

## SOUduRES ET IA

Une grande partie de mes élèves sont des chaudronniers, que ce soit en CAP ou en BAC pro. Naturellement j'ai porté mon travail sur une partie de leurs réalisations, les soudures.

L'objectif ici est d'étudier comment détecter un cordon de soudure sur une photo puis d'essayer de distinguer une bonne d'une mauvaise soudure.

Ce travail peut être fait avec des élèves de BAC PRO Chaudronnerie (TCI) de terminale, il est bien entendu que les outils nécessaires à la réalisation d'un tel travail de recherche doivent être adaptés à leur niveau. Ce document est pour les enseignants qui souhaiteraient utiliser les techniques dans un autre projet.

Pour ce faire j'ai utilisé des outils qui sont de deux sortes :

- Outils informatiques ( GIMP, Excel, code HTML)
- Outils mathématiques ( moyenne, écart type, courbe de tendance,  $R^2$ )

La première étape est la pixélisation de l'image que l'IA devra traiter et de la transformer pour la traiter avec Excel. La seconde étape sera de traiter les données du tableau Excel. Mais avant cela il faut s'intéresser à ce qu'est un cordon de soudure.

### I) Le cordon de soudure

Le bac pro TCI (technicien en chaudronnerie industrielle) est une formation pour transformer les élèves en chaudronnier. Le chaudronnier donne forme aux feuilles de métal, puis il les assemble afin de réaliser les produits les plus variés, destinés au secteur industriel : cuves, radiateurs, chaudières, citernes, etc.



Figure 1 : Pièce de chaudronnerie

Pour assembler ces pièces il faut souvent les souder entre elles, souvent il suffit de quelques points de soudure et parfois il faut une soudure plus résistante ce qui assurera aussi l'étanchéité.

La soudure est un procédé d'assemblage permanent qui permet de relier deux pièces, le plus souvent métalliques, en les fusionnant partiellement.

## Méthodes de soudage

Il existe plusieurs méthodes de soudage, celles qui sont réalisées dans mon lycée sont les TIG, MIG, électrode enrobée et soudage par points.

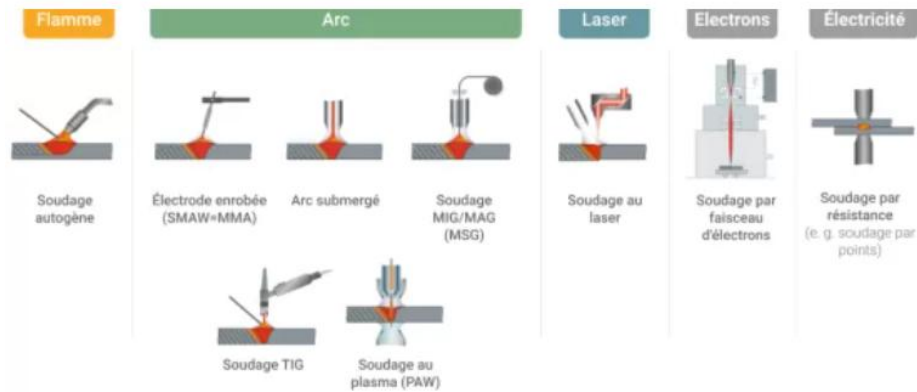


Figure 2 : Méthodes de soudage

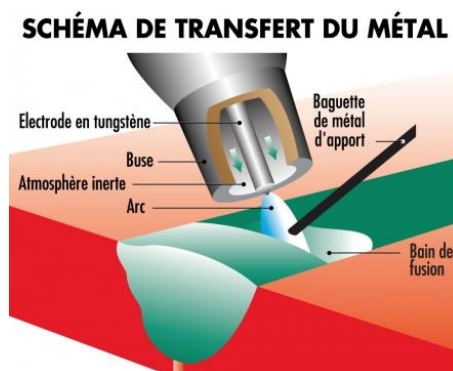


Figure 3 : Soudure au TIG (Tungstène Inert Gas)

## Cordon de soudure

Le cordon de soudure est la partie visible du métal fondu et solidifié qui relie deux pièces métalliques.



Figure 4: Cordon de soudure

## Luminance et numérisation

Le but ici est de travailler sur la photo d'un cordon en la transformant en tableau de nombres. Pour simplifier, le travail se fera dans les nuances de gris (0 à 255).

Pour se faire on peut travailler sur la luminance d'un cordon qui est la quantité de lumière émise ou réfléchie par une surface dans une direction donnée.

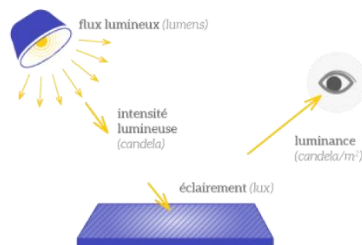


Figure 5: Luminance

Une forte luminance va correspondre par exemple à une tôle en inox, une grande partie de la lumière est réfléchie.

Une faible luminance va plutôt correspondre à une tôle brute qui absorbe une partie de la lumière.

## Inconvénient

L'inconvénient majeur de cette méthode est la dépendance à l'éclairage. En effet la luminance ne mesure pas le relief mais la lumière réfléchie dans une direction donnée. Si l'éclairage change entre deux photos les valeurs de luminance vont aussi changer.

La numérisation d'un cordon dépend donc de l'éclairage et on peut donc amener les élèves à réfléchir au problème.



Figure 6: Différences de luminances de 2 cordons de soudure

Pour résoudre ce problème il faudrait amener les élèves à mettre en place un protocole de prise de photo de façon à obtenir toujours le même éclairage.

