

Développement d'accréditations COFRAC et optimisation de la performance opérationnelle du laboratoire



EvO Métrologie
331 Chemin des Agriès, 31860 Labarthe-sur-Lèze

Alternance effectué de novembre 2024 à août 2025

Tuteur : Bonard Maxime
Encadrant : Robert Mauricot

Institut Universitaire de Toulouse - Paul Sabatier
BUT3 MESURES PHYSIQUES - MCPC

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à Maxime Bonard et Robert Mauricot pour leur suivi tout au long de cette année d'alternance. J'adresse une reconnaissance particulière à Maxime pour son accompagnement constant, son suivi attentif et son soutien déterminant au cours de ces 10 derniers mois.

Résumé

Ce rapport présente les travaux réalisés durant mon alternance chez EvO Métrologie, laboratoire spécialisé dans la vérification d'instruments de mesure. Mes missions ont porté principalement sur deux démarches d'accréditation COFRAC : l'une dans le domaine du couple (norme NF EN ISO 6789-1), et l'autre dans celui des enceintes thermostatiques (norme FD X 15-140). J'ai rédigé des procédures, conçu des trames Excel automatisées pour le suivi et le traitement des données, et développé des outils informatiques (CalculaTorque, DROITEREG) pour améliorer la précision, la traçabilité et la productivité. En parallèle, j'ai travaillé sur la vérification des tamis. L'accréditation COFRAC dans le domaine du couple a été obtenue avec succès, et la documentation pour la température est en cours de finalisation. Ces contributions permettent à l'entreprise de renforcer son offre et sa rigueur technique.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to Maxime Bonard and Robert Mauricot for their supervision throughout this year of apprenticeship. I would like to give special recognition to Maxime for his constant support, careful guidance, and decisive help over the past ten months.

Abstract

This report describes the work completed during my apprenticeship at EvO Métrologie, a laboratory specializing in the verification of measuring instruments. My main tasks focused on two COFRAC accreditation processes: one for torque tools (NF EN ISO 6789- 1) and another for temperature chambers (FD X 15-140). I wrote procedures, designed automated Excel templates for data tracking and analysis, and developed software tools (CalculaTorque, DROITEREG) to enhance accuracy, traceability, and productivity. I also contributed to sieve verification. COFRAC accreditation for torque was successfully obtained, and the documentation for temperature is nearing completion. These efforts help the company expand its scope while ensuring high technical standards.

Table des Matières

Mots-clés	1
Introduction	1
Présentation de l'entreprise	1
Présentation du laboratoire d'accueil	1
Définition du sujet d'apprentissage	1
Démarches et moyens utilisés	2
Missions principales	2
Missions secondaires	7
Sujet vérification des tamis	7
Développement de solutions informatiques	7
Résultats	8
Résultats pour le domaine du couple	8
Résultats pour les enceintes thermostatiques	9
Résultats pour les tamis	13
Résultats des solutions informatiques	13
Conclusion	16
Bibliographie	18

Mots-clés

COFRAC (Comité Français d'Accréditation) : Organisme national chargé d'accréditer les laboratoires et organismes de contrôle pour garantir leur compétence.

LAB GTA (Guide Technique d'Accréditation) : Document édité par le COFRAC précisant les exigences techniques à respecter pour un domaine d'accréditation donné.

Optimu : Logiciel professionnel utilisé en métrologie pour la gestion des instruments, la génération de certificats d'étalonnage et le suivi qualité.

Introduction

Présentation de l'entreprise

EVO Métrologie, c'est deux laboratoires en France, à Toulouse et à Perpignan, ainsi qu'un autre au Québec. L'entreprise regroupe une vingtaine d'employés et se consacre à fournir des services de mesure précis, fiables, et couvrant tous les domaines de la métrologie. Engagée en faveur de la qualité, de la précision et de la satisfaction client, l'entreprise travaille dans le respect des exigences des normes ISO 9001 et ISO/IEC 17025.

Présentation du laboratoire d'accueil

La principale activité du laboratoire d'EvO Métrologie est la vérification d'instruments. La vérification des instruments consiste à comparer leurs indications à celles d'un étalon de référence/travail, afin de s'assurer de leur conformité aux tolérances spécifiées. Cette opération suit des normes et procédures, dans les conditions environnementales contrôlées du laboratoire, afin de garantir la fiabilité et la répétabilité des mesures. Elle se conclut par un rapport attestant de la conformité ou du besoin d'étalonnage des instruments ainsi que d'une étiquette collée sur l'instrument afin d'affirmer la conformité, ou non de l'instrument vérifié comme illustré en [Figure 1](#).



Figure 1: Exemple d'étiquettes de vérification

Définition du sujet d'apprentissage

En tant qu'apprenti métrologue et suppléant d'accréditation, mon rôle est de contribuer à l'amélioration continue des processus de mesure et d'étalonnage, à travers la création ou l'optimisation de procédures et de systèmes de traitement de données. Mes missions s'articulent autour de trois axes principaux :

- **Optimisation des procédures et des trames de vérification** : Analyse des protocoles existants et mise en oeuvre d'améliorations visant à renforcer la précision, la fiabilité et la traçabilité des mesures, tout en garantissant une utilisation intuitive pour les techniciens.
- **Développement d'outils de traitement des données** : Conception de solutions logicielles permettant d'automatiser certaines tâches, de réduire les risques d'erreur humaine et d'optimiser l'analyse des résultats.
- **Contribution aux démarches d'accréditation COFRAC** : Rédaction de documents conformes aux exigences normatives et participation active à la mise en place des accréditations.

Ces activités me permettent de développer une expertise technique en métrologie, tout en consolidant mes compétences en gestion de projet, amélioration continue et développement informatique appliquée.

Démarches et moyens utilisés

Missions principales

Dans le cadre de mes missions d’alternant, j’ai été amené à contribuer activement à la rédaction et la mise en conformité de procédures techniques en vue de deux accréditations COFRAC. Pour cela, j’ai mobilisé à la fois mes connaissances théoriques et techniques, mes compétences logicielles et une approche rigoureuse de la documentation technique.

Sujet d'accréditation COFRAC - Domaine du couple

Contexte de la mission : L’entreprise disposait déjà d’une accréditation COFRAC dans le domaine du couple, mais celle-ci reposait sur une norme particulièrement lourde et exigeante (NF EN ISO 6789-2), peu compatible avec les demandes réelles des clients. En conséquence, cette accréditation n’était jamais exploitée et aucune prestation n’était demandé par les clients. Ma mission a donc consisté à repositionner l’entreprise en vue d’une nouvelle demande d’accréditation, cette fois basée sur une norme plus adaptée aux moyens du laboratoire et aux besoins du marché (NF EN ISO 6789-1). L’objectif est de permettre à l’entreprise de proposer uniquement des prestations sous accréditation COFRAC.

Pour cela, j’ai rédigé une nouvelle procédure d’étalonnage et de vérification des outils dynamométriques, ainsi que plusieurs trames Excel associée, permettant d’assurer les contrôles des outils dynamométriques et de suivre la dérive des couplemètres étalons de manière rigoureuse et traçable.

Démarche adoptée pour la rédaction de la procédure interne : La rédaction de la procédure d’étalonnage et de vérification a débuté par une analyse des documents normatifs, la norme NF EN ISO 6789-1 relative aux dispositifs de serrage dynamométriques, ainsi que le document technique d’accréditation LAB GTA 03 émis par le COFRAC.

