \%}) + 5.6(\text{P \%}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pureté THIELMANN \%} = & 4.4(\text{Ti \%}) + 2.0(\text{As \%}) + 2.3(\text{Sn \%}) + 5.0(\text{Sb \%}) + 290(\text{Pb \%}) + 370(\text{Bi \%}) \\ & + 1.6(\text{Al \%}) \end{aligned}$$

La corrélation de Pearson

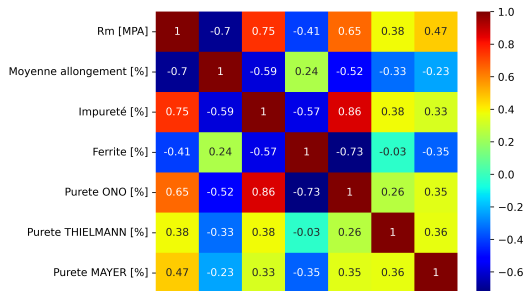
Pour évaluer nos indicateurs, nous utilisons la corrélation de Pearson afin de quantifier la relation linéaire entre ces derniers et les mesures d'allongement et de résistance mécanique.

Les étapes de l'évaluation sont les suivantes :

- 1 Calcul des coefficients de corrélation.
- 2 Classement des indicateurs en fonction de leur corrélation avec l'allongement et la résistance mécanique.
- 3 Conservation des indicateurs présentant la dépendance linéaire la plus significative avec les deux mesures normatives.

Évaluation des indicateurs

Corrélation entre les indicateurs et les mesures normatives



Classement des indicateurs :

- Impureté [%] : 0.673506
- Pureté ONO [%] : 0.583101
- Pureté THIELMANN [%] : 0.353988
- Pureté MAYER [%] : 0.346637
- Ferrite [%] : 0.327601

Outline

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs
- 4 Les éléments chimiques**
- 5 Les valeurs extrêmes
- 6 La régression linéaire
- 7 Conclusion

Les éléments chimiques

Examinons de près les éléments chimiques qui composent l'impureté, la pureté ONO et le taux de ferrite.

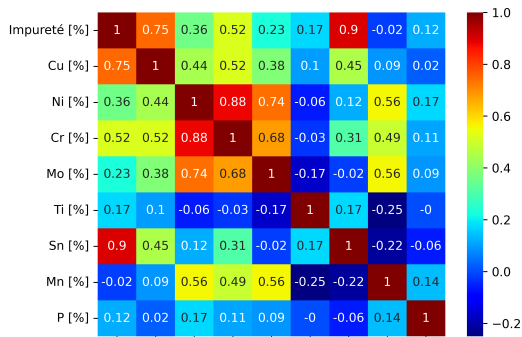
Selon la littérature, on classe les éléments chimiques en plusieurs catégories :

- **Les éléments d'alliage** : C, Si, Mn, P, Cr, Mo, Cu, Sn
- **Les éléments de traitement** : Mg, Ce, Ca, Al
- **Les éléments polluants** : Zn, Ti, S, Sn, V
- **Les éléments poisons** : Pb, Al, Bi, B, Te, Sb, As, Ti

Dans la formule de la pureté ONO, on retrouve les 4 types d'éléments. Quant à l'impureté, elle quantifie des éléments poisons, des éléments polluants et des éléments d'alliage.

Impureté

Corrélation entre l'impureté et les éléments chimiques

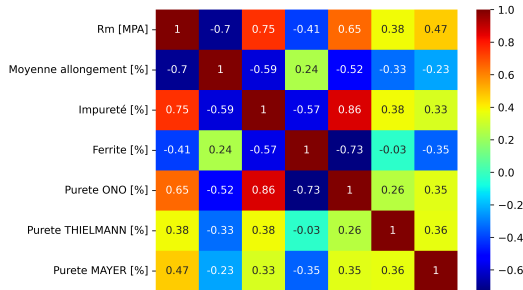


Classement des éléments chimiques :

- Sn (Étain) [%] : 0.902219
- Cu (Cuivre) [%] : 0.753903
- Cr (Chrome) [%] : 0.522274