## II) Pixélisation :

Tout part d'une photo comme celle-ci-dessous :

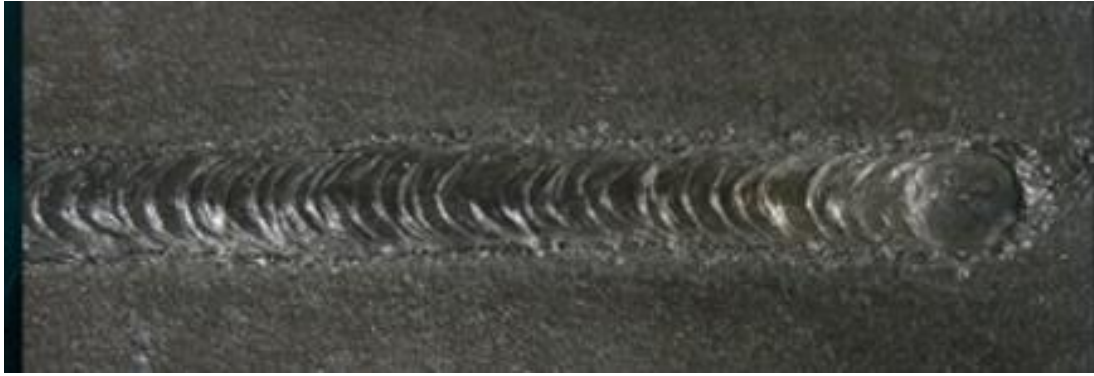


Figure 7 : Soudure B7



Cette photo est traitée avec le logiciel GIMP®

Pour une question de pratique l'image sera travaillée sur sa verticale.

**Etape 1** : mettre les couleurs en niveaux de gris

**Etape 2** : prendre la partie de la photo qui nous intéresse et la mettre à un nombre de pixels que l'on convient dans Echelle et taille de l'image (ici 50x226).

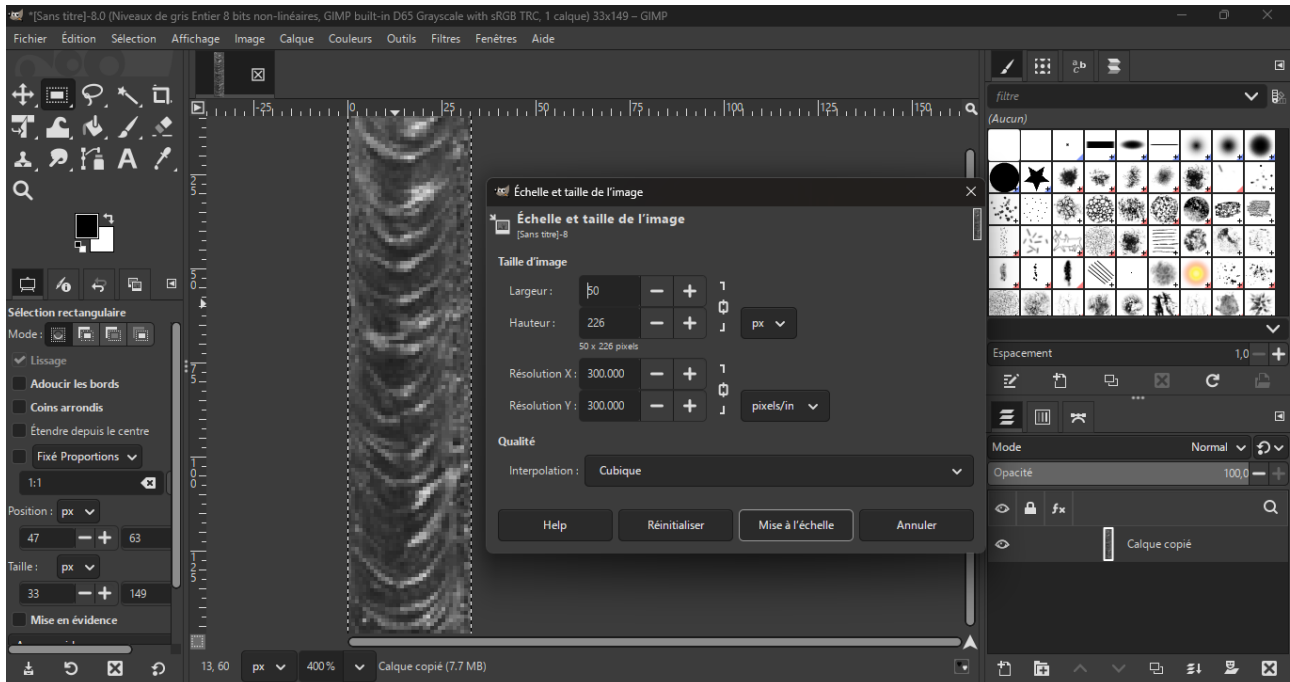


Figure 8 : Mise à l'échelle de la photo

### Etape 3 : Exportation vers une page html.

L'image est exportée vers une page html (**HyperText Markup Language**) pour pouvoir extraire les codes couleurs de chaque pixel.

### Etape 4 : Programme pixelia.

Dans la page html il est possible de créer un petit programme qui va extraire le code couleur (en gris ici) de tous les pixels de l'image et de pouvoir les transférer vers un fichier Excel®.

Lorsque la page est ouverte il faut faire un clic droit et **inspecter**, cela affiche le code html de la page.