J’ai également étudié la procédure interne existante de l’entreprise, afin d’identifier les écarts entre les pratiques actuelles (définis par une norme différente) et les exigences normatives de la norme étudié. Cependant, la procédure précédemment rédigée s’est révélée quasiment inexploitable, elle était très incomplète et contenait peu d’informations concrètes et techniques. Face à ce constat, j’ai dû partir de zéro pour concevoir une procédure claire, structurée et conforme aux attentes du laboratoire.

Le but de cette procédure est de permettre à tout technicien de réaliser la vérification de la conformité d’un outil, du début à la fin, en s’appuyant uniquement sur les instructions fournies.

Outils et méthodes utilisés pour créer la procédure : Afin de créer une procédure claire et bien illustrée, j’ai utilisé le logiciel libre de dessin vectoriel Inkscape pour maximiser le nombre d’images et de schémas explicatifs. La rédaction du document a été réalisée avec Microsoft Word, pour assurer une mise en page professionnelle et facilement modifiable par les futurs rédacteurs.

Création des trames Excel : Pour permettre le contrôle et la traçabilité des vérifications dans ce domaine, j’ai dû réaliser une trame Excel et deux fichiers Excel permettant le suivi de la dérive des couplemètres étalons.

- Trame de vérification :** L’objectif de cette trame est de permettre la saisie des informations relatives au client, à l’instrument et aux valeurs de couple mesurées, afin de générer automatiquement un certificat de vérification destiné à être transmis au client.

Mon objectif était de concevoir une trame ergonomique, visuellement claire, facile à utiliser et entièrement automatisée, tout en minimisant les saisies manuelles. Ce travail a été réalisé sans

recourir aux macros VBA, celles-ci étant automatiquement bloquées par le serveur d'hébergement de l'entreprise. Leur utilisation impliquerait de télécharger les fichiers en local, ce qui est déconseillé par le COFRAC, car cela expose au risque d'utiliser une version obsolète du document si celui-ci n'est pas synchronisé avec la version à jour du serveur.

Initialement, cette trame devait être développée directement dans le logiciel Optimu. Cependant, une semaine avant l'audit COFRAC, le service client d'Optimu nous a informés que certaines fonctionnalités obligatoires pour répondre aux exigences de l'accréditation ne pouvaient pas être mises en œuvre. Ce contretemps a conduit à un revirement de dernière minute vers une solution Excel.

- **Fichiers de suivis de dérive interne et externe :** Le suivi de la dérive des capteurs étalons constitue une étape clé dans le cadre d'une demande d'accréditation. En métrologie, la dérive désigne l'évolution progressive des caractéristiques d'un étalon au cours du temps, pouvant affecter la fiabilité, la justesse et la traçabilité des mesures. Une dérive non maîtrisée peut entraîner des écarts significatifs entre les valeurs mesurées et les valeurs réelles, compromettant ainsi la validité des résultats.

On distingue deux types de suivi, interne, réalisé directement au sein du laboratoire EvO Métrologie et le suivi externe, effectué par un autre laboratoire accrédité.

Les mesures de dérive internes sont réalisées tous les deux mois à l'aide d'un outil dynamométrique étalon. Toutefois, cette méthode présente une limite : les outils utilisés pour les mesures de comparaison ne sont pas parfaitement fidèles, ce qui introduit une incertitude supplémentaire. Les éventuelles erreurs de fidélité de ces outils s'ajoutent alors à la dérive réelle des couplemètres étalons.

Pour améliorer la fiabilité de cette évaluation, un dispositif mécanique a été conçu en interne : un bras de levier permettant de générer un couple connu à l'aide d'une masse suspendue, comme le montre la [Figure 2](#). Ce système vise à s'affranchir des incertitudes liées aux instruments intermédiaires. Cependant, il n'est actuellement pas utilisé, car sa conception ne permet pas l'accrochage sécurisé de masses suffisantes pour atteindre les couples visés.

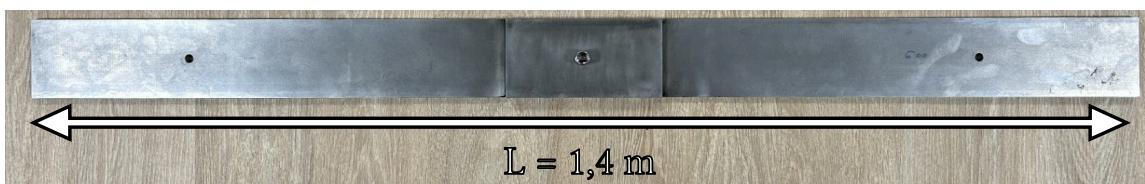


Figure 2: Photo du bras de levier pour l'application du couple fixe

Une tolérance de dérive, au point de mesure, est définie en fonction de la classe du couplemètre étalon et les données sont tracé au fur et à mesure sur un graphe de suivi, comme le montre la [Figure 3](#).

Ce suivi joue donc un rôle préventif et à ce titre, une action corrective est absolument nécessaire dans les cas suivants :

- 9 valeurs successives du même côté de la moyenne ;
- 6 valeurs consécutives qui montent/descendent ;
- 2 valeurs sur 3 dans la zone de surveillance ;
- Une valeur au-delà des limites.

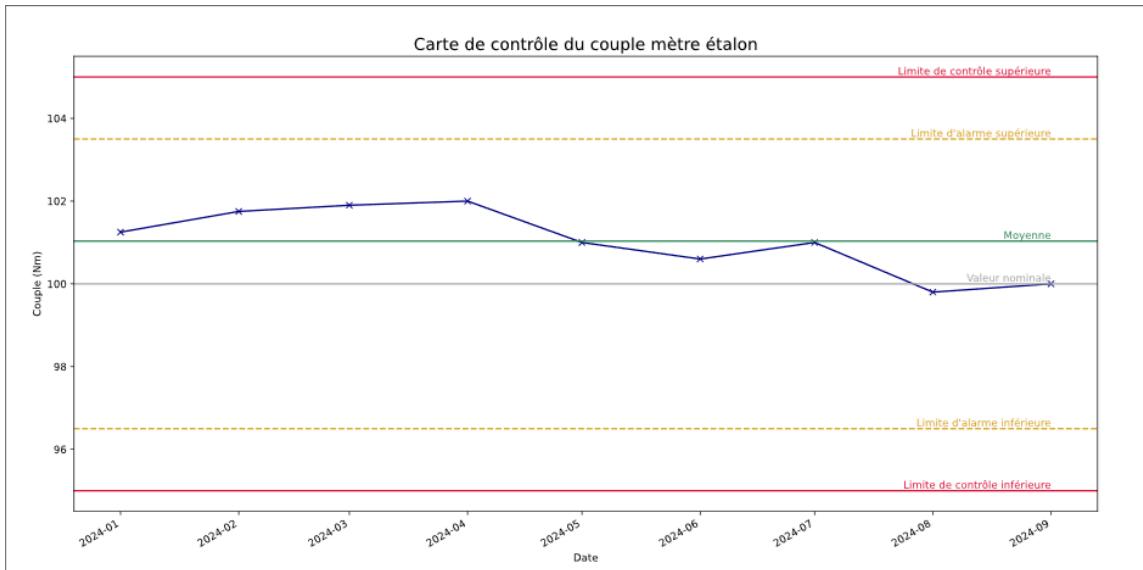


Figure 3: Exemple de carte de suivi de dérive d'un étalon

Sujet d'accréditation COFRAC – Domaine enceintes thermostatisques

Présentation de la problématique : L'entreprise souhaite élargir son panel d'accréditation COFRAC en ajoutant le domaine de la température. Il existe une forte demande pour la vérification des fours selon la norme AMS 2750, utilisée pour le traitement thermique. Cependant, les responsables d'accréditation ont choisi de commencer par une norme moins contraignante, afin de rendre cette première démarche plus accessible. Le choix s'est donc porté sur la caractérisation et la vérification d'enceintes thermostatisques, en s'appuyant sur la norme FD X 15-140 et les recommandations du LAB GTA 24.