Pureté ONO

Corrélation entre la pureté ONO et les éléments chimiques

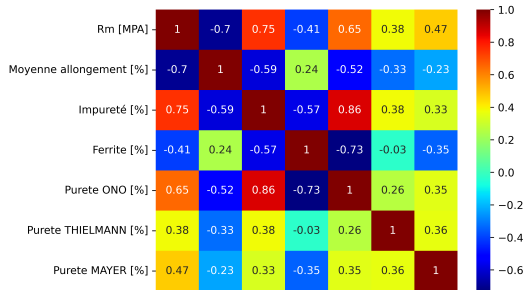


Classement des éléments chimiques :

- Cu (Cuivre) [%] : 0.934031
- Cr (Chrome) [%] : 0.707962
- Sn (Étain) [%] : 0.606912
- Ni (Nickel) [%] : 0.590721
- V (Vanadium) [%] : 0.527861

Ferrite

Corrélation entre la Ferrite et les éléments chimiques



Classement des éléments chimiques :

- Cu (Cuivre) [%] : -0.66
- Sb (Antimoine) [%] : -0.64
- Mn (Manganèse) [%] : -0.54

Conclusion de la corrélation

Les indicateurs les plus pertinents

- Impureté : 0.673506
- Pureté ONO : 0.583101

Les éléments chimiques conservés

- Sn (Étain)
- Cu (Cuivre)
- Cr (Chrome)
- V (Vanadium)

Outline

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs
- 4 Les éléments chimiques
- 5 Les valeurs extrêmes**
- 6 La régression linéaire
- 7 Conclusion

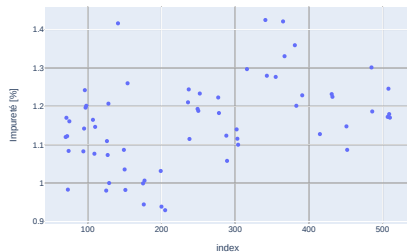
Les valeurs extrêmes

Pour améliorer la performance de la régression linéaire, nous procédons à la suppression des valeurs extrêmes basées sur les mesures d'impureté, de pureté ONO et de taux de ferrite. Voici la procédure suivie :

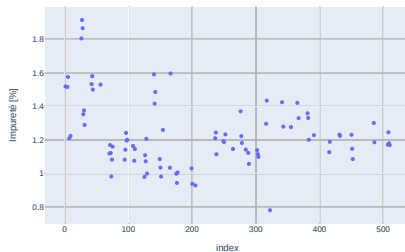
- **Objectif** : Réduire la variabilité des données pour une meilleure performance de la régression linéaire.
- **Critère de suppression** : Une valeur est considérée comme extrême si elle se situe en dehors de l'intervalle défini par $[\bar{x} - 1.5(Q_3 - Q_1), \bar{x} + 1.5(Q_3 - Q_1)]$, où Q_1 et Q_3 , le premier et le troisième quartile de la distribution des données, et \bar{x} la moyenne des données.
- Cette suppression est réalisée de manière itérative jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de valeurs extrêmes dans l'ensemble de données.

Les valeurs extrêmes de l'impureté

L'impureté sans ses valeurs extrêmes



L'impureté avec ses valeurs extrêmes



Outline

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs
- 4 Les éléments chimiques
- 5 Les valeurs extrêmes
- 6 La régression linéaire**
- 7 Conclusion

Analyse des Données

Effectuons une régression linéaire et calculons les intervalles de prédictions suivant les éléments chimiques et les indicateurs les plus pertinents.

La formule des intervalles de prédiction est donnée par :

$$IP(y_{pred}) = [y_{pred} - n \cdot predict_se, y_{pred} + n \cdot predict_se]$$

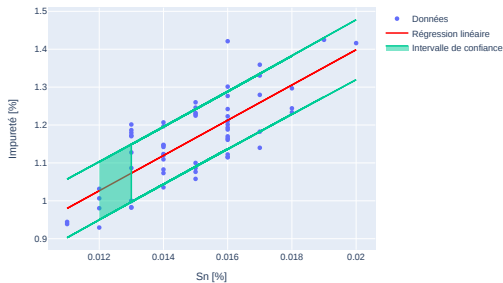
Où :

- y_{pred} est la valeur prédite.
- $predict_se$ est l'écart-type de prédiction.
- n est un entier naturel.