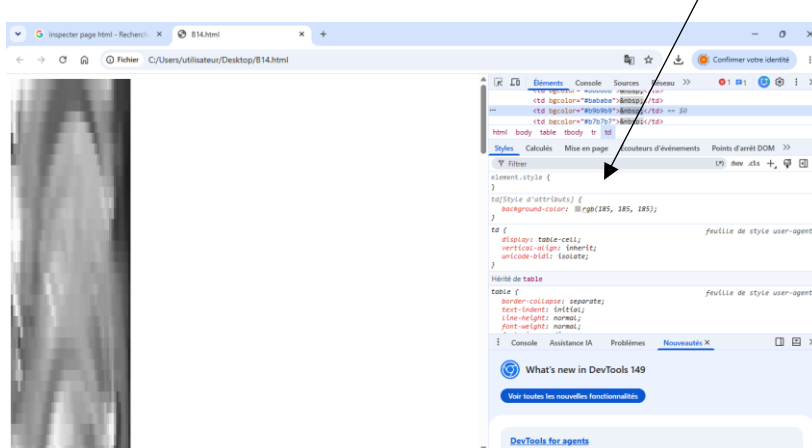


Figure 9 : Console html

On ouvre la console de la page html pour y faire un petit programme dans la console appelé ici **pixelia** permettant d'obtenir le code couleur (gris) de chaque pixel.

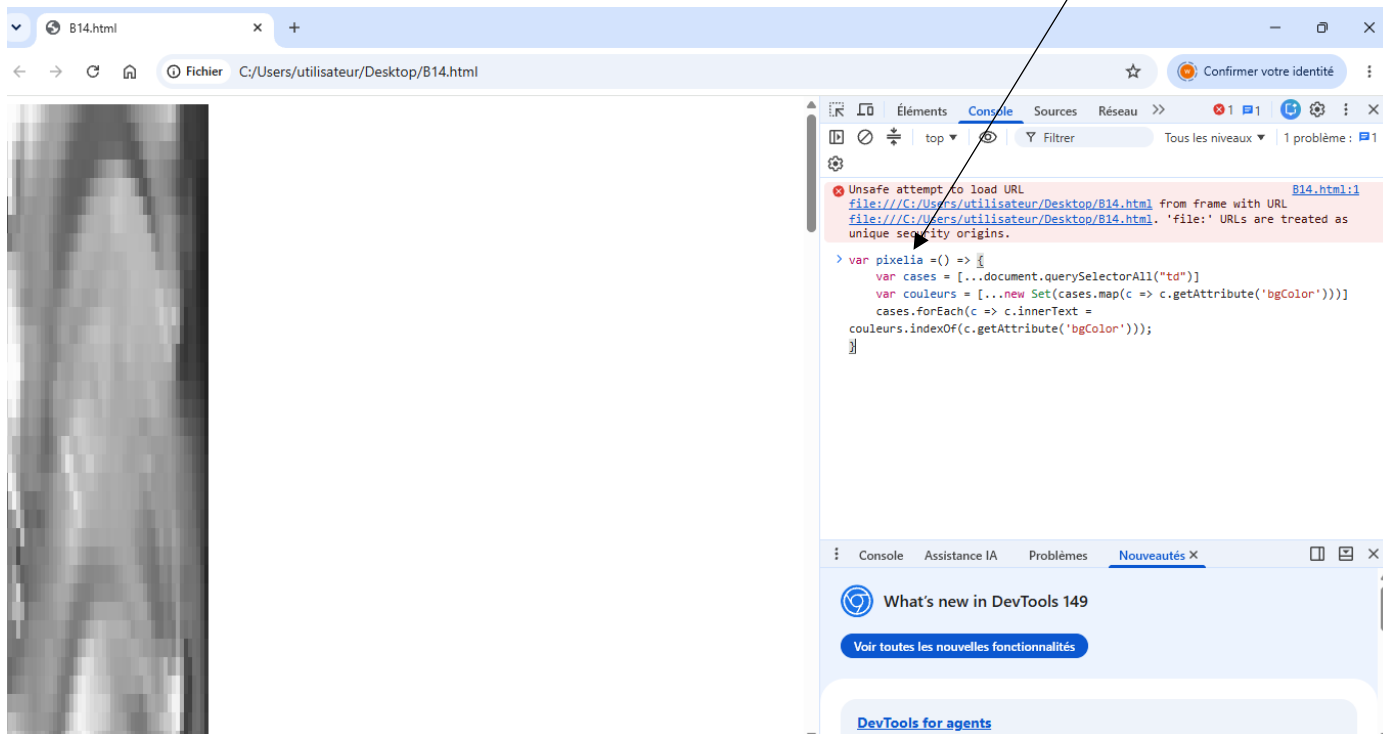


Figure 10 : Page html avec le programme pixelia

Le programme est le suivant :

```
var pixelia =() => {  
  var cases = [...document.querySelectorAll("td")]  
  var couleurs = [...new Set(cases.map(c => c.getAttribute('bgColor')))]  
  cases.forEach(c => c.innerText = couleurs.indexOf(c.getAttribute('bgColor')));  
}
```

On exécute le programme avec la commande **pixelia()** et on obtient le code couleur de chaque pixel.