Cela permet à EvO Métrologie de faire une première approche du COFRAC dans le domaine de la température, tout en posant les bases pour une éventuelle extension future vers des normes plus strictes comme l'AMS 2750.

Le responsable d'accréditation, ayant déjà travaillé avec ce type de normes, m'a fait part de la complexité et du temps nécessaire pour traiter les données manuellement. La sélection des paliers de température stables pour chaque consigne dans les jeux de données acquis se faisait à la main, ce qui n'était ni précis ni efficient.

Mon objectif est donc de créer un outil fiable et automatisé permettant de détecter automatiquement les paliers de température, afin d'éviter le traitement manuel et de gagner en fiabilité et en efficacité.

Particularités de la mesure de température : La vérification des enceintes thermostatisques nécessite de nombreuses analyses statistiques : calcul de la valeur moyenne, des minima et maxima, de l'écart-type, de la stabilité, de l'homogénéité, etc.

Il faut également corriger les données brutes grâce au certificat d'étalonnage des sondes utilisées (simplement avec un polynôme de degré 1), représenter les valeurs brutes et les graphiques de dispersion et vérifier l'écart entre la consigne et les valeurs mesurées.

Enfin, l'incertitude des mesures doit être calculée pour répondre aux exigences de la norme FD X 15-140 et des conseils du LAB GTA 24.

Conception de la trame Excel associée : L'objectif de cette trame est de permettre la saisie des informations relatives au client et à l'enceinte, ainsi que la génération d'un certificat associé.

J'ai commencé par récupérer un fichier de données brutes typique afin de créer le code permettant la détection des paliers de température. Étant beaucoup plus à l'aise avec le langage Python, j'ai d'abord développé une fonction de traitement des données dans ce langage, puis je l'ai transposée en code Basic pour qu'elle puisse être utilisée dans Excel.

Après avoir examiné la structure des données brutes, j'ai tout de suite remarqué une similarité avec un graphique que j'avais réalisé lors de mon stage en BUT 2, on y observe les mêmes paliers que ceux rencontrés lors d'une calibration, dans ce cas, d'un spectromètre avec du N_2O , comme montré en [Figure 4](#).

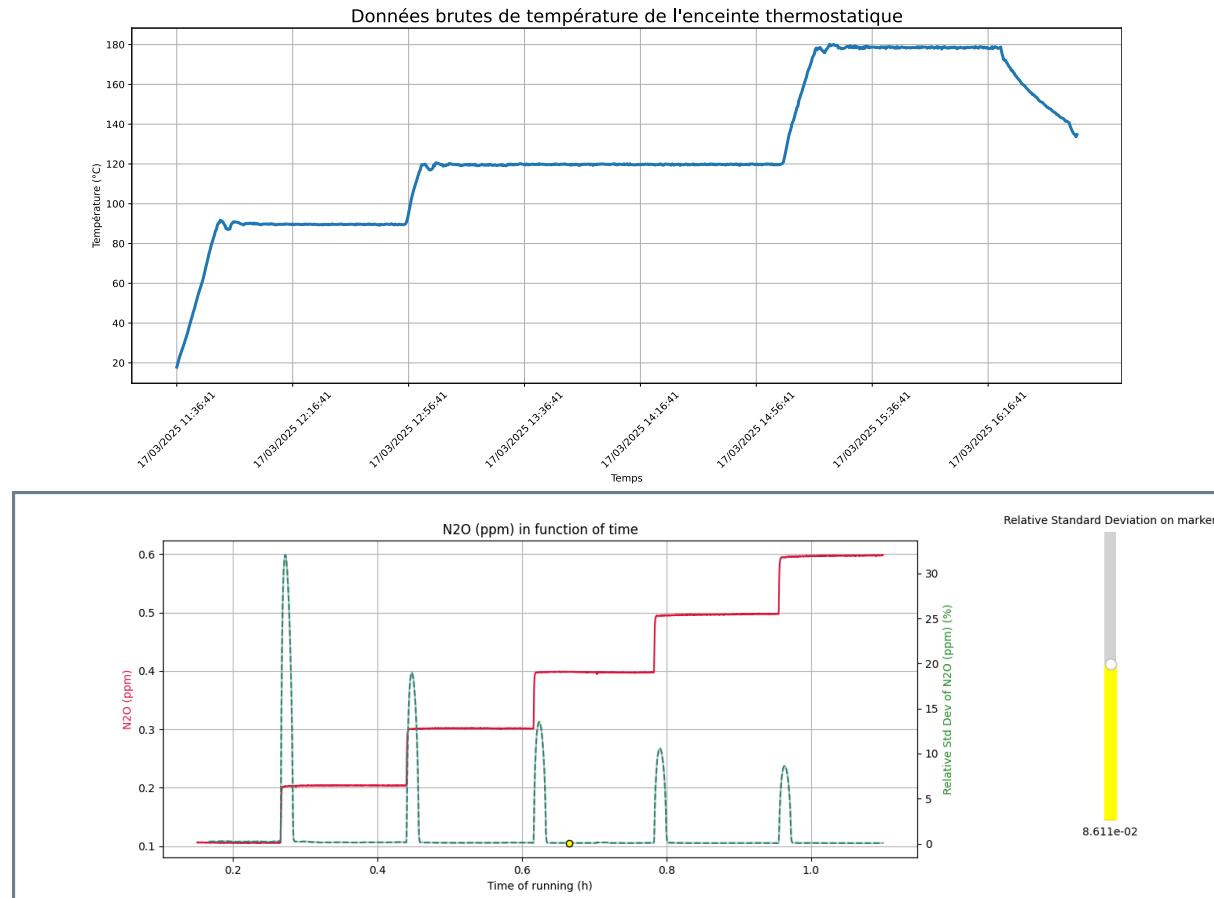


Figure 4: Comparaison des données de température avec un ancien jeu de donnée rencontré

Ici, sur le graphe de calibration de N_2O j'avais tracé les données brutes avec leurs écart-type relatif roulant, j'ai donc pensé pouvoir utiliser cet écart-type pour ‘nettoyer’ mon jeu de donnée. Là où l'écart-type est grand, c'est que le palier de température change et qu'il faut donc séparer le palier/supprimer les valeurs, voici la logique :

Détermination des régimes de température optimaux établis dans une enceinte thermostatique

