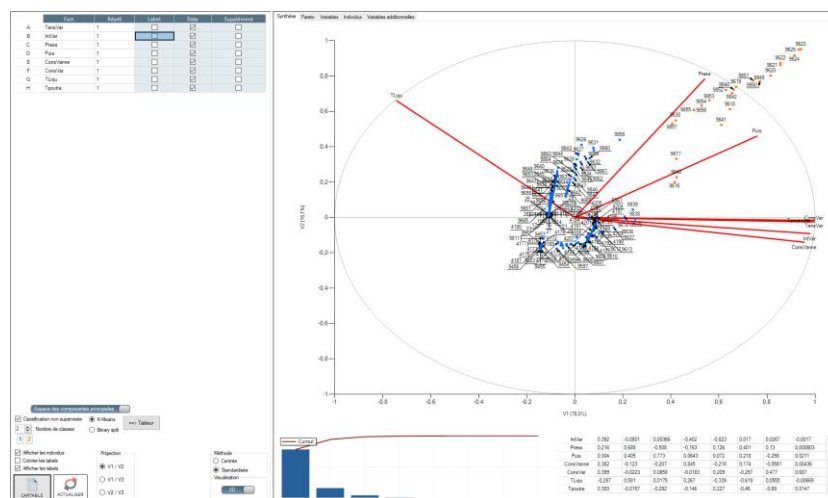


Analyse par ACP des résultats du TP de thermique

Objectif : ACP de tout le tableau regroupant les données acquises le jour du TP

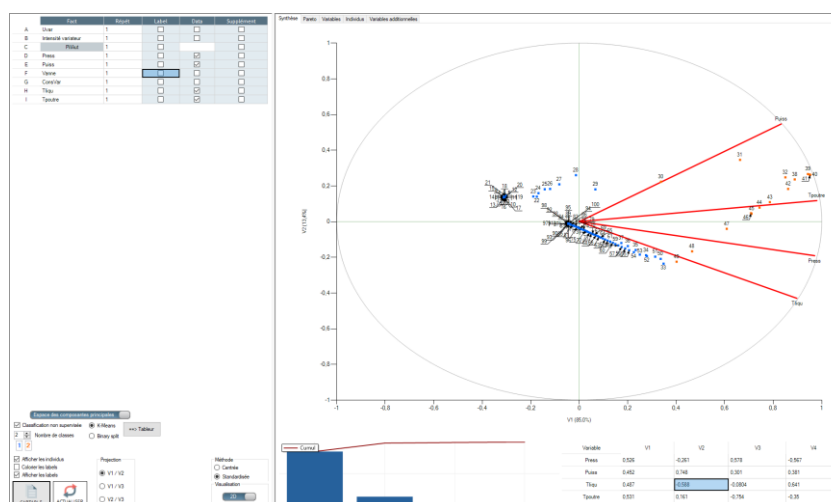
Les données acquises pendant le TP de 3 h suivi par l'automate JUMO étaient notées :

- **TensVar** ou **Uvar** pour la tension du variateur,
- **IntVar** ou **Ivar** pour l'intensité délivrée par le variateur,
- **Press** pour la pression au niveau de la poutre,
- **Puiss** pour la puissance électrique délivrée par le variateur
- **ConsVanne** et **ConsVar** pour les consignes données par l'opérateur à la vanne d'alimentation en eau et au variateur,
- **Tliq** et **Tpoutre** pour les températures du liquide et de la poutre.



On remarque que Puiss, Ivar, et Uvar sont fortement corrélées.

On ne conserve donc comme variables d'intérêt que Puiss, Pres, Tliq, et Tpoutre, ce qui donne :



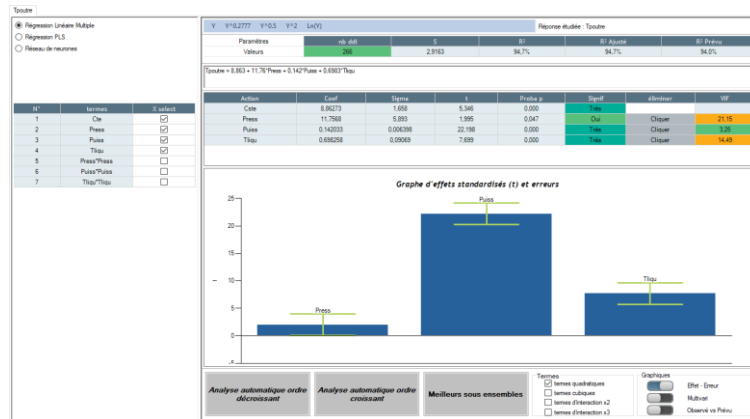
On voit que Tpoutre est fortement corrélée à la 1^{ère} composante principale V₁ (expliquant elle-même 85 % de l'inertie).