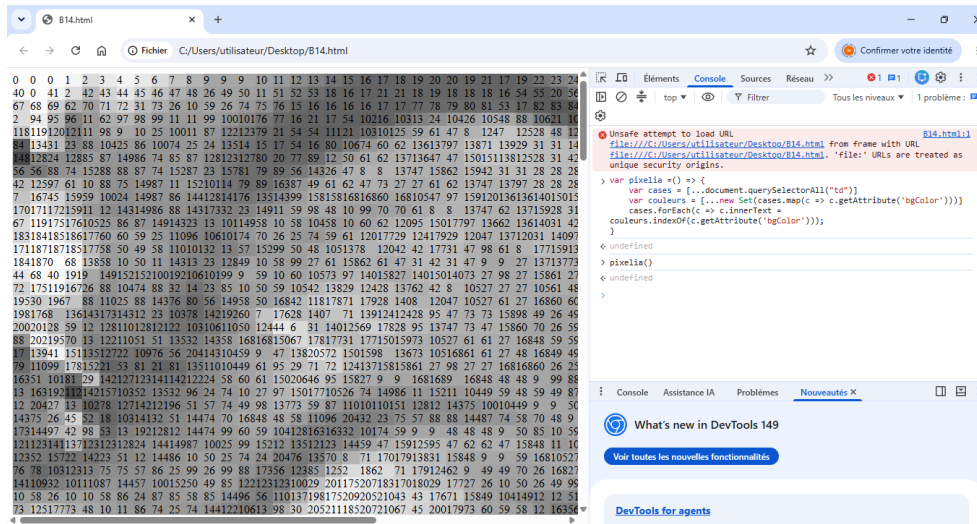


Figure 11 : Code couleur des pixels

Etape 5 : exportation des données vers Excel® en prenant le corps de l'image (body).

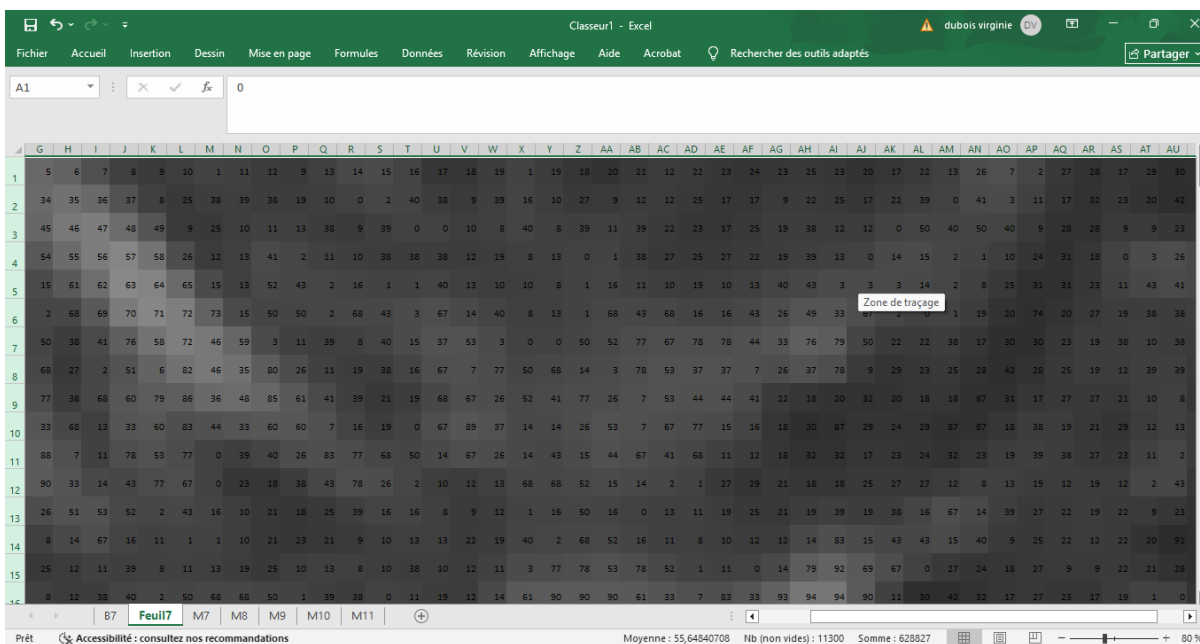


Figure 12 : Image pixelisée sur Excel

Le tableau de données a bien entendu une largeur de 50 colonnes et de 226 lignes (50x226).

Cette partie étant faite il est maintenant possible de travailler mathématiquement sur ce tableau de données avec des outils utilisables par les élèves de bac pro.

### III) Critères mathématiques pour le cordon de soudure

La partie technique étant faite il faut maintenant traiter les données avec des outils mathématiques simples.

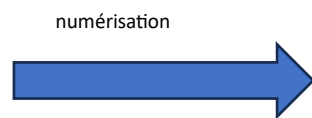
La soudure est prise en verticale donc le travail a été réalisé sur les colonnes et non sur les lignes

La première étape « mathématique est de détecter les bords d'un cordon de soudure et la seconde étape est de différencier une bonne soudure d'une mauvaise.

#### A) Détection des bords d'une soudure

##### 1<sup>er</sup> essai

Je vais travailler sur le cordon suivant pour détailler la mise en œuvre.