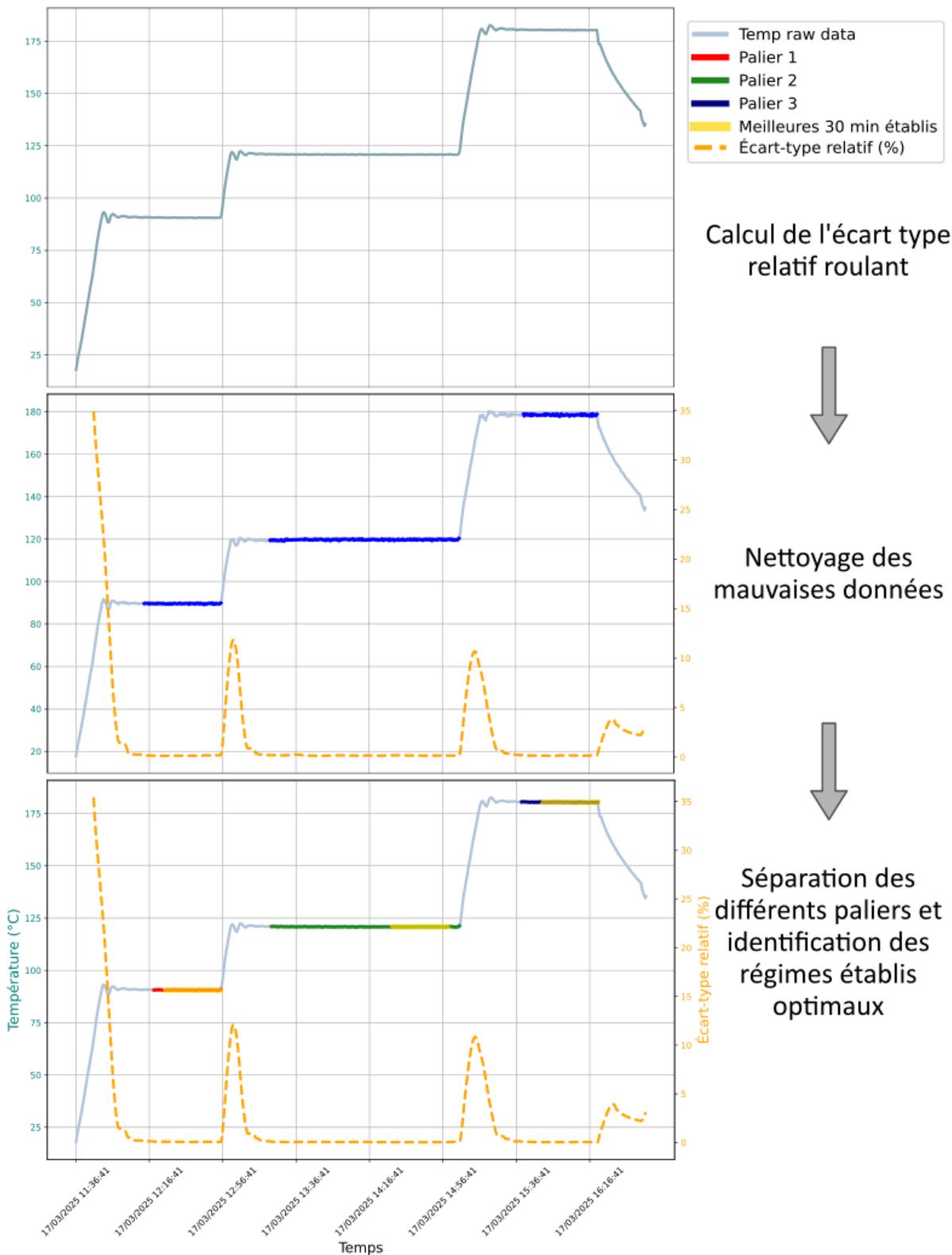


Figure 5: Détermination des régimes de température optimaux établis dans une enceinte thermostatique

Traitement des données : Une fois les données de température récupérées et traitées, une série de statistiques est calculée afin de déterminer l'incertitude finale associée à chaque palier de température.

Les grandeurs suivantes sont évaluées :

- Valeur maximale et minimale
- Stabilité
- Stabilité maximale
- Valeur moyenne
- Température de l'air
- Écart type expérimental S_j
- Incertitude élargie $U_{c,j}$
- Incertitude $U_{\Delta ray}$
- Incertitude $U_{m,j}$
- Écart type de répétabilité S_r
- Écart type de reproductibilité S_R
- Incertitude élargie U

Finalement, la température minimale et maximale conventionnelle, l'homogénéité, l'écart de consigne et erreur d'indication de l'enceinte sont calculé et affiché sur le rapport.

Missions secondaires

En complément de mes missions principales, j'ai également été assigné à des sujets secondaires visant à renforcer la qualité des prestations du laboratoire et à améliorer les services proposés. Ces missions me permettent d'explorer de nouveaux domaines techniques et d'apporter des améliorations pratiques.

Sujet vérification des tamis

Contrairement aux missions menées dans le domaine du couple et de la cartographie d'enceintes thermostatiques, l'objectif ici n'était pas d'obtenir une accréditation COFRAC, mais simplement de disposer d'une procédure claire et d'une trame Excel fonctionnelle pour répondre aux demandes des clients.

La trame de vérification des tamis existait déjà, mais elle nécessitait l'utilisation de plusieurs fichiers Excel et n'était pas automatisée. Mon objectif était donc de reprendre et améliorer cette trame, en la rendant plus simple, complète et automatisée pour faciliter son utilisation, tout en respectant les exigences normatives : ISO 3310-1 et 3310-2.

Développement de solutions informatiques

Dans le cadre de mes missions, j'ai pris l'initiative de développer plusieurs outils informatiques pour répondre aux besoins spécifiques du laboratoire, en restant à l'écoute des techniciens afin de privilégier des solutions simples d'utilisation.

- **CalculaTorque** : Cet outil a été développé à la demande d'un collègue, qui souhaitait initialement un fichier Excel pour automatiser le calcul des écarts de couple et leur ajustement aux valeurs nominales. Plutôt que d'utiliser un fichier Excel peu pratique, j'ai choisi de créer un programme exécutable en Python, plus ergonomique et plus rapide à utiliser, pour éviter les calculs manuels fastidieux pouvant être source d'erreur.
- **DROITEREG** : J'ai décidé de créer le logiciel DROITEREG car une prestation de droite de régression peut être demandée par les clients, pour leurs capteurs afin de convertir les entrées en sorties.

Cette tâche était auparavant réalisée à l'aide d'un fichier Excel, mais le processus manquait d'ergonomie et le rapport généré n'avait pas un aspect professionnel.

Méthode : Pour la réalisation de ces outils informatiques, j'ai utilisé le langage Python, reconnu pour sa facilité dans le traitement des données et la création d'interfaces graphiques.

Pour concevoir des interfaces utilisateurs ergonomiques et intuitives, j'ai eu recours à PyQt6, un module libre qui permet d'associer Python à la bibliothèque Qt. Ce module offre la possibilité de

créer des interfaces graphiques performantes directement en Python. J'ai également utilisé l'outil Qt Designer pour générer facilement le code Python des interfaces.

J'ai également porté attention à l'esthétique et à l'ergonomie des applications en intégrant des icônes créées avec le logiciel Inkscape.

Enfin, pour simplifier le déploiement des outils et éviter les blocages liés au pare-feu Windows, j'ai utilisé Inno Setup pour créer des exécutables d'installation fiables et faciles à installer.