Il y a donc un groupe de points où Puiss a progressivement augmenté et un autre où Tliq à progressivement augmenté.

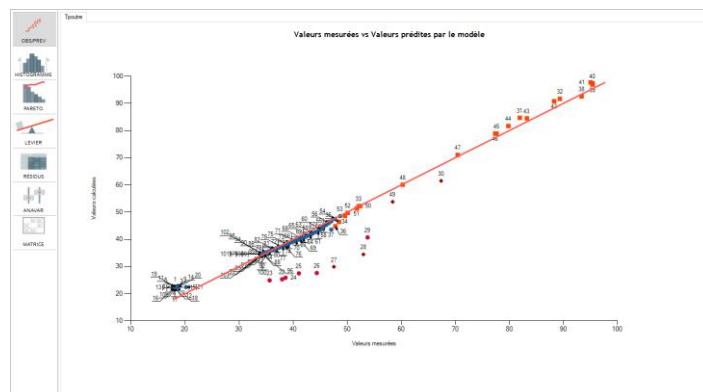
En revanche, la variable d'intérêt Tpoutre semble devoir être modélisée par un modèle intégrant Puiss, Press et Tliq.

On effectue donc une recherche de modèle de régression donnant Tpoutre en fonction de ces 3 variables.

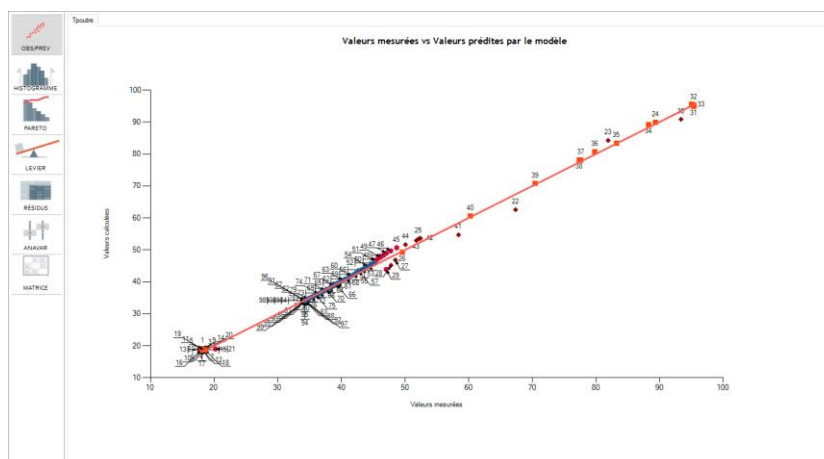
On constate que ces 3 variables sont bien significatives dans le modèle :



et que le modèle donne un bon ajustement des valeurs expérimentales, hormis pour les mesures 22 à 29 :

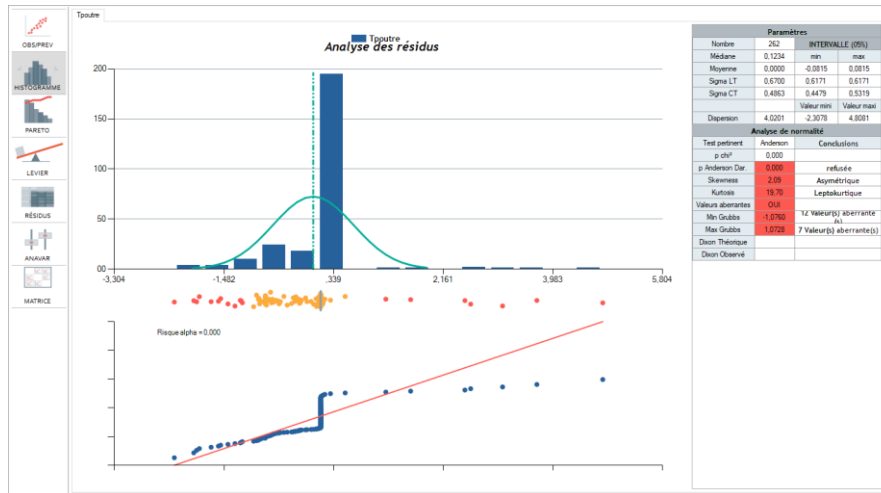


La normalité des résidus est refusée à nouveau à cause des mesures 22 à 29. Si on les élimine, le problème de qualité de prédiction est corrigé et l'on obtient :



On constate sur la figure ci-dessous qu'il n'y a toujours pas de distribution normale des résidus, ce qui signifie qu'un autre facteur doit être ajouté dans le modèle.