Pour détecter les bords j'ai calculé (sur Excel) les moyennes de chaque colonne et les ai mise en graphique

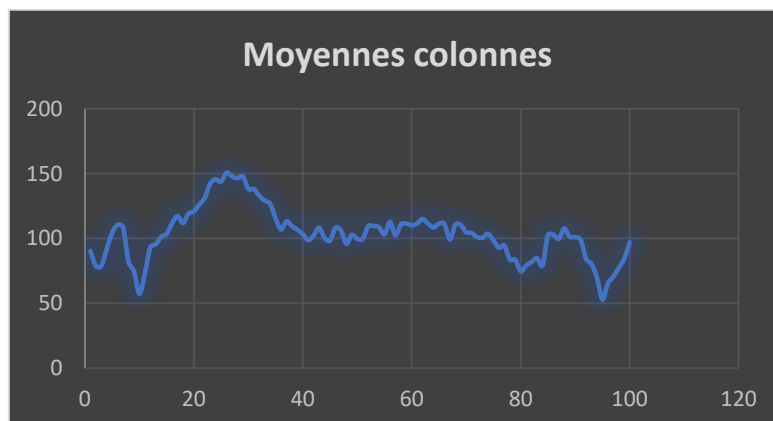


Figure 12 : Graphique des moyennes

Sur le graphique on peut voir les bords apparaître. De là on peut travailler à partir des écarts de moyenne ce qui sous-tend un lien avec les dérivées (bien sur ici la fonction moyenne est une fonction discrète donc nullement dérivable !).

On peut donc se servir des dérivées pour introduire l'écart (exemple : entre chaque moyenne pour trouver une « cassure » dans la courbe.

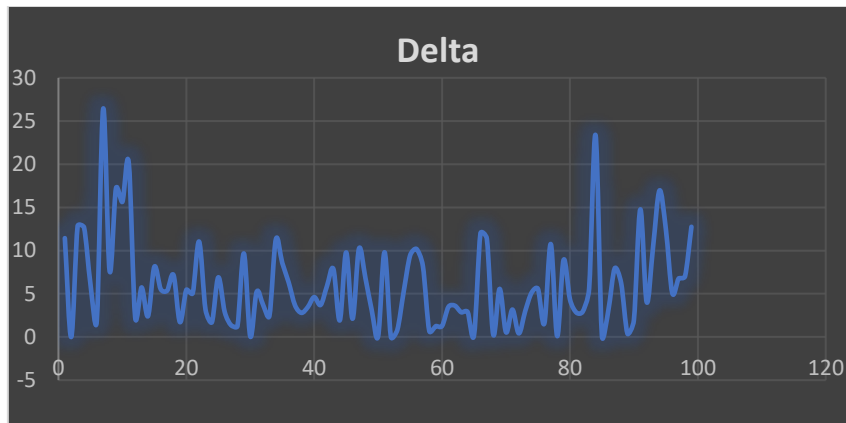


Figure 13: Graphique des delta  $\Delta_{n+1} = |\overline{x_{n+1}} - \overline{x_n}|$

### Filtrage

Pour affiner j'ai ensuite calculé la moyenne des delta (ici  $\overline{\Delta} = 6,06$ ) et j'ai utilisé la fonction **SI** pour trouver les colonnes étaient supérieures à k fois la valeur moyenne ( Si  $\Delta_{n+1} > k|\overline{x_{n+1}} - \overline{x_n}|$  alors 1 sinon 0) et on obtient le graphique suivant :

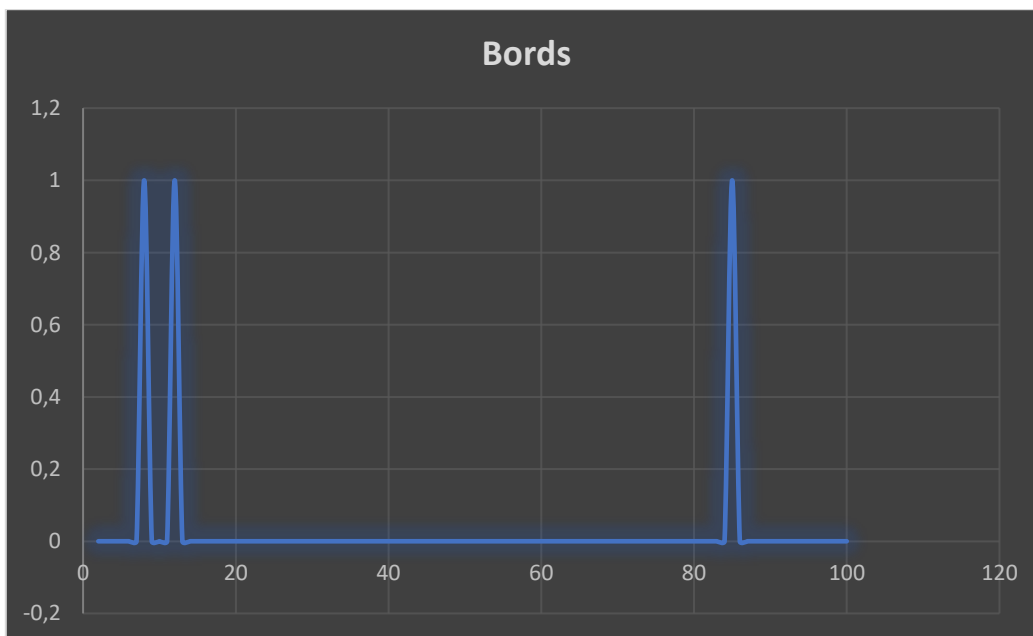


Figure 14 : Position des bords du cordon

Comme on peut le constater le bord de droite est « parfait » mais il y a comme 2 bords à gauche.

Ceci provient de la soudure elle-même, lorsqu'on agrandit l'image il y a effectivement une petite ombre...



Remarque : le coefficient  $k$  peut aussi faire l'objet d'un travail avec les élèves en le faisant varier pour affiner les bords de la soudure.