Impureté

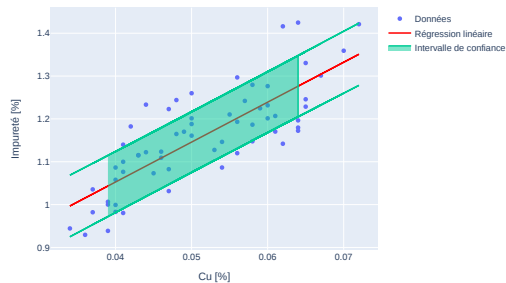
L'impureté en fonction de l'étain (Sn)

Régression linéaire avec intervalle de confiance



L'impureté en fonction du cuivre (Cu)

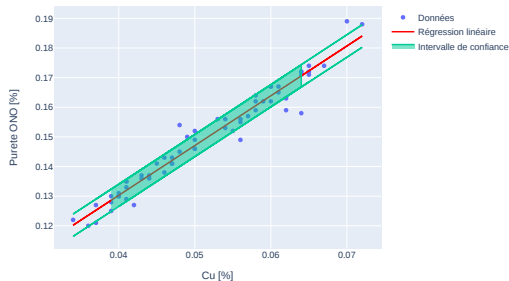
Régression linéaire avec intervalle de confiance



Ono

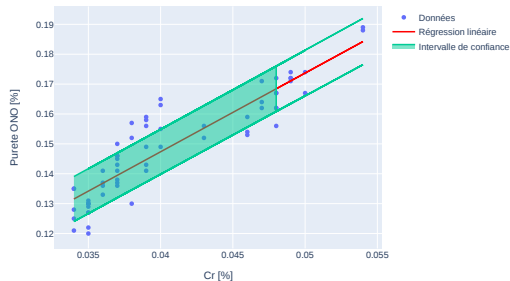
La pureté Ono en fonction du cuivre (Cu)

Régression linéaire avec intervalle de confiance



La pureté Ono en fonction du chrome (Cr)

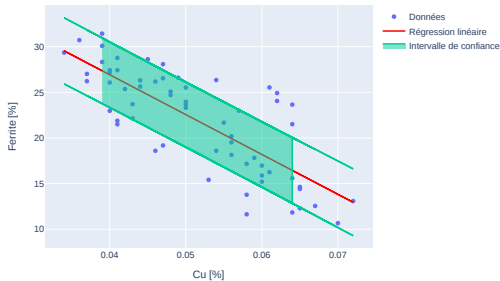
Régression linéaire avec intervalle de confiance



Ferrite

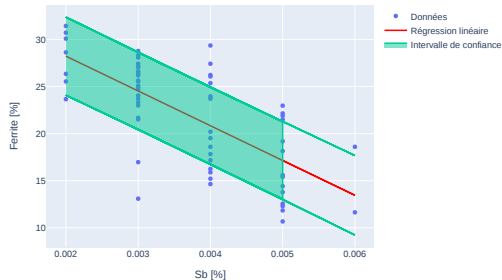
La Ferrite en fonction du cuivre (Cu)

Régression linéaire avec intervalle de confiance



La Ferrite en fonction de l'antimoine Sb

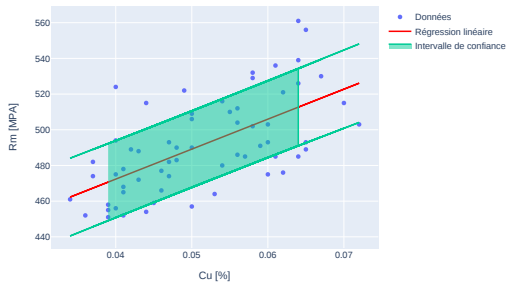
Régression linéaire avec intervalle de confiance