Résultats

Les livrables attendus comprenaient des procédures, des trames Excel et des outils informatiques. Cette section présente les résultats obtenus pour chacun d'eux.

Résultats pour le domaine du couple

Résultat de l'audit : Lors de l'audit COFRAC, quelques non-conformités ont été relevées par l'auditeur. Elles étaient principalement dues à un manque de temps lors de l'élaboration de la trame Excel, ce qui a entraîné des erreurs dans certains calculs et formules. Ces points relevaient donc davantage d'un manque de validation que d'un problème technique fondamental.

La seule non-conformité qui n'a pas pu être corrigée immédiatement concerne la vérification des petits couples sur notre étalon. En effet, la norme impose que la montée en charge, de 80 % à la valeur cible, se fasse en 0,5 seconde minimum (et entre 0,5 et 1 seconde pour les tournevis dynamométriques de moins de 10 N.m). Or, le banc étalon utilisé à l'époque ne permettait pas une maîtrise suffisante pour respecter cette règle, car le couple devait être appliqué manuellement par l'utilisateur. Ce point était connu du responsable d'accréditation et de moi-même, et un nouvel étalon avait été reçu quelques semaines avant l'audit, mais il n'avait pas pu être mis en service à temps.

Malgré ces non-conformités résolues dans le délai imparti, le COFRAC a décidé de nous accorder l'accréditation. Toutefois, nous ne savons pas encore si l'étendue de l'accréditation comprendra les petits couples, qui devront être vérifiés avec le nouveau banc.

Résultat des livrables : À la suite de l'audit, la procédure que j'ai rédigé a été validée, ainsi que la trame Excel, après avoir corrigé les non-conformités relevées par l'auditeur.

Le fichier de suivi de dérive a également subi une légère modification. En effet, bien que tous les étalons soient étalonnés chaque année, l'ancien fichier ajoutait simplement les points sur le graphique à la suite, en utilisant la valeur visée comme référence.

Une nouvelle méthode a donc été mise en place : après chaque retour d'étalonnage, un premier point de référence est mesuré, puis, tous les deux mois, une nouvelle mesure est effectuée. Chaque nouvelle valeur est comparée à ce point de référence, ce qui permet de créer un fichier de suivi de dérive par an et d'assurer un suivi plus fiable et cohérent des évolutions. Voici un exemple avec l'étalon identifié EC1167 à 25 N.m en [Figure 6](#)

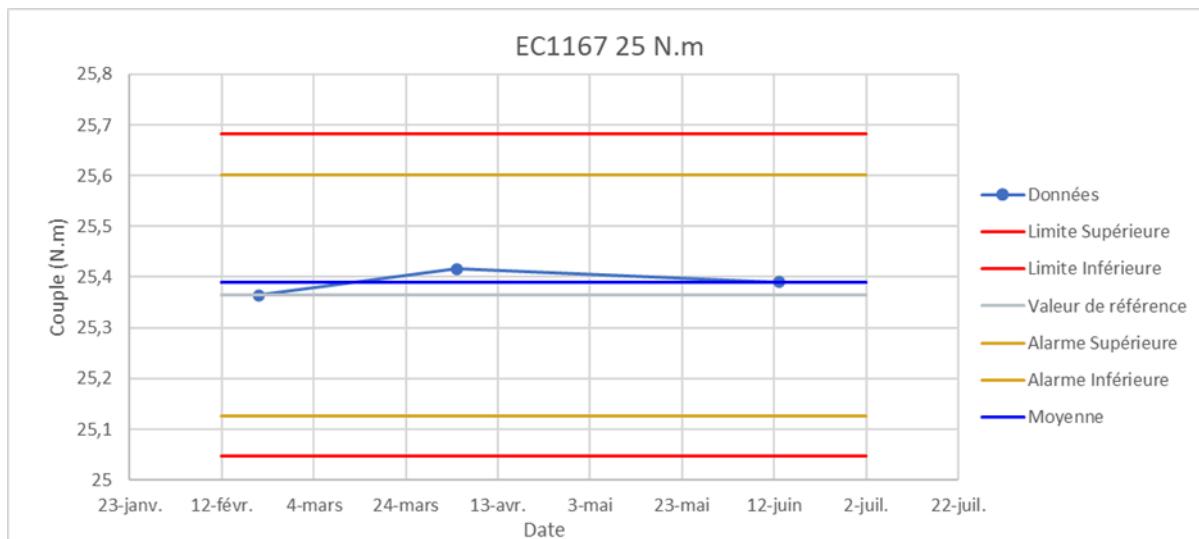


Figure 6: Graphique du suivi de dérive de l'étalon EC1167

Résultats pour les enceintes thermostatisques

Ma mission portant sur l'obtention d'une accréditation COFRAC dans le domaine des enceintes thermostatisques n'est pas finie, cependant le travail sur la procédure, trames Excel et documents annexes est bien avancé voir déjà en cours de test.

Procédure d'essai/vérification des enceintes thermostatisques : C'est le document sur lequel j'ai passé le moins de temps. En effet, je me suis prioritairement consacré à la réalisation des autres documents pour plusieurs raisons.

D'abord, une procédure existe déjà, même si elle n'est plus à jour et qu'elle présente des lacunes sur certains points essentiels. Ensuite, durant ma période en alternance, personne dans l'entreprise ne maîtrisait la création de macros Excel permettant d'automatiser le traitement des données, alors que plusieurs personnes pouvaient rédiger ou mettre à jour une procédure. Étant donné que la fin de mon alternance approche, je me suis donc principalement concentré sur le développement de ces macros.

Trame Excel de correction des valeurs brutes : La correction des valeurs brutes est une étape essentielle à effectuer avant de traiter les données de températures acquises. Voici un exemple du fonctionnement de la trame PEV-004-05_COFRAC_Correction.xlsx en [Figure 7](#).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		Version 1.0											
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													

Saisie + Informations complémentaires

Capteur	ID Étalon	Coefficients de correction			Incertitude (k=2) (°C)
		a	b	U	
101 (C)	EC1316-1 - Sonde Pt100 4 fils	1,001049972	0,04811024	0,725512573	
102 (C)	EC1316-2 - Sonde Pt100 4 fils	1,000781876	0,056402428	0,714316655	
103 (C)	EC1316-3 - Sonde Pt100 4 fils	1,000835425	0,083268657	0,726652847	
104 (C)	EC1316-4 - Sonde Pt100 4 fils	1,001634459	0,050538798	0,765843059	
105 (C)	EC1316-5 - Sonde Pt100 4 fils	1,000741777	0,042448648	0,708193276	
106 (C)	EC1316-6 - Sonde Pt100 4 fils	1,00063957	0,026193519	0,690529561	
107 (C)	EC1316-7 - Sonde Pt100 4 fils	1,001118136	0,056011993	0,732621902	
108 (C)	EC1316-8 - Sonde Pt100 4 fils	1,000904561	0,045506224	0,716792757	
109 (C)	EC1316-9 - Sonde Pt100 4 fils	1,000099812	0,041213198	0,679097953	

Traitement des données

Supprimer feuille

Saisie Import Données CSV Données EC1093 EC1316 Fiche de vie +

Figure 7: Trame Excel de correction des valeurs brutes

La première étape consiste à entrer les données récupérées par la centrale d'acquisition dans la feuille "Import Données CSV". Ensuite, dans la feuille "Saisie", la colonne "Capteur" se met automatiquement à jour. Il suffit alors de sélectionner l'étalon utilisé pour chaque capteur, puis d'appuyer sur le bouton "Traitement des données".