## 2<sup>ème</sup> essai : Problème de la luminance

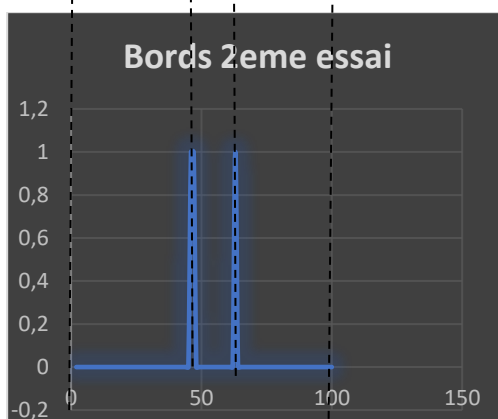


Figure 15 : Problème de luminance

Ici les bords détectés sont le profil le plus lumineux et non les bords de la soudure d'où l'intérêt d'un bon protocole de photographie sinon les résultats seront faussés.

## 3<sup>ème</sup> essai :

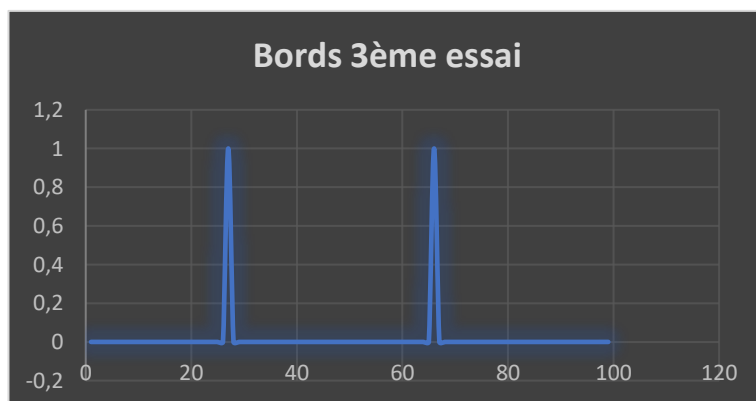


Figure 16 : Détermination des bords d'un cordon

## B) Méthodes de discrimination entre bonnes et mauvaises soudures

Les bords du cordon étant connus, le travail des élèves est maintenant de distinguer une bonne soudure d'une mauvaise avec des mathématiques.

### 1<sup>er</sup> critère mathématique : La moyenne.

La moyenne est un outil connu des élèves, il comporte des avantages et des inconvénients.

#### Avantages :

- Facilité de traitement par les élèves.
- En calculant la moyenne de chaque colonne on travaille sur le profil de luminance. Si la soudure est régulière la courbe devrait montrer une certaine stabilité ou progression douce.
- Une chute brutale de la moyenne peut indiquer un manque de matière, une fissure ou une scorie.

#### Inconvénients :

- Le principal problème avec la moyenne est qu'elle « lisse » les anomalies. En effet si la soudure est parfaite en haut mais présente un trou en bas, la moyenne de la colonne paraîtra « normale ».
- Une mauvaise soudure est souvent irrégulière, la moyenne ne va pas permettre de la détecter.

#### Traitement :

Avec les élèves de terminale il est possible de traiter ces données à l'aide d'un nuage de points et de faire une courbe de tendance et en calculant le coefficient de détermination  $R^2$  (qui donnerait le coefficient de corrélation  $R$ ).

*Remarque : Pour simplifier la notation  $S_i$  sera la  $i^{\text{ème}}$  bonne soudure et  $M_i$  la  $i^{\text{ème}}$  mauvaise soudure*

Exemples :