Après analyse de la vidéo du TP, il est apparu que le facteur non pris en compte et pourtant déterminant sur l'évolution de la température de poutre était l'apparition ou non d'une ébullition.



Toujours est-il que l'on peut observer globalement :

- Une augmentation de T_{poutre} avec P_{uiss} et avec T_{liq} mais une diminution de T_{poutre} lorsque P_{ress} augmente.
- T_{poutre} atteindra la valeur maximum de 292 °C lorsque $P_{ress} = 1,05$ bar ; $P_{uiss} = 292$ W et $T_{liq} = 54$ °C

Le but était alors de trouver le réglage de l'automate permettant le meilleur rendement thermique (celui pour lequel le transfert de chaleur de l'eau vers la poutre nécessite le minimum d'énergie électrique).

Nous avons donc suivi au fil du temps un KPI traduisant cette performance énergétique. Il s'agit du coefficient de convection thermique h_c entre la poutre et le fluide, ce dernier étant défini par :

$$h_c = P / (A * (T_{Poutre} - T_{liquide}))$$

où T est la température en °C et A est la surface de contact liquide/poutre.

Cette analyse préalable ayant été menée, il est prévu de compléter l'étude en traitant les données acquises lors de nombreux TP similaires afin de pouvoir maximiser h_c le plus rapidement possible.

La difficulté semble être de fixer, selon les conditions atmosphériques locales (température, humidité pression, etc...), les consignes de réglage de la vanne d'alimentation en eau et du variateur de la tension d'alimentation de la résistance chauffante permettant d'atteindre un fort rendement thermique le plus rapidement et le plus durablement possible.

Comme le type d'ébullition apparu semble être déterminant et sachant qu'il paraît impossible de gérer ces problèmes d'ébullition (hautement instables) par une approche analytique, nous avons proposé aux élèves d'Angers d'exploiter les données par apprentissage automatique.

N'ayant guère d'idée sur les groupes de valeurs typiques permettant de rester au 1^{er} type d'ébullition sans déclencher le second, nous avons parié sur une technique d'apprentissage non supervisée appelée KMeans. Elle consiste à choisir K sous-groupes de points expérimentaux, puis leurs K points moyens, puis à nouveau K sous-groupes constitués des points expérimentaux les plus proches de ces

K points moyens, et ainsi de suite jusqu'à ce que les sous-groupes et leurs points moyens respectifs n'évoluent plus.

Nous ne pouvons connaître à l'avance la signification de ces sous-groupes mais il apparaît souvent que chacun d'eux est caractéristique d'un comportement particulier du système observé.

En l'occurrence, on peut s'attendre à trouver ainsi :

- Plusieurs quintuplets (Pres, Tliq, Tpoutre, Puiss, h_c) regroupés en un sous-groupe de points pour lesquels nous avons observé une ébullition avec bulles,
- Plusieurs autres regroupés en un autre sous-groupe et pour lesquels nous avons observé une ébullition superficielle,
- Un 3^{ème} sous-groupe de quadruplets pour lesquels nous n'avons observé aucune ébullition.

Le sous-nuage (ou cluster) pour lequel h_c est le plus grand sera certainement celui correspondant à l'ébullition avec bulles et celui où il est le plus faible devrait correspondre à l'ébullition superficielle.

Cette analyse risque cependant de devoir être affinée en choisissant comme variables d'entrée du modèle des variables pilotables telle que la consigne d'ouverture de la vanne du circuit d'arrivée d'eau et celle de réglage du variateur.

De même, si le but est d'atteindre le plus rapidement possible l'ébullition avec bulles en minimisant néanmoins les risques d'ébullition superficielle, il conviendrait de choisir en sortie de modèle une variable d'intérêt plus appropriée que le seul coefficient de convection thermique.

On peut par exemple chercher à définir le temps de chauffe jusqu'à l'ébullition avec bulles tout en limitant la durée supplémentaire de chauffe faisant passer d'un type d'ébullition à l'autre.

Pour un cas de passage entre 2 états, on peut songer à ajuster un modèle de régression logistique. Ce modèle nous permettra pour une consigne d'alimentation en eau donnée de régler le temps de chauffe à une valeur limitant par exemple à 30 % le risque de voir apparaître l'ébullition superficielle.

Pour pouvoir ajuster également la consigne d'ouverture de la vanne et pour considérer non plus 2 mais 3 états en sortie de modèle, on pourra ajuster un modèle de réseau de neurones.