Rm

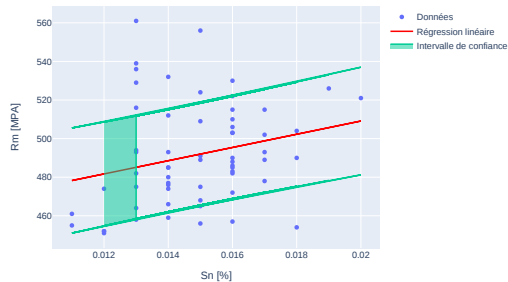
La Résistance mécanique en fonction du Cuivre

Régression linéaire avec intervalle de confiance



La Résistance mécanique en fonction du Sn

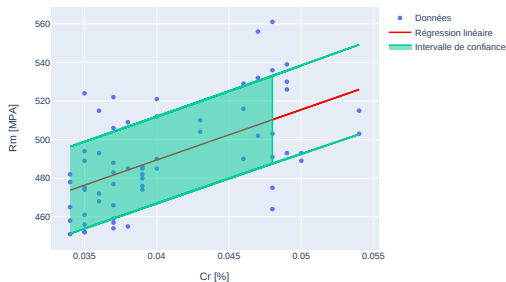
Régression linéaire avec intervalle de confiance



Allongement et Rm

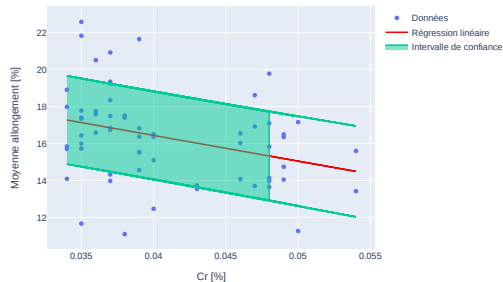
La Résistance mécanique en fonction du Cr

Régression linéaire avec intervalle de confiance



L'allongement en fonction du Cr

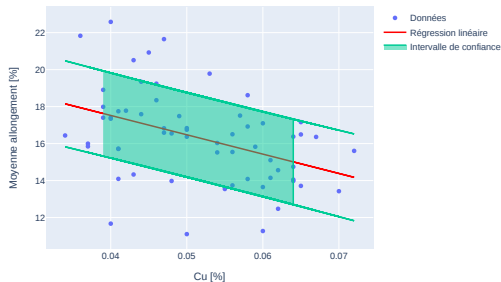
Régression linéaire avec intervalle de confiance



Allongement

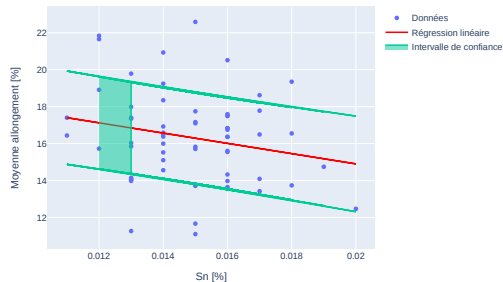
L'allongement en fonction du Cuivre

Régression linéaire avec intervalle de confiance



L'allongement en fonction du Sn

Régression linéaire avec intervalle de confiance



Outline

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les données
- 3 Les indicateurs
- 4 Les éléments chimiques
- 5 Les valeurs extrêmes
- 6 La régression linéaire
- 7 Conclusion**

Conclusion

Nous constatons une corrélation linéaire entre le cuivre et la résistance mécanique, ainsi qu'entre le cuivre et l'allongement. En revanche, pour les autres éléments, la linéarité n'est pas évidente.

Intervalles de confiance des indicateurs :

- Impureté : [1.13, 1.19]
- Pureté ONO : [0.145, 0.153]

Intervalles de confiance des éléments chimiques :

- Sn (Étain) : [0.0143, 0.0153]
- Cu (Cuivre) : [0.0488, 0.0538]
- Cr (Chrome) : [0.0392, 0.0422]
- V (Vanadium) : [0.00092, 0.00111]

Thank you for your attention!