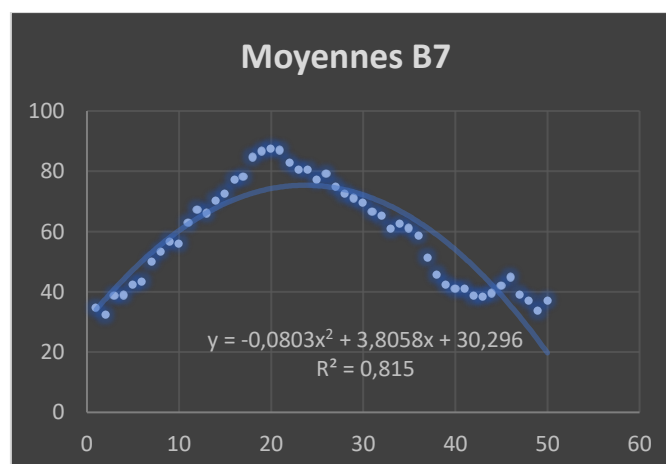


Figure 17 : Nuage de points de moyennes d'une soudure parfaite

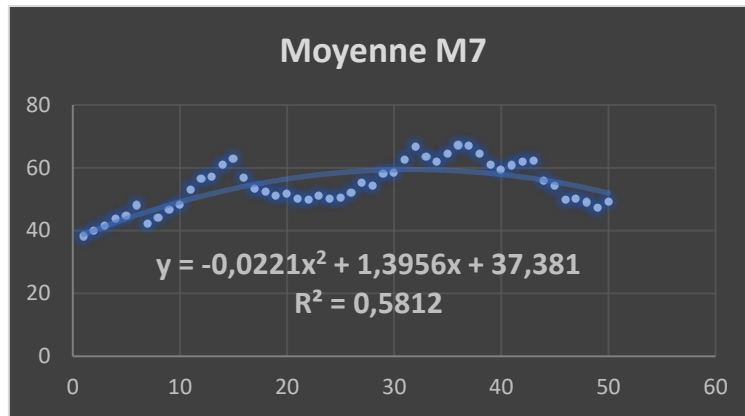


Figure 18 : Nuage de points de moyennes d'une mauvaise soudure

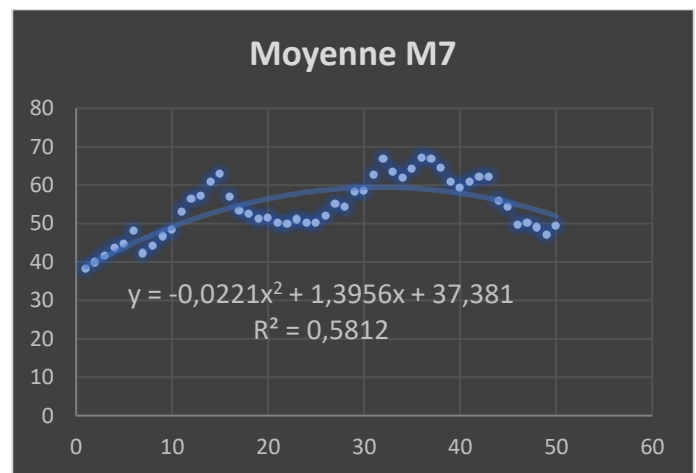
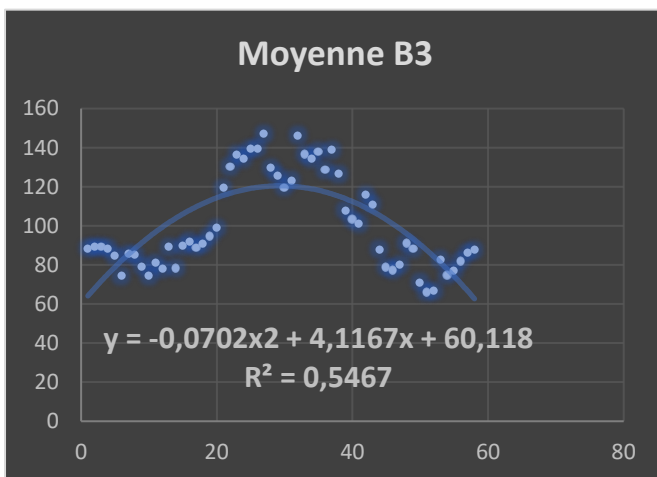


Figure 19 : Nuage de points de moyennes d'une bonne et d'une mauvaise soudure

Sur ces exemples, il est intéressant de voir que le seul critère de la moyenne est insuffisant pour distinguer les soudures entre elles.

## 2<sup>ème</sup> critère mathématique : l'écart-type

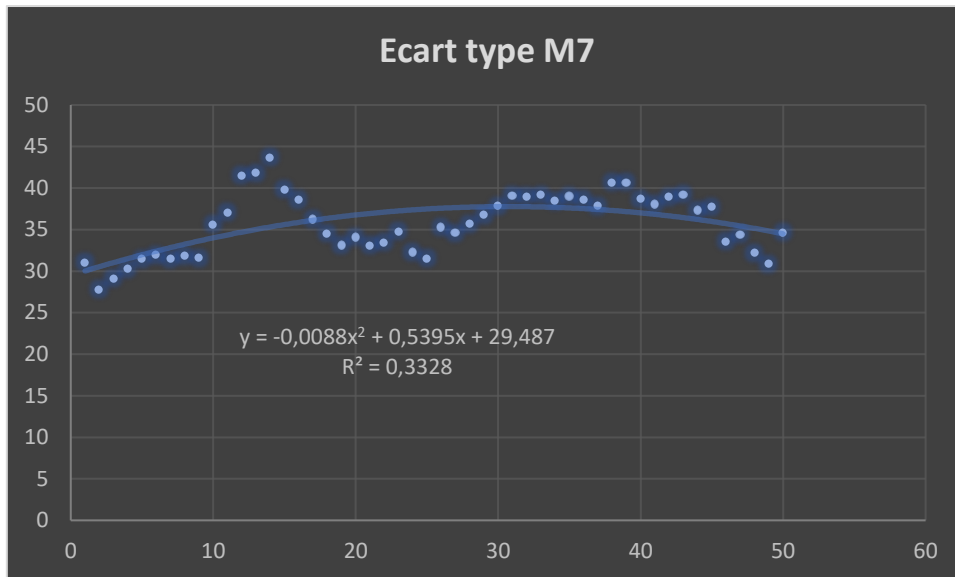
Un bon cordon de soudure présente de stries régulières un peu comme des vagues. Cette régularité ou irrégularité peut se voir avec l'écart type.

Un écart type qui varie révèle un « défaut ». Si la surface a des défauts (rugosité) il y aura des pixels très blancs (reflets) et des très noirs (ombres).

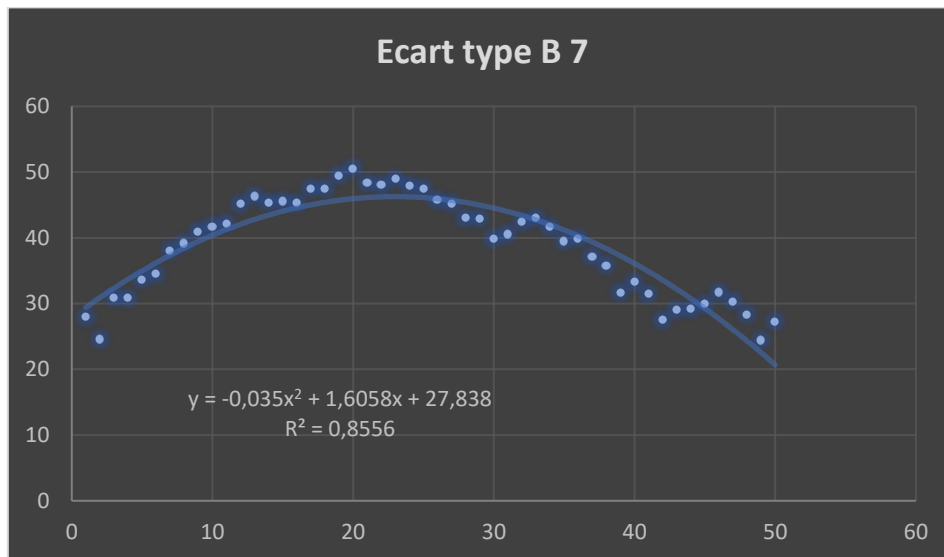
En effet les défauts vont théoriquement faire un pic brutal sur la courbe des écart-types, il suffit alors de créer une courbe de tendance (ici j'ai pris une courbe polynomiale de degré 2 donc compréhensible pour les élèves) et de comparer ce nuage à la courbe et on introduit le coefficient  $R^2$  pour « mesurer » l'écart du nuage avec la courbe.