Les colonnes "Coefficients de correction" et "Incertitude (k=2) (°C)" sont uniquement informatives.

Après le traitement des données, la macro redirige l'utilisateur vers la feuille "Données corrigées" et lui indique la marche à suivre via une fenêtre d'information, [Figure 8](#).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Temps	101 (C)	102 (C)	103 (C)	104 (C)	105 (C)	106 (C)	107 (C)	108 (C)	109 (C)
2	17/03/2025 11:36	17,89983439	17,81127369	17,88112501	17,96577273	17,82362854	17,76453117	17,9309763	18,00173404	18,07301281
3	17/03/2025 11:37	19,5926099	19,51260288	19,48746587	19,44017865	19,0275209	19,55767728	19,77703815	19,22984394	19,60216542
4	17/03/2025 11:37	21,57669094	21,54419009	21,41707657	21,44745411	20,75380047	21,51692956	21,69718273	21,14957889	21,48235307
5	17/03/2025 11:37	23,24644229	23,17946768	23,01641158	23,09013462	22,45806371	23,11895351	23,27194156	22,70098096	23,04450898
6	17/03/2025 11:38	24,763033	24,7296788	24,48263547	24,60260265	23,9501697	24,57988728	24,72556509	24,21735137	24,59966418
7	17/03/2025 11:38	26,28763211	26,24686413	25,88780841	26,11507068	25,41325418	25,98478524	26,00799742	25,51752639	25,91479544
8	17/03/2025 11:38	27,6030117	Microsoft Excel							
9	17/03/2025 11:39	28,9604355								
10	17/03/2025 11:39	30,4900398								
11	17/03/2025 11:39	32,078706								
12	17/03/2025 11:40	33,713420								
13	17/03/2025 11:40	35,572370								
14	17/03/2025 11:40	37,231110								
15	17/03/2025 11:41	38,9328953								
16	17/03/2025 11:41	40,8198745								
17	17/03/2025 11:41	42,5627025								
18	17/03/2025 11:42	44,51174685	44,56217324	43,88883436	44,40992407	42,86318855	44,06634226	43,60064642	43,14846023	44,26162649
19	17/03/2025 11:42	46,20852655	46,26450321	45,75639326	46,37012271	44,62649556	45,87149604	45,5428156	44,95809568	46,16781673
20	17/03/2025 11:42	48,0084144	48,06591059	47,39676252	47,83250902	46,40581444	47,55056924	46,92636087	46,60558458	47,73897354
21	17/03/2025 11:43	49,82431905	49,73621554	49,19426294	49,69554911	48,1080762	49,30068785	48,71736121	48,48328154	49,5461539
22	17/03/2025 11:43	51,56714706	51,53762292	51,0067759	51,45942739	49,77931497	51,11284611	50,73060978	50,16079758	51,32133106
23	17/03/2025 11:43	53,32398976	53,32501935	52,64614432	53,60893494	51,49158415	52,93300949	52,26131941	51,74222679	53,2515237
24	17/03/2025 11:44	54,98573271	55,07338529	54,55773998	55,04527876	53,15381624	54,53903599	54,20749307	53,48279982	55,12671085
25	17/03/2025 11:44	56,55938327	56,62059407	55,89185361	56,58579255	54,9111188	56,10403628	55,69515462	55,13128963	56,58685658
26	17/03/2025 11:44	58,08097922	57,93061754	57,45215603	58,21445018	56,38821366	57,61200011	57,25890115	56,54957139	57,90498813
27	17/03/2025 11:45	59,67565183	59,61093031	58,86933899	59,72691822	57,89433004	59,11195883	58,62943187	58,15602321	59,55515282
28	17/03/2025 11:45	61,20024542	61,406222	60,58772126	61,26777011	59,5605651	60,89004354	60,9395477	60,92152745	61,20421741

Figure 8: Traitement des données corrigées de température

Trame Excel de traitement des données corrigées de température : Ce fichier Excel est la partie la plus importante de mon travail, c'est donc là que j'ai consacré le plus de temps. Entre la version initiale et les nombreuses réévaluations, beaucoup de choses ont changé et beaucoup changeront encore probablement. Voici un aperçu du contenu du fichier en [Figure 9](#).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Version 1.0	Trame Cartographie								
2	Code couleur									
3	Menu déroulant									
4	Remplissage manuel									
5	Remplissage automatique									
6	<u>LE CLIENT</u>									
7	Nom Adresse ZI ou Lieu dit Code postal Ville									
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14	<u>L' INSTRUMENT</u>									
15	N° identification Désignation Constructeur Référence constructeur N° série Périodicité (mois) Observations Nature des parois Charge de l'enceinte Largeur, Hauteur, Profondeur (m) Volume de l'enceinte (m ³)									
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29	<u>LE CERTIFICAT</u>									
30	Numéro de PV Type de PV COFRAC									
31	Recopier --> 081312									
32										
33										
< > Saisie Import Données Corrigées Données Fiche de vie +										

Figure 9: Interface de la trame de traitement des données de température

La feuille principale permet de saisir les informations liées au client, à l'instrument, au certificat, aux étalons et à la manipulation. Ces données sont utilisées pour le traitement des valeurs et la génération du rapport.

La feuille "Import Données Corrigées" est l'endroit où l'on colle les données corrigées, calculées à l'aide de la trame Excel mentionnée précédemment (Figure 6). La feuille "Données" regroupe toutes les informations sur les étalons, le contenu des menus déroulants ainsi que les paramètres de détection des paliers. Enfin, la "Fiche de vie" du classeur sert à suivre les modifications et les différentes versions du fichier.

Ici, seules 4 feuilles du classeur sont visibles. En réalité, le classeur Excel en contient 15. La plupart sont masquées afin d'offrir un affichage plus épuré, en ne laissant apparaître que l'essentiel. Même si ces feuilles étaient visibles, elles resteraient protégées contre toute modification.

Après avoir cliqué sur le bouton "Traitement des données", plusieurs feuilles s'affichent plus bas dans le classeur : Résultats, Palier n, Palier n+1, etc.

Saisie	Import Données Corrigées	Résultats	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Données	Fiche de vie
--------	--------------------------	-----------	----------	----------	----------	---------	--------------

Figure 10: Résultat du traitement des données

La feuille "Résultats" ne sera pas incluse dans le rapport final. Elle est uniquement destinée à l'utilisateur, pour vérifier que la détection des paliers s'est bien déroulée. Si ce n'est pas le cas, les paramètres de détection peuvent être ajustés dans la feuille "Données". Ce sont les feuilles "Palier

n° qui seront imprimées dans le rapport final. Elles contiennent toutes les informations relatives à chaque palier.

Conclusion - Cartographie de température : Malgré certains documents encore en cours de finalisation, comme la procédure ou d'éventuels fichiers de suivi de dérive, l'essentiel du travail lié à l'accréditation COFRAC en température a été réalisé.

La méthode développée a été testée avec succès à deux reprises : une première fois chez un client, et une seconde fois sur une nouvelle étuve récemment acquise par l'entreprise.

Mon alternance étant toujours en cours, je suis confiant en ma capacité à finaliser l'ensemble des livrables restants avant la fin de mon contrat.

Résultats pour les tamis

La trame Excel a dû être finalisée rapidement, car une prestation sur site approchait. La procédure écrite, quant à elle, est encore en cours de rédaction, j'ai temporairement mis ce travail en pause afin de me concentrer sur la cartographie de température, jugée prioritaire.

Depuis sa mise en place, la trame a été utilisée plus d'une centaine de fois sans rencontrer de problèmes, ce qui me permet d'affirmer qu'elle est totalement opérationnelle. Les retours des techniciens ayant utilisé la trame ont été positifs. Ils ont souligné sa simplicité et son efficacité dans le cadre de leurs vérifications.

Résultats des solutions informatiques

CalculaTorque : L'application demande la valeur nominale, celle de l'étalon et celle de l'instrument à étalonner. Elle calcule ensuite l'écart entre ces valeurs, ajuste la mesure en conséquence et copie automatiquement le résultat dans le presse-papiers.

Il est également possible d'ajouter ou de supprimer des lignes afin de traiter plusieurs valeurs tout en conservant la même valeur nominale. Voici un exemple de son utilisation en [Figure 11](#).

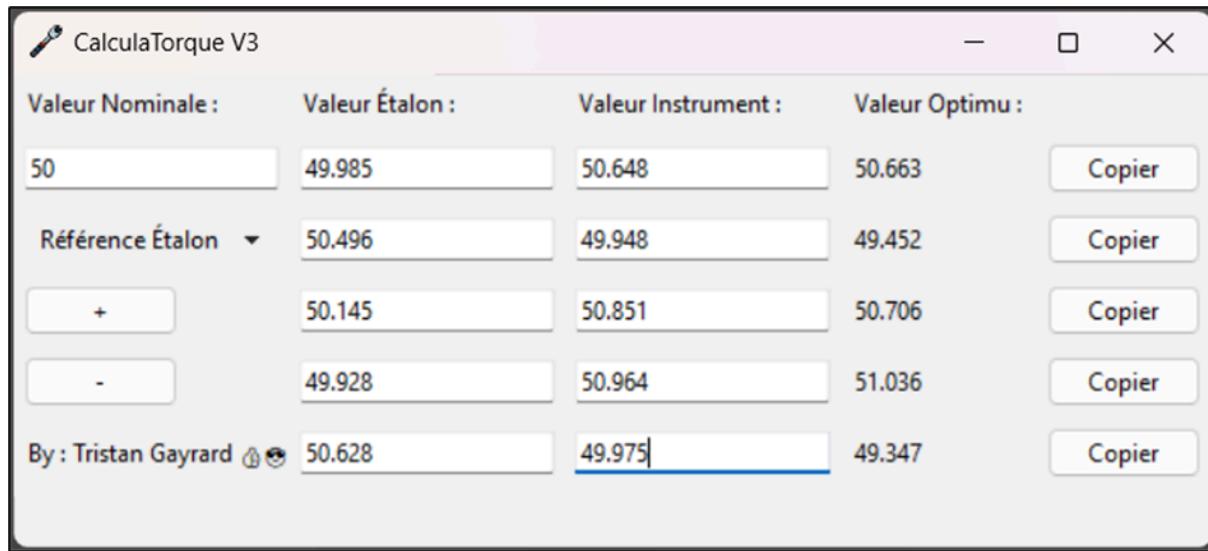


Figure 11: Interface utilisateur de l'application "CalculaTorque"

L'utilisation de CalculaTorque apporte plusieurs avantages significatifs en termes d'efficacité et de précision :

- Gain de temps : Plus besoin d'effectuer les calculs à la main ou de remplir un fichier Excel manuellement. L'application automatise l'ajustement des valeurs, ce qui réduit considérablement le temps de traitement.

- Réduction des erreurs : En évitant les calculs manuels, on élimine les risques d'erreurs humaines liées à des fautes de frappe ou des approximations.
- Copie automatique des résultats : L'intégration d'une fonction de copie dans le presse-papiers permet un transfert rapide des valeurs sans risque d'oubli ou de mauvaise retranscription.

Grâce à ces améliorations, CalculaTorque optimise le processus d'étalonnage en rendant les corrections plus rapides, plus précises et plus fiables.

DROITEREG : J'ai donc développé l'interface utilisateur permettant de saisir les valeurs dans un graphe, de calculer les valeurs corrigées à l'aide de l'équation de la droite de régression, [Figure 12](#), et de générer un rapport au format PDF, [Figure 13](#). Des statistiques sont également calculées, telles que la Racine de l'Écart Quadratique Moyen (REQM), déterminée grâce aux valeurs corrigées. Plus cette valeur est petite, meilleure est la régression. Le REQM critique est défini comme étant 10 % de la variance des données. Un changement de thème est aussi possible (sombre / clair).

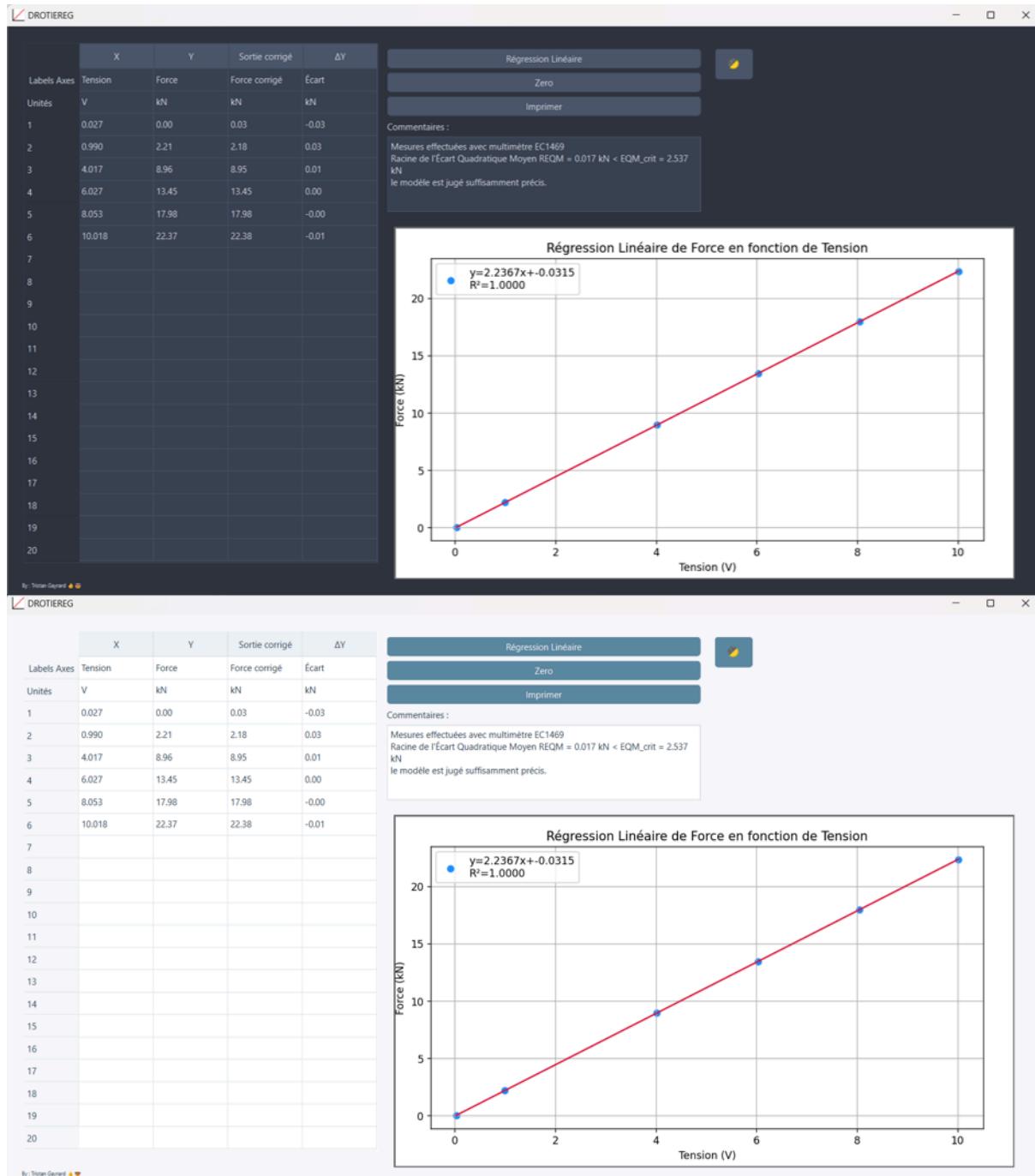
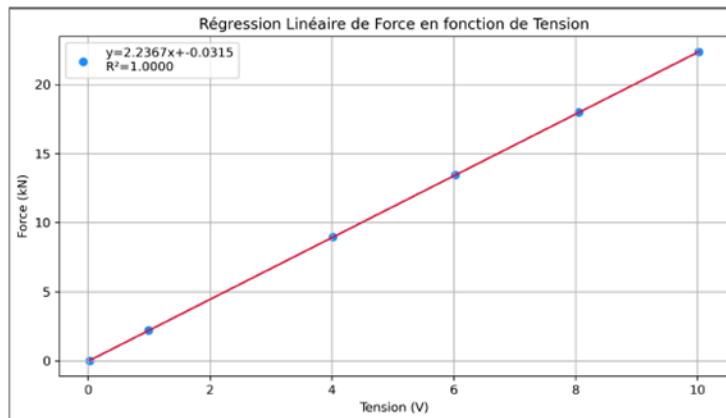