L'hypothèse est la suivante : La courbe des écart-types d'un mauvais cordon aura un nuage de points plus dispersé qu'un bon cordon.

**Exemples :**

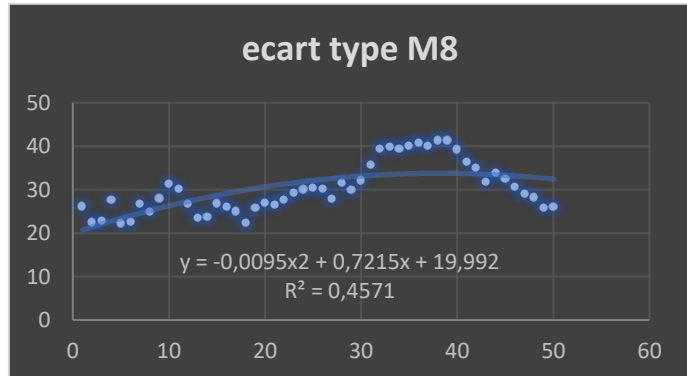
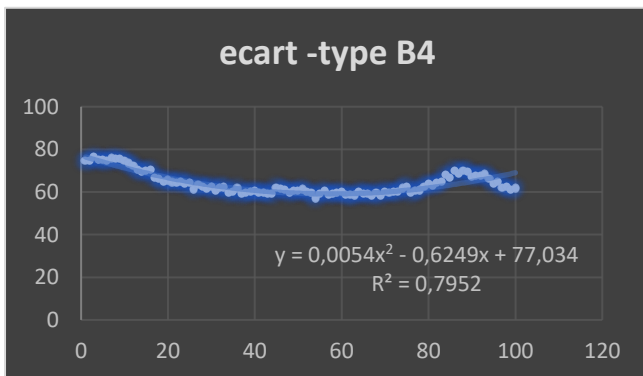


*Figure 20 : Nuage de points des écart-types d'un mauvais cordon*



*Figure 21 : Nuage de points des écart-types d'un « bon » cordon*

**Autres exemples :**



*Figure 22 : Nuages de points des écart-types d'un « bon » et d'un « mauvais » cordon*

### **Analyse :**

Pour différencier les bons des mauvais cordons, il faut calculer  $R^2$  le coefficient de détermination (calculer à partir de  $R$  coefficient de corrélation).

Les  $R^2$  des bons cordons sont en effet plus élevés que ceux des mauvais, il suffit alors de déterminer un seuil à partir duquel on distinguera les bons des mauvais.

### **Conclusion :**

Ce petit projet mené autour du contrôle qualité des cordons de soudure m'a permis de jeter un pont entre les cours de statistiques et le soudage que les élèves font en atelier.

En transformant une simple photo en tableau Excel, on peut tout d'abord distinguer les bords du cordon et ensuite de contrôler la qualité de celui-ci.

Deux indicateurs que les élèves sont capable d'appréhender se sont révélés particulièrement intéressants :

- la moyenne de la luminance par colonne, qui s'est avérée un outil pour cartographier la géométrie du cordon. En calculant les variations des luminances, cela permet de repérer les bords des cordons ( à conditions d'avoir un bon protocole de photographie)
- L'écart type par colonne qui s'impose comme indicateur clé pour détecter els défauts et juger de la qualité du geste. Un écart type élevé traduit une irrégularité de la surface (projections...).

Bien sur cette méthode présente de limites intrinsèques, tels que le problème de la sensibilité à l'éclairage, l'incapacité à inspecter la soudure interne mais présente des intérêts pédagogiques pour les mathématiques et aussi sur leur façon d'appréhender la façon de fonctionner d'une IA.

Ce travail montre qu'avec des outils informatiques simples et accessibles, il est possible de sensibiliser les futurs techniciens en chaudronnerie à l'importance du geste technique et aux exigences d'un contrôle qualité.

# Défi MATHADATA

L'entreprise Ferachaud est une entreprise de chaudronnerie industrielle. Vous avez été détaché au service contrôle qualité.

Votre mission est de créer un système capable d'analyser automatiquement des photos de soudures, d'en extraire les caractéristiques mathématiques et de décider si la soudure respecte les exigences de fabrication.

## **Objectifs de la mission :**

- Mettre en place un protocole de photographie des cordons
- Prendre en photo les cordons à l'atelier
- Détecter mathématiquement les bords de ces cordons de soudure
- Distinguer mathématiquement les mauvais cordons de soudure

## **Moyens techniques :**

- Appareil photo
- Atelier
- Logiciel GIMP
- Logiciel Excel