Figure 12: Interface utilisateur de l'application “DROITEREG”

Annexe de Régression Linéaire

Graphique de régression:



Données:

Tension (V)	Force (kN)	Force corrigé (kN)	Écart (kN)
0.027	0.00	0.03	-0.03
0.990	2.21	2.18	0.03
4.017	8.96	8.95	0.01
6.027	13.45	13.45	0.00
8.053	17.98	17.98	-0.00
10.018	22.37	22.38	-0.01

Commentaires:

Mesures effectuées avec multimètre EC1469 Racine de l'Écart Quadratique Moyen REQM = 0.017 kN < EQM_crit = 2.537 kN le modèle est jugé suffisamment précis.

Figure 13: Exemple de rapport généré avec l'application DROITEREG

L'utilisation de DROITEREG a un impact direct et significatif sur l'analyse et l'optimisation des mesures :

- Optimisation du processus de vérification : Grâce à l'automatisation des calculs et à la génération de rapports, le temps consacré à l'analyse et à la validation des données est considérablement réduit. Cela permet de se concentrer sur des tâches plus importantes.
- Détection de mauvaises performances des capteurs : L'analyse des statistiques, comme la racine de l'écart quadratique moyen, permet de détecter facilement les anomalies ou les capteurs dont les performances ne sont pas optimales. Cela facilite les actions correctives avant qu'elles n'affectent la qualité des données ou des produits finals.

En résumé, DROITEREG optimise la gestion des mesures en rendant les processus plus efficaces, plus précis et plus fiables, tout en facilitant l'analyse des performances des capteurs.

Conclusion

Au moment de rédiger ce rapport, mon travail a permis à l'entreprise EvO Métrologie d'obtenir une nouvelle accréditation dans le domaine du couple, selon la norme 6789-1, ainsi qu'une bonne partie des

documents nécessaires à l'accréditation en température, suivant la norme FD X15-140. J'ai aussi mis en place plusieurs automatisations, comme la trame Excel pour la vérification des tamis, et développé des solutions logicielles avec les outils CalculaTorque et DROITEREG.

Avant la fin de mon contrat en alternance, j'aurai le temps de terminer les missions encore en cours : notamment les procédures de vérification des enceintes thermostatiques et des tamis. Cela permettra à l'entreprise d'élargir ses domaines de mesure, tout en garantissant efficacité et rigueur.

Bibliographie

Normes consultées :

- NF EN ISO 6789-1 (2017). Dispositifs de serrage dynamométriques – Partie 1 : Exigences de métrologie et de vérification.
- FD X 15-140 (2024). Caractérisation des enceintes thermostatiques.
- ISO 3310-1 (2016). Tamis d'analyse – Partie 1 : Tamis à toiles métalliques.
- ISO 3310-2 (2013). Tamis d'analyse – Partie 2 : Tamis à tôle perforée.
- AMS 2750 – Pyrométrie – Exigences pour les fours de traitement thermique

Documents COFRAC :

- COFRAC. LAB GTA 03 – Métrologie des forces
- COFRAC. LAB GTA 24 – Caractérisation et vérifications en enceintes thermostatiques.

Logiciels et outils utilisés :

- Python Software Foundation. Python 3 - <https://www.python.org>
- Riverbank Computing. PyQt6 - <https://www.riverbankcomputing.com>
- Qt Company. Qt Designer (Qt Creator) - <https://www.qt.io>
- Inkscape. Logiciel de dessin vectoriel libre - <https://inkscape.org>
- JRSoftware. Inno Setup – Windows Installer - <https://jrsoftware.org>

Documents internes à l'entreprise :

- PEV-008-04_COFRAC : Procédure d'étalonnage et de vérification des outils dynamométriques en méthode interne
- PEV-008-04 (V1.1.0) COFRAC Trame : Trame pour la vérification d'outils dynamométriques
- D_10_09_EVO Suivi Externe Dérive Couplemètres
- D_10_10_EVO Suivi Interne Dérive Couplemètres
- PEV-009-26-01 Etalonnage Tamis
- PEV-004-05_COFRAC : Procédure de vérification des enceintes thermostatiques
- PEV-004-05_COFRAC_Correction
- PEV-004-05_COFRAC_Trame

Table des Figures

Figure 1	Exemple d'étiquettes de vérification	1
Figure 2	Photo du bras de levier pour l'application du couple fixe	3
Figure 3	Exemple de carte de suivi de dérive d'un étalon	4
Figure 4	Comparaison des données de température avec un ancien jeu de donnée rencontré	5
Figure 5	Détermination des régimes de température optimaux établis dans une enceinte thermostatique	6
Figure 6	Graphique du suivi de dérive de l'étalon EC1167	9
Figure 7	Trame Excel de correction des valeurs brutes	10
Figure 8	Traitemennt des données corrigées de température	11
Figure 9	Interface de la trame de traitement des données de température	12
Figure 10	Résultat du traitement des données	12
Figure 11	Interface utilisateur de l'application "CalculaTorque"	13
Figure 12	Interface utilisateur de l'application "DROITEREG"	15
Figure 13	Exemple de rapport généré avec l'application DROITEREG	16

